



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLOGÍA Y
METALURGIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DEL TERRENO DE FUNDACIÓN
PARA EL DISEÑO DE CIMENTACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN
DEL FUERTE MILITAR GENERAL DE DIVISIÓN RAFAEL
HOYOS RUBIO - RÍMAC - LIMA.

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. MARIO MAMANI OLIVA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEOLOGO

PUNO – PERÚ

2022



DEDICATORIA:

Dedico este trabajo a mi querido padre Sebastián Mamani Chile y mis hermanas Rogelia y Feliciano por su apoyo y ánimo que me brinda día a día para alcanzar nuevas metas, tanto profesionales como personales. A mi madre que desde el cielo guía mi camino.

Mario Mamani Oliva



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme salud que, siempre acompañándome, dando fuerza y fe. Así mismo agradezco inmensamente a mi asesor de esta tesis Ing. M.Sc Leonel Palomino Ascencio quien me ha orientado, apoyado y corregido en mi labor científica con mucho paciencia, como tesista deposité en su persona.

Al Ing. Manuel Catacora Núñez Butrón quien me apoyo mi carrera como su asistente de ingeniero geotécnico, brindándome sus conocimientos y experiencias en esta rama que comparten la ingeniería civil y la geología.

Por último, agradecer a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, al Facultad de Ingeniería Geológica y Metalúrgica, en especial a la escuela profesional de Ingeniería Geológica, y a los docentes, por haberme instruido con conocimientos de ciencias de la tierra y formación profesional.

Mario Mamani Oliva



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 14

ABSTRACT..... 15

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....16

1.1.1 Identificación del problema.....17

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA17

1.2.1. Problema General.....17

1.2.2. Problema Especifico.....17

1.3. JUSTIFICACIÓN18

1.4. ANTECEDENTES18

1.5. HIPÓTESIS20

1.6. OBJETIVOS.....21

1.6.1. Objetivo general21

1.6.2. Objetivos específicos21



CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. GEOTECNIA	22
2.1.1. Estudio Geotécnico	22
2.1.2. Caracterización Geotécnica.....	23
2.2. DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES GEOTÉCNICAS	24
2.2.1. EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO	24
2.2.3. DESCRIPCIÓN VISUAL Y TÁCTIL – MANUAL ASTM D-2488	25
2.2.4. CARACTERIZACIÓN POR BIBLIOGRAFÍA	26
2.2.5. ENSAYOS DE LABORATORIOS	27
2.2.5.1. Análisis granulométrico por tamizado ASTM D-422	27
2.2.5.2. Limite líquido y limite plástico ASTM D-4318.....	29
2.2.5.3. Contenido de humedad natural ASTM D-4643	30
2.2.5.4. Ensayo de CBR capacidad de soporte ASTM D-1883.....	31
2.2.5.5. Corte directo ASTM D-3880	31
2.2.5.6. Densidad de campo (método de cono de arena) ASTM D-1556	32
2.3. NORMAS ASTM	32
2.4. CLASIFICACIÓN DE SUELOS	33
2.4.1. Clasificación unificada de suelos SUCS ASTM D-2487	33
2.4.2. Sistema de clasificación de suelos AASHTO ASTM D-3282	36
2.5. ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS	37
2.6. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS	37
2.6.1. Tamaño de granos	38
2.6.2. Redondez.....	39
2.6.3. Forma de Las Partículas	39
2.6.4. Color.....	40
2.6.5. humedad límite de consistencia de los suelos	41



2.6.6. Peso Específico	41
2.6.7. Porosidad.....	42
2.7. CRITERIO DE RESISTENCIA ESTABILIDAD DEL TERRENO.....	42
2.7.1. Teoría de Karl Terzaghi	42
2.7.2. Teoría de la capacidad de carga última	43
2.7.3. El Factor de Seguridad	44
2.8. REFRACCIÓN SÍSMICA.....	45
2.8.1. Ensayo de MASW.....	46
2.8.2. Valores típicos de propagación	47
2.9. GEOLOGÍA REGIONAL.....	49
2.9.1. GEOMORFOLOGÍA.....	49
2.9.1.1. Borde Litoral	50
2.9.1.2. Estribaciones de la Cordillera Occidental	50
2.9.1.3. Valles y quebradas	50
2.9.1.4. Cono de deyección	51
2.9.1.5. Zona de erosión e inundaciones	51
2.9.1.6. Planicies Costaneras.....	51
2.9.1.7. Dunas	51
2.9.2. LITOLOGÍA	52
2.9.2.1. Grupo Puente Piedra	52
2.9.2.2. Grupo Morro Solar.....	53
2.9.2.3. Grupo Lima	53
2.9.2.4. Grupo Casma.....	53
2.9.2.5. Rocas Intrusivas	54
2.9.2.6. Depósitos Fluvio-Auviales.....	54
2.9.2.7. Depósitos Eólicos Holocenos.....	55
2.9.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	55



CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	57
3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	57
3.3. DEFINICIÓN DE VARIABLES E INDICADORES	57
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	59
3.5. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	59
3.6. TÉCNICAS SEGÚN A LA NORMA ASTM.....	59
3.7. INSTRUMENTOS Y RECOLECCIÓN DE DATOS	60
3.7.1. Recopilación y revisión de fuentes de información	60
3.7.2. Materiales y Equipos.....	60
3.7.3. Equipos para refracción sísmica.....	61
3.7.4. Trabajo en campo.....	61
3.7.5. Trabajo en laboratorio	62
3.7.6. Ensayos especiales	63
3.7.7. Trabajo de gabinete.....	63
3.8. CONFIABILIDAD.....	63

CAPITULO IV

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1. UBICACIÓN	65
4.2. ACCESIBILIDAD	66
4.3. CLIMA.....	66
4.4. FLORA Y FAUNA.....	67
4.5. HIDROGRAFÍA	67
4.6. GEODINÁMICA	67
4.6.1. Geodinámica Externa:.....	67
4.6.2. Geodinámica Interna	69



4.7. SISMICIDAD	69
------------------------------	-----------

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. RESULTADOS DE GEOLOGÍA LOCAL DEL TERRENO DE FUNDACIÓN.....	73
5.1.1. GEOMORFOLOGÍA	73
5.1.3. LITOSTRATIGRAFÍA	74
5.1.3.1. Formación Puente Inga (Ki-pi)	75
5.1.3.2. La Formación Ventanilla (Ki-v).....	75
5.1.3.3. La Formación Herradura (Ki-h)	75
5.1.3.4. La Formación Marcavilca (Ki-mar)	76
5.1.3.5. Rocas Intrusivas	76
5.1.3.6. Depósito aluvial (Qp-al).....	76
5.2. RESULTADOS DE PROPIEDADES DINÁMICAS DEL SUELO DE FUNDACIÓN	78
5.2.1. REFRACCIÓN SÍSMICA	78
5.2.2. ENSAYOS MASW	81
5.2.3. CLASIFICACIÓN SÍSMICA MÉTODO DE MASW	82
5.2.4. PARÁMETROS ELÁSTICOS	83
5.2.5. DROMOCRONAS (CURVAS TIEMPO-DISTANCIA)	84
5.2.6. RESUMEN DE REFRACCIÓN	85
5.3. RESULTADOS DE PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICOS Y QUÍMICOS DEL SUELO DE FUNDACIÓN	86
5.3.1. INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO	86
5.3.2. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRATOS.....	87
5.3.3. PERFIL ESTRATIGRÁFICO DE LAS CALICATAS	89
5.3.4. ENSAYOS DE LABORATORIO	90
5.3.5. ANÁLISIS QUÍMICO DEL SUELO	91



5.3.6. CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO DE FUNDACIÓN	93
5.3.7. ASENTAMIENTO DEL SUELO DE FUNDACIÓN	95
5.3.8. ANÁLISIS DE CIMENTACIÓN	98
3.4. DISCUSIONES.....	98
VI. CONCLUSIONES	100
VII. RECOMENDACIONES	101
VIII. REFERENCIAS	102
ANEXOS.....	104

Área : Ingeniería Geotécnica

Tema : Cimentación para Construcción de Edificaciones

FECHA DE SUSTENTACION: 10 de febrero de 2022.



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Aberturas de mallas de la serie americana (A.S.T.M.).....	27
Tabla 2: Simbología de gravas según Clasificación SUCS.	34
Tabla 3: Simbología de arenas según Clasificación SUCS.	34
Tabla 4: Simbología de suelos finos según Clasificación SUCS.....	35
Tabla 5: Simbología de suelos altamente orgánicos según Clasificación SUCS.	36
Tabla 6: Tamaño de granos.....	38
Tabla 7: Correlaciones de velocidad de ondas P asociados a depósitos de suelos y roca.	47
Tabla 8: Correlaciones de velocidad de ondas P asociados a depósitos de suelos y roca.	48
Tabla 9: Correlaciones de velocidad de ondas P asociados a depósitos de suelos y roca.	49
Tabla 10: Correlaciones de velocidad de ondas P asociados a depósitos de suelos y roca.	49
Tabla 11: Operacionalización de variables.	58
Tabla 12: Normas aplicadas para exploración de suelos.	62
Tabla 13: Cuadro de coordenadas UTM según WGS 84.....	66
Tabla 14: Acceso al área de investigación.....	66
Tabla 15: Unidades Geomorfológicas	74
Tabla 16: Unidades litoestratigráficas	77
Tabla 17: Ubicación de las Líneas Sísmicas – WGS – 84.....	78
Tabla 18: Resumen de los Ensayos Geofísicos Refracción Sísmica.	80
Tabla 19: Resumen de los Ensayos Geofísicos MASW - WGS- 84.	81
Tabla 20: Resumen de corte directo de espécimen.....	90



Tabla 21: Resultados de análisis químicos de los suelos.....	92
Tabla 22: parámetros y valores para cálculo de asentamientos.....	96
Tabla 23: Resumen de condiciones de cimentación y asentamientos.	97



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Curva Granulométrica De Un Suelo. Fuente: (Bañón & Beviá, 2000).....	29
Figura 2: Cuchara De Casagrande. Fuente: (Bañón & Beviá, 2000).....	30
Figura 3: Carta De Casagrande Para Los Suelos Cohesivos. Fuente: (Bañón & Beviá, Manual De Carreteras. Volumen Ii: Construcción Y Mantenimiento, 2000).	35
Figura 4: Clasificación De Suelos Aashto. Fuente: Bañón Y Beviá (2000).....	36
Figura 5: Escala De Redondez. Fuente: (Alicante, 2020).....	39
Figura 6: Cristalografía Y Mineralogía. Fuente: (Soto, 2010).	40
Figura 7: Color De Suelos Según Munsell. Fuente: (Domínguez, Román, Prieto, & Acevedo, 2007).....	40
Figura 8: Porosidad De Suelos Arenosos Y Suelos Arcillosos. Fuente: Barja, 2015....	42
Figura 9:: Falla Por Capacidad De Carga Bajo Una Cimentación Corrida. Fuente: Terzaghi, 1943.	43
Figura 10:: Mecanismos De Falla En Sistemas De Fundación Superficial. Fuente: (Vesic, 1963).	44
Figura 11:: Esquema De La Refracción Sísmica Y La Llegada De Ondas A Los Geófonos Fuente: Rivera, Piedra, & Paripanca, 2016.....	45
Figura 12: Ensayo Refracción Sísmica. Fuente Park, 1996.....	47
Figura 13: Principales Estructuras Geológicas En Lima Metropolitana Fuente: (Le Roux Et Al., 2000; Macharé Et Al., 2009).	56
Figura 14: Mapa De Ubicación. Fuente: Sas Planet.	65
Figura 15: Subducción De Placas Activas De La Corteza Oceánica Bajo La Margen Continental. Fuente: Https://Astronomia-Fisica-Misiones- Espaciales.Blogspot.Com/2012/08/Tectonica-De-Placas-En-Marte.Html ..	69



Figura 16: La Placa De Nazca Bajo La Sudamericana. La Línea Roja Representa La Fosa Peru-Chile. Las Flechas Blancas Indican La Dirección Del Movimiento Relativo De Las Placas Y Los Triángulos Rojos, La Actividad Volcánica Activa, Fuente: Igp, 2014.....	70
Figura 17: El Área De Estudio Se Encuentra En Zona 4. Fuente: (Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente, 2018).	72
Figura 18: Afloramiento De Limolitas Estratificadas Y Fracturadas.	75
Figura 19: Obtención De Fuente Sísmica Con Golpes De Martillo De 10 Libras.	79
Figura 20: Curva De Dispersión Para El Masw Curva De Dispersión Que Muestra La Velocidad De Fase En El Dominio De La Frecuencia.	82
Figura 21: Los Parámetros Elásticos De Los Materiales Que Conforman La Zona De Estudio.	83
Figura 22: Curvas De Tiempo Vs. Distancia Dromocrónica Que Resulta De Identificar El Tiempo De Llegada De La Señal Sísmica Vs La Distancia Recorrida. ..	84
Figura 23: Modelamiento Tomográfico Del Perfil.	85
Figura 24: Investigación Del Subsuelo A Través De Excavación De Calicatas.	87
Figura 25: Descripción De Estratos Del Subsuelo.....	89
Figura 26: Ensayo En Laboratorio Análisis Granulométrico.	91



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

ASTM	: Sociedad Americana de Prueba de Materiales
B	: Ancho de la zapata o cimiento corrido en metro
C	: Cohesión en (kg/cm ²)
c	: Velocidad de fase
CBR	: Relación de rodamiento California
CL	: Cloruros
CPT	: Prueba de penetración por cono
CPT-u	: Ensayo de Penetración con Piezocono
D	: Profundidad
Df	: Profundidad de la cimentación
DPL	: Penetración dinámica ligera
Es	: Módulo de Elasticidad (kg/cm ²)
f	: Frecuencia
FS	: Factor de seguridad
If	: Factor de influencia que depende de la forma y la rigidez de la cimentación
IP	: Índice de Plasticidad
Km	: Kilometro
LL	: Limite liquido
LP	: Limite plástico
LPT	: Prueba de gran penetración
M	: Metro
m/s	: Metro por segundo
Ma	: Millones de años
MAM	: Análisis de Microtrepidaciones en Arreglos Multicanales
MASW	: Análisis multicanal de ondas superficiales
Min	: Minuto



MI	: Mililitro
Mm	: Milímetro
Nc, N τ , Nq	: Parámetros que son función del ángulo de fricción
Pág	: Página
Ppm	: Partes por millón
Pulg	: Pulgadas
PVC	: Tubo policloruro de vinilo
qad	: Capacidad portante admisible en kg/cm ²
qul	: Capacidad última de carga en kg/cm ² .
S	: Asentamiento (cm) ^{nδ}
Sc, S τ , Sq	: Factores de forma
SPT	: Prueba de penetración estándar
SST	: Sales Solubles Totales
SUCS	: Sistema unificado de clasificación de suelos
u	: Relación de Poisson
UTM	: Sistema de coordenadas universal transversal de Mercator
Vp	: Velocidad de la onda P
Vs	: Velocidad de la onda S
W ω	: Peso agua
WGS 84	: Sistema geodésico mundial 1984
Wh	: Peso de suelo húmedo
Ws	: Peso de suelo seco
ω	: Humedad expresarla en porcentaje
Δ	: Peso específico total.
Δ qs	: Esfuerzo neto transmisible (kg/cm ²)
λ	: Longitud de onda
ϕ	: Ángulo de fricción



RESUMEN

El trabajo de investigación se encuentra ubicada en distrito de Rímac, departamento de Lima en donde se tiene proyectado la construcción del Fuerte Militar General de División Rafael Hoyos Rubio en reemplazo de edificaciones antiguas; tiene como objetivo evaluar las características geológicas, geotécnicas y dinámica del terreno de fundación, utilizando la metodología con enfoque cuantitativo y cualitativo tipo de investigación explicativo y descriptivo, donde se desarrolló la evaluación geotécnica del terreno de fundación en un terreno con relieve de llanura aluvial, Geológicamente depósitos del cuaternario de origen proveniente del grupo morro solar. Las propiedades dinámicas del suelo se evaluación a través de velocidades de propagación de ondas sísmicas S (V_s) es de 377.67 m/s a 560.52 m/s, velocidad de ondas sísmicas P (V_p) es 300.0 m/s a 1619.0 m/s, el periodo de vibración es de 0.21 a 3.32 T_0 (s), coeficiente de poisson 0.35 a 0.40 μ , módulo de Young E_d 4183.01 a 20506.95 kg/cm². Las propiedades físico mecánicas del suelo varia un ángulo de fricción de 25.8° a 34.9°, cohesión 0 a 0.14 kg/cm², limite liquido de 20 a 40 %, limite plástico de 17 a 21 %, índice plástico 3 a 19 %, así mismo su composición agresivos químicos del suelo es de menor cantidad de sulfatos, cloruros, sales solubles totales. Dada la naturaleza del terreno se recomienda utilizar una cimentación superficial, tales como zapatas y cimientos corridos, recomendado para cuatro pisos a una profundidad de 1.30 m donde la capacidad portante es 1.35 kg/cm², esta es la propuesta más apropiada para construcción.

Palabras Clave: Capacidad portante, cimentaciones, geotecnia, geología, refracción sísmica.



ABSTRACT

The research work is located in the district of Rímac, department of Lima, where the construction of the Rafael Hoyos Rubio Division General Military Fort has been planned to replace old buildings; Its objective is to use the methodology with a quantitative and qualitative approach, an explanatory and descriptive type of research, where the geotechnical evaluation of the foundation ground is demonstrated in a terrain with relief of an alluvial plain, geologically deposits of the quaternary origin from the morro solar group. The dynamic properties of the soil are evaluated through seismic wave propagation speeds S (V_s) is 377.67 m/s to 560.52 m/s, seismic wave speed P (V_p) is 300.0 m/s to 1619.0 m/s, the vibration period is from 0.21 to 3.32 To(s), Poisson's ratio 0.35 to 0.40 μ , Young Ed's modulus 4183.01 to 20506.95 kg/cm². The physical-mechanical properties of the soil vary with a friction angle from 25.8° to 34.9°, cohesion from 0 to 0.14 kg/cm², liquid limit from 20 to 40%, plastic limit from 17 to 21%, plastic index 3 to 19%, likewise its aggressive chemical composition of the soil is less sulfates, chlorides, total soluble salts. Given the nature of the terrain, it is recommended to use a shallow foundation, stories such as footings and strip foundations, recommended for four floors at a depth of 1.30 m where the bearing capacity is 1.35 kg/cm², this is the most appropriate proposal for construction.

Key Words: Bearing capacity, foundations, geotechnics, geology, seismic refraction.



CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

La ciudad de Lima, en los últimos años se ha presentado problemas de asentamientos agrietamientos en las estructuras de edificaciones tanto como ocurrencia de constante actividad sísmica, debido a la interacción de la placa sudamericana y la placa de nazca. Este problema se debe en buena parte a la falta de una caracterización geotécnica y reordenamiento territorial, para ello es fundamental desarrollar siguiendo los lineamientos y recomendaciones que están contenidos en la evaluación geotécnica para garantizar la vida útil de las edificaciones.

El presente proyecto de investigación permitirá, geotécnicamente el comportamiento del terreno interactuando entre el suelo y la estructura optimo, mediante la aplicación de mecánica de suelos lo cual contribuirá para que no tenga en futuro asentamientos ni agrietamientos de las estructuras a construirse.

La investigación geotécnica comprende cómo la identificación litología, geomorfología, y tanto como características geotécnicas de los sedimentos del suelo, influencia de la mineralogía y las propiedades físico mecánicas de suelos luego realizar ensayos en laboratorio y clasificar según SUCS (Unified Soil Classification System). Los parámetros geotécnicos de los materiales obtenidos mediante trabajos en campo tanto como ensayos de laboratorio con estos datos se realiza análisis y cálculos geotécnicos.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Es importante considerar los estudios geológicos y geotécnicos para realizar obras de ingeniería, que son aplicados durante la etapa del proceso constructivo. El problema que presenta el terreno de investigación es insuficiente el alcance y contenido de los



procedimientos que se aplican actualmente para el estudio de los suelos de fundación y terraplenes para la construcción de viviendas y edificios.

Donde se tiene proyectado la construcción de edificios en reemplazo de una edificación antigua que actualmente se usa como viviendas, con el cual se estaría modernizando la zona donde se va ejecutar la edificación, y por ello va a permitir mejorar las condiciones socio económicas y calidad de vida para los militares.

1.1.1 Identificación del problema

Las estructuras de edificación tienen mucha antigüedad y una mala convivencia inadecuada para los militares cuando están de servicios en el cuartel, además que la zona es sísmica donde esperamos una ocurrencia sísmica mayor a 8° en escala Richter que probablemente una tercera parte de edificaciones de Lima pueden ser destruidos. Actualmente se producen asentamientos, agrietamiento de muros en edificaciones en varias partes de la ciudad de Lima debido falta de estudios geotécnicos y por una mala aplicación de procesos constructivos en cimentaciones de edificaciones. Además, se debe considerar que se encuentra dentro de la zonificación sísmica zona 4.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema General

¿Cuáles serán las características geotécnicas del terreno de fundación para la construcción del Fuerte Militar General de División Rafael Hoyos Rubio - Rímac – Lima?

1.2.2. Problema Especifico

¿Qué formaciones geológicas se encontrarán en el área para la construcción del Fuerte Militar General de División Rafael Hoyos Rubio - Rímac - Lima?



