



UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y
ARQUITECTURA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

T E S I S

**CARACTERÍSTICAS DE LA CAPACIDAD PORTANTE UTILIZANDO
EL ENSAYO DE SPT PARA DETERMINAR LA CIMENTACIÓN EN
TERRENOS ARENOSOS DE LA ASOCIACIÓN CASA HUERTA
EL BOSQUE, ILO – 2020**

PRESENTADA POR

BACHILLER PAOLA YOVANA CONDORI HUERTA

ASESOR:

DR. ALBERTO CRISTOBAL FLORES QUISPE

PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO CIVIL

MOQUEGUA - PERÚ

2022

CONTENIDO

| | Pág. |
|-------------------------------|-------------|
| Página de jurado | i |
| Dedicatoria | ii |
| Agradecimientos | iii |
| Contenido | iv |
| CONTENIDO DE FIGURAS | viii |
| CONTENIDO DE ECUACIONES | x |
| CONTENIDO DE APÉNDICES | xi |
| RESUMEN..... | xii |
| ABSTRACT..... | xiii |
| INTRODUCCIÓN | xiv |

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

| | |
|--|---|
| 1.1. Descripción de la realidad del problema | 1 |
| 1.2. Definición del problema | 5 |
| 1.2.1. Problema general | 5 |
| 1.2.2. Problemas específicos..... | 5 |
| 1.3. Objetivos de la investigación..... | 5 |
| 1.3.1. Objetivo general..... | 5 |
| 1.3.2. Objetivos específicos | 5 |
| 1.4. Justificación | 6 |
| 1.5. Alcances y limitaciones | 7 |
| 1.6. Variables | 8 |

| | |
|--|---|
| 1.6.1. Operacionalización de variables | 8 |
| 1.7. Hipótesis de la investigación | 9 |
| 1.7.1. Hipótesis general | 9 |
| 1.7.2. Hipótesis derivadas | 9 |

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

| | |
|--|----|
| 2.1. Antecedentes de la investigación..... | 10 |
| 2.1.1. Antecedentes internacionales..... | 10 |
| 2.1.2. Antecedentes nacionales..... | 11 |
| 2.2. Bases teóricas..... | 12 |
| 2.2.1. Definición de los suelos..... | 12 |
| 2.2.2. Propiedades de los suelos. | 12 |
| 2.2.3. Clasificación de los suelos..... | 21 |
| 2.2.4. Ensayo Proctor..... | 24 |
| 2.2.5. Ensayo CBR. | 28 |
| 2.2.6. Suelos Arenosos..... | 33 |
| 2.2.7. Estudio de Suelos..... | 35 |
| 2.2.8. Exploración geotécnica..... | 36 |
| 2.2.9. Capacidad Portante. | 40 |

CAPÍTULO III

MÉTODO

| | |
|--------------------------------------|----|
| 3.1. Tipo de la investigación..... | 52 |
| 3.2. Diseño de la investigación..... | 53 |
| 3.3. Población y muestra..... | 53 |

| | |
|--|----|
| 3.4. Descripción de instrumentos para recolección de datos | 58 |
| 3.5. Procedimientos | 60 |
| 3.6. Métodos análisis de datos | 61 |

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

| | |
|---------------------------------------|----|
| 4.1. Presentación de resultados | 62 |
| 4.2. Resumen de Resultados | 64 |
| 4.3. Contrastación de hipótesis | 65 |
| 4.4. Discusión de resultados | 66 |

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

| | |
|--|----|
| 5.1. Conclusiones..... | 67 |
| 5.2. Recomendaciones | 68 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 69 |
| APÉNDICES | 74 |
| MATRIZ DE CONSISTENCIA | 94 |
| INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS | 95 |

CONTENIDO DE TABLAS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Tabla 1 Operacionalización de variables | 8 |
| Tabla 2 Coeficiente de curvatura y uniformidad para suelos gruesos | 17 |
| Tabla 3 Valores típicos de consistencia del suelo | 21 |
| Tabla 4 Principales Tipos de Suelos | 21 |
| Tabla 5 Suelos granulares | 22 |
| Tabla 6 Suelos finos | 22 |
| Tabla 7 Susfijos del tipo de suelo | 23 |
| Tabla 8 Características generales de los suelos..... | 23 |
| Tabla 9 Clasificación de los suelos según el tamaño de partículas..... | 34 |
| Tabla 10 Número de puntos de exploración | 36 |
| Tabla 11 Aplicación y límites de los ensayos | 37 |
| Tabla 12 Aplicabilidad del método SPT | 46 |
| Tabla 13 Compacidad relativa de arena | 46 |
| Tabla 14 Tabla de valores para el cálculo de capacidad portante para arenas..... | 47 |
| Tabla 15 Relación entre ϕ y C_r | 47 |
| Tabla 16 Tabla de módulo de poisson..... | 47 |
| Tabla 17 Tabla de valores representativos de ϕ para arena y limos | 50 |
| Tabla 18 Cuadro de cálculo de alfa de crombach. | 57 |
| Tabla 19 Cuadro de confiabilidad alfa de Crombach..... | 58 |
| Tabla 20 Técnicas e Instrumentos..... | 60 |
| Tabla 21 Capacidad portante..... | 64 |
| Tabla 22 Características del suelos terreno arenoso | 65 |

CONTENIDO DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Figura 1. Sistema población..... | 3 |
| Figura 2. Ubicación de la falla Chololo. | 4 |
| Figura 3. Ensayo de granulometría de grava por el método de tamizado | 13 |
| Figura 4. Ensayo de granulometría de arena por el método de tamizado | 14 |
| Figura 5. Curva granulométrica de un suelo | 15 |
| Figura 6. Interpretación de la curva granulométrica | 15 |
| Figura 7. Tamaños de abertura de tamices..... | 16 |
| Figura 8. Tamices..... | 16 |
| Figura 9. Ensayo de limite liquido | 19 |
| Figura 10. Ensayo de limite plástico | 20 |
| Figura 11. Colocado de muestra humedad al horno..... | 20 |
| Figura 12. Relación agua - sólidos en el suelo fino | 20 |
| Figura 13. Ensayo proctor | 27 |
| Figura 14. Uso de pisón metálico para ensayo Proctor | 28 |
| Figura 15. Molde CBR sometido a prensa | 30 |
| Figura 16. Muestra CBR sometida a prensa..... | 32 |
| Figura 17. Muestra CBR sometida a presión en prensa | 33 |
| Figura 18. Compactación en ensayo CBR | 33 |
| Figura 19. Suelo arenoso..... | 34 |
| Figura 20. Suelo arenoso..... | 35 |
| Figura 21. Vista panorámica calicata 01 | 39 |
| Figura 22. Vista de Calicata 01 con profundidad de 3 metros..... | 39 |
| Figura 23. Vista panorámica de la calicata 02 | 39 |

| | |
|--|----|
| Figura 24. Vista de Calicata 02 con profundidad de 3 metros | 40 |
| Figura 25. Punto 01 de ensayo SPT | 43 |
| Figura 26. Punto 01 de ensayo SPT | 43 |
| Figura 27. Procedimiento ASTM D1586-84..... | 44 |
| Figura 28. Sacamuestra partido ASTM D1586-84 | 45 |
| Figura 29. Cuchara partida..... | 45 |
| Figura 30. Punto 01 de ensayo DPL..... | 49 |
| Figura 31. Punto 02 de ensayo DPL..... | 49 |
| Figura 32. Mapa político del Perú y Moquegua..... | 51 |
| Figura 33. Ejemplo de población, unidad de análisis y muestra..... | 56 |
| Figura 34. Resultado ensayo de SPT N°01..... | 62 |
| Figura 35. Resultado ensayo de SPT N°02..... | 63 |
| Figura 36. Ensayo DPL N°01 | 63 |
| Figura 37. Ensayo de DPL N°02 | 64 |

CONTENIDO DE ECUACIONES

| | Pág. |
|---|-------------|
| Ecuación 1. Fórmula para determinar coeficiente de uniformidad..... | 17 |
| Ecuación 2. Fórmula para determinar coeficiente de curvatura..... | 17 |
| Ecuación 3. Fórmula para determinar ángulo de fricción y cohesión..... | 50 |
| Ecuación 4. Fórmula para el cálculo de muestra..... | 55 |
| Ecuación 5. Fórmula para el cálculo del coeficiente de confiabilidad..... | 57 |

CONTENIDO DE APÉNDICES

| | Pág. |
|--|-------------|
| Apéndice A. Ensayos de laboratorio..... | 76 |
| Apéndice B. Cuestionario de Validez de Instrumentos..... | 94 |

RESUMEN

La presente tesis es un trabajo de investigación que utilizo el ensayo de STP y DPL que establecen las características, propiedades físicas y geotécnicas de la asociación casa huerta el bosque, el objetivo del presente trabajo de investigación fue determinar la resistencia o capacidad portante del suelo en estudio (“Asociación Casa Huerta El Bosque”) el cual se realizó una comparación con el ensayo DPL y con el método de densidad (calicata). Estos ensayos se diferenciaron por ser SPT un dispositivo de penetración directa y DPL un dispositivo de penetración ligera. Se implementó metodologías no convencionales para determinar la resistencia del suelo arenoso y con la utilización del software de ingeniería Geo 5 se obtuvo los resultados que reducirán costos y evitara sobredimensionamientos en cimentaciones en futuras construcciones, al realizar los ensayos de laboratorio, se corrobora con la clasificación SUCS, que el suelo es una arena mal gradada. El resultado del análisis de la comparación del ensayo SPT y DPL se concluye que con el ensayo DPL capacidades portantes obtenidas son de 0.96 kg/cm² y 0.93 kg/cm², el ensayo de DPL que es el más aproximado y recomendado para cálculos en cimentaciones en suelo arenoso. El DPL es 12% más conservador que el SPT.

Palabras clave: Capacidad portante, suelos, ensayos, cimentaciones.

ABSTRACT

The present research work used the STP and DPL test to establish the characteristics, physical and geotechnical properties of the association Casa Huerta el Bosque, the objective of the investigation is to determine the resistance or bearing capacity of the soil under study ("Asociación Casa Huerta El Bosque El Bosque"), which was compared with the DPL test and with the density method (pit). These tests differ in that SPT is a direct penetration device and DPL is a light penetration device. Unconventional methodologies were implemented to determine the resistance of sandy soil. With the use of the Geo 5 engineering software, the results were obtained that reduce costs and avoid oversizing, with the laboratory tests it is corroborated according to the SUCS classification, this soil is a poorly graded sand. The result of the analysis of the comparison of the SPT and DPL tests concludes that with the DPL test bearing capacities obtained are 0.96 kg/cm² and 0.93 kg/cm², the DPL test being the most approximate and recommended for calculations in foundations in Sandy ground. The DPL is 12% more conservative than the SPT.

Keywords: Bearing capacity, soils, tests, foundations.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional en la provincia de Ilo, es un factor que trajo como consecuencia la ejecución de construcciones en cimientos inestables, generando problemas en las estructuras que dependen del diseño y de la naturaleza del terreno. La falta de asesoramiento técnico contribuye a la existencia de cimentaciones sobredimensionadas, la omisión de estudios geotécnicos genera inseguridad, depreciación de la calidad y un costo irreal de una edificación. Uno de los problemas principales en la provincia de Ilo es la falta de investigaciones geotécnicas.

El presente trabajo de investigación, “Características de la capacidad portante, utilizando el ensayo de SPT para determinar la cimentación en terrenos arenosos de la Asociación Casa Huerta el Bosque, Ilo - 2020, teniendo en cuenta que se requiere obtener la información necesaria del tipo de suelo para futuros proyectos, el cual se consistirá en realizar ensayos de campo, reconocimiento visual, ubicación y recolección de muestras.

La Asociación Casa Huerta El Bosque, fundada el 15 de octubre de 1978 (Inscrito en la SUNARP – oficina registral de Ilo Z.R.N° XIII-Sede Tacna) busca el desarrollo de esta asociación con fines de vivienda, industria entre otros, realizándose diferentes acciones para la habilitación de este terreno. La investigación tiene como objetivo principal Obtener las características de la capacidad portante utilizando el ensayo SPT para determinar el tipo de cimentación en terrenos arenosos de la Asociación Casa Huerto El Bosque, Ilo 2020.

La finalidad de la investigación es obtener la capacidad portante del terreno arenoso de la asociación casa huerta el bosque, busca identificar las características suelo y determinar la cimentación, el suelo sujeto a cargas pequeñas, presentan deformaciones que no se produce de forma simultánea a la aplicación de las cargas, sino al transcurrir del tiempo.

Los resultados que sean obtenidos de campo y laboratorio, serán aplicados únicamente al terreno en estudio, proponiendo la mejor alternativa para el incremento de la capacidad de portante, logrando su resistencia y alta densidad.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la realidad del problema

El suelo es un simple componente que tiene una interacción directa en la estructura y su correcta elección del tipo cimentación que está relacionado con la característica del terreno, los datos para obtener el estudio geotécnico son indispensables en la información del anteproyecto que indiquen las características intrínsecas ígneas en dependencia con la edificación, para evaluar la categorización del terreno con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) mediante el ensayo de granulometría y límites de Atterberg.

Los suelos se logran manejar en lapso originario cuando los estudios ejecutados al mismo den como consecuencia las propiedades requeridas para su uso, en la mayoría de proyectos los suelos no se desempeñan con las características requeridas (Cañar, 2016)

El estudio geotécnico proporciona la información y los caracteres precisos para realizar el diseño de los sistemas de cimentación cuyo objetivo es garantizar la seguridad y funcionabilidad de una estructura. “Ninguna estructura es mejor que su fundación” significa que la calidad y de una cimentación no depende de la cantidad

del concreto, ni de la armadura sino de la adecuada proporción relación entre la resistencia del subsuelo y el sistema elegido para transmitir las cargas. (Guardo, 1999).

La capacidad de carga tomados empíricamente sin ejecutar ensayos especiales de laboratorio, pueden producir trastornos de las estructuras, así como también asentamientos diferenciales por el desconocimiento del tipo de suelo (Cerato & Lutenegger, 2006). Se sabe por norma técnica que debe existir un estudio de mecánica de suelo, muchas de las edificaciones no lo cuentan generando un peligro para las personas que viven en estas edificaciones. Obtener la capacidad portante del terreno resulta importante para detectar el tipo de fallas que generarían al terreno, brindar estabilidad y permanencia a las edificaciones, optimizar costos de cimentación además eludir el riesgo de pérdidas económicas, materiales y humanas (Archenti, 2018).

La Municipalidad Provincial de Ilo viene ejecutando el proyecto “Mejoramiento del Servicio de Ordenamiento Territorial de Ilo, con código SNIP 236722”, se estableció en el componente N°04 del proyecto, especifica el progreso e implementación de sistemas de información geográfica municipal para la gestión territorial, como parte del componente incluye estudios de microzonificación, con el propósito de conocer la geología estructural, fallas naturales y tipos de suelo en la provincia de Ilo, así mismo obtener información de soporte para analizar futuras construcciones industriales, viviendas o espacios recreacionales. (Municipalidad Provincial de Ilo, 2020).

