



UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y
ARQUITECTURA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

T E S I S

**PROPUESTA DE CIMENTACIÓN PARA EDIFICACIÓN DE
ALTA DENSIDAD, CON MENOR CONSOLIDACIÓN DE
SUELO EN EL APV INADE C.P. LOS ÁNGELES DE
MOQUEGUA, 2019**

PRESENTADA POR

BACHILLER SANDRA VALERIA COPARA ADASME

ASESOR:

ING. EMERSHON ESCOBEDO CABRERA

PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO CIVIL

MOQUEGUA - PERÚ

2021

CONTENIDO

	Pág.
Página de jurado.....	i
Dedicatória.....	ii
Agradecimientos	iii
Contenido.....	iv
INDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	xii

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la realidad del problema	1
1.2. Definición del problema	1
1.2.1. Problema general.	1
1.2.2. Problemas específicos.....	1
1.3. Objetivos de la investigación.....	2
1.3.1. Objetivo general.....	2
1.3.2. Objetivos específicos.	2
1.4. Justificación	2
1.5. Alcances y limitaciones	4
1.6. Variables	6
1.6.1. Operacionalización de variables.	6

1.7. Hipótesis de la investigación	6
1.7.1. Hipótesis general.	6
1.7.2. Hipótesis derivadas.	6

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación.....	8
2.1.1. Antecedentes Internacionales.	9
2.1.2. Antecedentes Nacionales.	12
2.2. Bases teóricas.....	15
2.2.1. Cimentaciones.....	15
2.2.2. Consolidación de Suelo.	20
2.2.3. Estudio de Mecánica de Suelos.	32
2.3. Definición de términos	50

CAPÍTULO III

MÉTODO

3.1. Tipo de la investigación.....	53
3.2. Diseño de la investigación.....	53
3.3. Población y muestra.....	54
3.3.1. Población.	54
3.3.2. Muestra.	54
3.4. Descripción de instrumentos para recolección de datos	55

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Presentación de resultados	58
---------------------------------------	----

4.1.1. Muestreo de la Zona de Estudio.	58
4.1.2. Muestreo de la Zona de Estudio.	59
4.2. Contrastación de hipótesis	70
4.2.1. Contrastación de hipótesis 1.	70
4.2.2. Contrastación de hipótesis 2.	71
4.2.3. Contrastación de hipótesis 3.	80
4.3. Discusión de resultados	81
4.3.1. Contrastación de hipótesis.	81

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.....	83
5.2. Recomendaciones	85
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	86
MATRIZ DE CONSISTENCIA	90
INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	92

ÍNDICE DE TABLAS

Contenido de tablas	Pág.
Tabla 1 Operacionalización de variables	6
Tabla 2 Variables para el cálculo del asentamiento elástico en zapatas	26
Tabla 3 Límites de coeficiente de Consolidación Secundaria (Cc)	29
Tabla 4 Tipo de Edificación	32
Tabla 5 Número de Puntos de Investigación.....	33
Tabla 6 Prueba de Duncan al 0,05 para la altura de planta a los 20 días de realizado el injerto.....	40
Tabla 7 Pesos mínimos para agregado grueso	42
Tabla 8 Cantidades de material por tamaño de partícula	44
Tabla 9 Capacidad del Pictómetro	46
Tabla 10 Cuadro Resumen de Ensayos.....	69
Tabla 11 Asentamiento S1	74
Tabla 12 Asentamiento S2	76
Tabla 13 Asentamiento S3	79
Tabla 14 Cuadro Resumen de Análisis Asentamiento por Consolidación	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido de figuras	Pág.
Figura 1. Ubicación de la zona de estudio	5
Figura 2. Tipos de Cimentaciones en Planta	17
Figura 3. Tipos de Cimentaciones en Planta	18
Figura 4. Tipos de Cimentaciones en Planta	18
Figura 5. Tipos de Cimentaciones en Planta	19
Figura 6. Zapata Combinada – Planta – Perfil – 3D	19
Figura 7. Zapata Combinada – Planta – Perfil – 3D	20
Figura 8. Gráfico de la consolidación del suelo.	21
Figura 9. Zapata cuadrada & Grafico de la Presión de Hundimiento	23
Figura 10. Valores de I_c , con m_l y n_l	31
Figura 11. Imagen y dimensiones del Ranurador del Aparato Casa Grande	36
Figura 12. Imagen y dimensiones del Aparato Casa Grande	37
Figura 13. Forma correcta de a muestra en la Cuchara o Cazuela	37
Figura 14. Muestra de suelo dividida antes y después del ensayo	38
Figura 15. Sistema elemental de aplicación de vacío.	47
Figura 16. Densidad del agua y Coeficiente de Temperatura (K) para varias temperaturas – Parte 1	48
Figura 17. Densidad del agua y Coeficiente de Temperatura (K) para varias temperaturas – Parte 2	49
Figura 18. Diversas Formas de hacer Perfil Estratigráfico – Calicatas.....	51
Figura 19. Ubicación de la zona de estudio – Calicatas.....	54
Figura 20. Ubicación de la zona de estudio – Vista Panorámica.....	54

Figura 21. Ubicación de la zona de estudio – Vista Trasera.....	55
Figura 22. Clasificación de edificación y número de calicatas.....	57
Figura 23. Ubicación de la zona de estudio	59
Figura 24. Ejecución de Calicatas con Retroexcavadora.....	60
Figura 25. Perfil Estratigráfico Calicata 01.....	61
Figura 26. Perfil Estratigráfico Calicata 02.....	62
Figura 27. Perfil Estratigráfico Calicata 03.....	63
Figura 28. Ensayo de Granulometría - Tamizaje	64
Figura 29. Ensayo de Granulometría – Pesos por Retenidas	64
Figura 30. Ensayo de Límite Líquido	65
Figura 31. Ensayo de Límite Plastico	66
Figura 32. Ensayo de Humedad	66
Figura 33. Toma de dimensiones – Ensayo Peso Específico.....	67
Figura 34. Peso Específico con Parafina.....	67
Figura 35. Vista en Planta del área a Construir Edificación de Alta Densidad	71
Figura 36. Vista en Planta del área para tomar los Cálculos.....	72
Figura 37. Vista en Sección para cálculo de pesos	72
Figura 38. Vista de la Zapata Conectada para Cálculos.....	73
Figura 39. Vista de la Zapata Conectada con Resultados	75
Figura 40. Vista de la Zapata Combinada para Cálculos	76
Figura 41. Vista de la Zapata Combinada con Resultados.....	78
Figura 42. Vista de la Zapata Combinada para Cálculos	79
Figura 43. Vista de la Zapata Combinada con Resultados.....	80

RESUMEN

La presente investigación se desarrolló en el ámbito de una propuesta de cimentación para una edificación de alta densidad, siendo el problema general determinar que cimentación superficial genera menor consolidación del suelo en la APV INADE del C.P. Los Ángeles de Moquegua, que es el suelo de la zona en estudio. La investigación es de tipo cuantitativa, con un nivel de investigación descriptivo y con un diseño de investigación experimental. Se utilizaron técnicas e instrumentos de recolección de datos, como formatos para realizar los ensayos y cálculos para los resultados. Para elaborar este trabajo se emplearon ensayos de campo y laboratorio, de esta manera se pudo determinar que con una cimentación superficial de tipo: zapata combinada el asentamiento por consolidación del suelo es 0,5cm, en el caso de una zapata conectada el resultado del análisis es 0,9cm y finalmente para una platea de cimentación el valor del asentamiento generado es de 0,03cm; ya que los asentamientos son menores a 1cm, concluyendo que es posible utilizar la cimentación superficial: zapata conectada.

Palabras clave: cimentación, consolidación del suelo, zapata combinada, zapata conectada, platea de cimentación, suelo.

ABSTRACT

This investigation was developed for a foundation proposal for a high-density building, be the general problem determinate which surface foundation generates the less consolidation on the soil in the APV INADE of C.P. Los Angeles, Moquegua; it is the soil of study zone. The research is quantitative, with a descriptive research level and with an experimental research design. I used data collection techniques and instrument, as formats to carry out the test and calculations for the results. To elaborate this investigation work I used test camp and laboratory, in this way could be determinate that with a superficial foundation of type: combined footing the settlement by consolidation of the soil is 0,5cm, in the case of a connected footing the result of the analysis is 0,9cm and finally for a foundation plate the value of generated settlement is 0,03; since the settlements are less than 1cm, concluding that it is possible to use the superficial foundation: connected footing

Keywords: foundation, soil consolidation, combined footing, connected footing, foundation plate, soil.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la mecánica de suelos, así como el desarrollo de las infraestructuras genera que cada día se preste mayor atención a cada uno de los procedimientos de ingeniería civil con el fin de desarrollar proyectos que cumplan con las necesidades de los usuarios y los servicios sean óptimos, seguros, confiables y duraderos.

Los cimientos son la base para toda estructura, transmiten las cargas al suelo y deben diseñarse de acuerdo a criterios de servicialidad y resistencia, es por eso por lo que se tiene que determinar el más adecuado, dependiendo del uso y del tipo de suelo en el que se proyecte. En la especialidad de ingeniería civil, día con día nos enfrentamos a variedad de problemas planteados por el suelo, que soporta el peso de todo tipo de estructura, así como la cimentación diseñada para cada una.

Uno de los comportamientos presentados por el suelo debido a la interacción con una cimentación, sea superficial para el caso; es la consolidación generada por la aplicación de cargas externas las que son producidas por una edificación de alta densidad.

Mediante métodos de cálculo para la consolidación de suelos, se analiza las Características Físicas y Mecánicas del suelo de la zona de estudio, a su vez se calcula cuanto es la consolidación que genera una cimentación superficial como son: platea de cimentación, zapata combinada, zapata conectada; de la evaluación se determina con que cimentación produce la menor consolidación en el suelo de la zona de estudio Asociación Privada de Vivienda (APV) INADE del Centro Poblado (C.P.) Los Ángeles.

El contenido de la investigación está organizado de tal forma que haya una secuencia entre los diferentes aspectos analizados.

En el Capítulo I se desarrolla el Problema de la Investigación, aquí tenemos la definición del problema, los objetivos de la investigación, la justificación, los alcances y limitaciones, las variables que presenta y finalmente la hipótesis.

En el Capítulo II se considera el Marco Teórico, que contiene los antecedentes de la investigación, así como el mismo marco teórico para todo el proyecto.

Luego en el Capítulo III titulado Método, encontramos el tipo y también el diseño de la investigación, la población que se interviene y muestra y como ultimo ítem la descripción de instrumentos a usar para la recolección de datos.

Capitulo IV denominado Análisis e Interpretación de Resultados, se considera la presentación de resultados, se contrastan las hipótesis y se discuten los resultados obtenidos.

En el Capítulo V se presentan todos los ensayos realizados para determinadas características físicas y mecánicas del suelo.

Capítulo VI en este capítulo final se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas de la investigación

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la realidad del problema

En edificaciones de alta densidad, la cimentación que se realice tiene que considerar el evitar la generación de daños a la estructura, así como al suelo de fundación, a este último en gran manera. Por tal motivo se evalúa la consolidación que genera en el suelo y a su vez se analiza la cimentación, ya sea zapata conectada, zapata combinada o platea de cimentación, que genere menor consolidación del suelo en la APV INADE del C.P. Los Ángeles.

La búsqueda de información permite mostrar lo encontrado, detallándolo a continuación: en la Cartilla “Conociendo los Suelos de Moquegua” del Centro de Estudios y Prevención de Desastres (PREDES) y el Colegio de Ingenieros del Perú (CIP), ambos de Moquegua del año 2004 en la pág. 04, nos detalla la Zona I ubicada en el C.P. Los Ángeles, presenta una descripción de gravas con matriz arenosa limosa.

Como penúltima información encontrada el PROYECTO LIBR DIGITAL ZONIFICACION GEOTECNICA SISMICA DE LA CIUDAD DE MOQUEGUA (2011) en la pág.06 indica que la Zona I, conformada por el C.P. Los Ángeles y el Cercado, es la parte consolidada de Moquegua, superficialmente presenta un

material de relleno medianamente compacto, hasta los 2m de profundidad. El terreno natural está conformado por gravas con matriz arenosa y limosa.

Finalmente, el Plan de Desarrollo Urbano Sostenible Moquegua – Samegua 2016, en el folio 1009 indica que en la expansión urbana a corto plazo (2019) los suelos vacantes son los del C.P. Los Ángeles y Estuquiña, en el folio 1025 indica que el C.P. Los Ángeles está conformado por área urbanizable con un 7,48%.

Ahora tomando en consideración la información encontrada, así como la normatividad vigente E.050 Suelos y Cimentaciones, se determina la consolidación que se produce en el suelo, y a su vez la cimentación superficial de una edificación de alta densidad que genere menor consolidación en el suelo de la APV INADE del C.P. Los Ángeles.

1.2. Definición del problema

1.2.1. Problema general.

¿Cuál propuesta de cimentación para que una edificación de alta densidad generara menor consolidación del suelo en la APV INADE del C.P. Los Ángeles, Moquegua 2019?

1.2.2. Problemas específicos.

¿Qué propiedades físico – mecánicas influyen en la consolidación del suelo en la APV INADE del C.P. Los Ángeles, Moquegua 2019?

¿Cuáles son las cimentaciones que se proponen para una edificación de alta densidad en la APV del C.P. Los Ángeles, Moquegua 2019?

¿Cuál es la consolidación generada en el suelo por una edificación de alta densidad en la APV INADE del C.P. Los Ángeles, Moquegua 2019?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general.

Determinar la propuesta de cimentación para una edificación de alta densidad que genere menor consolidación del suelo en la APV INADE del C.P. Los Ángeles, Moquegua 2019.

1.3.2. Objetivos específicos.

Determinar las propiedades Físico – Mecánicas del suelo en la APV INADE del C.P. Los Ángeles, Moquegua 2019.

Identificar los tipos de cimentaciones propuestos para el suelo de la APV INADE del C.P. Los Ángeles, Moquegua 2019.

Determinar la consolidación que produce una edificación de alta densidad en el suelo de la APV INADE del C.P. Los Ángeles, Moquegua 2019.

1.4. Justificación

Justificación Técnica: La investigación va a determinar el fenómeno que asocia la deformación por variación gradual de volumen debido a cargas externas y la modificación de las condiciones de esfuerzo de los suelos, llamado CONSOLIDACION; las cargas son de una edificación de alta densidad y con esto determinar la cimentación superficial que genere menor consolidación en la APV INADE del C.P. Los Ángeles. Ya que como es de conocimiento la consolidación del suelo llega a causar daños en las estructuras que en muchos casos las vuelve inutilizables e inhabitables. Ya que Moquegua está ubicada en una zona altamente sísmica es que se vuelve necesario tener un estudio de asentamientos por consolidación del suelo ya que los suelos de Moquegua tienen diferentes

clasificaciones y estratigrafía; sumándole las cargas que soporta el suelo de edificaciones con funcionalidad diversa y variable, es casi obligatorio contar con un estudio de asentamiento por consolidación de suelos.

Justificación Social: Debido a que Moquegua está creciendo demográficamente es necesario realizar un crecimiento vertical, es decir proyectar la construcción de edificios para que la población pueda vivir en ellos; motivo por el cual el presente estudio propone una edificación de alta densidad; ya que el crecimiento horizontal de una ciudad se convierte en un problema para el Centro Poblado Los Ángeles y a la vez para la ciudad de Moquegua, es que se evalúa que a esto concentrar a la población en edificaciones verticales se logra mejorar la calidad de vida de las personas generándoles beneficios propios y para la sociedad por ejemplo: reducir gastos en servicio y mantenimiento, vigilancia, recolección de basura, alumbrado público y alcantarillado. La construcción de este tipo de edificaciones nos permite ahorrar en infraestructura y servicios básicos, pudiendo abastecer a un sector que logra satisfacer a mayor cantidad de usuarios; las edificaciones verticales se generan a partir de la sobrepoblación que exista en un área, como es el caso del C.P. Los Ángeles.

Justificación Metodológica: se desarrolla en tres fases que son campo, laboratorio y documental; la fase inicial es la obtención de muestras del área a analizar, acompañado de la realización de ensayos en campo que correspondan; la siguiente fase de laboratorio comprende la realización de ensayos que se pueden realizar en un laboratorio con las condiciones de seguridad y los equipos completos para obtener como fase final los resultados procesados de los ensayos realizados en

campo y laboratorio, referenciada con documentación como normas o libros relacionados al tema en estudio.

En efecto la información obtenida puede ser utilizada como guía o referencia para otras futuras construcciones circundantes de alta densidad en la APV INADE del C.P. Los Ángeles, con el procedimiento correcto y evitar la pérdida de vidas como también que la edificación sea segura, económica y funcional; se debe tener en cuenta que para cada construcción se tiene que hacer un estudio.

1.5. Alcances y limitaciones

Los alcances son los siguientes:

La consolidación menor del suelo de la zona de estudio

Los tipos de cimentación superficial que se proponen para generar una menor consolidación en el suelo serán:

- Zapata conectada
- Viga de cimentación
- Platea de cimentación

No se ha encontrado información de estudios, ni ensayos para edificaciones realizados en la zona del estudio, por lo que todos los ensayos son para el suelo de la APV INADE del C.P. Los Ángeles. Los resultados obtenidos mediante el análisis de campo y laboratorio sólo se aplican al terreno y edificación comprendida en el trabajo de investigación.

El trabajo de investigación sólo evalúa las cimentaciones superficiales, no se toman en cuenta las cimentaciones profundas.

La consolidación del suelo obtenida en el trabajo es de la APV INADE del C.P. Los Ángeles, en la siguiente figura observaremos la ubicación de la zona de estudio.



Figura 1. Ubicación de la zona de estudio

1.6. Variables

1.6.1. Operacionalización de variables.

En la tabla 1 se visualiza la operacionalización e variables desarrollada en esta investigación, incluyendo sus dimensiones e indicadores correspondientes a cada variable.