¿Cuáles serán las propiedades dinámicas de los suelos del terreno de fundación para el diseño de cimentación de la construcción del Fuerte Militar General de División Rafael Hoyos Rubio - Rímac - Lima?

¿Cuáles serán las propiedades físico mecánicas y químicas de los suelos del terreno de fundación para el diseño de cimentación de la construcción del Fuerte Militar General de División Rafael Hoyos Rubio - Rímac - Lima?

1.3. JUSTIFICACIÓN

En la ciudad de Lima, en los últimos años se ha presentado problemas de asentamiento en edificaciones tanto como ocurrencia de fenómenos naturales; huaicos y que está sometido a una constante actividad sísmica, debido a la interacción de la placa sudamericana y la placa de nazca. Este problema se debe en buena parte a la falta de una caracterización geotécnica y reordenamiento territorial, para ello es fundamental desarrollar siguiendo los lineamientos y recomendaciones que están contenidos en la evaluación geotécnica para garantizar la vida útil de las edificaciones que será cimentadas.

1.4. ANTECEDENTES

- **Ramos** (2019), “Evaluación geológica y geotécnica con fines de cimentación del proyecto edificio multifamiliar: Berlín 1194, distrito de Miraflores, provincia y región Lima”. Tesis para optar título profesional de ingeniero Geólogo de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión; Donde indica el comportamiento y las características geológicas y geotécnicas del área donde se realizará el proyecto, en ese contexto determina las propiedades físicas mecánicas del suelo, llegando a la conclusión siguiente: Que el Nivel de cimentación será a una profundidad mínima de 1.50 m por debajo del nivel de excavación del último sótano, siempre sobre material



gravoso, que se encuentra en estado denso, el tipo de cimentación será superficial mediante cimentación cuadrada y/o cimentación corrida y con un asentamiento diferencial máximo de 1.28 cm, menor al asentamiento máximo admisible (1 pulg).

- **Palomino** (2018), en su investigación denominada “Evaluación geotécnica aplicada al diseño de cimentaciones superficiales, en el distrito de Ventanilla, Lima-2018” de la Universidad Cesar Vallejo Lima, cuyo objetivo fue “analizar de qué manera influye la evaluación geotécnica, en el diseño de cimentaciones superficiales del distrito de Ventanilla, Lima-2018” desarrollada bajo la metodología de tipo aplicada de nivel explicativo de diseño cuasi-experimental de enfoque cuantitativo, llegando a la conclusión siguiente: La evaluación del terreno resulta ser indispensable a la hora de diseñar cualquier tipo de construcción, este estudio nos indica, según las condiciones del terreno, el tipo de cimentación que se va a utilizar mostrando los parámetros que determinan esta evaluación geotécnica, y en base a ello poder realizar un diseño que presente mayor seguridad estructural, finalmente se considera que una evaluación geotécnica resulta ser una buena alternativa para así poder evitar muchas fallas y colapsos en las estructuras, finalmente se ha determinado que la evaluación geotécnica influye en el diseño de cimentaciones superficiales en el distrito de Ventanilla.
- **Aguilar et al** (2015), “Microzonificación Sísmica del Distrito de Rímac”. Universidad Nacional de Ingeniería Facultad de Ingeniería Civil Centro Peruano-Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres. En el cual evalúa el peligro sísmico para estimar la aceleración máxima horizontal en roca y suelo, llegando a la conclusión siguiente: Microzonificación Sísmica obtenida para el distrito del Rímac tiene cuatro zonas: la zona I comprende a los afloramientos de roca con diferentes grados de fracturación y los depósitos de gravas de compacidad media



a densa con periodos menores a 0.2 segundos, con peligro geológico bajo; la zona II incluye a los depósitos de arenas de compacidad media y a los depósitos de limos y arcillas de consistencia media con períodos menores a 0.3 segundos, esta zona incluye un nivel de peligro geológico medio; la zona IV está conformada por los afloramientos de roca con diferentes grados de fracturación que presenta un peligro geológico alto debido a la presencia de taludes con pendientes moderadas a fuerte; finalmente la zona V comprende a las zonas de escombros y depósitos de rellenos antrópicos que deberán ser removidos para su habilitación urbana.

- **Diez & Navarro (2008)**, “Estudio geotécnico con fines de cimentación y pavimentación en zonas de expansión urbana en Lurín-Lima”. Tesis para optar título profesional de ingeniero civil de la Universidad Ricardo Palma. En esta tesis se reporta los aspectos importantes sobre el Estudio de Mecánica de Suelos (EMS), llegando a la conclusión siguiente: El área donde se proyectarán las viviendas presentó estratos de arena fina uniforme (SP, SP-SM y SM) con bajos contenidos de humedad y en las ecuaciones de Terzaghi y Meyerhof, se observó que la capacidad de carga última, bajo la cimentación continua es proporcional a la base de la cimentación. Además, se comprobó que a medida que la geometría de la cimentación cuadrada aumentaba también lo hacía la capacidad de carga última (cargas puntuales o concentradas provocan mayores esfuerzos).

1.5. HIPÓTESIS

Las características geotécnicas del terreno de fundación para diseñar la cimentación en la construcción del Fuerte Militar General de División Rafael Hoyos Rubio - Rímac – Lima es buena.



1.6. OBJETIVOS

1.6.1. Objetivo general

Evaluar las características geotécnicas del terreno de fundación para el diseño de cimentación de la construcción del Fuerte Militar General de División Rafael Hoyos Rubio - Rímac – Lima.

1.6.2. Objetivos específicos

- Identificar las formaciones geológicas del terreno de fundación para el diseño de cimentación de la construcción del Fuerte Militar General de División Rafael Hoyos Rubio - Rímac - Lima.
- Evaluar las propiedades dinámicas de los suelos del terreno de fundación para el diseño de cimentación de la construcción del Fuerte Militar General de División Rafael Hoyos Rubio - Rímac - Lima.
- Determinar las propiedades físico mecánicos y químicos de los suelos del terreno de fundación para el diseño de cimentación de la construcción del Fuerte Militar General de División Rafael Hoyos Rubio - Rímac - Lima.

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. GEOTECNIA

“La geotecnia es la aplicación de la Geología en la construcción de obras de ingeniería” (Rojas & Paredes, 2008, pág. 16). Como la construcción de diversas obras; presas, túneles, carreteras, puentes, edificaciones, etc. La geología juega un rol esencial en la aplicación de la mecánica de suelos y rocas.



2.1.1. Estudio Geotécnico

El estudio geotécnico comprende al conjunto de posibles actividades que nos van a permitir adquirir información de los aspectos del terreno tanto geológica y geotécnica, el cual es necesario en la elaboración de un proyecto de construcción (Palomino, 2018).

Finalmente, lo que se busca con un estudio geotécnico, como nos menciona el autor es conocer las propiedades del suelo y las herramientas necesarias a la hora de



realizar el estudio geotécnico, y en base a esto es importante saber sobre qué tipo de suelo está ubicado terreno en estudio y en base a esto poder tener construcciones mucho más seguras.

Para realizar un proyecto geotécnico de una cimentación se emplea el estudio geotécnico, ya que a través de ello se realiza el análisis de resistencia y deformabilidad del terreno, tipos de cimentación recomendada, cargas admisibles y cota de cimentación y por último se redacta las recomendaciones constructivas (Gonzales de Vallejo, et al., 2002).

2.1.2. Caracterización Geotécnica

Según Palomino (2018), la caracterización geotécnica consiste en determinar la composición y propiedades físico-mecánicas, hídricas, químicas del terreno donde se proyecta una obra o se extrae material para construcción, para los cuales el estudio geotécnico como:

- Excavaciones
- Edificios
- Rellenos y terraplenes
- Taludes
- Obras de contención
- Estructuras de pavimento
- Túneles
- Puentes



- Fuentes de material

2.2. DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES GEOTÉCNICAS

En los estudios geotécnicos la caracterización de los materiales se hace mediante diferentes formas, dependiendo del nivel del proyecto, disponibilidad de recursos, grado de detalle, etc. Las principales formas para determinar las de los materiales son:

2.2.1. EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

Según Herrera & Castilla (2012), para el exploración y reconocimiento geotécnico se puede emplear diversas técnicas y métodos ya sea desde la verificación in situ visual hasta las técnicas de campo o laboratorio se agrupa en dos conjuntos:

a) Métodos directos: en este grupo están las técnicas de observación y acceso de manera directa al subsuelo, permitiendo la obtención de muestras. En este grupo de métodos generalmente se realizan ensayos “in situ” además se incluye las siguientes técnicas:

- Ensayos de penetración in situ (SPT, LPT, CPT, CPT-u, DPL).
- Excavación y registro de calicatas
- Perforaciones geotécnicas y registro de testigos (verticales o inclinadas)
- Toma de muestras de suelo (inalteradas o disturbadas)
- Densidad de in situ (reemplazo de agua, cono de arena o densímetro nuclear).

b) Métodos indirectos: son aquellas técnicas que se ejecuta sin de necesidad de acceder al terreno, es decir consiste en la medición de propiedades físicas de los materiales que constituyen los diferentes niveles o estratos del terreno. Las técnicas que incluye en este grupo son:



- Ensayos geofísicos (refracción sísmica, MASW, MAM, etc.)
- Evaluación geotécnica por medio de imágenes satelitales
- Mapeo geológico-geotécnico

2.2.3. DESCRIPCIÓN VISUAL Y TÁCTIL – MANUAL ASTM D-2488

Mediante la observación es posible determinar color, olor, textura, granulometría, plasticidad, dureza, grado de alteración, fracturamiento, inclinación de estratos, estratigrafías, relieve, presencia de nivel friático. Esta primera caracterización es fundamental y necesaria para adelantar posteriores investigaciones, formando parte de todos los estudios, desde el nivel más general hasta el más detallado (por ejemplo, arcilla arenosa, gris; capa vegetal negra, arena gravosa). (Norma Técnica E.050 Suelos y Cimentaciones, 2018).

La clasificación y descripción de campo, tanto de suelos residuales como transportados, se hará de acuerdo a las características y orden siguientes:

1. Nombre del grupo.
2. Símbolo del grupo.
3. Humedad.
4. Color.
5. Olor.
6. Densidad Relativa.
7. Porcentaje de bolonería presente en la muestra (en volumen)
8. Porcentaje de grava, arena y/o finos (en peso seco)
9. Rango de tamaño de las partículas: Gravas: fina o gruesa y Arenas: fina, media o gruesa.



10. Gradación: bien graduadas o mal graduadas.
11. Angularidad de las partículas: angulares, sub-angulares, sub-redondeadas o redondeadas.
12. Forma de la partícula (de ser aplicable): chatas, alargadas o chatas y alargadas.
13. Tamaño máximo.
14. Dureza de la arena gruesa o de las partículas grandes.
15. Consistencia: muy blando, blando, medianamente compacto, compacto, muy compacto o duro.
16. Plasticidad: ninguna, baja, media o alta.
17. Resistencia en estado seco: ninguna, baja, media, alta o muy alta.
18. Dilatancia: ninguna, lenta o rápida.
19. Tenacidad: baja, media o alta.
20. Reacción al HCl: ninguna, débil, fuerte.
21. Estructura: estratificada, laminada, fisurada, clivada, lentes, homogénea.
22. Cementación: débil, moderada o fuerte.
23. Nombre local.
24. Comentarios adicionales: presencia de raíces o agujeros dejados por raíces, presencia de mica, yeso, conchuelas, materia orgánica, elementos extraños etc.

2.2.4. CARACTERIZACIÓN POR BIBLIOGRAFÍA

Teniendo la caracterización visual y táctil de los suelos es posible evaluar en forma aproximada algunas propiedades cuantitativas recurriendo a informes y escritos donde se presentan resultados de ensayos en materiales similares. También en libros de mecánica de suelos y mecánica de rocas aparecen con frecuencia tablas y graficas en que se relacionan caracterizaciones con rangos de valores límites de algunas propiedades (Diez & Navarro, 2008).



Los valores obtenidos por este método tienen un carácter orientador y solo puede ser utilizado para análisis y cálculos preliminares.

2.2.5. ENSAYOS DE LABORATORIOS

Los ensayos de laboratorio se hacen sobre muestras representativas obtenidas del material estudiado. Dichas muestras deben reunir ciertas condiciones de geometría y dimensiones.

2.2.5.1. Análisis granulométrico por tamizado ASTM D-422

En la clasificación de los suelos para usos de ingeniería es universalmente acostumbrado utilizar algún tipo de análisis granulométrico. Para este ensayo es importante la herramienta Tamiz, el cual es un instrumento compuesto por un marco rígido al que se encuentra sujeta a una malla caracterizada por un espaciamiento uniforme entre hilos denominado abertura o luz de malla mediante el cual se trasporta la muestra de suelo a analizar. para determinar la fracción fina del sueño – limo y arcillas no es necesario realizar el tamizado, ya que se utilizará el método de sedimentación (Bañón & Beviá, MANUAL DE CARRETERAS. Volumen II: construcción y mantenimiento, 2000).

Tabla 1: Aberturas de mallas de la serie americana (A.S.T.M.).

TAMICES SERIE AMERICANA	
NÚMERO DE MALLAS ABERTURA (Pulg.)	ABERTURA (mm)
3"	76.2
2 ½"	63.5
2"	50.8
1 ½"	38.1
1"	25.4



3/4"	19.05
1/2"	12.7
3/8"	9.525
1/4"	6.35
Nº 4	4.75
Nº 6	3.36
Nº 8	2.36
Nº 10	2
Nº 16	1.18
Nº 20	0.85
Nº 30	0.6
Nº 40	0.425
Nº 50	0.3
Nº 80	0.18
Nº100	0.15
Nº 200	0.075

-200

ASTM D 1140

Fuente: (Pari, 2018)

Se utiliza para determinar la distribución de tamaño y gradación del material

Gradación: Se debe determinar el coeficiente de uniformidad (Cu) y el coeficiente de curvatura (Cc), por medio de D60, D30 y D10.

$$Cu = D60/D10$$

$$Cc = D30^2 / (D60 * D10)$$

Coeficiente de uniformidad: indica la pendiente media de la curva granulométrica

Coeficiente de curvatura: describe la suavidad y forma de la curva de gradación

Figura: Curva granulométrica de un suelo

- a) $C_u < 5$: Suelos uniformes mal gradados (mismos tamaños de partículas)
- b) $5 \leq C_u \leq 15$: Suelos no uniformes (heterogéneos, diversos tamaños de partículas)
- c) $C_u > 15$: suelos muy heterogéneos.

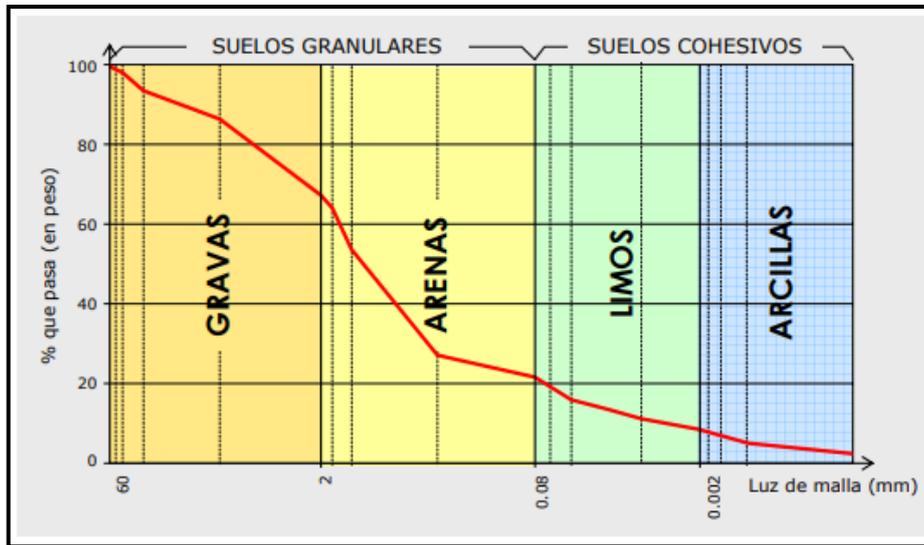


FIGURA 1: Curva granulométrica de un suelo. Fuente: (Bañón & Beviá, 2000)

2.2.5.2. Limite líquido y limite plástico ASTM D-4318

Los límites de Atterberg son ensayos de laboratorio normalizados que permiten obtener los límites del rango de humedad dentro del cual el suelo se mantiene en estado plástico. El límite de atterberg es planteado con propósito de relacionar el grado de plasticidad de un suelo con su contenido en agua o humedad, el cual es expresado en función a peso seco de la muestra (Bowles, 1981).

Los límites líquido y plástico son sólo dos de los 5 "límites" propuestos por A. Atterberg, un científico sueco dedicado a la agricultura en 1911. Los más utilizados son:

Limite líquido (LL): contenido de humedad por encima del cual el suelo se comporta como un líquido viscoso y por debajo del cual como un material plástico.

Limite plástico (LP): contenido de humedad que separa el estado semisólido y plástico.

Índice de Plasticidad: Es la diferencia entre en LL y el LP. (rango de humedad en el cual el suelo se comporta como un material plástico).

$$IP = LL - LP$$

IP = 0-5 suelo no plástico

IP= 5-15 suelo ligeramente plástico

IP= 15-40 suelo medianamente plástico

IP > 40 suelo altamente plástico

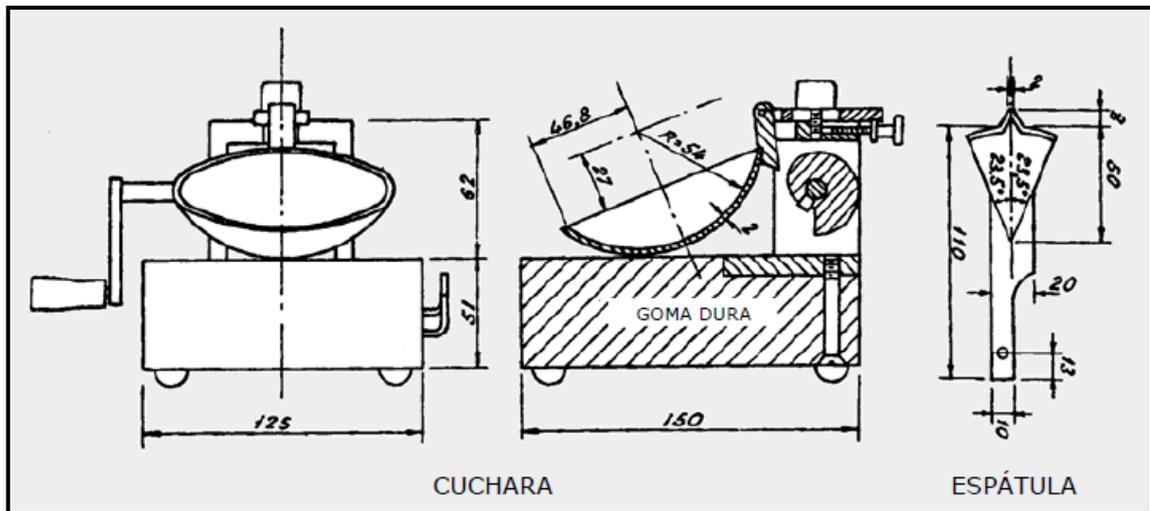


FIGURA 2: Cuchara de Casagrande. Fuente: (Bañón & Beviá, 2000)

2.2.5.3. Contenido de humedad natural ASTM D-4643

Según Bowles (1981), la determinación de contenido de humedad es un ensayo rutinario de laboratorio para determinar la cantidad de agua presente en una cantidad dada de suelo en términos de su peso en seco. Se expresa en porcentaje. Los equipos para este ensayo se emplean horno, balanzas, capsulas de secado, y desecado.

$$W\omega = Wh - Ws$$



$$\omega = \frac{W_{\omega}}{W_s} * 100\%$$

Donde:

W_{ω} =peso agua

W_h =peso de suelo húmedo

W_s =peso de suelo seco

ω =humedad expresarla en porcentaje

2.2.5.4. Ensayo de CBR capacidad de soporte ASTM D-1883

El ensayo CBR (California Bearing Ratio) se desarrolló por parte de la división de carreteras de California en 1929 como una forma de clasificación de la capacidad de un suelo para ser utilizado como sub rasante o material de base en construcción de carreteras. Durante la segunda guerra mundial, el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos adoptó este ensayo para utilizarlo en la construcción de aeropuertos (Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002).

El ensayo consiste en compactar las muestras en moldes normalizados, sumergir en agua las probetas y realizar un punzamiento sobre la muestra con un pistón normalizado.

2.2.5.5. Corte directo ASTM D-3880

El ensayo de corte directo permite encontrar los parámetros de resistencia de un suelo (cohesión y ángulo de fricción). Ósea induce la ocurrencia de una falla a través de un plano de localización predeterminado. Sobre este plano actúan dos fuerzas o esfuerzos (Braja, 2015).



Se trata de una caja rígida de acero, usualmente de sección cuadrada, que se encuentra dividida en dos mitades y en cuyo interior se coloca la muestra de suelo. Los equipos para este ensayo se emplean; balanzas, Pie de rey o Vernier y equipo de corte directo.