El distrito del Algarrobal, es uno de tres distritos de la provincia de Ilo, donde se ubica la “Asociación Casa Huerto El Bosque”. La asociación no cuenta

con los trabajos de investigación que caracterice las propiedades geotécnicas del suelo, ni con un proyecto a futuro como en el caso de la Municipalidad provincial de Ilo, La “Asociación Casa Huerto el Bosque” se encuentran realizando diferentes acciones para su habilitación. Algunos sectores de la pampa inalámbrica son vulnerables, debido a que se ignora la calidad de los suelos, existe la presencia de un alto contenido de sales, con el pasar de los años podría causar asentamientos o hundimientos por la disolución de las mismas. Existen áreas debilitadas debido a la presencia de la conocida falla de Chololo que origina la exposición de los cimientos a su estado de equilibrio, que existe en el peso de las estructuras y la resistencia del suelo.

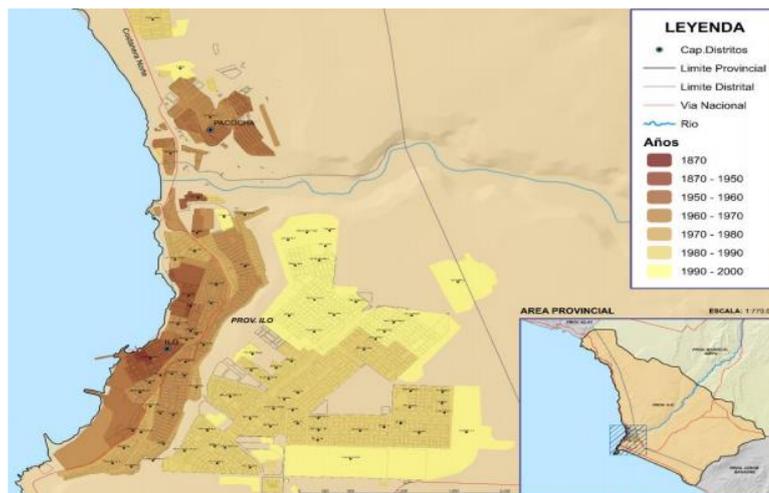


Figura 1. Sistema población

Fuente: Municipalidad Provincial de Ilo, 2017

La geometría y cinemática de la falla sugiere que se trata de una falla normal con componente siniestral, presentando pliegues hacia su parte más oriental. Los daños graves usualmente están restringidos a una zona angosta, de hasta 1 km de ancho a lo largo de la falla, aunque rupturas subsidiarias pueden ocurrir hasta 3 o 4 km distantes de la falla principal. Por consiguiente, para la identificación de obras ingenieriles, así mismo debe seguirse los lineamientos establecidos en las Normas

de Seguridad Estructural de Edificaciones. (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2011).



Figura 2. Ubicación de la falla Chololo.

Fuente: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, 2011

Es necesario conocer los parámetros o medidas que muestren el tipo de terreno, así facilitar, a empresas constructoras, entidades públicas o personas naturales, a que puedan realizar sus construcciones previniendo problemas estructurales en el futuro.

El ensayo de SPT nos permitirá obtener la capacidad portante del terreno junto a los parámetros geotécnicos, perfiles estratigráficos, densidad relativa y compresibilidad a diferentes profundidades dar solución al terreno como la estabilización del suelo con materiales o aditivos que mejor contribuya a que la capacidad portante del suelo sea aceptable. Teniendo en consideración la compactación del suelo para mejorar las condiciones y mitigar los asentamientos de las exigencias estáticas y dinámicas a las que se somete las estructuras con el objetivo de tener confiabilidad en la estabilidad y permanencia en las edificaciones.

1.2. Definición del problema

1.2.1. Problema general.

¿Cuál es la capacidad portante obtenida mediante el ensayo SPT y DPL que sirve para dimensionar la cimentación en los terrenos arenosos en la Asociación Casa Huerto El Bosque?

1.2.2. Problemas específicos.

- ✓ ¿Cuáles son las características y propiedades físicas del terreno arenoso de la Asociación Casa Huerto El Bosque?
- ✓ ¿Qué resultados se obtendrán de los ensayos SPT y DPL en la determinación del comportamiento del suelo?
- ✓ ¿Cuál es la diferencia entre resultados de los ensayos DPL y SPT que se utiliza en cimentaciones de terrenos arenosos?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general.

Obtener la capacidad portante mediante el ensayo SPT y DPL para determinar la resistencia en terreno arenoso de la Asociación Casa Huerto El Bosque

1.3.2. Objetivos específicos.

- ✓ Determinar características y propiedades geotécnicas del terreno arenoso de la Asociación Casa Huerto El Bosque
- ✓ Realizar ensayos de SPT y DPL y evaluar los resultados sobre el suelo arenoso.
- ✓ Analizar los resultados obtenidos en los ensayos SPT y DPL que sirven para determinar la resistencia de los suelos

1.4. Justificación

El presente trabajo de investigación radica en que Ilo no se posee los conocimientos que permita evitar futuros riesgos en el desarrollo integral de la ciudad. La municipalidad distrital del Algarrobal no cuenta con estudio de suelos específicos (Municipalidad Distrital del Algarrobal, 2018).

La investigación se enfocará en la evaluación de la capacidad portante con fines de cimentación su base científica es el estudio de suelos, se realizarán distintos sondeos necesarios para la obtención de valores reales, específicos de los parámetros geotécnicos de la Asociación Casa Huerta el Bosque entre ellos el de granulometría, contenido de humedad, límites de consistencia y STP.

La Asociación Casa Huerta el Bosque es un sector que mediante los ensayos realizados como resultado de las características del terreno, su cimentación no es favorable, donde se habían dedicado a la explotación agrícola-ganadera, la investigación se realiza con el fin de realizar una contribución para determinar la más recomendable y correcta capacidad portante del terreno en futuros proyectos, el cual brinden permanencia, estabilidad y seguridad a los diferentes diseños de edificación, de esta manera podremos contrarrestar las deficiencias estructurales, geotécnicos en donde podamos obtener los valores reales para reducir el costo de las estructuras.

Debido al crecimiento de la población con la necesidad de habilitar los terrenos para viviendas y otros rubros de la industria, están invadiendo áreas no aptas, no se toma la debida importancia, ya que estos terrenos pocas veces cumplen con las exigencias mínimas necesarias para ser utilizadas, los suelos arcillosos y

arenosos poseen baja capacidad de soporte debido a su alto índice de humectación, presentando problemas de hundimientos o asentamientos. (Cañar, 2016)

La finalidad es contribuir a la determinación óptima de la capacidad portante del terreno, teniendo en cuenta detalles mínimos para la seguridad y estabilidad de las estructuras, a su vez proponer una alternativa con el fin de mejorar las características mecánicas del terreno y aportar al conocimiento de la ingeniería que se continúan investigando.

1.5. Alcances y limitaciones

1.5.1. Alcances.

La presente investigación presentado referente al tema: Características de la capacidad portante para determinar la cimentación mediante el ensayo SPT en terrenos arenosos en la asociación casa huerta el bosque, Ilo – 2020 intervienen diversos factores, este trabajo se limitará básicamente a la evaluación de los resultados obtenidos de estudio de suelos donde se determinara la capacidad portante, el cual servirá como referencia para futuras evaluaciones de proyectos que pudiese realizar los gobiernos locales, empresas constructoras o habitantes interesados en el tema. Se realizó una validación de un modelo estadístico con personal técnico especializado.

1.5.2. Limitaciones.

En elaboración de la investigación se ha presentado las siguientes limitaciones, es la ausencia de datos disponibles y/o confiables, como encuestas, estudios de investigación geotécnicas en la zona, antecedentes locales para la obtención de referencias, datos reales de parámetros geotécnicos como el ángulo de fricción interna y cohesión, obtenidas al realizar: Ensayo de Penetración Estándar, lo que

impide conocer con precisión el grado de vulnerabilidad en la Asociación Casa Huerta el Bosque o discutir los posibles resultados obtenidos.

Otra limitación es con respecto a la escasez de laboratorios de suelos que realicen el ensayo de SPT. Como ultima limitación surge cuando el Perú es víctima de la dificultad sanitaria provocado por el virus COVID-19, se inicia el día 15 de marzo del 2020 donde el presidente expone en estado de emergencia a nivel nacional como cuarentena obligatoria, lo cual pone la parálisis a todo el país y sus diferentes actividades que limitan el trámite y realización de ensayos en el presente proyecto de investigación. Los trámites documentarios limitan se realizan de manera virtual, los cuales dificultan con el cumplimiento de plazos.

1.6. Variables

1.6.1. Operacionalización de variables.

Se expresa en la siguiente tabla la operacionalización de variables:

Tabla 1

Operacionalización de variables

| Variable | Definición Conceptual | Indicadores | Dimensiones | Escala de Dimensión |
|--------------------|---|--|---|---------------------|
| Independiente | La capacidad portante, es la intensidad máxima de carga que el suelo llevara con seguridad sin el riesgo de falla de corte o asentamiento del suelo. | SPT | Kg/cm ² Nº de golpes | Nominal |
| Capacidad portante | | | | |
| Dependiente | El suelo es la capa superficial o producto final de la influencia del tiempo, combinado con el clima, topografía y organismos | Límites de attemberg | % | Nominal |
| Terrenos arenosos | El suelo arenoso es el tipo de suelo posee poca materia orgánica se caracteriza por sufrir deformaciones, son sueltos de granos sueltos, escasa plasticidad y pueden perder fácilmente su capacidad portante. | Contenido de humedad Ángulos de fricción interna SUCS Granulometría | %Peso húmedo y peso seco ° Tamaño de particulas Cc – Cu | |

1.7. Hipótesis de la investigación

1.7.1. Hipótesis general.

Los resultados del ensayo de SPT y DPL determinaran los parámetros geotécnicos de los terrenos arenosos de la Asociación Casa Huerto el Bosque con el cual se servirá para ver la resistencia del suelo arenoso

1.7.2. Hipótesis derivadas.

- ✓ Se obtendrá las características físicas de las propiedades del suelo arenoso mediante ensayos de laboratorio
- ✓ Con la realización de ensayos SPT y DPL se cuantificará los resultados de resistencias obtenidas en dichos ensayos en suelos arenosos
- ✓ Con la comparación de resultados de ambos ensayos se demostrará que metodología es más precisa en suelos arenosos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales.

Cañar (2016) En su tesis “Análisis comparativo de la resistencia al corte y estabilización de suelos arenosos finos y arcillosos combinadas con ceniza de carbón” tiene como objetivo la estabilización de dos suelos de diferentes propiedades con la combinación de un aditivo como es el caso de cenizas de carbón.

Núñez y Rodas, (2015) tiene como logro mejorar la capacidad de carga en terrenos de consistencia blanda a media, mediante la inclusión de una capa de suelo granular compactado.

Quesada (2017) En su tesis “Determinación de la capacidad de carga en cimentaciones superficiales sobre bases estratificadas en suelos friccionales” tiene como objetivo analizar la falla por capacidad de carga en el suelo con el empleo de la modelación en 3D, en función de: tipo de suelo y sus propiedades.

2.1.2. Antecedentes nacionales.

Beltrán y Díaz (2018) En su tesis “Análisis de la capacidad de carga admisible de los suelos de cimentación del Complejo Arqueológico Chan Chan debido al ascenso del nivel freático” analiza la variación de capacidad de carga admisible del suelo muro perimétrico del palacio Tschudi como consecuencia del incremento del nivel freático; Identificar las características geotécnicas y físicas del suelo del Palacio Tschudi.

Fernández (2015) En su tesis “Capacidad Portante con Fines de Cimentación Mediante los Ensayos SPT Y Corte Directo en el Distrito de Aguas Verdes - Tumbes” tiene como objetivo determinar la capacidad portante con fines de cimentación, y obtener las características físicas, químicas y mecánicas del suelo de fundación del distrito de Aguas Verdes.

Villanueva (2018) En su tesis “Influencia del suelo arenoso en el comportamiento estructural de una edificación de albañilería confinada de 5 pisos en Ventanilla, 2018” tiene como objetivo Analizar cómo influye la interacción del suelo arenoso en el comportamiento estructural de una edificación de albañilería.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2018), Norma E.050 Suelos y cimentaciones. La norma de edificación E.050 su objetivo es determinar requisitos mínimos para realizar el estudio de mecánica de suelos (EMS). Que comprende todo el territorio nacional, considera que en casos de cimentaciones se debe tomar en cuenta las cargas originadas de las estructuras. En caso de excavaciones o cortes del terreno, se debe tomar en cuenta el proceso constructivo, no toma en cuenta fenómenos de geodinámica exterior, no es aplicable para evidencia o presunción de ruinas arqueológicas.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Definición de los suelos.

Suelo, en Ingeniería Civil, son los sedimentos no consolidados de partículas sólidas, fruto de la alteración de las rocas, o suelos transportados por agentes como el agua, hielo o viento con contribución de la gravedad como fuerza direccional selectiva, y que pueden tener materia orgánica. El suelo es un cuerpo natural heterogéneo (Duque y Escobar, 2002)

Producto de la naturaleza existen variedad tipos de terrenos formados por:

- Descomposición química
- Desintegración mecánica

Las elevadas temperaturas originan descomposición química en los cuales se denominan suelos residuales y la desintegración mecánica se produce por agentes físicos se denominan suelos transportados.

2.2.2. Propiedades de los suelos.

Las propiedades de los suelos permiten caracterizar al suelo en diferentes propiedades como físicas, químicas y mecánicas. Los ensayos son los que definen sus principales propiedades (Graneros y Tito, 2017).

2.2.2.1. Análisis granulométrico.

Esta prueba se realiza para determinar el porcentaje de diferentes tamaños de grano contenida dentro de un suelo. El análisis mecánico o de cribado se realiza para establecer la distribución de las partículas más gruesas y mayor tamaño, el hidrómetro El método es utilizado para definir la distribución de partículas más finas. La repartición de diferentes tamaños de grano que afecta a las propiedades de ingeniería de suelo. El análisis del tamaño del suelo proporciona la definición y

distribución del tamaño de grano, se requiere clasificando el suelo. El análisis de tamiz seco se lleva a cabo para determinar cuantitativamente el tamaño de partícula / grano.

Distribución de partículas de suelo de tamaño 75 micrones y mayores. Para partículas de suelo de 4,75 mm de tamaño y mayores. Se realiza un análisis de tamiz seco y para partículas de suelo de tamaño superior a 75 micrones e inferior a 4,75 mm, tamiz húmedo También es necesario realizar un análisis si las partículas del suelo están recubiertas de arcilla / limo.