Tabla 1

Operacionalización de variables

Tipo de variable	Variable	Dimensiones	Indicadores
Independiente	Consolidación del Suelo	Propiedades físico-mecánicas	Cont. Humedad Granulometría Plasticidad Densidad Peso Específico
Dependiente	Cimentaciones	Tipos de Cimentaciones	Zapata Conectada Zapata Combinada Plateas de Cimentación

1.7. Hipótesis de la investigación

1.7.1. Hipótesis general.

Una platea de cimentación genera menor consolidación para una edificación de alta densidad en el suelo de la APV INADE del C.P. Los Ángeles, Moquegua 2019.

1.7.2. Hipótesis derivadas.

Las propiedades físico – mecánicas del suelo como son la plasticidad, ángulo de fricción, densidad, granulometría, peso específico y humedad influirán en la consolidación del suelo de la APV INADE del C.P. Los Ángeles.

Una zapata conectada, zapata combinada o platea de cimentación, son tipos de cimentaciones propuestas que generarán menor consolidación para una edificación de detalle en la APV INADE del C.P. Los Ángeles, Moquegua 2019.

Según el tipo de suelo encontrado y el tipo de edificación, la consolidación para una platea de cimentación será de 1 pulgada = 2,54 centímetros, en la APV INADE del C.P. Los Ángeles, Moquegua 2019.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

En Moquegua debido al crecimiento demográfico que se proyecta de aproximadamente más de 5mil personas, en el transcurso del periodo 2019 – 2020, es el motivo que genera la necesidad de viviendas, debido a esto se establece un crecimiento vertical en la ciudad, con edificaciones de alta densidad. Ya que las áreas de expansión urbana no llegan a satisfacer en su totalidad si se realiza un crecimiento horizontal.

En edificaciones de alta densidad la cimentación que se realice tiene que considerar el evitar la generación de daños a la estructura, así como al suelo de fundación, a este último en gran manera. Por tal motivo se evalúa la consolidación que genera en el suelo y a su vez se analiza la cimentación, ya sea zapata conectada, zapata conectada o platea de cimentación, que genere menor consolidación en el suelo en la APV INADE del C.P. Los Ángeles.

La búsqueda de información permite mostrar lo encontrado detallando a continuación: en la cartilla “Conociendo los Suelos de Moquegua” del Centro de Estudios y Prevención de Desastres (PREDES) y el Colegio de Ingenieros del Perú

(CIP) ambos de Moquegua en el año 2004, en la página 4 nos detalla la zona I ubicada en el C.P. Los Ángeles, presenta una descripción de gravas con matriz arenosa limosa.

Como penúltima información encontrada el PROYECTO IBRO DIGITAL ZONIFICACION GEOTECNICA SISMICA DE LA CIUDAD DE MOQUEGUA (2011) en la pág.06 indica que la Zona I, conformada por el C.P. Los Ángeles y el cercado; es la parte más consolidada de Moquegua; superficialmente presenta un material de relleno medianamente compacto, hasta los 2m de profundidad. El terreno natural, conformado por gravas con matriz arenosa y limosa.

Finalmente el Plan de DESARROLLO Urbano Sostenible Moquegua – Samegua 2016 – 2026 contiene en el folio 1009 que la expansión urbana a corto plazo (2019) los suelos vacantes son los del C.P. Los Ángeles y Estuquiña en el folio 1025 indica que el C.P. Los Ángeles está conformado por área urbanizable con un 7,48%

Ahora tomando en consideración la información encontrada, así como la normatividad vigente E.050 Suelos y Cimentaciones, se determina la consolidación que se produce en el suelo, y a su vez la cimentación superficial de una edificación de alta densidad que genera menor consolidación en el suelo de la APV INADE del C.P. Los Ángeles.

2.1.1. Antecedentes Internacionales.

Moya (2015), en su tesis de la Universidad Técnica de Ambato, Ambato – Ecuador, “Estudio y Análisis del Comportamiento Estructural de Cimentaciones Superficiales por Efectos de Consolidación del Suelo de Fundación según la

Metodología Propuesta por la Norma Ecuatoriana de la construcción”, detalla que las cargas que transmite la cimentación a las capas del terreno causan tensiones y por ende, deformaciones en la capa del terreno de fundación: el objetivo es estudiar y analizar el comportamiento estructural de cimentaciones superficiales por efectos de consolidación del suelo de fundación según la metodología propuestas por la Norma Ecuatoriana de la Construcción. La metodólogos o modalidad de la investigación se desarrollaron en 03 etapas: de campo, de laboratorio y documental.

Rodríguez (2018) en su tesis de la Universidad Estatal del sur de Manabí Jipijapa – Manabí – Ecuador, “Determinación de las características físicas y mecánicas del suelo para implantación de edificaciones de baja categoría, ciudadela Bellavista ciudad de Jipijapa”, detalla que el estudio se realizó en una zona de alta sismicidad, por eso se hace este estudio para determinar las propiedades del suelo y determinar que no se pueden realizar construcciones de más de 3 pisos. El objetivo es determinar las características físicas y mecánicas del subsuelo para fundación de edificaciones de categoría baja en la ciudadela de Bellavista ubicada en la ciudad de Jipijapa; los métodos de investigación que se desarrollan en la investigación son método bibliográfico, método de campo y método experimental, las técnicas utilizadas son observación y medición. Como conclusiones tenemos que el suelo encontrado según la Norma Ecuatoriana es suelo sísmico tipo D y E, poco colapsable no susceptible a licuefacción y por último al manejar e interpretar los resultados arrojados por los sondeos debe ser con cautela ya que la dureza del suelo varia de acuerdo al cambio de sitio, distancia y profundidad.

Baque (2017), en su tesis de la Universidad Estatal del sur de Manabí, Jipijapa – Manabí – Ecuador, “Caracterización físico – mecánicas del suelo para

cimentación en edificaciones de categoría baja, sector By Pass – Jhon F. Kennedy, ciudad Jipijapa”, detallando el objetivo es reconocer mediante ensayos de campo y laboratorio las físicas y mecánicas del suelo para la cimentación de las edificaciones de baja categoría en el sector by pass de la ciudad de Jipijapa. El método de investigación empleado en esta tesis se divide en tres partes, el método documental, método de campo y el método de laboratorio; las técnicas e instrumentos de recolección de datos fueron la medición y la observación mediante ensayos del suelo. En conclusión los diferentes métodos estudiados sirvieron para escoger el procedimiento de muestreo y los tipos de ensayos que son necesarios al momento de diseñar una cimentación para construir.

Limachi (2019), en su tesis de la Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba – Bolivia, “Determinación de la Capacidad Portante y Tipo de Fundación para un edificio de 8 niveles”, detalla el cálculo y análisis de cimentaciones superficiales, cimentaciones profundas y un método computacional para determinar los asentamientos en función de la capacidad de carga del tipo de suelo en estudio, para la construcción de un edificio de 8 niveles.

Hernández (2018) en su tesis de la Universidad Estatal del Sur de Manabí, Jipijapa – Manabí – Ecuador, “Determinación de las características físicas y mecánicas del suelo para implantación de edificaciones de categoría baja en la ciudadela 24 de Mayo, ciudad Jipijapa”, el objetivo de la investigación es determinar mediante sondeos y ensayos de laboratorio las características físicas y mecánicas de suelos para la implantación de edificaciones de categoría baja en la ciudadela 24 de Mayo, ciudad Jipijapa; la metodología implementada se desglosa

en tres partes: método bibliográfico, método de campo y método de laboratorio; las técnicas aplicadas son la observación y medición en el ensayo de suelo.

Vivar (2019), en su tesis de la Universidad Estatal del Sur de Manabí, Jipijapa – Manabí – Ecuador, “Caracterización físico-mecánica del suelo utilizado como cimentación para edificaciones de hasta tres niveles, ciudadela Eloy Alfaro – Jipijapa”, detalla la solución a problemas geotécnicos permitiendo verificar su uso en la construcción de hasta 3 niveles, mediante ensayos de campo y laboratorio. El objetivo es categorizar el suelo natural existente en la ciudad Eoy Alfaro de la ciudad de Jipijapa, determinando las propiedades físicas y mecánicas del mismo, que permitan avalar la estabilidad en cimentaciones para edificaciones de hasta tres niveles. Las condiciones metodológicas de esta investigación son de una investigación Aplicada. Como conclusión de la investigación se pudo determinar que los suelos de la ciudadela Eloy Alfaro son aptos para la construcción de edificaciones de hasta tres niveles ya que tiene una capacidad de carga aceptable y no están dentro de los suelos considerados de alto riesgo sísmico.

2.1.2. Antecedentes Nacionales.

Laura (2016), en su tesis de la Universidad Nacional del Altiplano de la ciudad de Puno – Perú, “Evaluación de la Capacidad Predictiva de los Métodos de Estimación del Comportamiento Mecánico de los Suelos Lacustres de la Bahía de Puno, para Cimentaciones Superficiales”, detalla el comportamiento mecánico del suelo y la construcción de cimentaciones superficiales, con el objetivo de determinar la carga máxima admisible, expresada mediante la capacidad portante del suelo, que no cause ningún tipo de problema de rotura o deformación excesiva del suelo que afecte el normal y adecuado funcionamiento de servicio de estructuras. El objetivo

es evaluar la capacidad predictiva de los métodos de estimación del comportamiento mecánico de los suelos lacustres de la bahía de Puno para cimentaciones superficiales, mediante la aplicación de procedimientos y métodos disponibles

Baquerizo (2015), en su tesis de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos de la ciudad de Lima -Perú, “Estudio geotécnico de suelos para la construcción del complejo deportivo Piuray Pampa, distrito de Chincheros Urubamba – Cusco”, detalla que el objetivo es tener un estudio geotécnico donde se emplazaran las estructuras proyectadas del complejo con el fin de establecer las estructuras proyectadas del complejo, y establecer las condiciones físicas mínimas de suelo para ser tomadas en cuenta en el diseño de las cimentaciones. La metodología de trabajo aplicada fue llevada en 4 fases: recolección y análisis de datos existentes, inspección de campo, ensayos de laboratorio y trabajo de gabinete. Finalmente durante el reconocimiento geológico de la zona de estudio no se ha apreciado riesgo geológico que pueda afectar la vulnerabilidad de las estructuras proyectadas en la zona, los parámetros sísmicos son: Suelo tipo S4, factor e zona de 0,30, clasificación de suelo 1,40 y periodo predominante de 0,90; la capacidad admisible y el asentamiento para diferentes dimensiones y profundidades de desplante van entre 0,77 a 2,20 y 1,189 a 7,773 respectivamente

Vilcas (2018), en su tesis de la Universidad Nacional Federico Villareal de la ciudad de Lima – Perú, “Planeamiento del mejoramiento del suelo empleando relleno fluido para la construcción de los Edificios Multifamiliares en la Obra Casa Club Recrea “Los Nogales”, Distrito del Agustino, Lima”, detalla la alternativa de solución a los problemas de los suelos para las estructuras donde los procedimientos

de compactación tradicionales no son las adecuadas ante las exigencias solicitadas. Tiene como objetivo plantear la mejora del suelo empleando el relleno fluido como base de cimentación para vivienda de edificios multifamiliares del proyecto casa club recrea Los Nogales. Se puede concluir que los rellenos fluidos son una solución ventajosa y eficiencia en el proceso frente a un relleno granular u otros métodos complejos y costosos, generando beneficios en tiempo y costo, destacando la facilidad de colocación, el hecho que no necesite compactación; generando ausencia de asentamientos y deformaciones. La metodología o esquema de trabajo fue con trabajo de campo, formatos de los ensayos, trabajo de gabinete y estadísticas e interpretación.

Escobar (2018), en su tesis de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión de la ciudad de Huánuco – Perú, “Diseño de cimentación y estudio de suelo en el minicomplejo deportivo del centro poblado de Ampas – Huari”, tiene como objetivo determinar la relación que existe entre el diseño de cimentación y estudio de suelo en el minicomplejo deportivo del centro poblado de Ampas-Huari. El proceso por el cual se desarrolló esta investigación se dio en 6 actividades; análisis preliminar, evaluación de campo, características del suelo, estudio de suelos, determinar la cimentación adecuada y los resultados metodológicos. Finalmente se evaluaron asentamientos y volteos, se realizaron calicatas entre 3,20m a 3,60m, concluyendo que el diseño, la evaluación y tipo de cimentación si se relaciona con el estudio de suelos.

Aya (2015), en su tesis de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de la ciudad Tacna – Perú, “Estudio de suelos con fines de cimentación en las asociaciones de vivienda San Cristobal, San Juan Bosco y San Fernando del

sector VII del Distrito Alto de la Alianza – Región Tacna”, tiene como objetivos realizar el estudio geotécnico en la zona de estudio y otro de los objetivos es determinar las propiedades físicas, químicas y mecánicas del suelo incluyendo su capacidad portante y la posibilidad de ocurrencia de asentamientos diferenciales, la metodología empleada fue exploración por medio de sondeo eléctrico y con calicatas de 3m de profundidad. Para concluir nos indica que los suelos tienen problemas moderados de colapso produciendo asentamientos diferenciales.

Olarte (2019) en su tesis de la Universidad Nacional Federico Villareal de la ciudad de Lima – Perú, “Mecánica de suelos aplicada a la verificación de la capacidad de carga para cimentaciones a emplearse en los talleres productivos del E.P. Cusco – Varones”, tiene como objetivos realizar el estudio de mecánica de suelos con fines de verificar la capacidad de carga para las cimentaciones a emplearse como talleres, concluyendo después de realizar los ensayos para el estudio de mecánica de suelos que el suelo según la clasificación SUCS es GM hasta una profundidad de 3m y la cimentación sugerida es una zapata cuadrada conectada por vigas de conexión continua.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Cimentaciones.

Los cimientos o cimentación son el conjunto de elementos con la función de soportar y transmitir las cargas de las superestructuras y el peso propio de estas al suelo, distribuyéndolas de forma que no exceda su presión admisible. También presenta otras funciones como apoyar a la construcción, distribuir en un área determinada las cargas, limitar los asentamientos generados en el suelo, con el

objetivo de controlar los daños que se puedan generar y mantener la estructura con la verticalidad que fue planificada.

Para determinar el tipo de cimentación de una estructura, se debe tener en cuenta las cargas que se van a aplicar, el uso de la edificación, la ubicación del terreno, los resultados obtenidos del estudio de mecánica de suelos o geotecnia, en especial hay que prestarle atención al terreno ya que la estabilidad de la estructura depende en mayor porcentaje de este. De acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) E.050 Suelos y Cimentaciones.

La elección de una cimentación inadecuada, mal diseñada o mal calculada se traduce en una probabilidad de colapso de la edificación y de las edificaciones colindantes.

2.2.1.1. Clases de Cimentaciones.

Los cimientos se clasifican en cimientos propiamente dichos, anclajes y muros-pantalla; en el caso de los cimientos tenemos de

2.2.1.1.1. Cimentaciones Superficiales.

Se realizan cuando el terreno es lo suficientemente bueno para poder resistir las cargas sin generar asentamientos en el terreno de fundación; las limitaciones son para suelo orgánico, tierra vegetal, relleno de desmonte, rellenos sanitarios o no controlados. Si se encontrara un suelo con las características mencionadas, el material se elimina y reemplaza con otros materiales, mejorando las propiedades físico – mecánicas del suelo y su capacidad portante. (Salvador, 2013)

De acuerdo a lo especificado en el RNE la profundidad de cimentación es definida por el ingeniero responsable del proyecto, no debe ser menor de

80centímetros para elementos portantes o no portantes, varia en casos de cimentación sobre roca. (Salvador, 2013)

2.2.1.1.1. Tipos de Cimentaciones Superficiales.

Dependiendo de las necesidades de la fundación y de las características del suelo puede diseñarse diferentes tipos de fundaciones superficiales como se detalla a continuación. (Harmsen, 2005)

Se dividen interiormente en zapata aislada, zapata conectada, zapata combinada, cimiento corrido y platea de cimentación.

Los tipos de fundaciones explicados anteriormente se pueden observar en la siguiente figura.

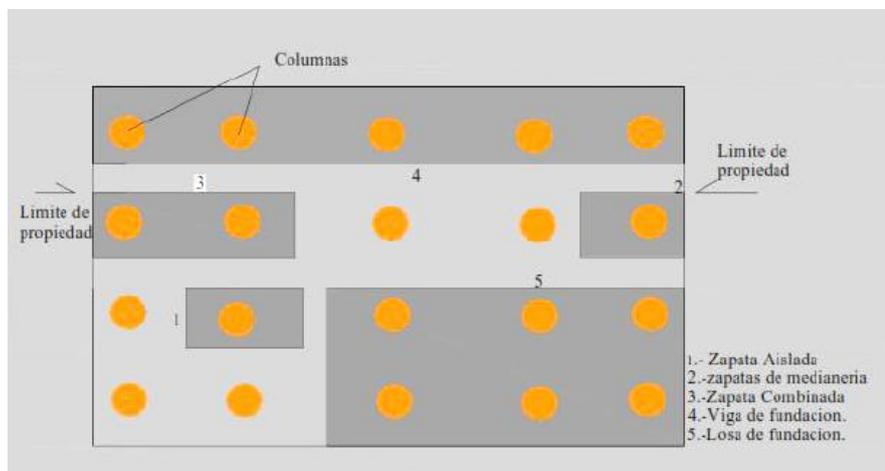


Figura 2. Tipos de Cimentaciones en Planta

2.2.1.1.1.2. Zapata Conectada.

Básicamente está constituida por dos zapatas aisladas; una zapata es excéntrica, que está al límite de la propiedad y la otra zapata es interior, unidas por una viga de conexión rígida o viga de cimentación.