2.2.5.6. Densidad de campo (método de cono de arena) ASTM D-1556

El método cono de arena es empleado para determinar densidad de suelos compactados en la construcción de terraplenes, represas, carreteras, etc. a una densidad especificada como un porcentaje de la máxima densidad seca determinada mediante algún otro método de ensayo, como el Proctor estándar y modificado (Braja, 2015).

Adicionalmente, este método de ensayo puede ser empleado para determinar la densidad de campo en los depósitos naturales de suelo, agregados, mezclas de suelos, etc. Los materiales para este ensayo son: Arena calibrada, alanza, placa metálica, comba, cincel, cucharón, brocha, dos taras, tamiz $\frac{3}{4}$ y bolsa plástica.

2.3. NORMAS ASTM

Es una de las organizaciones internacionales de desarrollo de normas más grandes del mundo Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, por sus siglas en inglés ASTM (American Society for Testing and Materials). ASTM Internacional fue creada en 1898, siendo una organización no lucrativa, que brinda publicación de normas voluntarias por consenso, aplicables a los materiales, productos, sistemas y servicios; entre ellas abarca metales, pinturas, plásticos, textiles, petróleo, construcción, energía, ambiente, productos de consumo, servicios y recursos médicos, sistemas de pasteurización, electrónica y otras áreas (García & Ramírez, 2006).



Para estudio de Suelos y Rocas que determinan dentro de construcción según norma ASTM, es con el fin de que los ensayos se realicen dentro de los estándares propuestos de acuerdo a las Normas ASTM actuales y así obtener resultados más confiables que nos permitan dar soluciones ante algún problema inherente a la Mecánica de Suelos, que surja antes y durante la ejecución de un proyecto.

2.4. CLASIFICACIÓN DE SUELOS

De las múltiples clasificaciones existentes, la que sin duda es la más racional y completa clasificación de casa grande modificada y aplicación más directa en ingeniería de carreteras empleada por la AASHTO.

2.4.1. Clasificación unificada de suelos SUCS ASTM D-2487

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos fue ideado por A. Casagrande en 1942 como un sistema genérico el cual fue empleado por ingenieros ejércitos de los EE.UU.; en 10 años después el cual fue modificado por Bureau of Reclamation de Estados Unidos y por el Cuerpo de Ingenieros, dando origen al Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS). El cual adoptado por la ASTM (American Society of Testing Materials) como parte de sus métodos normalizados. (Bañón & Beviá, MANUAL DE CARRETERAS. Volumen II: construcción y mantenimiento, 2000).

En la actualidad, es utilizado por los ingenieros en la norma ASTM D-2487, la Clasificación SUCS se agrupa en símbolos de grupo en cual consiste en designar prefijos de composición de suelos y sufijos que matiza sus propiedades.

Tabla 2: Simbología de gravas según Clasificación SUCS.

GRAVAS:	
SÍMBOLO	TIPO DE SUELO
GW	Grava bien graduada
GP	Grava mal graduada
GM	Grava limosa
GC	Grava arcillosa
GM-GC	Grava limosa-arcillosa
GW-GM	Grava ligeramente limosa, bien graduada
GW-GC	Grava ligeramente arcillosa, bien graduada
GP-GM	Grava ligeramente limosa, mal graduada
GP-GC	Grava ligeramente arcillosa, mal graduada.

Fuente:. (Norma Técnica E.050 Suelos y Cimentaciones, 2018)

Tabla 3: Simbología de arenas según Clasificación SUCS.

ARENAS	
SÍMBOLO	TIPO DE SUELO
SW	Arena bien graduada
SP	Arena mal graduada
SM	Arena limosa
SC	Arena arcillosa
SM-SC	Arena limosa arcillosa
SW-SM	Arena ligeramente limosa, bien graduada
SW-SC	Arena ligeramente arcillosa, bien graduada
SP-SM	Arena ligeramente limosa, mal graduada.
SP-SC	Arena ligeramente arcillosa, mal graduada

Fuente:. (Norma Técnica E.050 Suelos y Cimentaciones, 2018)

Tras un estudio experimental de diferentes muestras de suelos de grano fino, Casagrande consigue ubicarlos en un diagrama que relaciona el límite líquido (LL) con el índice de plasticidad (IP). En este diagrama, conocido como la carta de Casagrande de los suelos cohesivos, destacan dos grandes líneas que actúan a modo de límites:

Línea A: $IP = 0.73 \cdot (LL-20)$

Línea B: $LL = 50$

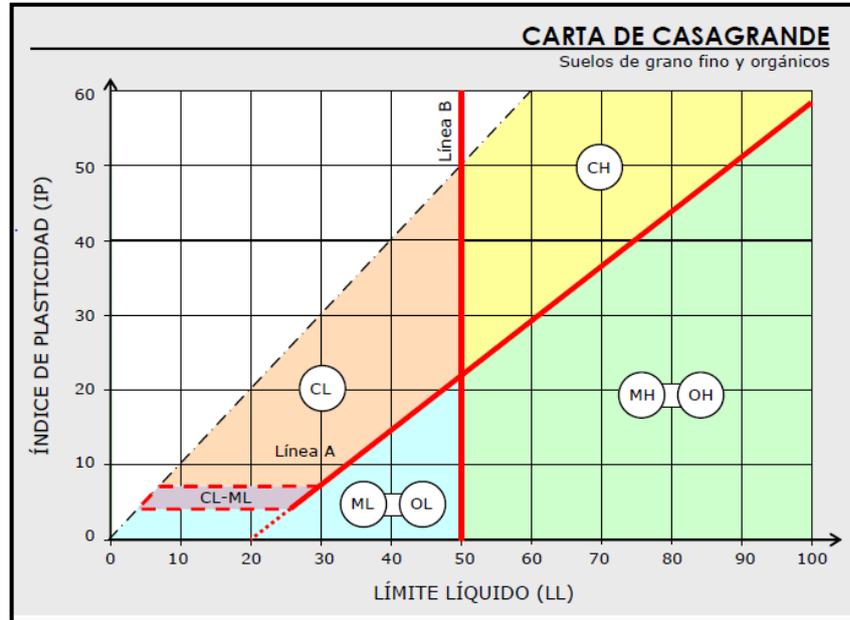


FIGURA 3: Carta de Casagrande para los suelos cohesivos. Fuente: (Bañón & Beviá, MANUAL DE CARRETERAS. Volumen II: construcción y mantenimiento, 2000).

Tabla 4: Simbología de suelos finos según Clasificación SUCS.

SUELOS FINOS	
SÍMBOLO	TIPO DE SUELO
ML	Limo inorgánico de plasticidad baja o media
CL	Arcilla inorgánica de plasticidad baja o media
CL-ML	Arcilla limosa o limo arcilloso inorgánico de plasticidad baja o media
OL	Suelo orgánico de plasticidad baja o media
MH	Limo inorgánico de plasticidad alta
CH	Arcilla inorgánica de plasticidad alta
OH	Suelo orgánico de plasticidad alta

Fuente: (Norma Técnica E.050 Suelos y Cimentaciones, 2018)

Tabla 5: Simbología de suelos altamente orgánicos según Clasificación SUCS.

SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS	
SÍMBOLO	TIPO DE SUELO
Pt	Turba: Suelo fibroso con alto contenido de materia orgánica

Fuente: (Norma Técnica E.050 Suelos y Cimentaciones, 2018)

2.4.2. Sistema de clasificación de suelos AASHTO ASTM D-3282

El Sistema de Clasificación de Suelos AASHTO fue desarrollado en 1929 como un sistema de sección de administración de carreteras, con el pasar de tiempo tuvo diversas revisiones, en el año 1945 fue planteado por Highway Research Board's Committee, La Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes adoptó este sistema de clasificación de suelos (AASHTO M 145), el cual fue agrupada en 7 grupos principales, básicos de suelos numerados de A-1 al A-7 a su vez algunos de estos grupos presentan subdivisiones de A-1 y el A-7 tienen dos subgrupos y el A-2 tiene cuatro divisiones. Estos son identificados por inspección visual. Es el sistema más utilizado en la clasificación de suelos en carreteras.

DIVISIÓN GENERAL	Materiales Granulares (pasa menos del 35% por el tamiz ASTM #200)							Materiales Limo-arcillosos (más del 35% por el tamiz ASTM #200)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
Subgrupo												
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (% que pasa por cada tamiz)												
Serie ASTM	#10	≤ 50										
	#40	≤ 30	≤ 50	≥ 51								
	#200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36
ESTADO DE CONSISTENCIA (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM #40)												
Límite líquido			NP	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	>41 (IP<LL-30)	>41 (IP>LL-30)
Índice de plasticidad	≤ 6			≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≥ 11
ÍNDICE DE GRUPO	0	0	0	≤ 4		≤ 8	≤ 12	≤ 20		≤ 20		
TIPOLOGÍA	Fragmentos de piedra, grava y arena		Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos		
CALIDAD	EXCELENTE A BUENA						ACEPTABLE A MALA					

FIGURA 4: Clasificación de suelos AASHTO. Fuente: Bañón y Beví (2000)



2.5. ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS

La mecánica de suelos es la rama de la ciencia que estudia el comportamiento mecánico de los suelos, debido que permite el cálculo y definición de la cimentación que se va utilizar en una obra determinada donde destaca el conocimiento y experiencia del ingeniero especialista. La mecánica de suelos, además permite determinar el tipo de cimentación que va elegir las estructuras, debido que la mecánica de suelos en algunas hipótesis respecto a las propiedades del suelo, ya que muchas veces no es posible determinar todas las propiedades que estos presentan (Palomino, 2018).

Al respecto Duque y Escobar (2002), señala que el estudio de la mecánica de suelos comprende la aplicación de la mecánica a los problemas geotécnicos, mediante el estudio de determinadas propiedades, como la utilización del suelo como material estructural y la evaluación de su comportamiento, de tal modo que estas deformaciones y la resistencia del suelo puedan brindar durabilidad, seguridad y sobre todo estabilidad a las estructuras.

En resumen, el estudio de mecánica de suelos es fundamental debido que los problemas geotécnicos que se presentan en un proyecto de construcción de obras civiles que se realizará traerá consigo diversos problemas como es la durabilidad, seguridad, estabilidad entre otros por ello es importante conocer a profundidad la geología del terreno de estudio.

2.6. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS

Principalmente se determina mediante los ensayos y se expresan numéricamente por determinados coeficientes. En la mecánica de suelos es importante el tratamiento de las muestras (inalteradas – alteradas). La mecánica de suelos desarrolló los sistemas de clasificación de suelos - color, olor, texturas, distribución de tamaños y plasticidad con A. Casagrande (Juárez & Rico, 2005).

La mecánica de suelos es la aplicación del conocimiento teórico y empírico de los problemas prácticos.

2.6.1. Tamaño de granos

El tamaño de los granos de sus componentes y refleja las condiciones de sedimentación, el conglomerado requiere corrientes fuertes como aquellos de ríos fluyentes con alta velocidad en las montañas o las altas orillas en una playa rocosa para su transporte, la arenisca puede ser transportada por vientos fuertes formando dunas o por corrientes moderados como aquellos de ríos o aquellos cercanos de la costa y la roca arcillosa indica áreas de sedimentación de aguas tranquilas. (Gonzales de Vallejo, et al., 2002).

Tabla 6: Tamaño de granos.

mm > 63	bloques		mm > 63
32	muy grueso		20
16	grueso		6.3
8	medio	gravas	2
4	fino		0.63
2	muy fino		0.2
1	muy grueso		0.063
0.5	grueso		0.02
0.25	medio	arena	0.0063
0.125	fino		0.002
0.063	muy fino		< 0.002
0.032	muy grueso		
0.016	grueso		
0.008	medio	limo	
0.004	fino		
0.002	muy fino		
< 0.002		arcilla	

Fuente: (Griem, 2020)

2.6.2. Redondez

La redondez de los clastos es representa la magnitud y el tipo del transporte. Un transporte gravitacional coluvial corto (sin agua) produce clastos angulares. Con la entrada de los clastos al sistema fluvial empieza el desgaste y las partículas pierden su angularidad. (Braja, 2015).

Sólo es posible apreciar la redondez de los clastos de los sedimentos que componen las rocas sedimentarias clásticas, cuando son suficientemente grandes. Los fragmentos pueden presentar los siguientes tipos de variedades:

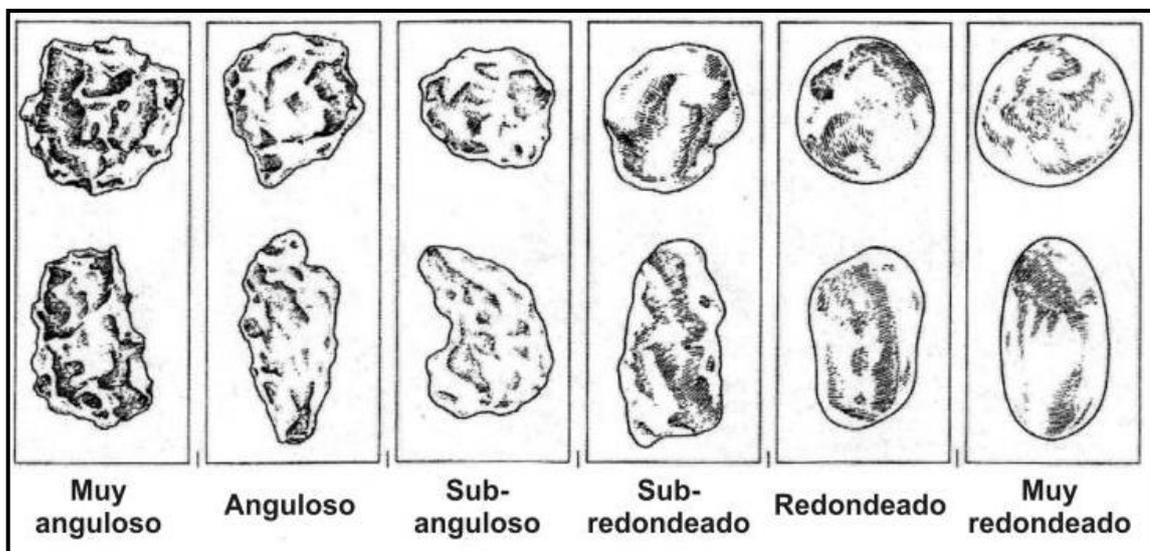


FIGURA 5: Escala de redondez. Fuente: (Alicante, 2020)

2.6.3. Forma de Las Partículas

La erosión y el tipo de mineral o roca de los restos líticos pueden ocasionar diversas formas, algunas de ellas son las siguiente: tabulares, equidimensionales, cuneiforme, tubulares o cilíndricos, basilares, discoides, laminares, aciculares y mixtas. (Lambe & Whitman, 2004).

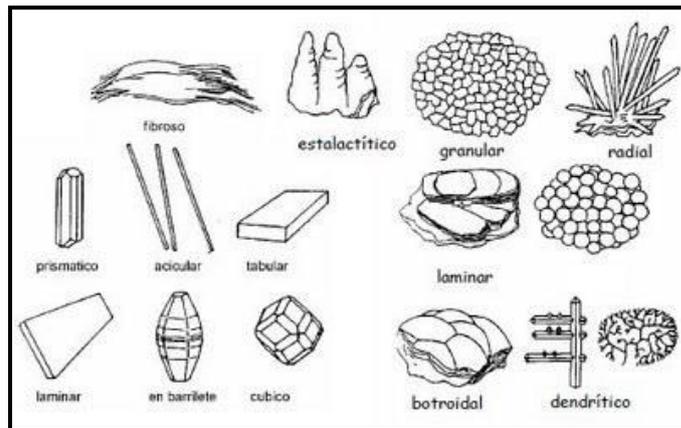


FIGURA 6: *Cristalografía y Mineralogía. Fuente: (Soto, 2010).*

2.6.4. Color

El color es una propiedad importante en la identificación de suelos orgánicos y la identificación de materiales del origen geológico similar. Si la muestra contiene capas o estratos de diferentes colores esto debe anotarse y deben describirse los colores representativos. (Bowles, 1981).

El color debe describirse en muestras húmedas en caso contrario se especificará en muestras secas.

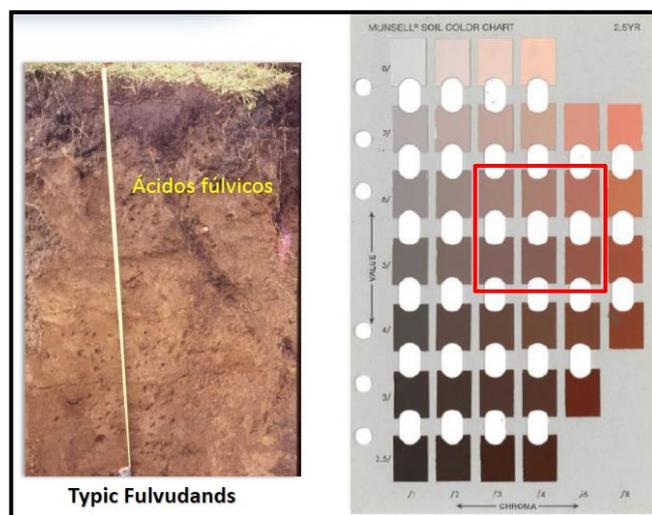


FIGURA 7: *Color de suelos según Munsell. Fuente: (Domínguez, Román, Prieto, & Acevedo, 2007)*



2.6.5. humedad límite de consistencia de los suelos

La determinación de contenido de humedad es un ensayo rutinario de laboratorio para determinar la cantidad de agua presente en una cantidad dada de suelo en términos de su peso en seco (Documents, 2016).

Se expresa en porcentaje.

$$W\omega = Wh - Ws$$

$$\omega = \frac{W\omega}{Ws} * 100\%$$

Donde:

$W\omega$ =peso agua

Wh =peso de suelo húmedo

Ws =peso de suelo seco

ω =humedad expresarla en porcentaje

Los equipos para este ensayo se emplean horno, balanzas, capsulas de secado, y desecado.

2.6.6. Peso Específico

Bowles (1981), señala que el procedimiento de este ensayo es bastante simple y comprende las siguientes fases:

- ❖ Preparación del espécimen de ensayo.
- ❖ Determinación del peso del espécimen.
- ❖ Medición de las características geométricas del espécimen.
- ❖ Cálculo del peso específico relativo del espécimen.

Los equipos requeridos para este ensayo son; balanzas, sujetador de muestras, vernier y sierra. Calcular el volumen del espécimen a partir de las características geométricas obtenidas y el peso específico se obtiene dividiendo el peso del espécimen entre el volumen.

2.6.7. Porosidad

Es la expresión del volumen de vacíos como porcentaje del volumen total de la muestra de suelo, no se toma en cuenta el aire o el agua contenida en los poros y se puede expresar como porcentaje o en forma decimal (Braja, 2015).

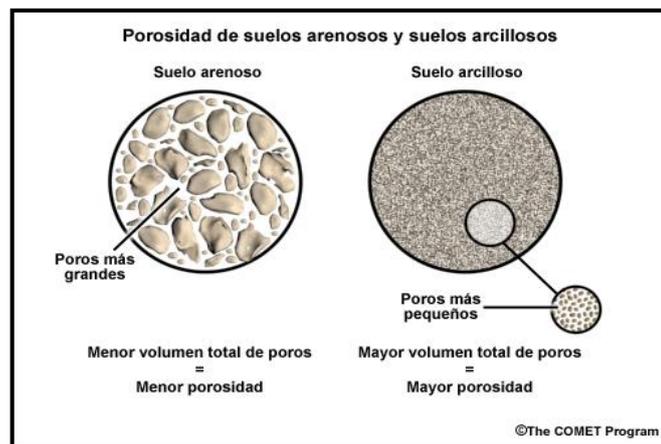


FIGURA 8: Porosidad de suelos arenosos y suelos arcillosos. Fuente: Barja, 2015.

2.7. CRITERIO DE RESISTENCIA ESTABILIDAD DEL TERRENO

2.7.1. Teoría de Karl Terzaghi

Karl Terzaghi en 1925, dio luz a una nueva era en el desarrollo de la mecánica de suelos y es conocido como el padre de la mecánica de suelos moderna.

Es uno de los primeros esfuerzos por adaptar a la mecánica de suelos los resultados que desarrolló la teoría de la consolidación de las arcillas como la conocemos hoy en día su estudio abarcó un periodo de cinco años (1919-1924) y se utilizaron cinco diferentes

suelos arcillosos. El límite líquido de los suelos osciló entre 36 y 67, y el índice de plasticidad estaba en el rango de 18 a 38 (Braja, 2015).

2.7.2. Teoría de la capacidad de carga última

Terzaghi (1943) fue el primero en presentar una teoría para evaluar la capacidad última de carga de cimentaciones superficiales, la cual dice que una cimentación es superficial si la profundidad d_f de la cimentación es menor o igual al ancho de la misma. Sin embargo, investigadores posteriores han sugerido que cimentaciones con d_f igual a 3 ó 4 veces el ancho de la cimentación se definen como cimentaciones superficiales (Braja, 2015).