Figura 3. Ensayo de granulometría de grava por el método de tamizado

Análisis granulométrico:

1. Anote el peso de cada tamiz, así como la bandeja inferior que se utilizó en el análisis.
2. Registrar el peso de la muestra del suelo seco dada.
3. Asegúrese de que todos los tamices estén limpios y móntelos en el orden ascendente de números de tamiz (tamiz n. ° 4.- en la parte superior y tamiz n. ° 200 en fondo). Coloque la sartén debajo del colador # 200. Vierta con cuidado la tierra muestra en el tamiz superior y coloque la tapa sobre él.

4. Coloque la pila de tamices en el agitador mecánico y agite durante 10 minutos.
5. Retire la pila del agitador y pese y registre cuidadosamente el peso de cada tamiz con su suelo retenido. Además, recuerde pesar y registrar el peso de la bandeja inferior con su fina retenida suelo.



Figura 4. Ensayo de granulometría de arena por el método de tamizado

La finalidad es determinar los tamaños de grano existente, su herramienta es el tamiz se caracteriza por la abertura de la malla, es por donde pasa la muestra a analizar.

En el caso de los suelos limosos y arcillosos al no ser posible realizar el tamizado se procede a utilizar el densímetro o procedimiento de sedimentación explicado en la norma técnica, después del tamizado se pesa las cantidades retenidas, construyéndose una gráfica semilogarítmica representándose el porcentaje en peso de la muestra obtenido/retenida en cada tamizado.

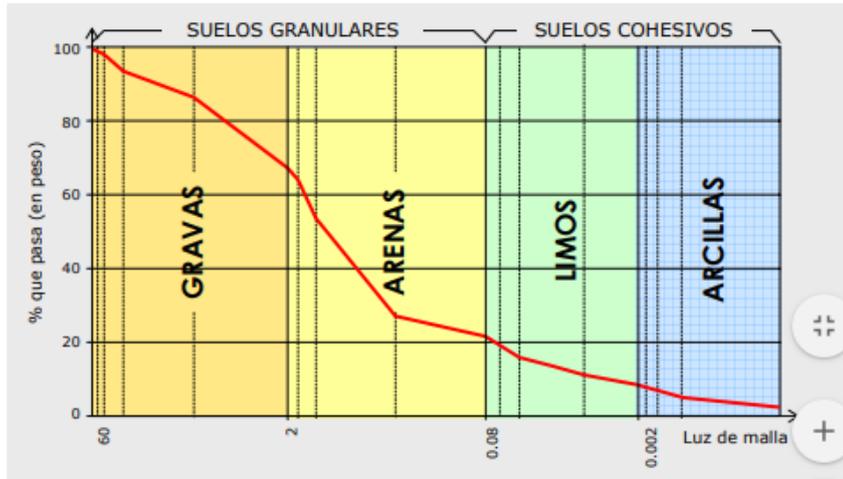


Figura 5. Curva granulométrica de un suelo

Fuente: Bañón y Bevíá, 1999

Para la interpretación se estudia la regularidad de la curva.

- Mal graduado, cuando la curva presenta picos, variaciones de tamaños.
- Bien graduados, cuando la curva toma una forma suave y continua que significa que los tamices retienen materia.

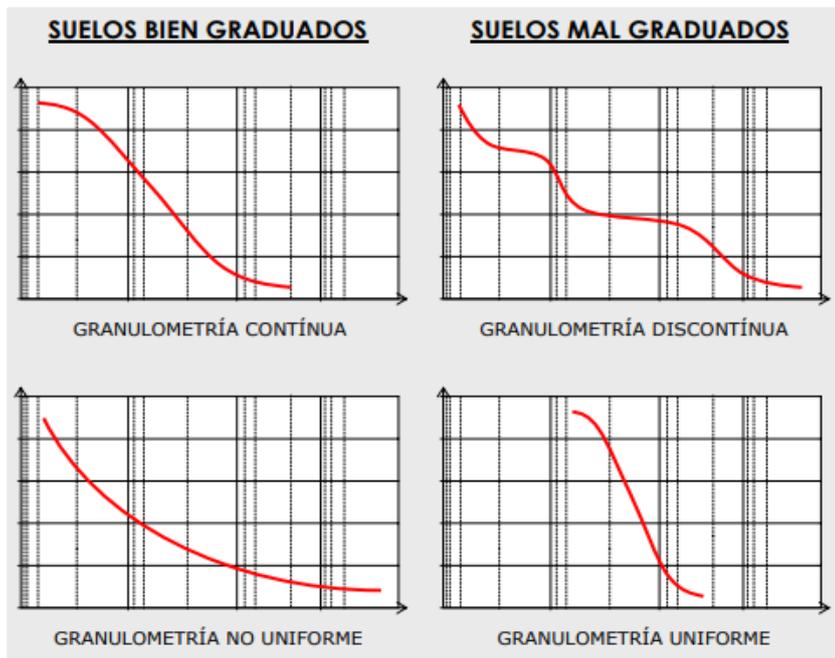


Figura 6. Interpretación de la curva granulométrica

Fuente: Bañón y Bevíá, 1999

Este ensayo se consiste en que la muestra debe ser lavada y secada por una columna de tamices de diferentes aberturas, el procedimiento se realiza colocando el tamiz de mayor abertura de la parte superior a la inferior del tamiz de pequeña abertura, se realiza en suelos gruesos, donde el porcentaje retenido en el tamiz #200 es del 50%.

| Tamaños nominales de abertura | |
|-------------------------------|----------|
| mm | ASTM |
| 80 | (3") |
| 63 | (2 ½") |
| 50 | (2") |
| 40 | (1 ½") |
| 25 | (1") |
| 20 | (¾") |
| 12,5 | (½") |
| 10 | (⅜") |
| 6,3 | (¼") |
| 5 | (N° 4) |
| 2,5 | (N° 8) |
| 2,0 | (N° 10) |
| 1,25 | (N° 16) |
| 0,630 | (N° 30) |
| 0,315 | (N° 50) |
| 0,160 | (N° 100) |
| 0,080 | (N° 200) |

Figura 7. Tamaños de abertura de tamices

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014



Figura 8. Tamices

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014

Para la determinación de la gradación de un suelo se requiere los coeficientes:

Coefficiente de uniformidad

$$Cu = D_{60}/D_{10} \dots \dots \dots \text{ [Ecuación 1]}$$

Coefficiente de curvatura

$$Cc = D_{30}^2 / D_{60} * D_{10} \dots \dots \dots \text{ [Ecuación 2]}$$

Dónde:

D_{60} = Tamaño tal que en la curva granulométrica pasa el 60%

D_{30} = Tamaño tal que en la curva granulométrica pasa el 30% B

D_{10} = Tamaño tal que en la curva granulométrica pasa el 10

Tabla 2

Coefficiente de curvatura y uniformidad para suelos gruesos

| TIPO DE SUELO | COEFICIENTE DE CURVATURA | COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD |
|---------------|--------------------------|----------------------------|
| | Cc | Cu |
| Arena | $1 < Cc < 3$ | $Cu > 6$ |
| Grava | $1 < Cc < 3$ | $Cu > 4$ |

Fuente: Gonzales, 2006

2.2.2.2. Estados de consistencia.

El comportamiento y la consistencia del suelo al igual que las propiedades de ingeniería en varios grados de contenido de humedad. Por lo tanto, el límite entre cada estado se define en función de un cambio en el comportamiento del suelo. Los límites de Atterberg se pueden utilizar para distinguir entre limo y arcilla, y para distinguir entre diferentes tipos de limos y arcillas (Jiménez y Sánchez, 2017).

Los límites y pruebas se desarrollaron por Albert Atterberg, más tarde, perfeccionado por Arthur Casagrande.

Estas pruebas se pueden utilizar para evaluar varios suelos, que finalmente tendrán estructuras construidas sobre ellos. Los suelos cuando se encuentran en estado húmedos retienen agua y algunos se expanden en volumen. La cantidad de expansión del suelo están en relación con su capacidad para absorber agua y su composición estructural. Las pruebas de Atterberg se realizan para suelos arcillosos o limosos, estos suelos son más afectados por la expansión y la contracción debido a los diferentes contenidos de humedad.

Las pruebas de Atterberg se utilizan ampliamente en las etapas preliminares de diseño de estructuras, lo que garantiza la resistencia al corte que tendrá el suelo es la correcta y exhibirá un cambio de volumen mínimo a medida que se expande y se contrae con diferentes contenidos de humedad.

➤ Líquido

Es la presencia de cantidad excesiva de agua la que provoca que el suelo se mantenga unido, formándose un líquido viscoso sin resistencia.

La prueba de límite de líquido, definida en la norma ASTM D4318, establece la cantidad de agua donde un suelo arcilloso cambia de comportamiento del estado plástico a líquido. Sin embargo, esta transición se da de forma gradual en un rango de contenido de agua, y la resistencia al cizallamiento del suelo no es realmente cero en el límite líquido. La definición del límite líquido se da en por procedimientos de prueba estándar (Haseeb, 2017). El límite líquido se determina con la utilización del ensayo de Casagrande, que se usa ampliamente en los Estados Unidos o con un penetrómetro de cono, que es más frecuente en Europa.



Figura 9. Ensayo de limite liquido

➤ Plástico

El suelo es fácilmente moldeable, pero no recupera su condición inicial a lo que no está apto para resistir una carga adicional.

La prueba de limite plástico que consiste coger una porción fina de un suelo y extenderlo sobre una superficie plana y no porosa. Este ensayo se especifica en la norma ASTM D4318. El suelo que contiene más cantidad de humedad se considera como un comportamiento de suelo plástico, este hilo conservara su forma hasta ser un diámetro muy angosto. La muestra puede volver a moldearse y repetirse la prueba. A disposición que el contenido de humedad baja debido a la evaporación, el hilo se iniciara a romper en diámetros más grandes.

La definición de limite plástico es donde se rompe a un diámetro de 3,2 mm (aproximadamente 1/8 de pulgada). Un suelo es no plástico, si un hilo no se puede enrollar hasta 3,2 mm con humedad posible (Haseeb, 2017).



Figura 10. Ensayo de limite plástico



Figura 11. Colocado de muestra humedad al horno

➤ Semisólido

Es un suelo que deja de ser moldeable, se quiebra y disminuye su volumen al perder agua.

➤ Sólido

La estabilidad del suelo alcanza donde su comportamiento mecánico es óptimo.

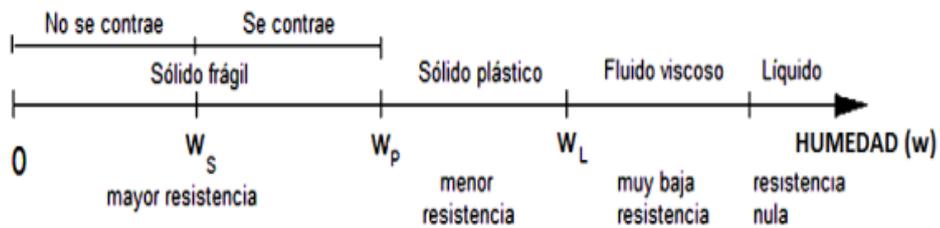


Figura 12. Relación agua - sólidos en el suelo fino

Tabla 3*Valores típicos de consistencia del suelo*

| PARAMETRO | | TIPO DE SUELO | | |
|-----------|-----------------------|---------------|---------|----------|
| | | Arena | Limo | Arcilla |
| LL | Limite Líquido | 15 – 20 | 30 – 40 | 40 – 150 |
| LP | Limite Plástico | 15 – 20 | 20 – 25 | 25 – 50 |
| LR | Límite de Retracción | 12 – 18 | 14 – 25 | 8 – 35 |
| IP | Índice de Plasticidad | 0 – 3 | 10 – 15 | 10 – 100 |

Fuente: Bañon y Bevíá, 1999

2.2.3. Clasificación de los suelos.

La adecuada clasificación permite tener una idea del comportamiento del suelo, con el conocimiento de la granulometría y la plasticidad se puede predecir su comportamiento mecánico y establecer una división sistemática

➤ Suelos gruesos

Son aquellos suelos que se pueden distinguir a simple vista y en la que podemos diferenciarlos entre grava y arena.

➤ Suelos finos

Son aquellos suelos en los que no se les puede distinguir a simple vista entre ellos tenemos los limos y arcillas.

Tabla 4*Principales Tipos de Suelos*

| TIPO DE SUELO | SUELO GRUESO | | SUELO FINO | |
|-----------------------------|--------------|-------|-------------|---------|
| | GRAVA | ARENA | LIMO | ARCILLA |
| Distinguible a simple vista | Si | Si | No | No |
| Tamaño de partículas | > 5mm | < 5mm | - | - |
| Plasticidad | Nula | Nula | Baja a Nula | Alta |

Fuente: Pérez, 2010

2.2.3.1. Suelos cohesivos y no cohesivos.

Los suelos por su característica se clasifican en:

- Suelos cohesivos: Su propiedad es de atracción intermolecular, cementante crea una masa de suelo, este caso es
- de las arcillas.
- Suelos no cohesivos: Su formación proviene de las partículas de rocas, sin cementación como el caso de las arenas y la grava.

2.2.3.2. Sistema unificación de clasificación del suelo SUCS.

Los suelos granulares o finos, estos se distribuyen, el material que pasa el tamiz de 3'' = 75 mm; el suelo es fino cuando más del 50% pasa el T#200, si no, es granular.

(Duque y Escobar 2002)

Tabla 5

Suelos granulares

| CLASIFICACIÓN DE SUELOS GRANULARES | | |
|------------------------------------|-------|---|
| G | Grava | El 50% o más es retenido en el tamiz #4 |
| S | Arena | Si más del 50% pasa por el tamiz #4 |

Fuente: Crespo, 1976

Tabla 6

Suelos finos

| CLASIFICACIÓN DE SUELOS FINOS | | |
|-------------------------------|----------|---------------------------------------|
| M | Lima | Las partículas no se tocan entre sí. |
| C | Arcilla | Terrenos inservibles para cimentación |
| O | Orgánico | |

Fuente: Crespo, 1976

Tabla 7*Susfijos del tipo de suelo*

| TIPO DE SUELO | PREFIJO | SUBGRUPO |
|----------------------|----------------|---------------------------|
| Grava | G | Bien graduado |
| Arena | S | Pobrementemente graduado |
| Limo | M | Limoso |
| Arcilla | C | Arcilloso |
| Orgánico | O | Límite líquido alto (>50) |
| Turbo | Pt | Límite líquido bajo (<50) |

Fuente: Crespo, 1976

Tabla 8*Características generales de los suelos*

| SIMBOLO | CARACTERISTICAS GENERALES | | |
|----------------|-----------------------------------|----------------------------|---------------------------|
| GW | GRAVAS (>50% TAMIZ #4 ASTM) | Limpias | Bien graduadas |
| GP | | (Finos<5%) | Pobrementemente graduadas |
| GM | | Con finos | Componente limoso |
| GC | | (Finos>12%) | Componente arcilloso |
| SW | ARENAS (<50% TAMIZ #4 ASTM) | Limpias | Bien graduadas |
| SP | | (Finos<5%) | Pobrementemente graduadas |
| SM | | Con finos | Componente limoso |
| SC | | (Finos>12%) | Componente arcilloso |
| ML | LIMOS | Baja plasticidad (LL < 50) | |
| MH | | Alta plasticidad (LL > 50) | |
| CL | | Baja plasticidad (LL < 50) | |
| CH | | Alta plasticidad (LL > 50) | |
| OL | SUELOS ORGANICOS | Baja plasticidad (LL < 50) | |
| OH | | Alta plasticidad (LL > 50) | |
| PT | | Suelos altamente orgánicos | |

Fuente: Bañón y Beavía, 1999

2.2.4. Ensayo Proctor.

La compactación de suelos es un procedimiento en el que un suelo soporta estrés mecánico y se densifica. El suelo se compone de partículas sólidas y huecos llenos de agua y / o aire. Se proporciona una explicación más detallada de la naturaleza trifásica de los suelos en Suelo como un sistema trifásico.