Se considera una solución económica para distancias entre ejes de columna mayores a 6m, ya que es usualmente más económica que una zapata combinada. Se usan generalmente cuando el terreno es de capacidad portante baja o para aliviar las presiones de la zapata al terreno

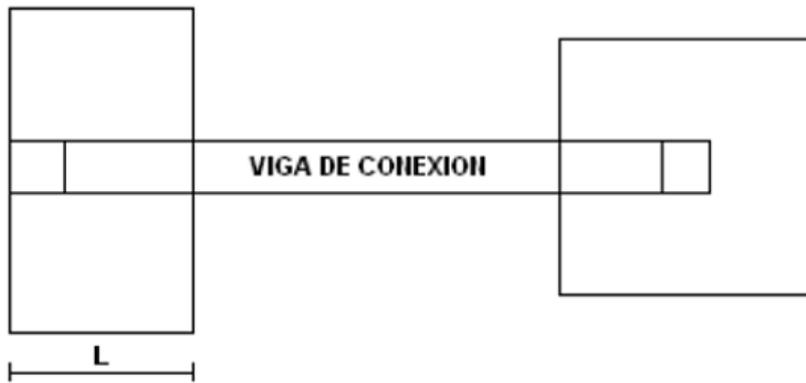


Figura 3. Tipos de Cimentaciones en Planta

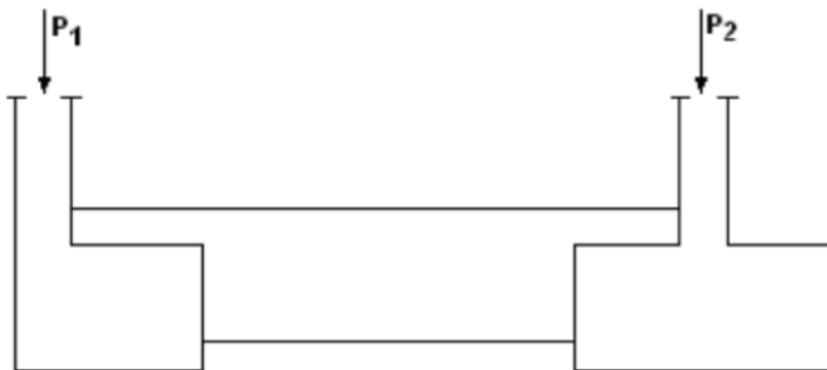


Figura 4. Tipos de Cimentaciones en Planta

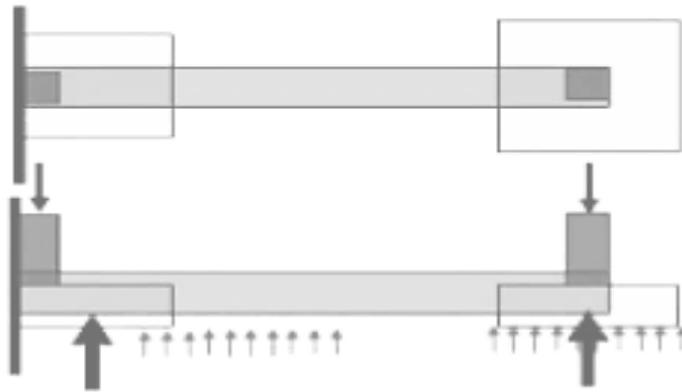


Figura 5. Tipos de Cimentaciones en Planta

2.2.1.1.1.2.1. Zapata Combinada.

Generalmente se las emplea cuando se tiene dos columnas cercanas o cuando una de ellas se sitúa en el límite de la propiedad del terreno, de tal forma que la unión entre ambas zapatas contrarresta la excentricidad de estas. Este tipo de zapatas también se emplea cuando se tiene un elemento estructural como las cajas de ascensores. (Harmsen, 2005)

Se caracteriza por soportar más de una columna alineada sobre la misma base, además de tener un espesor mucho mayor que el espesor de una zapata aislada. Es utilizada cuando la capacidad portante es baja.

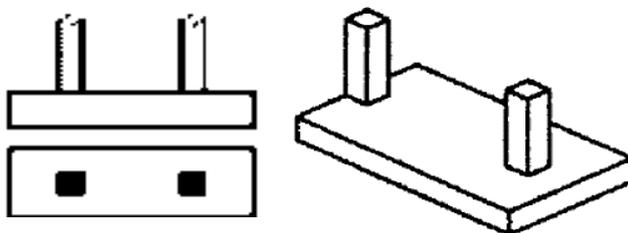


Figura 6. Zapata Combinada – Planta – Perfil – 3D

2.2.1.1.1.2.2. *Platea de Cimentación.*

Losa de fundación; son necesarias cuando el área requerida es mayor al 50% de la planta del edificio, generalmente abarca toda la superficie de la estructura y soporta varias columnas. Este tipo de fundación se utiliza generalmente para edificios mayores a 8 planta o cuando se tiene la presencia de un sótano o semi sótano. (Harmsen, 2005)

Son cimentaciones superficiales, sobre el terreno natural. Las plateas actúan como planos rígidos y tienen la propiedad de repartir uniformemente las cargas sobre el terreno (Román, 2016), que se ve menos con menos carga puntual de columnas, cuando el terreno es malo, rellenos, arcillas; evitando asentamientos diferenciales que se pueden producir con otro tipo de fundación debido a la pérdida de agua del suelo. (Facundo, 2021)

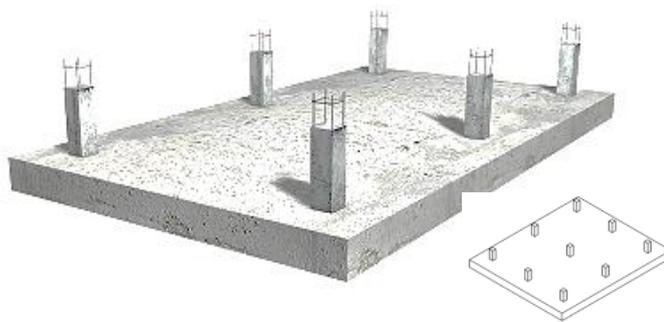


Figura 7. Zapata Combinada – Planta – Perfil – 3D

2.2.2. **Consolidación de Suelo.**

Es el asentamiento que depende del tiempo; esta deformación es generada por la compresión de los estratos de suelo, debido a la aplicación de un incremento de esfuerzos provocado por una construcción o por otras cargas, que producen una variación en la estructura del material que es ocasionada por el exceso de presión

intersticial y con esto se produce el incremento en la resistencia del suelo, que esta liderada por la reducción de vacíos (reducción de espacios que se encuentran ocupados por agua o por aire) que existen en el estrado de suelo, esta presión es disipada mediante el flujo de agua al exterior donde el tiempo del proceso y la velocidad van a depender de la permeabilidad del suelo. La compresión es causada por:

- La deformación de las partículas del suelo en estudio.
- El reacomodo e las partículas del suelo en estudio.
- Expulsión de los espacios vacíos, como son los espacios ocupados por el agua o aire.

Según la norma ASTM D2435; proceso de disminución de volumen o relación de vacíos, provocado por un aumento de cargas en el suelo.

Otra definición es: cuando el suelo se somete a cargas externas que generan en este un incremento de esfuerzos entonces se produce un exceso de presión que se disipa mediante el flujo del agua al exterior, la velocidad de drenaje dependerá de la permeabilidad del suelo.

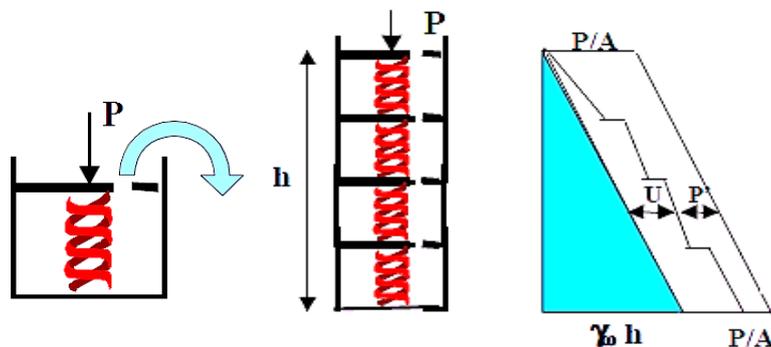


Figura 8. Gráfico de la consolidación del suelo.

Fuente: Das, 2015

En suelos granulares: la permeabilidad es alta, por ende las presiones se disipan rápidamente y el asentamiento se termina durante la construcción. En cambio en suelos arcillosos la permeabilidad es muy baja, por tanto la presión se disipa muy lento y los asentamientos pueden producirse varios años después de que se termine la construcción.

Las características esfuerzo, deformación y tiempo de un suelo dependerá del tipo de suelo, su consistencia, la forma en la que se carga, la ubicación en la columna estratigráfica.

2.2.2.1. Asentamiento.

Es la compresión de la masa de suelo o la deformación vertical del suelo debido a la aplicación de cargas que generan cambio de tensiones dentro del suelo.

Las tensiones son transmitidas al suelo y dan lugar a deformaciones del terreno, conocidas como asentamientos, desplazamientos horizontales o giros de las estructuras, en caso estos resulten excesivos pueden causar la pérdida de la funcionalidad de cualquier estructura.

Por ejemplo, en una zapata el asentamiento crece, cuando la carga vertical aplicada también crece. La curva de presión vs asentamiento, dependen de su forma, tamaño, naturaleza y resistencia del suelo, y de la carga aplicada, como muestra la figura siguiente.

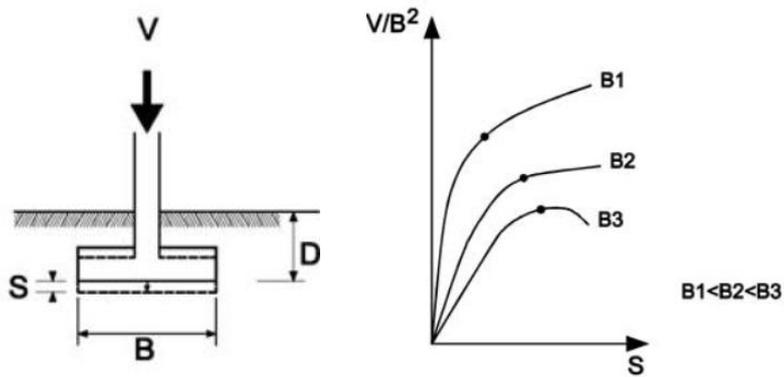


Figura 9. Zapata cuadrada & Grafico de la Presión de Hundimiento

Fuente: Das, 2015

En una zapata el asentamiento es directamente proporcional a la carga vertical aplicada a la cimentación que transmite al suelo (Cañi, 2019); los gráficos de curvas presión – asentamiento, se obtienen gracias al tamaño, forma, resistencia del suelo, naturaleza y carga que se aplique.

2.2.2.2. Tipos de Asentamiento por Consolidación.

- a. Asentamiento Inmediato: Aquí no se produce el cambio de volumen, los cálculos se basan en ecuaciones de la teoría de la elasticidad.
- b. Asentamiento por Consolidación Primaria: Se genera un cambio de volumen, una reducción; debido a la eliminación del agua de los espacios vacíos como consecuencia de la aplicación de cargas y en esta etapa las cargas son soportadas o transferidas al esqueleto o estructura mineral del suelo.
- c. Asentamiento por Consolidación Secundaria: Es un ajuste plástico de la estructura del suelo; se liberan los espacios vacíos y se acomodan las partículas del suelo.

2.2.2.2.1. *Asentamiento Inmediato o Elástico.*

Es cuando se produce la reducción inmediata del volumen del suelo debido a la aplicación de cargas y la deformación elástica del suelo. Tenemos dos métodos de calcular este tipo de asentamiento:

A. *Método 01: Janbú y colaboradores.*

Establecieron ecuaciones con variables A1 y A2, necesarias para el cálculo del asentamiento; y Janbú y colaboradores plantearon la ecuación para el cálculo del asentamiento elástico en arcillas:

$$A1 = H/L = L/B \dots \dots \dots [Ecuación 1]$$

$$A2 = Df/B \dots \dots \dots [Ecuación 2]$$

$$Se = A1 \times A2 \times (q_0) \times B / E_s \dots \dots \dots [Ecuación 3]$$

Donde las variables de las ecuaciones son:

Se = Asentamiento Elástico (en mm)

q_0 = Presión neta aplicada sobre la cimentación (en kg/m^2)

$$q_0 = Q/A \dots \dots \dots [Ecuación 4]$$

B = Ancho de la zapata (en m)

E_s = Módulo de Young (en N/m^2)

Q = Carga que se transmite de la columna a la zapata (en kg)

A = Superficie de la zapata en contacto con el suelo (en m^2)

B. Método 02: Basado en la Teoría de la Elasticidad.

Para el cálculo del asentamiento elástico, son necesarias las siguientes ecuaciones:

$$A2 = m/n^{(m^2+n^2+1)^{1/2}} \dots\dots\dots[\text{Ecuación 5}]$$

$$A1 = \ln((m' + ((m'^2+1)^{1/2}))(1+n'^2)^{1/2}) / (m' + (m'^2+n'^2+1)^{1/2}) \dots\dots\dots[\text{Ecuación 6}]$$

$$A0 = m' \times \ln((m' + ((m'^2+1)^{1/2}))(1+n'^2)^{1/2}) / (m' + (m'^2+n'^2+1)^{1/2}) \dots\dots\dots[\text{Ecuación 7}]$$

$$F1 = (A0+A1) / \pi \dots\dots\dots[\text{Ecuación 8}]$$

$$F2 = (n' \times \text{Arctan } A2) / 2 \pi \dots\dots\dots[\text{Ecuación 9}]$$

Estas ecuaciones se halla el valor de la ecuación de forma:

$$Is = F1 + F2 (1-2us) / (1-us) \dots\dots\dots[\text{Ecuación 10}]$$

Para el cálculo del asentamiento elástico producidos en cimentaciones flexibles se utiliza la siguiente ecuación, con tres variables que son necesarias:

$$Se = q_0 \times (\alpha \times B') \times (1-us^2) / Es \times Is \times If \dots\dots\dots[\text{Ecuación 11}]$$

Tabla 2*Variables para el cálculo del asentamiento elástico en zapatas*

	α	m'	n'
Para el cálculo del asentamiento en el centro de la zapata	4	L / B	2 H / B
Para el cálculo del asentamiento en el centro de la zapata	1	L / B	H / B

Donde las variables de las ecuaciones son:

S_e = Asentamiento Elástico o Inmediato (en mm)

q_o = Presión neta aplicada sobre la cimentación (en kg/m^2)

u_s = Relación de Poisson del suelo

E_s = Modulo de elasticidad o modulo de Young (en N/m^2)

I_s = Factor de forma

I_f = Factor de profundidad, Función de D_f , B, L y u_s

α = Factor que depende de la ubicación sobre la cimentación donde se calcula el asentamiento

B' = B / 2 para el centro de la cimentación = B para una esquina de la cimentación (en m)

2.2.2.2.2. *Asentamiento por Consolidación Primaria.*

Estos asentamientos se generan por la evacuación del agua en los poros y la reducción de volumen de vacíos en el suelo; que son causados por la aplicación de

cargas o esfuerzos. Esta reducción se vuelve visible en el momento que en las estructuras se producen fisuras y grietas.

Este tipo de asentamiento va a tener influencia o no dependiendo de las propiedades físicas del suelo como son la permeabilidad y compresibilidad del suelo.

Para el cálculo de este tipo de asentamiento primario por consolidación primaria, tenemos la ecuación:

$$S_p = \Delta e / (1 + e_o) \dots\dots\dots [\text{Ecuación 12}]$$

S_p = asentamiento por consolidación primaria

Δe = variación del índice de vacíos producida por la aplicación de carga.

e_o = índice de vacíos antes de que se aplique la carga

H = espesor de la capa de arcilla

En el caso de arcillas normalmente consolidadas debe cumplirse:

$$S_p = (C_c H / (1 + e_o)) \times (\sigma'_o + \Delta \sigma') / \sigma'_o \dots\dots\dots [\text{Ecuación 13}]$$

$$\sigma'_o \geq \sigma'_c \dots\dots\dots [\text{Ecuación 14}]$$

Las variables de la ecuación son:

$\Delta \sigma'$ = Incremento promedio de la presión efectiva generado por la aplicación de la carga

C_c = Índice de compresión

Para las arcillas sobreconsolidadas se tiene dos casos con diferentes ecuaciones, como se muestran:

Caso 01: $\sigma'_o + \Delta\sigma \leq \sigma'_c$

$S_p = (C_s H / (1 + e_o)) \times (\sigma'_o + \Delta\sigma') / \sigma'_o$[Ecuación 15]

Las variables don:

$C_s =$ Índice de Recompresión

Caso 02: $\sigma'_o < \sigma'_c < (\sigma'_o + \Delta\sigma)$

$S_p = (C_s H / (1 + e_o)) \times \log (\sigma'_c / \sigma'_o) + (C_c H / (1 + e_o)) \times \log((\sigma'_o + \Delta\sigma') / \sigma'_o)$[Ecuación 16]

En el cálculo de los pesos específicos se pueden emplear las siguientes formulas; en el caso de los estratos de arcillas y los demás tipos de estratos que estén sobre este.

$\gamma = (G_s \gamma_w) / (1 + e)$ [Ecuación 17]

$\gamma = \gamma_w \times (G_s + e) / (1 + e)$ [Ecuación 18]

$\gamma =$ Peso específico seco del suelo (en KN/m³)

$\gamma_{sat} =$ Peso específico saturado del suelo (en KN/m³)

$G_s =$ Gravedad específica (en g/cm³)

$e =$ Índice de vacíos

$\gamma_w =$ Peso específico del agua (en KN/m³)

2.2.2.2.3. *Asentamiento por Consolidación Secundaria.*

Aquí se produce el reajuste plástico en la estructura del suelo, en cuanto se disipe la presión de poros.

Ya que no se tiene un método confiable en el cálculo del asentamiento por consolidación secundaria, usamos un coeficiente de consolidación secundaria, mostrado en la tabla; que viene a ser el cambio de espesor en un tiempo dado una vez que termine la consolidación primaria.