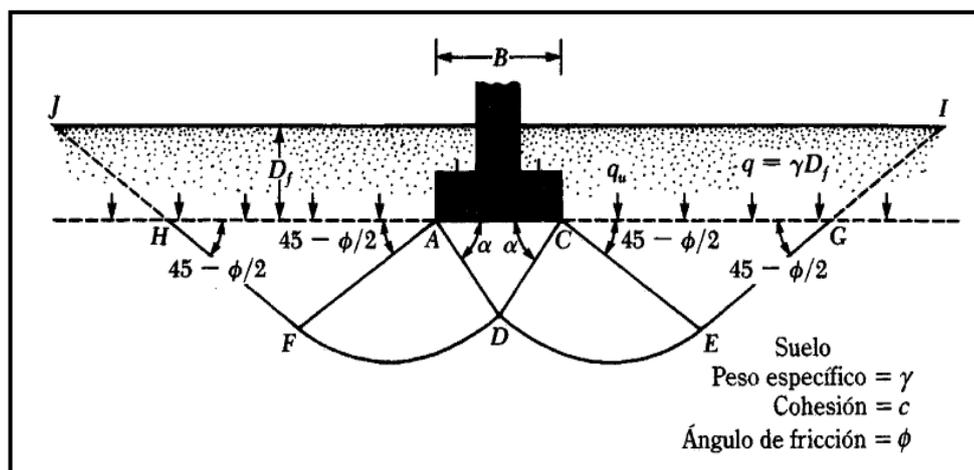


FIGURA 9:: Falla por capacidad de carga bajo una cimentación corrida. Fuente: Terzaghi, 1943.

- Falla General por Corte

Zonas de Falla:

- a) Zona Triangular ACD.
- b) Zonas de Corte Radiales ADF y CDE.
- c) Zonas Pasivas de Rankine triangulares AFH y CEG.

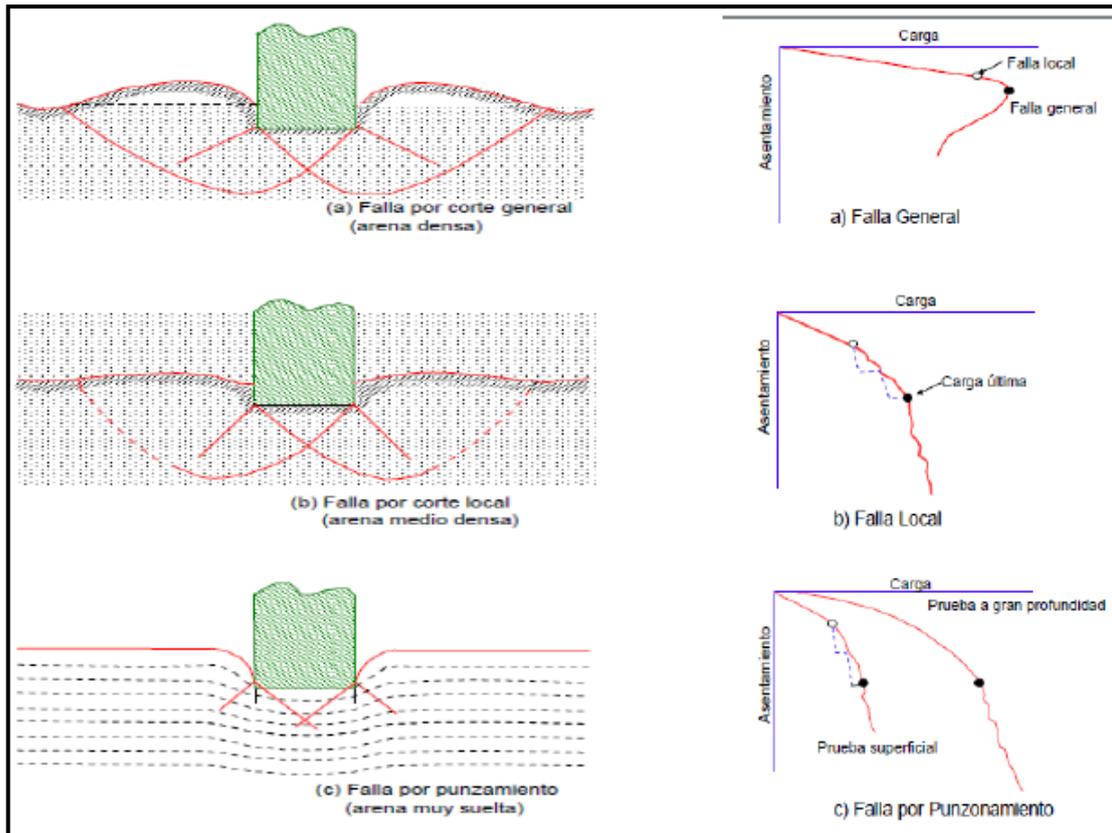


FIGURA 10:: Mecanismos de falla en sistemas de fundación superficial. Fuente: (Vesic, 1963).

2.7.3. El Factor de Seguridad

El cálculo de la capacidad de carga admisible total en cimentaciones superficiales requiere la aplicación de un factor de seguridad (FS) a la capacidad de carga total última.

$$Q_{adm} = \frac{q_u}{F_S} \quad (1)$$

Sin embargo, algunos ingenieros en la práctica prefieren usar un factor de seguridad de capacidad de carga ultima neto incremento del esfuerzo neto sobre el suelo. El factor de seguridad definido por la ecuación debe ser por lo menos 3 en todos los casos (Alva, 2012).

2.8. REFRACCIÓN SÍSMICA

Dentro de los métodos sísmicos de la geofísica aplicada se encuentra el de refracción sísmica. El ensayo de refracción sísmica es un método que permite determinar la estratigrafía del subsuelo en forma indirecta, basándose en el cambio de las propiedades dinámicas de los materiales que lo conforman. Este método consiste en la medición de los tiempos de viaje de las ondas de compresión (Ondas P) generadas por una fuente de energía impulsiva a unos puntos localizados a distancias predeterminadas a lo largo de un eje sobre la superficie del terreno (Rivera, Piedra, & Paripanca, 2016).

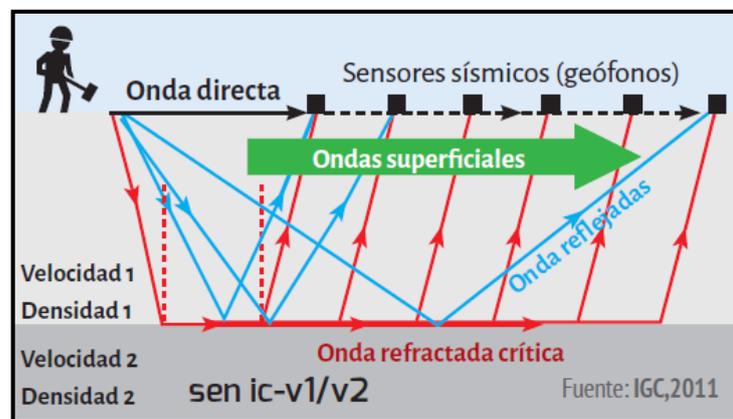


FIGURA 11:: Esquema de la refracción sísmica y la llegada de ondas a los geófonos fuente: Rivera, Piedra, & Paripanca, 2016.

A continuación, la profundidad (D) se define como $1/3$ de la longitud de onda, y la velocidad de onda de corte (V_s) a dicha profundidad es b veces la velocidad de fase medida c , donde b es un coeficiente que cambia ligeramente con la frecuencia y se basa en un semi-espacio homogéneo. Se grafica el esquema Velocidad de Onda de Corte (m/s) vs Profundidad (m).

$$\lambda = c/f \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$D = \lambda/3 \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$V_s = b \cdot c \quad (b \text{ es } 1.05 \text{ a } 1.11) \quad (\text{Ecuación 3})$$



Dónde:

λ = Longitud de onda

c = Velocidad de fase

f = Frecuencia

D = Profundidad

V_s = Velocidad de la onda S

2.8.1. Ensayo de MASW

El método MASW o Análisis Multicanal de Ondas Superficiales, este método de campo fue desarrollado en los años 90s por Choon Park y colaboradores. El ensayo MASW es un método activo de exploración geofísica que permite obtener el perfil unidimensional del suelo en función de la propagación de las ondas de corte “ V_s ”. El ensayo consiste en registrar los tiempos de viaje de las ondas de corte (ondas S), generada por una fuente de energía impulsiva a unos puntos localizados en cada extremo del tendido de la línea (Kearey, Brooks, & Hill, 2002).

Este método se ha venido utilizando con bastante frecuencia en las investigaciones geotécnicas para la cimentación de obras civiles (carreteras, puentes, túneles, etc.), presas de tierra, presas de relaves, Pads de lixiviación, etc. obteniéndose buenas correlaciones con los perfiles estratigráficos del suelo.

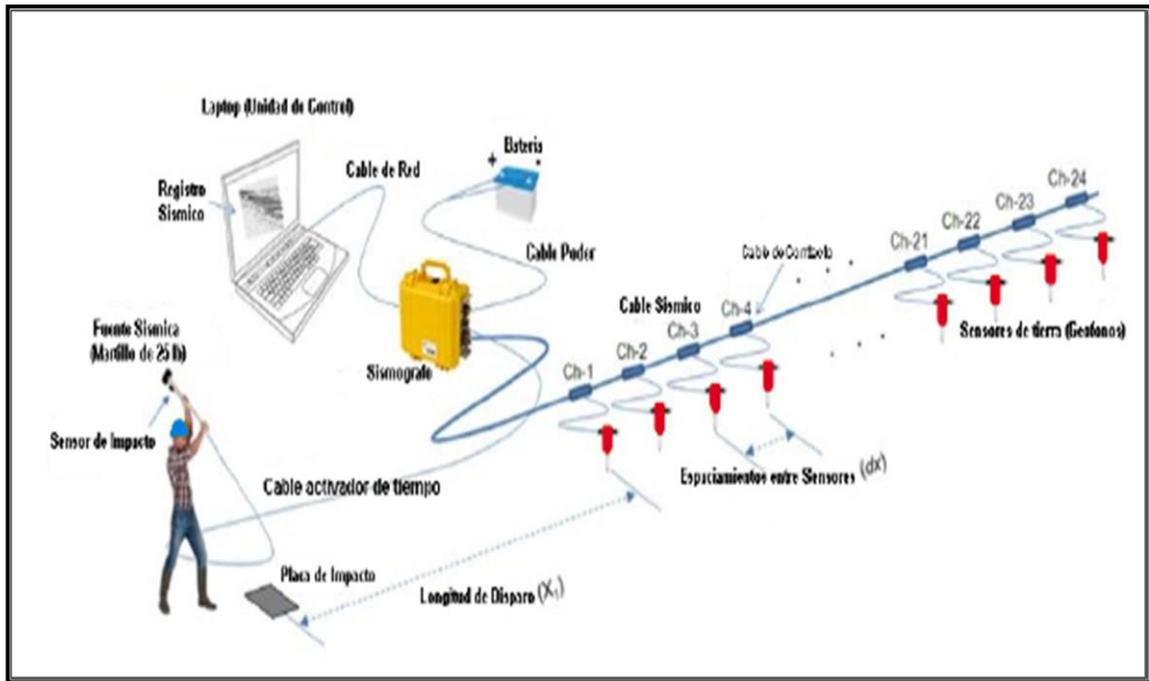


FIGURA 12: Ensayo Refracción Sísmica. Fuente Park, 1996.

2.8.2. Valores típicos de propagación

Los criterios de análisis establecidos para la interpretación de los ensayos geofísicos efectuados por diversos autores y los estándares internacionales de la ingeniería geotécnica. En las siguientes tablas se presentan las correlaciones de velocidad de ondas P asociados a depósitos de suelos y roca desarrolladas por diversos autores.

Tabla 7: Correlaciones de velocidad de ondas P asociados a depósitos de suelos y roca.

Descripción	Vp (m/s)
Suelo de cobertura	< 1000
Roca muy fracturada o aluvión compacto	1000 - 2000
Roca fracturada o aluvión muy compacto	2000 - 4000
Roca ligeramente fracturada	4000 - 5000
Roca firme	> 5000

Fuente: Arce Helberg (1990).



Tabla 8: Correlaciones de velocidad de ondas P asociados a depósitos de suelos y roca.

Descripción	Vp (m/s)
Aire (en función de temperatura, presión y vientos)	310 - 360
Suelo vegetal	100 - 500
Grava, cascajo, arena seca	100 - 600
Arena húmeda	300 - 900
Depósitos aluvionales	500 - 2010
Morrena fluvio-glacial	1200 - 2700
Arcilla	1200 - 2800
Agua (en función de su temperatura y salinidad)	1430 - 1530
Arenisca friable	1500 - 2500
Arenisca compacta	1800 - 4000
Esquisto arcilloso	2700 - 4 800
Caliza, dolomita compacta	2500 - 6000
Marga	2000 - 3500
Anhidrita, yeso	4500 - 6500
Hielo	3100 - 4200
Sal de Roca	4200 - 5500
Tufo-brecha	4000 - 4900
Granito	4000 - 5700
Diorita	5950 - 6500
Granodiorita	5700 - 6400
Rocas metamórficas	4600 - 6800
Anfibolita	6500 - 7200

Fuente: Curvich J. (1975); Dobrin, Milton (1961); NB (1976); Savicha y Satonov V.A. (1979).

Tabla 9: Correlaciones de velocidad de ondas P asociados a depósitos de suelos y roca.

Descripción	Vp (m/s)
Suelo meteorizado	204 - 610
Grava o arena seca	460 - 915
Arena saturada	1220 - 1830
Roca metamórfica	3050 - 7000

Fuente: ASTM D 5777-95.

Tabla 10: Correlaciones de velocidad de ondas P asociados a depósitos de suelos y roca.

Descripción	Vp (m/s)	
	Natural	Saturada
Turba	90	250
Arcilla	350	1350
Grava	650	2250

Fuente: Martínez del Rosario J. (1997).

2.9. GEOLOGÍA REGIONAL

Para la descripción de geología regional se tomó referencia boletín N° 43 Geología de los cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica 25-i, 25-j. 24-i, 24-j.

2.9.1. GEOMORFOLOGÍA

Según Palacio, Caldas, & Vela (1992), los rasgos geomorfológicos presentes en la zona son el resultado del proceso tectónico y plutónico, sobreimpuesto por los procesos de geodinámica, que han modelado el rasgo morfoestructural de la región. Así mismo, la erosión, la incisión por el drenaje (principalmente los ríos Chancay, Chillón, Rímac y Lurín) y la acumulación de arena eólica sobre grandes extensiones de la zona, han dado la configuración actual del relieve, las cuales se muestran en el plano respectivo y que se describen a continuación las siguientes unidades geomorfológicas:



2.9.1.1. Borde Litoral

Comprende el área de tierra firme adyacente a la línea litoral, expuesto a la acción de las olas marinas. Se extiende de Noreste a Sureste en forma de una faja delgada cuya anchura va desde la línea de costa hasta una distancia que puede variar de 1 a 2 Km. Está configurado por Bahías, ensenadas, puntas, etc. Habiéndose formado playas abiertas por acumulación de arena a través de corrientes litorales o por deriva litoral (Playas de Conchan, Villa, Ventanilla). Desde estas playas el área es llevada al continente por acción eólica formando una unidad continua con la planicie costanera (Palacio, Caldas, & Vela, 1992).

2.9.1.2. Estribaciones de la Cordillera Occidental

Esta unidad geomorfológica demarca a las colinas y laderas de las cadenas pre montañosas de la Cordillera Occidental, que alcanzan altitudes entre 800 y 1200 msnm, constituidas principalmente por las rocas intrusivas del Batolito de la Costa. Presentan topografía abrupta, están disectados por numerosas quebradas y los ríos Lurín, Rímac y Chillón (Palacio, Caldas, & Vela, 1992).

2.9.1.3. Valles y quebradas

Bajo esta denominación se consideran los tramos inferiores de los ríos Rímac, Lurín y Chillón. También se involucra a las quebradas tributarias, que permanecen secas, donde la escasa precipitación pluvial no favorece la erosión de los suelos y rocas; más bien sus cauces o depresiones favorecen la acumulación de detritus o material coluvial escombros de talud (Palacio, Caldas, & Vela, 1992).



2.9.1.4. Cono de deyección

Constituye una llanura aluvial cubierta por material de acarreo transportado por el río Rímac con interdigitaciones de materiales procedentes del río Chillón; muestra una topografía moderada con zonas planas y localmente con algunas lomadas y “montes islas”. Sobre esta llanura aluvial el río ha sufrido divagaciones y cambios de curso periódicos en diferentes épocas geológicas, hasta alcanzar su actual posición, constituyendo así en su conjunto, el colchón aluviónico o terreno de fundación del área de Lima metropolitana (Palacio, Caldas, & Vela, 1992).

2.9.1.5. Zona de erosión e inundaciones

Esta zona involucra a las terrazas bajas de las márgenes de los ríos que son proclives a las inundaciones por los ríos, que en temporada lluviosa se recargan e inundan grandes zonas agrícolas y urbanas (Palacio, Caldas, & Vela, 1992).

2.9.1.6. Planicies Costaneras

Es la zona comprendida entre el borde litoral y las estribaciones de la Cordillera Occidental constituida por amplias superficies cubiertas por gravas y arenas provenientes del transporte y sedimentación del río Rímac y por arena proveniente del acarreo eólico desde las playas, por vientos que corren con dirección SO a NE (Palacio, Caldas, & Vela, 1992).

2.9.1.7. Dunas

La capacidad del viento para incorporar partículas al flujo y transportarlas hacia otro lugar afecta exclusivamente a las arenas finas y requiere condiciones de absoluta aridez. La deposición suele suceder a sotavento de relieves u obstáculos como de la disminución de la turbulencia del fluido, pero las formas de origen eólico pueden adoptar



una variada tipología dependiendo de las variaciones en el sentido del flujo (Palacio, Caldas, & Vela, 1992).

2.9.2. LITOLOGÍA

La evolución geológica del área de estudio está vinculada a los diferentes episodios que se produjeron durante el emplazamiento de la Cordillera de los Andes. Rocas ígneas volcánica – sedimentarias, representadas por el Grupo Casma, se emplazaron durante el Cretáceo medio, rocas sedimentarias de las formaciones geológicas Pamplona y Atocongo.

A fines del Terciario y comienzos de Cuaternario, se inicia un proceso erosivo intenso el mismo que se prolonga hasta la actualidad, profundizando valles, denudando y acarreando materiales hacia las llanuras costeras formando abanicos aluviales (Villacorta, et al., 2015).

Cretácico Inferior

2.9.2.1. Grupo Puente Piedra

Aparece principalmente al norte de Lima, en el área comprendida entre Ancón, Ventanilla y Puente Piedra (que da nombre a la unidad). Se trata de una secuencia de rocas volcánicas andesíticas intercaladas con lutitas marinas y areniscas, con un espesor de alrededor de 2000 m y edades desde el Jurásico superior al Cretácico inferior (154-96 Ma). El grupo Puente Piedra incluye las formaciones Volcánico Santa Rosa, Puente Inga, Ventanilla, Volcánico Ancón y Cerro Blanco (Villacorta, et al., 2015).



2.9.2.2. Grupo Morro Solar

Incluye las formaciones Salto del Fraile, Herradura y Marcavilca, que tienen su localidad típica en el Morro Solar (Chorrillos, Lima). Consiste en una secuencia de areniscas cuarzosas con intercalaciones de limolitas (fotografía 3.3), cuyo espesor medio oscila entre los 200 m y 500 m con edades del Cretácico inferior (145.5-96 Ma) (Villacorta, et al., 2015).

2.9.2.3. Grupo Lima

Aleman et al. (2006) lo definen como una secuencia de calizas y lutitas de origen marino que afloran en la parte baja de las cuencas de los ríos Chillón y Lurín. También en la zona de Las Casuarinas, Pamplona Alta y Atocongo. La secuencia tiene cerca de 1500 m de espesor, con edades comprendidas dentro del Cretácico inferior (135-96 Ma) e incluye las formaciones Lurín, Pamplona y Atocongo (Villacorta, et al., 2015).

Cretácico Superior

2.9.2.4. Grupo Casma

Consiste principalmente en materiales volcánicos de erupciones depositados en el mar, que engloban fragmentos rocosos de lutitas y areniscas y lavas andesíticas almohadilladas típicamente submarinas. Afloran en las partes bajas de las cuencas de los ríos Lurín, Rímac y Chillón, donde alcanzan espesores que bordean los 2000 m. La secuencia tiene edades del Cretácico superior (96-65 Ma) e incluye las formaciones de Quilmaná, Huarangal y Chilca (Villacorta, et al., 2015).



2.9.2.5. Rocas Intrusivas

Las rocas intrusivas de la región de Lima Metropolitana forman parte de la unidad litoestratigráfica denominada Batolito de la Costa, que incluye dioritas, tonalitas, granodioritas y granitos (fotografías 3.7 a 3.9). El afloramiento se extiende desde las áreas periféricas de la ciudad, como Atocongo, Villa María, La Molina, El Agustino, Vitarte, La Atarjea, el Cerro San Cristóbal o Amancaes, hasta la serranía de Lima. Suele aparecer como un manto de alteración que incluye bloques esferoidales o núcleos resistentes inscritos en roca alterada fácilmente disgregable (Villacorta, et al., 2015).

Cuaternario

2.9.2.6. Depósitos Fluvio-Auviales

Las rocas más recientes del área de estudio son los depósitos del sistema de abanicos fluviales, de edades plio-cuaternarias (desde hace 5.3 Ma) sobre el que se asienta la mayor parte de Lima y el Callao.