Cuando se somete a estrés, las partículas del suelo se redistribuyen dentro de la masa del suelo y el volumen de huecos disminuye, lo que resulta en una densificación. La tensión mecánica se puede aplicar mediante amasado o mediante métodos dinámicos o estáticos. El grado de compactación se cuantifica midiendo el cambio del peso unitario seco del suelo, γ_d .

El marco de las aplicaciones de ingeniería, la compactación es particularmente útil como resultado:

- ✓ Un aumento de la fuerza de los suelos.
- ✓ Una disminución de la compresibilidad de los suelos.
- ✓ Una disminución de la permeabilidad de los suelos.
- ✓ Esos factores son cruciales en estructuras y aplicaciones de ingeniería como presas de tierra, terraplenes, soporte de pavimentos o soporte de cimientos.

El grado de compactación se da según las propiedades del suelo, el tipo y la cantidad de energía proporcionada por el proceso de compactación y el contenido de agua del suelo. En cada suelo, existe una cantidad óptima de humedad con la cual puede experimentar su máxima compresión. En otras palabras, para un esfuerzo de compactación dado, un suelo está alcanzando su peso unitario seco máximo (γ_d , Max), a un nivel óptimo de contenido de agua.

La compresibilidad del suelo respectivamente seco incrementa a medida que se le agrega agua. Es decir, para niveles de contenido de agua secos de óptimos (w_{opt}), el agua actúa como lubricante, permitiendo que las partículas del suelo se desplacen entre sí, lo que conduce a tener una configuración más densa. Más allá de un cierto nivel de contenido de agua (húmedo de óptimo, $w > w_{opt}$), el exceso de agua dentro del suelo da como resultado que el agua incrementa de presión y los poros separa las partículas del suelo. La prueba de laboratorio más común para la compactación del suelo es la prueba de compactación Proctor.

La prueba de Proctor fue inventada en la década de 1930 por R. R. Proctor, un ingeniero de campo de la Oficina de abastecimiento y abastecimiento de agua, en Los Ángeles, California. El proceso, que simula los procesos de compactación in situ que se realizan típicamente durante la construcción de presas de tierra o terraplenes, es la prueba de laboratorio más común que se lleva a cabo para obtener la compresibilidad de los suelos.

El tipo de compactación y la energía proporcionada para un volumen de suelo dado son estándar y, por lo tanto, la prueba se centra en el cambio del contenido de humedad de una muestra para obtener el contenido de agua óptimo.

La prueba estándar de Proctor incluye un molde cilíndrico de 0,95 litros de volumen en el que se coloca la masa de suelo y se compacta en 3 capas. Cada capa se comprime dejando caer 25 veces un peso de 2,5 kg desde una altura de 30 centímetros.

Una versión modificada de la prueba se introdujo después de la Segunda Guerra Mundial, en la década de 1950, cuando la maquinaria pesada podía resultar en una mayor compactación. En el nuevo enfoque, el molde cilíndrico sigue siendo

el mismo, sin embargo, el peso de caída aumenta a 4,5 kg y la altura de caída a 45 centímetros. Además, el suelo se compacta en 5 capas con 25 golpes por capa. La prueba se realiza para 5 contenidos de humedad para obtener el contenido de agua óptimo, para lo cual el valor del peso unitario seco es máximo

Equipo de prueba

El equipo utilizado para realizar la prueba incluye:

- ✓ Molde de compactación cilíndrico de 10 centímetros de diámetro equipado con una base y un collar.
- ✓ Apisonador Proctor con un peso de 2,5 kg o 4,5 kg dependiendo de si se realiza el estándar de la prueba modificada.
- ✓ Tamiz No.4
- ✓ Regla de acero
- ✓ Recipientes de humedad
- ✓ Cilindro graduado
- ✓ Mezclador
- ✓ Horno controlado
- ✓ Bandeja metálica y pala

El procedimiento de la prueba de compactación Proctor consta de los siguientes pasos:

- ✓ Obtenga unos 3 kg de suelo.
- ✓ Pase la tierra por el tamiz No. 4.
- ✓ Pese la masa de suelo y el moho sin el collar (W_m).
- ✓ Coloque la tierra en el mezclador y agregue agua gradualmente hasta alcanzar el contenido de humedad deseado (w).

- ✓ Aplique lubricador al collar.
- ✓ Retire la tierra del mezclador y colóquela en el molde en 3 capas o 5 capas según el método utilizado (Proctor estándar o Proctor modificado). Para cada capa, inicie el proceso de compactación con 25 golpes por capa. Las gotas se aplican manual o mecánicamente a un ritmo constante. La masa de tierra debe llenar el molde y extenderse hasta el cuello, pero no más de ~ 1 centímetro.
- ✓ Se retira con cuidado collar y recorte la tierra que se extiende por encima del molde con un borde recto afilado.
- ✓ Pese el moho y la tierra que lo contiene (W).
- ✓ Extruya la tierra del molde con una extrusora metálica, asegurándose de que la extrusora y el molde estén en línea.
- ✓ Mida el contenido de agua de la parte superior, media e inferior de la muestra.
- ✓ Se repite el proceso de colocar la tierra en la batidora y agregue agua para lograr un mayor contenido de agua.



Figura 13. Ensayo Proctor



Figura 14. Uso de pisón metálico para ensayo Proctor

2.2.5. Ensayo CBR.

La prueba California Bearing Ratio o CBR se realiza en laboratorio de materiales de construcción para evaluar la resistencia de las subrasantes del suelo y los materiales de la capa base. Aquellos que diseñan y diseñan carreteras, pistas de aterrizaje y calles de rodaje de aeropuertos, estacionamientos y otros pavimentos confían en los valores de prueba CBR al seleccionar el espesor del pavimento y la base. Métodos de prueba CBR El método de prueba de laboratorio en ASTM D1883 y AASHTO T 193 para la prueba CBR es un método empírico simple, que compara la resistencia a la penetración de la muestra de prueba con la de una muestra "estándar" de material de piedra fraccionada bien graduada utilizando un pistón de tamaño estándar (Cruz y Taco, 2021)

El ensayo no caracteriza ninguna propiedad del suelo aparte de la resistencia a la penetración. El Departamento de Transporte de Florida desarrolló una versión modificada de este método como la prueba FM 5-515 Limerock Bearing Ratio (LBR). Las pruebas de CBR también se pueden realizar in situ en subrasantes de suelo con un aparato que utilice un pistón de penetración del mismo tamaño o con el penetrómetro de cono dinámico (DCP). ASTM D4429 se usa a menudo como

una prueba exploratoria para determinar las condiciones de suelos o bases en el lugar o para confirmar los resultados de las pruebas de laboratorio. Esta publicación de blog discutirá los métodos CBR de laboratorio y de campo, junto con el DCP (Cruz y Taco, 2021)

Por qué es importante la prueba CBR A principios de la década de 1900, el desarrollo económico impulsó la demanda de más millas de carreteras de mejor calidad, lo que a su vez resultó en un aumento del tráfico vial. En 1928 y 1929, los ingenieros de la División de Carreteras de California (ahora Caltrans) desarrollaron la prueba CBR para garantizar que los pavimentos se pudieran construir de manera económica y que aún soportaran las cargas por eje anticipadas. Establecieron la resistencia a la penetración del material base de roca triturada ideal como una referencia estándar para comparar con todos los demás materiales de suelo y capa base.

California adoptó oficialmente la prueba CBR en 1935, y ahora es un método estándar en ASTM, AASHTO, U.S. Army Corps of Engineers (USACE), British Standards y otros.

Preparación de la prueba de laboratorio CBR

La preparación de muestras ocupa la mayor parte del tiempo necesario para analizar muestras de CBR en el laboratorio geotécnico. Los materiales propuestos para el proyecto se muestrean y procesan en el laboratorio en una serie de muestras de prueba.

La preparación se lleva a cabo usando los mismos pasos o similares que se encuentran en el método C de ASTM D698 o D1557 (AASHTO T 99 y T 180) pruebas de relación humedad / densidad (Proctor). El especificador de la prueba

CBR puede solicitar cambios en la densidad seca de las muestras. Cambiar el número requerido de conteos de golpes ajustará la densidad seca. También son necesarios discos espaciadores, contrapesos y otros aparatos para medir la expansión.



Figura 15. Molde CBR sometido a prensa

La prueba se realiza en suelos cohesivos con tamaños máximos de partículas inferiores a 19 mm (0,75 pulgadas), pero también se puede utilizar para evaluar la resistencia de suelos granulares y agregados. Para la mayoría de los métodos, se preparan y remojan de tres a cinco muestras durante un período antes de la prueba de penetración. Las probetas preparadas se colocan en un bastidor de carga y se someten a cargas de penetración reguladas desde un pistón con una superficie de 3 pulgadas² (1.935 mm²). Las cargas se registran a intervalos de penetración especificados y se trazan gráficamente (Cruz y Taco, 2021).

En la prueba CBR son posibles varias variaciones en los métodos de prueba de preparación de muestras. Los métodos de prueba pueden incluir una sola muestra probada con un contenido de agua óptimo (según lo determinado por ASTM D698 o D1557), una serie de tres muestras de prueba con un contenido de agua óptimo probadas con diferentes pesos unitarios secos máximos, o la prueba de cada muestra

utilizada en el desarrollo de una curva de compactación. Los dos últimos métodos también pueden requerir la compactación de varias muestras con diferentes conteos de golpes para ajustar la densidad final de los materiales de la muestra. El protocolo de prueba seleccionado debe ser entendido claramente por todas las partes interesadas, y especialmente por el laboratorio de pruebas antes de que comience la preparación (Cruz y Taco, 2021).

2.2.5.1. Muestras de prueba CBR empapadas.

El remojo tiene en cuenta las condiciones de humedad adversas por posibles lluvias o inundaciones, y la mayoría de las pruebas CBR utilizan este procedimiento. Además del proceso de compactación, la preparación generalmente implica remojar cada muestra en agua durante 96 horas antes de la prueba de penetración.

Durante el período de remojo, se debe colocar una sobrecarga de 10 lbf (4,54 kg) o más en la muestra utilizando pesos de sobrecarga para simular el peso del pavimento y otras cargas especificadas. El hinchamiento del suelo resultante del remojo debe medirse usando un aparato de medición de expansión y placas de hinchamiento colocadas sobre la muestra antes de la prueba de penetración. Se necesita una cantidad significativa de tiempo para preparar múltiples muestras compactadas para una sola prueba. Se encuentran disponibles conjuntos completos de pruebas CBR que contienen múltiples moldes y componentes CBR para maximizar la productividad y la eficiencia de las pruebas.



Figura 16. Muestra CBR sometida a prensa

2.2.5.2. Prueba de penetración CBR.

Para las pruebas de penetración, la muestra permanece en el molde. Con la placa perforada y los pesos de sobrecarga especificados colocados en el suelo, el pistón se asienta contra la muestra de prueba y la carga comienza a una velocidad de 0,05 pulgadas (12,7 mm) por minuto. A medida que el pistón penetra en el suelo, las cargas de prueba se registran a once profundidades especificadas hasta 0.500 pulg. (13 mm).

Las penetraciones frente a los valores de carga se trazan en un gráfico y se corrigen siguiendo el procedimiento especificado en el estándar de prueba. Los valores de tensión corregidos de profundidades de penetración de 0,100 y 0,200 pulg. (2,54 y 5,08 mm) se dividen por tensiones estándar de 1000 psi (6,9 mPa) y 1500 psi (10,3 mPa), y luego se multiplican por 100. En la mayoría de los casos, los valores de CBR disminuyen a medida que aumenta la penetración. El valor CBR es la tensión a la profundidad de penetración de 0,100 pulg. (2,54 mm). Ocasionalmente, la relación a la profundidad de penetración de 0,200 pulgadas (5,08 mm) es mayor que la profundidad de 0,100 pulgadas, y la prueba debe volver

a realizarse. Si la prueba de verificación muestra resultados similares, la tensión de la profundidad de penetración de 0,200 pulgadas es el CBR informado.



Figura 17. Muestra CBR sometida a presión en prensa



Figura 18. Compactación en ensayo CBR

2.2.6. Suelos Arenosos.

Los suelos arenosos son el resultado de la erosión de las rocas y resto de suelos, depositados al interior del suelo, poseen sales y materia orgánica se clasifican según el tamaño de la partícula expresado en la siguiente tabla.

Tabla 9

Clasificación de los suelos según el tamaño de partículas

| TIPO DE MATERIAL | TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS |
|------------------|---|
| Grava | 75 mm – 2 mm |
| Arena | Arena gruesa: 2 mm – 0.2 mm Arena Fina: 0.2 mm – 0.05 mm |
| Limo | 0.05 mm – 0.005 mm |
| Arcilla | Menor a 0.005 mm |

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014

El suelo arenoso es caracterizado por sufrir deformaciones provocadas debido a los sismos entre otros fenómenos, son sueltos de granos sueltos con escasa plasticidad y pueden perder fácilmente su capacidad portante.

Este suelo requiere de diseño y construcciones adecuadas para soportar una vivienda, en caso de sismos, utilizando materiales y técnicas para evitar que las viviendas colapsen en este terreno. Para ello es necesario realizar una cimentación que tenga una base y estructuras anchas que estas impidan el hundimiento de la vivienda o construcción para una buena distribución del peso de la edificación.



*Figura 19.*Suelo arenoso

Fuente: Grupo Sacsas, 2015



Figura 20. Suelo arenoso

Fuente: Grupo Sacsá, 2015

2.2.7. Estudio de Suelos.

El estudio de suelos se realiza debido a la gran variedad de suelos existentes, el cual se denomina al conjunto de actividades que se realizan con la finalidad de obtener información geológica o geotécnica del terreno, este es necesario para poder proyectar todo tipo de proyecto de construcción.

El muestreo y la clasificación de los suelos son dos requisitos previos indispensables para la aplicación de la mecánica de suelos a los problemas de diseño (Duque y Escobar 2002).