Tabla 3

Límites de coeficiente de Consolidación Secundaria (Cc)

Clase	Límites
Arcillas sobreconsolidadas	0,001 o menos
Arcillas normalmente consolidadas	0,005 a 0,03
Suelos Orgánicos	0,04 o más

Fuente: Das, 2015

Para el cálculo de este tipo de asentamiento por consolidación tenemos ecuaciones para dos tipos de arcillas:

Arcilla normalmente consolidada:

$$S_p = C_s \times \log \left(\frac{\sigma'_o + \Delta\sigma'}{\sigma'_o} \right) \dots \dots \dots [\text{Ecuación 19}]$$

Donde: $\sigma'_o \geq \sigma'_c$

Arcilla sobre - consolidada:

$$S_p = C_s \times \log \left(\frac{\sigma'_o + \Delta\sigma'}{\sigma'_o} \right) \dots \dots \dots [\text{Ecuación 20}]$$

Donde: $e_p \geq e_o - \Delta e$

$$\sigma'_o + \Delta\sigma \leq \sigma'_c$$

e_p = Índice de vacío de la consolidación primaria

El asentamiento por consolidación secundaria esta dado por la siguiente ecuación:

$$S_s = C' \times a \times \log(t_2/t_1) \dots \dots \dots [Ecuación 21]$$

$$C' \times a = C \times a / (1 + e_p) \dots \dots \dots [Ecuación 22]$$

$$C \times a = \Delta e / \log(t_2/t_1) \dots \dots \dots [Ecuación 23]$$

Las variables de las ecuaciones son:

C_a = Índice de Compresión Secundaria

t_2 = Tiempo final del asentamiento secundario

t_1 = Tiempo final del asentamiento primario

2.2.2.3. Cálculos.

Suponiendo que la presión incrementa parabólicamente, se estima el valor con la regla de Simpson:

$$\Delta'\sigma_{prom} = (\Delta\sigma_t + 4\Delta\sigma_m + \Delta\sigma_b) / 6 \dots \dots \dots [Ecuación 24]$$

Donde las variables, representan el incremento de la presión en la parte superior, la parte media y la parte del fondo del estrato completo analizado. Y ya que las áreas son rectangulares usamos la siguiente ecuación para calcular los incrementos de presión:

$$\Delta\sigma(\text{debajo del centro}) = q \times I_c \dots \dots \dots [Ecuación 25]$$

Donde las variables son:

q = carga neta sobre la cimentación (en kg/m^2)

I_c = depende de dos variables m_1 y n_1 (Figura 9)

$m_1 = L/B$

$n_1 = z/(B/2)$

L = Longitud de cimentación (en m)

B = Ancho de cimentación (en m)

z = distancia media desde el fondo de la cimentación (en m)

Tabla 5.3 Variación de I_c con m_1 y n_1

n_1	m_1									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.20	0.994	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997
0.40	0.960	0.976	0.977	0.977	0.977	0.977	0.977	0.977	0.977	0.977
0.60	0.892	0.932	0.936	0.936	0.937	0.937	0.937	0.937	0.937	0.937
0.80	0.800	0.870	0.878	0.880	0.881	0.881	0.881	0.881	0.881	0.881
1.00	0.701	0.800	0.814	0.817	0.818	0.818	0.818	0.818	0.818	0.818
1.20	0.606	0.727	0.748	0.753	0.754	0.755	0.755	0.755	0.755	0.755
1.40	0.522	0.658	0.685	0.692	0.694	0.695	0.695	0.696	0.696	0.696
1.60	0.449	0.593	0.627	0.636	0.639	0.640	0.641	0.641	0.641	0.642
1.80	0.388	0.534	0.573	0.585	0.590	0.591	0.592	0.592	0.593	0.593
2.00	0.336	0.481	0.525	0.540	0.545	0.547	0.548	0.549	0.549	0.549
3.00	0.179	0.293	0.348	0.373	0.384	0.389	0.392	0.393	0.394	0.395
4.00	0.108	0.190	0.241	0.269	0.285	0.293	0.298	0.301	0.302	0.303
5.00	0.072	0.131	0.174	0.202	0.219	0.229	0.236	0.240	0.242	0.244
6.00	0.051	0.095	0.130	0.155	0.172	0.184	0.192	0.197	0.200	0.202
7.00	0.038	0.072	0.100	0.122	0.139	0.150	0.158	0.164	0.168	0.171
8.00	0.029	0.056	0.079	0.098	0.113	0.125	0.133	0.139	0.144	0.147
9.00	0.023	0.045	0.064	0.081	0.094	0.105	0.113	0.119	0.124	0.128
10.00	0.019	0.037	0.053	0.067	0.079	0.089	0.097	0.103	0.108	0.112

Figura 10. Valores de I_c , con m_1 y n_1

Fuente: Das, 2015

Para el cálculo de asentamiento por consolidación de una cimentación se tiene la fórmula:

$$S_c(p) = (C_c \times H_c / (1 + e_o)) \times \log ((\sigma'_{o} + \Delta \sigma_{prom}) / \sigma'_{o}) \dots\dots\dots [Ecuación 26]$$

Donde la variable $C_c = 0,009 (LL - 10) \dots\dots\dots [Ecuación 27]$

2.2.3. Estudio de Mecánica de Suelos.

2.2.3.1. Exploración.

Para la etapa de exploración de la zona en estudio se toma en cuenta la Norma E.050 Suelos y Cimentaciones, Capítulo 2 en el inciso 9.2 d)

Tabla 4

Tipo de Edificación

Clase de Estructura	Distancia Mayor entre Apoyos	Número de Pisos (incl.. sótanos)		
		<=3	4 a 8	9 a 12
Aporticada de Acero	<12	C	C	C
Pórticos y/o muros de concreto	<10	C	C	B
Muros portantes de albañilería	<12	B	A	---
Bases de máquinas y similares	Cualquiera	A	--	--
Estructuras especiales	Cualquiera	A	A	A

Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018.

Y de acuerdo a la misma norma en el inciso 11.2b) obtenemos el número de puntos de investigación a realizar en la zona de estudio de acuerdo al tipo de edificación y el área de la superficie a ocupar, en la tabla siguiente.

Tabla 5*Número de Puntos de Investigación*

Tipo de Edificación	Número de puntos de investigación (n)
A	1 cada 225 m ²
B	1 cada 450 m ²
C	1 cada 800 m ²
Urbanizaciones para viviendas unifamiliares de hasta 3 pisos	3 por cada Ha. De terreno habilitado

Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018.

Así es como el resultado es una edificación de tipo C ya que será de 6 pisos aporricados, y de acuerdo a la norma en el área de la zona de estudio de 530,10 m², se debe realizar una calicata o punto de investigación; en este caso se realizaron 3.

2.2.3.2. Muestreo.

Los procedimientos adecuados de muestreo permitirán la trazabilidad de los datos con las propiedades del suelo como son la plasticidad, resistencia, gradación, estratigrafía, estructura.

El tipo de equipo requerido para una investigación de este tipo va a variar de acuerdo a los diferentes factores como: el tipo de material, profundidad de exploración, naturaleza del terreno; tenemos los barrenos manuales para profundidades de 1m a 5m, las herramientas manuales pequeñas como las palas, frascos de cierre herméticos, para conservar la humedad de las muestras que sean de vidrio, metal o plástico, o bolsas libres de contaminantes y que no haya pérdida de partículas finas con capacidad de 16kg por lo menos.

Los registros de las perforaciones, de cada hueco, sondeo o calicata debe incluir los siguientes puntos expuestos, para un buen registro y siguiente estudio y ensayos de las muestras.

- Descripción de cada área o calicata, ubicada horizontal y verticalmente, y de preferencia con un sistema de coordenadas.
- Perfil estratigráfico de cada calicata en la que se muestre de manera clara la descripción de campo y localización de cada material encontrado, mediante símbolos establecidos o palabras.
- Fotografías a colores y muestras de los estratos de suelo encontrados.
- La identificación de los suelos encontrados en los estratos de la calicata debe basarse en las normas existentes y actuales para la clasificación de los suelos de la zona en estudio.

Deben obtenerse muestras representativas del suelo, de cada material; así como identificar cuidadosamente cada muestra con la calicata que corresponde y la profundidad a la que fue tomada.

Las muestras deben guardarse en envases herméticos para la próxima obtención de humedad y evitar pérdidas de esta, ya que puede afectar la clasificación y resultados de los ensayos.

Al hacer calicatas y/o trincheras, excavaciones a cielo abierto la profundidad es a solicitud de la necesidad, tomando precauciones para evitar el desprendimiento de material de las paredes, que pueda afectar la seguridad del trabajador o contaminar la muestra para su posterior estudio y análisis.

La norma en la que está basado el concepto, procedimiento y demás es la ASTM D420 y MTC E 101.

2.2.3.3. Perfil Estratigráfico.

Para elaborar un perfil estratigráfico se tiene como base las normas AASHTO – T86 y ASTM D420, la definición que se extrae de estas normas es:

Un perfil de un área de suelo, roca o ambos, está definido únicamente en el sitio de la perforación, sondeo o corte abierto investigado.

Un perfil detallado de suelos debe desarrollarse donde la relación de las profundidades sea continua, de los diferentes tipos de suelos y/o roca; sea económicamente justificable.

2.2.3.4. Límites de Consistencia.

Los límites de consistencia son dos, el límite líquido, el límite plástico y la diferencia de estos es el índice de plasticidad.

2.2.3.4.1. Límite Líquido.

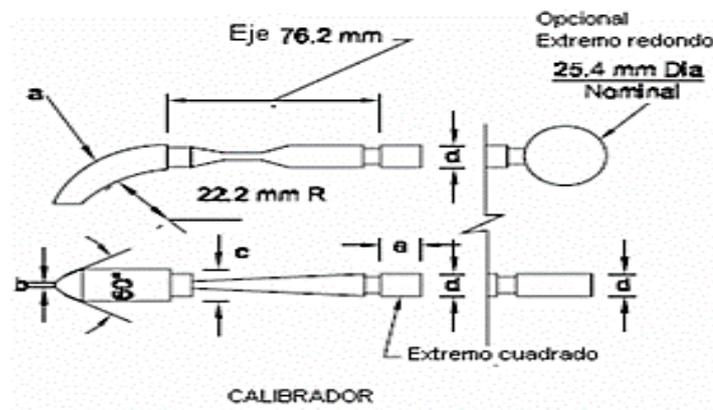
Es el contenido de humedad expresado en porcentaje, de un suelo secado en el horno. Es cuando el suelo se encuentra en el límite, entre el estado plástico y el estado líquido.

Existen dos métodos para la determinación del límite líquido de los suelos, en este caso desarrollamos el método multipunto.

Método Multipunto

Se toma una muestra entre los 150g a 200g, de una porción de material pasante el tamiz N°40, que este bien mezclado.

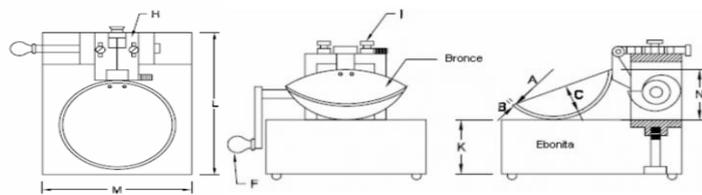
Se ajusta el aparato de Casa Grande o limite líquido, se debe inspeccionar para certificar que se encuentre en buenas condiciones; el pin que conecta la taza no debe estar tan gastada o tener juego lateral, ni el tornillo que la conecta debe estar tan gastado por el uso; adicional a ello el acanalador tiene dimensiones que deben verificarse según las imágenes que siguen:



Ranurador Extremo Curvado				
Dimensiones	a	b	c	d
Descripción	Espesor	Borde cortante	Ancho	Diámetro
Métrico, mm	10	2	13.5	10
Tolerancia, mm	0.1	0.1	0.1	0.2
Inglés, pulg	0.394	0.079	0.531	0.3937
Tolerancia, pulg	0.004	0.004	0.004	0.008

Figura 11. Imagen y dimensiones del Ranurador del Aparato Casa Grande
Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018.

Con la ayuda del calibrador del mango del ranurador y la platina de ajuste H asegurar la altura a la cual se levanta la taza, de tal forma que el punto de contacto que hace al contacto al caer, con la base sea exactamente 1cm sobre esta. Se muestra las dimensiones límites del aparato de limite liquido o casa grande.



Aparato de límite líquido							
Dimensiones	Conjunto de la cazuela				Base		
	A	B	C	N	K	L	M
Descripción	Radio de la copa	Espesor de la copa	Profundidad de la copa	Copa desde la guía del elevador hasta la base	Espesor	Largo	Ancho
Métrico, mm	54	2	27	47	50	150	125
Tolerancia, mm	2	0.1	1	1.5	5	5	5
Inglés, pulg	2.13	0.079	1.063	1.85	1.97	5.9	4.92
Tolerancia, pulg		0.004	0.04	0.06	0.2	0.2	0.2

Figura 12. Imagen y dimensiones del Aparato Casa Grande

Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018.

Se inicia colocando la muestra de suelo en una vasija mezclándola con 15 a 20 ml de agua destilada, agitándola, amasándola y tajándola con una espátula de forma alternada y repetida hasta homogenizar la mezcla, se puede adicional agua a razón de 1 a 3 ml.

Se coloca una porción la muestra de suelo homogenizada en la cazuela sobre el sitio que reposa en la base y se comprime hacia abajo, extendiéndola hasta obtener la posición mostrada en la figura que sigue, con las pasadas más pocas que se pueda; luego de nivelar y emparejar con la espátula, se para el acanalador o ranurador hasta conseguir una profundidad de 1cm, regresando los excesos a la vasija.

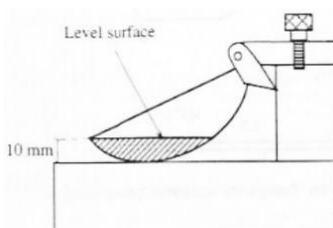


Figura 13. Forma correcta de a muestra en la Cuchara o Cazuela

Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018.

Se va girando la manija F, a una velocidad de 1,9 a 2,1 golpes por segundo hasta que las dos mitades separadas de suelo tengan contacto por una longitud de 13mm, y se anota el número de golpes hasta donde se logró.

La longitud de 13mm se corta de la cazuela con una espátula en 90° con respecto a la ranura, se toma nota del peso del recipiente, recipiente más muestra cortada y se lleva al horno a 110+/- 5°C, se retira del horno, enfría y se pesa.

El proceso se repite con dos ensayos adicionales, el rango de numero de golpes para llegar a que entren en contacto los lados de la muestra tiene los siguientes intervalos: 25-35; 20-30; 15-25, de esta manera se realizan las pruebas a la muestra.

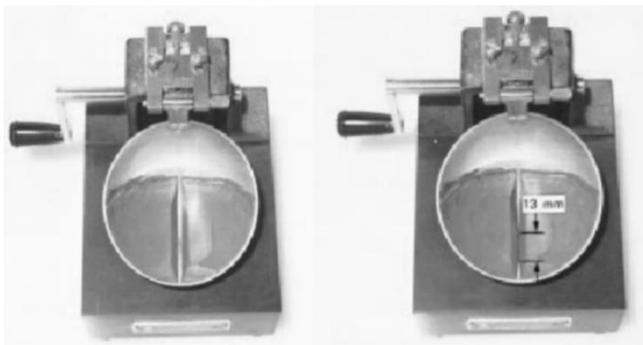


Figura 14. Muestra de suelo dividida antes y después del ensayo

El cálculo para determinar el contenido de humedad del suelo se expresa en porcentaje, y sin decimales:

$$\text{Contenido de humedad} = \text{Peso del agua} \times 100 / \text{Peso del suelo secado en el horno} \dots \dots \dots [\text{Ecuación 28}]$$

La norma que corresponde a este ensayo es la MTC E 110, AASHTO T89 y ASTM D 4318.

2.2.3.4.2. Límite Plástico.

Es la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3,2mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa como un vidrio esmerilado, sin que las barritas se desarmen o desmoronen.

Se utiliza una espátula de hoja flexible, un recipiente para almacenar, una balanza con precisión 0,01g, horno regulable a 110+/- 5°C, tamiz N°40, agua destilada, recipientes para poner al horno y una superficie de rodadura.

Para realizar el ensayo se toman 20g de muestra pasante por el tamiz N°40, se amasa con agua destilada una vez homogenizada, se forma una esfera de la que se toma una porción, también puede tomarse de la muestra que se preparó para el ensayo de límite líquido del suelo, y si se seca se le añade agua; se debe formar fácilmente una esfera sin que se pegue a los dedos al aplastarla. Luego se modela en forma de elipsoide rodándola entre los dedos o sobre una superficie lisa hasta formar cilindros de diámetro 3,2mm (1/8"), si no se ha desmoronado se vuelve a hacer un elipsoide y se repite el proceso, hasta que se desarme o desmorone con aprox. el diámetro.

La porción obtenida se coloca en un envase o tara para pesar, unos 6gr; se lleva al horno. Finalmente se retira del horno y se pesa nuevamente, cuando la tara este a temperatura ambiente. Se repite todo el proceso con la otra mitad de la esfera.

Los cálculos se dan en porcentajes y sin decimales, como muestra la fórmula:

$$\text{Límite Plástico} = 100 \times \frac{P \text{ de agua}}{P \text{ de suelo secado al horno}} \dots \dots [\text{Ecuación 29}]$$

Donde:

P = Peso (en kg)

El rango aceptable entre los ensayos realizados a la misma muestra, para la precisión de un operador se muestran.

Tabla 6

Prueba de Duncan al 0,05 para la altura de planta a los 20 días de realizado el injerto

Índice de precisión y tipo de ensayos	Desviación Estándar	Rango Aceptable de los Resultados
Precisión de un operador simple		
Limite Plástico	0,90	2,60
Precisión de un operador simple		
Limite Plástico	3,70	10,60

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018.

La norma para este ensayo de suelos es la MTC E111, AASHTO T90 y ASTM D 4318.

2.2.3.4.3. *Índice de Plasticidad.*

Es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico del suelo. Todos son números enteros, sin decimales.

$$IP = LL - LP \dots \dots \dots [Ecuación 30]$$

LL = Limite Líquido

LP = Limite Plástico

Cuando el límite líquido o plástico no pueden calcularse o determinarse, o cuando el límite plástico resulte igual o mayor que el límite líquido, el índice de plasticidad se informa como No Plástico (NP).

La norma que estandariza este ensayo es la MTC E 111, AASHTO T90 y ASTM D 4318.

2.2.3.5. *Análisis Granulométrico por tamizado.*

Determina cuantitativamente la distribución de los tamaños de las partículas de agregado grueso y fino de un material, una muestra seca; por medio de tamices dispuestos sucesivamente de mayor a menor de abertura cuadrada.

Lo utilizado para realizar este ensayo son: balanza con sensibilidad de 0,1% del peso de la muestra que va a ser ensayada, tamices de acuerdo al material ensayado y estufa u horno de tamaño adecuado con temperatura uniforme de $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Las muestras para realizar el ensayo se obtienen de un cuarteo previo ya sea manual o mecánico, el material debe estar mezclado completamente y tener la humedad adecuada para evitar la segregación y pérdida de los finos, la muestra es una cuarta parte completa del cuarteo realizado, no se puede seleccionar la muestra con un peso exacto.