Los depósitos de los abanicos son un conglomerado constituido por una matriz de arenas y arcillas que engloban gravas, cantos y bloques. Su disposición en capas indica una evolución cíclica en la disponibilidad hídrica de las cabeceras fluviales. En algunos lugares, estos depósitos aparecen parcialmente recubiertos por tobas calcáreas asociadas a surgencias, que probablemente estuvieron vinculadas con infiltraciones desde antiguas lagunas superficiales. Estudios de resistividad eléctrica han determinado que el abanico tiene espesores que alcanzan los 400 m en el valle del río Rímac y 600 m en la parte distal, junto a la línea de costa actual. La mayor parte de Lima Metropolitana y el Callao se asienta sobre depósitos de glaciares y abanicos, que alcanzan centenares de metros de espesor (figura 3.5), coincidiendo con los cauces y la desembocadura de los principales colectores fluviales Chillón, Rímac y Lurín (Villacorta, et al., 2015).



2.9.2.7. Depósitos Eólicos Holocenos

Los depósitos generados por la redistribución de arenas finas y limos realizada por el viento son muy abundantes en la región de Lima Metropolitana, aunque sólo se conservan donde el desarrollo urbanístico y la construcción de infraestructuras han permitido su conservación (Villacorta, et al., 2015).

2.9.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

En el sector occidental, es evidente un Sistema de Fallas Longitudinales, vinculadas a una fase de compresión intracretácea, así como un sistema de fracturas y fallas transversales que obedecen a procesos tectónicos de compresión post-Batolito; es decir del Terciario inferior y superior.

La estructura de deformación plástica más grande que se ha representado en el mapa es el eje de un anticlinal inferido paralelo a la costa, con una dirección NO-SE. Aflora en Ancón y se dirige hacia el sur, entre el Callao y el eje Comas-Los Olivos-Rímac, y Chorrillos y Surco, desapareciendo debajo del mar en Villa El Salvador. Los ejes de otros anticlinales que se han reconocido tienen dimensiones mucho menores, destacando dos alineaciones paralelas NO-SE al este de Villa El Salvador y entre Pachacamac y Manchay. (Villacorta, et al., 2015).

En el extremo SO se encuentra la Falla Ancón – Lima, es una falla inversa con buzamiento al Oeste, afecta rocas muy antiguas (Cretácico inferior 145 – 100 Ma). Los depósitos aluviales del Pleistoceno que moldean las pampas áridas del Norte de Lima no muestran evidencias de deformación. Por consiguiente, la Falla Ancón - Lima no es considerada como una falla activa.

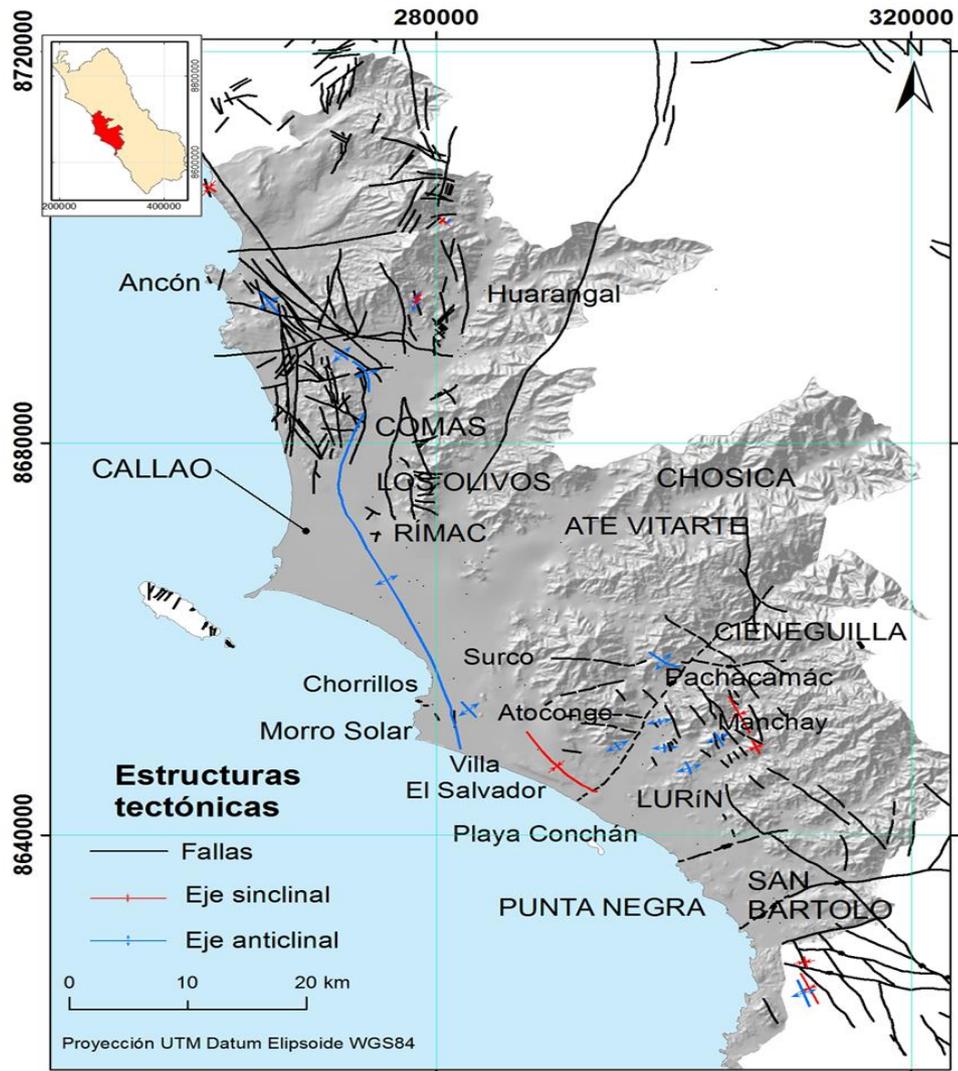


FIGURA 13: Principales estructuras geológicas en Lima Metropolitana Fuente: (Le Roux et al., 2000; Macharé et al., 2009).



CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Es de tipo explicativo y descriptivo, especificando la representatividad e importancia en el proceso del desarrollo de la investigación científica como geológico y geotécnico del terreno de fundación se abordan los siguientes aspectos: dinámicas de suelos, físico mecánicas de suelos, estratigrafía, geomorfología y litología para el cual la investigación es exploratoria, cuasi-experimental y correlacional.

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño de investigación es técnico científico, en donde se tiene las siguientes fases: Reconocimiento de campo y posterior ejecución de calicatas, obtención de muestras para análisis correspondiente y determinar sus propiedades físicas y químicas luego su interpretación geotécnica utilizando método analítico y descriptivo.

3.3. DEFINICIÓN DE VARIABLES E INDICADORES

La operacionalización de las variables es definir y desintegrar, la variable en sus indicadores e índices para poder efectuar las mediciones respectivas, con los instrumentos más adecuados para el diseño de cimentación de la construcción del Fuerte Militar General de División Rafael Hoyos Rubio - Rímac – Lima. los cuales se detallan en tabla 10.

Tabla 11: Operacionalización de variables.

Variables	Dimensión	Indicadores	Índice	Instrumentos	U.M.	
Variable Independiente	Caracterización geológica del terreno de fundación	Zonificación geotécnica del área, Mapeo geológico y Investigaciones geotécnicas	Topografía y pro	Software	Km y m	
Aplicación de la geotecnia para construcción del Fuerte Militar General de División Rafael Hoyos Rubio - Rímac - Lima.			Caracterización de propiedades físicas mecánicas y químicos del terreno de fundación	Propiedades físicas del subsuelo.	Clasificación de suelos mediante análisis granulométrico	Laboratorio
	Limite Líquido y limite plástico	Laboratorio			%	
	Contenido de humedad	Laboratorio			%	
	Densidad de campo (compactación)	Laboratorio			%	
	refracción sísmica (Vp)	Software			Km/s	
	MASW (Vs)	Software			Km/s	
	periodo de vibración	Fórmulas			T0(s)	
	Propiedades mecánicas.	Angulo de fricción.			Laboratorio	ϕ
		Cohesión			Laboratorio	(kg/cm ²)
		CBR			Laboratorio	%
	Propiedades químicas de suelos	sulfatos, cloruros y sales solubles totales	Laboratorio	ppm		
	Variable dependiente	Evaluación geotécnica para diseño de cimentación.	Calculado de los factores de capacidad portante admisible	Valoración numérica	Ábacos	0-1.0 0-5
Diseño de cimentación para terreno de fundación de la construcción del Fuerte Militar General de División Rafael Hoyos Rubio - Rímac - Lima	Tablas				0-50	
					Método de Terzaghi y Peck	Fórmulas



3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

Se considera como población 56 hectáreas que corresponde a la propiedad del ministerio de defensa de los cuales se ha obtenido 167 muestras de las calicatas excavadas a cielo abierto para evaluación del terreno de fundación.

3.5. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

La metodología de investigación para su posterior análisis y diseño del proyecto, realizando mediante la recopilación de datos con enfoque de:

a) Método cuantitativo: donde aplicaremos un conjunto de estrategias para la obtención y procesamiento de información que emplean magnitudes numéricas y técnicas formales y/o estadísticas para llevar a cabo el análisis de cimentación, siempre enmarcados en una relación de causa y efecto.

b) Método cualitativo: mediante este método aludiremos a las cualidades y/o características geológicas y geotécnicas del terreno, aplicándolos justamente para la interpretación y comportamiento del subsuelo.

3.6. TÉCNICAS SEGÚN A LA NORMA ASTM

El presente estudio de investigación aplica técnicas según la norma internacional ASTM (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales) para caracterización geotécnica. Se guiará en todas las fases de esta investigación; en trabajo de campo, ensayos insitu, trabajos de laboratorio, ensayos especiales, clasificación de suelos según SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos), clasificación de suelos según AASHTO (Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes) y tanto en trabajo de gabinete.



3.7. INSTRUMENTOS Y RECOLECCIÓN DE DATOS

3.7.1. Recopilación y revisión de fuentes de información

Revisión y recopilación bibliográfica preliminar, encaminada a reunir distintos tipos de trabajos existentes de la zona relacionado con el estudio geológico y geotécnico (planos, imágenes satelitales, base de datos anteriores, etc.). Este punto permanece abierto a lo largo de todo el periodo durante el que se ha realizado estudio evaluación geotécnica del terreno de fundación.

3.7.2. Materiales y Equipos

Para el estudio de investigación se ha utilizado las siguientes materiales y equipos de campo:

- Flexómetro 5 m
- Wincha 50 m
- GPS
- Picota de Geólogo
- Retroexcavadora
- Pala
- Barreta
- Pico
- Bolsas Para Muestra
- Escalímetro



- Tablero
- Cámara fotográfica
- Calculadora
- Plumones
- Estación total, con sus accesorios, para levantamiento topográfico
- Equipos de laboratorio de mecánica de suelos tales como: tamices, balanza electrónica, casa grande, horno y cono de arena.

3.7.3. Equipos para refracción sísmica

Los equipos utilizados para método de refracción sísmica y MASW son los siguientes:

- Sismógrafo de 24 canales
- Sensores o Geófonos
- Cable Sísmico Conector de Geófonos
- Fuente Sísmica Martillo de 10 Libras

3.7.4. Trabajo en campo

El trabajo de campo comprende, reconocimiento “IN SITU” del área de trabajo, exploración y mapeo geológico; litología y geomorfología las cuales se pudieron observar en campo y plasmados en la libreta de campo y graficados en la correspondiente base topográfica.

Las técnicas tomadas para exploración para investigación del subsuelo ver tabla 11 Normas aplicadas para exploración de suelos.

Tabla 12: Normas aplicadas para exploración de suelos.

DESCRIPCION	NORMA
Calicatas y técnicas de muestreo	ASTM D-440
Perforación manual	ASTM D-1452
Descripción visual del suelo	ASTM D-2487

Tanto como levantamiento topográfico, Refracción sísmica y ubicación de calicatas para luego excavación de pozos a cielo abierto, descripción del perfil estratigráfico de calicatas así mismo toma de muestras para análisis y envío de muestras al laboratorio para los ensayos respectivos.

3.7.5. Trabajo en laboratorio

El trabajo de laboratorio consiste para la investigación de muestras obtenidas del campo se efectuarán los ensayos de laboratorio según las recomendaciones de la American Society of Testing and Materials (ASTM).

- Limite líquido (ASTM D- 4318)
- Limite plástico (ASTM D- 4318)
- Humedad (ASTM D-2216)
- Análisis granulométrico (ASTM D-422)
- Clasificación de suelos (S.U.C.S. ASTM D-2487)
- Pesos específicos (ASTM C- 127)
- Densidad de campo (ASTM D- 1556)
- Ensayo de CVR CBR (California Bearing Ratio) ASTM D-1883



- Análisis Químico del Contenido de Sales Agresivas al Concreto.

3.7.6. Ensayos especiales

- Ensayo de corte directo (ASTM D-3880)
- Análisis químicos

3.7.7. Trabajo de gabinete

En el gabinete con la recopilación de información existente e información obtenida del campo así mismo resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio de mecánica de suelos, se realiza una interpretación de datos y elaboración de tesis correspondiente, en el cual se detallan datos de campo, elaboración de mapas, elaboración de planos, descripción de fotografías y descripción de perfil estratigráfico.

También durante etapa de gabinete, se realizarán análisis estadísticos, elaboración de secciones geológicas, columna estratigráfica, evaluación e interpretación de resultados de las muestras obtenidas del laboratorio tales como: interpretación geotécnica y hacer cálculos para capacidad portante admisible. Los Softwares utilizados son:

- ArcGIS
- AutoCAD
- Microsoft Office

3.8. CONFIABILIDAD

Una vez planteada la hipótesis, el mismo fue validado mediante los análisis realizados, a través de cuadros en donde se observa el resultado obtenido de cada ensayo y los respectivos cálculos.



De acuerdo a las variables a medir: propiedades físicas, químicos, estos fueron realizados en laboratorios de ensayo cuyos instrumentos y métodos de ensayo, se ejecutaron siguiendo las normas de la American Society For Testing and Materials (ASTM).

CAPITULO IV

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1. UBICACIÓN

El proyecto de investigación se ubica políticamente en la intersección de las Avenidas Morro de Arica, con las Avenidas Francisco Pizarro y primera cuadra de la Avenida Tupac Amaru, Distrito del Rímac, Provincia de Lima, Departamento de Lima. Ver ANEXO MAPA A.1: MAPA DE UBICACIÓN.

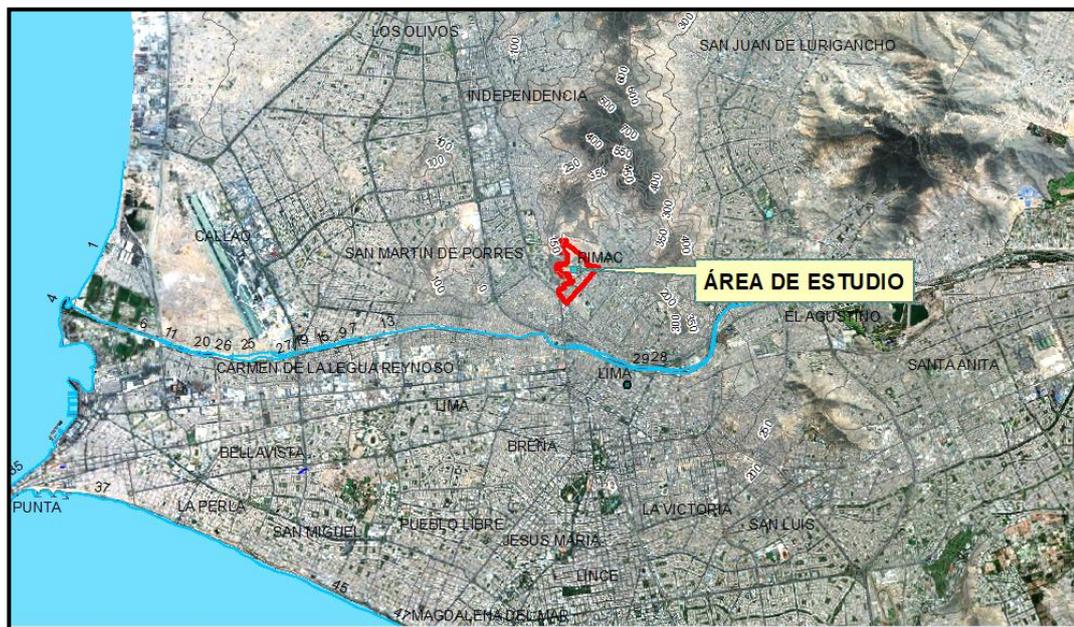


FIGURA 14: Mapa de ubicación. Fuente: SAS Planet.

Geográficamente el terreno de investigación con Latitud Sur $12^{\circ}01'46''$, Longitud Oeste $77^{\circ}02'37''$, sobre el flanco occidental de la cordillera occidental de los Andes y costa central del Perú, con una altitud promedio de 127.00 m.s.n.m. las coordenadas UTM WGS 84 de 5 vértices ver tabla 13.

Tabla 13: Cuadro de coordenadas UTM según WGS 84.

Coordenadas UTM		
Vértice	Este	Norte
1	277603.48	8669337.80
2	277410.68	8669566.70
3	278301.23	8670138.50
4	277383.07	8670181.60
5	277474.00	8670751.50

4.2. ACCESIBILIDAD

El acceso al área de estudio por las vías terrestres, desde la Plaza de Armas de Lima se demora 15 min. Aproximadamente. Ver tabla N° 14.

Tabla 14: Acceso al área de investigación.

Tramo	Distancia (km)	Tiempo (min)	tipo de vía	Vía principal
Centro de Lima – Fuerte Militar Gral. Div. Rafael Hoyos Rubio Rímac	4 Km.	15 min.	Terrestre	Asfaltada

4.3. CLIMA

En área de investigación presenta por lo general un clima variado, templado con alta humedad atmosférica y constante nubosidad durante el invierno, caracteriza el clima de la costa, que tiene la particularidad de tener lloviznas. La temperatura media anual en la costa es de 18°C, la temperatura máxima de verano puede llegar a 30°C y la mínima de invierno a 12°C, se produce una sensación de excesivo calor o de frío en cada caso debido a la alta humedad atmosférica. Los vientos provenientes del Oeste al Este.



4.4. FLORA Y FAUNA

La vegetación en terreno de estudio es escasa por ser Costa es desértica y algunas aves silvestres se aprecia en la zona.

4.5. HIDROGRAFÍA

Dentro de hidrografía el terreno de estudio está dentro de la cuenca rio Rímac tiene sus nacientes en las alturas de la cordillera occidental, está al margen Sur Este del terreno en estudio.

La cuenca del río Rímac se origina en la vertiente occidental de la cordillera de los Andes a una altitud máxima de aproximadamente 5,508 metros sobre el nivel del mar en el nevado Paca, se aumenta su caudal cuando hay precipitaciones de lluvia en la sierra central.

4.6. GEODINÁMICA

Comprende el estudio de todos aquellos agentes, fuerzas internas y externas que actúan en los procesos dinámicos de la tierra, se divide en:

4.6.1. Geodinámica Externa:

a) Inundaciones

En el área de estudio no se observan peligro por inundación, fenómeno por lluvias intensas en la sierra central del Perú. Pero en la ciudad de lima fue afectado por los peligros detonados del Niño Costero 2017. Algunas obras de infraestructura afectados son lo siguiente:

- El 03 de abril del 2017: Desborde del rio Rímac, afectando viviendas, en el distrito Santa Eulalia en la altura del Km. 38 de la Carretera Central.



- En 05 de abril del 2017: Desborde del río Rímac, afectando vías de comunicación y colapso de desagüe, en el distrito Santa Eulalia en la altura de la Av. San Martín.
- Peligro por erosión fluvial en la provincia de Lima Malecón Rímac, cuadra 10 afectaría viviendas, las acciones recomendadas fue reubicación.
- Peligro por erosión fluvial en Lima del distrito San Juan de Lurigancho infraestructura afectada defensa ribereña, observaciones como defensa ribereña podría ser afectado en nuevas crecidas del río e inundar el distrito del Rímac acción recomendada reconstrucción.

b) Deslizamientos

En el área de estudio no se observan peligro de desplazamientos, que ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante. Pero en la ciudad de Lima fue afectado por los peligros detonados desplazamientos por Niño Costero 2017. Algunas Obras de infraestructura afectados son lo siguiente:

- Peligro por deslizamientos, caída de rocas u otros en centro poblado Yanacoto de la provincia de Lima se observa como que podría afectar viviendas asentadas en el depósito para el cual se recomienda Reubicación.
- Peligro por deslizamientos, caída de rocas; carreteras afectados Lima – Cantatambo Hornillos, Cerro Blanco provincia de Lima que se observa que afecto carretera y se recomienda Rehabilitación.

4.6.2. Geodinámica Interna

Como geodinámica interna en área de investigación tiene como probabilidad de ocurrencia de sismos, debido a la interacción de la Placa Sudamericana y la Placa de Nazca considerada como la primera fuente sismogénica en el Perú.