Los estudios de mecánica de suelos se realizan con fines:

- Diseño de cimentaciones
- Diseño de puentes
- Diseño de pavimentos
- Estabilidad de taludes
- Diseño de instalaciones sanitarias agua
- Diseño de alcantarillado
- Diseño de muro de contención

Tabla 10

Número de puntos de exploración

| TIPO DE EDIFICACION U OBRA | NUMERO DE PUNTOS DE EXPLORACION |
|---|---|
| I | Uno por cada 225 m2 de área techada del primer piso |
| II | Uno por cada 450 m2 de área techada del primer piso |
| III | Uno por cada 900 m2 de área techada del primer piso |
| IV | Uno por cada 100 m2 de área techada del primer piso |
| Habilitación urbana para Viviendas Unifamiliares de hasta 3 pisos | 3 por cada hectárea de terreno por habilitar |

Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018

2.2.7.1. Obligatoriedad e importancia de los estudios.

Realizar un estudio de suelos es de obligatoriedad para edificaciones donde alojen una densa cantidad de personas, como mínimo 500 m² de área techada, de 4 o más pisos, para industrias, fabricas, en edificaciones con uso de pilotes, pilares o plateas, edificaciones continuas a taludes o en suelos que pongan en peligro su estabilidad.

2.2.8. Exploración geotécnica.

Son técnicas de exploración y recolección de datos para el estudio de mecánica de suelos, con el fin de identificar el tipo de suelo, encontrar su resistencia y determinar el tipo de cimentación.

Debido a la gran variedad de suelos para conocer las características físicas como mecánicas es necesario realizar diferentes tipos de ensayos entre los principales podemos encontrar.

Tabla 11*Aplicación y límites de los ensayos*

| Ensayo In situ | Norma Aplicable | Permitida | | | No permitida | |
|-----------------------|-------------------------|---------------------------|--|-----------------------------|---------------------------|------------------|
| | | Técnica de Exploración | Tipo de Suelo | Parámetro a Obtener | Técnica de Exploración | Tipo de Suelo |
| SPT | NTP 339.133 | Perforación | Todos excepto gravas | N | Calicata | Grava |
| CPT | NPT 339.148 | Auscultación | Todos excepto gravas | qc, qf | Calicata | Grava |
| DPSH | UNE 103.801:1 994 | Auscultación | Todos excepto gravas | N20 | Calicata | Grava |
| CTP | ANEXO III | Auscultación | Todos excepto gravas | Cn | Calicata | Grava |
| DPL | NPT 339.159 | Auscultación | SP, SW, SM (con limos, no plásticos) | N | Calicata | Lo restante |
| Veleta de Campo | NTP 339.155 | Perforación/ Calicata | CL, ML CH MH para todos los casos con IP>0 y saturados | Cu, St | --- | Lo restante |
| Prueba de carga | NTP 339.153 | --- | Rocas blandas y todo tipo de suelo excepto gravas | Asentamient o vs presión | --- | Grava |

Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018

Los ensayos de densidad de campo, no podrán emplearse para determinar la densidad relativa y la presión admisible de un suelo arenoso.

2.2.8.1. Ensayos de penetración.

Los ensayos de penetración permiten correlacionar la resistencia del suelo a la penetración con su densidad relativa.

Se clasifican en dos:

➤ **Penetrómetro dinámico.**

Dependen de la herramienta que se hinca, del peso de la masa y de la altura de caída de la misma, se obtiene la capacidad portante a partir del número de golpes obtenido. El suelo en el que se realizan son los finos y granulares, así como en materiales estabilizados o modificados de poca resistencia.

➤ Penetrómetro estático.

La característica fundamental es que el cono, se introduce en el terreno por empuje, en una velocidad constante, anotándose las resistencias de avance encontradas y que se leen en un manómetro (Sainz, 2000).

2.2.8.2. Calicatas de exploración.

Son excavaciones que permiten una observación directa del terreno, para la toma de muestras y realización de los ensayos in – situ, es un método que proporciona información fiable y completa. Se clasifican en superficiales y profundas

Una superficial no supera los 2 m de alto mientras que las profundas rebasan esta altura, son uno de los métodos más empleados para el reconocimiento del terreno. Las calicatas que deben ser numeradas, registradas y rotuladas que deben plasmarse con posterioridad en un plano de ubicación de calicatas, existen 3 tipos de perforaciones:

- Manuales y mecánicas
- Espiral mecánica, lavado con agua

Las consideraciones para los ensayos fundamentales para la construcción son:

- La toma de muestra inalterada para el análisis granulométrico.
- Muestras para determinar la humedad del suelo, almacenadas en un recipiente, para evitar pérdidas por evaporación.
- Muestras inalteradas para determinar la densidad de campo, la resistencia del terreno y análisis químicos.



Figura 21. Vista panorámica calicata 01



Figura 22. Vista de Calicata 01 con profundidad de 3 metros



Figura 23. Vista panorámica de la calicata 02



Figura 24. Vista de Calicata 02 con profundidad de 3 metros

2.2.9. Capacidad Portante.

Se conoce como la máxima presión media de contacto entre la cimentación y el terreno no llegando al extremo de producir un fallo por cortante del suelo o un asentamiento diferencial excesivo. (Indeci, 2014)

La finalidad es que el suelo pueda resistir las cargas producidas por la edificación y no sufra asentamientos mayores a los que estén permitidos en el diseño del análisis estructural. La capacidad de portante se debe basar en los siguientes criterios funcionales, se denomina carga de hundimiento cuando los cimientos van a soportar una tensión independiente de la deformación.

Si se busca el equilibrio entre la tensión aplicada al terreno y la deformación sufrida por éste, se deberá calcular la capacidad portante a partir de los principios de asiento admisible.

2.2.9.1. Capacidad portante mediante ensayo de penetración estándar (SPT).

El ensayo de penetración estándar in situ tiene como objetivo determinar parámetros geotécnicos como la capacidad portante de un suelo de manera aproximada.

Este ensayo consiste en hincar el suelo con un penetrómetro normalizado ayudados por un martillo, el cual, mediante el golpe en la parte superior de la barra a fin de introducirlo en el suelo, con una maza de 63,5 kg de masa, cayendo desde una altura de 76 cm. Con el fin de lograr una muestra específica y una medida de la resistencia de dicho suelo. El golpeo se registra y se contabiliza en tres o cuatro tramos de 15 cm de avance cada uno, denominándose valor N a la suma de los valores segundo y tercero (OfiGeo, 2014).

2.2.9.2. Procedimiento del ensayo de penetración estándar (SPT).

La prueba de penetración estándar (SPT) es actualmente el medio más popular y económico para obtener información del subsuelo. Aunque se ha elaborado un gran esfuerzo para estandarizar el SPT procedimiento, la variabilidad es inherente a los procedimientos actuales.

La resistencia estándar a la penetración De hecho, medido convencionalmente utilizando diferentes tipos de martillos, tipos de equipos de perforación, longitudes de varillas de perforación, tipos de varillas de perforación, tasas de golpe de martillo, diferentes sistemas de suministro de energía con diferentes grados de eficiencia, diferentes fluidos de pozo y diferentes tipos de tubos de muestreo. Por tanto, la prueba es realizado por diferentes equipos y procedimientos de prueba, así como por diferentes operadores. En consecuencia, se cuestiona la consistencia de los valores de SPT N, es decir, la capacidad de la prueba para reproducir el conteo de golpes usando diferentes sistemas de plataforma bajo el mismo sitio / condiciones de suelo. El directo El impacto de esta inconsistencia en la calidad y el costo del diseño geotécnico ha provocado importante investigación sobre los factores que afectan los valores de N.

La investigación ha demostrado que el factor más significativo que afecta a los valores de N medidos es la cantidad de energía entregada a las barras de perforación. Las pruebas de campo indicaron que la energía entregada a las varillas durante una prueba SPT puede variar del 30 al 90% del máximo teórico, dependiendo del tipo de sistema de martillo utilizado. Para reducir la variabilidad significativa del SPT N valor debido a la gran variación en la energía entregada, se ha recomendado que el valor de N sea estandarizado a un nivel de energía específico mediante el uso de factores de corrección.

El propósito de esta investigación es resumir todos los factores de corrección disponibles y, con la guía de un programa de pruebas de campo limitado, determine el factor de corrección más apropiado para uso por la Administración de Carreteras del Estado de Maryland (MD SHA). En las pruebas de campo, las mediciones de transferencia de energía SPT se realizaron utilizando un analizador SPT. fabricado por Pile Dynamic, Inc. para 3 sistemas de martillo SPT, una rosca, una de seguridad y un martillo automático. Todas las pruebas se realizaron en condiciones de campo con funcionamiento normal. Procedimientos. Las pruebas se realizaron en tres perforaciones en el mismo lugar para que el suelo similar condiciones que se encontrarían y, por lo tanto, el efecto de diferentes tipos de suelo en la medida la energía fue eliminada. Desafortunadamente, el método de perforación no fue el mismo en las tres perforaciones, una perforadora utilizó un sinfín de vástago hueco y las otras dos utilizaron fluido de perforación y tubería de revestimiento.

El análisis de los datos de campo mostró que tanto el martillo de seguridad como el automático martillos tienen una eficiencia energética que se encuentra dentro del rango de martillos similares probados por otros investigadores, mientras

que el martillo de rosquilla mostró una eficiencia mucho mayor de lo esperado. Eso También se encontró que el rango de valores de factores de corrección publicados es tan amplio que los valores no serían aceptables para su uso en el diseño. Por tanto, se concluye que el factor de corrección debe determinarse a partir de las mediciones de energía reales de cada sistema de perforación-plataforma-martillo. A El gráfico se incluye en el informe para corregir el valor de N determinado en el campo a N60, así como recomendaciones sobre un programa de medición de energía para el futuro inmediato e implementación.



Figura 25. Punto 01 de ensayo SPT



Figura 26. Punto 01 de ensayo SPT

- Se debe colocar y anclar el trípode en el sitio a perforar. Se procede a perforar con una barreda de una profundidad de 1 metro.

- Luego se introduce una toma muestras (cuchara partida) hasta el fondo del agujero y unir antes las barras para el sondeo. Colocar el martillo de 64 kg, se debe deslizar sobre el tubo, se deja caer desde una altura de 76 cm, el muestreado se inca a los 15 cm, se toma nota del número de golpes para cada 15 cm. La resistencia de la penetración estándar de un suelo es la suma de los golpes.
- Se procede a extraer el tubo partido, la muestra debe ser tomada cuidadosamente y colocada en una funda de polietileno, con la finalidad de que esta muestra sea representativa, a la cual se le deben realizar los ensayos de clasificación (contenido de humedad, granulometría, límites).
- Colocar otra vez el barreno con las brocas de sondeo y repetir el procedimiento, se debe analizar las distintas profundidades, además los resultados del SPT deben ir acompañados con un croquis de las perforaciones.

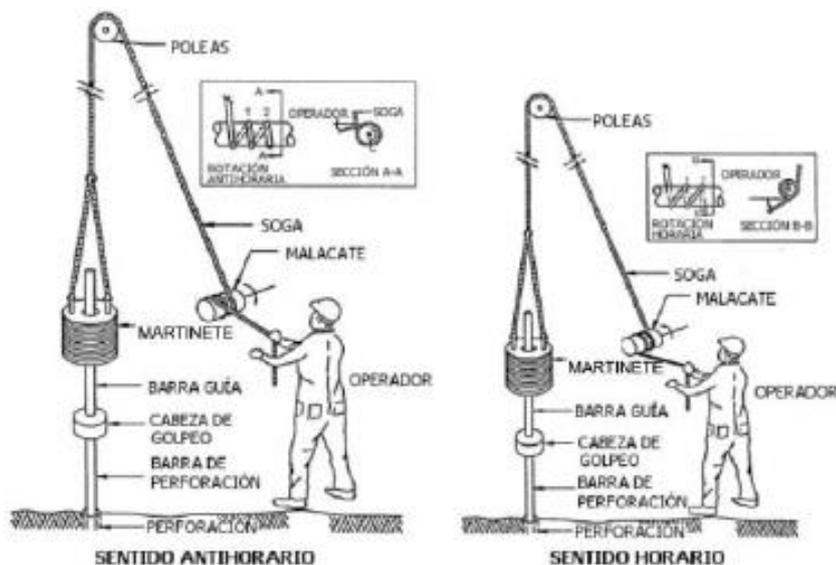


Figura 27. Procedimiento ASTM D1586-84

Fuente: Crespo, 1976

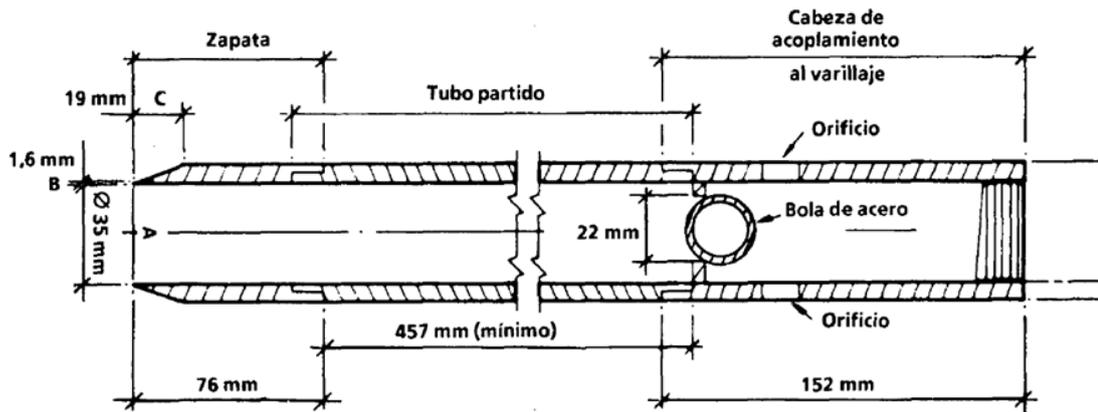


Figura 28. Sacamuestra partido ASTM D1586-84

Fuente: Crespo, 1976

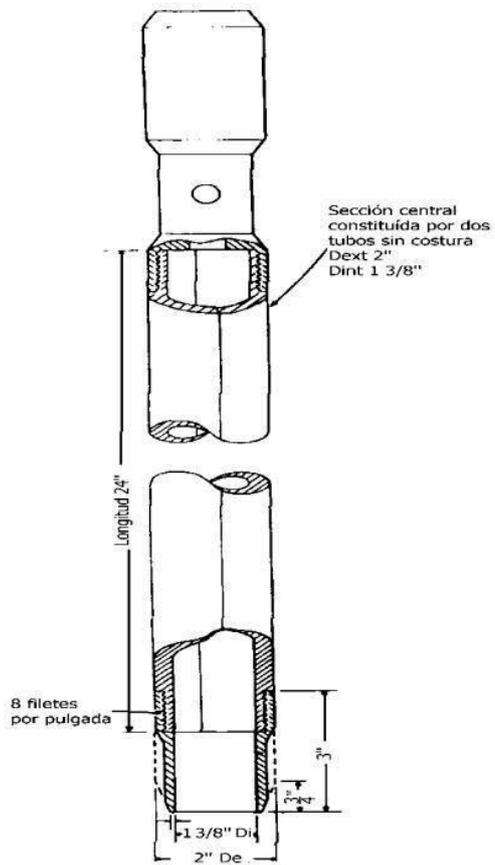


Figura 29. Cuchara partida

Fuente: Crespo, 1976

Robertson (2009), la aplicabilidad del método SPT en relación con los parámetros del subsuelo se describen en:

Tabla 12*Aplicabilidad del método SPT*

| PARAMETROS DE SUBSUELO | APLICABILIDAD DEL SPT |
|---|------------------------------|
| Tipo de suelo | B |
| Perfil estratigráfico | B |
| Densidad relativa | B |
| Módulo de elasticidad E y G módulo de corte | N |
| Comprensibilidad Cc | C |
| Consolidación Cv | N |
| Permeabilidad (k) | N |
| Resistencia a la licuefacción | A |

Fuente: Robertson, 2009

Robertson, 2009, las referencias sobre la aplicabilidad son las siguientes:

A: Aplicabilidad alta

B: Aplicabilidad moderada

C: Aplicabilidad limitada

N: Aplicabilidad nula

Tabla 13*Compacidad relativa de arena*

| Número de golpes | Compacidad Relativa |
|-------------------------|----------------------------|
| 0 – 4 | Muy suelta |
| 5 – 10 | Suelta |
| 11 – 20 | Firme |
| 21 – 30 | Muy firme |
| 31 – 50 | Densa |
| Mas de 50 | Muy densa |

Fuente: Crespo, 1979

Tabla 14*Tabla de valores para el cálculo de capacidad portante para arenas*

| Aren a N | Compacida d relativa Cr (%) | Descripció n: Densidad relativa | Ø Ángulo rozamiento interno (°) | E kg/cm ² | Id índice densidad | Losa | Zapata |
|----------------|-----------------------------------|--|---------------------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | | | | | | Qa kg/cm ² | Qa kg/cm ² |
| 0 – 4 | 0 – 15 | Muy floja | 28 | 100 | 0 – 0.15 | Requieren | Requieren |
| 5 – 10 | 16 – 35 | Floja | 28 – 30 | 100– 250 | 0.15– 0.33 | Compacta ción | Compacta ción |
| 11–30 | 36 – 65 | Media | 30 – 36 | 250– 500 | 0.33– 0.67 | 0.7 – 2.5 | 0.35– 1.25 |
| 31–50 | 66 – 85 | Densa | 36 – 41 | 500– 1000 | 0.67– 0.85 | 2.5 – 4.5 | 1.25– 2.25 |
| >50 | 86 – 100 | Muy densa | >41 | >1000 | 0.85 – 1 | > 4.5 | > 2.25 |

Fuente: Crespo, 1976

Tabla 15*Relación entre Ø y Cr*

| Relación entre Ø y Cr (Meyerhof) | |
|---|--|
| Suelos granulares con más de 5% de arena fina y limo: $N_c=25+0.15Cr$ | |
| Suelos granulares con menos de 5% de arena fina y limo: $N_c=30+0.15Cr$ | |

Fuente: Crespo, 1976

Tabla 16*Tabla de módulo de poisson*

| LEYENDA | MODULO DE POISSON | |
|---------|-----------------------|-------|
| S | Arcilla saturada | 0.45 |
| NS | No satura | 0.2 |
| AA | Arcilla arenosa | 0.25 |
| LI | Limos | 0.325 |
| AD | Arena densa | 0.3 |
| AG | Arena de grano grueso | 0.15 |
| AF | Arena de grano fino | 0.25 |
| R | Roca | 0.25 |
| L | Loees | 0.2 |
| H | Hielo | 0.36 |
| C | Concreto | 0.15 |

Fuente: Crespo, 1976

2.2.9.3. Ensayo de penetración estándar (DPL).

La estructura del DPL consta de dos ejes verticales conectados entre sí en el yunque (ASTM D 6951-03). El eje superior tiene mango y martillo. El mango se utiliza para proporcionar una altura de caída estándar de 575 mm (22,6 pulg.) para el martillo, así como una forma para que el operador sostenga fácilmente el DPL en vertical. El martillo pesa 8 kg (17,6 lb) y proporciona una fuerza de impacto constante. El eje inferior tiene un yunque en la parte superior y un cono puntiagudo en la parte inferior. El yunque detiene el martillo no caiga más allá de la altura de caída estándar. Cuando se cae el martillo y golpea el yunque, el cono se clava en el suelo. Las fotos del DCP se muestran en la Figura 1.1.

Hay algunas opciones de configuración disponibles para el DPL, que incluyen cambiar la masa del martillo, el tipo de punta y el método de grabación. La masa estándar del martillo es de 8 kg, pero hay también una alternativa de 4,6 kg. La punta DPL puede ser una punta reemplazable o un cono desechable. La punta reemplazable permanece en el DPL durante un período de tiempo prolongado, hasta que se daña o se desgasta más allá de una tolerancia definida, y luego reemplazada. El cono desechable permanece en el suelo después de cada prueba, lo que facilita la extracción del DPL. Se debe colocar un nuevo cono desechable en el DPL antes de la siguiente prueba. Se encuentran disponibles métodos manuales o automatizados para obtener las mediciones de penetración. La regla de referencia se puede adjuntar o desacoplar al DPL. La automatizada regla proporciona resultados equivalentes a la regla de referencia, pero permite un solo operador en lugar de dos. También registra

electrónicamente los datos, lo que hace que sea más práctico registrar la penetración para cada gota del martillo y transferir los datos a otros dispositivos informáticos.



Figura 30. Punto 01 de ensayo DPL



Figura 31. Punto 02 de ensayo DPL.

2.2.9.4. Ángulo de fricción interna.

Es la representación matemática del coeficiente de rozamiento, el cual es un concepto básico de la física (Rosales, 2007).

Este coeficiente indica el ángulo máximo para la pendiente de un determinado material granular. Los factores más importantes que se debe tener en cuenta son:

- Tamaño de los granos
- Forma de los granos
- Distribución de los tamaños de granos
- Densidad

Por otro lado Peck y Terzaghi (1978), el ensayo de Penetración Estándar puede utilizarse para determinar el ángulo de fricción interna (ϕ) y la cohesión (c) de un suelo mediante las siguientes correlaciones:

$$\phi = 27.1 + 0.30 + N'f - 0.00054 + (N'f)^2$$

$$C = K * Nf \dots \dots \dots [Ecuación 3]$$

Donde:

ϕ = Ángulo de fricción en grados por medio del ensayo SPT

C = Cohesión en (kN/m²) por medio del ensayo SPT

N'f = Numero de penetración estándar corregido

Nf = Numero de penetración estándar obtenido en campo

K = Valor constante es un rango de (3.5 – 6.5) k/m²

Tabla 17

Tabla de valores representativos de ϕ para arena y limos

| Material | Suelto | Denso |
|---|---------|---------|
| Arena, granos redondos y uniformes | 27.5 | 34 |
| Arena, granos angulares y bien graduada | 33 | 45 |
| Grava arenosa | 35 | 50 |
| Arena limosa | 27 – 33 | 30 – 34 |
| Limo inorgánico | 27 – 30 | 30 – 35 |

Fuente: Peck & Terzaghi, 1978

2.2.9.5. Sismicidad.

La ciudad de Ilo se encuentra ubicada en una zona de actividad sísmica, particularmente en la Pampa Inalámbrica, existen construcciones sin criterio antisísmico, preocupante por el alto contenido de sales en algunos sectores. (Aguilar y Kosaka, 2001)

En el sector 1 tenemos suelos poco consolidados con alto contenido de sales que conforma un paquete potente aumentando su velocidad en profundidad por la mayor consistencia del substrato, los daños en este sector, se debe probablemente a la falla Chololo. El sector 2 presenta los mejores suelos, determinándose el basamento rocoso entre 6.80m. A 11.00m. (Gobierno Regional Moquegua, 2014). Ilo se encuentra en zona sísmica N° 04 con un factor de 0.45. Este factor se interpreta como la aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad de 10 % de ser excedida en 50 años (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento 2018).

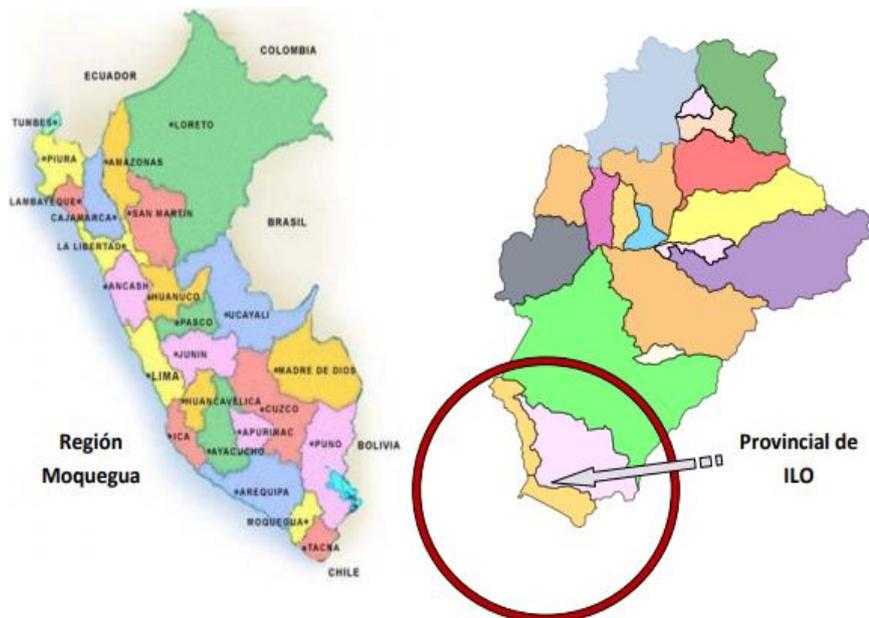


Figura 32. Mapa político del Perú y Moquegua

Fuente: Gobierno Regional Moquegua, 2014

CAPÍTULO III

MÉTODO

3.1. Tipo de la investigación

La presente investigación de la presente tesis se ajusta según:

3.1.2. En función a su propósito.

Es básica, pura. Tiene como propósito manifestar nuevas teorías o modificar las existentes y persigue el avance de los conocimientos científicos o filosóficos, pero sin disentir con ningún aspecto práctico (Rodríguez, 2011).

3.1.3. Por su nivel de profundidad.

Es experimental descriptiva debido a que la investigación busca especificar las características, especificar propiedades, a las que se someta un análisis por medio de medición y recolección de información para el estudio, explica y describe de manera independiente lo que se investiga (Rodríguez, 2011).

3.1.4. Por la naturaleza de los datos y la información.

Es cuantitativa desarrolla y utiliza hipótesis relacionadas con los fenómenos. El proceso de cálculo es fundamental para la investigación cuantitativa porque proporciona la unión fundamental entre la observación empírica y la expresión numérica de las relaciones cuantitativas (Rodríguez, 2011).

3.1.5. Por los medios para obtener los datos.

Es de campo y laboratorio la presente investigación es de campo y laboratorio según el marco en que tiene lugar, se realizarán ensayos in situ y en laboratorio (Rodríguez, 2011).

3.1.6. Por la mayor o menos manipulación de variables.

Es no experimental pues los datos se recogerán de la realidad, para analizarlos, que se procesarán mediante Software, además de no manipular la variable (Rodríguez, 2011).

3.2. Diseño de la investigación

El enfoque de la investigación es no experimental debido a que la investigación se limita a observar, y evaluar los resultados de los ensayos realizados para la obtención de capacidad, la investigación permitirá obtener información en la cual se presenta (Palella y Martins, 2018).

Orientado a la investigación transeccional o transversal que es la recopilación de datos y describen variables y las evalúan en un momento dado. Se caracteriza por obtener la recolección de datos en un solo momento lo cual es de tipo es correlacional (Rodríguez, 2011).

3.3. Población y muestra

Monje (2011), menciona que la población o universo es el conjunto de objetos, sujetos o unidades que comparten la característica que se estudia y a la que se puede generalizar los hallazgos encontrados en la muestra (aquellos elementos de los universos seleccionados) para ser sometidos a la observación.

3.3.1. Población.

Según el concepto anterior el presente trabajo de investigación tiene como población a las 1 hectáreas de los terrenos arenosos de la Asociación Casa Huerto el Bosque donde se realizará el estudio geotécnico para fines de cimentación que está registrado en la SUNARP como la extensión total del terreno.

Se tiene una segunda población a 04 ingenieros como personal técnico especializado encargado de la validación del modelo estadístico para la propuesta de cimentaciones en terrenos arenosos.

Ñaupas, Valdivia, Palacios y Romero (2011), “población de investigación es conjunto de individuos al que se refiere nuestra pregunta o respecto al se pretende concluir algo pueden ser objetos, acontecimientos, situaciones o grupos de persona”

En esta investigación se consideró como población terrenos arenosos del a asociación biohuerto el Bosque para realizar los estudios de desarrollo experimental del presente trabajo.

3.3.2. Muestra.

Para la primera población se determinó el método de **muestreo no probabilístico – intencional**, ya que la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino del proceso de toma de decisiones de un investigador (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

La selección de la muestra se realizó en una zona de expansión en la provincia de Ilo, se tomará en cuenta la norma E-050 para la elección de número de puntos de investigación.

Para el caculo de la muestra se realizó la utilización de la siguiente formula:

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot q}{\varepsilon^2 \cdot (N-1) + Z^2 \cdot p \cdot q} \dots\dots\dots[\text{Ecuación 4}]$$

Donde:

n : Tamaño de la muestra

N : Tamaño de la población (180)

p : Proporción de éxito (0,95)

q : Proporción de no éxito (0,05)

ε: Error de estimación 5% (0,05)

Z : Nivel de confianza con una probabilidad del 95% (1,96)

$$n = \frac{15 \cdot 0,182476}{0,05^2 \cdot (14) + 0,182476}$$

n = 5.14 - - - 5 personal técnico especializado

Según Cantoni (2009), “Es una fracción o segmento de una totalidad que constituye una población en cierta manera un replica en miniatura de la población, ya que el estudio de muestras es más sencillo que el de la población completa porque implica menor costo y demanda menos tiempo”

En este trabajo de investigación se tomó 02 calicatas como muestra.

3.3.3. Muestreo.

Según Hernández y Natalia (2019), “Es el proceso de selección de materiales de una población con la finalidad de analizarlos y poder concretar el total de la población, el muestreo se va a clasificar en dos grupos, unos serán probabilísticos, serán basando en base al criterio de la probabilidad y los otros como no probabilísticos, lo cual selecciona a un sujeto de la población” tal cual se muestra en la figura 14.