Para el caso del agregado fino las muestras para el análisis granulométrico, después de secadas deben pesar mínimo 300gr. Para el agregado grueso las muestras después de secas deben tener los siguientes pesos:

Tabla 7*Pesos mínimos para agregado grueso*

Máximo tamaño nominal con aberturas cuadradas		Peso mínimo de la muestra de ensayo
mm	(Pulg)	kg
9,5	(3/8)	1
12,5	(1/2)	2
19,0	(3/4)	3
25,0	(1)	10
37,5	(1 1/2)	15
50,0	(2)	20
63,0	(2 1/2)	35
75,0	(3)	60
90,0	(3 1/2)	100
100,0	(4)	150
112,0	(4 1/2)	200
125,0	(5)	300
150,0	(6)	500

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018.

Cuando se mezcle el grueso con el fino, la muestra se separa en dos tamaños, por el tamiz N°4 de acuerdo a lo expuesto líneas arriba. La cantidad de material que pasa el tamiz N°200 se determina por medio de la MTC E 202.

Para realizar el ensayo la muestra se seca al horno a una temperatura de 110° +/- 5°C, hasta que no haya cambio de pesos. Seguido se elige un juego de tamices de acuerdo a las especificaciones del material a ensayar, en orden descendente por tamaño de abertura, cuando se complete el tamizado el peso retenido en los tamices menores al N°4 no debe ser mayor a 7kg/m² de la superficie tamizada y para tamices iguales o menores al N°4 el peso no excederá al producto

de 2,5x abertura de tamiz (mm); y en ningún caso el peso debe ser tan grande que cause deformación en la malla del tamiz usado.

Tamizar durante 1 minuto continuo y a mano, se toma individualmente cada tamiz con una tapa y un fondo, se inclina ligeramente y se golpea el lado del tamiz con un movimiento hacia arriba contra la palma de la mano, unas 150 veces por minuto, es óptimo el tamizado para tamaños mayores al N°4 cuando el total de las partículas sobre la malla forma una sola capa.

Luego se determina el peso retenido en cada tamiz, con una balanza. El peso final después del tamizado se debe comparar con el peso original de la muestra y en caso la cantidad difiera en más del 0,3% de la muestra original seca, el resultado no debe ser aceptado.

La MTC E 204, es la norma que aplica para este ensayo de suelos, además de la ASTM C 136 y AASHTO T 27.

2.2.3.6. *Humedad Natural.*

Es la relación expresada en porcentaje, del peso del agua en una masa de suelo al peso de las partículas sólidas.

En el ensayo se determina el peso de agua eliminada, secando la muestra de suelo húmedo hasta un peso constante en un horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$. el peso de la muestra del horno es el peso de las partículas sólidas; la pérdida de peso al secado es considerado el peso del agua.

Los aparatos empleados para realizar el ensayo son: horno de secado con la capacidad de mantener una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$, balanzas con precisión de 0,01g para muestras menores de 200g y de 0,1g para muestras mayores de 200g;

recipientes resistentes a la corrosión y al cambio de peso al someterlos a variación de temperatura, también deben ser herméticos; utensilios como guantes, tenazas, cuchillos, espátulas, cucharas, lona para cuarteo. El ensayo de contenido de humedad se realiza tan pronto como se pueda después del muestreo del material, en especial si se utilizan bolsas plásticas.

Las muestras deben ser almacenadas en contenedores herméticos no corrosibles a una temperatura entre 3° y 30°C, evitar el contacto con la luz solar. Existen cantidades mínimas de material húmedo seleccionado de acuerdo a la tabla que sigue:

Tabla 8

Cantidades de material por tamaño de partícula

Máximo tamaño de partícula (pasa el 100%)	Tamaño de malla Estándar	Masa mínima recomendada de espécimen de ensayo húmedo para contenidos de humedad reportados a +/- 0.1%	Masa mínima recomendada de espécimen de ensayo húmedo para contenidos de humedad reportados a +/-1%
2 mm o menos	2,00 mm (N°10)	20 g	20 g
4,75 mm	4,760 mm (N°4)	100 g	20 g
9,5 mm	9,525 mm (3/8°)	500 g	50 g
19,0 mm	19,050 mm (3/4")	2.5 kg	250 kg
37,5 mm	38,1 mm (1 ½")	10 kg	1 kg
75,00 mm	76,200 mm (3")	50 kg	5 kg

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018.

No se usará menos de 20 g para las muestras de este ensayo.

Se determina y registra la masa en un recipiente o tara limpia y seca, se coloca el espécimen húmedo en el contenedor, anotar el peso del contenedor y la muestra húmeda en la balanza; colocar el contenedor con la muestra en el horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ a menos. Luego que el material secó con peso constante, se retira el contenedor del horno, una vez frío o a t° ambiente se registra el peso del contenedor y material seco en la misma balanza.

Se calcula el contenido de humedad de la muestra mediante la fórmula siguiente:

$$W = (P_{csh} - P_{css}) \times 100 / (P_{css} - P_c) \times W_{Sagua} \times 100 / W_{Ssuelo\ seco} \dots [Ecuación 31]$$

Donde:

W = Contenido de Humedad (en %)

W_S = Peso (en kg)

P_{csh} = Peso del contenedor más el suelo húmedo (en gr)

P_{css} = Peso del contenedor más el suelo secado al horno (en gr)

P_c = Peso del contenedor (en gr)

La norma que cubre el ensayo es la MTC E108 y ASTM D 2216.

2.2.3.7. *Peso Específico.*

Es la relación entre el peso en el aire de un cierto volumen de sólidos a una temperatura dada y el peso en el aire del mismo volumen de agua destilada, a la misma temperatura.

Los aparatos para realizar el ensayo de peso específico son: frasco volumétrico o Pictómetro de 100 a 500cm³ de capacidad, horno con T° constantes hasta 110 +/- 5°C, balanzas con dos capacidades la de 1200g con precisión de 0,01g y la de 200g con precisión de 0,001g, pipeta, termómetro graduado con escala de 0 a 50°C, capsula de evaporación, guantes de asbesto y tamices N°8 y N°4.

Para suelos con humedad natural el procedimiento es:

1° anotar en una plantilla los datos como: N° de sondeo, N° de la muestra y cualquier otro dato pertinente.

2° Colocar en la capsula de evaporación una muestra representativa, de acuerdo a la capacidad del Pictómetro.

Tabla 9

Capacidad del Pictómetro.

Capacidad del Pictómetro (cm ³)	Cantidad requerida aprox. (g)
100	25 – 35
250	55 – 65
500	120 - 130

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018.

3° conectar el Pictómetro a la línea de vacío para remover el aire y obtener una presión absoluta dentro del frasco no mayor a 100 mm de mercurio. El tiempo va a depender del tipo de suelo ensayado, se ve un esquema de sistema elemental de aplicación de vacío en la figura que sigue.

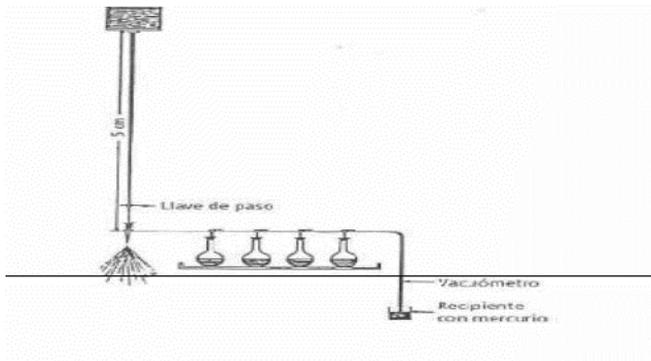


Figura 15. Sistema elemental de aplicación de vacío.

Fuente: Juárez & Rico (2005)..

Se debe llenar el Pictómetro con agua destilada, sin burbujas de aire. Para los cálculos

$$G_s = (W_o - k)/(W_o + W_2 - W_1) \dots \dots \dots [Ecuación 32]$$

Donde:

G_s = Peso Específico de los sólidos (2 decimales)

W_o = Peso de la tara + suelo seco (g); el peso de la tara debe ser restado de este valor para obtener el peso del suelo seco

W_1 = Peso del Pictómetro + agua + sólidos a la temperatura del ensayo, suelo (g)

W_2 = Peso del Pictómetro + agua a la temperatura del ensayo (g)

k = Factor de corrección basado en el peso específico del agua a 20°C, en la figura que se muestra a continuación se observan los valores necesarios para continuar con los cálculos.

Temperatura	Densidad	Coefficiente	Temperatura	Densidad	Coefficiente
(°C)	(g/mL) ^B	Temperatura (K)	(°C)	(g/mL) ^B	Temperatura (K)
15,0	0,99910	1,00090	16,0	0,99895	1,00074
15,1	0,99909	1,00088	16,1	0,99893	1,00072
15,2	0,99907	1,00087	16,2	0,99891	1,00071
15,3	0,99906	1,00085	16,3	0,99890	1,00069
15,4	0,99904	1,00084	16,4	0,99888	1,00067
15,5	0,99902	1,00082	16,5	0,99886	1,00066
15,6	0,99901	1,00080	16,6	0,99885	1,00064
15,7	0,99899	1,00079	16,7	0,99883	1,00062
15,8	0,99898	1,00077	16,8	0,99881	1,00061
15,9	0,99896	1,00076	16,9	0,99879	1,00059
19,0	0,99841	1,00020	20,0	0,99821	1,00000
19,1	0,99839	1,00018	20,1	0,99819	0,99998
19,2	0,99837	1,00016	20,2	0,99816	0,99996
19,3	0,99835	1,00014	20,3	0,99814	0,99994
19,4	0,99833	1,00012	20,4	0,99812	0,99992
19,5	0,99831	1,00010	20,5	0,99810	0,99990
19,6	0,99829	1,00008	20,6	0,99808	0,99987
19,7	0,99827	1,00006	20,7	0,99806	0,99985
19,8	0,99825	1,00004	20,8	0,99804	0,99983
19,9	0,99823	1,00002	20,9	0,99802	0,99981
23,0	0,99754	0,99933	24,0	0,99730	0,99909
23,1	0,99752	0,99931	24,1	0,99727	0,99907
23,2	0,99749	0,99929	24,2	0,99725	0,99904
23,3	0,99747	0,99926	24,3	0,99723	0,99902
23,4	0,99745	0,99924	24,4	0,99720	0,99899
23,5	0,99742	0,99921	24,5	0,99717	0,99897
23,6	0,99740	0,99919	24,6	0,99715	0,99894
23,7	0,99737	0,99917	24,7	0,99712	0,99892
23,8	0,99735	0,99914	24,8	0,99710	0,99889
23,9	0,99732	0,99912	24,9	0,99707	0,99887
27,0	0,99652	0,99831	28,0	0,99624	0,99803
27,1	0,99649	0,99828	28,1	0,99621	0,99800
27,2	0,99646	0,99825	28,2	0,99618	0,99797
27,3	0,99643	0,99822	28,3	0,99615	0,99794
27,4	0,99641	0,99820	28,4	0,99612	0,99791
27,5	0,99638	0,99817	28,5	0,99609	0,99788
27,6	0,99635	0,99814	28,6	0,99607	0,99785
27,7	0,99632	0,99811	28,7	0,99604	0,99783
27,8	0,99629	0,99808	28,8	0,99601	0,99780
27,9	0,99627	0,99806	28,9	0,99598	0,99777

Figura 16. Densidad del agua y Coeficiente de Temperatura (K) para varias temperaturas – Parte 1
Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016.

Temperatura	Densidad	Coefficiente	Temperatura	Densidad	Coefficiente
(°C)	(g/mL) ^B	Temperatura (K)	(°C)	(g/mL) ^B	Temperatura (K)
17,0	0,99878	1,00057	18,0	0,99860	1,00039
17,1	0,99876	1,00055	18,1	0,99858	1,00037
17,2	0,99874	1,00054	18,2	0,99856	1,00035
17,3	0,99872	1,00052	18,3	0,99854	1,00034
17,4	0,99871	1,00050	18,4	0,99852	1,00032
17,5	0,99869	1,00048	18,5	0,99850	1,00030
17,6	0,99867	1,00047	18,6	0,99848	1,00028
17,7	0,99865	1,00045	18,7	0,99847	1,00026
17,8	0,99863	1,00043	18,8	0,99845	1,00024
17,9	0,99862	1,00041	18,9	0,99843	1,00022
21,0	0,99799	0,99979	22,0	0,99777	0,99957
21,1	0,99797	0,99977	22,1	0,99775	0,99954
21,2	0,99795	0,99974	22,2	0,99773	0,99952
21,3	0,99793	0,99972	22,3	0,99770	0,99950
21,4	0,99791	0,99970	22,4	0,99768	0,99947
21,5	0,99789	0,99968	22,5	0,99766	0,99945
21,6	0,99786	0,99966	22,6	0,99764	0,99943
21,7	0,99784	0,99963	22,7	0,99761	0,99940
21,8	0,99782	0,99961	22,8	0,99759	0,99938
21,9	0,99780	0,99959	22,9	0,99756	0,99936
25,0	0,99705	0,99884	26,0	0,99679	0,99858
25,1	0,99702	0,99881	26,1	0,99676	0,99855
25,2	0,99700	0,99879	26,2	0,99673	0,99852
25,3	0,99697	0,99876	26,3	0,99671	0,99850
25,4	0,99694	0,99874	26,4	0,99668	0,99847
25,5	0,99692	0,99871	26,5	0,99665	0,99844
25,6	0,99689	0,99868	26,6	0,99663	0,99842
25,7	0,99687	0,99866	26,7	0,99660	0,99839
25,8	0,99684	0,99863	26,8	0,99657	0,99836
25,9	0,99681	0,99860	26,9	0,99654	0,99833
29,0	0,99595	0,99774	30,0	0,99565	0,99744
29,1	0,99592	0,99771	30,1	0,99562	0,99741
29,2	0,99589	0,99768	30,2	0,99559	0,99738
29,3	0,99586	0,99765	30,3	0,99556	0,99735
29,4	0,99583	0,99762	30,4	0,99553	0,99732
29,5	0,99580	0,99759	30,5	0,99550	0,99729
29,6	0,99577	0,99756	30,6	0,99547	0,99726
29,7	0,99574	0,99753	30,7	0,99544	0,99723
29,8	0,99571	0,99750	30,8	0,99541	0,99720
29,9	0,99568	0,99747	30,9	0,99538	0,99716

Figura 17. Densidad del agua y Coeficiente de Temperatura (K) para varias temperaturas – Parte 2

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016.

2.3. Definición de términos

- A. *Geotecnia*: Aplicación de métodos científico-matemáticos y principios de ingeniería para obtener, interpretar e implementar su uso en los materiales y procesos que se den en la corteza de la tierra, para poder solucionar los problemas. Se requiere conocimientos en: mecánica de suelos y rocas, geología, hidrología, geofísica y demás ramas relacionadas.
- B. *Consolidación*: es la variación de volumen que existe en un muestra de suelo debido a la compresión axial a la que está sometido.
- C. *Sondeo*: el significado depende del contexto en que se hable; el sondeo de una opinión es una deducción estadística tomada a partir de encuestas destinadas a conocer.
- D. *Contenedor*: recipiente que se utiliza para depositar diferentes cosas, es grande y resistente.
- E. *Espécimen*: es la muestra geología o de suelo, roca elegida para examinarla, analizarla, estudiarla y luego exponerla.
- F. *Agua Destilada*: sustancia con una composición basada en 2 moléculas H₂O, esta ha sido purificada mediante el proceso de destilación. Esta libre de microorganismos, metales y no requiere potabilización.
- G. *Pictómetro*: instrumento muy usado en los laboratorios, principalmente los químicos. Es un pequeño envase de vidrio con tapa conformado también por un capilar; se utiliza para medir las densidades de los líquidos y los sólidos.

H. *Estratigrafía*: es un perfil del terreno estudiado o analizado; se traza la línea en planta del perfil y se genera el perfil. Se van colocando las cotas o alturas de cada capa o estrato que se va encontrando de acuerdo a su geometría y propiedades físicas mecánicas, también se debe considerar si existe nivel freático. Y hay diferentes formas de realizar un perfil, una de ellas se muestra en las siguientes figuras.

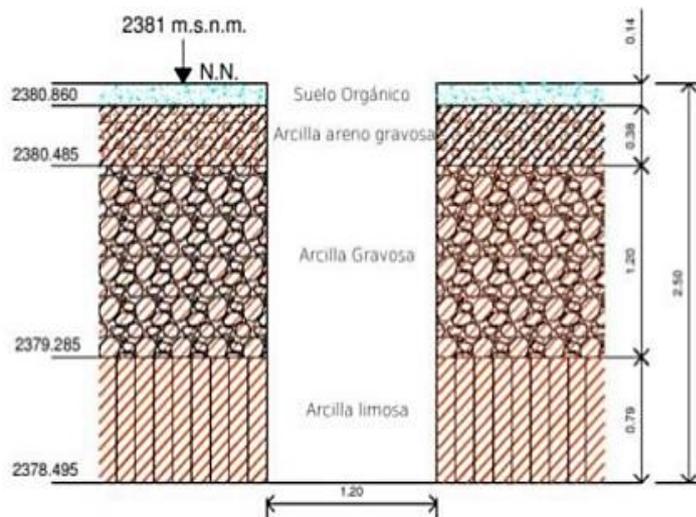
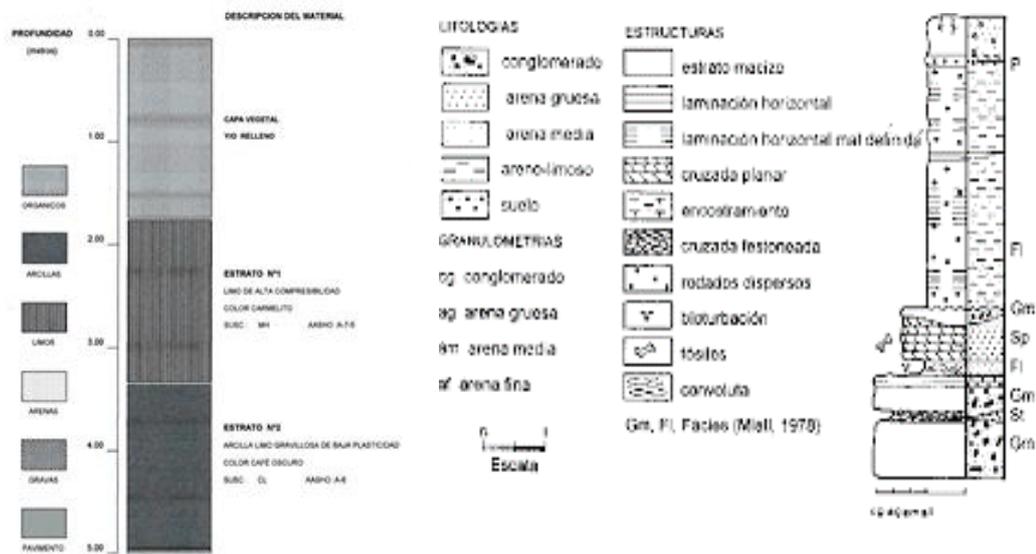


Figura 18. Diversas Formas de hacer Perfil Estratigráfico – Calicatas.