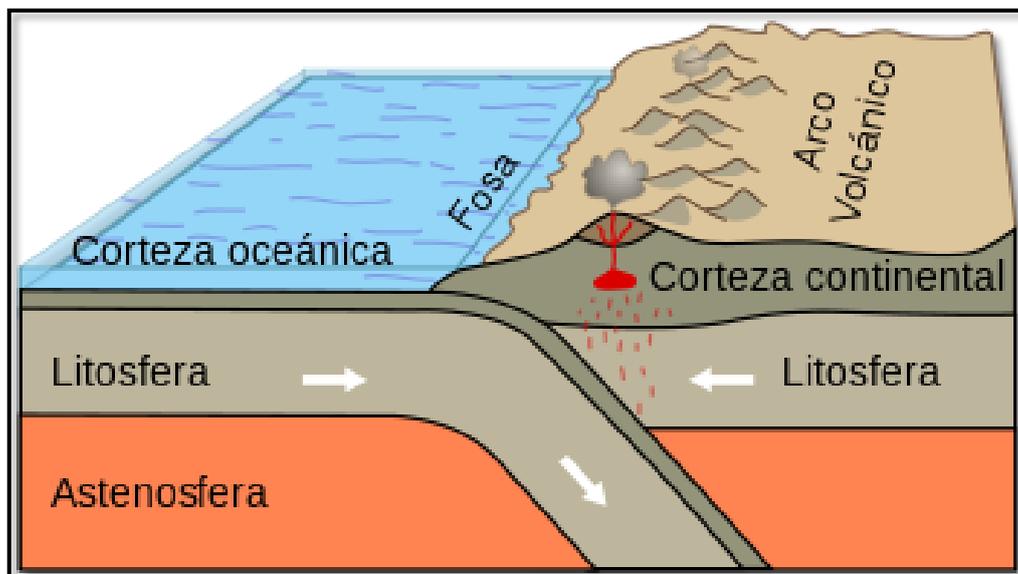


FIGURA 15: Subducción de placas activas de la corteza oceánica bajo la margen Continental.

fuelle: <https://astronomia-fisica-misiones-espaciales.blogspot.com/2012/08/tectonica-de-placas-en-marte.html>.

4.7. SISMICIDAD

La sismicidad en el territorio peruano es debida al proceso de subducción de placas activas de la corteza oceánica bajo la margen Continental y a la dinámica de cada una de las unidades tectónicas presentes en el interior del continente, esta actividad de subducción representa la principal causa de los sismos en el Perú.

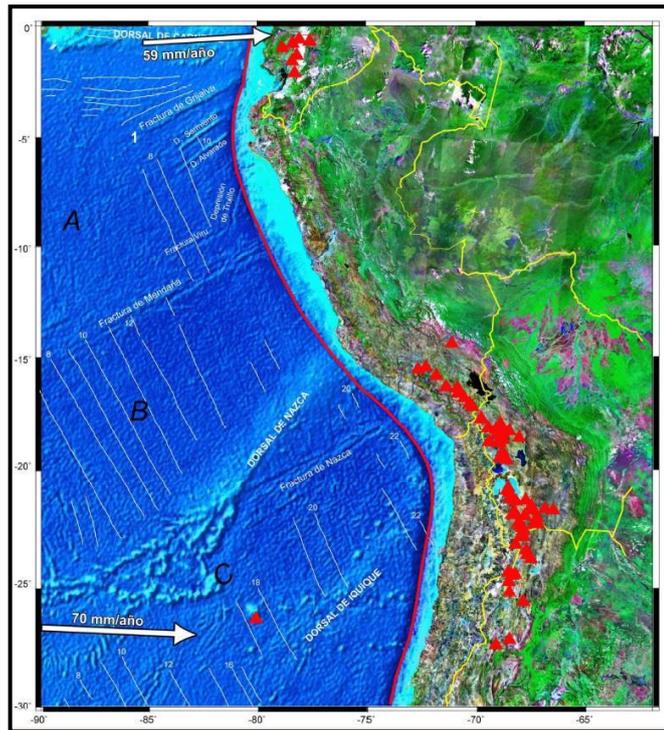


FIGURA 16: La placa de Nazca bajo la Sudamericana. La línea roja representa la fosa Peru-Chile. Las flechas blancas indican la dirección del movimiento relativo de las placas y los triángulos rojos, la actividad volcánica activa, FUENTE: IGP, 2014.

Sismicidad Histórica sobre los grandes sismos que afectaron al territorio peruano en el pasado según IGP, es importante porque permite definir el real potencial sísmico de cada región, siendo mayor eventos ocurridos en la costa peruana. Resumen de algunos sismos ocurridos en la ciudad de Lima tenemos los siguientes:

- 22 de enero 1582.- A las 11:30 horas terremoto que destruyó la Ciudad de Arequipa. El movimiento se percibió en Lima. Perecieron más de 30 personas sepultadas entre los escombros, tuvo una magnitud de 8.1.(750 Km. al NE de Arequipa), el movimiento sísmico alcanzó una intensidad de X en la Escala Modificada de Mercalli, en Socabaya; en Arequipa se sintió con una intensidad de IX.
- En el año de 1590.- Fuerte sismo sentido en casi toda la Costa del Sur del Perú, destruyó el pueblo de Camaná debido a la salida del mar y el represamiento del río.
- 31 de marzo de 1650.- A las 14:00 horas, se produjo un terremoto en el Cuzco que dejó a la ciudad en ruinas. Fue sentido en Lima y tuvo una magnitud de 7.6



- 27 de marzo de 1725.- Gran sismo que se sintió en toda la costa sur del Perú, llegándose a sentir hasta el Callao, el pueblo de Camaná fue el que sufrió grandes daños, el mar salió sobrepasando la línea de playa.
- 17 de octubre de 1966. Terremoto en Lima y Callao. Se sintió en todo el Norte Chico y algunas localidades del Sur. Afectó numerosas poblaciones del interior.
- 8 de junio de 1967. Temblor en Lima y Huacho
- 31 de Julio de 1967. Temblor en Lima, 20:15 horas.
- 22 de agosto de 1967. Dos nuevos temblores en Lima a las 04.59 horas.
- 3 de febrero de 1968. Temblor en Lima.
- 19 de junio de 1972. 10:55 horas fuerte temblor en Lima. Ligeros daños en el centro de la ciudad. Alarma en Mala y Cañete
- 18 de abril de 1993. 04:16 horas sismo de magnitud 5.6. Afectó Lima, Chacabuco, San Juan de Lurigancho y Puente Piedra. Muertos: 3, damnificados 35, viviendas destruidas 7.
- 11 de noviembre de 1995. Dos movimientos sísmicos de leve intensidad sacudieron la madrugada del sábado la costa central peruana. En Lima pasó inadvertido.
- 22 de junio, 2021 21:54 con una magnitud 6.0 ML Sismo de Mala de 2021, epicentro 33 km al SO de Mala, zonas afectadas Cañete-Lima departamento de Lima. Víctimas y daños materiales Daños menores. 1 muerto.4 Se sintió principalmente en la ciudad de Lima. Es el terremoto más fuerte sentido en Lima desde el 2007. Se registro triboluminisencias durante el terremoto. Se registraron daños de moderados a mayores, principalmente en Mala. Se produjeron más de 15 réplicas siendo la mayor hasta el momento de 4,8 grados. Se descarto la alerta de tsunami. A pesar de lo fuerte que fue este terremoto, no se descarta que se produzca un gran evento sísmico en la capital.



FIGURA 17: El área de estudio se encuentra en zona 4. Fuente: (Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente, 2018).



CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. RESULTADOS DE GEOLOGÍA LOCAL DEL TERRENO DE FUNDACIÓN

El resultado de la investigación geológica, está conformado por Grupo Morro Solar, Grupo Puente Piedra y los depósitos cuaternarios aluviales se ha dado por causa de meteorización y erosión, los cuales fueron depositados por transporte, claramente identificados los afloramientos rocosos circundantes que dio origen al área de investigación, en algunas partes con presencia de arcilla inorgánica de baja plasticidad CL, limo inorgánico de baja plasticidad ML son de origen de alteración de intrusivo Super Unidades ígneas, Santa Rosa y Patap

5.1.1. GEOMORFOLOGÍA

El área de estudio se encuentra en relieve de llanura aluvial, que refleja modificaciones del relieve debido a la acción de las aguas superficiales (río Rímac), la gravedad y la actividad antrópica lo cual representan una llanura aluvial con pendiente moderada, vertiente o piedemonte, colinas y laderas, los que se acentúan por la naturaleza del basamento rocoso y los materiales de cobertura que permanecen secas por estar afectadas por el clima costero árido.

Dichas características presentan morfoestructurales tales como: forma, altura, pendientes, drenaje, color, textura, etc, que las diferencian una de otras. Estas geoformas peculiares se encuentran frente al litoral costero de Lima lo que indica en la tabla 15 las unidades geomorfológicas del área de estudio.

Tabla 15: Unidades Geomorfológicas

UNIDADES GEOMORFOLOGICAS				
ORIGEN	AGENTE MODELADOR	GEOFORMA	SIMBOLO	DESCRIPCIÓN
De carácter tectónico	Epirogenesis	Colinas altas	 RM-ri	Colinas altas en roca intrusiva presentan elevaciones de 250 a 600 m.
De carácter degradacional y erosional	Sismos, vientos, etc.	Colinas y lomada	 RCL-rs	Colina y lomada en roca sedimentaria presentan elevaciones de 150 a 200 m.
			 RCL-ri	Colina y lomada en roca intrusiva presentan elevaciones de 200 a 400 m.
De carácter depositacional o agradacional	Quebrada	Llanura aluvial	 Pl-al	Llanura o planicie aluvial zonas de gran extensión de terreno planicie.
	Rio	Lecho fluvial	 P-at	Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial formado por caída de rocas y acarreo del material aluvial.
			 Ríó	Cauce del río Rímac Constante circulación de aguas las cuales formaron meandros y carcavamientos.

5.1.3. LITOESTRATIGRAFÍA

Como resultado del levantamiento geológico en el área de investigación, rocas sedimentarias, son rocas del tipo areniscas, lutitas y limolitas que forman cerros al Oeste del área de estudio. Se encuentran falladas, plegadas y fracturadas, geológicamente pertenecen al Grupo Morro Solar y Grupo Puente Piedra.

Cretácico Inferior

5.1.3.1. Formación Puente Inga (Ki-pi)

El grosor es variable notándose un cambio lateral de facies, conformado por Lutitas tobáceas muy fosilíferas intercaladas con derrames Volcánicos. Perteneciente al Grupo Puente Piedra edades desde el Jurásico superior al Cretácico inferior.

5.1.3.2. La Formación Ventanilla (Ki-v)

El grosor es variable notándose un cambio lateral de facies como aumento de grosor a medida que se avanza de Sur a Norte. Litológicamente está constituida por areniscas feldespáticas, areniscas piroclásticas, areniscas limolíticas, limolitas y alternancias de andesitas afaníticas. Perteneciente al Grupo Puente Piedra.

5.1.3.3. La Formación Herradura (Ki-h)

Infrayace a la Formación Marcavilca, litológicamente presenta areniscas cuarzosas y limolitas en parte verdosa amarillentas, laminadas con estratificación delgada y gruesa como se muestra en la (figura 18), seguido de lutitas gris a negras, intemperizando a marrón rojizo. Perteneciente Grupo Morro Solar.

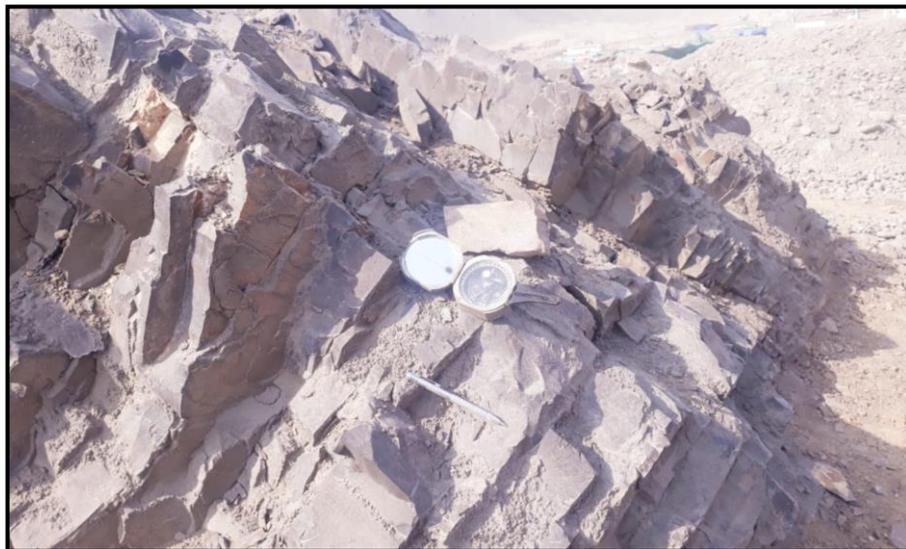


FIGURA 18: Afloramiento de limolitas estratificadas y fracturadas.



5.1.3.4. La Formación Marcavilca (Ki-mar)

Esta formación descansa en contacto normal sobre la Formación Herradura y subyace a la Formación Pamplona. Litológicamente presenta rocas cuarcitas gris blanquecina y en menor proporción las lutitas, Perteneciente Grupo Morro Solar.

Cretácico Superior

5.1.3.5. Rocas Intrusivas

Las rocas ígneas intrusivas, estas rocas son mayormente granodioritas, tonalitas y granitos, que pertenecen geológicamente a la Super Unidades ígneas, Santa Rosa y Patap. Se encuentran fracturadas y falladas, con diversos grados de intemperismo supérgeno. Se encuentran al Norte y al Este del área de estudio, forman los cerros de mayor altura.

- a) **Granodiorita (Ks-bc/pt-gbdi):** Conformado por Gabrodioritas.
- b) **Granodiorita (Ks-bc/sr-mgr):** Conformado por Monzogranitos.

Cuaternario

5.1.3.6. Depósito aluvial (Qp-al)

Consiste materiales inconsolidados acarreados y acumulados por río Rímac, de las quebradas, eólicas y por actividad humana, el depósito conforma planicie aluvial, se extiende desde el borde de la ladera abrupta hasta el borde del litoral, el depósito presenta una tonalidad beige claro, y está constituido por clastos sub redondeados, conformado de GP grava mal graduada y GW grava bien graduada en algunas partes tiene como; arena arcillosa SC, arena limosa SM, arcilla inorgánica de baja plasticidad CL, limo inorgánico de baja plasticidad ML.

Tabla 16: Unidades litoestratigráficas

LEYENDA						
ERA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS		SIMBOLO	LITOLOGÍA
Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Depósito aluvial		 Qh-al	Acumulaciones de fragmentos rocosos redondeados a subredondeados con matriz arenosa, formando terrazas.
		Pleistoceno	Depósito aluvial pleistocénico		 Qp-al	Acumulaciones de fragmentos rocosos redondeados a subredondeados, forma terrazas altas.
mesozoico	Cretácico	Superior	Intrusivos y subvolcánicas		 Ks-bc/sr-mgr	Conformado por Monzogranitos
					 Ks-bc/pt-gbd	Conformado por Gabrodioritas
		Inferior	Grupo Morro Solar	Formación Marcavilca	 Ki-mar	Areniscas cuarzosas de grano fino a grueso de color gris blanquecino con estratificación paralela
				Formación Herradura	 Ki-h	Lutitas grises a gris oscuras intercaladas con areniscas de grano fino y raras calizas
			Grupo Puente Piedra	Formación Ventanilla	 Ki-v	Aglomerados, andesitas porfíricas y brechas, intercaladas con calizas arcillosas, areniscas, piroclastos y lavas andesíticas
				Formación Puente Inga	 Ki-pi	Lutitas tobáceas muy fosilíferas intercaladas con derrames volcánicos

Para más detalle de las unidades litoestratigráficas ver ANEXO MAPA A.3:

MAPA GEOLÓGICO.

5.2. RESULTADOS DE PROPIEDADES DINÁMICAS DEL SUELO DE FUNDACIÓN

5.2.1. REFRACCIÓN SÍSMICA

En los trabajos de campos realizados de los ensayos de prospección sísmica primero se definieron el eje de la línea sísmica a continuación, se presentan ubicación de las Líneas Sísmicas – WGS – 84 en la tabla 17:

Tabla 17: Ubicación de las Líneas Sísmicas – WGS – 84.

Línea N°	Coordenada UTM INICIO		Coordenada UTM FIN	
	ESTE	NORTE	ESTE	NORTE
1	277972.8	8670197.67	278030.18	8670148.00
2	277839.07	8669934.48	277888.35	8669991.01
3	277665.22	8670325.89	277697.22	8670393.72
4	277542.44	8669608.76	277491.5	8669553.71

El ensayo de Refracción Sísmica ha consistido en la medición de los tiempos de viaje de las ondas compresionales (ondas P), generadas por una fuente de energía impulsiva, esta energía se propaga a través del subsuelo y es recibida en forma de señal por medio de sensores (o geófonos) organizados en una línea recta, esta configuración es llamada shot.



FIGURA 19: Obtención de Fuente Sísmica con golpes de Martillo de 10 Libras.

La fuente de energía ha producida por el golpe de una comba lo que se aprecia en la (figura 19). La energía es detectada, amplificada, y registrada mediante un proceso de conversión análogo-digital de tal manera que puede determinarse su tiempo de arribo en cada punto. El instante del impacto “Tiempo cero”, también es registrado conjuntamente con las vibraciones del suelo que arriban a los geófonos. Por lo tanto, en general, los datos consisten en tiempos de viaje y distancias, siendo el tiempo de viaje el intervalo entre el “Tiempo cero” y el instante en que el geófono empieza a responder a la perturbación. Los resultados de la determinación de velocidades de ondas P se presentan en la tabla 18.

Tabla 18: Resumen de los Ensayos Geofísicos Refracción Sísmica.

Ensayo	Estrato Sísmico	Espesor	Vp (m/s)	Descripción
Línea-01	1	4.6 - 7.4	300.0 - 885.0	Material conformado por un suelo arcillo-limoso con poca presencia de gravas, mediante compacto a compacto
	2	16.7 - 20.1	885.0 - 1410.0	Material conformado por un suelo arcillo-limoso con poca presencia de gravas a un depósito aluvial compacto a denso
	3	-	1410.0 <	Depósito Aluvial muy denso
Línea-02	1	4.3 - 10.0	300.0 - 897.0	Material conformado por un suelo gravoso mediante compacto a compacto
	2	15.2 - 19.9	897.0 - 1619.0	Material conformado por un suelo gravoso a un depósito aluvial compacto a denso
	3	-	1619.0 <	Depósito Aluvial muy denso
Línea-03	1	3.9 - 7.8	300.0 - 901.0	Material conformado por un suelo limo-arenoso con poca presencia de gravas, mediante compacto a compacto
	2	15.2 - 21.2	901.0 - 1595.0	Material conformado por un suelo limo-arenoso con poca presencia de gravas a un depósito Aluvial compacto a denso
	3	-	1595.0 <	Depósito Aluvial muy denso
Línea-04	1	4.6 - 6.5	300.0 - 999.0	Material conformado por un suelo gravoso mediante compacto a compacto
	2	12.3 - 26.1	999.0 - 1609.0	Material conformado por un suelo gravoso a un depósito aluvial compacto a denso
	3	-	1609.0 <	Depósito Aluvial muy denso

Los resultados de ensayos de refracción sísmica (Vp) de las 4 líneas sísmicas de 75 m de longitud lo que indica en la Tabla 18, de las cuatro líneas sísmicas son similares que presentan valores de velocidad de ondas P (Vp) entre 300.0 m/s a 1619.0 m/s, con un espesor

variable de 30 m. profundidad estratigráficamente está conformado por un suelo arcillo-limoso con poca presencia de gravas, mediante compacto a compacto hasta un depósito Aluvial muy denso. Se evidencia un incremento progresivo de la rigidez con la profundidad y la velocidad de propagación de ondas compresionales $V_p < 1000$ m/s se considera un suelo excavable.

5.2.2. ENSAYOS MASW

El ensayo MASW se realizaron a fin de caracterizar el terreno en función a la velocidad de propagación de ondas de corte V_s , así como también determinar los parámetros elásticos del terreno. es un método activo de exploración geofísica que permite obtener el perfil unidimensional del suelo en función de la propagación de las ondas de corte “ V_s ”. El ensayo ha consistido en registrar los tiempos de viaje de las ondas de corte (ondas S), generada por una fuente de energía impulsiva a unos puntos localizados en cada extremo del tendido de la línea.

Tabla 19: Resumen de los Ensayos Geofísicos MASW - WGS- 84.

Sondaje	Prof. (m)	Coordenadas (UTM-WGS 1984 datum, Zone 17 South)		V_{s30} (m/s)	T_o (s)	IBS 2015	Norma E-030	Descripción (E-030)
		Este (m)	Norte (m)					
MASW-01	30	278001.49	8670172.83	377.67	0.32	377.67	377.67	Suelo Intermedios
MASW-02	30	277863.71	8669962.74	493.27	0.24	493.27	493.27	Suelo Intermedios
MASW-03	30	277681.22	8670359.8	416.9	0.29	416.9	416.9	Suelo Intermedios
MASW-04	30	277516.97	8669581.24	560.52	0.21	560.52	560.52	Roca o Suelo muy Rígidos

Los resultados de ensayo MASW (V_s) de las 4 líneas sísmicas lo que indica en la Tabla 19 las velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 30 m. los valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) están entre 377.67 m/s a 560.52 m/s y el periodo de vibración es de 0.21 a 3.32 T_o (s), estratigráficamente según

la norma E-030 (2018) las 3 primeras líneas resultan suelos intermedios y la línea sísmica 4 como Roca o Suelo muy Rígidos.