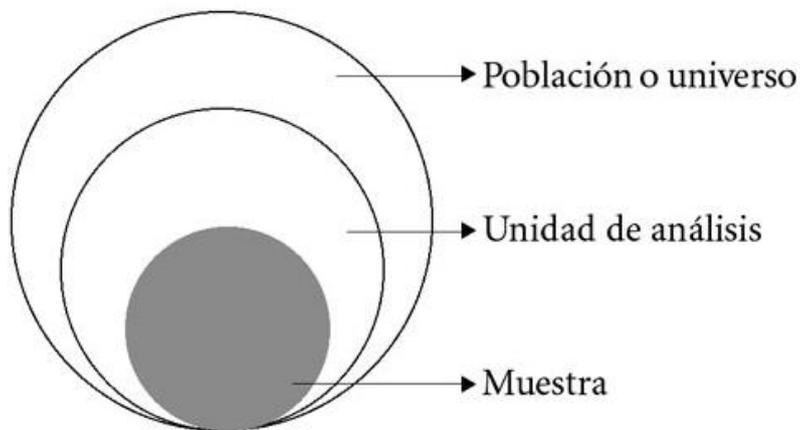


Figura 33. Ejemplo de población, unidad de análisis y muestra.

Fuente: Picado, 2017

3.3.4. Unidad de análisis.

Según Corbetta (2007) “es una definición abstracta, que domina el tipo de objeto social al que se al que se refieren las propiedades”. Esta unidad se localiza en el tiempo y en el espacio, definiendo la población de referencia de la investigación, cabe reconocer múltiples unidades de análisis en la observación sistemática, dependiendo del marco teórico del que se parte, las hipótesis que se plantean, los objetivos de la investigación y las características. Ocurrencia temporal continua o discontinua.

La muestra es finita se obtendrán en 02 puntos específicos dentro de 1 hectáreas de la Asociación Casa Huerto El bosque

3.3.5. Validez.

Según Mata (2020), validez se enfoca primeramente al valor de los hallazgos que se encuentran en un estudio, las conclusiones y respuestas las que se llegan y las posibilidades de réplica en otras investigaciones.

Para la realización de la validación del instrumento empleado para la recolección de datos presentado en la investigación se procedió a realizar un cuestionario y se seleccionaron 10 preguntas por parte de los representantes del colegio de ingenieros, Luego se le realizo este cuestionario a 4 ingenieros civiles pertenecientes al colegio de ingenieros se alcanzó una alta confiabilidad adjunta en el anexo 3 y 4.

En la siguiente tabla 18 se detalla el cálculo con el método de alfa de crombach, esta fórmula permite corroborar la correcta confiabilidad del instrumento utilizado.

Tabla 18

Cuadro de cálculo de alfa de crombach.

| Expertos técnicos | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | Suma |
|--------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-------------|
| 1 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 49 |
| 2 | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 47 |
| 3 | 4 | 3 | 4 | 5 | 5 | 4 | 3 | 5 | 5 | 4 | 42 |
| 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 40 |
| VARIANZA | 0.19 | 0.69 | 0.19 | 0.19 | 0.25 | 0.19 | 1 | 0.19 | 0.19 | 0.19 | |
| ΣVARIANZAS | 3.250 | | | | | | | | | | |
| VARIANZA Σ ITEMS | 13.25 | | | | | | | | | | |

$$\alpha = \frac{k}{k+1} * \left[1 - \frac{\sum S_i^2}{S_t^2} \right] \dots\dots\dots[Ecuación 5]$$

Donde:

α = coeficiente de confiabilidad

k= número de ítems del cuestionario

$\sum S_i^2$ = sumatoria de varianzas de los ítems

S_t^2 = varianza total del instrumento

Operando la formula obtuvimos:

K = 10

$$\sum S_i^2 = 3.250$$

$$S_t^2 = 13.250$$

$$\alpha = 0.838574$$

3.3.6. Confiabilidad.

Según Mata (2020), la confiabilidad está en relación a la estabilidad de todos los datos que logran ser obtenidos y la eliminación de riesgos que varían entre los distintos casos y momentos de aplicación, descansa tanto en aspectos propiamente técnicos, como también humanos.

Con los resultados se obtuvo una confiabilidad del 83.86% que se usó para esta investigación. Comparando el resultado con la tabla 3 tenemos una confiabilidad excelente de acuerdo al coeficiente Crombach.

Tabla 19

Cuadro de confiabilidad alfa de Crombach.

| RANGO | CONFIABILIDAD |
|--------------|-------------------------|
| 0.53 a menos | Confiabilidad nula |
| 0.54 a 0.59 | Confiabilidad baja |
| 0.60 a 0.65 | Confiable |
| 0.66 a 0.71 | Muy confinable |
| 0.72 a 0.99 | Excelente confiabilidad |
| 1 | Confiabilidad perfecta |

Fuente: Sánchez, Reyes y Mejía, 2018

3.4. Descripción de instrumentos para recolección de datos

3.4.1. Técnicas.

Según Chagoya (2018), Técnicas es el conjunto de elementos o factores los cuales son normativos y que una adecuada estructura a la investigación, con ellos se estructural las fases o etapas de la investigación y se aumentan instrumentos y medios que serán usados para la recolección y conservación de datos.

Las principales técnicas de recolección de datos son:

- 1) Encuesta: Recopila información mediante preguntas, cuestionarios (Rodríguez, 2011).
- 2) Entrevista: Es un medio de recopilación de información es una situación de interrelación o diálogo entre persona (Rodríguez, 2011).
- 3) Análisis documental: recolecta los datos de fuentes secundarias, libros, boletines, revistas, periódicos se usa una ficha de registro de datos (Rodríguez, 2011).
- 4) Observación no experimental: Se utiliza esta técnica para profundizar el conocimiento del comportamiento de la exploración (Rodríguez, 2011).
- 5) Observación experimental: elabora datos puede manipular las variables (Rodríguez, 2011).

3.4.2. Técnica documental.

Esta investigación tuvo como técnica documental la información obtenida mediante ensayos de laboratorio, ensayos de geofísica, normas, fichas de la zona Asociación Casa Huerta el Bosque.

3.4.3. Técnica de campo.

Esta investigación tuvo como técnica de campo, el muestreo de materiales existentes en la zona (suelos arenosos) muestreados en envase térmicos debidamente codificados.

3.4.4. Instrumentos de la recolección de datos.

Hojas de registro: son formatos que facilitan el registro y organización de la información, describe e interpreta (Rodríguez, 2011) y Guía de observación: es el registro descriptivo, permite determinar procesos (Rodríguez, 2011).

Para el trabajo de investigación se empleará la técnica de observación no experimental y análisis del estudio para obtener los datos del terreno, pues los datos se recogerán de la realidad, para analizarlos.

Tabla 20

Técnicas e Instrumentos

| Nº | TÉCNICAS | INSTRUMENTOS | FUENTE |
|----|------------------------|--|---|
| 1 | Experimental | Ensayos de Laboratorio | Anotaciones de la observación directa en la zona de estudio |
| 2 | Análisis documental | Fichas de investigación de datos geológicos | - Descripción de resultados |
| 3 | Ensayos de laboratorio | Ficha de registro de datos. Protocolos de laboratorio. | - Recolección de muestras del suelo a investigar. - Recolección de los datos obtenidos en el laboratorio |
| 4 | Revisión de documentos | Fichas resumen | - Recolección y análisis de los resultados. |

La presente investigación se realizó mediante un laboratorio de mecánica de suelos “Geotécnica y Pavimentos del Sur”, para lo cual se realizaron los siguientes ensayos Granulometría, pesos específicos, Ensayo de límites, Tamizado por mallas, ensayos Marshall, ensayo de CBR, ensayo de proctor. Se establecieron fichas las cuales los resultados se están presentando en los apéndices.

Se utilizaron los siguientes manuales y reglamentos MTC, AASHTO y ASTM, establecidos como guías para la elaboración de ensayos de laboratorio.

3.5. Procedimientos

a) Ubicación de la zona de estudio

b) Normativa a utilizar

- MTC – (Manual de ensayos de laboratorio)
- AASTHO (American Association of state Highway and transportation)
- ASTM (American society for testing and materials)

c) Muestras realizadas

La toma de muestras como se observa en la figura 16. Es primordial para la etapa de control de calidad.

3.6. Métodos análisis de datos

El método de análisis de datos se organiza, describen los datos obtenidos con los instrumentos de investigación.

El análisis de datos se realizará de la información recogida de manera organizada la cual se procesará y plasmará en hojas de cálculo, utilización de tablas de Excel.

La descripción y el análisis de datos se manejarán a través de planos con los resultados obtenidos, serán transcritos a hojas de Excel, gráficos, que permita relacionarlos y dar recomendaciones de cimentación o tratamiento del suelo.

Para el procesamiento: reconocimiento y ubicación de puntos de exploración SPT, formatos de ensayos de laboratorio.

La recopilación de información se realiza mediante la revisión de material bibliográfico, muestreo de los suelos en las exploraciones se presentan formatos, y ensayos de SPT, límites de Atterberg y cálculos de los ensayos especiales.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Presentación de resultados

Se realizó ensayo de SPT N°01 en la zona de investigación “Casa Huerta el Bosque”, así mismo en dicho cuadro se demuestra que el suelo es totalmente arenoso de baja resistencia.

Así mismo se realizaron un total de 34 golpes en la última capa, donde claramente se muestra que el suelo es blando.

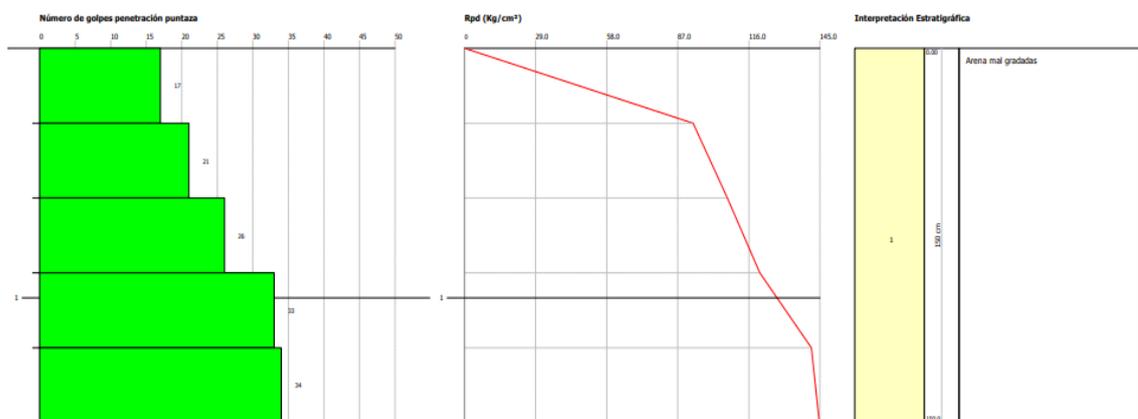


Figura 34. Resultado ensayo de SPT N°01

Se realizó el ensayo de SPT N°02 en la zona de investigación “Casa Huerta el Bosque”, así mismo en dicho cuadro se demuestra que el suelo es totalmente arenoso de baja resistencia.

Así mismo se realizaron un total de 50 golpes en la última capa, donde claramente se muestra que el suelo es blando.

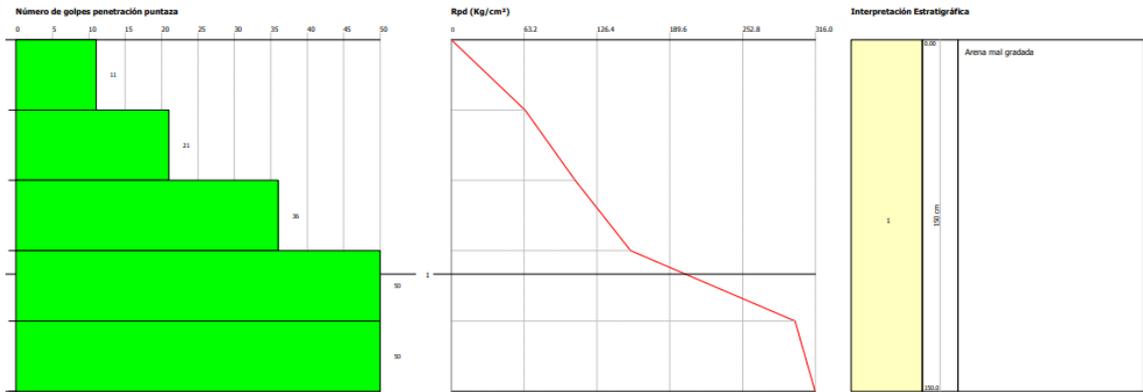


Figura 35. Resultado ensayo de SPT N°02

Se realizó el ensayo de DPL N°01 en la zona de investigación “Casa Huerta el Bosque”, así mismo en dicho cuadro se demuestra que el suelo es de baja capacidad resistente.

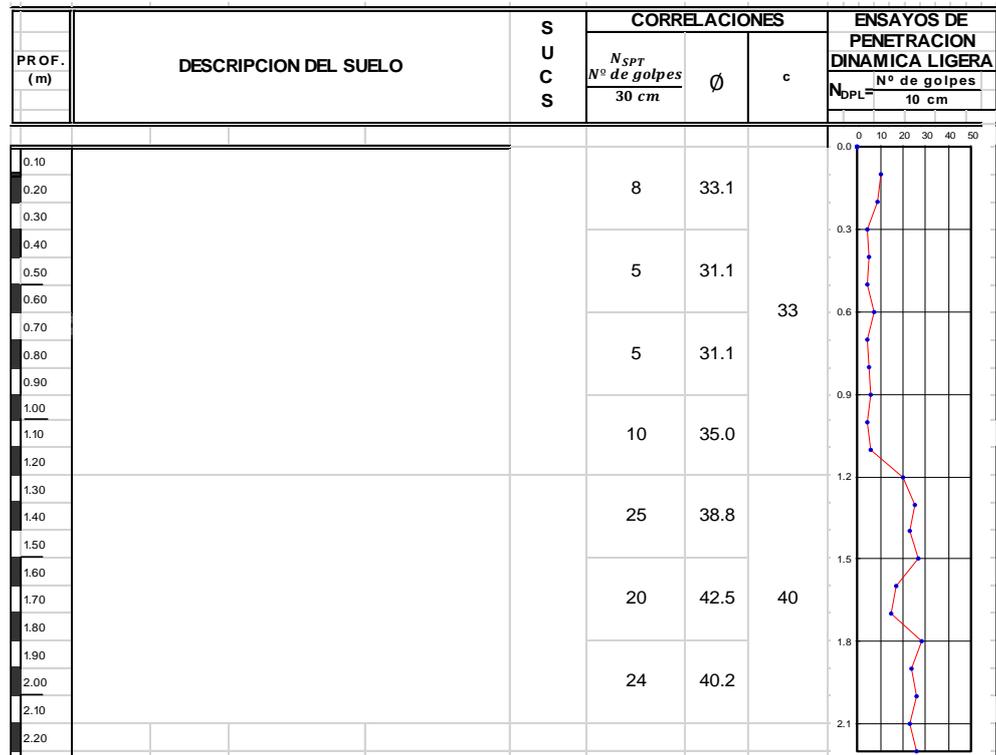


Figura 36. Ensayo DPL N°01

Se realizó el ensayo de DPL N°02 en la zona de investigación “Casa Huerta el Bosque”, así mismo en dicho cuadro se demuestra que el suelo es de baja capacidad resistente.