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018.

I. Suelo: Es una capa superficial de la corteza de la tierra, se considera que es una capa biológicamente activa. Es un recurso natural para la vida, producción y desde el punto de vista de la ingeniería, es un estrato donde se realizan diferentes tipos de construcciones ya sea, pistas, edificaciones, obras hidráulicas, entre otras; importando sus propiedades fisicoquímicas, y sobre todo las propiedades mecánicas de este.

CAPÍTULO III

MÉTODO

3.1. Tipo de la investigación

Es de tipo cuantitativo, ya que para poder determinar el tipo de cimentación que genere menor consolidación es necesario demostrar mediante una secuencia desde el inicio con un estudio de mecánica de suelos hasta el final en que se muestra los resultados y se pueden discutir.

El nivel de esta investigación es descriptivo, consiste en especificar las propiedades y características de objetos que se analicen; midiendo y recogiendo información nos permiten mostrar con precisión los ángulos o dimensiones de un fenómeno o situación, todo esto sin alterarla.

3.2. Diseño de la investigación

El diseño es no experimental de tipo transeccional ya que las variables no se manipularon, no se generó ninguna situación o realidad; sino que se observan situaciones ya existentes. Y la recopilación de datos se realizó en un tiempo corto, en un solo momento

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población.

La población es el área del terreno ubicado en los lotes H11 y H12 de la APV INADE, del C.P. Los Ángeles, Ubicado en el Departamento de Moquegua.



Figura 19. Ubicación de la zona de estudio – Calicatas.

3.3.2. Muestra.

Se considera como muestra la población para esta investigación, tomando el terreno habitado de $434m^2$, donde se realizarán 3 calicatas para el estudio de mecánica de suelos.



Figura 20. Ubicación de la zona de estudio – Vista Panorámica



Figura 21. Ubicación de la zona de estudio – Vista Trasera

3.4. Descripción de instrumentos para recolección de datos

Para la recolección de datos se utilizaron formatos digitados en Excel de elaboración propia, llenando los datos necesarios para su posterior procesamiento y análisis de lo obtenido en campo, así como de los ensayos realizados en el laboratorio del Ingeniero Federico Paucar, Laboratorio de investigación y Ensayos de Materiales. Se detalla un alista de los ensayos realizados para el estudio:

Formato de Perfil Estratigráfico: Basado en la ASTM D 420, se realiza un perfil detallado considerando las profundidades y los datos de los diferentes tipos de suelos y roca encontrados en la excavación que se realiza ya sea con barrenos manuales o maquinaria.

Formato de Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado: Esta basado en las normas ASTM D 422; determina cuantitativamente la distribución de los tamaños de todas las partículas del suelo, y los porcentajes que pasan por los diferentes tamices de la serie a utilizar hasta el tamiz N°200.

Formato de Limite Liquido de los suelos: Norma aplicable ASTM D4318; halla el contenido de humedad del suelo, es en porcentaje.

Formato de Limite Plástico e Índice de Plasticidad: Normado por ASTM D4318; el límite plástico se determina en el laboratorio, es la humedad más baja con la que puede formarse gusanos de suelo de unos 3,2mm (1/8") de diámetro, rodando entre la palma de la mano y una superficie lisa, sin que dichas barras se agrieten o fisuren. El índice plástico se obtiene con el límite líquido y plástico.

Formato de Contenido de Humedad de un Suelo: Se basa en la Norma ASTM D2216, la humedad o contenido de humedad se expresa como porcentaje, se obtiene de la relación del peso del agua en una masa de suelo entre el peso del sólido.

Formato de Densidad de los Suelo en el Campo por el Método del Cono de Arena: Basado en la ASTM D1556, determina la densidad y el peso unitario in situ, aplicable en suelos que no se presenten rocas en exceso o material con diámetro mayor a 1 1/2".

Formato de Peso Específico: En la Norma ASTM D854, determina el peso específico de solidos del suelo que pasan por el tamiz N°4.

La muestra será obtenida mediante 03 calicatas para garantizar los resultados, a pesar de que el reglamento establece 02 calicatas, Tabla N°1 del inciso 9.2 Artículo 9 en el Capítulo 2 de la Norma E.050 Suelos y Cimentaciones; con una profundidad de 3,00m en el terreno de la zona de estudio APV INADE del C.P. Los Ángeles.

TABLA 1 TIPO DE EDIFICACIÓN U OBRA PARA DETERMINAR EL NÚMERO DE PUNTOS DE EXPLORACIÓN (TABLA 6)					
DESCRIPCIÓN	DISTANCIA MAYOR ENTRE APOYOS • (m)	NÚMERO DE PISOS (Incluidos los sótanos)			
		≤ 3	4 a 8	9 a 12	> 12
APORTICADA DE ACERO	< 12	III	III	III	II
PÓRTICOS Y/O MUROS DE CONCRETO	< 10	III	III	II	I
MUROS PORTANTES DE ALBAÑILERÍA	< 12	II	I	---	---
BASES DE MÁQUINAS Y SIMILARES	Cualquiera	I	---	---	---
ESTRUCTURAS ESPECIALES	Cualquiera	I	I	I	I
OTRAS ESTRUCTURAS	Cualquiera	II	I	I	I
- Cuando la distancia sobrepasa la indicada, se clasificará en el tipo de edificación inmediato superior.					
TANQUES ELEVADOS Y SIMILARES	≤ 9 m de altura	> 9 m de altura			
	II	I			
PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA	III				
INSTALACIONES SANITARIAS DE AGUA Y ALCANTARILLADO EN OBRAS URBANAS.	IV				

TABLA 6 NÚMERO DE PUNTOS DE EXPLORACION	
Tipo de edificación u obra (Tabla 1)	Número de puntos de exploración (n)
I	uno por cada 225 m ² de área techada del primer piso
II	uno por cada 450 m ² de área techada del primer piso
III	uno por cada 900 m ² de área techada del primer piso*
IV	uno por cada 100 m de instalaciones sanitarias de agua y alcantarillado en obras urbanas
Habilitación urbana para Viviendas Unifamiliares de hasta 3 pisos	3 por cada hectárea de terreno por habilitar

Figura 22. Clasificación de edificación y número de calicatas

Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Presentación de resultados

Se muestran los resúmenes de los ensayos realizados en campo y en gabinete mediante el perfil estratigráfico de cada calicata y un cuadro resumen de los resultados obtenidos de cada ensayo por cada estrato analizado del perfil estratigráfico y de las 03 calicatas realizadas; así como fotos de los ensayos realizados.

El material es extraído de los lotes H 11 y 12 DE LA APV INADE del C.P. Los Ángeles. Y se realiza la clasificación con el sistema unificado de clasificación de suelos, con los ensayos de granulometría, límites de consistencia (límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad), contenido de humedad, peso específico; para evaluar mediante estas propiedades fisicoquímicas a cuanto llega el asentamiento por consolidación de este suelo estudiado.

4.1.1. Muestreo de la Zona de Estudio.

La “Propuesta de Cimentación para edificación de alta densidad con menor consolidación del suelo.



Figura 23. Ubicación de la zona de estudio.

4.1.2. Muestreo de la Zona de Estudio.

Siguiendo los lineamientos de la Norma E.050 Suelos y Cimentaciones Tabla N°01 indicada en el inciso 9.2, el estudio se realiza con 03 calicatas en los lotes que cuentan con un área total de $343,35m^2$, a las cuales se realizaron todos los ensayos que involucran el cálculo del asentamiento, de los que obtenemos los perfiles estratigráficos por cada calicata con su distribución de cada estrato encontrado; en los que generalmente se cuenta con 4 estratos y los materiales predominantes son

grava a una profundidad promedio de 2 metros y luego arena, hasta llegar a la roca fracturada.

Se muestran las imágenes del trabajo de campo realizado correspondiente al muestreo, las calicatas se realizaron con equipo de línea amarilla: una retroexcavadora:



Figura 24. Ejecución de Calicatas con Retroexcavadora.

CALICATA N°01: H = 4,00m

PROF. (metros)	SIMB. GRAF.	MUEST.	CLASIF. SUCS	Descripción del Material
0.0		ESTRATO 1	GP - GM	Material de Clasificación SUCS, GP - GM (GRAVA MAL GRADUADA CON LIMO Y ARENA) de color beige claro, el estrato es de compacidad media, presenta humedad baja, plasticidad baja. (No presenta nivel freático).
0.05				
0.10				
0.20				
0.30				
0.40				
0.50				
0.60				
0.70				
0.80				
0.90				
1.00				
1.10				
1.20				
1.40				
1.50				
1.70				
1.80				
1.90				
2.00				
2.10				
2.20	ESTRATO 2	SP - SC	Material de Clasificación SUCS, SP-SM (ARENA MAL GRADUADA CON MATRIZ LIMOSA) de color beige claro, el estrato es de compacidad media alta, presenta humedad baja, plasticidad baja (No presenta nivel freático).	
2.40				
2.50				
2.60				
2.70	ESTRATO 3	CL - ML	Material de Clasificación SUCS, CL (ARCILLA LIMOSA CON GRAVA) de color beige claro, el estrato es de compacidad media, presenta humedad baja, plasticidad baja (No presenta nivel freático).	
3.40				
3.50	ESTRATO 4	SP - SC	Material de Clasificación SUCS, SP-SM (ARENA MAL GRADUADA CON MATRIZ LIMOSA) de color beige claro, el estrato es de compacidad media alta, presenta humedad baja, plasticidad baja (No presenta nivel freático)	
3.60				
3.70				
3.80				
3.90	ROCA		Roca Fracturada. Continúa Estrato	
4.00				

Figura 25. Perfil Estratigráfico Calicata 01.

CALICATA N°02: H = 4,40m

PROF. (metros)	SIMB. GRAF.	MUEST.	CLASIF. SUCS	Descripción del Material			
0.0							
0.05					ESTRATO 1	GP - GM	Material de Clasificación SUCS, GP - GM (GRAVA MAL GRADUADA CON LIMO Y ARENA) de color beige claro, el estrato es de compactación media, presenta humedad baja, plasticidad baja. (No presenta nivel freático).
0.10							
0.20							
0.30							
0.40							
0.50							
0.60							
0.70							
0.80							
0.90							
1.00							
1.10							
1.20							
1.40							
1.50							
1.70							
1.80							
1.80	ESTRATO 2	SP - SC	Material de Clasificación SUCS, SP-SM (ARENA MAL GRADUADA CON MATRIZ LIMOSA) de color beige claro, el estrato es de compactación media alta, presenta humedad baja, plasticidad baja (No presenta nivel freático).				
1.90							
2.00							
2.10							
2.20							
2.40							
2.50							
2.60							
2.70							
2.80							
2.90							
3.00							
3.30							
3.40							
3.50							
3.60							
3.70							
3.75	ESTRATO 3	CL	Material de Clasificación SUCS, CL (ARCILLA LIMOSA CON GRAVA) de color beige claro, el estrato es de compactación media, presenta humedad baja, plasticidad baja (No presenta nivel freático).				
3.80							
3.85							
3.90	ESTRATO 4	SP - SC	Material de Clasificación SUCS, SP-SM (ARENA MAL GRADUADA CON MATRIZ LIMOSA) de color beige claro, el estrato es de compactación media alta, presenta humedad baja, plasticidad baja (No presenta nivel freático).				
4.00							
4.10							
4.20							
4.30							
4.40		ROCA	Roca Fracturada. Continua Estrato				

Figura 26. Perfil Estratigráfico Calicata 02.

CALICATA N°03: H = 4,10m

PROF. (metros)	SIMB. GRAF.	MUEST.	CLASIF. SUCS	Descripción del Material
0.0		ESTRATO 1	GP - GM	Material de Clasificación SUCS, GM (GRAVA MAL GRADUADA CON LIMO Y ARENA) de color beige claro, el estrato es de compacidad media, presenta humedad baja, plasticidad baja. (No presenta nivel freático).
0.05				
0.10				
0.20				
0.30				
0.40				
0.50				
0.60				
0.70				
0.80				
0.90				
1.00				
1.10				
1.20				
1.40				
1.50				
1.70		ESTRATO 2	SP - SC	Material de Clasificación SUCS, SP-SC (ARENA MAL GRADUADA CON MATRIZ ARCILLOSA) de color beige oscuro, el estrato es de compacidad media alta, presenta humedad baja, plasticidad baja (No presenta nivel freático).
1.80				
1.90				
2.00				
2.10				
2.20				
2.40				
2.50		ESTRATO 3	CL	Material de Clasificación SUCS, CL (ARCILLA INORGANICA) de color marron claro, el estrato es de compacidad media, presenta humedad baja, plasticidad baja (No presenta nivel freático).
2.60				
2.70		ESTRATO 4	SP - SC	Material de Clasificación SUCS, SP-SC (ARENA MAL GRADUADA CON MATRIZ ARCILLOSA) de color beige oscuro, el estrato es de compacidad media alta, presenta humedad baja, plasticidad baja. (No presenta nivel freático).
2.80				
2.90				
3.00				
3.10				
3.20				
3.30				
3.35				
3.40				
3.50				
3.60				
3.70				
3.80				
3.90				
4.00				
4.10				
			ROCA	Roca Fracturada. Continúa Estrato

Figura 27. Perfil Estratigráfico Calicata 03.

Formato de Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado: Esta basado en las normas ASTM D 422; determina cuantitativamente la distribución de los tamaños de todas las partículas del suelo, y los porcentajes que pasan por los diferentes tamices de la serie a utilizar hasta el tamiz N°200



Figura 28. Ensayo de Granulometría – Tamizaje.



Figura 29. Ensayo de Granulometría – Pesos por Retenidas.

Formato de Limite Líquido de los suelos: Norma aplicable ASTM D4318; halla el contenido de humedad del suelo, es en porcentaje.

Formato de Limite Plástico e Índice de Plasticidad: Normado por ASTM D4318; el límite plástico se determina en el laboratorio, es la humedad más baja con la que puede formarse gusanos de suelo de unos 3,2mm (1/8”) de diámetro, rodando entre la palma de la mano y una superficie lisa, sin que dichas barras se agrieten o fisuren. El índice plástico se obtiene con el límite líquido y plástico.

Se muestran por medio de Figuras del proceso del ensayo realizado de limite plástico y limite líquido:



Figura 30. Ensayo de Límite Líquido.



Figura 31. Ensayo de Límite Plástico.

Formato de Contenido de Humedad de un Suelo: Se basa en la Norma ASTM D2216, la humedad o contenido de humedad se expresa como porcentaje, se obtiene de la relación del peso del agua en una masa de suelo entre el peso del sólido.



Figura 32. Ensayo de Humedad.

Formato de Peso Específico: En la Norma ASTM D854, determina el peso específico de sólidos del suelo que pasan por el tamiz N°4.



Figura 33. Toma de dimensiones – Ensayo Peso Específico.



Figura 34. Peso Específico con Parafina.

Luego en la siguiente tabla se muestra un resumen de todos los ensayos realizados al suelo de la zona en estudio, APV INADE C.P. Los Ángeles. Cada uno de estos ensayos al hacer trabajo de gabinete se convierten en una de las variables necesarias para el cálculo del asentamiento por consolidación del suelo en estudio.

Ya que de acuerdo a la teoría el Capítulo II mientras el suelo tenga mayor plasticidad el asentamiento por consolidación se va a producir con mayor incidencia que en suelos arenosos por ejemplo, que no tienen plasticidad alta.

También es importante definir la clasificación del suelo, que es una propiedad física, ya que mediante los ensayos de granulometría luego del trabajo de gabinete podemos obtener la clasificación del suelo, ya sea grava, arena; bien o mal graduada, con limos o arcillas

Y con esta información podemos determinar la plasticidad del suelo; así también con el peso específico podemos calcular los esfuerzos del suelo.

En la Tabla 10 se muestran los resultados del trabajo de gabinete realizado para cada una de las tres calicatas y dentro de ellas para cada uno de los estratos; indicando la altura a la que esta cada uno, junto con la descripción de sus propiedades fisicoquímicas

Tabla 10*Cuadro Resumen de Ensayos*

Calicata	Prof.	Clasificación SUCS	Arena menor a Malla N°4 (%)	Arena mayor a Malla N°4 (%)	Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice de Plasticidad (%)	Humedad Natural (%)	Peso Específico (gr/cc)	Nivel Freático
C1 – E1	2,10	GP-GM	43	57	25,1	20,7	4,4	5%	1,47	NP
C1 – E2	3,00	SP-SC	62	38	29,4	22,9	6,5	6%	1,64	NP
C1 – E3	3,50	CL-ML	63	37	29,1	21,8	7,2	6%	1,84	NP
C1 – E4	4,00	SP-SC	62	38	29,0	23,1	6,0	6%	1,69	NP
C2 – E1	1,70	GP-GM	45	55	21,4	NP	NP	5%	1,45	NP
C2 – E2	3,70	SP-SC	62	38	27,0	20,7	6,2	5%	1,54	NP
C2 – E3	3,90	CL	63	37	30,9	23,7	7,2	7%	1,75	NP
C2 – E4	4,40	SP-SC	62	38	28,4	21,2	7,2	6%	1,64	NP
C3 – E1	2,40	GP-GM	42	58	25,4	NP	NP	5%	1,5	NP
C3 – E2	3,20	SP-SC	62	38	22,1	16,6	5,5	6%	1,63	NP
C3 – E3	3,40	CL	63	37	30,9	23,4	7,5	7%	1,65	NP
C3 – E4	4,10	SP-SC	62	38	28,1	21,8	6,3	6%	1,61	NP

Cada una de estas propiedades obtenidas del trabajo de gabinete y de campo son necesarias para el análisis del asentamiento por consolidación.

4.2. Contrastación de hipótesis

4.2.1. Contrastación de hipótesis 1.

Las propiedades físico – mecánicas que influyen en la consolidación del suelo de la APV INADE del C. P. Los Ángeles, son: plasticidad, densidad, humedad, peso específico.

La humedad es una de las propiedades importantes ya que es parte del volumen de vacíos y de acuerdo a la teoría de consolidación; esta se da cuando se reduce el volumen de vacíos del suelo; entonces si tenemos por ejemplo cuando un suelo arcilloso aumenta la cantidad de agua en la muestra de suelo, volumen de vacíos también aumenta; en el caso contrario cuando la humedad se reduce el volumen de vacíos también se reduce y pasa a producirse el asentamiento por consolidación del suelo.

Varios análisis matemáticos han demostrado que la consolidación depende el factor tiempo y este a su vez de la relación vacíos, el coeficiente de permeabilidad, el espesor del estrato del suelo, el peso específico, y de la variación del esfuerzo o carga que vaya a soportar la estructura.

Para realizar los cálculos de la capacidad portante, asentamientos, deformaciones de un suelo que se le aplica cualquier carga, es necesario conocer las propiedades del mismo, para determinar si de acuerdo a estas el suelo se puede usar para diferentes fines como: construcción de casas, edificios, represas, túneles, entre otras estructuras. Es mediante estas propiedades por ejemplo los límites de consistencia nos permiten calcular variables diferentes para obtener ellos asentamientos, otro ejemplo es el ángulo de fricción y coeficiente de cohesión que

nos permiten obtener mediante cálculos de gabinete la capacidad portante, dentro de otros cálculos.

4.2.2. Contrastación de hipótesis 2.

Las cimentaciones planteadas: zapata conectada, zapata combinada y platea de cimentación, serán para una edificación de detalle en la APV INADE del C. P. Los Ángeles, Moquegua 2019.

Tenemos un área de $530,10m^2$, para la construcción de la edificación de alta densidad, como se muestra la distribución de la figura 24.

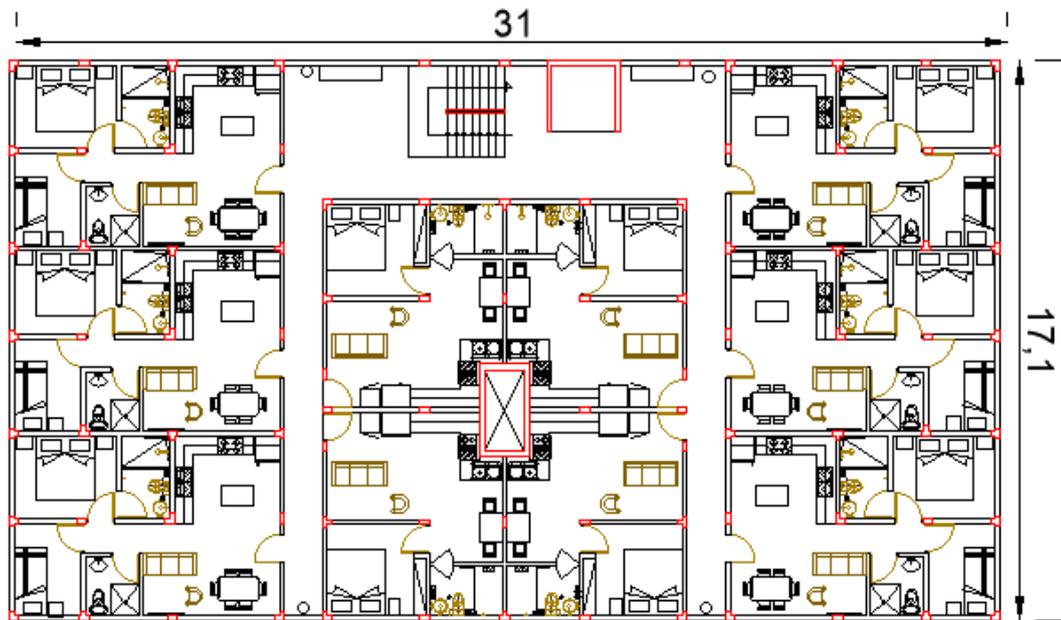


Figura 35. Vista en Planta del área a Construir Edificación de Alta Densidad.

Para obtener el peso por cada piso para la siguiente área a analizar de la edificación, se muestra en la siguiente figura:

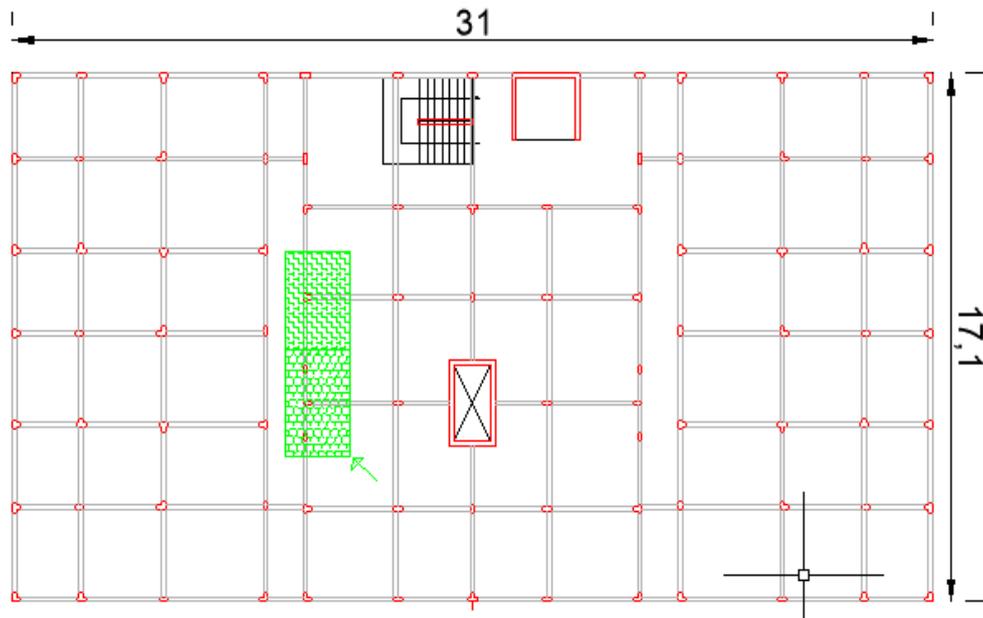


Figura 36. Vista en Planta del área para tomar los Cálculos.

La figura muestra una sección de toda la vista en planta en la que se realizan las aproximaciones de pesos, cargas transmitidas a las zapatas o cimentaciones.

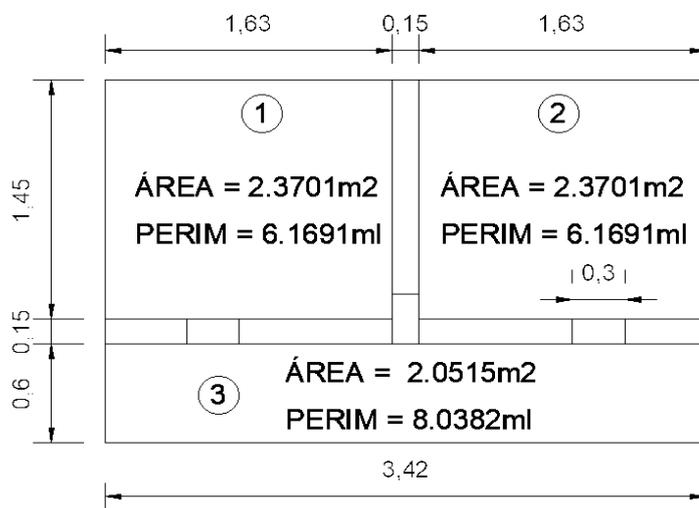


Figura 37. Vista en Sección para cálculo de pesos.

Para calcular el peso por piso, asumimos que sea 1tn por metro cuadrado y el área de la sección es de $7,52m^2$, entonces:

$$1\text{Tn} \text{ ---} \rightarrow 1\text{m}^2$$

$$X\text{ Tn} \text{ ---} \rightarrow 7,52\text{m}^2$$

El peso para la columna analizada sería de: $7,52\text{Tn} * 6\text{ Pisos} = 45,12\text{ Tn} = 45120\text{ kg} = 45120000\text{gr}$. Se usa este peso como carga puntual para los cálculos que continuaran.

4.2.2.1. Zapata Conectada – Asentamiento (S1).

En el caso de la zapata conectada, se evalúa como zapata aislada cada una; entonces tenemos 02 áreas con una diferencia mínima de peso, ya que C2 soporta mayor carga:

Para C1: área = $0,12\text{m}^2$; $P1 = 42,12\text{ Tn} = 42120\text{ kg} = 42120000\text{gr}$

Para C2: área = $0,12\text{m}^2$; $P2 = 45,12\text{ Tn} = 45120\text{ kg} = 45120000\text{gr}$

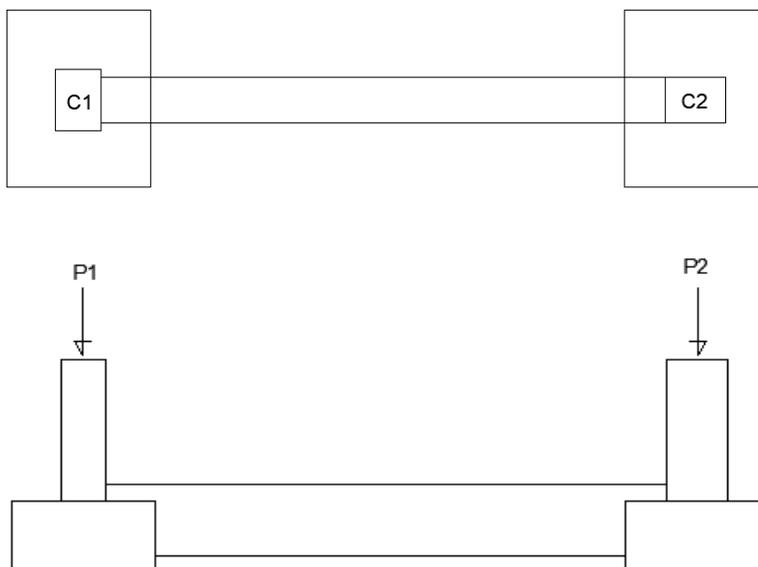


Figura 38. Vista de la Zapata Conectada para Cálculos.

Aquí se muestran los valores obtenidos de tablas y cálculos realizados con los datos que tenemos.

$$q_1 = P_1 / A_1 = 42,12 \text{ Tn} / 0,12 \text{ m}^2 = 351 \text{ Tn/m}^2$$

$$q_2 = P_2 / A_1 = 45,12 \text{ Tn} / 0,12 \text{ m}^2 = 376 \text{ Tn/m}^2$$

Se saca el promedio de las dos cargas puntuales y luego se reparte en toda el área de la zapata conectada.

$$P_{\text{total}} = 43,62 \text{ Tn}$$

$$q_t = 43,62 \text{ Tn} / 1,35 \text{ m}^2 = 32,31 \text{ Tn/m}^2$$

Usando los datos que tenemos y la figura 9; tenemos lo que muestra la tabla siguiente.

Tabla 11

Asentamiento SI

Z (m)	B	m1 = L/B	n1 = z/(B/2)	Ic	$\Delta\sigma = qIc$ (Tn/m ²)
2,10	1,5	1	2,8	0,21	6,79
3,00	1,5	1	4	0,108	3,49
3,50	1,5	1	4,7	0,083	2,68

Con los datos calculados, obtenemos el esfuerzo o incremento de presión:

$$\Delta'\sigma_{\text{prom}} = (\Delta\sigma_t + 4\Delta\sigma_m + \Delta\sigma_b)/6 \dots \dots \dots \text{[Ecuación 24]}$$

$$\Delta'\sigma_{\text{prom1}} = \frac{6,79 + 4(3,49) + 2,68}{6} = 3,91 \text{ Tn/m}^2$$

Y el cálculo del esfuerzo:

$$\sigma'_0 = 210\text{cm} * 1,47\text{gr/cc} + 80\text{cm} * 1,64\text{gr/cc} + 10\text{cm} * 1,84\text{gr/cc} = 458,3\text{gr/cm}^2$$

$$\sigma'_0 = 5,05\text{Tn/m}^2$$

Reemplazando los datos obtenidos en la ecuación de asentamiento, tenemos que:

$$S_{c(p)} = (C_c \times H_c / (1 + e_0)) \times \log ((\sigma'_0 + \Delta' \sigma_{prom}) / \sigma'_0) \dots\dots\dots [\text{Ecuación 26}]$$

$$s_{c1} = \frac{0,009(29,1 - 10) * 200}{1 + 1} \log \frac{5,05 + 3,91}{3,91} = 6,19\text{mm}$$

El asentamiento es menor a $1'' = 2,54 \text{ cm} = 25,4 \text{ mm}$

Cimentación superficial: Se muestra una figura con el asentamiento generado en la zapata conectada

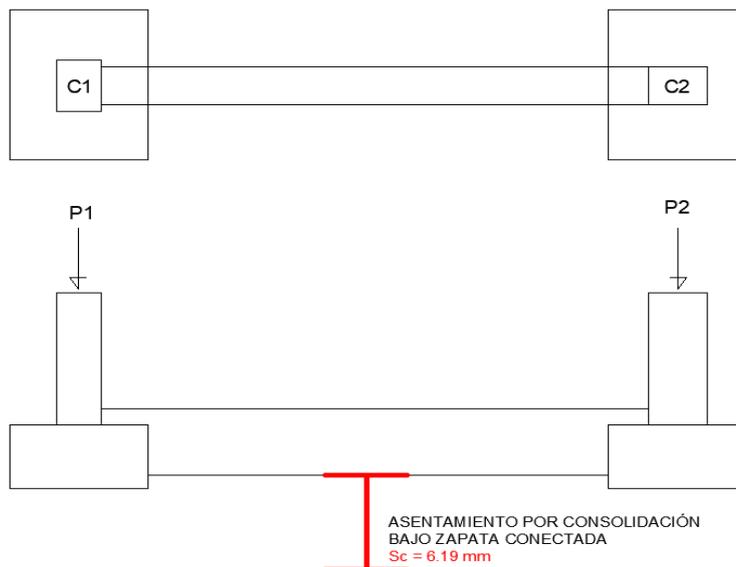


Figura 39. Vista de la Zapata Conectada con Resultados.

4.2.2.2. Zapata Combinada – Asentamiento (S2).

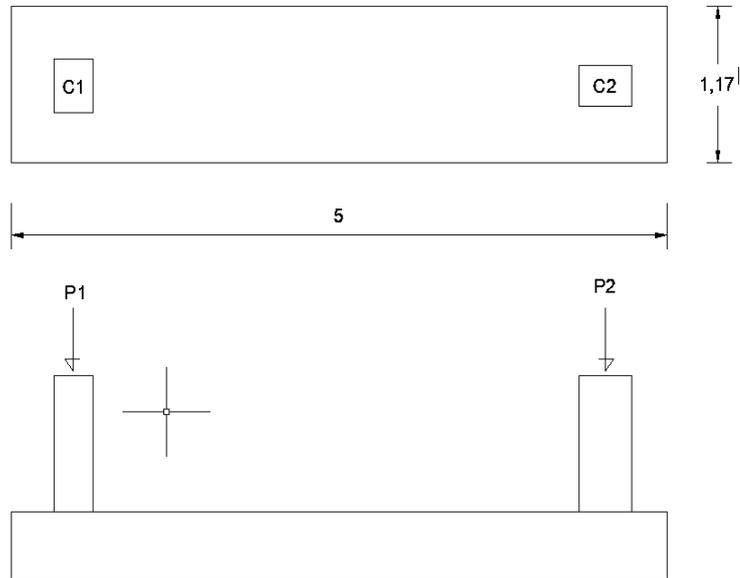


Figura 40. Vista de la Zapata Combinada para Cálculos.

Vamos a trabajar con los mismos pesos ya calculados:

$$q_1 = P_1 / A_1 = 42,12 \text{ Tn} / 5,85 \text{ m}^2 = 7,20 \text{ Tn/m}^2$$

$$q_2 = P_2 / A_1 = 45,12 \text{ Tn} / 5,85 \text{ m}^2 = 7,71 \text{ Tn/m}^2$$

Con los resultados de la carga y la figura 9, desarrollamos la tabla 10.

Tabla 12

Asentamiento S2

Z (m)	B	m1 = L/B	n1 = z/(B/2)	Ic	$\Delta\sigma = qIc$ (Tn/m ²)
1,7	5	0,234	0,68	0,885	6,60
3,7	5	0,234	1,48	0,516	3,85
3,77	5	0,234	1,51	0,514	3,83

Para continuar los cálculos de asentamiento por consolidación en una zapata combinada:

$$\Delta'\sigma_{prom} = (\Delta\sigma_t + 4\Delta\sigma_m + \Delta\sigma_b)/6 \dots\dots\dots [\text{Ecuación 24}]$$

$$\Delta'\sigma_{prom1} = \frac{6,60 + 4(3,85) + 3,83}{6} = 4,31 \text{ Tn/m}^2$$

También se debe calcular el esfuerzo principal para continuar con el cálculo del asentamiento por consolidación.

$$\sigma'_0 = 170\text{cm} * 1,45\text{gr/cc} + 200\text{cm} * 1,54\text{gr/cc} + 15\text{cm} * 1,75\text{gr/cc} = 580,75\text{gr/cm}^2$$

$$\sigma'_0 = 6,40\text{Tn/m}^2$$

Finalmente realizamos el cálculo del asentamiento por consolidación del suelo, con una cimentación superficial: zapata conectada:

$$S_c(p) = (C_c \times H_c / (1 + e_0)) \times \log ((\sigma'_0 + \Delta'\sigma_{prom}) / \sigma'_0) \dots\dots\dots [\text{Ecuación 26}]$$

$$s_{c1} = \frac{0,009(30,9 - 10) * 150}{1 + 1} \log \frac{6,40 + 4,31}{4,31} = 5,57\text{mm}$$

El asentamiento por consolidación del cálculo analizado es menor a 1”= 2,54 cm = 25,4 mm; esto ocurre debido a que al ser zapata combinada la cimentación propuesta, tiene mayor área para distribuir la carga en el suelo que es transferida por la forma de la zapata (cimentación).

Cimentación superficial: Zapata Combinada

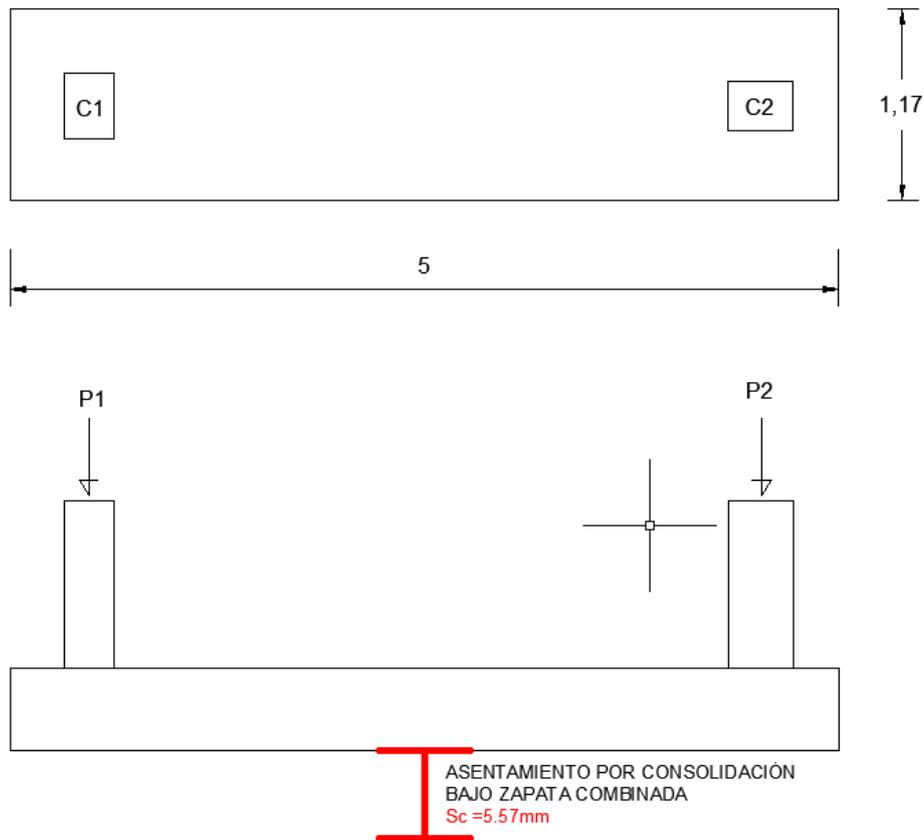


Figura 41. Vista de la Zapata Combinada con Resultados.

4.2.2.3. Platea de Cimentación – Asentamiento (S3)

Para calcular el peso por piso, asumimos que sea 1tn por metro cuadrado y el área de la sección es de $530,10 \text{ m}^2$, entonces:

$$1 \text{ Tn} \rightarrow 1 \text{ m}^2$$

$$X \text{ Tn} \rightarrow 530,10 \text{ m}^2$$

El peso para la columna analizada sería de: $530.10 \text{ Tn} * 6 \text{ Pisos} = 3180,6$

$\text{Tn} = 3180600\text{kg}$.



Figura 42. Vista de la Zapata Combinada para Cálculos.

Tabla 13

Asentamiento S3

Z (m)	B	m1 = L/B	n1 = z/(B/2)	Ic	$\Delta\sigma = qIc$ (Tn/m ²)
2,4	31	0,552	0,15	0,993	17,89
3,2	31	0,552	0,21	0,994	17,89
3,35	31	0,552	0,22	0,994	17,89

Ahora se calcula el incremento de esfuerzo promedio, con los valores de incremento de esfuerzo obtenidos para cada estrato:

$$\Delta'\sigma_{prom} = (\Delta\sigma_t + 4\Delta\sigma_m + \Delta\sigma_b)/6 \dots \dots \dots [Ecuación 24]$$

$$\Delta'\sigma_{prom1} = \frac{17,89 + 4(17,89) + 17,89}{6} = 17,89 \text{ Tn/m}^2$$

El cálculo del esfuerzo principal, también se realiza ya que es una variable en la obtención del asentamiento por consolidación.:

$$\sigma'_0 = 240\text{cm} * 1,50\text{gr/cc} + 80\text{cm} * 1,63\text{gr/cc} + 10\text{cm} * 1,65\text{gr/cc} = 506,9\text{gr/cm}^2$$

$$\sigma'_0 = 5,59\text{Tn/m}^2$$

Y ahora sí, con todas las variables conocidas, se calcula el asentamiento por consolidación para una platea de cimentación, la cual es una cimentación superficial.

$$S_{c(p)} = (C_c \times H_c / (1 + e_o)) \times \log ((\sigma'_o + \Delta' \sigma_{prom}) / \sigma'_o) \dots\dots\dots [Ecuación 26]$$

$$s_{c1} = \frac{0,009(30,9 - 10) * 200}{1 + 1} \log \frac{5,59 + 17,89}{17,89} = 2,22mm$$

El asentamiento es menor a 1" = 2,54 cm = 25,4 mm

Cimentación superficial: Placa de Cimentación o Losa de Cimentación.

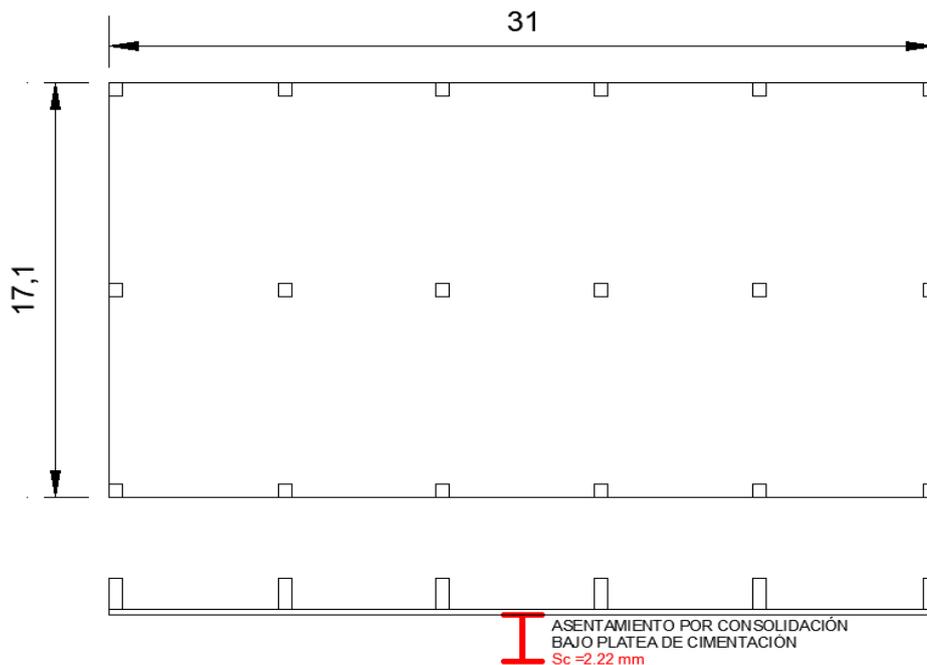


Figura 43. Vista de la Zapata Combinada con Resultados.

4.2.3. Contratación de hipótesis 3.

Según el suelo encontrado, la consolidación será de 1 pulgada = 2,54 centímetros, en la APV INADE del C. P. Los Ángeles, Moquegua 2019.

Tabla 14*Cuadro Resumen de Análisis Asentamiento por Consolidación*

Tipo de Cimentación	Asentamiento por Consolidación	Valor de Asentamiento por Consolidación (mm)
Zapata Conectada	S1	6,19
Zapata Combinada	S2	5,57
Platea de Cimentación	S3	2,22

4.3. Discusión de resultados

4.3.1. Contrastación de hipótesis.

Escobar (2018) confirma que el estudio de suelos está relacionado con el diseño, evaluación y tipo de cimentación, ratificando la importancia de realizar el estudio de mecánica de suelos en la presente investigación y con este poder obtener resultados que nos ayudan y respaldan para realizar el cálculo de los asentamientos.

De lo mostrado en los ítems 4.1.1 y 4.2, el terreno en estudio es apto para realizar las cimentaciones propuestas, según Aya (2015) nos contradice indicando que en su estudio ingenierilmente son suelos no aptos para cimentar viviendas y presenta problemas que producirían asentamientos diferenciales importantes que ponen en riesgo la seguridad de los habitantes de la zona.

De los resultados mostrados en el ítem 4.2, se concluye que la cimentación superficial propuesta como Zapata conectada va de la mano con la cimentación sugerida por Olarte (2019) que son zapatas cuadradas conectadas por vigas de conexión continuas, generalmente en los muros perimetrales.

En general las tres cimentaciones propuestas cumplen con lo indicado en la norma E.050 de Suelos y Cimentaciones en el artículo 19 inciso 19.1, cumpliendo los

primeros cinco puntos de la Tabla N°8 (DISTORSIÓN ANGULAR = α), no generando una distorsión angular mayor a lo que indica la Norma indicada.

Moya (2015) reforzando que las cimentaciones diseñadas no van a tener problemas por asentamientos excesivos, concuerda con nuestros resultados en los que mostramos en el ítem 4.2 que las tres cimentaciones propuestas generan asentamientos menores a lo establecido en la Norma E.050 Suelos y Cimentaciones

El tipo de suelo presentado en cada estudio siempre se debe tener en cuenta ya que pueden ocasionar problemas debido a su alta plasticidad que con presencia de agua puede expandirse o contraerse, pudiendo generar asentamientos en las construcciones como indica Baque (2017), a diferencia de lo encontrado por el, tenemos suelos más estables con baja plasticidad y que generan asentamientos pequeños.

Rodríguez (2018) destaca que el método de exploración en campo y los ensayos son de suma importancia para diseñar y construir edificaciones.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Primera. De la investigación se llega a concluir que la cimentación que genera menor consolidación en el suelo de la APV INADE del C.P. Los Ángeles, si es una platea de cimentación, siendo el asentamiento de 2,22mm.

Segunda. Las propiedades físico-mecánicas del suelo son muy importantes para determinar usos y características para lo que se destine el terreno. El estudio de campo y laboratorio nos dio las propiedades del suelo: entre los 3,20 a 3,70 es un suelo según la clasificación SUCS (SP-SC), como mínimo 21,4% y máximo 30,9% los límites líquidos, como mínimo 16,3% y máximo 23,7% el límite líquido por estratos, como humedad natural el rango es entre 5% y 7%, como mínimo 1,45% y como máximo 1,84% resultados del peso específico. Si las propiedades fisicoquímicas del suelo cambiaran a una profundidad, por ejemplo mayor plasticidad; el asentamiento por consolidación sería mayor. Concluyendo que son la base para el cálculo del asentamiento del suelo.

Tercera. Podemos concluir del estudio geotécnico y análisis realizados con respecto a cada tipo de cimentación propuesta sus asentamientos, una zapata conectada genera un asentamiento de 6,19mm, para una zapata combinada el asentamiento por consolidación es de 5,57mm, finalmente en el caso de una platea de cimentación o losa de cimentación el asentamiento generado es de 2,22mm. Las tres cimentaciones

superficiales planteadas generan un asentamiento mucho menor a 1" = 2,54cm = 25,4 mm.

Cuarta. La platea de cimentación nos da como asentamiento por consolidación 2,22mm, concluyendo que esta cimentación superficial genera una consolidación menor a 1 pulgada = 2,54cm = 25,4mm, en el suelo de esta investigación.

5.2. Recomendaciones

Primera. Como recomendación general para elección de cimentaciones, una platea de cimentación siempre va a generar menos esfuerzos y asentamientos mínimos, casi despreciables; es la mejor elección en lo que respecta a asentamientos por consolidación de suelos.

Segunda. La elección de una cimentación debe ir de acuerdo al presupuesto, seguridad y funcionalidad que sea requerido según el proyecto.

Tercera. Este estudio es aplicable a los lotes H11 y H12 de la APV INADE del C.P. Los Ángeles de Moquegua. En caso se realice una construcción cercana se debe realizar su propio estudio y análisis.

Cuarta. Se recomienda realizar el estudio mediante el ensayo de consolidación, que tiene mayor duración en su desarrollo y se realiza con un consolidómetro, deformímetro, pesas y demás elementos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aya, J. (2015) *Estudio de suelos con fines de cimentación en las asociaciones de vivienda San Cristobal, San Juan Bosco y San Fernando del sector VII del Distrito Alto de la Alianza, Región Tacna* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de la ciudad Tacna, Perú
- Baque, G. (2017) *Caracterización físico – mecánicas del suelo para cimentación en edificaciones de categoría baja, sector By Pass – Jhon F. Kennedy, ciudad Jipijapa* (Tesis de pregrado). Universidad Estatal del sur de Manabí, Jipijapa, Manabí, Ecuador.
- Baquerizo, G. (2015) *Estudio geotécnico de suelos para la construcción del complejo deportivo Piuray Pampa, distrito de Chincheros Urubamba, Cusco* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos de la ciudad de Lima, Perú
- Cañi, G., Gómez, J. (17 de junio 2019). Propuesta Técnica para Cimentaciones de Viviendas ubicadas en el Sector VII del Distrito Alto de la Alianza – Tacna, 2018. Repositorio UPT.
<http://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/802>
- Castro, M., Chang, L. y Salas, L. (2011). *Zonificación geotécnica sísmica de la ciudad de Moquegua*, Libro Digital publicada Guzlop editoras.
- Centro de Estudios y Prevención de Desastres y Colegio de Ingenieros del Perú (2004). *Conociendo los suelos de Moquegua*, cartilla informativa publicada por PREDES fondo Editorial, Centro de Estudios y Prevención de desastres, Moquegua, Perú.
- Das, B. (2015). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica (4ta Edición)*, México.

- Escobar, A. (2018) *Diseño de cimentación y estudio de suelo en el minicomplejo deportivo del centro poblado de Ampas, Huari* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión de la ciudad de Huánuco, Perú
- Facundo, L (09 de setiembre 2021) Asentamiento Diferencial de una Estructura inducida por la falla de los terrenos en el Distrito de Ancón, Lima – 2021. Repositorio UCV. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/75351/Facundo_CL-SD.pdf?sequence=1.
- Harmsen, T. (2005). *Diseños de estructuras de concreto armado* (4ta Edición). Perú.
- Hernández, D. (2018) *Determinación de las características físicas y mecánicas del suelo para implantación de edificaciones de categoría baja en la ciudadela 24 de Mayo, ciudad Jipijapa* (Tesis de pregrado). Universidad Estatal del Sur de Manabí, Jipijapa, Manabí, Ecuador
- Juarez B. & Rico R. (2005). *Fundamentos de la Mecánica de Suelos (Tomo I)*, México.
- Laboratorio geotécnico e investigación de materiales (2020). *Certificados de calidad (ensayos de suelos)*, Federico Paucar Tito EIRL, Moquegua, Perú.
- Laura, S. (2016) *Evaluación de la Capacidad Predictiva de los Métodos de Estimación del Comportamiento Mecánico de los Suelos Lacustres de la Bahía de Puno, para Cimentaciones Superficiales* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano de la ciudad de Puno, Perú

- Limachi, V. (2019) *Determinación de la Capacidad Portante y Tipo de Fundación para un edificio de 8 niveles* (Tesis de pregrado). Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia,
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2018). *Manual de ensayo de materiales*, Lima, Perú.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2016). *Manual de ensayo de materiales*, Lima, Perú.
- Moya, G. (2015). *Estudio y análisis del comportamiento estructural de cimentaciones superficiales por efectos de consolidación del suelo de fundación, según la metodología propuesta por la norma Ecuatoriana de la construcción* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato Ambato, Ecuador.
- Olarte, L. (2019) *Mecánica de suelos aplicada a la verificación de la capacidad de carga para cimentaciones a emplearse en los talleres productivos del E.P. Cusco, Varones* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Federico Villareal de la ciudad de Lima, Perú
- Rodríguez, G. (2018) *Determinación de las características físicas y mecánicas del suelo para implantación de edificaciones de baja categoría, ciudadela Bellavista ciudad de Jipijapa* (Tesis de pregrado). Universidad Estatal del sur de Manabí Jipijapa, Manabí, Ecuador,
- Román, J (17 de marzo 2016). *Platea de Cimentación*. Prezi. <https://prezi.com/afwgdh5fdxh7/platea-de-cimentacion/>.
- Salas, L. (2003). *Tesis de “Zonificación geotécnica sísmica de la ciudad de Moquegua”*, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

- Salvador, E. (01 de abril de 2013). *Procedimiento de Construcción de una Cimentación Superficial*. IDOCPUB.
<https://idoc.pub/documents/procedimiento-de-construccion-de-una-cimentacion-superficial-6klzqxjkjglg>.
- Servicio nacional de capacitación para la Industria de la Construcción (2010). *Reglamento Nacional de Edificaciones Norma E.050 Suelos Cimentaciones*, Lima, Perú
- Vilcas, J. (2018) *Planeamiento del mejoramiento del suelo empleando relleno fluido para la construcción de los Edificios Multifamiliares en la Obra Casa Club Recrea “Los Nogales”* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Federico Villareal de la ciudad de Lima, Perú
- Vivar, Y (2019) *Caracterización físico-mecánica del suelo utilizado como cimentación para edificaciones de hasta tres niveles, ciudadela Eloy Alfaro – Jipijapa* (Tesis de pregrado). Universidad Estatal del Sur de Manabí, Jipijapa, Manabí, Ecuador