5.2.3. CLASIFICACIÓN SÍSMICA MÉTODO DE MASW

Construcción de curva de dispersión, haciendo uso del software SeisImager/SW, se abre la data, ya sea registros de MASW para analizarla, luego se realiza el cálculo de la velocidad de fase, utilizando el módulo WaveEq del software SeisImager/SW, en el cual se muestra la variación de la curva de dispersión en un gráfico (figura 20) de Velocidad de Fase vs Frecuencia ($c - f$), los ensayos de cuatro de las líneas ver ANEXO ENSAYO GEOFÍSICA C.1: CLASIFICACIÓN SÍSMICA MÉTODO DE MASW.

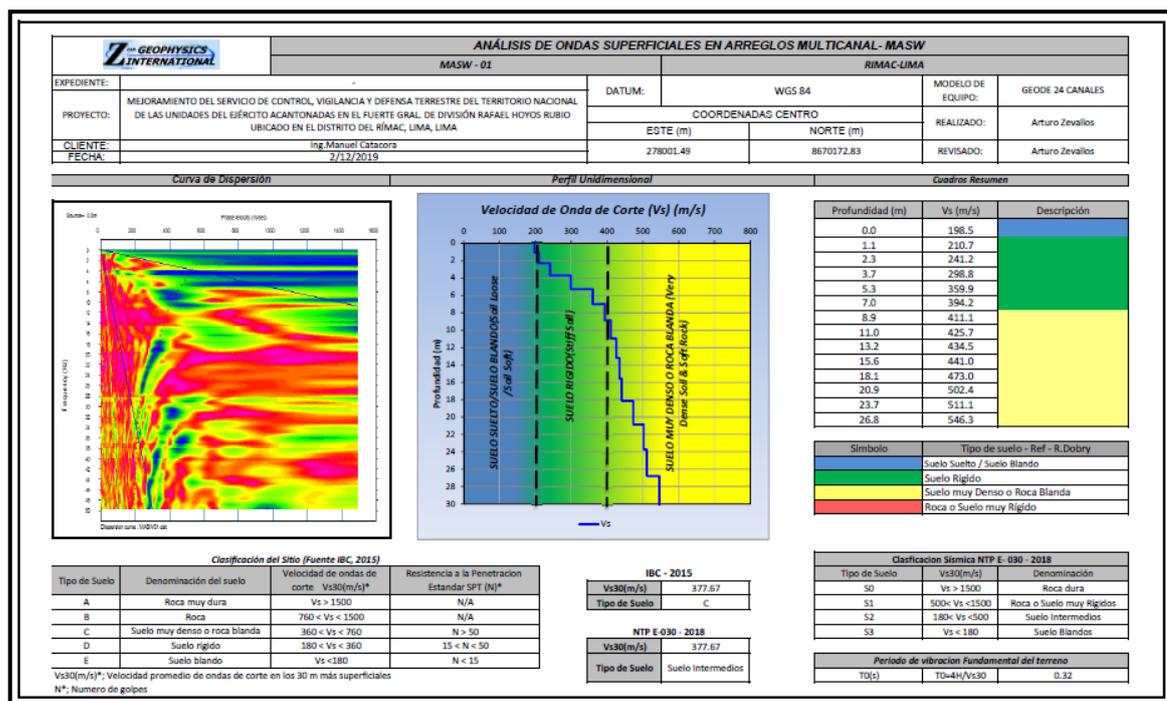


FIGURA 20: Curva de dispersión para el MASW Curva de dispersión que muestra la velocidad de fase en el dominio de la frecuencia.

El resumen de los cuatro ensayos de líneas sísmicas es confiable hasta una profundidad de 30 m. los valores de velocidad de propagación de ondas S (Vs) entre 377.67 m/s a 560.52 m/s y el periodo de vibración es de 0.21 a 3.32 To (s),

estratigráficamente según la norma E-030 (2018) las 3 primeras líneas resultan suelos intermedios y la línea sísmica 4 como Roca o Suelo muy Rígidos.

5.2.4. PARÁMETROS ELÁSTICOS

En la siguiente figura 21 se muestra los valores de G_{max} y E_{max} obtenidos de los ensayos geofísicos. En este caso, los ensayos geofísicos proporcionaron la velocidad de ondas de P (V_p) y de corte (V_s) del perfil stratigráfico. Asimismo, para estimar la densidad de los materiales se asumieron valores característicos lo cual permitió mediante el empleo de las formulaciones antes indicadas obtener los parámetros elásticos de los materiales que conforman la zona de estudio. Los resultados obtenidos de 4 líneas sísmicas se muestran en ANEXO ENSAYO GEOFÍSICA C.2: PARÁMETROS ELÁSTICOS.

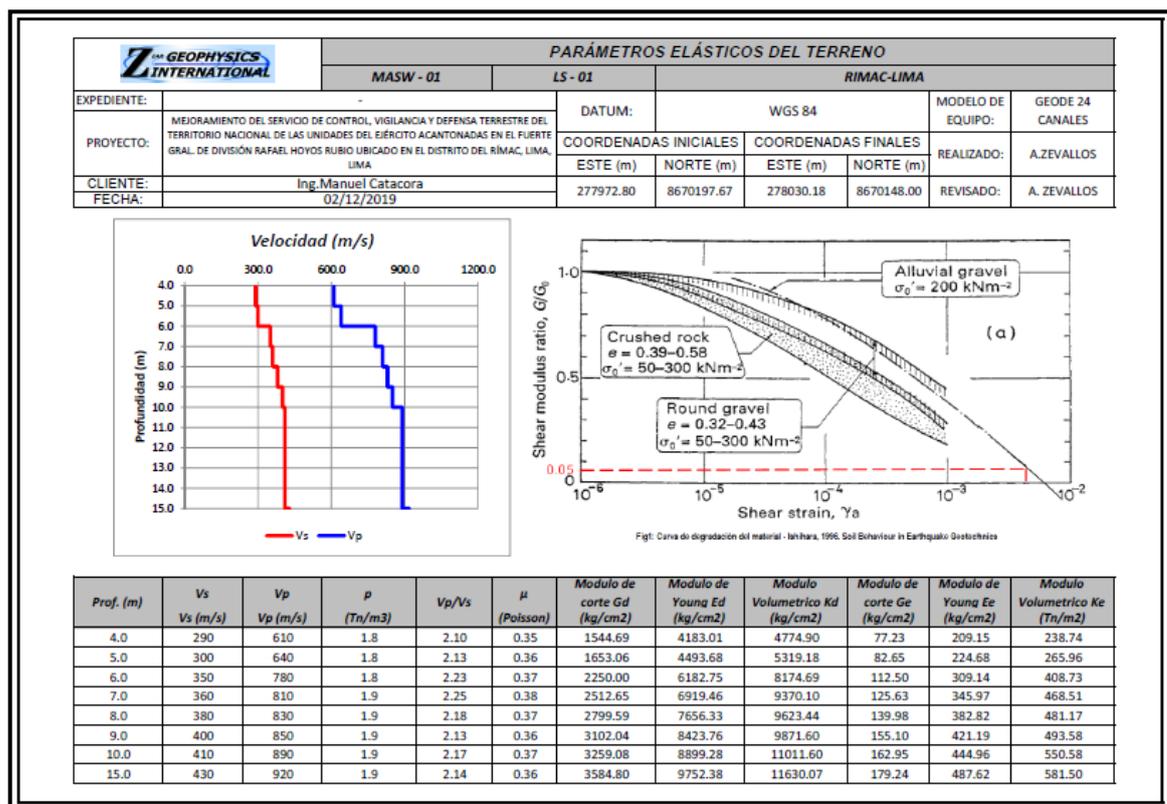


FIGURA 21: Los parámetros elásticos de los materiales que conforman la zona de estudio.

El resumen de los cuatro ensayos de líneas sísmicas es con resultados confiables hasta una profundidad de 15 m. los valores de parámetros elásticos de los materiales son;

relación de V_p/V_s es 2.10 a 2.29, coeficiente de Poisson 0.35 a 0.40 μ , módulo de Young E_d 4183.01 a 20506.95 kg/cm², módulo de corte G_d 1544.69 a 7452.65 kg/cm² y Modulo Volumétrico K_d 4774.90 a 27522.21 kg/cm².

5.2.5. DROMOCRONAS (CURVAS TIEMPO-DISTANCIA)

Una vez obtenidos los tiempos de arribo para cada geófono, a partir de ellos se obtiene las gráficas Tiempo – Distancia (figura 22), llamadas también Curvas Dromocrónicas. En dicha gráfica se determina los cambios de pendiente de los tiempos obtenidos para cada geófono, en forma de rectas, de lo cual se deduce por teoría que el inverso de la pendiente de cada una de las rectas, representa la Velocidad Aparente, para un estrato. Los resultados obtenidos de 4 líneas sísmicas se muestran en ANEXO ENSAYO GEOFÍSICA C.3: DROMOCRONAS (CURVAS TIEMPO-DISTANCIA).

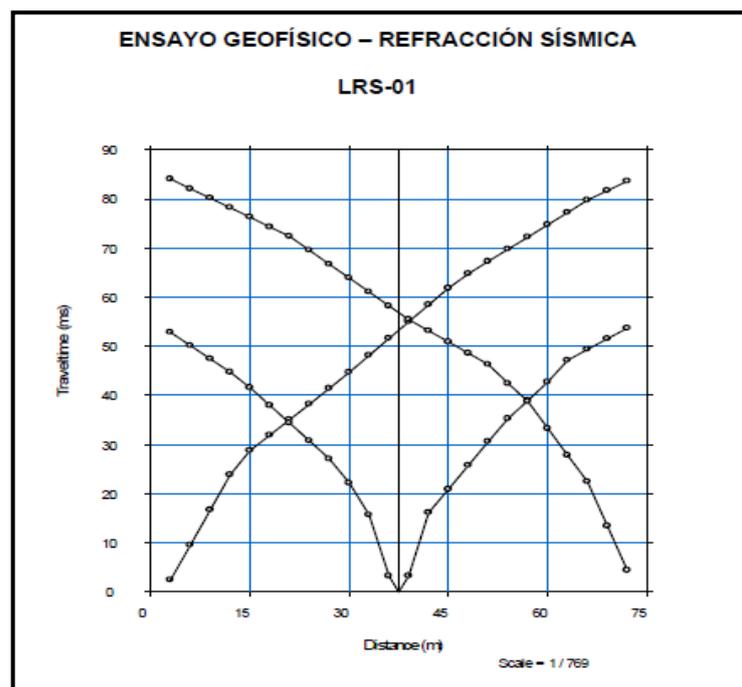


FIGURA 22: Curvas de tiempo vs. distancia Dromocrónica que resulta de identificar el tiempo de llegada de la señal sísmica vs la distancia recorrida.

5.2.6. RESUMEN DE REFRACCIÓN

La obtención de las velocidades y espesores de los estratos del modelo obtenido son realizados en el software de procesamiento denominado Plotrefa. Dicho procedimiento incluye la corrección por topografía de cada geófono y punto de disparo. En la actualidad durante el proceso se realiza además una aplicación de modelamiento inicial y posterior a este se realiza la inversión. Los resultados obtenidos de 4 líneas sísmicas se muestran en ANEXO ENSAYO GEOFÍSICA C.4: RESUMEN REFRACCIÓN.

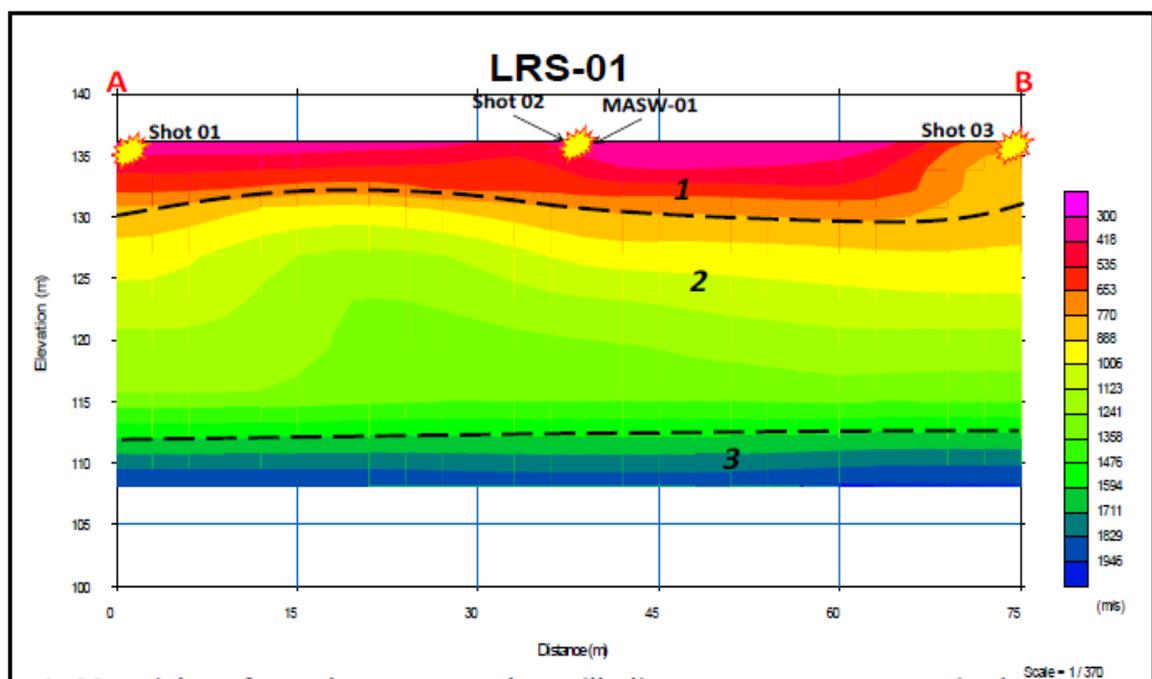


FIGURA 23: Modelamiento tomográfico del perfil.

Lo que indica en la figura 23 corresponde al ensayo MASW-01 de 75 m de longitud. Los resultados son similares de los cuatro ensayos de líneas sísmicas confiables hasta una profundidad de 25 a 30 m, en el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos:



1. Material conformado por un suelo arcillo-limoso con poca presencia de gravas, mediante compacto a compacto.
2. Material conformado por un suelo gravoso a un depósito aluvial compacto a denso.
3. Depósito Aluvial muy denso.

5.3. RESULTADOS DE PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICOS Y QUÍMICOS DEL SUELO DE FUNDACIÓN

5.3.1. INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO

Con la finalidad de definir el perfil estratigráfico del área de estudio, se ejecutaron 167 calicatas de exploración hasta una profundidad máxima de 3.50 metros, la finalidad fue investigar el subsuelo que cargas puede soportar las estructuras a construirse, el terreno se zonifica en 10 zonas definidas por tipos de suelos que se encuentra en la zona de estudio. La ubicación de calicatas se puede ver en ANEXO PLANO B.1: PLANO DE UBICACIÓN DE CALICATAS, así como en la figura 24 muestra identificación de estratos del subsuelo de las calicatas ejecutadas, ver ANEXO CUADRO G.1: RESUMEN DE TRABAJOS DE CAMPO en el cual detallan las profundidades excavadas de calicatas.



FIGURA 24: investigación del subsuelo a través de excavación de calicatas.

5.3.2. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRATOS

El subsuelo de la futura edificación, presenta una conformación heterogénea en la zona. Lo que indica en la figura 25 las descripciones estratigráficas de calicatas podemos ver con detalle en ANEXO D: DESCRIPCIÓN DEL PERFIL ESTRATIGRAFICO DEL SUELO. Los más representativos son lo siguiente:

CALICATA C-1: Presenta de 0.00 – 1.00 material relleno, compuesto por limos, de color beige, semi compacto ligeramente húmedo, presencia de cerámicos, ladrillos; de 1.00 – 3.10 arena limosa, en estado semi compacto, ligeramente húmedo, color beige.

CALICATA C-17: Presenta de 0.00 – 1.20 Material removido, compuesto por una arena arcillosa, de color beige, en estado semi compacto, presencia de gravas sub redondeadas; de 1.20 – 3.00 Grava mal graduada, de color plomo, en estado semi compacto, húmeda, con un tamaño promedio de grava sub redondeada 1 1/2", el bolón más grande es de 12"x 8", con presencia de óxidos.

CALICATA C-30: Presenta de 0.00 - 1.20 material removido conformado por limo arcilloso color beige, semi húmedo con presencia de raíces y con gravas aisladas; de 1.20-



3.00 grava bien graduada, de color plomo claro, en estado semi compacto, húmeda, con un tamaño promedio de grava sub redondeada 1 1/2", el bolón más grande es de 16", con presencia de óxidos.

CALICATA C-71: Presenta de 0.00-1.00 material removido conformado de limo arcilloso, color beige oscuro en estado semi compacto, seco, con presencia de gravas aisladas de 4"; de 1.00-3.00 grava mal graduada, de color plomo, en estado semi compacto, húmeda, con un tamaño promedio de grava sub redondeada 1 1/2", el bolón más grande es de 8", con presencia de óxidos.

CALICATA C-72: Presenta de 0.00-0.90 material removido conformado de limo arcilloso, color beige oscuro en estado semi compacto, seco, con presencia de gravas aisladas de 5".; de 0.90– 3.00 Grava mal graduada, de color plomo, en estado semi compacto, húmeda, con un tamaño promedio de grava sub redondeada 1 1/2", el bolón más grande es de 10", con presencia de óxidos.

CALICATA C-92: Presenta de 0.00-0.40 suelo removido, compuesto por material de cultivo; de 0.40– 3.00 limo inorgánico de baja plasticidad, de color beige oscuro, semi húmedo, compacto, no plástico, con presencia de raíces.

CALICATA C-93: Presenta de 0.00-0.30 suelo removido, compuesto por material de cultivo y presencia de raíces.; de 0.30– 3.00 arcilla inorgánica de baja plasticidad, mínima presencia de arena, de color beige oscuro, en estado compacto, semi húmedo, no plástico, con presencia de raíces

CALICATA C-94: Presenta de 0.00-1.00 relleno conformado por bloques de ladrillos y gravas aisladas de 3", color plomo, en estado suelto y presencia de raíces; de 1.00– 3.00 arena arcillosa con presencia de limo, color beige, en estado semi compacto, semi húmedo, con presencia de raíces.

CALICATA C-107: Presenta de 0.00-0.60 suelo removido, compuesto por material de cultivo y presencia de raíces; de 0.60–1.80 arena arcillosa - limosa, color marrón, en estado semi compacto, semi húmedo, con presencia de raíces, presencia de lentes de grava; de 1.80-3.00 grava mal graduada, de color plomo, en estado semi compacto, húmeda, con un tamaño promedio de grava sub redondeada 1 1/2", el bolón más grande es de 15", con presencia de óxidos.

CALICATA C-108: Presenta de 0.00-1.00 suelo removido, compuesto por material de cultivo y presencia de raíces; de 1.00–1.90 limo de baja plasticidad, color beige oscuro, en estado semi compacto, semi húmedo, con presencia de raíces; de 1.90-3.00 grava mal graduada, de color plomo, en estado semi compacto, húmeda, con un tamaño promedio de grava sub redondeada 1 1/2", el bolón más grande es de 10", con presencia de óxidos.



FIGURA 25: Descripción de estratos del subsuelo.

5.3.3. PERFIL ESTRATIGRÁFICO DE LAS CALICATAS

En base a la información obtenida de los trabajos de campo y de los ensayos de laboratorio, se han establecido cien perfiles estratigráficos: Según el eje 1-1, que une las

calicatas C-47, C-47 con una longitud de 51.67ms, según el eje 2-2, que une las calicatas C-46, C-24, con una longitud de 77.54ms según el eje 3-3, que une las calicatas C-24, C-22 con una longitud de 68.86ms, etc. Estos perfiles estratigráficos lo podemos ver en ANEXO PLANO B.4: PLANO DE PERFILES ESTRATIGRÁFICOS.

5.3.4. ENSAYOS DE LABORATORIO

De cada uno de las calicatas representativas de suelos se extrajeron muestras inalteradas y alteradas, que debidamente identificadas se remitieron al laboratorio para los ensayos correspondientes así mismo identificación y clasificación de suelos, para ver todo tipo de ensayos que se realizaron en laboratorio se muestra en ANEXO CUADRO G.2: RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO. Algunos ensayos realizados en laboratorio se muestran en la siguiente tabla 20.

Tabla 20: Resumen de corte directo de espécimen.

calicata	Angulo de fricción (ϕ)	Cohesión (kg/cm ²)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	CBR (%)
C-12	32.8°	0	NP	NP	NP	-
C-19	34.7°	0	NP	NP	NP	-
C-37	27.5°	0.12	30.00	20.00	10.00	-
C-72	34.9°	0	NP	NP	NP	-
C-84	25.8°	0.04	34.00	20.00	14.00	-
C-93	26.4°	0.06	28.00	18.00	10.00	-
C-101	28.5°	0.1	24.00	20.00	4.00	-
C-118	25.3°	0.14	36.00	20.00	16.00	-
C-130	33.8°	0	NP	NP	NP	-
C-149	25.8°	0.06	40.00	21.00	19.00	-
C-144	-	-	30.00	21.00	9.00	2.70
C-124	-	-	20.00	17.00	3.00	25.30

El resumen de análisis físico mecánicos del suelo del terreno fundación lo que indica en la tabla 20 son los siguientes; Angulo de fricción es de 25.8° a 34.9° , Cohesión 0 a 0.14 kg/cm^2 , limite liquido de 20 a 40 %, limite plástico de 17 a 21 %, índice plástico 3 a 19 % y la resistencia del suelo (CBR) es de 2.70 a 25.3. La mayoría de las muestras los resultados de límites de consistencia son NP.

Los ensayos realizados en laboratorio se pueden ver en ANEXO E: ENSAYOS DE LABORATORIO Y ANEXO F: ENSAYOS ESPECIALES.



FIGURA 26: Ensayo en laboratorio análisis granulométrico.

5.3.5. ANÁLISIS QUÍMICO DEL SUELO

Con el objetivo de estimar el grado de agresividad del suelo al concreto se han ejecutado análisis químicos, el suelo bajo el cual se cimienta toda estructura tiene un efecto agresivo a la cimentación. Este efecto está en función de la presencia de elementos químicos que actúan sobre el concreto y el acero de refuerzo, causándole efectos nocivos y hasta destructivos sobre las estructuras (sulfatos, cloruros, sales solubles totales). Sin embargo, la acción química del suelo sobre el concreto sólo ocurre a través del agua subterránea que

reacciona con el concreto; de ese modo el deterioro del concreto ocurre bajo el nivel freático, zona de ascensión capilar o presencia de agua infiltrado por otra razón (rotura de tuberías, lluvias extraordinarias, inundaciones, etc.).

Los principales elementos químicos a evaluar son los sulfatos y cloruros por su acción química sobre el concreto y acero del cimiento respectivamente y las sales solubles totales por su acción mecánica sobre el cimiento, al ocasionarle asentamientos bruscos por lixiviación (lavado de sales del suelo con el agua). Los análisis químicos de suelos se realizaron en la Universidad Agraria La Molina, los resultados se puede ver en tabla 21. Ver ANEXO ENSAYOS ESPECIALES F.2: ANÁLISIS QUÍMICOS.

Tabla 21: Resultados de análisis químicos de los suelos.

calicata	SO4 (ppm)	CL (ppm)	SST (ppm)
C-1	13.32	18.53	192
C-18	9.81	23.33	153.3
C-29	457.3	370.51	2523
C-36	228.65	333.46	1974
C-90	89.46	53.52	642
C-99	255.83	123.5	1701
C-103	23.84	43.23	311.7
C-118	544.96	617.51	3384
C-149	69.24	62.34	918

Se concluye que el estrato de suelo que forma parte del contorno donde irá desplantada la cimentación contiene concentraciones leves de sulfatos y cloruros, Sales Solubles totales, que podrían atacar al concreto y la armadura de la cimentación. Por lo tanto, el cemento a usar para la cimentación será el tipo I. Ver ANEXO CUADRO G.3: PARÁMETROS QUÍMICOS NOCIVOS PARA LA CIMENTACIÓN.

5.3.6. CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO DE FUNDACIÓN

Se ha determinado la capacidad portante admisible del terreno en base a las características del subsuelo y se han propuesto dimensiones recomendables para la cimentación considerando el tipo de estructura y el tipo de suelo.

La capacidad de carga se ha determinado en base a la fórmula de Terzaghi y Peck (1967), con los parámetros de Vesic (1971). Se puede considerar los siguientes parámetros obtenidos del ensayo corte directo. Según Terzaghi y Peck:

$$q_{ul} = S_c * C * N_c + \frac{1}{2} * S_\tau * \delta * B * N_\tau + S_q * \delta * D_f * N_q$$

$$q_{ad} = \frac{q_{ul}}{F.S.}$$

Donde:

q_{ul} = capacidad última de carga en kg/cm².

q_{ad} = capacidad portante admisible en kg/cm².

F.S. = factor de seguridad

δ = peso específico total.

B = ancho de la zapata o cimiento corrido en mt

Df = profundidad de la cimentación.

N_c, N_τ, N_q = parámetros que son función de ϕ

S_c, S_τ, S_q = factores de forma.

C = cohesión en (kg/cm²)



Cálculo de capacidad portante para zona 2 cuatro pisos: profundidad de la cimentación = 1.30 m

$$\phi = 19.90^\circ$$

$$q_{ult} = 4.04 \text{ kg/m}^2$$

$$FS = 3.00$$

Aplicando la formula anterior se tiene:

$$q_{adm} = 1.35 \text{ kg/cm}^2$$

El resumen de los cálculos obtenidos capacidad portante admisible para las 10 zonas se puede ver en la tabla 23.

5.3.6.1. Cimentación en roca

La futura infraestructura, estará apoyada sobre estratos de roca sedimentaria y metamórficas del tipo cuarcita, arenisca, pizarras, lutitas, los cuales constituyen terrenos aptos para los cimientos, por ser resistentes.

Para el cálculo de capacidad de carga admisible, considerando la teoría roca homogénea fisurada, mencionada en el manual de obras Civiles de la Comisión federal de electricidad – México, para roca sana, en la que:

$$q_a = k_{sp} q_0$$

Donde:

q_a = capacidad de carga admisible

q_0 = resistencia a la compresión de una muestra

k_{sp} = coeficiente que depende del espaciamiento de las discontinuidades



El valor de k_{sp} se calcula con la siguiente formula:

$$k_{sp} = \frac{3 + c/B}{10\sqrt{1 + 300\delta/c}}$$

Donde:

c = Espaciamiento de las discontinuidades

δ = Espesor de las discontinuidades

B = Ancho de la cimentación

De acuerdo a lo observado en el campo, considerando un valor de $K=0.10$

Por la parte de la resistencia a la compresión proporcionada en diferentes tablas para las condiciones, presentadas en el campo es de siendo la lutita con 280.00 kg/cm^2 considerando un factor de seguridad de 3, se tiene una capacidad admisible de:

$$q_{ad} = 9.33 \text{ kg/cm}^2$$

5.3.7. ASENTAMIENTO DEL SUELO DE FUNDACIÓN

El asentamiento de la cimentación se calcula en base a la teoría de la elasticidad (Lambe y Whitman, 1964), considerando los 2 tipos de cimentación superficial recomendado. Se asume que el esfuerzo neto transmitido es uniforme en ambos casos.

El asentamiento elástico inicial será:

$$S = \Delta q_s * B(1 - u^2) \frac{lf}{E_s}$$

Donde:

S = asentamiento (cm)

Δq_s = esfuerzo neto transmisible (kg/cm^2)

B = ancho de cimentación (cm)



E_s = módulo de Elasticidad (kg/cm^2)

u = relación de Poisson

I_f = factor de influencia que depende de la forma y la rigidez de la cimentación.

Las propiedades elásticas del suelo de cimentación fueron asumidas a partir de tablas publicadas con valores para el tipo de suelo existente donde irá desplantada la cimentación, para tipo de suelo donde irá desplantada la cimentación es conveniente considerar un módulo de elasticidad y coeficiente para los diferentes suelos ver tabla 22.

Tabla 22: parámetros y valores para cálculo de asentamientos.

Tipo de suelo	Módulo de elasticidad	Coefficiente de poisson
Arena limosa	200kg/cm^2	0.35
Grava arenosa	800kg/cm^2	0.15
Arena Arcillosa	300kg/cm^2	0.3
Roca	1500 kg/cm^2	0.4

Fuente: (Alva, 2012)

Cálculo de asentamiento para zona 02 de cuatro pisos para suelo grava arenosa

Zapata ($D_f = 1.20\text{m}$)

$\Delta q_s = 4.52\text{ Kg/cm}^2$

$B = 150\text{ cm}$

$E_s = 800\text{ Kg/cm}^2$

$u = 0.15$

I_f (flexible) = 1.12

I_f (rígido) = 0.82



Aplicando la formula anterior se tiene:

Cimentación flexible $S = 0.93$

Cimentación rígida $S = 0.68$

El resumen de los cálculos asentamientos para las 10 zonas se puede ver en la tabla 23. Los cálculos de asentamiento se han realizado considerando cimentación rígida y flexible, se considera además que los esfuerzos transmitidos son iguales a la capacidad admisible de carga, ver en ANEXO CUADRO G.4: DISEÑO DE CIMENTACIÓN DE ESTRUCTURAS POR ZONAS.

Tabla 23: Resumen de condiciones de cimentación y asentamientos.

DESCRIPCION	ZONA 01	ZONA 02	ZONA 03	ZONA 04	ZONA 05	ZONA 06	ZONA 07	ZONA 08	ZONA 09	ZONA 10
CALICATA	C-12	C-19	C-37	C-72	C-84	C-93	C-101	C-118	C-130	C-149
TIPO DE SUELO	SM	GP	CL	GP	CL	CL	CL-CM	CL	CM	CL
Df (ms)	1.30	1.20	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30
Qadm (Kg/cm2) 4 pisos		4.52					1.35			
Base (ms)		1.50					2.70			
Asentamiento S (cm)		0.93					1.24			
Qadm (Kg/cm2) 3 pisos		4.45	1.32	4.88	1.73	2.10				
Base (ms)		1.40	2.50	1.25	2.30	2.30				
Asentamiento S (cm)		0.85	1.68	0.83	1.35	1.64				
Qadm (Kg/cm2) 2 pisos	1.22	4.31	1.26	4.77		2.07	1.28		1.46	1.91
Base (ms)	2.20	1.20	1.80	1.10		2.00	2.00		2.00	1.90
Asentamiento S (cm)	1.32	0.71	1.16	0.72		1.41	0.87		1.43	1.23
Qadm (Kg/cm2) 1 piso	1.14				1.64			1.21	1.38	1.86
Base (ms)	1.60				1.40			1.20	1.50	1.40
Asentamiento S (cm)	0.90				0.78			0.49	1.02	0.88
Qadm (Kg/cm2) cim. corr.	0.77	2.73	0.87	3.05	1.09	1.32	0.87	0.81	0.84	1.30
Base (ms)	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	1.00
Asentamiento S (cm)	0.46	0.45	0.53	0.50	0.45	0.54	0.36	0.33	0.50	0.89

De los cálculos obtenidos de capacidad carga admisible y asentamientos lo que indica en la tabla 23 cumplen con los parámetros establecidos según las normas de E-050 (2018) Suelos y Cimentaciones y E-030 (2018) diseño sismorresistente, por lo tanto, es factible la construcción de edificaciones en el Fuerte Militar General de División Rafael Hoyos Rubio - Rímac – Lima.

5.3.8. ANÁLISIS DE CIMENTACIÓN

Las características geotécnicas del terreno de fundación cumplen con los parámetros establecidos según las normas para cimentación, basado en los trabajos de campo, ensayos de laboratorio, perfiles y registros estratigráficos la profundidad de cimentación será variable de acuerdo al sector, de las 167 calicatas realizadas se zonifica en 10 zonas de acuerdo a los tipos de suelos, cada zona será diferente el diseño de cimentación y la profundidad a cimentar así mismo las nuevas obras a construirse podrán emplear cualquiera de los sistemas estructurales, los cuales transmiten sus cargas al terreno de cimentación mediante una cimentación superficial, tal como zapatas y cimientos corridos. Ver ANEXO CUADRO G.4: DISEÑO DE CIMENTACIÓN DE ESTRUCTURAS POR ZONAS Y ANEXO PLANO B.3: PLANO DE ZONIFICACIÓN POR CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE Y ASENTAMIENTOS.

a) Tipo de Cimentación

Dada la naturaleza del terreno a cimentar y las magnitudes posibles de las cargas transmitidas se recomienda utilizar una cimentación superficial, del tipo zapata aislada, zapata conectada, cimiento corrido, desplantada a la profundidad variable.

b) Tipo de Edificación

En terreno de investigación la edificación tendrá un nivel a 4 niveles del tipo Residencial. Estructuralmente constará de columnas y muros de concreto armado.

3.4. DISCUSIONES

Pari (2018), en su investigación sobre la evaluación geológica y geotécnica del terreno de fundación; considera, que los parámetros geotécnicos son el resultado de un riguroso estudio de campo, de laboratorio y de análisis concerniente a la caracterización



de los suelos, según las exploraciones se puede determinar que, en el área de proyecto en los niveles de desplante, el tipo de suelo es uniforme tratándose de un material interestratificado arenas y limos en estado semi-compacto ha suelto, con humedad considerable, conformado por depósitos cuaternarios que comprenden arcillas y limos, arenas y gravas no consolidadas que son depositadas por corrientes de agua. Así mismo se ha realizado determinación de propiedades físicas de los suelos muestran con ángulos de fricción 32.8° , 25.03° , 33.67° y con cohesión 0.061, 0.054, 0.028 Kg/cm² los materiales finos presentan humedad alta cercana al límite líquido. Tipo de Cimentación opta una Placa de Cimentación con sótano y 5 niveles del tipo Residencial, profundidad de desplante igual a 1.00 m se tiene: $q_{adm} = 0.98 \text{ kg/cm}^2$.

En el presente estudio de investigación, las características geotécnicas del terreno de fundación son buena mayormente está conformado por grava mal graduada GP, grava bien graduada GW y en algunas partes con presencia de arena limosa SM, arena arcillosa SC, Arcillas inorgánicas de baja plasticidad CL y limos inorgánicos de baja plasticidad ML. De los resultados de laboratorio se tiene ángulo de fricción de 25.8° a 34.9° , cohesión 0 a 0.14 kg/cm², índice plástico NP a 19 % y la resistencia del suelo (CBR) es de 2.70 a 25.3 %. Así mismo las propiedades químicas de suelos es de forma leves, entonces las características geotécnicas del terreno de fundación cumplen con los parámetros establecidos según las normas para cimentación. El tipo de cimentación será superficial, del tipo zapata aislada, zapata conectada, cimiento corrido, desplantada a la profundidad variable y su capacidad portante es calculado según la zonificación para 10 zonas ver tabla 23.



VI. CONCLUSIONES

- Las condiciones geotécnicas del acuerdo de los resultados obtenidos son buenas y es factible para cimentación de edificaciones, para cuatro pisos profundidad a cimentar 1.30 m la capacidad portante es 1.35 kg/cm². y para profundidad a cimentar 1.20 m. q_{adm} es 4.52 kg/cm² con asentamiento de 0.33 cm a 1.68 cm.
- Las formaciones geológicas son favorables para terreno de fundación corresponden al Grupo Puente Piedra y Grupo Morro Solar conformado por areniscas, lutitas, limolitas, cuarcita y pizarra, así mismo la futuras edificaciones estará sobre depósito aluvial de material cuaternario, conformado de GP grava mal graduada y GW grava bien graduada y en algunas partes tiene arena arcillosa SC, arena limosa SM, arcilla inorgánica de baja plasticidad CL y limo inorgánico de baja plasticidad ML, con geoformas de llanura aluvial.
- Las propiedades dinámicas de los suelos del terreno de fundación son; las velocidades de propagación de ondas S (V_s) están 377.67 m/s a 560.52 m/s, velocidad de ondas P (V_p) 300.0 m/s a 1619.0 m/s, el periodo de vibración es de 0.21 a 3.32 T_0 (s), relación de V_p/V_s es 2.10 a 2.29, codificante de Poisson 0.35 a 0.40 μ , módulo de Young E_d 4183.01 a 20506.95 kg/cm², estratigráficamente está conformado por un suelo arcillo-limoso con poca presencia de gravas, mediamente compacto a un suelo de depósito Aluvial muy denso. La velocidad de propagación de ondas compresionales $V_p < 1000$ m/s se considera un suelo excavable.
- Las propiedades físico mecánicos del terreno de fundación que presenta con un ángulo de fricción de 25.8° a 34.9°, cohesión 0 a 0.14 kg/cm², índice plástico NP a 19 % y la resistencia del suelo (CBR) es de 2.70 a 25.3 %. Así mismo las propiedades químicas de suelos es de forma leves de sulfatos, cloruros y sales solubles totales, por lo tanto, el cemento a usar para la cimentación será el tipo I.



VII. RECOMENDACIONES

- En la zona de estudio se debe considerar evaluación de taludes en las laderas laterales para estudios más riguroso y científicos, antes de realizare futuras construcciones así se evitará fallas estructurales.
- Realizar estudio de riesgos geológicos para asegurar las edificaciones de los desastres naturales.
- En futuras investigaciones se debe realizar ensayos rigurosos en laboratorio con el ensayo de consolidación Edometro, ensayo de consolidación en Celula Rowe ensayo de hinchamiento libre y ensayo Triaxial en suelos (CU, CD Y UU).



VIII. REFERENCIAS

- Aguilar, Z.; Lázares, L.; Curipaco, H.; Calderón, D.; Zedano, J.; Alarcón, S. (2015). MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA. LIMA: CISMID UNI.
- Alicante, U. d. (7 de Enero de 2020). CARACTERÍSTICAS TEXTURALES DE ROCAS DETRÍTICAS. Obtenido de Atlas Digital de Petrografía Sedimentaria: <https://web.ua.es/es/e-pesedua/siliciclasticas/aspectos-texturales.html>
- Alva, J. (2012). Diseño de Cimentaciones . Lima: Fondo editorial ICG.
- Bañón, L., & Beviá, J. (2000). Manual de Carreteras . España: Contrastista de Obras, S.A.
- Bañón, L., & Beviá, J. (2000). MANUAL DE CARRETERAS. Volumen II: construcción y mantenimiento. España: Contratista de Obras, S.A.
- Bowles, J. (1981). Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil (Primera ed.). México: LIBROS MCGRAW-HILL DE MEXICO, S.A. DE C.V.
- Braja, M. (2015). Fundamentos de Ingeniería Geotécnica . México: Cengage Learning Editores, SA deCV.
- Diez, M., & Navarro, J. (2008). ESTUDIO GEOTÉCNICO CON FINES DE CIMENTACIÓN. Lima: Tesis de la Universidad Ricardo Palma.
- Documents, S. (20 de enero de 2016). 2 - PUCP - GUÍA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS 2013-1 DENSPG61-6. Obtenido de <https://fddocuments.es/document/2-pucp-guia-de-laboratorio-de-mecanica-de-suelos-2013-1-denspg61-64.html>
- Domínguez, J. M., Román, A. D., Prieto, F., & Acevedo, O. (2007). Sistema de Notación Munsell y CIELab como herramienta para evaluación de color en suelos. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, México.
- Duque, G., & Escobar, C. (2002). Mecánica de suelos I. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.
- García, S. L., & Ramírez, M. O. (2006). PROPUESTA DE UN MANUAL DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONFORME A LA NORMA ASTM 2003. San Salvador: TESIS DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.
- Gonzales de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). Ingeniería geológica. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A.
- Griem, W. (2020). Apuntes Geología. Obtenido de Apuntes Geología: <https://www.geovirtual2.cl/geologiageneral/ggcap05b-2.htm>
- Herrera, J., & Castilla, J. (2012). Utilizacion de técnicas de sondeos en estudios geotécnicos. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Juárez, E., & Rico, A. (2005). Mecánica de suelos Tomo 1. México: EDITORIAL LIMUSA, S.A. DE C.V. GRUPO NORIEGA EDITORES.



- Kearey, P., Brooks, M., & Hill, I. (2002). *An Introduction to Geophysical Exploration*. Osney Mead Oxford : Blackwell Science Ltd.
- Lambe, T., & Whitman, R. (2004). *Mecanica de suelos*. México: Limusa S.A cc C.V.
- Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente. (7 de diciembre de 2018). *Diario el Peruano*. Normas Legales. Lima, Perú: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- Norma Técnica E.050 Suelos y Cimentaciones. (3 de diciembre de 2018). *Diario el Peruano*. Normas Legales. Lima, Perú: Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- Palacio, O., Caldas, J., & Vela, C. (1992). *Geología de los Cuadranculos de Lima, Lurin, Chancay y Chosica* BOLETIN N° 43. Lima: Instituto Geologico Minero y Metalurgico.
- Palomino, A. (2018). *Evaluación geotécnica aplicada al diseño de cimentaciones superficiales, en el distrito de Ventanilla, Lima-2018*. Lima: Tesis de la Universidad César Vallejo.
- Pari, S. (2018). *Evaluación geológica y geotécnica del terreno de fundación para la construcción del edificio archivo Regional Puno*. Puno: Tesis de la Universidad Nacional del Altiplano.
- Ramos, F. L. (2019). *Evaluación geológica y geotécnica con fines de cimentación del proyecto “Edificio multifamiliar: Berlín 1194”, distrito de Miraflores, provincia y región Lima. Cerro de Pasco: TESIS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN*.
- Rivera, M., Piedra, R., & Paripanca, Y. (2016). *Ensayos Geofísicos de Refracción Sísmica y de Medición de Ondas de Corte (MASW y MAM) para usos de cimentación en obras de edificaciones*. Revista Civilizate .
- Rojas, D. R., & Paredes, J. (2008). *Compendio de Geología General*. Lima: Editorial Universitaria EDUNI.
- Soto, M. T. (2010). *“TEXTO UNIVERSITARIO DE PETROLOGÍA”*. Puno: LIBROS-UNAP.
- Villacorta, S., Nuñez, S., Vasquez, J., Pari, W., Ochoa, M., & Benavente, C. (2015). *Peligros Geológico en el Área de Lima Metropolitana y la Region Callao* BOLETIN N° 59 Serie C. Lima: INGEMMET.



ANEXOS