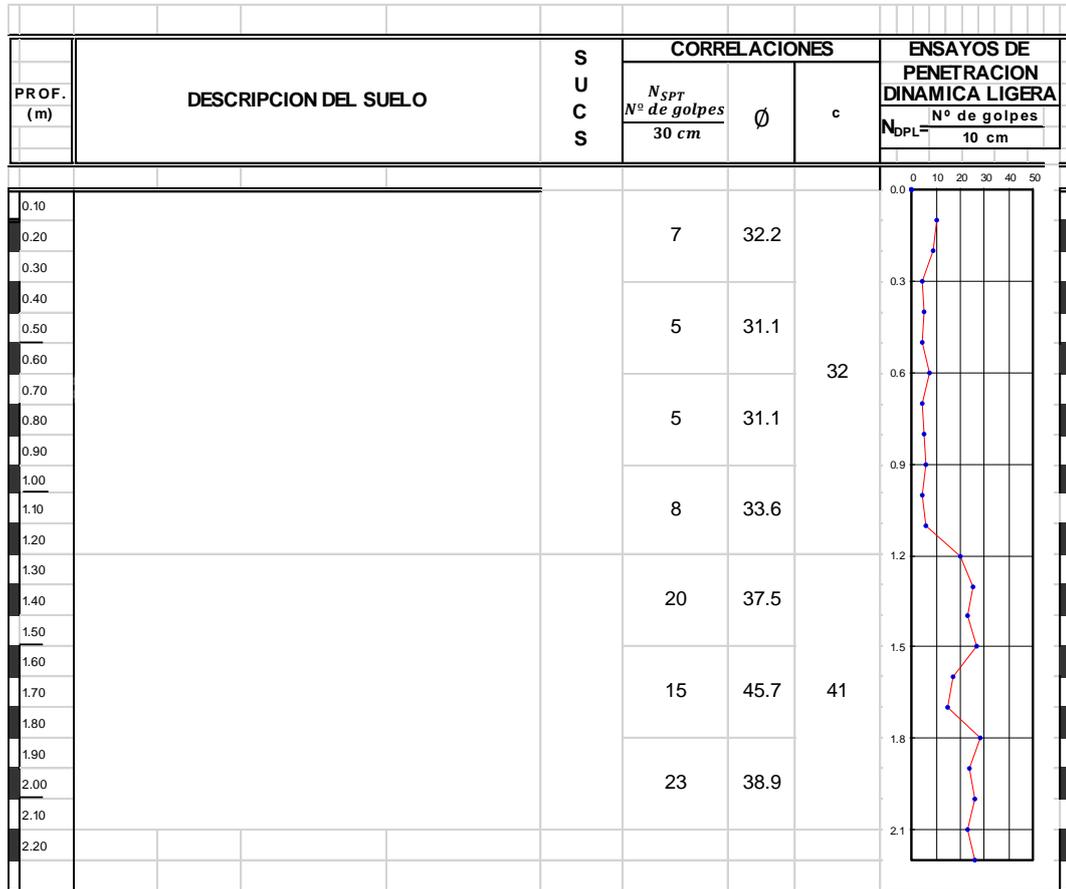


Figura 37. Ensayo de DPL N°02

4.2. Resumen de Resultados

Tabla 21

Capacidad portante

| CAPACIDAD PORTANTE | CALICATA N°01 | CALICATA N°02 |
|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| METODO: | | |
| DENSIDADES(CALICATAS) | 0.97 kg/cm ² | 0.94 kg/cm ² |
| METODO:SPT | 1.10 kg/cm ² | 1.05 kg/cm ² |
| METODO:DPL | 0.96 kg/cm ² | 0.93 kg/cm ² |

Tabla 22*Características del suelo arenoso*

| CARACTERISTAS POR METODO DE DENSIDAD | | |
|---|---------|---------|
| CALICATA | C-01 | C-02 |
| ESTRATO | E-01 | E-01 |
| PROFUNDIDAD | 3.00 m | 3.00 m |
| % FINOS | 93.84 % | 92.74 % |
| INDICE PLASTICIDAD | NP | NP |
| CLASIFICACION DE SUELOS SUCS | SP SM | SP SM |
| CLASIFICACION ASHTO | A-1-b | A-1-b |
| % HUMEDAD | 2.54 | 2.2 |
| PESO UNITARIO SUELTO (KG/CM3) | 1561.8 | 1519.3 |
| PESO UNITARIO COMPACTADO (KG/CM3) | 1753.9 | 1705.8 |
| CAPACIDAD PORTANTE A 2 METROS (kg/cm2) | 0.97 | 0.94 |

4.3. Contrastación de hipótesis

Hipótesis 1. Se obtendrá las características físicas del suelo arenoso mediante los ensayos de laboratorio. Se da por consentida la hipótesis, puesto de con los ensayos de laboratorio se determinó que es una arena mal graduada con limo (SP, SM).

Hipótesis 2. Con la realización de ensayos SPT y DPL. Se cuantificará las resistencias obtenidas en suelos arenosos. Se da por consentida la hipótesis, puesto que con dichos ensayos se obtuvo de forma numérica las capacidades del suelo.

Hipótesis 3. Con la comparación de resultados se demostrará la metodología más precisa en suelos arenosos. Se da por consentida la hipótesis se determinó que el método SPT es el más directo y menos conservador.

4.4. Discusión de resultados

El análisis de laboratorio se comprueba que en la zona de investigación existe material arenoso. El método SPT presenta valores más conservadores, se encontró similitud con las tesis descritas en los antecedentes, donde se recomienda usar el SPT en suelos arenosos.

Se verifico que es de suma importancia la calibración de los equipos de laboratorio con la finalidad de tener resultados más precisos. Con la realización de las 02 calicatas de exploración, se pudieron visualizar el material arenoso en toda la profundidad excavada.

Se cumplió con los objetivos específicos de la matriz de investigación. Según los cálculos el método DPL es 12% más conservador que el SPT, mientras que el método de corte directo es 11% más conservador que el DPL.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Primera. Se obtuvo la capacidad portante con los ensayos SPT y DPL los cuales fueron para la calicata N°1: 1.10 kg/cm² y 0.96 kg/cm² respectivamente y para la calicata N°2: 1.05 kg/cm² y 0.93 kg/cm² respectivamente. En tal sentido se acepta la hipótesis general ya que se obtuvo los resultados para ver la resistencia del suelo arenoso.

Segunda. Se determinó las características y propiedades geotécnicas del terreno arenoso con los ensayos realizados en el terreno de estudio (Ver Apéndice A para obtener información más detallada). En tal sentido se acepta la hipótesis ya que se obtuvo las características físicas de las propiedades del suelo.

Tercera. Se realizó los ensayos SPT y DPL y se evaluó los resultados con la finalidad de obtener valores de resistencia con ambas metodologías de medición. En tal sentido se acepta la hipótesis ya que se cuantificó los resultados de resistencias obtenidas en dichos ensayos en los suelos arenosos de estudio.

Cuarta. Se analizó los resultados obtenidos en los ensayos SPT y DPL demostrando claramente que con el ensayo DPL se obtienen resultados más conservadores en el suelo arenoso. En tal sentido se acepta la hipótesis ya que se demostró que metodología es mas precisa en suelos arenosos en la zona de estudio, siendo el ensayo DPL.

5.2. Recomendaciones

Primera. Para realizar el cálculo de capacidades portantes se recomienda utilizar el ensayo de DPL cuyos valores son más aproximados y directos, puesto que no necesita correlaciones previas.

Segunda. El valor de DPL no necesita correlación con otro equipo, así mismo su valor es más conservador y se aproxima más a la capacidad portante realizada mediante densidad natural.

Tercera. De acuerdo a la hipótesis de la presente investigación se da por aceptada la hipótesis nula, donde se plantea que los ensayos de penetración son los más aproximados y que a su vez tiene más precisión al momento de presentar valores para la determinación de capacidad portante.

Cuarta. En la zona se obtuvo las siguientes capacidades portantes 0.96 kg/cm² y 0.93 kg/cm², el ensayo de DPL que es el más aproximado y recomendado para cálculos en cimentaciones en suelo arenoso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, V., y Kosaka, R. (2001). *Características Espacio-Tiempo de la Sismicidad Superficial en la Región Sur del Perú durante el periodo de 1976 a 2005*. Perú: Instituto Geofísico. UNSA.
- Archenti, J. (2018). *Zonificación de la Capacidad Portante del Suelo en la localidad de Languas distrito de Lagunas, Alto Amazonas-region Loreto*. (Tesis de Pregrado) Tarapoto-Perú: Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto.
- Bañon, L., & Beví, J. (1999). *Manual de Carreteras*. España: Ortiz e Hijos, Construcciones (Alicante).
- Beltrán, J., & Díaz, D. (2018). *Análisis de la capacidad de carga admisible de los suelos de cimentación del complejo arqueológico Chan Chan debido al ascenso del nivel freático* (Tesis de Pregrado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú.
- Cantoni, N. (2009). Técnicas de muestreo y determinación del tamaño de la muestra en investigación cuantitativa. *Revista Argentina de Humanidades y Ciencias Sociales*, 07(02), 3-5.
- Cañar, E. (2016). *Análisis comparativo de la resistencia al corte y estabilización de suelos arenosos finos y arcillosos combinadas con ceniza de carbón*. (Tesis de Pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.
- Cerato, A., & Lutnegger, A. (2006). *Determination of Surface Area of Fine-Grained Soils by the Ethylene Glycol Monoethyl Ether (EGME) Method*. EE.UU: Geotechnical Testing Journal.

- Chagoya, R. (2018). *Métodos y técnicas de investigación*. Recuperado de <https://www.gestiopolis.com/metodos-y-tecnicas-de-investigacion/>
- Corbetta, P. (2007). *Metodología y Técnicas de Investigación Social*. España: Closas-Orcoyen.
- Crespo, C. (1976). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. México: Limusa Noriega Editores.
- Cruz, E., & Taco, F. (2021). *Estabilización de una base húmeda con material particulado para elevar la resistencia a compactación en pavimentos flexibles vías urbanas, Arequipa 2021*. (Tesis de Pregrado). Universidad César Vallejo, Lima, Perú.
- Duque, G., & Escobar, C. (2002). *Mecánica de los Suelos*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Manizales.
- Fernández, R. (2015). *Capacidad Portante con Fines de Cimentación Mediante los Ensayos SPT Y Corte Directo en el Distrito de Aguas Verdes-Tumbes*. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- Gobierno Regional Moquegua. (2014). *Mapa Político del Perú y Moquegua*. Perú: Gobierno del Perú.
- Gonzales, V. (2006). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson educación.
- Graneros, A., & Tito, J. (2017). *Caracterización Geotécnica del Suelo de la APV Ayllu Rau Rau, Mediante la prueba Estándar de Penetración (SPT) con el Cono de Peck para fines de Cimentación en Edificaciones 2016*. (Tesis de Pregrado). Universidad Andina del Cusco, Cuzco, Perú.
- Grupo Sacsa. (2015). *Propiedades de los suelos arenosos*. Recuperado de <https://www.gruposacsa.com.mx/propiedades-de-los-suelos->

02_E/2018_E050_RM-406-2018-VIVIENDA.pdf

Monje, C. (2011). *Metodología de la investigación Cuantitativa y Cualitativa*. Colombia: Universidad Surcolombiana.

Municipalidad Provincial de Ilo. (2017). *Plan de Desarrollo local concertado*. Recuperado de <http://mail.mpi.gob.pe/images/PUBLICACIONES/PLAN-DE-DESARROLLO-LOCAL-ILO-AL-2030-VERSION-FINAL.pdf>

Municipalidad Provincial de Ilo. (2020). *Mejoramiento del Servicio de Ordenamiento Territorial Ilo*. Peru.

Municipalidad Distrital del Algarrobal. (2018). *Plan de prevención y reducción de riesgos de desastres de la Municipalidad del Algarrobal 2019- 2022*. Recuperado de <http://sigrid.cenepred.gob.pe>

Núñez, L., & Rodas, N. (2015). *Guía Para el Mejoramiento de la Capacidad de Carga en Terrenos de Consistencia Blanda a Media*. (Tesis de Pregrado). Universidad del Ecuador, Ecuador.

Ñaupas, H., Valdivia, M., Palacios, J., & Romero, H. (2018). *Metodología de la investigación Cuantitativa - Cualitativa y Redacción de la Tesis*. Bogota: Ediciones de la U.

OfiGeo. (2016). *Repaso a los factores de corrección en el SPT*. Recuperado de <https://ofigeo.wordpress.com/2016/01/04/factores-de-correccion-en-el-spt/>

Palella, S., & Martins, F. (2018). *Metodologia de la Investigacion Cuantitativa*. Caracas: Fedupel.

Peck, R., & Terzaghi, K. (1978). *Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica*. España: El Ateneo.

- Pérez, J. (2010). *Conceptos Generales de la Mecánica de Suelos*. España: D.T.C-Coruña.
- Picado, L. (2017). *¿Qué es una muestra y cómo se selecciona?* Recuperado de <https://biblioinfo.unan.edu.ni/?p=2888>
- Quesada, L. (2017). *Determinación de la capacidad de carga en cimentaciones superficiales sobre bases estratificadas en suelos friccionales*. (Tesis de Pregrado). Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba.
- Reglamento Nacional de Edificaciones. (2020). *Norma E.050 Suelos y Cimentaciones*. Perú.
- Robertson, P. (2009). *Interpretation of Cone Penetration Tests – a unified approach*. Canadá: Canadian Geotechnical Journal.
- Rodríguez, W. (2011). *Guía de la Investigación Científica*. Perú: Editorial UCH.
- Rosales, R. (2007). *Variación de la Cohesión y el Ángulo de Fricción Interna obtenidos por los Ensayos de Corte Directo y Triaxial con Materiales Granulares y Arcillosos*. (Tesis de Pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, San Carlos, Guatemala.
- Sainz, J. (2000). *Estudio Geotécnico*. España: Grupo Inzamac.
- Sánchez, H., Reyes, C., & Mejía, K. (2018). *Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística*. (Tesis Pregrado). Universidad Ricardo Palma, Lima. Perú.
- Villanueva, H. (2018). *Influencia del Suelo arenoso en el comportamiento Estructural de una Edificación de Albañilería Confinada de 5 Pisos en Ventanilla*. (Tesis de Pregrado). Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú.