

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



TESIS:

**Estudio Hidrogeológico para la Cimentación y Control de
Filtraciones en la Sede del Ministerio Público en Cañete - 2024**

Para optar el título profesional de:
INGENIERO AGRÍCOLA

PRESENTADO POR:
Bach. Joel Christian SOTO LEON

ASESOR:
Ing. Efraín CHUCHÓN PRADO

AYACUCHO - PERÚ

2026

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía y fortaleza en los momentos más difíciles, y por brindarme la sabiduría y perseverancia necesarias para culminar este logro tan importante en mi vida.

A mis queridas hijas, Belén Valentina y Ana Cristiana, quienes con su amor, alegría y ternura han sido mi mayor motivación para seguir adelante. Este logro también es para ustedes.

A mis padres, Susana y Avelino, por su apoyo incondicional, por su ejemplo de esfuerzo y sacrificio, y por confiar en mí en cada etapa de mi vida. Todo lo que soy se lo debo a ustedes.

A mis hermanos, Nelva, Antonio y Wilfredo, por su cariño, apoyo y confianza permanente, los cuales han sido fundamentales en este camino.

A mi esposa, María Elizabeth, por su amor, paciencia y respaldo constante. Gracias por acompañarme en cada etapa de este proceso; este logro también te pertenece.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi profundo agradecimiento a la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, mi alma mater, por brindarme la oportunidad de formarme académica y profesionalmente, así como por proporcionarme los conocimientos y herramientas necesarias para mi desarrollo profesional.

A la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola y a cada uno de los docentes que contribuyeron a mi formación, les manifiesto mi sincera gratitud por sus enseñanzas, orientación y dedicación, las cuales han sido fundamentales en mi crecimiento académico y profesional.

De manera especial, expreso mi agradecimiento al Ing. Efraín Chuchon Prado, asesor de la presente investigación, por su orientación, paciencia y compromiso durante el desarrollo de este trabajo. Su apoyo constante, disposición y acompañamiento académico fueron fundamentales para la culminación satisfactoria de la investigación.

Asimismo, agradezco al Ing. Hans Paul Sánchez Tueros por el apoyo técnico y las recomendaciones brindadas durante el desarrollo del estudio, las cuales contribuyeron significativamente al fortalecimiento de la investigación.

Finalmente, expreso mi agradecimiento a todas aquellas personas que, de manera directa o indirecta, contribuyeron en la realización y culminación del presente trabajo de investigación.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
INDICE GENERAL	iii
INDICE DE TABLAS	vi
INDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS.....	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCION	1
CAPITULO I	3
1. MARCO TEORICO	3
1.1. Antecedentes de investigación	3
1.1.1. Antecedentes internacionales.....	3
1.1.2. Antecedentes Nacionales	5
1.2. Bases Teóricas	7
1.2.1. Hidrogeología	7
1.2.2. Geología y geomorfología	8
1.2.3. Prospección geofísica	9
1.2.3.1. Tomografía eléctrica (ERT)	9
1.2.4. Hidráulica Subterránea	10
1.2.5. Hidrogeoquímica	12
1.2.6. Modelamiento Numérico	13
1.2.7. Sistemas de control de filtraciones	14
1.2.7.1. Muros diafragma o pantalla.....	14
1.2.7.2. Columnas de grava	14
1.2.7.3. Plateas de cimentación	15
1.2.7.4. Mantas de bentonita	15
1.2.8. Geotecnia de suelos arenosos	16
1.2.8.1. Propiedades índice y clasificación	17
CAPITULO II.....	19
2. MATERIAL Y METODO.....	19
2.1. Ubicación del área de estudio	19
2.1.1. Ubicación política	19
2.1.2. Ubicación geográfica	21

3.3.4. Evaluación hidráulica del uso de mantas de bentonita como sistema impermeabilizante	78
3.3.5. Validación hidráulica del desempeño de las mantas de bentonita mediante modelamiento numérico	79
3.3.6. Implicancia en la estabilidad de la cimentación	80
CONCLUSIONES	82
RECOMENDACIONES	83
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84
ANEXOS	85

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Clasificación cualitativa de la conductividad hidráulica (K)</i>	11
Tabla 2 <i>Valores típicos de conductividad hidráulica según el tipo de material</i>	11
Tabla 3 <i>Registro del inventario de fuentes de agua subterránea</i>	27
Tabla 4 <i>Coordenadas iniciales y finales de la sección de Tomografía Eléctrica</i>	29
Tabla 5 <i>Ubicación georreferenciada de los pozos evaluados</i>	35
Tabla 6 <i>Estado de los pozos inventariados en el área de influencia del proyecto</i>	54
Tabla 7 <i>Parámetros hidráulicos del acuífero obtenidos de la prueba de bombeo.</i>	63
Tabla 8 <i>Parámetros físico-químicos del agua subterránea</i>	66
Tabla 9 <i>Evaluación comparativa de alternativas.</i>	70

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Mapa de ubicación nacional y regional</i>	19
Figura 2 <i>Mapa de ubicación departamental y distrital</i>	20
Figura 3 <i>Mapa de la zona de estudio.....</i>	20
Figura 4 <i>Lote del Ministerio Público Cañete</i>	21
Figura 5 <i>Esquema metodológico de la investigación</i>	23
Figura 6 <i>Medición del nivel estático del agua en pozo inventariado.....</i>	25
Figura 7 <i>Mapa de ubicación de los pozos inventariados en la zona de influencia del proyecto .</i>	26
Figura 8 <i>Ejecución de prospección geofísica mediante tomografía eléctrica</i>	28
Figura 9 <i>Disposición de electrodos en campo para tomografía eléctrica mediante arreglo dipolo–dipolo.....</i>	29
Figura 10 <i>Ejecución de ensayo de bombeo en el pozo N°01</i>	30
Figura 11 <i>Ejecución de ensayo de bombeo en el pozo N°01</i>	31
Figura 12 <i>Medición y control del nivel de agua en el pozo N°01</i>	31
Figura 13 <i>Ejecución de ensayo de bombeo en el pozo N°02</i>	32
Figura 14 <i>Medición del nivel de agua durante el ensayo de bombeo en el pozo N°02.....</i>	33
Figura 15 <i>Ejecución de ensayo de bombeo en el pozo N°03.....</i>	34
Figura 16 <i>Medición del nivel de agua durante el ensayo de bombeo en el pozo N°03.....</i>	34
Figura 17 <i>Ubicación de los pozos utilizados para la prueba de bombeo</i>	35
Figura 18 <i>Toma de muestra de agua subterránea en los pozos evaluados</i>	36
Figura 19 <i>Muro Pantalla</i>	39
Figura 20 <i>Mecanismos de mejora del terreno mediante columnas de grava.....</i>	40
Figura 21 <i>Esquema del sistema sándwich aplicado a la losa de cimentación.....</i>	40
Figura 22 <i>Principio de funcionamiento y colocación de manta bentónica</i>	41
Figura 23 <i>Dominio y subdominios del modelo numérico.....</i>	47
Figura 24 <i>Generación de la malla del modelo numérico</i>	48
Figura 25 <i>Definición de nodos de contorno del modelo numérico</i>	49
Figura 26 <i>Definición de nodos de contorno del modelo numérico</i>	50
Figura 27 <i>Evaluación de la calidad de la malla de elementos finitos.....</i>	51
Figura 28 <i>Sección tomográfica eléctrica correspondiente a la línea TE-01-AA’</i>	57

Figura 29 <i>Sección tomográfica eléctrica correspondiente a la línea TE-02-BB'</i>	58
Figura 30 <i>Sección tomográfica eléctrica correspondiente a la línea TE-03-CC'</i>	59
Figura 31 <i>Sección tomográfica eléctrica correspondiente a la línea TE-01-DD'</i>	60
Figura 32 <i>Modelo 3D de resistividad eléctrica.</i>	61
Figura 33 <i>Dominio hidrogeológico conceptual del modelo numérico con la solución impermeabilizante propuesta.</i>	74
Figura 34 <i>Distribución de alturas piezométricas obtenidas mediante modelamiento numérico.</i>	75
Figura 35 <i>Distribución de líneas de flujo y velocidades del agua subterránea obtenidas mediante modelamiento numérico.</i>	77

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

Sigla	Definición
CE	Conductividad Eléctrica
ERT	Electrical Resistivity Tomography (Tomografía Eléctrica de Resistividad)
GPS	Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global)
K	Conductividad Hidráulica
PLAXIS 2D	Software de elementos finitos para análisis geotécnico e hidrogeológico
S	Coeficiente de Almacenamiento
SDT	Sólidos Disueltos Totales
T	Transmisividad
TE	Tomografía Eléctrica (Electrical Tomography)
UTM	Universal Transverse Mercator
WGS 84	World Geodetic System 1984 (Sistema Geodésico Mundial 1984)
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar
m/s	Metros por segundo
m ² /s	Metros cuadrados por segundo
μS/cm	Microsiemens por centímetro
Ω·m	Ohm-metro

RESUMEN

Esta investigación analizó las condiciones hidrogeológicas del terreno destinado a la Sede del Ministerio Público en Cañete para evaluar la influencia del agua subterránea y proponer medidas de control de filtraciones. La metodología integró tomografía eléctrica, inventario de pozos, pruebas de bombeo, análisis hidrogeoquímico y modelamiento numérico mediante el software PLAXIS 2D. Los resultados identificaron un nivel freático superficial a una profundidad promedio de 1.93 m y un acuífero con alta conductividad hidráulica (24.03×10^{-4} a 25.27×10^{-4} m/s), condiciones que incrementan las presiones intersticiales y reducen los esfuerzos efectivos, afectando la estabilidad del terreno de fundación. Tras una evaluación comparativa de alternativas, se determinó que las mantas de bentonita constituyen la solución técnicamente más adecuada por su baja permeabilidad, facilidad constructiva y capacidad de autosellado. El modelamiento numérico validó que este sistema impermeabilizante reduce significativamente el flujo de infiltración y mejora la estabilidad del subsuelo frente a escenarios críticos de saturación. Se concluye específicamente que la implementación de mantas de bentonita mitiga de manera efectiva el impacto del flujo subterráneo, garantizando la seguridad estructural y la durabilidad de la cimentación, lo que demuestra que la integración de herramientas hidrogeológicas y numéricas es indispensable para el diseño en terrenos con saturación permanente.

Palabras clave: hidrogeología, flujo subterráneo, cimentación, mantas de bentonita, modelamiento numérico.

ABSTRACT

This research analyzed the hydrogeological conditions of the site for the Public Prosecutor's Office in Cañete to evaluate groundwater influence and propose seepage control measures. The methodology integrated electrical tomography, well inventory, pumping tests, hydrogeochemical analysis, and numerical modeling using PLAXIS 2D software. Results identified a shallow water table at an average depth of 1.93 m and an aquifer with high hydraulic conductivity (24.03×10^{-4} to 25.27×10^{-4} m/s), conditions that increase pore pressures and reduce effective stresses, affecting the stability of the foundation ground. After a comparative evaluation of alternatives, it was determined that bentonite mats are the most technically suitable solution due to their low permeability, ease of construction, and self-sealing capacity. Numerical modeling validated that this waterproofing system significantly reduces seepage flow and improves subsurface stability under critical saturation scenarios. It is specifically concluded that the implementation of bentonite mats effectively mitigates the impact of groundwater flow, ensuring structural safety and foundation durability, demonstrating that the integration of hydrogeological and numerical tools is indispensable for design in terrains with permanent saturation.

Keywords: hydrogeology, groundwater flow, foundation, bentonite mats, numerical modeling

INTRODUCCION

La presencia de agua subterránea constituye uno de los factores más influyentes en el comportamiento hidráulico y geotécnico de los terrenos destinados a cimentaciones, especialmente en zonas costeras donde predominan materiales granulares de alta permeabilidad y niveles freáticos superficiales. Bajo estas condiciones, la interacción entre el flujo subterráneo y las estructuras de cimentación puede generar procesos de infiltración, incremento de presiones intersticiales y reducción de esfuerzos efectivos, afectando la estabilidad y capacidad portante del terreno de fundación. En proyectos con excavaciones profundas y sótanos, esta influencia adquiere mayor relevancia técnica, ya que el nivel freático puede intersectar directamente la zona de trabajo.

En la ciudad de San Vicente de Cañete, el terreno destinado a la construcción de la **Sede del Ministerio Público** presenta condiciones hidrogeológicas asociadas a materiales granulares saturados y un nivel freático superficial. Durante la etapa de ejecución iniciada en el año **2024**, se identificaron filtraciones críticas en la excavación del sótano, evidenciando la necesidad de una evaluación especializada. Esta investigación, culminada en **2026**, se justifica por la urgencia de garantizar la seguridad estructural y durabilidad de una infraestructura del Estado que brinda un servicio público esencial, protegiendo así la inversión pública frente a condiciones de saturación permanente.

Para abordar esta problemática, se desarrolló una investigación aplicada con enfoque cuantitativo que integró prospección geofísica mediante **tomografía eléctrica (ERT)**, inventario de pozos, pruebas de bombeo y análisis hidrogeoquímico. La metodología empleada incluyó el **modelamiento numérico mediante el software PLAXIS 2D**, herramienta que, según Anderson et al. (2015), resulta fundamental para interpretar el comportamiento del flujo subterráneo y evaluar escenarios hidráulicos complejos en sistemas acuíferos. Esta integración de técnicas permitió no solo caracterizar el acuífero hidráulicamente activo en Cañete, sino también validar soluciones de ingeniería basadas en la interacción real suelo-agua-estructura.

A través de la evaluación comparativa de diversas alternativas de control, el estudio analiza mecanismos de contención, mejoramiento y, principalmente, la **impermeabilización mediante mantas de bentonita**. Se examina la eficiencia de este material debido a su baja conductividad hidráulica y capacidad de autosellado, características que lo perfilan como la solución técnica más adecuada para mitigar el impacto del flujo subterráneo continuo identificado en el área de estudio.

En concordancia con lo expuesto, la presente investigación se estructura bajo los siguientes objetivos:

Objetivo general

Caracterizar las condiciones hidrogeológicas del terreno y proponer soluciones técnicas para el control de filtraciones que garanticen la estabilidad de la cimentación.

Objetivos específicos

- Evaluar la influencia del agua subterránea en la estabilidad de la cimentación.
- Identificar alternativas de control de filtraciones en el área de estudio.
- Analizar el uso de mantas de bentonita como solución impermeabilizante.

CAPITULO I

MARCO TEORICO

1.1. Antecedentes de investigación

1.1.1. Antecedentes internacionales

Diversas investigaciones a nivel internacional han abordado la interacción entre el agua subterránea y los sistemas de cimentación, evidenciando la necesidad de controlar las filtraciones en contextos con niveles freáticos elevados. En este sentido, Ferrer (2010) documentó la implementación de muros pantalla como sistemas de contención en excavaciones profundas, destacando su eficacia tanto en la estabilidad estructural como en el control hidráulico en entornos urbanos complejos.

En relación con los sistemas de cimentación, Yepes (2016) señala que las losas de cimentación resultan especialmente adecuadas cuando la cota de los sótanos se encuentra por debajo del nivel freático, ya que contribuyen a mejorar la estabilidad estructural y a reducir los asentamientos diferenciales. De manera complementaria, Das (2012) señala que las losas o plateas de cimentación funcionan como sistemas estructurales que distribuyen las cargas sobre una amplia superficie, permitiendo reducir asentamientos diferenciales en suelos con baja capacidad portante y presencia de saturación. Esta condición resulta especialmente relevante en zonas con nivel freático superficial, donde la reducción de esfuerzos efectivos puede afectar la estabilidad del terreno de fundación.

En relación con las técnicas de mejoramiento del terreno, diversos estudios internacionales han demostrado que, en suelos con baja capacidad portante y presencia de agua subterránea, la implementación de soluciones de mejora constituye una alternativa técnicamente eficiente para incrementar la estabilidad del terreno. De acuerdo con Yepes (2016), las columnas de grava mediante vibro-sustitución permiten mejorar las propiedades mecánicas del suelo, incrementar la resistencia al corte y reducir los asentamientos. Asimismo, estas inclusiones granulares funcionan como drenes verticales, favoreciendo la disipación de presiones intersticiales en suelos saturados, condición especialmente relevante en terrenos con nivel freático superficial.

En esa misma línea, Yepes (2016) indica que el diseño y ejecución de cimentaciones en presencia de agua subterránea requieren considerar no solo las cargas estructurales, sino también

las condiciones hidrogeológicas del sitio. En particular, los muros pantalla cumplen una doble función como elementos de contención estructural y barreras hidráulicas, siendo ampliamente utilizados en excavaciones profundas. Asimismo, destaca que la correcta ejecución de estos sistemas, especialmente en lo referido a la continuidad de los paneles y el control de juntas, es fundamental para evitar filtraciones, erosión interna o pérdida de finos.

Por otro lado, Alonso (2014) analizó el uso de columnas de grava como técnica de mejoramiento del suelo, evidenciando su capacidad para incrementar la resistencia al corte, la rigidez y la permeabilidad del terreno. Estas inclusiones permiten mejorar la capacidad portante del suelo, reducir los asentamientos y favorecer la disipación de presiones de poro en suelos saturados, contribuyendo a la estabilidad de las cimentaciones en presencia de agua subterránea.

En relación con los sistemas de impermeabilización, diversos estudios técnicos han demostrado la eficiencia de las mantas de bentonita (GCL) en el control de filtraciones en estructuras subterráneas sometidas a presión hidrostática. Según Koerner (2012), el comportamiento hidráulico de estos sistemas se basa en la capacidad expansiva de la bentonita sódica, la cual, al hidratarse, forma una barrera de muy baja permeabilidad, con coeficientes de conductividad hidráulica del orden de 10^{-11} m/s, limitando el ingreso de agua hacia la cimentación. Asimismo, su capacidad de auto-sellado frente a pequeñas fisuras o discontinuidades permite mantener la continuidad hidráulica del sistema impermeabilizante, contribuyendo a la protección y durabilidad de las estructuras construidas en zonas con presencia de agua subterránea.

Desde una perspectiva integral, el control de filtraciones en proyectos de ingeniería civil no depende de una única solución, sino de la adecuada combinación de técnicas de contención, mejoramiento del suelo e impermeabilización. En este contexto, el uso conjunto de muros pantalla, columnas de grava, losas de cimentación y mantas de bentonita constituye una alternativa eficiente para garantizar la estabilidad estructural en presencia de agua subterránea.

En conjunto, los antecedentes revisados evidencian que la interacción entre el agua subterránea y los sistemas de cimentación constituye un factor determinante en el comportamiento geotécnico y estructural de las edificaciones, especialmente en zonas con nivel freático superficial y materiales de alta permeabilidad. Los estudios analizados demuestran que la presencia de agua subterránea incrementa las presiones de poro y reduce los esfuerzos efectivos del suelo, afectando la estabilidad de la cimentación y favoreciendo procesos de filtración hacia las excavaciones.

Asimismo, se reconoce que soluciones integrales como los muros pantalla, las columnas de grava, las plateas de cimentación y las mantas de bentonita presentan un comportamiento eficiente frente al control hidráulico y al mejoramiento de las condiciones del terreno. Sin embargo, en zonas costeras del Perú, como la provincia de Cañete, aún existe limitada información aplicada que relacione las condiciones hidrogeológicas reales del subsuelo con soluciones integradas de control de filtraciones orientadas específicamente al comportamiento de la cimentación.

En este contexto, la presente investigación busca aportar criterios técnicos sustentados en la caracterización hidrogeológica, los ensayos de campo y el modelamiento numérico del flujo subterráneo, permitiendo evaluar la interacción suelo-agua-estructura y validar la aplicación de soluciones impermeabilizantes y de mejoramiento del terreno bajo condiciones de nivel freático superficial.

1.1.2. Antecedentes Nacionales

En el contexto peruano, diversas investigaciones han abordado el mejoramiento de suelos y el control de filtraciones en condiciones geotécnicas desfavorables, evidenciando la importancia de aplicar soluciones técnicas adecuadas en presencia de agua subterránea.

En este sentido, Camargo y Zapata (2017) analizaron la aplicación de columnas de grava mediante técnicas de vibro-sustitución en suelos cohesivos, demostrando que este método permite mejorar significativamente las propiedades geotécnicas del terreno. Los autores evidencian que la incorporación de material granular compactado incrementa el ángulo de fricción interna, mejora el módulo de deformación y favorece la capacidad portante del suelo, permitiendo el uso de cimentaciones superficiales en terrenos inicialmente inestables.

De manera complementaria, Falla (2021) evaluó el comportamiento de columnas de grava como alternativa de mitigación frente al riesgo de licuefacción sísmica en suelos costeros del Perú. El estudio destaca que estas inclusiones cumplen una doble función: por un lado, actúan como elementos de refuerzo del suelo, y por otro, como drenes verticales que facilitan la disipación de presiones de poro en condiciones saturadas. Asimismo, se comprobó que su implementación contribuye a mejorar la estabilidad del terreno durante solicitaciones sísmicas.

En relación con el control del agua subterránea en obras de ingeniería, diversos estudios técnicos nacionales han señalado que la presencia de niveles freáticos superficiales y materiales granulares de alta permeabilidad constituye un factor crítico que afecta directamente el

comportamiento de las cimentaciones. Estas condiciones favorecen el incremento de las presiones intersticiales, la reducción de los esfuerzos efectivos y el flujo continuo de agua hacia las excavaciones, generando problemas de filtraciones e inestabilidad del terreno. En este contexto, se resalta la necesidad de integrar soluciones de mejoramiento del suelo con sistemas de impermeabilización y control hidráulico que permitan reducir el ingreso de agua subterránea hacia las estructuras de cimentación.

En conjunto, los antecedentes nacionales evidencian que las técnicas de mejoramiento del suelo, como las columnas de grava, constituyen alternativas efectivas para incrementar la capacidad portante, reducir asentamientos y mejorar el comportamiento geotécnico en suelos saturados. Asimismo, diversos estudios resaltan que, en condiciones de nivel freático superficial, resulta necesario complementar estas soluciones con sistemas de control de filtraciones que permitan reducir el ingreso de agua subterránea hacia las excavaciones y estructuras de cimentación.

En zonas costeras del Perú, como la provincia de Cañete, donde predominan depósitos arenosos de alta permeabilidad y presencia de nivel freático superficial, la interacción entre el agua subterránea y las cimentaciones representa una condición crítica para la estabilidad de las estructuras. Sin embargo, existe limitada información aplicada que integre la caracterización hidrogeológica del subsuelo, el análisis geotécnico y la evaluación de soluciones de control de filtraciones orientadas específicamente al comportamiento de las cimentaciones.

En ese contexto, la presente investigación busca contribuir técnicamente mediante la integración de la caracterización hidrogeológica del subsuelo, la evaluación geotécnica del terreno y el análisis del comportamiento del flujo subterráneo en condiciones reales del área de estudio. Para ello, se emplearon ensayos de campo, tomografía eléctrica, pruebas de bombeo, análisis hidrogeoquímico y modelamiento numérico, permitiendo interpretar la interacción suelo-agua-estructura y evaluar la influencia del agua subterránea sobre la estabilidad de la cimentación.

Bajo estas condiciones, la presente investigación plantea la evaluación de soluciones integrales de control de filtraciones, considerando la aplicación de mantas de bentonita, columnas de grava y sistemas de contención hidráulica como alternativas técnicamente viables frente a la presencia de nivel freático superficial y materiales de alta permeabilidad en el área de estudio de la provincia de Cañete.

1.2. Bases Teóricas

1.2.1. Hidrogeología

Custodio y Llamas (2001) señalan que la hidrogeología es la disciplina que estudia el origen, distribución, movimiento y propiedades del agua subterránea, así como su interacción con las formaciones geológicas que la contienen. En el ámbito de la ingeniería civil, su importancia radica en la comprensión del comportamiento del agua en el subsuelo, especialmente en proyectos donde la presencia de un nivel freático superficial puede influir directamente en el diseño y desempeño de las cimentaciones.

De acuerdo con Fernández et al. (1999), los acuíferos corresponden a formaciones geológicas permeables capaces de almacenar y transmitir agua en cantidades significativas. Su comportamiento está condicionado por propiedades hidráulicas como la porosidad, la conductividad hidráulica, la transmisividad y el coeficiente de almacenamiento, las cuales permiten describir la dinámica del flujo subterráneo.

En este contexto, Sánchez San Román (2012) señala que el flujo de agua en medios porosos se rige por la ley de Darcy, donde la velocidad del flujo es proporcional al gradiente hidráulico y a la conductividad hidráulica del medio. En acuíferos desarrollados en materiales granulares, como arenas y gravas, el flujo subterráneo presenta una dinámica continua y una rápida respuesta frente a perturbaciones hidráulicas, favoreciendo procesos de infiltración y circulación de agua hacia excavaciones y estructuras enterradas.

En acuíferos desarrollados en materiales granulares de alta permeabilidad, el sistema hidrogeológico puede presentar un comportamiento hidráulicamente activo, caracterizado por la circulación continua del agua subterránea y una rápida respuesta frente a variaciones del gradiente hidráulico. Esta condición favorece el ingreso de agua hacia excavaciones y estructuras enterradas, incrementando las presiones intersticiales y afectando directamente la estabilidad geotécnica del terreno de fundación.

Asimismo, desde el enfoque de la ingeniería geológica, González de Vallejo (2002) indica que la interacción entre el agua subterránea y el terreno constituye un factor crítico en el comportamiento geotécnico, ya que la presencia de agua en los poros del suelo genera un incremento de las presiones intersticiales y una reducción de los esfuerzos efectivos, lo cual puede afectar la resistencia al corte y la capacidad portante del suelo.

En el contexto del área de estudio, ubicada en la provincia de Cañete, donde predominan suelos arenosos de alta permeabilidad, la dinámica del agua subterránea adquiere mayor relevancia. La presencia de un nivel freático superficial genera condiciones de saturación en el suelo, lo que puede provocar una disminución de los esfuerzos efectivos y un incremento de las presiones de poro. Esta condición influye directamente en la estabilidad de las cimentaciones, pudiendo generar problemas de asentamientos, filtraciones y pérdida de capacidad portante.

En ese sentido, el análisis hidrogeológico no solo permite caracterizar el comportamiento del agua subterránea y la dinámica del flujo en el subsuelo, sino también evaluar su influencia sobre la estabilidad geotécnica del terreno de fundación. Asimismo, proporciona criterios técnicos para la selección de sistemas de cimentación y soluciones de control de filtraciones acordes con las condiciones hidrogeológicas del área de estudio.

En la provincia de Cañete, donde predominan depósitos arenosos de alta permeabilidad y presencia de nivel freático superficial, el análisis hidrogeológico adquiere especial relevancia para interpretar el comportamiento del flujo subterráneo y su influencia sobre la estabilidad de la cimentación. En este contexto, la caracterización hidrogeológica del subsuelo constituye una base técnica fundamental para sustentar la evaluación de soluciones de impermeabilización, control hidráulico y mejoramiento del terreno propuestas en la presente investigación.

1.2.2. Geología y geomorfología

La geología estudia la composición, estructura y evolución de los materiales que conforman la corteza terrestre, mientras que la geomorfología analiza las formas del relieve y los procesos que las originan (Gutiérrez, 2008). En el ámbito de la ingeniería civil, estas disciplinas permiten identificar las características del subsuelo, tales como la estratigrafía, el tipo de suelo y su comportamiento frente a cargas externas, aspectos fundamentales para el diseño de cimentaciones.

Desde el enfoque de la ingeniería geológica, González de Vallejo (2002) señala que la caracterización geológica del terreno es esencial para identificar condiciones críticas como la presencia de materiales aluviales, niveles de saturación y variabilidad estratigráfica, factores que influyen directamente en la estabilidad de las estructuras.

En zonas costeras como la provincia de Cañete, predominan depósitos aluviales conformados principalmente por arenas y materiales granulares de alta permeabilidad. Estas condiciones favorecen la infiltración y circulación del agua subterránea, generando un

comportamiento hidráulico activo en el subsuelo y una mayor susceptibilidad a procesos de saturación. Desde el punto de vista geotécnico, esta condición puede producir incremento de presiones intersticiales, reducción de esfuerzos efectivos y disminución de la capacidad portante del terreno, afectando directamente la estabilidad de las cimentaciones si no se consideran adecuadamente medidas de control hidráulico y mejoramiento del suelo.

1.2.3. Prospección geofísica

La prospección geofísica es una técnica empleada para caracterizar el subsuelo sin necesidad de realizar excavaciones directas, permitiendo obtener información continua y representativa del terreno. En el ámbito de la ingeniería civil y geotécnica, estos métodos resultan fundamentales para identificar condiciones del subsuelo que influyen en el diseño de cimentaciones.

Según González de Vallejo (2002), los métodos geofísicos constituyen herramientas clave en la caracterización del terreno, ya que permiten detectar zonas saturadas, discontinuidades y variaciones litológicas, factores que condicionan el comportamiento geotécnico e hidrogeológico.

En zonas con presencia de nivel freático superficial, como el área de estudio en la provincia de Cañete, la prospección geofísica adquiere especial relevancia debido a que permite identificar la distribución de materiales saturados, variaciones litológicas y condiciones hidráulicas del subsuelo. Esta información resulta fundamental para interpretar el comportamiento del flujo subterráneo y evaluar posibles condiciones de inestabilidad geotécnica asociadas a procesos de saturación, filtración y reducción de la capacidad portante del terreno. En este contexto, los métodos geofísicos complementan los estudios geotécnicos e hidrogeológicos, contribuyendo a una mejor caracterización del terreno de fundación.

1.2.3.1. Tomografía eléctrica (ERT)

La tomografía eléctrica es un método geofísico que permite caracterizar el subsuelo mediante la medición de la resistividad eléctrica de los materiales, parámetro que está directamente relacionado con su composición, grado de saturación y contenido de humedad (Loke, 2004).

Este método se basa en la inyección de corriente eléctrica en el terreno a través de electrodos y la medición de diferencias de potencial, lo que permite obtener perfiles bidimensionales de resistividad que representan la distribución de los materiales en el subsuelo.

De acuerdo con Reynolds (2011), la resistividad eléctrica es altamente sensible a la presencia de agua, ya que los materiales saturados presentan valores significativamente más bajos en comparación con aquellos que se encuentran secos o compactos. Por ello, la tomografía eléctrica constituye una herramienta eficaz para la identificación de niveles freáticos, zonas saturadas y variaciones litológicas.

Asimismo, González de Vallejo (2002) señala que los métodos geofísicos permiten complementar los estudios geotécnicos, facilitando la interpretación del subsuelo en términos de continuidad estratigráfica y condiciones hidrogeológicas.

En el presente estudio, la aplicación de la tomografía eléctrica permitió identificar zonas de baja resistividad asociadas a materiales saturados y a la presencia de agua subterránea en el subsuelo. Estos resultados contribuyeron a la delimitación del nivel freático y a la interpretación del comportamiento hidrogeológico del terreno, evidenciando condiciones de saturación y circulación del flujo subterráneo que pueden afectar la estabilidad geotécnica de la cimentación mediante el incremento de presiones intersticiales y la reducción de esfuerzos efectivos.

1.2.4. Hidráulica Subterránea

La hidráulica subterránea estudia el movimiento del agua a través de medios porosos, basándose en principios como la ley de Darcy, que establece que el flujo es proporcional al gradiente hidráulico y a la conductividad hidráulica del medio (Custodio y Llamas, 2001).

De acuerdo con Sánchez San Román (2012), el flujo subterráneo en medios granulares presenta una dinámica continua, donde la velocidad del agua depende directamente de la permeabilidad del medio y de las condiciones hidráulicas del entorno. En suelos de alta permeabilidad, como las arenas, el agua se desplaza con mayor facilidad, favoreciendo procesos de infiltración y circulación hacia zonas de excavación.

En este contexto, los parámetros hidráulicos del acuífero permiten describir la capacidad del medio para transmitir y almacenar agua subterránea. Entre los principales se encuentran la conductividad hidráulica (K), la transmisividad (T) y el coeficiente de almacenamiento (S) (Custodio y Llamas, 2001).

La conductividad hidráulica (K) representa la facilidad con la que el agua se desplaza a través de un medio poroso, dependiendo principalmente de la granulometría, estructura y grado de compactación del suelo. Según Das (2012), en suelos granulares este parámetro presenta valores

elevados, favoreciendo la circulación del agua subterránea y el ingreso de flujo hacia excavaciones y estructuras enterradas. Desde el punto de vista geotécnico, una elevada conductividad hidráulica puede generar incremento de presiones intersticiales y reducción de esfuerzos efectivos en el terreno, afectando la estabilidad de la cimentación.

Tabla 1

Clasificación cualitativa de la conductividad hidráulica (K)

Conductividad hidráulica K (m/s)	Clasificación
$> 10^{-3}$	Muy alta permeabilidad
$10^{-3} - 10^{-5}$	Alta permeabilidad
$10^{-5} - 10^{-7}$	Permeabilidad media
$10^{-7} - 10^{-9}$	Baja permeabilidad
$< 10^{-9}$	Muy baja permeabilidad

Nota. Adaptado de Custodio y Llamas (2001) y Das (2012).

Tabla 2

Valores típicos de conductividad hidráulica según el tipo de material

Material	K (m/s)
Arcilla	$10^{-9} - 10^{-11}$
Limo	$10^{-5} - 10^{-7}$
Arena fina	$10^{-4} - 10^{-5}$
Arena media	$10^{-3} - 10^{-4}$
Arena gruesa	$10^{-2} - 10^{-3}$
Grava	$10^{-1} - 10^{-2}$

Nota. Adaptado de Custodio y Llamas (2001), Das (2012) y Sánchez San Román (2012).

De acuerdo con las clasificaciones presentadas en las Tablas 1 y 2, los materiales granulares como arenas y gravas presentan valores elevados de conductividad hidráulica, favoreciendo la circulación del flujo subterráneo y la transmisión de agua dentro del acuífero. En contraste, los materiales finos como limos y arcillas presentan menores capacidades de transmisión debido a su reducido tamaño de poro. Estas características permiten interpretar los parámetros hidráulicos

obtenidos mediante pruebas de bombeo y establecer su relación con las condiciones geológicas e hidrogeológicas presentes en el área de estudio.

La transmisividad (T) expresa la capacidad del acuífero para transmitir agua a lo largo de su espesor saturado, siendo función de la conductividad hidráulica y del espesor del acuífero. Por su parte, el coeficiente de almacenamiento (S) representa la cantidad de agua que el acuífero puede liberar o almacenar frente a variaciones del nivel freático.

Estos parámetros constituyen la base para la interpretación de ensayos de bombeo y el análisis del flujo subterráneo (Sánchez San Román, 2012). Asimismo, desde el enfoque geotécnico, González de Vallejo (2002) señala que influyen directamente en la estabilidad del terreno, ya que condicionan la generación de presiones de poro y la respuesta mecánica del suelo frente a cargas externas.

En el área de estudio, donde predominan suelos arenosos de alta permeabilidad y presencia de nivel freático superficial, los parámetros hidráulicos del acuífero adquieren especial relevancia debido a que controlan la dinámica del flujo subterráneo y el comportamiento hidráulico del subsuelo. Estas condiciones favorecen el ingreso de agua hacia excavaciones y estructuras enterradas, incrementando las presiones de poro y reduciendo los esfuerzos efectivos del terreno, lo que puede afectar directamente la estabilidad geotécnica de la cimentación.

1.2.5. Hidrogeoquímica

La hidrogeoquímica estudia la composición química del agua subterránea y su interacción con los materiales del subsuelo, permitiendo identificar la presencia de elementos agresivos como sulfatos o cloruros, los cuales pueden afectar la durabilidad de los materiales de construcción (Appelo & Postma, 2005).

Según González de Vallejo (2002), la interacción agua–suelo–estructura constituye un aspecto crítico en el diseño de cimentaciones, debido a que la presencia de compuestos químicos agresivos en el agua subterránea puede generar procesos de deterioro progresivo en el concreto y corrosión en elementos metálicos. Asimismo, las características químicas del agua influyen en el comportamiento y durabilidad de los sistemas de impermeabilización y materiales utilizados en estructuras enterradas.

En el contexto del presente estudio, el análisis hidrogeoquímico resulta fundamental para evaluar la compatibilidad entre el agua subterránea y los sistemas de impermeabilización

propuestos, especialmente las mantas de bentonita. La caracterización química del agua permite identificar posibles condiciones de agresividad química que puedan afectar la eficiencia hidráulica, estabilidad y durabilidad de los materiales utilizados en el sistema de cimentación y control de filtraciones.

1.2.6. Modelamiento Numérico

El modelamiento numérico constituye una herramienta fundamental en la ingeniería geotécnica e hidrogeológica, ya que permite simular el comportamiento del suelo y el flujo de agua subterránea bajo diferentes condiciones. Este tipo de análisis se basa en métodos numéricos, como el método de elementos finitos, que permiten representar la interacción entre el suelo, el agua y las estructuras (Potts & Zdravković, 1999).

En el ámbito de la ingeniería geológica, González de Vallejo (2002) señala que el modelamiento numérico permite evaluar el comportamiento del terreno frente a condiciones complejas, integrando variables geológicas, hidráulicas y geotécnicas, lo cual resulta fundamental en el diseño de cimentaciones en presencia de agua subterránea.

En el presente estudio, se empleó el software PLAXIS 2D, el cual utiliza el método de elementos finitos para simular el comportamiento geotécnico e hidráulico del terreno. De acuerdo con Brinkgreve et al. (2020), este tipo de herramientas permite analizar condiciones de deformación, estabilidad, flujo subterráneo y distribución de presiones de poro, incorporando modelos constitutivos que representan el comportamiento real del suelo frente a diferentes condiciones de carga y saturación.

Asimismo, el modelamiento numérico requiere procesos de calibración con datos obtenidos en campo, tales como ensayos de bombeo y caracterización geotécnica, con el fin de garantizar la representatividad de los resultados (Anderson et al., 2015).

En este contexto, el uso de PLAXIS 2D permitió evaluar la interacción suelo-agua-estructura bajo condiciones representativas del área de estudio, simulando el comportamiento del flujo subterráneo, la distribución de presiones de poro y la respuesta hidráulica del terreno frente a la presencia de un nivel freático superficial. Asimismo, el modelamiento numérico permitió analizar la eficiencia de soluciones de control de filtraciones, como las mantas de bentonita y los sistemas de mejoramiento del terreno, contribuyendo a la validación técnica de las alternativas propuestas para la estabilidad de la cimentación.

1.2.7. Sistemas de control de filtraciones

Los sistemas de control de filtraciones comprenden un conjunto de técnicas orientadas a reducir o evitar el ingreso de agua subterránea en estructuras enterradas. En el contexto del presente estudio, su aplicación resulta fundamental debido a la presencia de un nivel freático superficial, el cual condiciona el comportamiento hidráulico del terreno y afecta directamente la estabilidad de la cimentación.

Desde el enfoque de la ingeniería geológica, González de Vallejo (2002) señala que el control del agua subterránea en obras de ingeniería requiere la implementación de soluciones integrales que consideren simultáneamente mecanismos de contención, drenaje, mejoramiento del suelo e impermeabilización, en función de las condiciones hidrogeológicas del sitio.

1.2.7.1. Muros diafragma o pantalla

Los muros pantalla son estructuras de concreto armado construidas en el subsuelo que cumplen funciones de contención y control hidráulico. Según Ferrer (2010), estos sistemas actúan como barreras impermeables, reduciendo el ingreso de agua hacia excavaciones profundas y limitando el flujo lateral del agua subterránea.

En el contexto del presente estudio, donde se presentan niveles freáticos superficiales y materiales de alta permeabilidad, los muros pantalla constituyen una alternativa eficiente para limitar el flujo horizontal del agua subterránea hacia la zona de excavación. Desde el punto de vista hidrogeotécnico, estos sistemas contribuyen a reducir las filtraciones, controlar las presiones intersticiales y mejorar las condiciones de estabilidad del terreno durante la ejecución de la cimentación.

1.2.7.2. Columnas de grava

Las columnas de grava son inclusiones granulares instaladas en el terreno mediante técnicas de vibro-sustitución. Según Alonso (2014), estas permiten mejorar la capacidad portante del suelo, reducir asentamientos y favorecer la disipación de presiones de poro en suelos saturados.

En el área de estudio, caracterizada por suelos arenosos saturados y presencia de agua subterránea, la implementación de columnas de grava resulta relevante para mejorar las propiedades mecánicas del terreno, reducir la compresibilidad y favorecer el drenaje interno. Estas

condiciones contribuyen a disminuir las presiones de poro y mejorar la estabilidad geotécnica de la cimentación frente a procesos de saturación e infiltración.

1.2.7.3. Plateas de cimentación

La platea de cimentación es un sistema estructural que distribuye las cargas de la edificación sobre una amplia superficie. Según Das (2012), este tipo de cimentación resulta adecuado en suelos de baja capacidad portante y en condiciones donde el nivel freático se encuentra cercano a la superficie.

Desde el punto de vista geotécnico, la platea permite reducir las tensiones transmitidas al suelo, disminuyendo el riesgo de asentamientos diferenciales y mejorando el comportamiento estructural en suelos saturados.

En condiciones de presencia de agua subterránea, la platea de cimentación contribuye a distribuir uniformemente las cargas sobre el terreno, reduciendo la influencia de zonas localizadas de debilidad asociadas a la saturación del suelo. Asimismo, su comportamiento monolítico permite una mejor interacción suelo–estructura frente a variaciones en las presiones de poro.

En el contexto del presente estudio, la utilización de una platea de cimentación constituye un elemento complementario dentro de un sistema integral de cimentación, especialmente en combinación con técnicas de control de filtraciones, permitiendo mejorar las condiciones de estabilidad del terreno en presencia de un nivel freático superficial.

1.2.7.4. Mantas de bentonita

Las mantas de bentonita son sistemas de impermeabilización conformados por una capa de bentonita sódica confinada entre geotextiles. Al entrar en contacto con el agua, la bentonita se hidrata y forma un gel de muy baja conductividad hidráulica, actuando como una barrera hidráulica efectiva frente al flujo de agua subterránea (Koerner, 2012).

Desde el punto de vista técnico, estos sistemas presentan conductividades hidráulicas del orden de 10^{-11} m/s, lo que los convierte en una solución altamente eficiente para el control de filtraciones en estructuras enterradas. Asimismo, su capacidad de auto-sellado les permite adaptarse a pequeñas fisuras o discontinuidades, manteniendo su funcionalidad incluso ante deformaciones del terreno.

De acuerdo con Sánchez San Román (2012), en medios altamente permeables el control del flujo subterráneo requiere la implementación de barreras hidráulicas que reduzcan significativamente la conductividad del sistema, lo cual se cumple mediante el uso de materiales expansivos como la bentonita.

En el contexto del área de estudio, donde se identificó la presencia de un nivel freático superficial y un acuífero hidráulicamente activo, el uso de mantas de bentonita adquiere especial relevancia como elemento principal de impermeabilización. Asimismo, la reducción del flujo de infiltración contribuye a disminuir las presiones intersticiales en el terreno, mejorando las condiciones de estabilidad geotécnica de la cimentación frente a procesos de saturación.

Adicionalmente, fichas técnicas especializadas de sistemas comerciales, como las desarrolladas por MAPEI (2020), evidencian que estas mantas pueden ser utilizadas como barreras continuas en cimentaciones y estructuras subterráneas. No obstante, el desempeño hidráulico de estos sistemas depende de factores como la calidad del material, las condiciones químicas del agua subterránea y, principalmente, la correcta instalación de la manta impermeabilizante. En ese sentido, el adecuado tratamiento de juntas, solapes y puntos de encuentro resulta fundamental para garantizar la continuidad hidráulica del sistema y evitar posibles filtraciones hacia la estructura.

En ese sentido, las mantas de bentonita constituyen una alternativa técnicamente eficiente para el control de filtraciones en terrenos con presencia de agua subterránea y alta permeabilidad. Su aplicación, en combinación con sistemas complementarios como columnas de grava, muros pantalla y plateas de cimentación, contribuye a mejorar las condiciones de estabilidad hidráulica y geotécnica del terreno de fundación bajo condiciones de nivel freático superficial.

1.2.8. Geotecnia de suelos arenosos

Los suelos arenosos se caracterizan por presentar alta permeabilidad, baja cohesión y una rápida respuesta frente a variaciones hidráulicas, condiciones que los hacen susceptibles a procesos de saturación en presencia de un nivel freático superficial (Das, 2012). Desde el punto de vista geotécnico, estas características favorecen el flujo de agua subterránea a través del medio poroso, incrementando las presiones intersticiales y reduciendo los esfuerzos efectivos del terreno, lo que puede afectar la estabilidad y capacidad portante de la cimentación.

De acuerdo con Sánchez San Román (2012), en medios granulares el agua subterránea se desplaza con facilidad debido a la alta conductividad hidráulica, lo que genera una rápida

transmisión de presiones dentro del suelo. Esta condición favorece el incremento de las presiones de poro y reduce los esfuerzos efectivos, afectando directamente el comportamiento mecánico del terreno.

Desde el enfoque de la ingeniería geológica, González de Vallejo (2002) señala que la presencia de agua en los suelos constituye uno de los factores más influyentes en la estabilidad geotécnica, ya que puede provocar una disminución de la resistencia al corte, incremento de deformaciones y pérdida de capacidad portante.

En el área de estudio, donde predominan suelos arenosos de alta permeabilidad, la presencia de un nivel freático superficial genera condiciones de saturación que reducen la capacidad portante del terreno y pueden inducir asentamientos diferenciales o inestabilidad en la cimentación. En este contexto, resulta necesario implementar técnicas de mejoramiento del suelo y sistemas de control de filtraciones que permitan garantizar condiciones adecuadas de estabilidad y seguridad estructural.

1.2.8.1. Propiedades índice y clasificación

Las propiedades índices constituyen parámetros fundamentales para la identificación y clasificación de los suelos, así como para la evaluación de su comportamiento geotécnico. Entre las principales propiedades se encuentran la granulometría, la densidad y el contenido de humedad, las cuales permiten definir la estructura del suelo y su respuesta frente a cargas externas (Das, 2012).

Según González de Vallejo (2002), estas propiedades permiten establecer la relación entre la estructura del suelo y su comportamiento mecánico e hidráulico, siendo fundamentales para evaluar su aptitud como material de fundación.

En el ámbito de la ingeniería de cimentaciones, estas propiedades resultan esenciales para determinar la idoneidad del suelo como material de fundación, ya que permiten definir parámetros como la capacidad portante, la compresibilidad y la permeabilidad del terreno.

En el contexto del área de estudio, donde predominan suelos arenosos de alta permeabilidad, la granulometría adquiere especial relevancia debido a su influencia directa en la conductividad hidráulica y en la capacidad de drenaje del suelo. Asimismo, la densidad del suelo permite evaluar su grado de compactación y resistencia, mientras que el contenido de humedad refleja el nivel de saturación asociado a la presencia del nivel freático.

De acuerdo con Sánchez San Román (2012), la interacción entre las propiedades físicas del suelo y el flujo de agua subterránea condiciona la dinámica hidráulica del terreno, influyendo en la velocidad de flujo y en la distribución de presiones dentro del medio poroso.

En conjunto, estas propiedades permiten caracterizar el comportamiento geotécnico e hidráulico del terreno, evaluando su interacción con el agua subterránea y su influencia sobre la estabilidad de la cimentación. Asimismo, constituyen parámetros fundamentales para interpretar las condiciones de permeabilidad, saturación y capacidad portante del suelo, aspectos esenciales en la evaluación de sistemas de control de filtraciones y soluciones de mejoramiento del terreno.

CAPITULO II

MATERIAL Y METODO

2.1. Ubicación del área de estudio

La presente investigación se desarrolló en el distrito de San Vicente, provincia de Cañete, departamento de Lima, ubicado en la zona costera central del Perú. Esta área se caracteriza por presentar condiciones geológicas y geotécnicas asociadas a depósitos aluviales, con presencia de niveles freáticos superficiales, lo cual influye directamente en el comportamiento del suelo de fundación.

2.1.1. Ubicación política

Políticamente, el área de estudio se encuentra localizada en:

- Región : Lima
- Provincia : Cañete
- Distrito : San Vicente
- Lugar : Sede Ministerio Público– Cañete

Figura 1

Mapa de ubicación nacional y regional

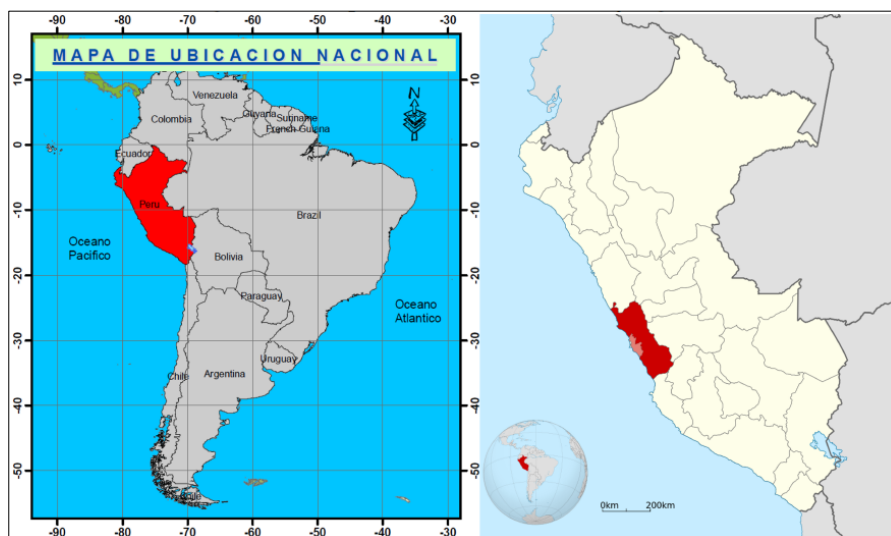


Figura 2

Mapa de ubicación departamental y distrital

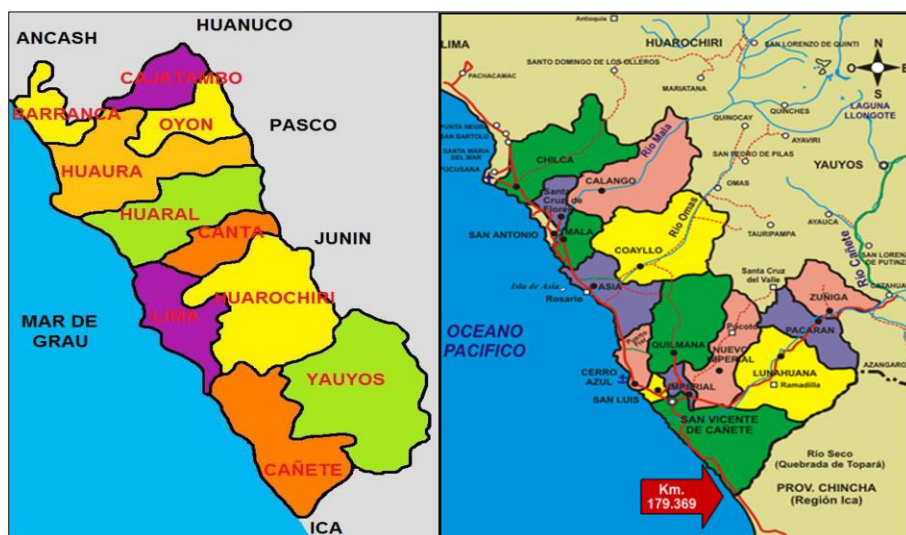
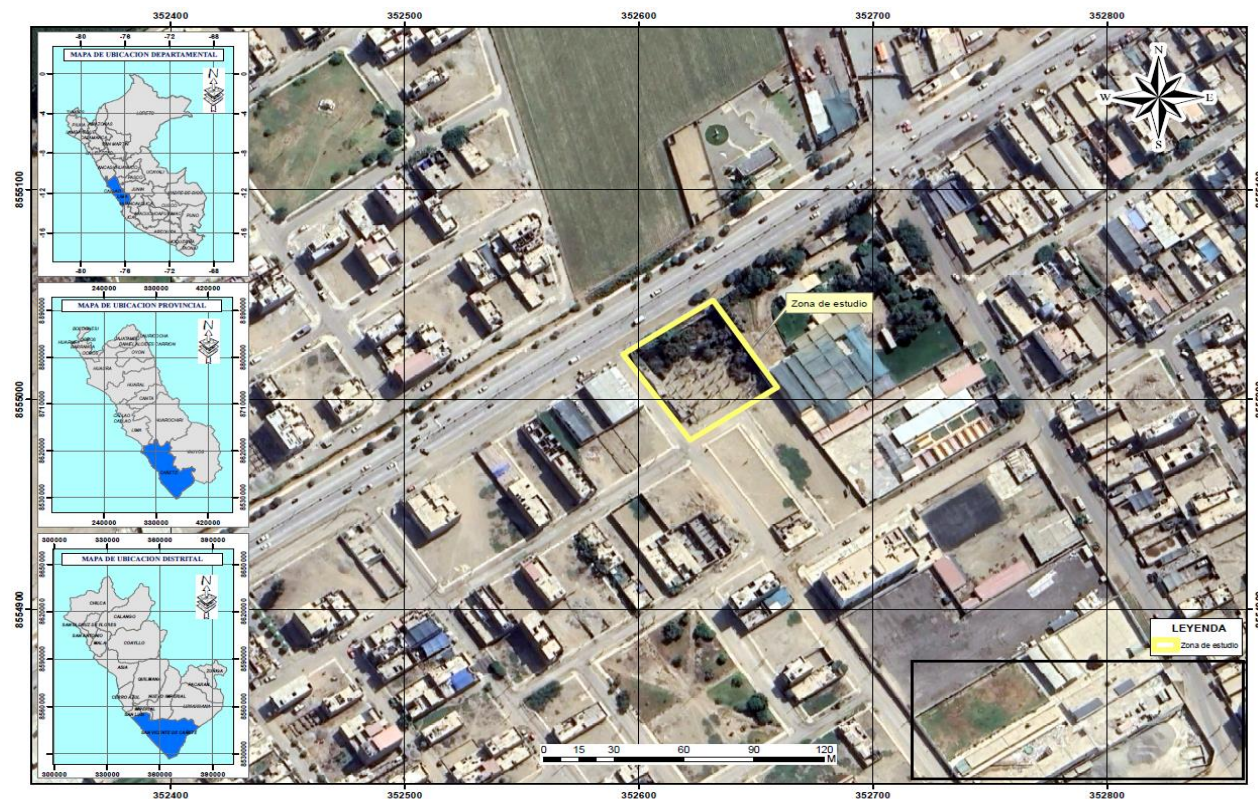


Figura 3

Mapa de la zona de estudio



2.1.2. Ubicación geográfica

Geográficamente, el área de estudio se ubica en el distrito de San Vicente, provincia de Cañete, departamento de Lima, en coordenadas UTM WGS 84, zona 18L. El punto de referencia del lote corresponde a una coordenada Norte de 8 555 015 m, una coordenada Este de 352 625 m y una elevación aproximada de 75 m s.n.m. Estas condiciones permiten identificar con precisión la localización del área de estudio y su relación con el comportamiento hidrogeológico del terreno.

Figura 4

Lote del Ministerio Público Cañete



2.2. Materiales y equipos

Para el desarrollo de la presente investigación se emplearon materiales y equipos orientados a la recolección, procesamiento y análisis de información hidrogeológica, geotécnica y geofísica, tanto en campo como en gabinete.

2.2.1. Fase de campo

2.2.1.1. Equipos de campo

Durante el trabajo de campo se emplearon equipos destinados a la obtención de información directa del terreno, tales como:

- Nivel de ingeniero, utilizado para la determinación de cotas y levantamientos topográficos.
- GPS navegador, empleado para la georreferenciación de puntos de estudio.

- Drone (modelo Mavic), utilizado para la obtención de imágenes aéreas del área de estudio.
- Motobomba, utilizada en ensayos relacionados al manejo de agua subterránea.

2.2.2. Fase de gabinete

2.2.2.1. Herramientas informáticas

Para el procesamiento y análisis de la información se utilizaron los siguientes softwares especializados:

- AutoCAD Civil 3D, para la elaboración de planos y modelamiento del terreno.
- ArcGIS, para el análisis espacial y representación cartográfica.
- Agisoft Metashape, para el procesamiento de imágenes obtenidas mediante drones.

2.3. Procedimiento metodológico por objetivos específicos

El procedimiento metodológico de la presente investigación se estructuró en función de los objetivos específicos planteados, los cuales guardan relación directa con los problemas específicos identificados en el área de estudio.

En este contexto, se desarrollaron actividades orientadas a la caracterización hidrogeológica del subsuelo, la evaluación del comportamiento del flujo subterráneo y el análisis de la influencia del agua subterránea sobre la estabilidad geotécnica de la cimentación. Asimismo, se evaluaron alternativas técnicas de control de filtraciones y mejoramiento del terreno en función de las condiciones hidráulicas y geotécnicas identificadas en el área de estudio.

Para el desarrollo de la investigación se ejecutaron actividades de campo y gabinete orientadas a la caracterización hidrogeológica y geotécnica del subsuelo. Estas actividades comprendieron el inventario de fuentes de agua subterránea, prospección geofísica mediante tomografía eléctrica, ensayos hidrogeológicos, análisis geotécnicos y modelamiento numérico del flujo subterráneo. La integración de estos procedimientos permitió evaluar el comportamiento hidráulico del terreno, interpretar la interacción suelo-agua-estructura y analizar la influencia del agua subterránea sobre la estabilidad geotécnica de la cimentación. Asimismo, los resultados obtenidos sirvieron de base para sustentar técnicamente las soluciones propuestas de control de filtraciones y mejoramiento del terreno.

Figura 5

Esquema metodológico de la investigación



Las actividades desarrolladas para el cumplimiento de los objetivos específicos se describen a continuación:

2.3.1. Evaluación de la influencia del agua subterránea en la estabilidad de la cimentación

Para evaluar la influencia del agua subterránea en la estabilidad de la cimentación, se desarrollaron actividades orientadas a la caracterización hidrogeológica del área de estudio y al análisis del comportamiento hidrogeológico e hidráulico del subsuelo, mediante la aplicación de técnicas de campo, ensayos hidrogeológicos y procedimientos de interpretación técnica. Estas actividades permitieron identificar las condiciones de saturación, dinámica del flujo subterráneo y parámetros hidráulicos del acuífero que influyen directamente en el comportamiento geotécnico del terreno de fundación.

Se ejecutaron las siguientes actividades:

- Inventario de fuentes de agua subterránea en un radio aproximado de 500 m, registrando ubicación, profundidad, nivel estático, caudal y condiciones operativas.
- Medición directa del nivel freático en los pozos identificados.
- Prospección geofísica mediante tomografía eléctrica (ERT), utilizando arreglo dipolo–dipolo, para identificar zonas saturadas y condiciones del subsuelo.
- Ejecución de ensayos de bombeo, registrando el descenso del nivel freático en función del tiempo.
- Determinación de parámetros hidráulicos del acuífero, tales como transmisividad, conductividad hidráulica y coeficiente de almacenamiento.
- Muestreo y análisis hidrogeoquímico del agua subterránea, evaluando parámetros físico-químicos y su interacción con los materiales de cimentación.

La integración de estas actividades permitió caracterizar las condiciones hidrogeológicas del área de estudio, interpretar el comportamiento del flujo subterráneo y evaluar la influencia del agua subterránea sobre la estabilidad geotécnica del terreno de fundación. Asimismo, los resultados obtenidos permitieron identificar condiciones de saturación, alta permeabilidad y presencia de presiones intersticiales asociadas al nivel freático superficial, factores que influyen directamente en el comportamiento de la cimentación.

2.3.1.1. Inventario de Fuentes de Agua Subterránea

Se realizó un reconocimiento en campo dentro de un radio de influencia de 500 m alrededor del área del proyecto, con la finalidad de identificar pozos existentes y recopilar información para la caracterización del acuífero.

Durante esta actividad se registraron datos como ubicación georreferenciada, profundidad de los pozos, nivel estático del agua, tipo de captación, uso y estado operativo.

Asimismo, durante el trabajo de campo se efectuó la medición directa del nivel estático del agua subterránea en los pozos inventariados, empleando equipos de medición de nivel adecuados para la obtención de datos confiables y representativos del comportamiento hidráulico del acuífero, tal como se muestra en la Figura 6.

Figura 6

Medición del nivel estático del agua en pozo inventariado.



La figura muestra el procedimiento de medición del nivel estático del agua subterránea realizado durante el inventario de pozos, permitiendo obtener información representativa sobre las condiciones hidráulicas del acuífero en el área de estudio.

Mapa de ubicación de los pozos inventariados en la zona de influencia del proyecto

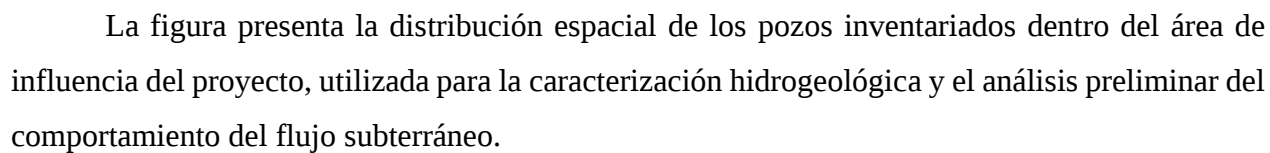


Tabla 3

Registro del inventario de fuentes de agua subterránea

Ítem	Nombre de la Fuente	Propietario	Coordenadas UTM (WGS 84)		ESTADO	PERFORACIÓN			EQUIPO DE BOMBEO		NIVELES DE AGUA Y CAUDAL			
			Este (m)	Norte (m)		Prof. Inicial (m)	Prof. Actual (m)	Diámetro (m)	MOTOR		Fecha	N. Estático		Caudal (L/s)
									Marca	HP		Prof. (m)	Cota (msnm)	
1.00	GRIFO PRIMAX	ROSA REYNA ROMERO	352,871	8,555,297	UTILIZADO	15.00	5.00	1.00	HONDA	5.50	11-jul	8.33	92.67	2.00
2.00	GRIFO AEDO	WALTER AEDO DIAZ	353,250	8,555,532	UTILIZADO	14.00	5.87	1.03	HP	9.00	12-jul	11.08	91.92	2.00
3.00	COCHERA MARY	CRISTH JESSICA M. P	353,181	8,555,482	UTILIZADO	15.00	5.13	1.00	HONDA	14.00	11-jul	8.95	93.05	1.00
4.00	HOSTAL LA HUERTA	MARCELINA CARHUAS QUISPE	353,100	8,554,893	UTILIZADO	18.00	4.00	1.15	TRUPER	9.00	13-jul	10.03	79.97	1.00
5.00	UNICON-CAÑETE	OSCAR RAMOS	352,844	8,554,893	UTILIZADO	15.00	3.30	0.35	HP	10.00	11-jul	10.03	77.97	1.00
6.00	INCUAVER-SAC	GRUPO HUALCARA	352,637	8,555,046	UTILIZADO	10.00	2.00	1.20	HONDA	13.00	11-jul	9.85	77.15	1.00

La información obtenida durante el inventario permitió caracterizar preliminarmente las condiciones hidrogeológicas del área de estudio, identificando la distribución espacial de las fuentes de agua subterránea, la profundidad del nivel freático y las condiciones hidráulicas del acuífero. Estos resultados constituyeron una base técnica para interpretar el comportamiento del flujo subterráneo y evaluar la influencia del agua subterránea sobre la estabilidad geotécnica de la cimentación.

2.3.1.2. Prospección geofísica mediante tomografía eléctrica

Se realizó la prospección geofísica mediante el método de tomografía eléctrica (ERT), con el objetivo de caracterizar las condiciones del subsuelo y determinar la presencia de zonas saturadas asociadas al nivel freático.

El levantamiento de datos se ejecutó empleando un equipo de resistividad eléctrica, utilizando el arreglo dipolo–dipolo, el cual permitió identificar variaciones laterales de resistividad asociadas a cambios litológicos y zonas saturadas en el subsuelo.

El procedimiento de adquisición de datos en campo se realizó mediante el uso de un equipo de resistividad eléctrica, tal como se muestra en la Figura 7.

Figura 8

Ejecución de prospección geofísica mediante tomografía eléctrica



La figura presenta el procedimiento de adquisición de datos de resistividad eléctrica en campo, realizado mediante la instalación del sistema de medición y el registro de información geofísica para la caracterización hidrogeológica del subsuelo.

Las líneas de prospección fueron establecidas en función de la ubicación del área del proyecto, considerando criterios de cobertura y representatividad del terreno. Para cada línea se definieron los espaciamientos entre electrodos y la longitud total del perfil.

La disposición de electrodos en el terreno se realizó siguiendo el arreglo dipolo–dipolo, tal como se muestra en la Figura 9.

Figura 9

Disposición de electrodos en campo para tomografía eléctrica mediante arreglo dipolo–dipolo.



La figura presenta la disposición de electrodos empleada durante la prospección geofísica mediante arreglo dipolo–dipolo, utilizada para obtener información de resistividad eléctrica y evaluar las condiciones de saturación del subsuelo.

Los datos obtenidos en campo fueron procesados mediante software RES2DINV para el procesamiento e inversión de datos geofísicos, permitiendo generar modelos bidimensionales de resistividad del subsuelo.

Tabla 4

Coordenadas iniciales y finales de la sección de Tomografía Eléctrica

LINEAS	METRAJE (m)	COORDENADAS UTM WGS84 - 18S			
		INICIO		FINAL	
		ESTE	NORTE	ESTE	NORTE
T-01	32.5	352,638.4	8,554,998.6	352,617.6	8,555,020.9
T-02	35.0	352,615.3	8,555,001.8	352,639.7	8,555,017.0
T-03	40.0	352,627.4	8,554,992.2	352,628.2	8,555,033.2
T-04	42.5	352,652.6	8,555,005.7	352,610.6	8,555,012.9

Nota. Adaptado del Estudio Geofísico – GEOXPLOTEC S.A.C.

2.3.1.3. Ejecución de pruebas de bombeo

Se realizaron ensayos de bombeo en pozos seleccionados dentro del área de estudio, con la finalidad de determinar la respuesta hidráulica del acuífero frente a la extracción de agua y evaluar el comportamiento del flujo subterráneo. Durante los ensayos se registró el descenso del nivel freático en función del tiempo mediante mediciones periódicas, permitiendo analizar el comportamiento hidráulico del acuífero y estimar parámetros representativos del medio poroso.

El procedimiento del ensayo de bombeo se desarrolló de manera secuencial, tal como se muestra en las Figuras 10, 11 y 12.

Figura 10

Ejecución de ensayo de bombeo en el pozo N°01



La figura muestra el desarrollo del ensayo de bombeo en campo, incluyendo la instalación del sistema de extracción de agua y el control del nivel freático durante la prueba.

Figura 11

Ejecución de ensayo de bombeo en el pozo N°01



La figura presenta las condiciones del pozo durante la ejecución del ensayo de bombeo, evidenciando la presencia de agua subterránea y la saturación del estrato granular en el área de estudio.

Figura 12

Medición y control del nivel de agua en el pozo N°01



La figura muestra el procedimiento de medición y control del nivel de agua durante el ensayo de bombeo, permitiendo registrar el descenso del nivel freático y evaluar la respuesta hidráulica del acuífero frente a la extracción.

Los ensayos se realizaron utilizando equipos de bombeo, controlando el caudal de extracción y registrando las variaciones del nivel de agua en intervalos de tiempo definidos.

Asimismo, se realizaron ensayos de bombeo en otros puntos del área de estudio, como el pozo N°02, siguiendo el mismo procedimiento metodológico, tal como se muestra en las Figuras 13 y 14.

Figura 13

Ejecución de ensayo de bombeo en el pozo N°02



La figura muestra la ejecución del ensayo de bombeo en el pozo N°02, evidenciando la instalación del sistema de extracción y el monitoreo del área durante la prueba.

Figura 14

Medición del nivel de agua durante el ensayo de bombeo en el pozo N°02



La figura presenta el monitoreo del nivel freático durante el ensayo de bombeo, permitiendo registrar la respuesta hidráulica del acuífero frente a la extracción de agua.

A partir de los datos obtenidos, se calcularon parámetros hidráulicos del acuífero, tales como la transmisividad, conductividad hidráulica y coeficiente de almacenamiento, los cuales permitieron evaluar la capacidad del suelo para transmitir agua y su influencia en la estabilidad del terreno.

La interpretación de estos parámetros permitió evaluar la capacidad del acuífero para transmitir agua subterránea y analizar la influencia del flujo subterráneo sobre las condiciones de estabilidad geotécnica del terreno. Asimismo, los resultados obtenidos permitieron identificar condiciones de alta permeabilidad y rápida respuesta hidráulica frente a la extracción de agua, características representativas del acuífero presente en el área de estudio.

De manera complementaria, se realizó el ensayo de bombeo en el pozo N°03, siguiendo el mismo procedimiento metodológico aplicado en los pozos anteriores, con la finalidad de validar la consistencia del comportamiento hidráulico del acuífero en el área de estudio.

Figura 15

Ejecución de ensayo de bombeo en el pozo N°03



Figura 16

Medición del nivel de agua durante el ensayo de bombeo en el pozo N°03

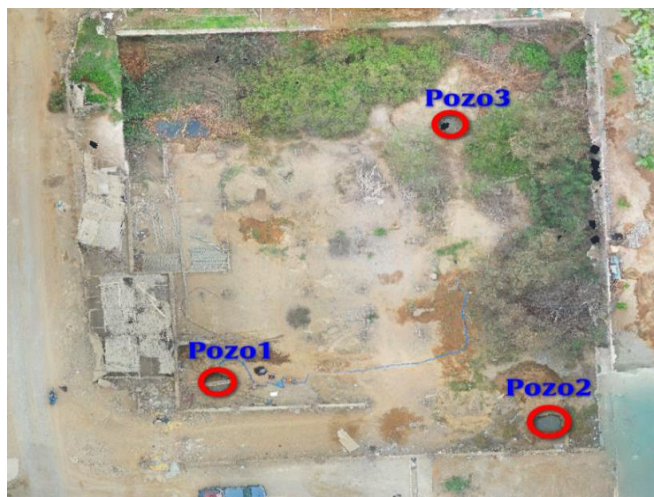


La figura muestra el monitoreo del nivel de agua durante el ensayo de bombeo en el pozo N°03, permitiendo evaluar el comportamiento hidráulico del acuífero frente a la extracción.

Los ensayos ejecutados en los diferentes pozos permitieron verificar un comportamiento hidráulico similar del acuífero en el área de estudio, evidenciando condiciones de alta permeabilidad y respuesta hidráulica consistente frente a la extracción de agua.

Figura 17

Ubicación de los pozos utilizados para la prueba de bombeo



La figura presenta la ubicación espacial de los pozos utilizados durante las pruebas de bombeo, permitiendo relacionar la distribución de los puntos evaluados con las condiciones hidrogeológicas del área de estudio.

Tabla 5

Ubicación georreferenciada de los pozos evaluados

Pozo	X	Y	Z
1	352586.0	8555054.0	69.51
2	352614.0	8555049.0	69.55
3	352606.0	8555082.0	69.54

2.3.1.4. Muestreo y análisis hidrogeoquímico

Se realizó el muestreo de agua subterránea en los pozos seleccionados dentro del área de estudio, con la finalidad de evaluar sus características físico-químicas y su posible interacción con los materiales de cimentación.

Las muestras fueron recolectadas en recipientes estériles y debidamente rotulados, siguiendo procedimientos de conservación y manipulación orientados a evitar alteraciones en la composición química del agua subterránea durante el transporte y almacenamiento.

Posteriormente, las muestras fueron analizadas en laboratorio acreditado, determinándose parámetros físico-químicos como:

- pH
- Conductividad eléctrica
- Sólidos disueltos totales (SDT)
- Cationes (Ca, Mg, Na, K)
- Aniones (Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^-)
- Metales disueltos

Los resultados obtenidos permitieron evaluar la calidad hidrogeoquímica del agua subterránea, identificar posibles condiciones de agresividad química y analizar su influencia sobre la durabilidad de los materiales de cimentación y sistemas de impermeabilización. Asimismo, esta información permitió verificar la compatibilidad química del agua subterránea con las soluciones propuestas de control de filtraciones, especialmente en relación con el comportamiento hidráulico de las mantas de bentonita.

Figura 18

Toma de muestra de agua subterránea en los pozos evaluados





La figura presenta el procedimiento de toma de muestras de agua subterránea en los pozos evaluados, realizado para el análisis hidrogeoquímico y la evaluación de posibles condiciones de agresividad química del agua frente a los materiales de cimentación.

2.3.2. Identificación de alternativas de control de filtraciones

La evaluación de alternativas de control de filtraciones se desarrolló con la finalidad de identificar soluciones técnicamente viables frente a las condiciones hidrogeológicas y geotécnicas presentes en el área de estudio, considerando la presencia de un nivel freático superficial y su influencia en la estabilidad de la cimentación.

Para ello, se desarrolló una metodología orientada a la identificación, análisis y comparación de alternativas técnicas, considerando su comportamiento hidráulico, viabilidad constructiva y compatibilidad con el sistema de cimentación.

La metodología comprendió la identificación y evaluación de alternativas de ingeniería orientadas al control del flujo subterráneo y al mejoramiento de las condiciones geotécnicas del terreno. Para ello, se analizaron soluciones como muros pantalla, columnas de grava, plateas de cimentación y mantas de bentonita, considerando criterios relacionados con su comportamiento hidráulico, capacidad de reducción de filtraciones, compatibilidad con las condiciones del subsuelo y viabilidad constructiva. Asimismo, se empleó modelamiento numérico para evaluar la interacción suelo-agua-estructura y analizar la eficiencia de las alternativas propuestas frente a las condiciones de saturación y presencia de nivel freático superficial.

2.3.2.1. Identificación de alternativas de control de filtraciones

Se realizó una revisión bibliográfica y análisis técnico de soluciones empleadas en condiciones hidrogeológicas y geotécnicas similares, identificándose las siguientes alternativas aplicables al área de estudio:

- Muros pantalla
- Columnas de grava
- Platea de cimentación
- Mantas de bentonita

La selección de estas alternativas se fundamentó en su aplicabilidad técnica frente a las condiciones del sitio, considerando la alta permeabilidad del suelo, la presencia de flujo subterráneo activo y la necesidad de garantizar la estabilidad de la cimentación.

Asimismo, cada alternativa representa un mecanismo distinto de control de filtraciones, tales como contención hidráulica, mejoramiento del suelo, reducción de presiones de poro e impermeabilización, lo que permitió establecer una base comparativa para su evaluación posterior.

Muro Pantalla

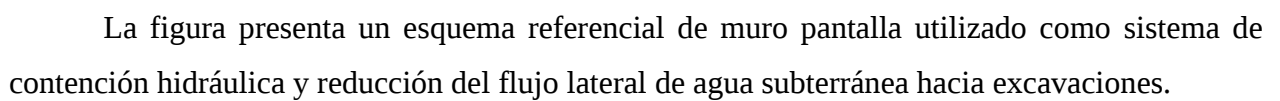
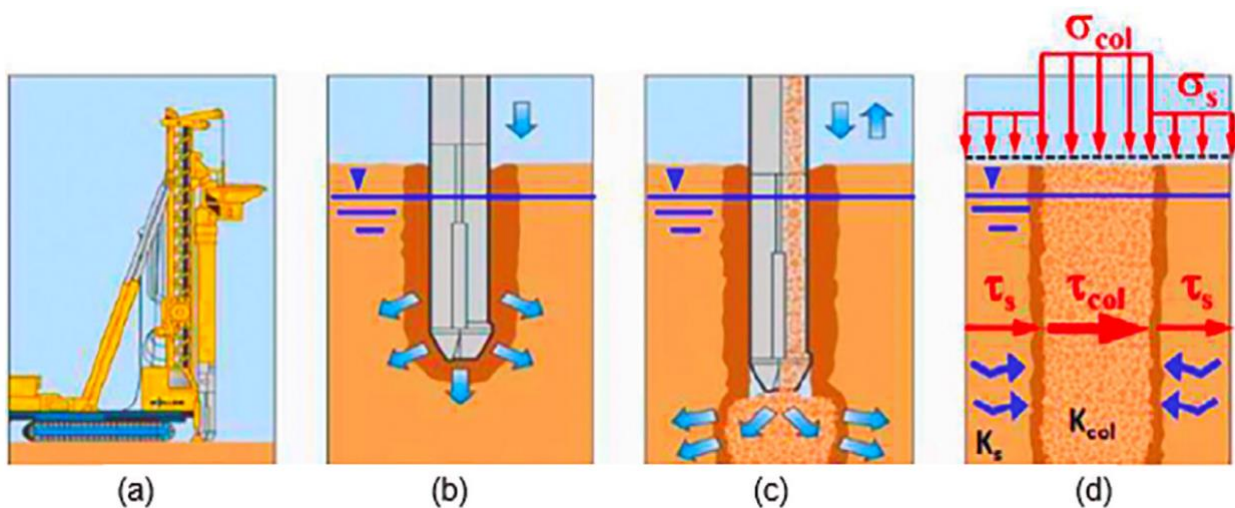


Figura 20

Mecanismos de mejora del terreno mediante columnas de grava

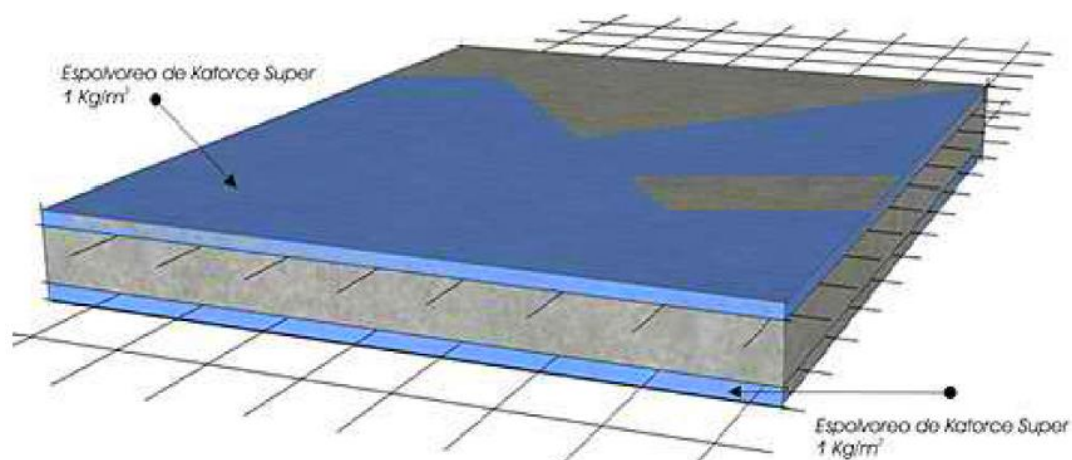


Nota. Carvajal et al., 2015

Nota. Equipo empleado (a) e introducción del vibrador (b). Mecanismos de mejoramiento del terreno mediante densificación (c), refuerzo (d) y drenaje.

Figura 21

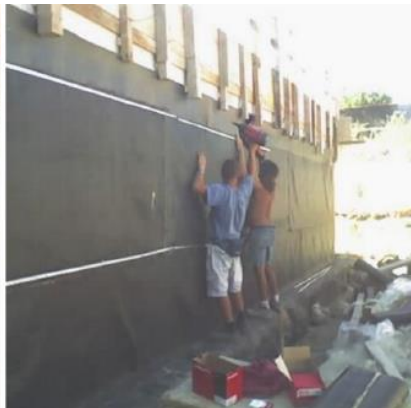
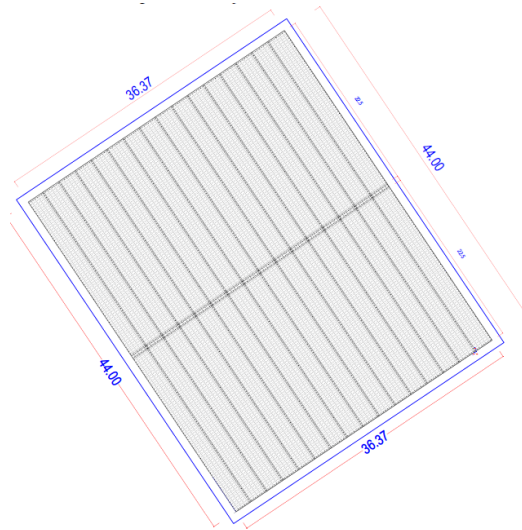
Esquema del sistema sándwich aplicado a la losa de cimentación.



Nota. Esquema referencial adaptado para fines de investigación.

Figura 22

Principio de funcionamiento y colocación de manta bentónica



La figura presenta el principio de funcionamiento y colocación de la manta bentonítica utilizada como barrera hidráulica para reducir el ingreso de agua subterránea hacia la cimentación.

2.3.2.2. Definición de criterios de evaluación

Para la evaluación comparativa de las alternativas de control de filtraciones, se definieron criterios técnicos que permitieron analizar su desempeño en función de las condiciones hidrogeológicas y geotécnicas del área de estudio.

La selección de los criterios se fundamentó en la necesidad de garantizar la estabilidad de la cimentación, así como la eficiencia del sistema frente al flujo de agua subterránea.

Los criterios considerados fueron los siguientes:

a) Eficiencia hidráulica

Este criterio evaluó la capacidad de cada alternativa para reducir o controlar el ingreso de agua subterránea hacia la zona de cimentación. Asimismo, se analizó la efectividad del sistema en la disminución del caudal de filtración, la reducción del gradiente hidráulico y el control de las presiones de poro.

b) Compatibilidad con las condiciones del suelo

Este criterio evaluó la adecuación de cada alternativa frente a las características del terreno, especialmente en presencia de suelos arenosos de alta permeabilidad y nivel freático superficial, permitiendo determinar su viabilidad técnica en el área de estudio.

c) Facilidad constructiva

Se analizó el nivel de complejidad en la ejecución de cada alternativa, considerando aspectos como requerimientos técnicos, disponibilidad de equipos, tiempo de ejecución y condiciones del entorno constructivo.

d) Durabilidad

Este criterio evaluó el comportamiento del sistema a largo plazo, considerando su resistencia frente a condiciones de humedad, presión hidráulica y posible agresividad química del agua subterránea.

e) Compatibilidad hidráulica y geotécnica

Este criterio evaluó la capacidad de cada alternativa para adaptarse a las condiciones hidrogeológicas y geotécnicas del área de estudio, considerando la interacción suelo–

agua–estructura, el comportamiento del flujo subterráneo y la respuesta del terreno frente a condiciones de saturación.

f) Integración con el sistema de cimentación

Este criterio evaluó la capacidad de cada alternativa para integrarse de manera eficiente con el sistema estructural propuesto, garantizando compatibilidad entre los elementos de control de filtraciones y la cimentación.

Estos criterios permitieron desarrollar una evaluación técnica comparativa de las alternativas de control de filtraciones, considerando su comportamiento hidráulico, compatibilidad geotécnica, viabilidad constructiva y capacidad de integración con el sistema de cimentación. Asimismo, la aplicación de estos criterios permitió identificar la solución más adecuada para reducir la influencia del agua subterránea sobre la estabilidad hidráulica y geotécnica del terreno de fundación.

2.3.3. Evaluación del uso de mantas de bentonita como solución impermeabilizante

La evaluación del uso de mantas de bentonita como solución impermeabilizante se realizó con la finalidad de analizar su eficiencia hidráulica en el control de filtraciones y su contribución a la estabilidad geotécnica de la cimentación bajo condiciones de presencia de agua subterránea y nivel freático superficial.

Esta alternativa fue considerada debido a su capacidad de reducir el flujo de infiltración mediante la formación de una barrera de muy baja conductividad hidráulica, así como por su aplicabilidad en terrenos con alta permeabilidad y presencia de agua subterránea. Asimismo, su capacidad de auto-sellado frente a pequeñas discontinuidades representa una ventaja técnica para el control hidráulico en estructuras de cimentación.

La evaluación se desarrolló mediante un análisis técnico estructurado en cuatro etapas: (i) revisión del fundamento técnico del material, (ii) definición de criterios de aplicación, (iii) evaluación de su desempeño hidráulico y (iv) análisis de su integración con el sistema de cimentación.

Asimismo, esta evaluación se desarrolló considerando los criterios técnicos definidos en la sección 2.3.2, permitiendo analizar la capacidad de las mantas de bentonita para reducir el ingreso de agua subterránea, disminuir las presiones intersticiales y mejorar las condiciones de estabilidad hidráulica y geotécnica del terreno de fundación.

2.3.3.1. Fundamento técnico de la bentonita

La bentonita es un material arcilloso de origen volcánico compuesto principalmente por montmorillonita, caracterizado por su alta capacidad de absorción de agua y expansión volumétrica.

Cuando entra en contacto con el agua, la bentonita se hidrata y experimenta un proceso de expansión volumétrica, formando una barrera de muy baja conductividad hidráulica que limita el ingreso del flujo subterráneo hacia la estructura de cimentación.

Esta propiedad permite reducir el flujo de infiltración en suelos saturados, contribuyendo a disminuir las presiones intersticiales y mejorar las condiciones de estabilidad hidráulica y geotécnica del terreno. Asimismo, la reducción del ingreso de agua subterránea favorece el incremento de los esfuerzos efectivos del suelo y mejora el comportamiento de la cimentación frente a condiciones de saturación.

2.3.3.2. Criterios de aplicación

La aplicación de mantas de bentonita se evaluó considerando las condiciones hidrogeológicas y geotécnicas del área de estudio, tales como la conductividad hidráulica del suelo, la profundidad del nivel freático y la presencia de flujo subterráneo asociado a un acuífero hidráulicamente activo.

Asimismo, se consideraron aspectos constructivos relacionados con la correcta instalación de las mantas, el tratamiento de juntas y solapes, la continuidad del sistema impermeabilizante y su protección frente a daños mecánicos durante la ejecución de la cimentación.

Estos criterios permitieron definir las condiciones bajo las cuales la aplicación de mantas de bentonita resulta técnicamente viable en el área de estudio, considerando su capacidad para reducir el ingreso de agua subterránea, limitar el flujo de infiltración y contribuir a mejorar la estabilidad hidráulica y geotécnica del terreno de fundación.

2.3.3.3. Evaluación de desempeño

La evaluación de desempeño de las mantas de bentonita se realizó considerando indicadores técnicos relacionados con su capacidad para reducir el ingreso de agua subterránea hacia la zona de cimentación. Entre los principales indicadores evaluados se consideraron la disminución del

flujo de infiltración, la reducción de las presiones intersticiales y el comportamiento hidráulico del sistema frente a condiciones de saturación.

Asimismo, se analizó el comportamiento de las mantas de bentonita bajo condiciones de saturación prolongada, evaluando su durabilidad, continuidad hidráulica y capacidad de mantener sus propiedades de impermeabilización frente a la presencia continua de agua subterránea.

Este análisis permitió evaluar la contribución de las mantas de bentonita en la mejora de la estabilidad hidráulica y geotécnica del terreno, favoreciendo el incremento de los esfuerzos efectivos del suelo y reduciendo el riesgo de asentamientos e infiltraciones hacia la cimentación.

2.3.3.4. Integración con el sistema de cimentación

La integración de las mantas de bentonita con el sistema de cimentación se evaluó considerando su compatibilidad con la platea de cimentación y su interacción con las demás soluciones propuestas, como el muro diafragma y las columnas de grava.

Esta integración permitió establecer un sistema continuo de control de filtraciones, donde las mantas de bentonita actúan como una barrera de muy baja conductividad hidráulica, complementando el control del flujo lateral de agua subterránea mediante muros pantalla y favoreciendo la disipación de presiones intersticiales a través de las columnas de grava.

En ese sentido, la integración de estas soluciones permitió analizar la interacción suelo–agua–estructura y evaluar su contribución a la estabilidad hidráulica y geotécnica del sistema de cimentación. Asimismo, la aplicación conjunta de estas alternativas permitió reducir el ingreso de agua subterránea, mejorar las condiciones de drenaje y favorecer el incremento de los esfuerzos efectivos del terreno.

2.3.4. Modelamiento numérico del flujo subterráneo

El modelamiento numérico del flujo subterráneo se desarrolló con la finalidad de simular el comportamiento hidráulico del sistema suelo–agua en el área de estudio y evaluar la influencia de las alternativas de control de filtraciones en la cimentación.

Para ello, se utilizó el software PLAXIS 2D, basado en el método de elementos finitos, considerando como base la información obtenida del estudio hidrogeológico previo del área, el cual proporcionó datos relevantes sobre la estratigrafía del suelo, parámetros hidráulicos y

condiciones del nivel freático. Esta información fue adaptada y empleada en función de los objetivos de la presente investigación, orientados al análisis del control de filtraciones.

El modelamiento numérico permitió evaluar la relación entre la variable independiente (comportamiento del agua subterránea) y la variable dependiente (estabilidad de la cimentación), mediante el análisis de la distribución de presiones de poro, líneas de flujo y velocidad de infiltración en el suelo.

Estos parámetros permitieron determinar la influencia del flujo subterráneo en las condiciones de estabilidad del terreno y la efectividad de las alternativas de control de filtraciones propuestas.

En la etapa de preprocesamiento, se definió la geometría del dominio de estudio, representando las condiciones del terreno y la zona de cimentación. Asimismo, se asignaron las propiedades hidráulicas de los materiales, tales como la conductividad hidráulica, y se establecieron las condiciones de contorno, incluyendo niveles piezométricos y direcciones de flujo subterráneo.

Posteriormente, se realizó la discretización del dominio mediante la generación de una malla de elementos finitos, lo que permitió representar de manera adecuada la variación espacial del flujo subterráneo en el medio poroso.

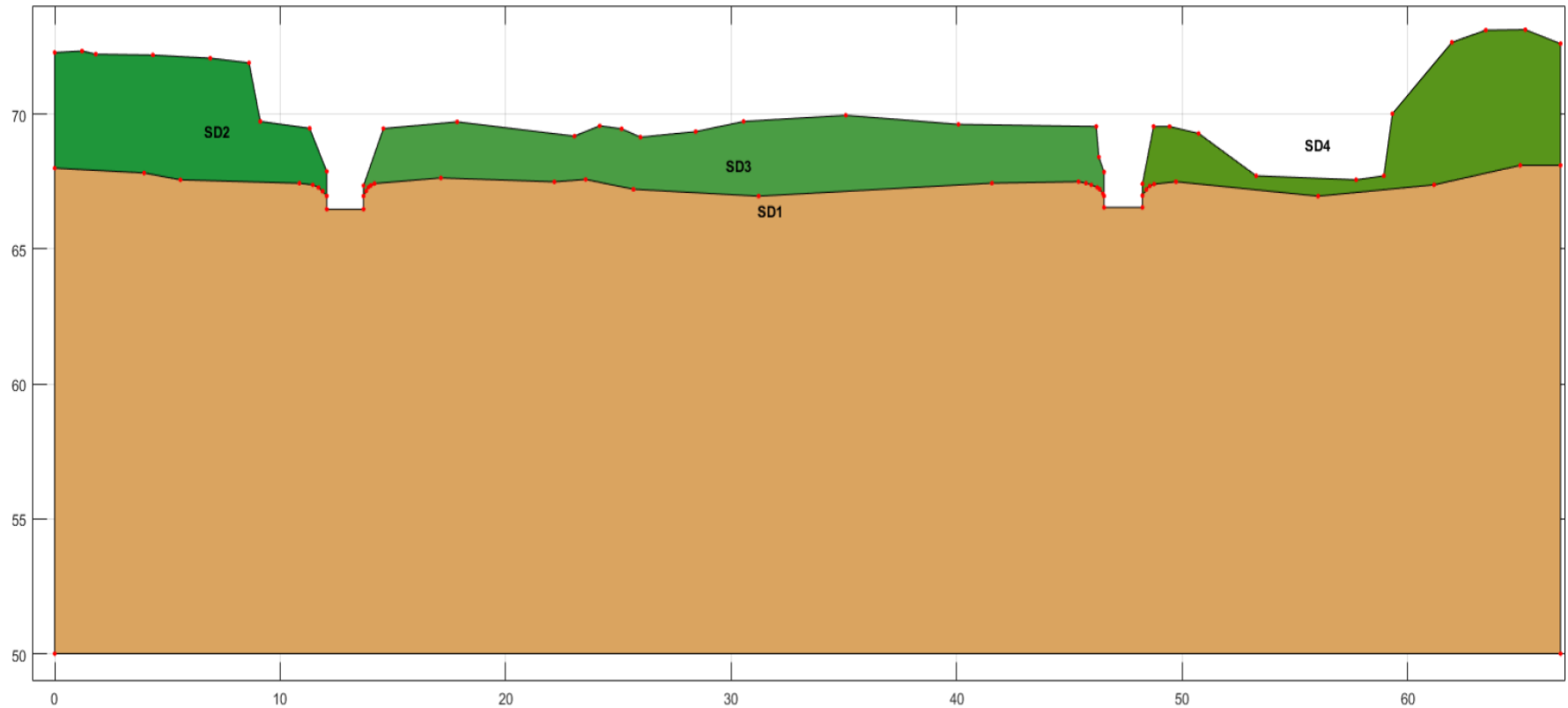
En la fase de procesamiento, se efectuó la simulación del flujo subterráneo bajo diferentes escenarios, considerando condiciones sin intervención y con la implementación de las alternativas de control de filtraciones previamente definidas.

Finalmente, en la etapa de post procesamiento, se analizaron los resultados obtenidos del modelo, evaluando la distribución de presiones de poro, las líneas de flujo y la velocidad de filtración hacia la zona de cimentación.

El modelamiento permitió comparar el comportamiento hidráulico del sistema bajo distintos escenarios, constituyéndose como una herramienta fundamental para la evaluación de la eficiencia de las soluciones de control de filtraciones y su influencia en la estabilidad de la cimentación.

Figura 23

Dominio y subdominios del modelo numérico.

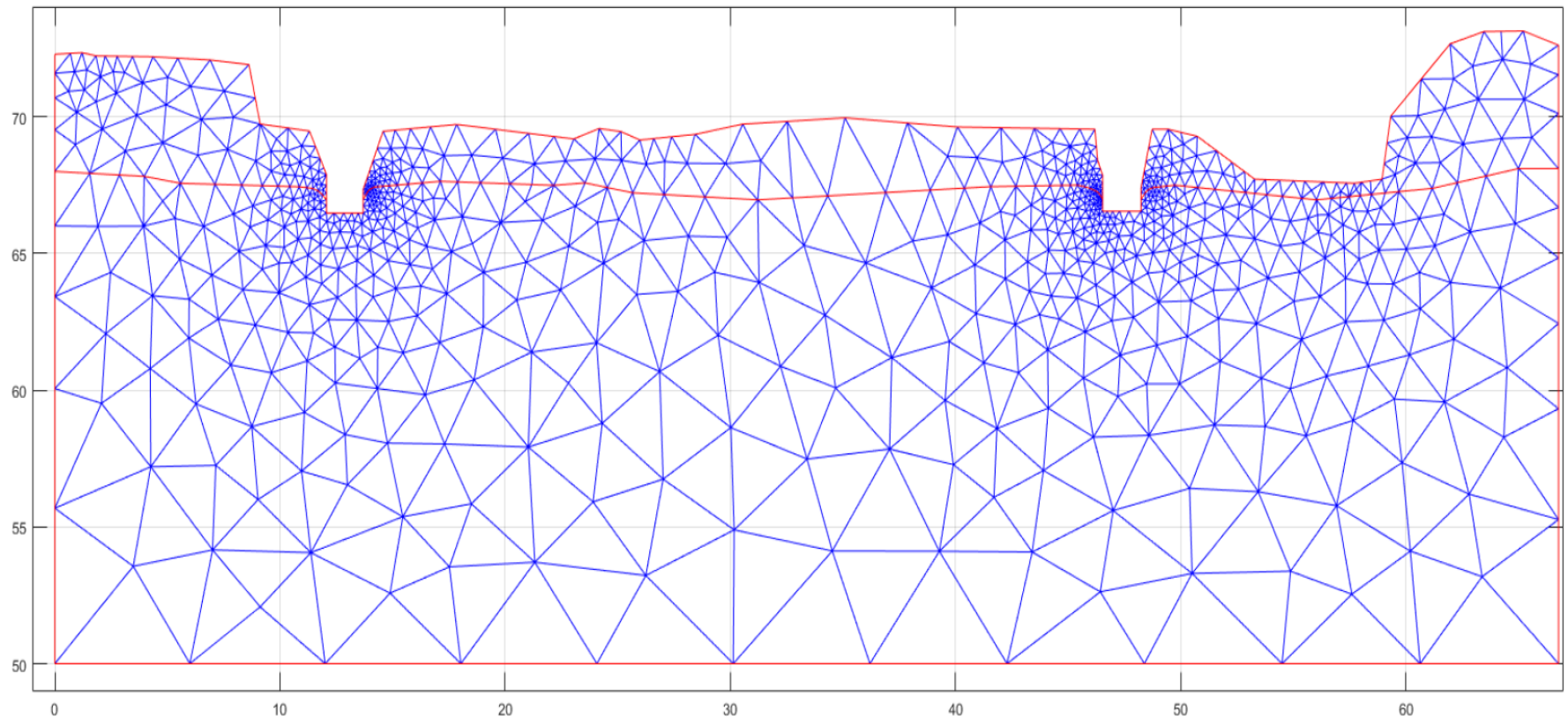


La Figura 22 muestra la discretización del dominio del modelo, en el cual se identifican diferentes subdominios (SD1, SD2, SD3 y SD4), correspondientes a unidades de suelo con propiedades geotécnicas e hidráulicas diferenciadas.

El subdominio SD1 representa el estrato predominante del terreno, mientras que los subdominios SD2, SD3 y SD4 corresponden a capas superficiales y zonas con variabilidad en sus características hidráulicas, lo cual permite una representación más adecuada del comportamiento hidráulico del flujo subterráneo en el área de estudio.

Figura 24

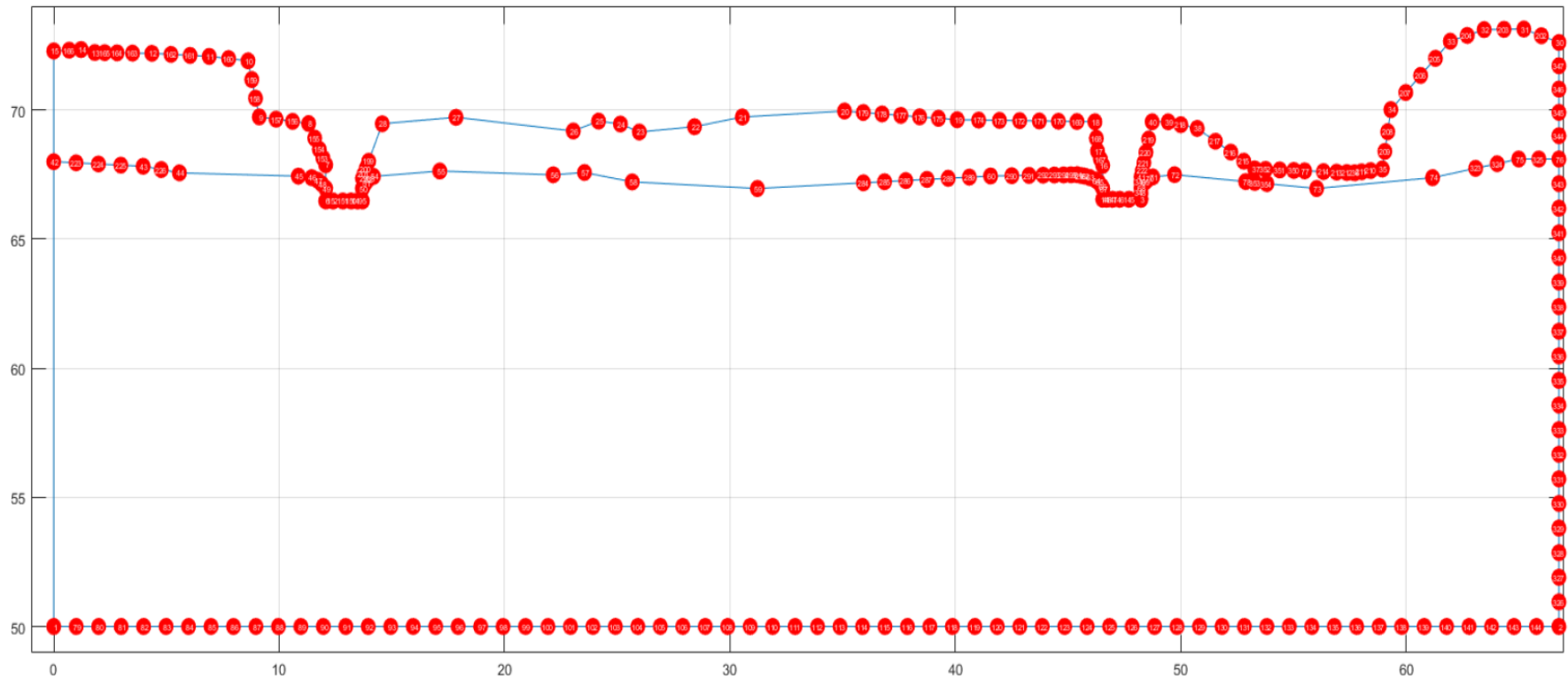
Generación de la malla del modelo numérico



La figura muestra la generación de la malla inicial del modelo numérico, compuesta por 857 nodos y 1567 elementos finitos triangulares. Se observa un refinamiento de la malla en zonas críticas del terreno, permitiendo mejorar la precisión en la simulación del flujo subterráneo y la distribución de presiones intersticiales en el terreno.

Figura 25

Definición de nodos de contorno del modelo numérico

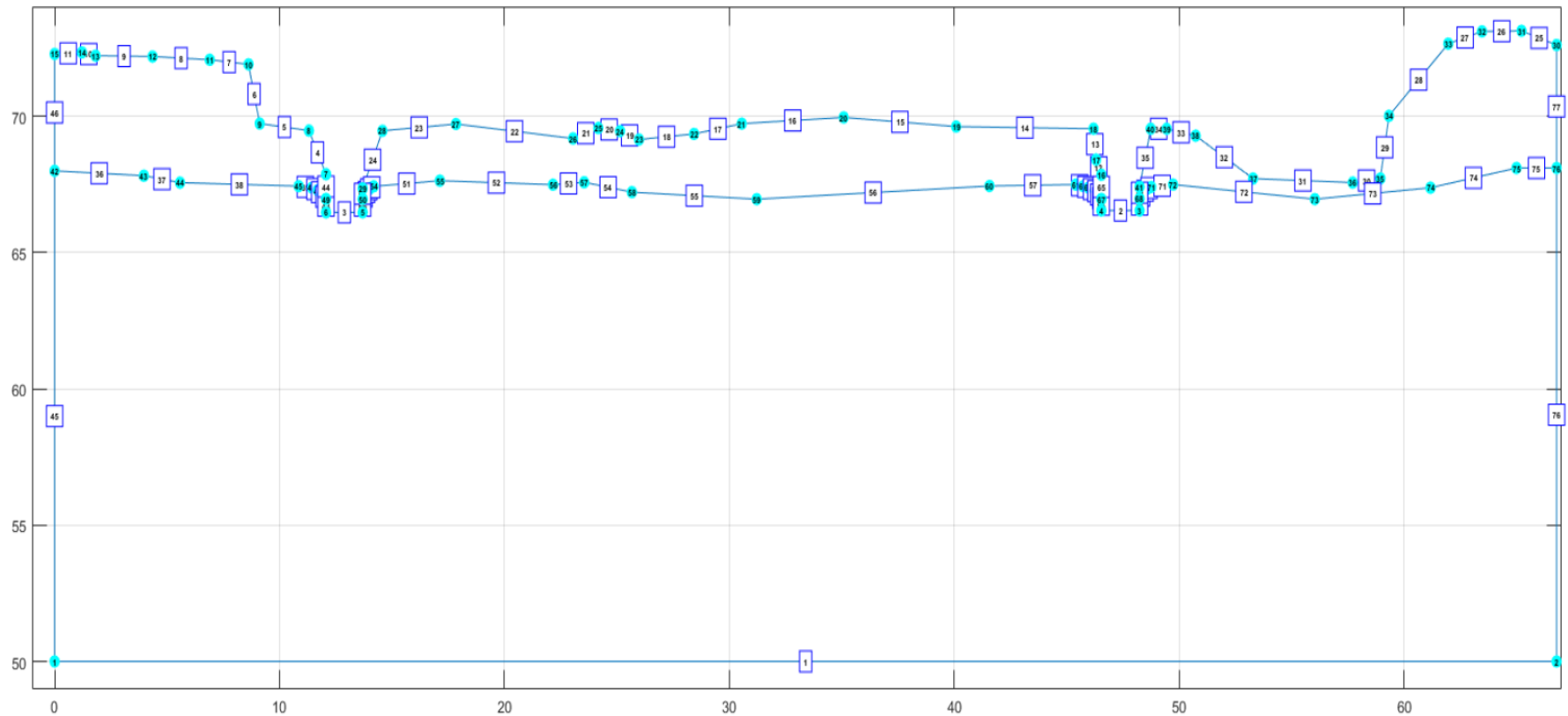


La figura muestra la ubicación de los nodos de contorno del modelo numérico, en los cuales se aplicaron las condiciones de borde necesarias para la simulación del flujo subterráneo.

Estos nodos representan los límites del dominio, donde se definieron condiciones hidráulicas tales como niveles piezométricos, condiciones de flujo y restricciones de permeabilidad, permitiendo una adecuada representación del comportamiento del sistema suelo-agua.

Figura 26

Definición de nodos de contorno del modelo numérico

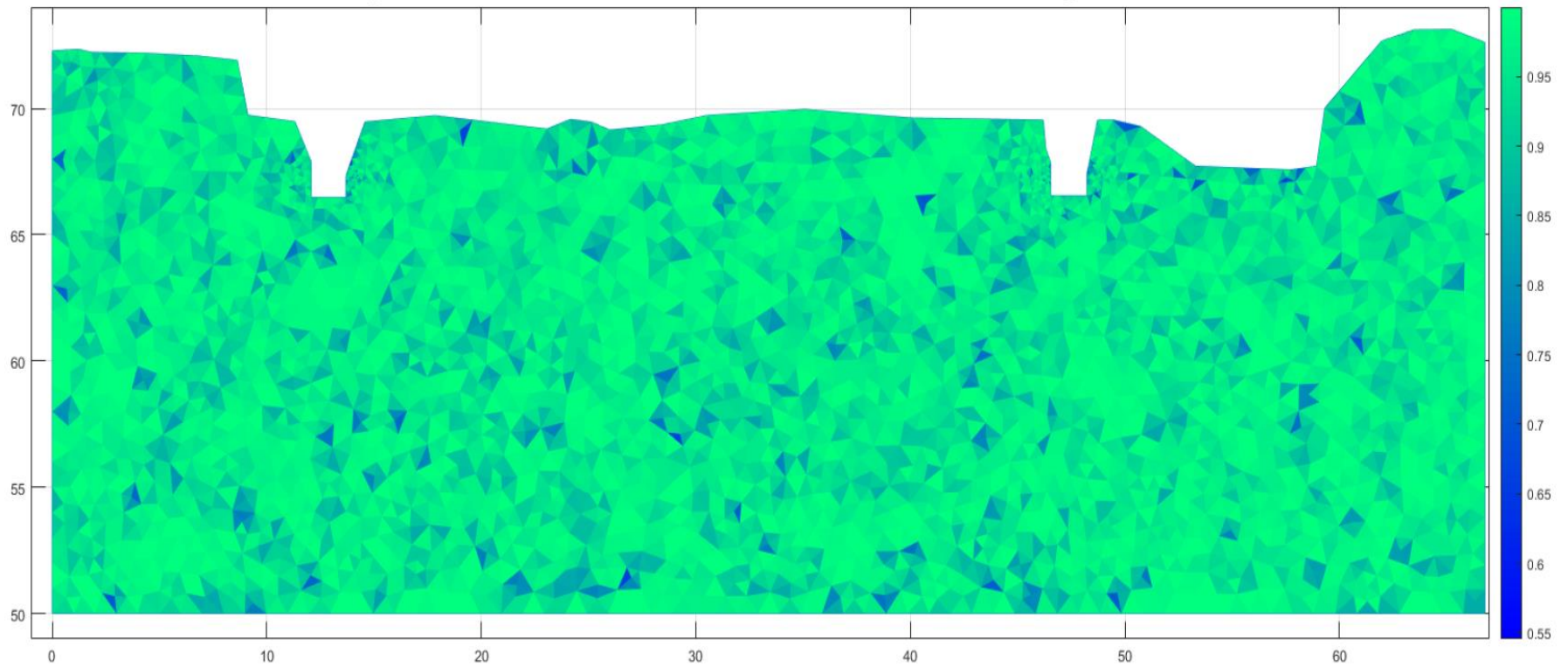


La figura muestra los elementos de contorno del modelo numérico, los cuales corresponden a los segmentos del dominio donde se aplicaron las condiciones de borde del sistema.

Estos elementos permiten definir de manera continua las condiciones hidráulicas, tales como flujo de entrada y salida, así como zonas impermeables, garantizando una adecuada representación del comportamiento del flujo subterráneo en el área de estudio.

Figura 27

Evaluación de la calidad de la malla de elementos finitos



La figura 26, muestra la evaluación de la calidad del enmallado del modelo numérico, donde se observa la distribución de la calidad de los elementos triangulares en el dominio de estudio.

Se evidencia que la mayor parte de los elementos presenta una calidad adecuada, predominando valores que garantizan estabilidad numérica, convergencia del modelo y precisión en la simulación del comportamiento hidráulico del sistema suelo-agua. No se identifican distorsiones significativas que comprometan la confiabilidad de los resultados obtenidos.

2.3.5. Selección de la alternativa más adecuada

La selección de la alternativa más adecuada se realizó mediante un análisis comparativo de las soluciones de control de filtraciones, considerando los resultados obtenidos en el modelamiento numérico del flujo subterráneo y la evaluación técnica desarrollada previamente.

Para ello, se comparó el comportamiento de cada alternativa en función de su capacidad para reducir el flujo de infiltración, disminuir las presiones intersticiales y mejorar las condiciones de estabilidad hidráulica y geotécnica de la cimentación frente a la presencia de agua subterránea.

Asimismo, la selección se realizó considerando los criterios técnicos definidos en la sección 2.3.2, relacionados con eficiencia hidráulica, compatibilidad con las condiciones del suelo, facilidad constructiva, durabilidad, compatibilidad hidráulica y geotécnica e integración con el sistema de cimentación, evaluando la interacción suelo-agua-estructura bajo condiciones de nivel freático superficial.

Este procedimiento permitió identificar la alternativa con mayor eficiencia hidráulica y mejor desempeño técnico frente a las condiciones hidrogeológicas del área de estudio, considerando su capacidad para reducir el ingreso de agua subterránea, controlar el flujo de infiltración y contribuir a la estabilidad hidráulica y geotécnica del sistema de cimentación. La alternativa seleccionada es presentada y analizada en el capítulo de resultados.

2.3.5.1. Integración de la información

La integración de la información se realizó a partir de la síntesis de los resultados obtenidos en las diferentes etapas metodológicas, incluyendo la caracterización hidrogeológica, la evaluación de alternativas y el modelamiento numérico del flujo subterráneo.

Este proceso permitió establecer la relación entre la variable independiente (comportamiento del agua subterránea) y la variable dependiente (estabilidad de la cimentación), identificando la influencia del flujo subterráneo sobre el comportamiento geotécnico del terreno y las condiciones de estabilidad hidráulica del sistema de cimentación.

La integración de la información permitió determinar que las condiciones hidrogeológicas del área de estudio, caracterizadas por la presencia de un nivel freático superficial, suelos de alta permeabilidad y un acuífero hidráulicamente activo, requieren la implementación de soluciones integrales orientadas al control del flujo subterráneo y la reducción de infiltraciones. En ese sentido,

la combinación de sistemas de impermeabilización, barreras hidráulicas y técnicas de mejoramiento del terreno permitió plantear alternativas orientadas a mejorar las condiciones de estabilidad hidráulica y geotécnica de la cimentación.

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Evaluación de la influencia del agua subterránea en la estabilidad de la cimentación.

Los resultados presentados en este apartado corresponden al análisis de la influencia del agua subterránea sobre las condiciones de estabilidad hidráulica y geotécnica de la cimentación en el área de estudio. Para ello, se integró información obtenida mediante trabajos de campo, prospección geofísica, ensayos hidrogeológicos, análisis hidrogeoquímico y modelamiento numérico del flujo subterráneo.

La interpretación de los resultados permitió caracterizar el comportamiento hidráulico del acuífero, identificar las condiciones de saturación del subsuelo y evaluar la influencia del nivel freático sobre el comportamiento geotécnico del terreno de fundación. Asimismo, los resultados obtenidos permitieron analizar la relación entre el flujo subterráneo, las presiones intersticiales y la estabilidad de la cimentación bajo las condiciones hidrogeológicas presentes en el área de estudio.

3.1.1. Caracterización del nivel freático

El inventario de pozos realizado en un radio aproximado de 500 m alrededor del área de estudio permitió identificar un total de seis (06) pozos dentro de la zona de influencia directa del proyecto, evidenciando el aprovechamiento activo del recurso hídrico subterráneo en el sector y condiciones hidrogeológicas favorables para la explotación del acuífero.

Tabla 6

Estado de los pozos inventariados en el área de influencia del proyecto

Estado	Nº	%
Utilizado	5	83,3%
Utilizable	1	16,7%
No Utilizable	0	0,0%
Total	6	1

Los resultados muestran que el 83.3% de los pozos se encuentran en condición de uso activo, mientras que el 16.7% se encuentran en condición utilizable, lo que evidencia una alta demanda de agua subterránea en la zona.

Asimismo, la distribución y condición operativa de los pozos inventariados evidencian la presencia continua de agua subterránea en el sector, confirmando condiciones hidrogeológicas asociadas a un acuífero hidráulicamente activo en el área de estudio. La elevada proporción de pozos en funcionamiento (83.3 %) demuestra la disponibilidad permanente del recurso hídrico subterráneo y una dinámica de flujo constante dentro del sistema acuífero local.

De acuerdo con Sánchez San Román (2012), la explotación de acuíferos someros está asociada a la presencia de niveles freáticos cercanos a la superficie, los cuales presentan variaciones en función de los procesos de recarga y de la extracción continua de agua subterránea. En ese sentido, las condiciones identificadas en el área de estudio permiten interpretar la presencia de un acuífero hidráulicamente activo y con disponibilidad permanente de agua subterránea.

Desde el punto de vista geotécnico, la presencia de un nivel freático somero favorece el incremento de las presiones intersticiales y la reducción de los esfuerzos efectivos del suelo, afectando directamente la capacidad portante y el comportamiento mecánico del terreno de fundación (Das, 2012).

En consecuencia, el comportamiento del agua subterránea constituye un factor determinante en las condiciones de estabilidad hidráulica y geotécnica del terreno, incrementando el riesgo de infiltraciones, asentamientos y reducción de la resistencia mecánica del suelo de fundación bajo condiciones de nivel freático superficial.

3.1.2. Modelo estratigráfico del subsuelo a partir de la tomografía eléctrica

Los resultados presentados en este apartado se obtuvieron a partir de la prospección geofísica mediante tomografía eléctrica (ERT), desarrollada en la sección 2.3.1.2 de la metodología, la cual permitió caracterizar la distribución de resistividades del subsuelo y su relación con las condiciones hidrogeológicas del área de estudio.

A partir del procesamiento e interpretación de los perfiles tomográficos, se identificó una estratigrafía compuesta por tres unidades principales:

- Un estrato superficial con resistividades entre 10 y 50 $\Omega \cdot m$, asociado a materiales arenolimosos saturados.

- Un estrato intermedio con resistividades entre 50 y 150 $\Omega \cdot m$, compuesto por arenas, gravas y limos con saturación media.
- Un estrato profundo con resistividades entre 150 y 200 $\Omega \cdot m$, correspondiente a materiales más competentes y de menor contenido de humedad.

De acuerdo con Loke (2004), los valores bajos de resistividad están asociados a zonas saturadas, lo que confirma la presencia de un acuífero hidráulicamente activo en el área de estudio.

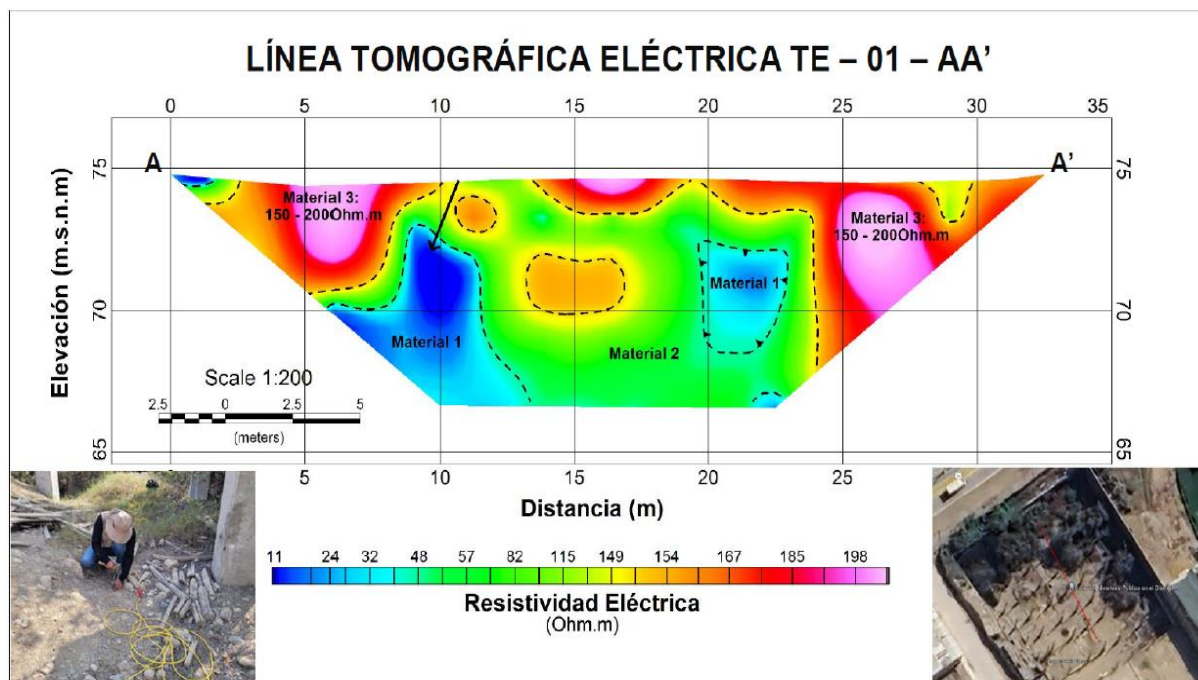
Interpretación de perfiles tomográficos

Los perfiles TE-01-AA', TE-02-BB', TE-03-CC' y TE-04-DD' presentan un comportamiento consistente, caracterizado por la continuidad lateral del estrato superficial saturado a lo largo del área evaluada.

Los resultados obtenidos en los perfiles tomográficos evidencian la presencia de un estrato superficial con valores bajos de resistividad eléctrica, asociados a materiales saturados con continuidad lateral en toda el área de estudio. De acuerdo con Loke (2004), estos valores constituyen indicadores característicos de zonas con alta saturación hídrica y permiten identificar sectores influenciados por la presencia de agua subterránea. Desde el punto de vista geotécnico, González de Vallejo et al. (2002) señalan que la presencia permanente de agua en el subsuelo puede disminuir la resistencia mecánica del terreno y afectar las condiciones de estabilidad de las cimentaciones. En consecuencia, los resultados de la tomografía eléctrica confirman la existencia de un acuífero superficial hidráulicamente activo y justifican la necesidad de implementar medidas de control de filtraciones para reducir la influencia del agua subterránea sobre el terreno de fundación.

Figura 28

Sección tomográfica eléctrica correspondiente a la línea TE-01-AA'

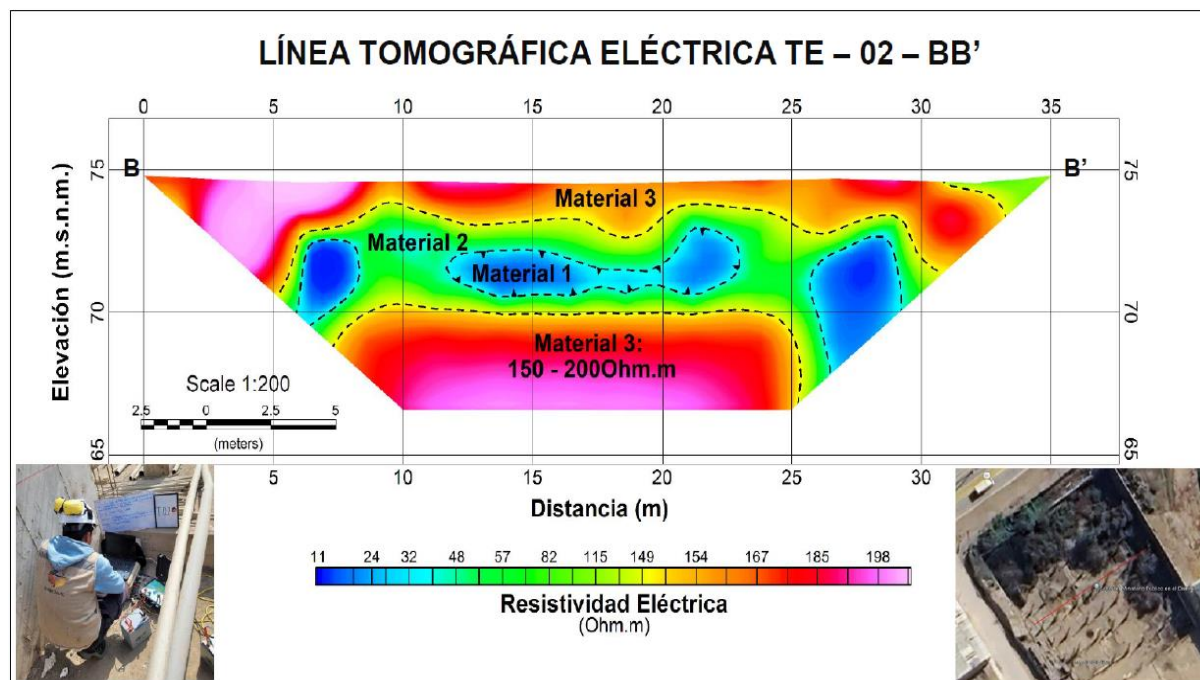


Nota. Estudio Geofísico - GEOXPLOTEC S.A.C.

La línea tomográfica TE-01-AA' permitió identificar tres unidades geoelectricas diferenciadas. El Material 1 presenta resistividades entre 10 y 50 $\Omega \cdot m$ y corresponde a arenas limosas con alto grado de saturación, asociadas a la presencia del nivel freático superficial. El Material 2 registra resistividades entre 50 y 150 $\Omega \cdot m$, compatibles con arenas, gravas y limos parcialmente saturados, mientras que el Material 3 presenta resistividades entre 150 y 200 $\Omega \cdot m$, correspondientes a materiales de mayor consolidación y menor contenido de humedad. La distribución de estas unidades evidencia la continuidad lateral del estrato saturado y confirma la presencia de un acuífero superficial hidráulicamente activo en el área evaluada.

Figura 29

Sección tomográfica eléctrica correspondiente a la línea TE-02-BB'

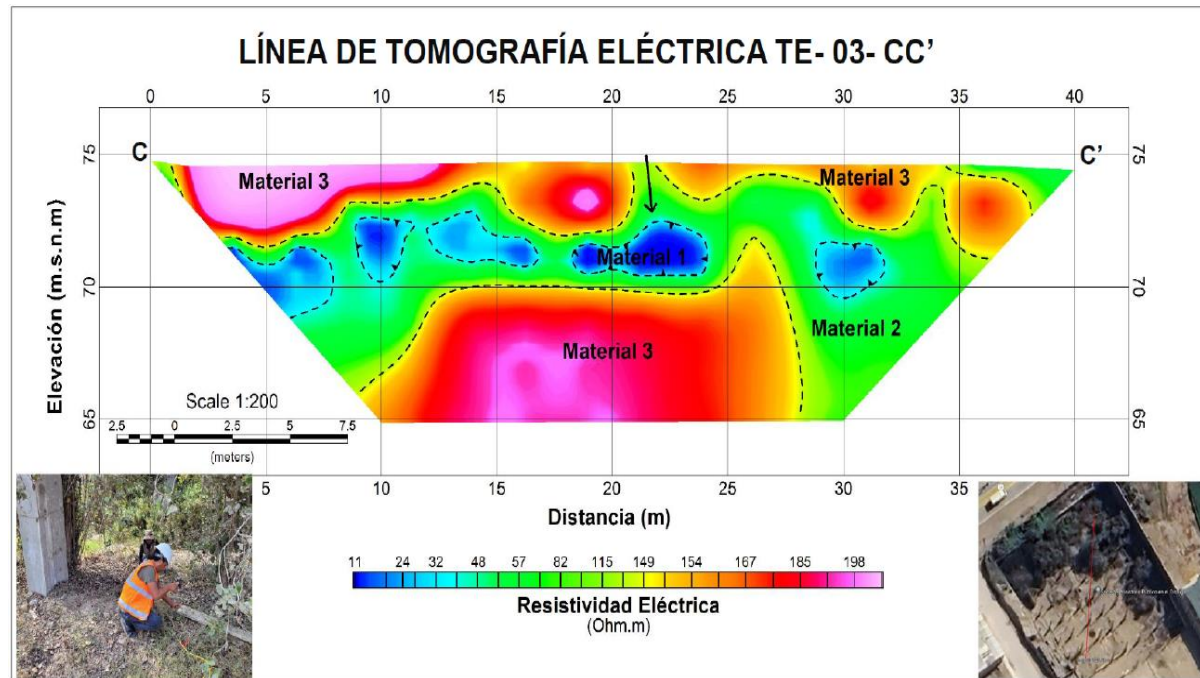


Nota. Estudio Geofísico - GEOXPLOTEC S.A.C

La línea tomográfica TE-02-BB' permitió identificar tres unidades geoelectricas claramente diferenciadas. El Material 1 presenta resistividades entre 10 y 50 $\Omega \cdot m$, asociadas a materiales areno-limosos saturados por la presencia de agua subterránea. El Material 2 registra resistividades entre 50 y 150 $\Omega \cdot m$, correspondientes a arenas, gravas y limos con saturación intermedia y un grado moderado de consolidación. El Material 3 presenta resistividades entre 150 y 200 $\Omega \cdot m$, relacionadas con materiales más competentes y de menor contenido de humedad. La distribución de estas unidades evidencia un flujo subterráneo con predominio horizontal y confirma la continuidad hidráulica del acuífero en el área de estudio.

Figura 30

Sección tomográfica eléctrica correspondiente a la línea TE-03-CC'

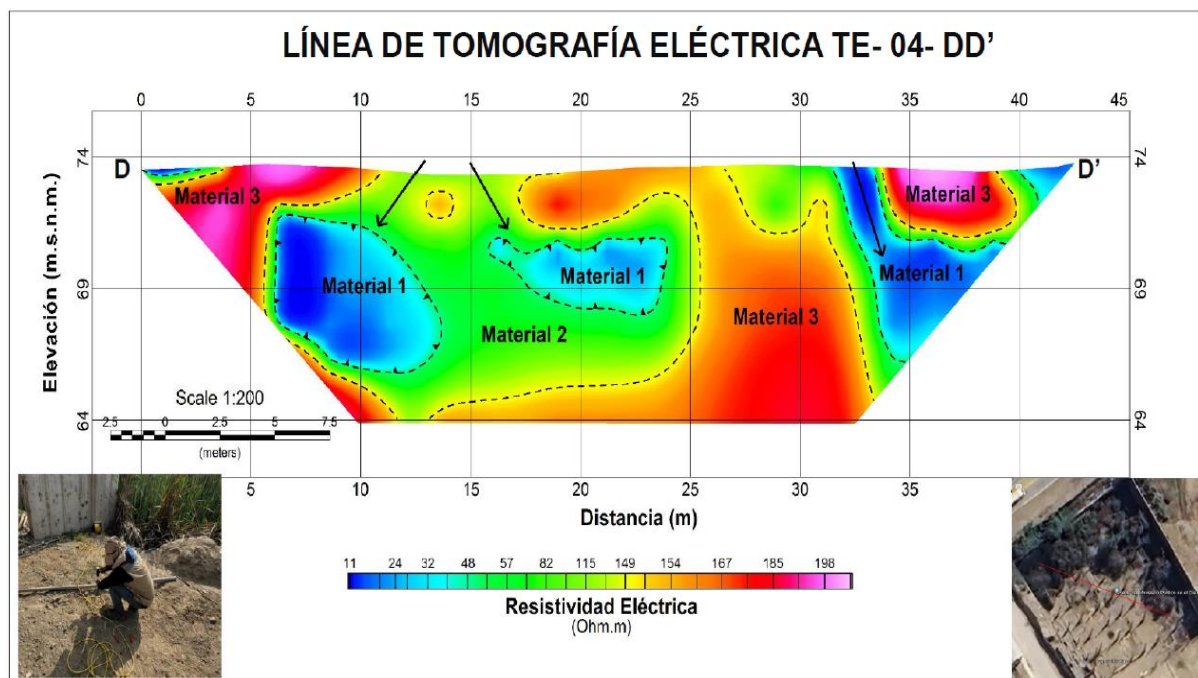


Nota. Estudio Geofísico - GEOXPLOTEC S.A.C

La línea tomográfica TE-03-CC' permitió identificar tres unidades geoelectricas diferenciadas. El Material 1 presenta resistividades entre 10 y 50 $\Omega \cdot m$, asociadas a arenas limosas saturadas y vinculadas al nivel freático superficial. El Material 2 registra resistividades entre 50 y 150 $\Omega \cdot m$, correspondientes a arenas, gravas y limos con saturación intermedia, constituyendo la unidad de mayor desarrollo en este perfil. El Material 3 presenta resistividades entre 150 y 200 $\Omega \cdot m$, asociadas a materiales de mayor consolidación y menor contenido de humedad. La distribución de las unidades geoelectricas sugiere la continuidad del flujo subterráneo y evidencia un posible aporte de filtración superficial en las proximidades de la estación 22, lo que confirma la continuidad hidráulica del acuífero en el área de estudio

Figura 31

Sección tomográfica eléctrica correspondiente a la línea TE-01-DD'



Nota. Estudio Geofísico - GEOXPLOTEC S.A.C.

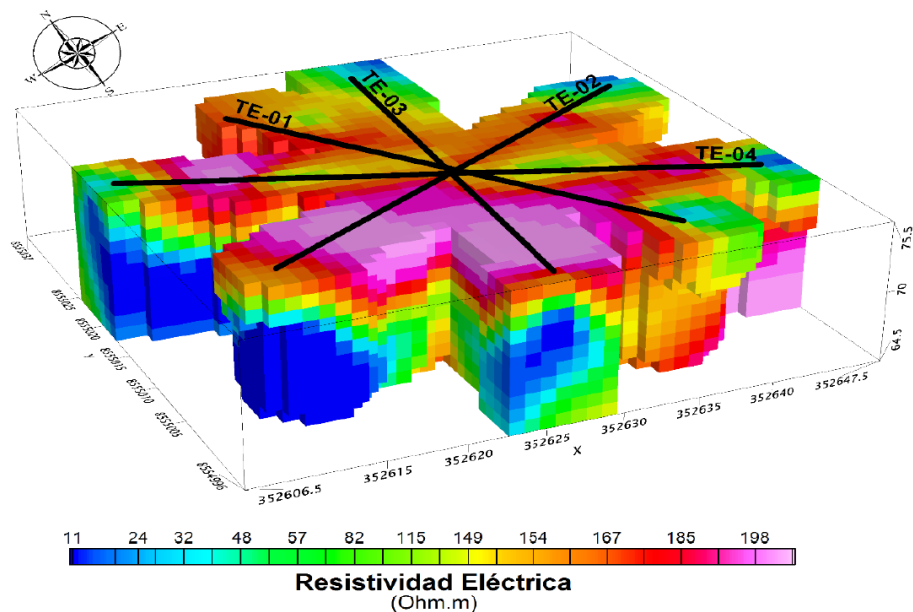
La línea tomográfica TE-04-DD' permitió identificar tres unidades geoelectricas diferenciadas. El Material 1 presenta resistividades entre 10 y 50 $\Omega \cdot m$, asociadas a arenas limosas saturadas por la presencia de agua subterránea y del nivel freático superficial. El Material 2 registra resistividades entre 50 y 150 $\Omega \cdot m$, correspondientes a arenas, gravas y limos con saturación intermedia. El Material 3 presenta resistividades entre 150 y 200 $\Omega \cdot m$, asociadas a materiales de mayor consolidación y menor contenido de humedad, constituyendo el estrato más competente del perfil. La distribución espacial de estas unidades evidencia la continuidad hidráulica del acuífero y sugiere que el flujo subterráneo es alimentado principalmente por un flujo transversal al área de estudio, con un aporte secundario de filtraciones superficiales próximas a las estaciones 12, 15 y 32.

Interpretación integrada del modelo tridimensional

El modelo tridimensional de resistividad confirma la continuidad espacial del estrato saturado, evidenciando la presencia de un sistema acuífero con continuidad hidráulica en el área de estudio.

Figura 32

Modelo 3D de resistividad eléctrica.



Nota. Estudio Geofísico - GEOXPLOTEC S.A.C.

El modelo tridimensional evidencia la continuidad lateral y espacial del estrato saturado, permitiendo interpretar un comportamiento hidráulico uniforme del acuífero en el área evaluada.

La configuración hidrogeológica identificada se encuentra influenciada por las condiciones geomorfológicas y estratigráficas del área, las cuales favorecen la acumulación y circulación del agua subterránea en niveles superficiales. De acuerdo con Custodio y Llamas (2001), los acuíferos desarrollados en materiales granulares presentan continuidad hidráulica, favoreciendo la circulación y transmisión del flujo subterráneo a través del medio poroso.

Implicancia geotécnica e hidrogeológica

La continuidad del estrato superficial saturado evidencia un sistema acuífero superficial con continuidad hidráulica, el cual favorece la circulación del flujo subterráneo en el área de estudio.

Desde el punto de vista geotécnico, esta condición resulta desfavorable para el diseño de cimentaciones, debido al incremento de las presiones intersticiales y la reducción de los esfuerzos

efectivos del suelo, afectando directamente la resistencia mecánica y la capacidad portante del terreno de fundación. De acuerdo con Das (2012), la disminución de los esfuerzos efectivos en suelos saturados reduce la resistencia al corte y genera condiciones menos favorables para la estabilidad de las estructuras de cimentación. Asimismo, González de Vallejo et al. (2002) señalan que la presencia permanente de agua subterránea constituye un factor condicionante en el comportamiento geotécnico del terreno y en el desempeño de las obras de cimentación.

En consecuencia, las condiciones identificadas evidencian un escenario hidrogeológico crítico para el diseño de cimentaciones, requiriéndose la implementación de sistemas integrales de control de filtraciones, impermeabilización y drenaje, orientados a reducir la influencia del agua subterránea sobre la estabilidad hidráulica y geotécnica del terreno de fundación y garantizar condiciones adecuadas para el desempeño de la estructura proyectada.

3.1.3. Parámetros hidráulicos del acuífero a partir de la prueba de bombeo.

Los resultados obtenidos a partir de los ensayos de bombeo permitieron evaluar el comportamiento hidráulico del acuífero presente en el área de estudio, determinándose parámetros representativos como la transmisividad (T), la conductividad hidráulica (K) y el coeficiente de almacenamiento (S).

La interpretación de estos parámetros evidencia que el acuífero presenta una capacidad significativa para transmitir agua subterránea, condición asociada a la presencia de materiales granulares de alta permeabilidad en el subsuelo. Asimismo, los valores obtenidos reflejan una rápida respuesta hidráulica frente a la extracción de agua, característica típica de acuíferos someros hidráulicamente activos.

De acuerdo con Custodio y Llamas (2001), valores elevados de transmisividad y conductividad hidráulica favorecen la circulación del flujo subterráneo y la transmisión de presiones hidráulicas en el medio poroso. En el área de estudio, estas condiciones contribuyen al ingreso continuo de agua hacia las excavaciones y generan condiciones desfavorables para la estabilidad hidráulica y geotécnica de la cimentación.

Desde el punto de vista geotécnico, la presencia de un acuífero de alta permeabilidad incrementa las presiones intersticiales y reduce los esfuerzos efectivos del suelo, afectando directamente la capacidad portante y el comportamiento mecánico del terreno de fundación. En consecuencia, los parámetros hidráulicos obtenidos evidencian la necesidad de implementar

sistemas de control de filtraciones y medidas de impermeabilización orientadas a reducir la influencia del agua subterránea sobre la estabilidad de la cimentación.

3.1.3.1. Resultados de los parámetros hidráulicos

Los resultados obtenidos a partir de las pruebas de bombeo evidencian que la transmisividad del acuífero varía entre 0.87×10^{-2} y 0.91×10^{-2} m²/s, mientras que la conductividad hidráulica presenta valores entre 24.03×10^{-4} y 25.27×10^{-4} m/s. Asimismo, el coeficiente de almacenamiento presenta un valor aproximado de 7%, reflejando una respuesta hidráulica dinámica del acuífero frente a la extracción de agua.

Tabla 7

Parámetros hidráulicos del acuífero obtenidos de la prueba de bombeo.

Pozo	Transmisividad T (m ² /s)	Conductividad hidráulica K (m/s)	Coeficiente de almacenamiento S (%)
Pozo - 01	0.89×10^{-2}	24.65×10^{-4}	7.0
Pozo - 02	0.91×10^{-2}	25.27×10^{-4}	7.0
Pozo - 03	0.87×10^{-2}	24.03×10^{-4}	7.0

La interpretación de los resultados evidencia que el acuífero presenta condiciones de alta permeabilidad y capacidad significativa para transmitir agua subterránea, características asociadas a materiales granulares saturados presentes en el área de estudio. Los valores de conductividad hidráulica obtenidos indican una rápida circulación del flujo subterráneo, favoreciendo procesos de infiltración y el desplazamiento continuo del agua hacia las excavaciones y elementos de cimentación proyectados en el área de estudio.

De acuerdo con Custodio y Llamas (2001), valores elevados de transmisividad y conductividad hidráulica son característicos de acuíferos desarrollados en medios granulares, donde la circulación del agua subterránea ocurre con baja resistencia dentro del medio poroso. En el área de estudio, estas condiciones favorecen la transmisión continua de presiones hidráulicas y el desplazamiento permanente del flujo subterráneo, incrementando la probabilidad de ingreso de agua hacia excavaciones profundas y zonas de cimentación. Asimismo, la presencia constante de

agua subterránea contribuye al incremento de las presiones intersticiales y a la reducción de los esfuerzos efectivos del suelo.

Desde el punto de vista geotécnico, los parámetros hidráulicos obtenidos evidencian condiciones desfavorables para la estabilidad del terreno de fundación, debido a la influencia continua del agua subterránea sobre el comportamiento mecánico del suelo. De acuerdo con Das (2012), el incremento de las presiones intersticiales y la reducción de los esfuerzos efectivos generan una disminución de la resistencia al corte del suelo y condiciones menos favorables para el desempeño de las cimentaciones. En consecuencia, los resultados obtenidos sustentan la necesidad de implementar sistemas de control de filtraciones, impermeabilización y drenaje orientados a reducir la influencia hidráulica del acuífero sobre la cimentación proyectada.

3.1.3.2. Interpretación hidrogeológica

Los parámetros hidráulicos obtenidos evidencian la presencia de un acuífero hidráulicamente activo desarrollado en materiales granulares de alta permeabilidad. Los valores de transmisividad y conductividad hidráulica indican una elevada capacidad del medio para transmitir agua subterránea, favoreciendo la circulación continua del agua subterránea en el área de estudio.

Asimismo, el coeficiente de almacenamiento obtenido refleja una rápida respuesta hidráulica frente a procesos de extracción y recarga, comportamiento característico de acuíferos someros asociados a niveles freáticos superficiales.

De acuerdo con Custodio y Llamas (2001), los acuíferos desarrollados en materiales granulares presentan continuidad hidráulica y alta capacidad de transmisión de agua, favoreciendo procesos de infiltración y circulación subterránea. En el área de estudio, estas condiciones permiten interpretar un comportamiento hidrogeológico hidráulicamente activo, asociado a un sistema acuífero superficial con influencia directa sobre las condiciones de saturación del subsuelo.

3.1.3.3. Implicancia en la estabilidad de la cimentación

Las condiciones hidráulicas identificadas favorecen la circulación continua del agua subterránea en el subsuelo, generando el incremento de las presiones intersticiales y la reducción de los esfuerzos efectivos del suelo.

Desde el punto de vista geotécnico, esta condición afecta directamente la capacidad portante y el comportamiento mecánico del terreno de fundación, incrementando el riesgo de asentamientos y procesos de infiltración y filtración hacia la cimentación.

De acuerdo con Das (2012) y González de Vallejo (2002), la presencia de niveles freáticos superficiales en suelos granulares saturados constituye un factor crítico para el diseño de cimentaciones, debido a la disminución de la resistencia del suelo y la alteración de las condiciones de estabilidad geotécnica.

En consecuencia, las condiciones identificadas en el área de estudio evidencian la necesidad de implementar sistemas integrales de control de filtraciones, drenaje e impermeabilización orientados a reducir la influencia del agua subterránea sobre la estabilidad hidráulica y geotécnica del terreno de fundación y mejorar el comportamiento de la cimentación frente a condiciones de saturación.

3.1.4. Caracterización hidrogeoquímica del agua subterránea.

Los resultados presentados en este apartado se obtuvieron a partir del muestreo y análisis hidrogeoquímico desarrollado en la sección 2.3.1.4 de la metodología, permitiendo evaluar las características físico-químicas del agua subterránea y su posible influencia sobre los materiales de cimentación y los sistemas de impermeabilización propuestos.

3.1.4.1. Resultados de los parámetros físico-químicos

El análisis hidrogeoquímico permitió determinar parámetros representativos de la calidad del agua subterránea, tales como pH, conductividad eléctrica, cationes y aniones disueltos, los cuales permiten evaluar el comportamiento químico del agua y su interacción con el entorno geotécnico.

Tabla 8*Parámetros físico-químicos del agua subterránea*

Parámetro	Unidad	Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3
Conductividad Eléctrica (CE)	μS/cm	1485	1930	1456
pH	–	7.56	7.53	7.51
Calcio (Ca ²⁺)	mg/L	188	261	183
Magnesio (Mg ²⁺)	mg/L	16.6	28.5	15.1
Potasio (K ⁺)	mg/L	2.62	4.39	2.17
Sodio (Na ⁺)	mg/L	119	158	114
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	217	276	214
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	137	173	140
Nitratos (NO ₃ ⁻)	mg/L	16.1	16.5	14.8
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/L	332	536	313
Hierro (Fe)	mg/L	<0.05	<0.05	<0.05
Boro (B)	mg/L	0.43	0.64	0.43
Cobre (Cu)	mg/L	<0.05	<0.05	<0.05
Manganeso (Mn)	mg/L	<0.05	<0.05	0.19
Zinc (Zn)	mg/L	<0.05	<0.05	<0.05

Nota. Elaborado por el autor en base a ensayos de laboratorio realizados por AGQ Labs.

Los resultados obtenidos evidencian la presencia de agua subterránea con condiciones de mineralización moderada a elevada, asociado a la interacción agua–suelo en materiales granulares saturados presentes en el área de estudio. Los valores de conductividad eléctrica, comprendidos entre 1456 y 1930 μS/cm, reflejan una elevada concentración de sales disueltas en el medio, condición característica de acuíferos desarrollados en zonas costeras y materiales de alta permeabilidad.

Asimismo, se identificaron concentraciones significativas de sulfatos, con valores entre 313 y 536 mg/L, así como presencia de cloruros y cationes disueltos como calcio y sodio, los cuales evidencian procesos de interacción geoquímica entre el agua subterránea y los materiales del subsuelo.

Desde el punto de vista hidrogeoquímico, estas condiciones pueden influir directamente en la durabilidad de los materiales de cimentación y en el comportamiento de los sistemas de impermeabilización. De acuerdo con Appelo y Postma (2005), la presencia de sulfatos y sales

disueltas en el agua subterránea puede generar procesos de alteración química en materiales expuestos a condiciones permanentes de saturación. En estructuras de cimentación, estas condiciones pueden favorecer el deterioro progresivo del concreto y afectar la durabilidad de los elementos constructivos cuando no se implementan medidas adecuadas de protección e impermeabilización.QW

Asimismo, González de Vallejo (2002) señala que la interacción agua–suelo–estructura constituye un factor crítico en obras de cimentación, debido a que la presencia de agua con mineralización significativa puede influir en el deterioro progresivo de elementos estructurales y en las condiciones de estabilidad hidráulica y geotécnica del terreno.

En consecuencia, la caracterización hidrogeoquímica realizada permitió complementar la interpretación hidrogeológica del área de estudio y sustentar técnicamente la necesidad de implementar sistemas de impermeabilización compatibles con las condiciones químicas del agua subterránea presentes en el terreno. Estos resultados respaldan la incorporación de mantas de bentonita como medida de protección frente a la acción continua del agua subterránea, contribuyendo a preservar la durabilidad de la cimentación y reducir los efectos asociados a la interacción agua–suelo–estructura.

3.1.4.2. Interpretación hidrogeoquímica

El agua presenta un pH ligeramente alcalino (7.51 – 7.56) y conductividad eléctrica entre 1456 y 1930 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo que indica concentraciones moderadas a elevadas de sales disueltas en el agua subterránea.

Se observa predominancia de calcio y sodio, así como concentraciones significativas de sulfatos disueltos.

De acuerdo con Appelo y Postma (2005), estas características reflejan procesos de interacción agua–roca típicos de acuíferos en materiales aluviales.

En el área de estudio, estas características evidencian una interacción continua entre el agua subterránea y los materiales granulares saturados del subsuelo, condición que influye directamente en el comportamiento hidrogeoquímico del acuífero y en las condiciones de durabilidad de la cimentación.

3.1.4.3. Implicancia en la cimentación

La presencia de sulfatos disueltos en el agua subterránea puede favorecer procesos de ataque químico al concreto, mientras que los valores elevados de conductividad eléctrica y la presencia de sales disueltas pueden acelerar procesos de corrosión y deterioro progresivo de elementos metálicos expuestos a condiciones permanentes de saturación.

Estas condiciones evidencian un nivel de agresividad química moderada del agua subterránea, capaz de comprometer la durabilidad y el desempeño de los materiales de cimentación expuestos a condiciones permanentes de saturación.

En consecuencia, las condiciones hidrogeoquímicas identificadas en el área de estudio sustentan técnicamente la necesidad de implementar sistemas de impermeabilización compatibles con ambientes saturados y con presencia de sales disueltas. En este contexto, el uso de mantas de bentonita constituye una alternativa técnicamente viable debido a su baja conductividad hidráulica y capacidad de reducir el ingreso de agua subterránea hacia la cimentación, contribuyendo a la protección de los elementos estructurales frente a procesos de deterioro asociados a condiciones de agresividad química moderada.

3.2. Identificación y evaluación de alternativas de control de filtraciones.

Los resultados presentados en este apartado se obtuvieron a partir del proceso de identificación y evaluación de alternativas de control de filtraciones desarrollado en la sección 2.3.2 de la metodología, considerando las condiciones hidrogeológicas y geotécnicas del área de estudio, caracterizadas por materiales granulares de alta permeabilidad y la presencia de un nivel freático superficial.

La evaluación de las alternativas se sustentó en los resultados hidrogeológicos obtenidos previamente, los cuales evidenciaron la presencia de un acuífero hidráulicamente activo, materiales granulares saturados y condiciones hidrogeológicas que afectan la estabilidad hidráulica y geotécnica del terreno de fundación.

3.2.1. Alternativas de control de filtraciones identificadas

A partir del análisis técnico realizado, se identificaron las siguientes alternativas técnicamente viables para las condiciones hidrogeológicas y geotécnicas del área de estudio:

- Muros pantalla
- Columnas de grava
- Platea de cimentación
- Mantas de bentonita

La selección de estas alternativas se realizó considerando su capacidad para controlar el flujo subterráneo, reducir las filtraciones y mejorar las condiciones hidráulicas y geotécnicas del terreno de fundación bajo condiciones de nivel freático superficial.

Las alternativas identificadas fueron seleccionadas debido a su compatibilidad técnica con las características del subsuelo evaluado, las cuales evidencian materiales granulares de alta permeabilidad, presencia de flujo subterráneo activo y niveles freáticos superficiales que influyen directamente en el comportamiento de la cimentación.

Cada alternativa evaluada actúa mediante mecanismos específicos de control hidráulico y mejoramiento geotécnico, tales como contención del flujo subterráneo, reducción de presiones intersticiales, mejoramiento del drenaje interno e impermeabilización del sistema de cimentación, permitiendo establecer criterios técnicos para evaluar su eficiencia hidráulica, compatibilidad geotécnica y comportamiento frente a las condiciones de saturación presentes en el área de estudio.

La identificación de estas alternativas permitió establecer soluciones técnicamente orientadas a reducir la influencia del agua subterránea sobre el terreno de fundación, priorizando sistemas capaces de controlar el flujo subterráneo, disminuir las filtraciones y mejorar las condiciones de estabilidad

3.2.2. Evaluación comparativa de alternativas

Las alternativas identificadas fueron evaluadas mediante criterios técnicos orientados a evaluar el desempeño hidráulico, geotécnico y constructivo de cada alternativa. Los criterios considerados fueron:

- Eficiencia hidráulica
- Compatibilidad con el suelo
- Facilidad constructiva
- Durabilidad
- Viabilidad técnica–constructiva

- Integración con la cimentación

En la Tabla 9 se presenta la evaluación comparativa de las alternativas de control de filtraciones, la cual permitió identificar la solución más adecuada en función de su desempeño técnico.

Tabla 9

Evaluación comparativa de alternativas.

Criterio	Muro pantalla	Columnas de grava	Platea de cimentación	Manta de bentonita
Eficiencia hidráulica	Alta	Media	Media	Alta
Compatibilidad con el suelo	Alta	Alta	Media	Alta
Facilidad constructiva	Baja	Media	Media	Alta
Durabilidad	Alta	Alta	Alta	Alta
Viabilidad técnica–constructiva	Bajo	Medio	Medio	Alto
Integración con cimentación	Media	Alta	Alta	Alta

La asignación de los niveles de evaluación (Alta, Media y Baja) se realizó mediante criterio técnico comparativo, considerando el comportamiento hidráulico, compatibilidad geotécnica, facilidad constructiva y desempeño esperado de cada alternativa frente a las condiciones hidrogeológicas identificadas en el área de estudio.

La evaluación comparativa de las alternativas se desarrolló mediante un análisis multicriterio cualitativo sustentado en criterios técnicos de ingeniería hidrogeológica y geotécnica, considerando el comportamiento hidráulico del subsuelo, la compatibilidad con las condiciones del terreno, la viabilidad constructiva y la interacción suelo–agua–estructura.

De acuerdo con González de Vallejo (2002), la selección de soluciones geotécnicas debe considerar integralmente las condiciones hidrogeológicas y el comportamiento mecánico del terreno frente a condiciones de saturación. Asimismo, Custodio y Llamas (2001) señalan que la dinámica del flujo subterráneo constituye un factor determinante en la evaluación de medidas de control hidráulico en medios granulares.

En ese contexto, la asignación de las categorías Alta, Media y Baja se realizó mediante criterio técnico interpretativo, considerando el desempeño esperado de cada alternativa frente a las

condiciones hidrogeológicas identificadas en el área de estudio, particularmente en relación con la reducción del flujo subterráneo, control de filtraciones, estabilidad geotécnica y adaptabilidad técnica y constructiva.

Estas categorías representan niveles cualitativos de desempeño técnico y no corresponden a ponderaciones numéricas ni a procesos matemáticos de jerarquización.

Los resultados de la evaluación comparativa evidencian que las mantas de bentonita presentan el mejor desempeño hidráulico y geotécnico integral frente a las condiciones del área de estudio, destacando por su alta eficiencia hidráulica, facilidad constructiva y compatibilidad con materiales granulares saturados y presencia de nivel freático superficial.

La evaluación multicriterio permitió identificar que las mantas de bentonita obtuvieron una calificación predominante de nivel “Alta” en los criterios evaluados, superando a las demás alternativas analizadas. Este resultado se encuentra asociado principalmente a su elevada capacidad de impermeabilización, facilidad de instalación, adaptabilidad a condiciones de nivel freático superficial y compatibilidad con materiales granulares saturados presentes en el área de estudio.

Estos resultados son consistentes con lo señalado por Koerner (2012), quien indica que las mantas de bentonita presentan elevada eficiencia hidráulica en condiciones de saturación debido a su baja conductividad hidráulica y capacidad de auto-sellado frente al flujo subterráneo.

En términos comparativos, los resultados evidencian que las alternativas orientadas principalmente al control hidráulico e impermeabilización presentan un mejor desempeño frente a las condiciones hidrogeológicas identificadas en el área de estudio, en comparación con aquellas enfocadas únicamente en el mejoramiento mecánico del terreno.

3.2.3. Selección de la alternativa técnicamente más adecuada

De acuerdo con los resultados obtenidos en la evaluación comparativa, se determinó que las mantas de bentonita constituyen la alternativa técnicamente más adecuada para el control de filtraciones en el área de estudio.

Esta selección se fundamenta en su elevada eficiencia hidráulica, asociada a su muy baja conductividad hidráulica y capacidad de auto-sellado frente a la presencia de agua, permitiendo reducir significativamente el ingreso de agua subterránea hacia la cimentación.

Asimismo, presentan adecuada compatibilidad con materiales granulares de alta permeabilidad y condiciones de nivel freático superficial, características predominantes en el área de estudio.

Desde el punto de vista constructivo, las mantas de bentonita presentan facilidad de instalación y adaptación a diferentes configuraciones de cimentación, permitiendo su integración con otras medidas de control hidráulico y mejoramiento geotécnico.

De acuerdo con Koerner (2012), las barreras bentoníticas constituyen sistemas altamente eficientes para el control de filtraciones debido a su baja conductividad hidráulica y capacidad de mantener su desempeño hidráulico bajo condiciones de saturación.

En comparación con otras alternativas evaluadas, las mantas de bentonita presentan un mejor desempeño integral para las condiciones hidrogeológicas identificadas en el área de estudio, constituyéndose como la alternativa más adecuada para el control de filtraciones y protección hidráulica de la cimentación. No obstante, su aplicación resulta más eficiente cuando forma parte de una solución integral complementada con medidas de mejoramiento geotécnico y control hidráulico, tales como columnas de grava, muro pantalla y sistemas de cimentación adecuados.

3.2.4. Implicancia en el diseño de la cimentación.

La selección de mantas de bentonita como sistema de control de filtraciones permite reducir significativamente el ingreso de agua subterránea hacia la estructura, disminuyendo las presiones de poro y mejorando las condiciones de estabilidad del terreno de fundación.

Asimismo, su implementación contribuye a:

- Limitar la interacción directa entre el agua subterránea y los elementos estructurales.
- Disminuir la interacción entre el agua subterránea mineralizada y los elementos estructurales expuestos a condiciones permanentes de saturación.
- Incrementar la durabilidad y el desempeño hidráulico de la cimentación frente a condiciones de saturación permanente.

En consecuencia, el uso de mantas de bentonita constituye una solución técnicamente viable y compatible con las condiciones hidrogeológicas del área de estudio, permitiendo reducir el ingreso de agua subterránea hacia la cimentación, mejorar las condiciones de estabilidad hidráulica y geotécnica del terreno de fundación y contribuir a la durabilidad y desempeño del sistema de cimentación en el largo plazo.

3.3. Evaluación del uso de mantas de bentonita como solución impermeabilizante.

Los resultados presentados en este apartado se obtuvieron a partir de la evaluación del uso de mantas de bentonita desarrollada en la sección 2.3.3 de la metodología, complementados con el modelamiento numérico del flujo subterráneo desarrollado en las secciones 2.3.4 y 2.3.5.

La evaluación se realizó considerando las condiciones hidrogeológicas identificadas en el área de estudio, caracterizadas por la presencia de un nivel freático superficial, materiales granulares saturados de alta permeabilidad y flujo subterráneo activo, factores que influyen directamente en condiciones de estabilidad hidráulica y comportamiento geotécnico del terreno de fundación.

En este contexto, el análisis permitió evaluar la eficiencia hidráulica de las mantas de bentonita como sistema de impermeabilización, considerando su capacidad para reducir el ingreso de agua subterránea hacia la cimentación, disminuir las presiones intersticiales y mejorar las condiciones de estabilidad del terreno bajo condiciones de saturación.

De acuerdo con Koerner (2012), las mantas de bentonita presentan baja conductividad hidráulica y capacidad de auto-sellado frente a condiciones de saturación, características que favorecen su aplicación como barreras hidráulicas en terrenos con presencia de flujo subterráneo activo.

Asimismo, la evaluación permitió analizar la interacción entre el sistema impermeabilizante y el comportamiento del flujo subterráneo mediante modelamiento numérico, permitiendo interpretar la influencia de las mantas de bentonita sobre la reducción de filtraciones, el control hidráulico del terreno y la mejora de las condiciones de estabilidad del sistema de cimentación bajo condiciones de nivel freático superficial.

3.3.1. Condiciones del modelo hidrogeológico

El modelamiento numérico del flujo subterráneo se desarrolló a partir de un modelo hidrogeológico conceptual representativo de las condiciones del área de estudio, considerando la geometría del terreno, configuración del sistema de cimentación y del sistema de impermeabilización propuesto.

Figura 33

Dominio hidrogeológico conceptual del modelo numérico con la solución impermeabilizante propuesta.



El modelo incorporó un nivel freático representativo de las condiciones hidrogeológicas del área de estudio. Si bien el nivel freático promedio determinado mediante trabajos de campo fue de aproximadamente 1.93 m de profundidad, para el modelamiento numérico se adoptó un nivel freático de 0.90 m, correspondiente a la condición más desfavorable registrada durante la caracterización hidrogeológica del sitio.

Esta condición se sustentó en las variaciones observadas del nivel freático reportadas en el estudio hidrogeológico, donde se identificaron profundidades comprendidas entre 0.90 m y 2.10 m. En consecuencia, la profundidad de 0.90 m fue considerada como un escenario crítico de saturación, asociado a procesos de recarga temporal del acuífero, incremento estacional del nivel freático y condiciones locales de mayor saturación del terreno.

La utilización de un nivel freático de 0.90 m permitió analizar el comportamiento del sistema bajo una condición de máxima influencia hidráulica, representando un escenario crítico de saturación que garantiza una evaluación conservadora de la estabilidad del terreno de fundación. Este criterio es ampliamente utilizado en estudios hidrogeológicos y geotécnicos para verificar el desempeño de las soluciones propuestas frente a las condiciones más desfavorables que podrían presentarse durante la vida útil de la estructura.

Asimismo, el modelo incorporó los parámetros hidráulicos obtenidos a partir de las pruebas de bombeo y la caracterización hidrogeológica desarrollada en campo, tales como la conductividad

hidráulica, transmisividad y coeficiente de almacenamiento, los cuales fueron utilizados para representar el comportamiento hidráulico del acuífero dentro del modelo numérico.

Se definieron condiciones de contorno hidráulico representativas de las zonas de recarga y descarga del acuífero, permitiendo reproducir el gradiente hidráulico y el comportamiento del flujo subterráneo en el área de estudio.

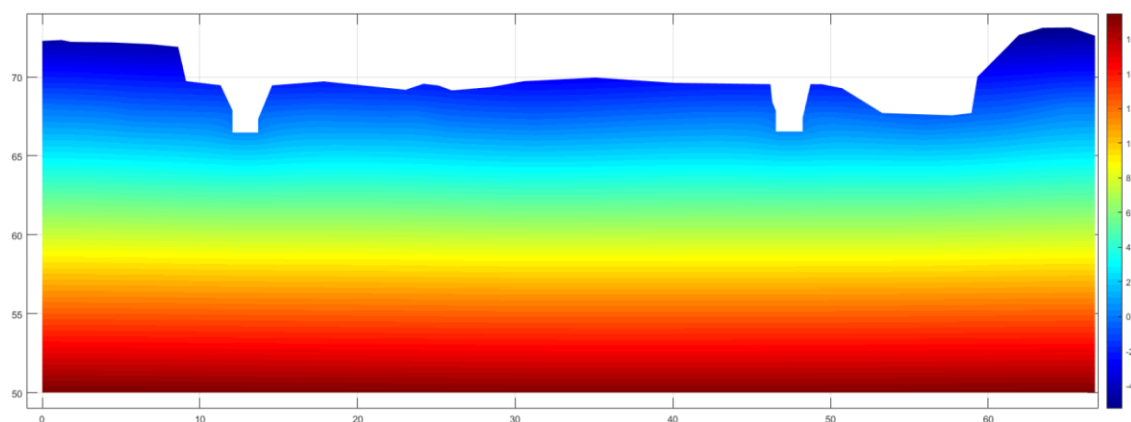
Finalmente, el dominio del modelo fue discretizado mediante una malla de elementos finitos, permitiendo simular la interacción suelo–agua–estructura bajo condiciones representativas del área de estudio y evaluar el comportamiento hidráulico y geotécnico del sistema frente a escenarios críticos de saturación y flujo subterráneo.

3.3.2. Comportamiento hidráulico del sistema suelo–agua mediante modelamiento numérico.

El modelamiento permitió analizar la distribución de las alturas piezométricas en el subsuelo, evidenciando la presencia de un sistema de flujo subterráneo con comportamiento hidráulicamente activo en la zona de cimentación.

Figura 34

Distribución de alturas piezométricas obtenidas mediante modelamiento numérico.



Para efectos de evaluación conservadora, el modelamiento consideró un escenario crítico representativo de condiciones desfavorables de saturación, con la finalidad de analizar el comportamiento hidráulico del sistema frente a posibles incrementos temporales del nivel freático.

La distribución cromática obtenida en el modelo representa la variación espacial de las cargas hidráulicas en el subsuelo, donde las zonas con mayores valores piezométricos evidencian condiciones de mayor saturación y potencial hidráulico dentro del sistema acuífero.

Se identifican gradientes hidráulicos que indican la dirección preferencial del flujo subterráneo hacia zonas de menor carga hidráulica, lo que confirma la interacción hidráulica entre el acuífero superficial y el sistema de cimentación proyectado.

Este comportamiento evidencia que el nivel freático influye directamente en el comportamiento hidráulico del flujo subterráneo, generando condiciones favorables para el ingreso de flujo subterráneo hacia la zona de cimentación.

De acuerdo con Custodio y Llamas (2001), las diferencias de carga hidráulica en acuíferos granulares generan gradientes hidráulicos que controlan la dirección y magnitud del flujo subterráneo dentro del medio poroso.

Los resultados del modelamiento evidencian que las alturas piezométricas presentan una distribución continua dentro del dominio analizado, confirmando la existencia de un sistema hidráulicamente activo en interacción directa con la zona de cimentación. La presencia de gradientes hidráulicos confirma que el flujo subterráneo mantiene una circulación permanente dentro del medio granular, condición que favorece procesos de infiltración y saturación en el terreno de fundación.

Desde el punto de vista geotécnico, estas condiciones hidráulicas favorecen el incremento de las presiones intersticiales y la reducción de los esfuerzos efectivos del suelo, afectando directamente la estabilidad hidráulica y geotécnica del terreno de fundación.

Estas condiciones favorecen procesos de infiltración continua hacia la cimentación, especialmente en escenarios de nivel freático superficial y materiales granulares saturados de alta permeabilidad.

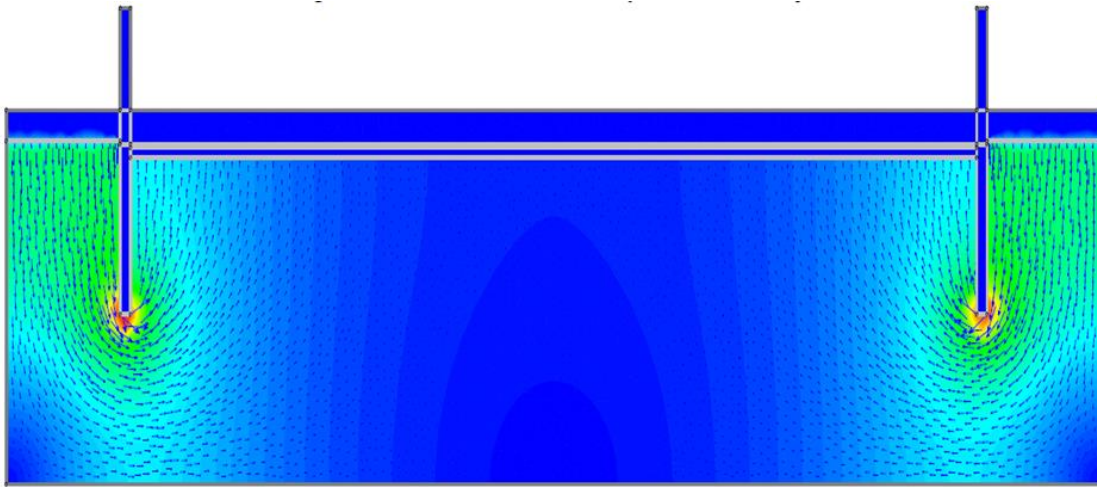
En consecuencia, los resultados del modelamiento numérico evidencian que las condiciones hidrogeológicas presentes en el área de estudio generan una influencia directa del flujo subterráneo sobre el terreno de fundación, favoreciendo procesos de infiltración y saturación que afectan las condiciones de estabilidad hidráulica y geotécnica del sistema. Bajo estas condiciones, resulta necesaria la implementación de sistemas de impermeabilización orientados a controlar el ingreso de agua subterránea hacia la cimentación y mejorar el comportamiento del terreno frente a escenarios críticos de saturación.

3.3.3. Análisis del flujo subterráneo

El análisis del flujo subterráneo permitió identificar la dirección preferencial y magnitud del movimiento del agua subterránea.

Figura 35

Distribución de líneas de flujo y velocidades del agua subterránea obtenidas mediante modelamiento numérico.



La distribución de vectores de velocidad y líneas de flujo obtenida en el modelo evidencia la dirección preferencial del movimiento del agua subterránea y las zonas de mayor concentración hidráulica alrededor de la cimentación, donde se presentan mayores velocidades de circulación del agua subterránea.

Los resultados evidencian una convergencia de las líneas de flujo hacia la zona de excavación, lo que indica que la estructura actúa como una zona de concentración del flujo subterráneo.

Asimismo, se observa un incremento de la velocidad del flujo en las proximidades de la cimentación, alcanzando valores aproximados del orden de 0.8 m/día, lo que confirma la existencia de un flujo subterráneo hidráulicamente activo y con capacidad de influir directamente sobre las condiciones de estabilidad del terreno de fundación.

La convergencia de las líneas de flujo hacia la zona de cimentación evidencia la existencia de un efecto de concentración hidráulica asociado a la presencia de la excavación. De acuerdo con Custodio y Llamas (2001), los gradientes hidráulicos controlan la dirección y magnitud del flujo

subterráneo dentro de medios porosos, favoreciendo la circulación del agua hacia zonas de menor carga hidráulica. En el presente caso, esta condición explica la tendencia del flujo a dirigirse hacia la zona intervenida, incrementando el potencial de infiltración y saturación del terreno.

Este comportamiento está asociado a la presencia de gradientes hidráulicos que favorecen la circulación del flujo subterráneo hacia zonas de menor carga, generando condiciones críticas para la estabilidad hidráulica y geotécnica del terreno de fundación.

Estas condiciones favorecen procesos continuos de infiltración y saturación del terreno, especialmente en sectores cercanos a la cimentación donde se concentran mayores gradientes hidráulicos.

De acuerdo con Sánchez San Román (2012), en medios granulares de alta permeabilidad el flujo subterráneo presenta una rápida respuesta frente a diferencias de carga hidráulica, favoreciendo procesos de infiltración y circulación continua del agua en el subsuelo.

En consecuencia, el flujo subterráneo representa un factor crítico para el comportamiento hidráulico y geotécnico del terreno de fundación, debido a que favorece el ingreso de agua subterránea, el incremento de las presiones intersticiales y la reducción de los esfuerzos efectivos del suelo, afectando directamente las condiciones de estabilidad de la cimentación.

La interpretación conjunta de las alturas piezométricas y las líneas de flujo confirma que el agua subterránea ejerce una influencia directa sobre las condiciones hidráulicas y geotécnicas del terreno de fundación. En consecuencia, la implementación de sistemas de impermeabilización y control de filtraciones permite reducir el ingreso de agua hacia la cimentación, disminuir las presiones intersticiales y mejorar las condiciones de estabilidad hidráulica y geotécnica del sistema suelo–estructura. Este comportamiento resulta consistente con lo señalado por Das (2012), quien indica que la reducción de las presiones de poro favorece el incremento de los esfuerzos efectivos y mejora la capacidad resistente del terreno.

3.3.4. Evaluación hidráulica del uso de mantas de bentonita como sistema impermeabilizante

Los resultados evidencian que las mantas de bentonita constituyen una alternativa técnicamente eficiente para el control de filtraciones en materiales granulares saturados de alta permeabilidad.

Su comportamiento se basa en la capacidad de expansión del material al entrar en contacto con el agua, lo que permite la formación de una barrera impermeabilizante de muy baja conductividad hidráulica.

Como resultado de este comportamiento hidráulico, las mantas de bentonita permiten reducir significativamente los procesos de infiltración, limitar el ingreso de agua subterránea hacia la cimentación y conformar un sistema continuo de impermeabilización orientado a mejorar las condiciones de estabilidad hidráulica y geotécnica del terreno de fundación.

Asimismo, su capacidad de auto-sellado frente a discontinuidades permite mantener la continuidad hidráulica del sistema impermeabilizante y reducir el riesgo de filtraciones localizadas incluso bajo condiciones de variación del nivel freático.

De acuerdo con Koerner (2012), las mantas de bentonita presentan elevada eficiencia hidráulica debido a su baja conductividad hidráulica y capacidad de expansión frente al contacto con el agua, características que favorecen su aplicación como barreras impermeabilizantes en terrenos con presencia de flujo subterráneo hidráulicamente activo.

Los resultados obtenidos mediante el modelamiento numérico evidencian que la incorporación de mantas de bentonita contribuye a reducir la influencia del flujo subterráneo sobre la cimentación, favoreciendo mejores condiciones de estabilidad hidráulica y geotécnica frente a escenarios críticos de saturación.

Desde el punto de vista geotécnico, la reducción del ingreso de agua subterránea contribuye a disminuir las presiones intersticiales y mejorar las condiciones de estabilidad hidráulica y comportamiento mecánico del terreno de fundación frente a escenarios de saturación permanente, contribuyendo a mejorar el desempeño hidráulico y estructural de la cimentación en el largo plazo.

3.3.5. Validación hidráulica del desempeño de las mantas de bentonita mediante modelamiento numérico

El modelamiento numérico permitió evaluar y validar técnicamente la viabilidad y eficiencia hidráulica del sistema de control de filtraciones implementado.

Los resultados muestran que, en ausencia de medidas de control, el flujo subterráneo presenta zonas de concentración hidráulica en el entorno de la cimentación, generando condiciones desfavorables para la estabilidad del terreno.

La incorporación de mantas de bentonita permite reducir la intensidad del flujo subterráneo, disminuir las presiones intersticiales y mejorar la distribución de cargas hidráulicas en el subsuelo, favoreciendo mejores condiciones de estabilidad hidráulica en el entorno de la cimentación. De acuerdo con Das (2012), la reducción de las presiones de poro favorece el incremento de los esfuerzos efectivos del suelo y mejora su comportamiento mecánico frente a cargas estructurales.

De acuerdo con Koerner (2012), las barreras bentoníticas permiten reducir significativamente la conductividad hidráulica del sistema suelo-agua, favoreciendo el control del flujo subterráneo y la disminución de procesos de infiltración hacia estructuras de cimentación expuestas a condiciones de saturación.

En consecuencia, el modelamiento numérico permitió validar técnicamente que la implementación de mantas de bentonita constituye una medida efectiva para el control de filtraciones en el área de estudio, al reducir la influencia del flujo subterráneo sobre la cimentación, disminuir las presiones intersticiales y mejorar las condiciones de estabilidad hidráulica y geotécnica del terreno frente a escenarios críticos de saturación. Estos resultados respaldan la viabilidad técnica de la solución propuesta y su aplicación como parte de un sistema integral de protección de la cimentación.

3.3.6. Implicancia en la estabilidad de la cimentación

La reducción del flujo subterráneo y de las presiones intersticiales permite incrementar los esfuerzos efectivos del suelo, favoreciendo mejores condiciones de capacidad portante y reduciendo el riesgo de asentamientos.

De acuerdo con Das (2012), la disminución de las presiones intersticiales en suelos saturados favorece el incremento de los esfuerzos efectivos, mejorando las condiciones de resistencia y estabilidad del terreno de fundación.

Asimismo, la implementación de mantas de bentonita permite limitar la infiltración de agua subterránea hacia la estructura, reducir la interacción directa entre el agua y los elementos de cimentación e incrementar la durabilidad del sistema frente a condiciones permanentes de saturación.

Los resultados obtenidos mediante el modelamiento numérico evidencian que la reducción del flujo subterráneo contribuye directamente a mejorar las condiciones hidráulicas del terreno y disminuir la influencia del agua subterránea sobre la cimentación.

La interpretación conjunta de los resultados hidrogeológicos, hidrogeoquímicos y del modelamiento numérico permitió validar técnicamente la solución propuesta, evidenciando que el control del flujo subterráneo constituye un factor determinante para mejorar las condiciones de estabilidad hidráulica y geotécnica del terreno de fundación.

En consecuencia, el uso de mantas de bentonita constituye una solución técnicamente viable y eficiente para el control de filtraciones en el área de estudio, permitiendo controlar la influencia del agua subterránea sobre el terreno de fundación, disminuir las presiones intersticiales, incrementar los esfuerzos efectivos y garantizar mejores condiciones de estabilidad hidráulica, comportamiento geotécnico y desempeño estructural de la cimentación en el largo plazo.

CONCLUSIONES

1. Los resultados obtenidos mediante las pruebas de bombeo y la caracterización hidrogeológica permitieron determinar que el acuífero presente en el área de estudio constituye un sistema hidráulicamente activo desarrollado en materiales granulares de alta permeabilidad, con valores de conductividad hidráulica comprendidos entre 24.03×10^{-4} y 25.27×10^{-4} m/s y transmisividades de hasta 0.91×10^{-2} m²/s, evidenciando una elevada capacidad de circulación y transmisión del flujo subterráneo.
2. Se determinó que la presencia de un nivel freático superficial, ubicado a una profundidad promedio de 1.93 m, influye directamente en las condiciones de estabilidad hidráulica y geotécnica del terreno de fundación, debido al incremento de las presiones intersticiales y la reducción de los esfuerzos efectivos del suelo, comprometiendo la capacidad portante y la resistencia mecánica del terreno.
3. El modelamiento numérico del flujo subterráneo permitió identificar la convergencia de las líneas de flujo hacia la zona de cimentación y el incremento de la velocidad del agua en las proximidades de la excavación, confirmando la influencia directa del agua subterránea sobre el comportamiento hidráulico del terreno de fundación.
4. La evaluación comparativa de alternativas de control de filtraciones permitió establecer que las mantas de bentonita constituyen el sistema de impermeabilización técnicamente más adecuado para las condiciones hidrogeológicas del área de estudio, debido a su baja conductividad hidráulica, capacidad de auto-sellado y compatibilidad con materiales granulares saturados. Asimismo, se determinó que su aplicación resulta más eficiente cuando forma parte de un sistema integral complementado con medidas de control hidráulico y mejoramiento geotécnico.
5. Se determinó que la implementación de mantas de bentonita integradas a un sistema de cimentación adecuado contribuye a reducir la influencia del flujo subterráneo y las presiones intersticiales sobre el terreno de fundación, favoreciendo el incremento de los esfuerzos efectivos y mejorando las condiciones de estabilidad hidráulica, comportamiento geotécnico y desempeño estructural de la cimentación en el largo plazo.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la implementación de mantas de bentonita en proyectos desarrollados en zonas con nivel freático superficial y materiales granulares de alta permeabilidad, asegurando una adecuada instalación del sistema impermeabilizante, especialmente en traslapes, sellado de juntas y encuentros constructivos, con la finalidad de garantizar su continuidad hidráulica y eficiencia en el control de filtraciones.
2. Se recomienda complementar el sistema impermeabilizante con drenajes perimetrales y sistemas de contención hidráulica orientados a controlar el flujo subterráneo y disminuir las presiones intersticiales alrededor de la cimentación.
3. Se recomienda realizar el monitoreo periódico del nivel freático durante las etapas de construcción y operación del proyecto, con la finalidad de evaluar el comportamiento hidrogeológico del terreno y verificar el desempeño del sistema de control de filtraciones implementado.
4. Se recomienda considerar el uso de modelamiento numérico como herramienta de apoyo en proyectos desarrollados bajo condiciones hidrogeológicas complejas, debido a que permite evaluar escenarios de flujo subterráneo, analizar condiciones críticas de saturación y optimizar el diseño de sistemas de cimentación y control hidráulico.
5. Se recomienda evaluar periódicamente las características hidrogeoquímicas del agua subterránea durante el diseño y operación de estructuras enterradas, especialmente en relación con las concentraciones de sulfatos, cloruros y otros compuestos disueltos que puedan afectar la durabilidad del concreto y la protección de elementos metálicos expuestos a condiciones permanentes de saturación, con la finalidad de garantizar la vida útil y desempeño adecuado de la infraestructura.
6. Se recomienda establecer procedimientos y protocolos específicos para la instalación de mantas de bentonita durante las etapas constructivas, asegurando su adecuada protección frente a daños mecánicos ocasionados por actividades de excavación, armado de acero y vaciado de concreto, con la finalidad de garantizar la continuidad del sistema impermeabilizante y evitar filtraciones futuras hacia la cimentación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso, E. E. (2014). *Mejora del terreno mediante columnas de grava: Principios y aplicaciones*. Editorial Tébar.
- Anderson, M. P., Woessner, W. W., y Hunt, R. J. (2015). *Applied groundwater modeling: Simulation of flow and advective transport* (2nd ed.). Academic Press.
- Appelo, C. A. J., y Postma, D. (2005). *Geochemistry, groundwater and pollution* (2nd ed.). CRC Press.
- Brinkgreve, R. B. J., Kumarswamy, S., Swolfs, W. M., Foria, F., Waterman, D., Chesaru, A., Bonnier, P. G., y den Eijnden, A. van. (2020). *PLAXIS 2D reference manual*. Bentley Systems.
- Camargo García, D. B., y Zapata Vera, N. S. (2017). *Evaluación de la reducción del potencial de licuefacción usando la metodología de análisis de Seed & Idriss sobre ensayos de SPT realizados en el suelo arenoso del proyecto Outlet Premium Lurín mejorado con pilas de grava compactada* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas].
- Custodio, E., y Llamas, M. R. (2001). *Hidrología subterránea* (2.^a ed.). Omega.
- Das, B. M. (2012). *Principles of foundation engineering* (8th ed.). Cengage Learning.
- Falla Rufasto, P. C. (2021). *Propuesta de mejoramiento de suelos licuables mediante el uso de columnas de grava en áreas portuarias – Puerto del Callao* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas].
- Ferrer, M. (2010). *Geotecnia y cimientos II: cimentaciones, excavaciones y aplicaciones de la geotecnia*. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- González de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., y Oteo, C. (2002). *Ingeniería geológica*. Pearson Educación.
- Gutiérrez, M. (2008). *Geomorfología*. Pearson Educación.
- Koerner, R. M. (2012). *Designing with geosynthetics* (6th ed.). Xlibris Corporation.
- Loke, M. H. (2004). *Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys*. Geotomo Software.
- MAPEI. (2020). *Ficha técnica de sistema de impermeabilización con manta bentónica*. MAPEI Perú.
- Potts, D. M., y Zdravković, L. (1999). *Finite element analysis in geotechnical engineering: Theory* (Vol. 1). Thomas Telford Publishing.
- Reynolds, J. M. (2011). *An introduction to applied and environmental geophysics* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.
- Sánchez San Román, F. J. (2012). *Hidrología e hidrogeología*. Universidad de Salamanca.
- Yepes, V. (2016). *Cimentaciones profundas: pilotes y pantallas*. Universidad Politécnica de València.

ANEXOS

ANEXO A

PANEL FOTOGRÁFICO DE LOS

TRABAJO DE CAMPO

Figura 1

Inventario de Pozo



Figura 2

Medición de niveles de agua subterránea.



Figura 3

Prueba De Bombeo-Pozo 01



Figura 4

Prueba De Bombeo-Pozo 02



Figura 5

Prueba De Bombeo-Pozo 03



Figura 6

Nivel Freatico -Pozo 03



Figura 7

Tomografía Eléctrica-01-AA'



Figura 8

Tomografía Eléctrica-02-BB'



Figura 9

Tomografía Eléctrica-03-CC'



Figura 10

Tomografía Eléctrica-04-DD'



Figura 11

Toma de muestra del pozo 1



Figura 12

Toma de muestra del pozo 2



Figura 13

Toma de muestra del pozo 3



ANEXO B

RESULTADOS DE TOMOGRAFÍA

ELÉCTRICA (ERT)

Línea tomográfica TE-01-AA



Línea tomográfica TE-02-BB



Línea tomográfica TE-03-CC



Línea tomográfica TE-04-DD



ANEXO C
RESULTADOS DE ANÁLISIS
HIDROGEOQUÍMICO

Figura 18

Informe de ensayo físico-químico del agua subterránea correspondiente al Pozo 01.



Figura 19

Informe de ensayo físico-químico del agua subterránea correspondiente al Pozo 02.



INFORME DE ENSAYO - AGUA



Nº de Referencia: A-23/082617 Análisis: A-PR-0001 (Físicoquímico) Tipo Muestra: AGUA RIEGO	Registrada en: AGQ Perú Centro Análisis: AGQ Perú Fecha/Hora: 10/06/2023 09:00 Muestreo: 07/07/2023 Fecha Inicio: 07/07/2023	Fecha Recepción: 04/07/2023 Fecha Fin: 11/07/2023 Contrato: QMT-PE23060 0838
Lugar de Muestreo: AV. MARISCAL VENAVIDES LOTE 01, DISTRITO SAN VICENTE DE CAÑETE, PROVINCIA DE CAÑETE, DEPARTAMENTO DE LIMA		
Punto de Muestreo: LOTE MINISTERIO PUBLICO POZO - 02		
Muestreado por: *Cliente (*) Coordenadas x,y: -76,3590609799083 -13,067468407013 Descripción(*): LOTE MINISTERIO PUBLICO POZO - 02 Cliente (*): Cesar Lufonzo		
Cliente 3R(*): --- Domicilio (*): LIMA-PERÚ LIMA		

PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Parámetro	Resultado	Unidades	Muy Bajo	Bajo	Normal	Alto	Muy Alto	Técnica	PNT	
Conductividad Eléctrica	1 930	µS/cm a 25 °C							Electrometría	PEC-002
pH	7,53								Potenciometría pH	PEC-001

CATIONES +

Parámetro	mg/L	meq/L	Muy Bajo	Bajo	Normal	Alto	Muy Alto	Técnica	PNT	
Calcio	261	13,0							Espect ICP-OES	PEC-009
Magnesio	28,5	2,35							Espect ICP-OES	PEC-009
Potasio	4,39	0,11							Espect ICP-OES	PEC-009
Sodio	168	7,30							Espect ICP-OES	PEC-009

ANIONES -

Parámetro	mg/L CO3H-	meq/L	Muy Bajo	Bajo	Normal	Alto	Muy Alto	Técnica	PNT	
Alcalinidad	276	4,52							Electrometría	PEC-011
Cloruros	173	5							Analizador de Flujo Cont	PE-336
Nitratos	16,5	0,27							Análisis Flujo Segmentado	PE-336
Sulfatos	536	11,2							Espect ICP-OES	PEC-009

METALES

Parámetro	Resultado	Unidades	Muy Bajo	Bajo	Normal	Alto	Muy Alto	Técnica	PNT	
Hierro	< 0,05	mg/L							Espect ICP-OES	PEC-009
Boro	0,64	mg/L							Espect ICP-OES	PEC-009
Cobre	< 0,05	mg/L							Espect ICP-OES	PEC-009
Manganeso	< 0,05	mg/L							Espect ICP-OES	PEC-009
Zinc	< 0,05	mg/L							Espect ICP-OES	PEC-009

NOTA:
 Nota: L.C.: Límite de Cuantificación, SP: sólo parental. Los resultados emitidos no han sido corregidos con valores de recuperación. Puede solicitar las incertidumbres, cuando estas no aparezcan en el informe.
 N/L: No Legislado.
 (*) Ensayo No cubierto por la Acreditación n° TL-502 emitida por IAS.

OBSERVACIONES ():**
 Estudio de aguas subterráneas con fines de cimentación.

FECHA EMISIÓN: 12/07/2023



Leandro Crivillero Amancio

Figura 20

Informe de ensayo físico-químico del agua subterránea correspondiente al Pozo 03.



ANEXO D

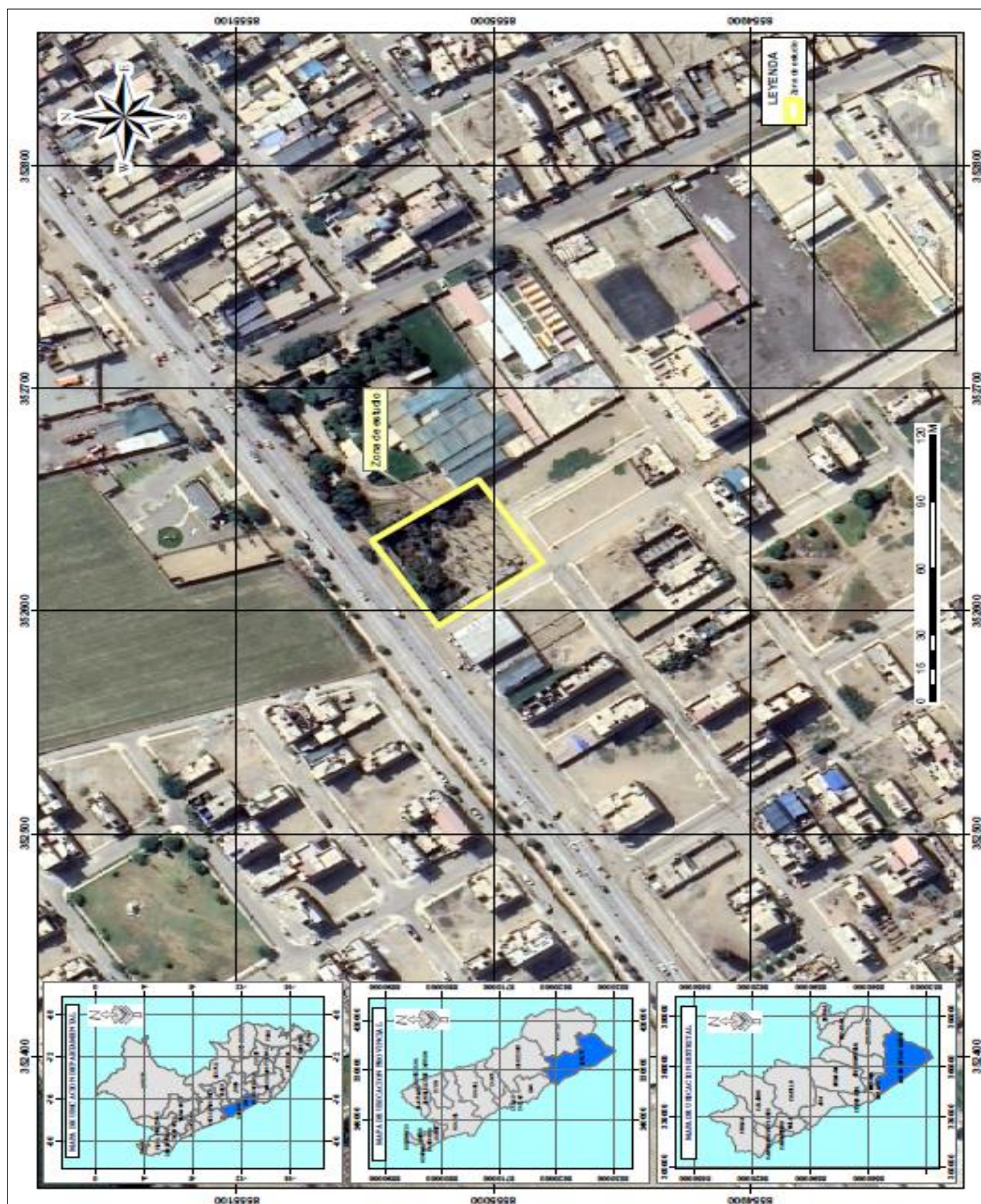
MAPAS DE UBICACIÓN, INVENTARIO

DE POZOS Y CARACTERIZACIÓN

HIDROGEOLÓGICA

Figura 21

Mapa de ubicación de la zona de estudio



Mapa de ubicación del inventario de pozos



Figura 23

Plano clave de secciones hidrológicas



Planta y perfil hidrogeológico del Eje 01



Figura 25
 Planta y perfil hidrogeológico del Eje 02

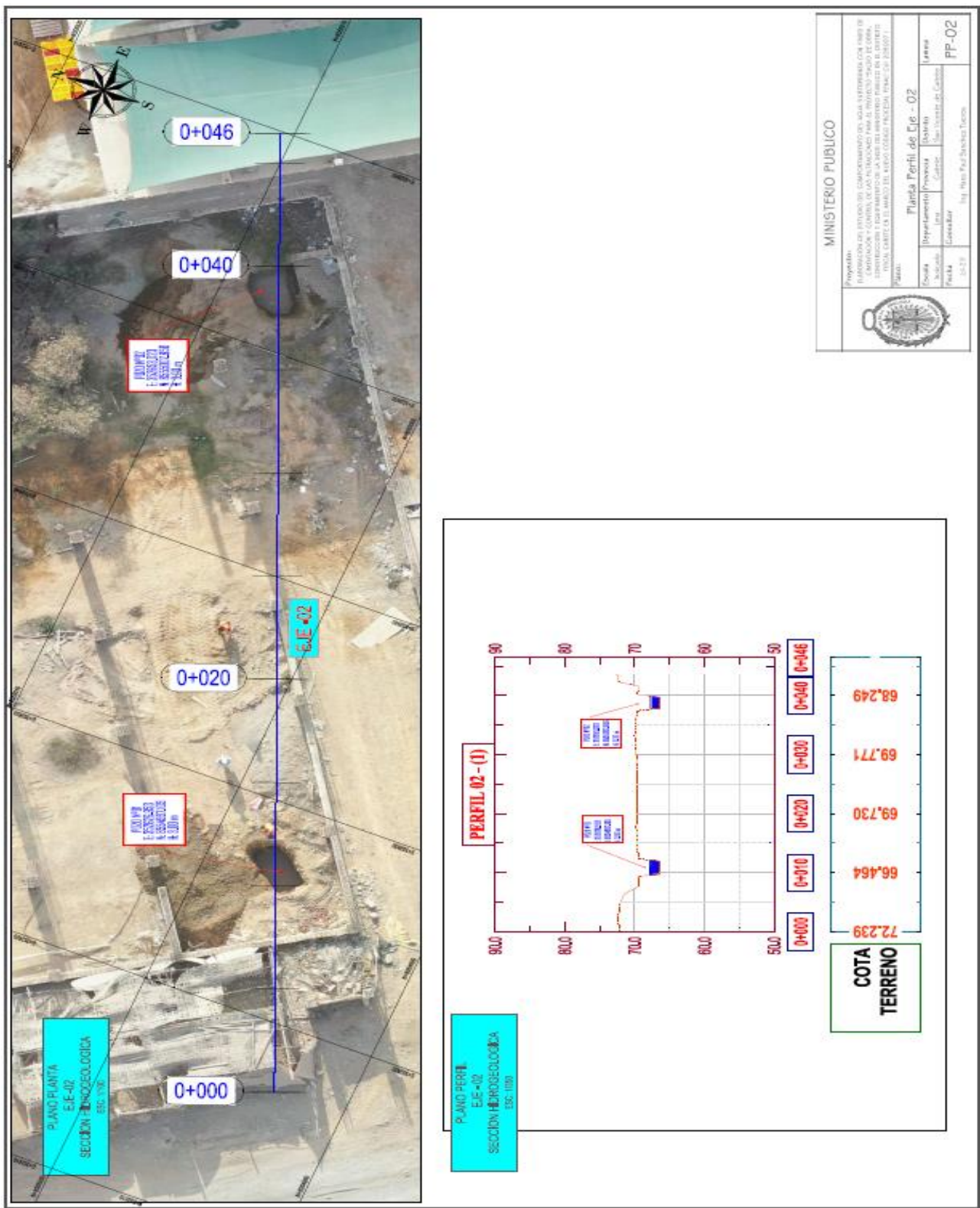
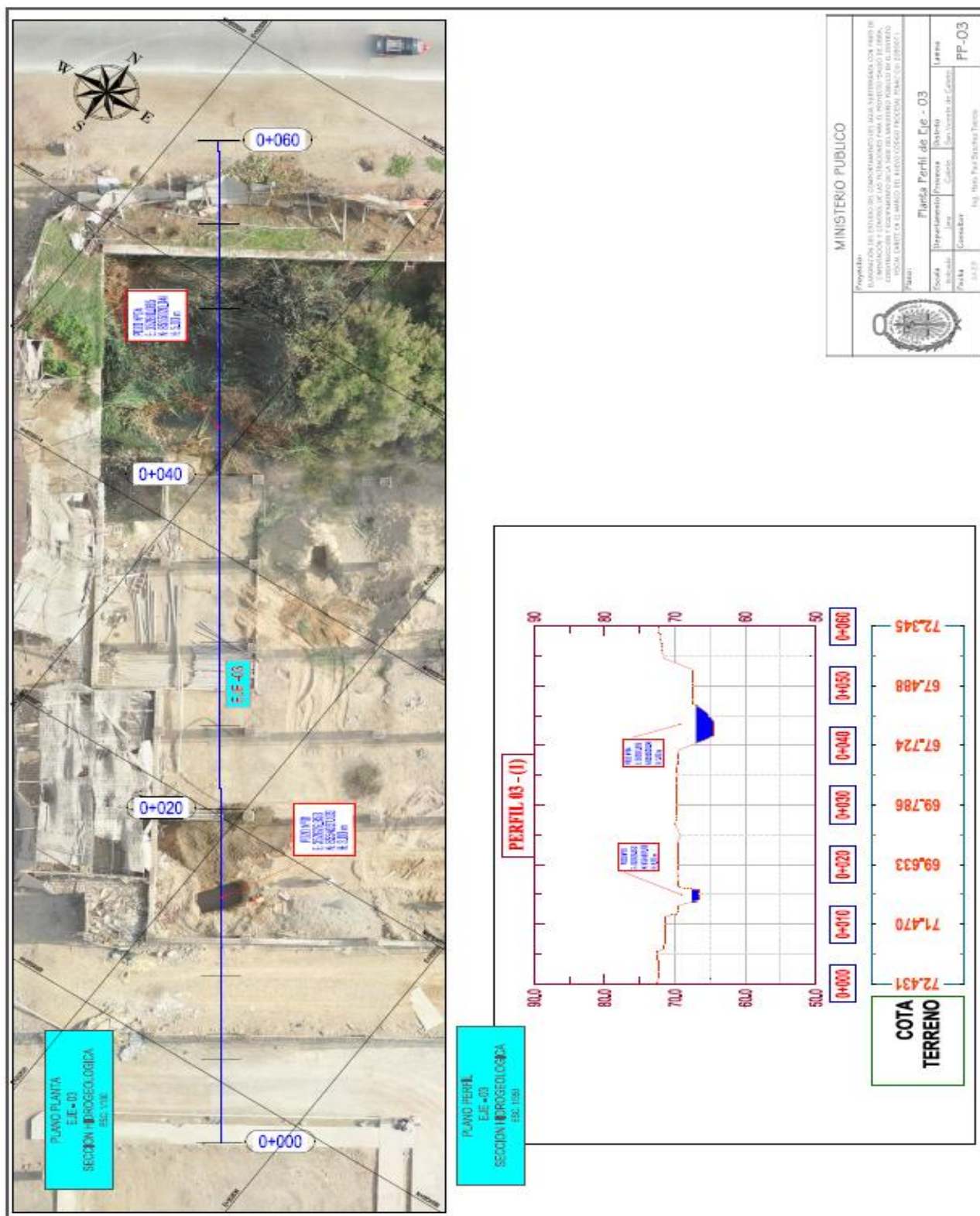


Figura 26

Planta y perfil hidrogeológico del Eje 03



Planta y perfil hidrogeológico del Eje 04



Planta y perfil hidrogeológico del Eje 05



Planta y perfil hidrogeológico del Eje 06



ANEXO E

PROPUESTA TÉCNICA DE CONTROL DE

FILTRACIONES

Plano de planta de detalle de distribución de columna de grava



Plano de perfil de la propuesta solucion



Figura 32
 Plano de detalle de distribución de columna de grava

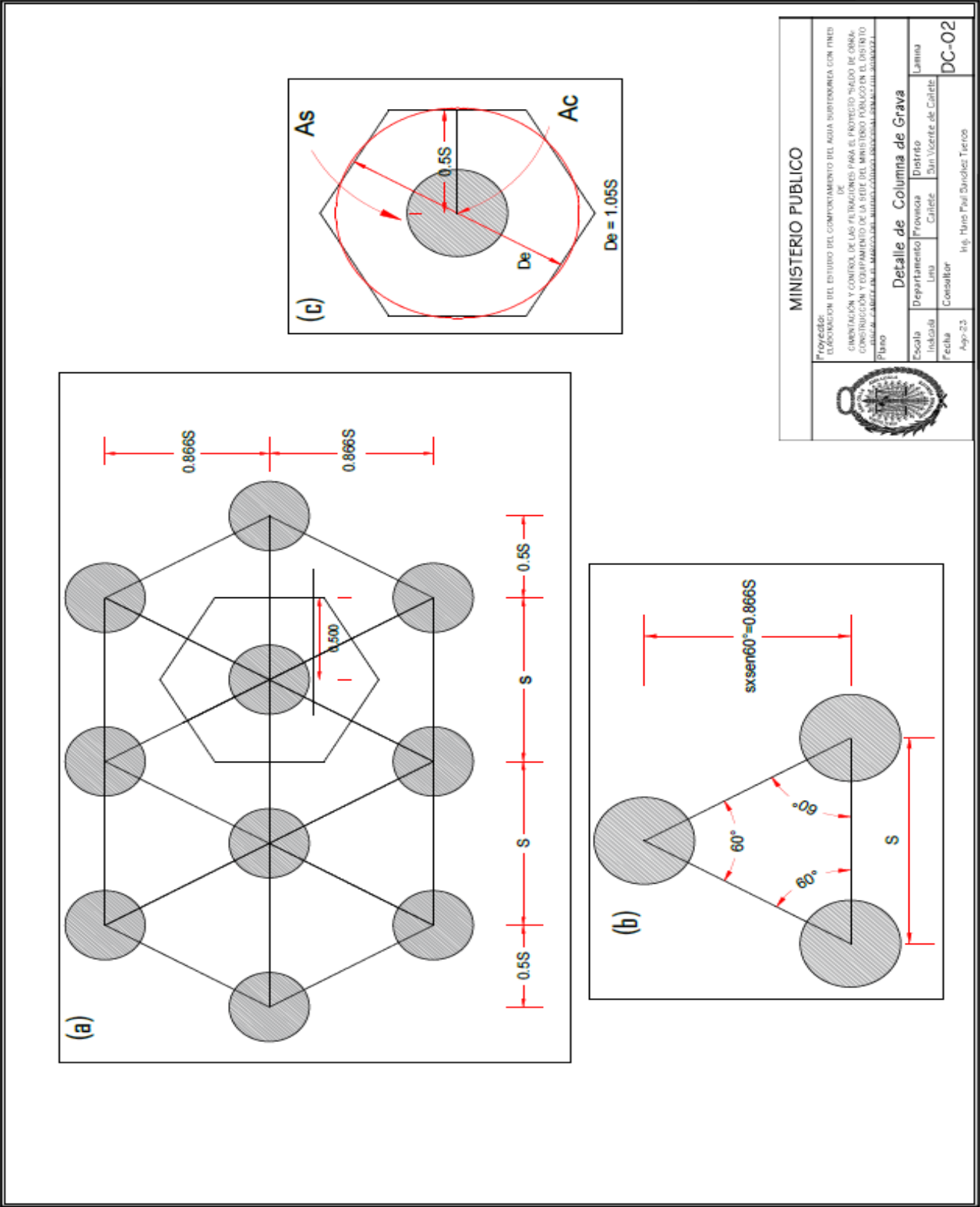
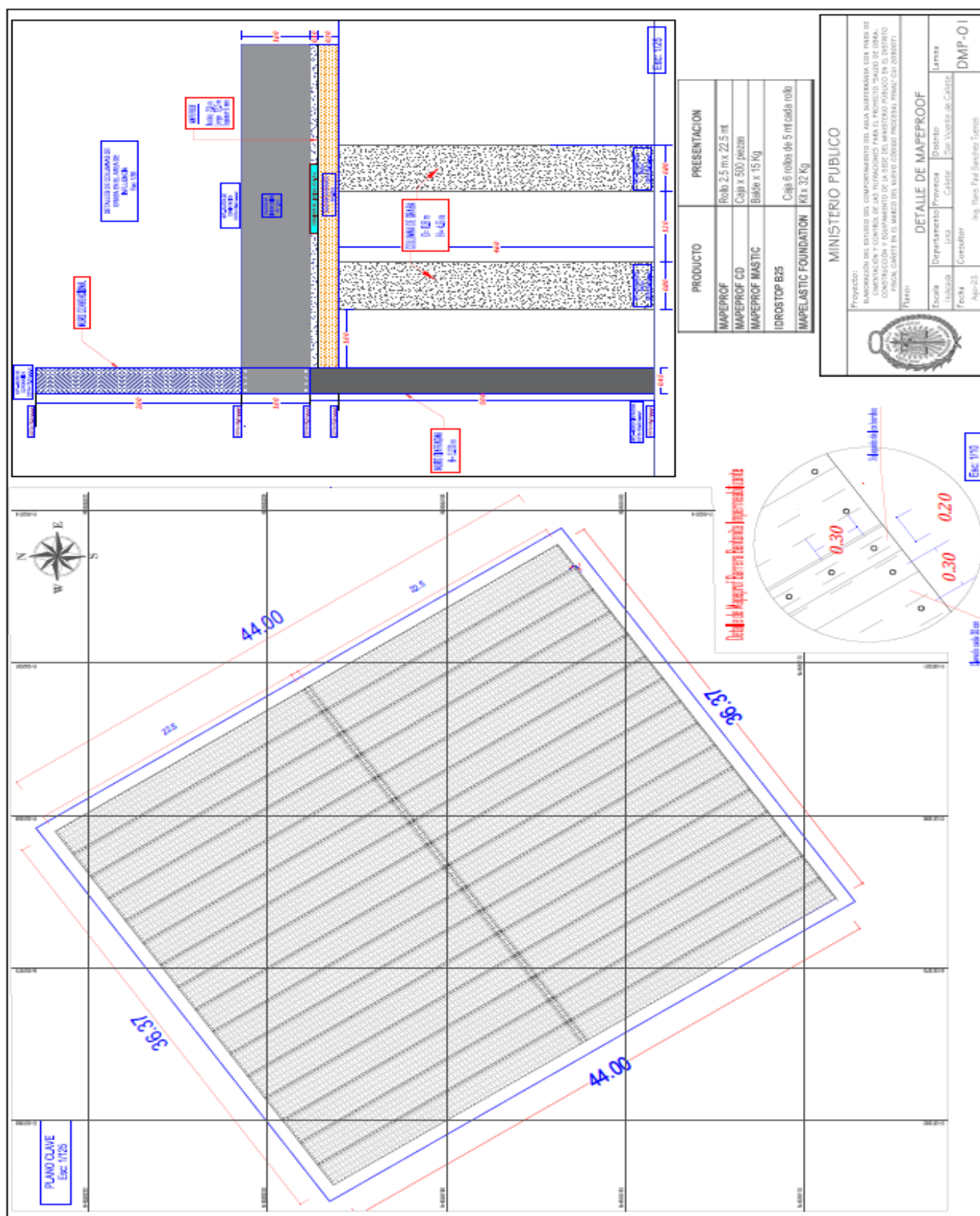


Figura 33

Plano de detalle de colocación de mantas de bentonita



ANEXO F
ESTUDIO DE
MECÁNICA DE SUELOS

FPT EIRL 	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS	DOCUMENTO: FPT-00140/2023	000912 Rev. 0
	SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACIÓN DEL INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN: "CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL"	FECHA: DIC 2023	
		ORIGINADO POR: FPT	

SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACIÓN DEL INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN: "CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL"



LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PAUCAR TITO EIRL


Federico Pascual Paucar Tito
ING CIVIL Reg. CIP 44210

ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS

Elaborado por:	Ing. Civil Federico Pascual Paucar Tito CIP 44210
-----------------------	--

CAÑETE – 2023

CONSTANCIA DE APERSONAMIENTO

(O.S. N°0015632)

EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN:

Construcción y Equipamiento de la Sede del Ministerio Público en el Distrito Judicial de Cañete, en el Marco del Nuevo Código Procesal Penal", con Código Único de Inversiones N° 2090071

PROYECTO DE INVERSIÓN : "Construcción y Equipamiento de la Sede del Ministerio Público en el Distrito Judicial de Cañete, en el Marco del Nuevo Código Procesal Penal", con Código Único de Inversiones N° 2090071

UBICACIÓN : Sub lote 1, Parcela 4 del Fundo Ramos, San Vicente de Cañete, Cañete, Lima

ORDEN DE SERVICIO : 15632-2023

PLAZO DE EJECUCION : 15 días calendario

CONSULTOR : Ing. Federico Pascual Paucar Tito

Siendo las 3.30 horas del día 5 de diciembre del 2023, me apersone (Federico Paucar Tito) a la sede del Ministerio Público Distrito Fiscal Cañete sito en jirón Sepúlveda N° 217

Con la finalidad de informar la culminación de los trabajos de campo del servicio especializado de elaboración del informe de verificación de mecánica de suelos para el expediente técnico de saldo de obra del proyecto de inversión: "Construcción y equipamiento de la sede del Ministerio Público en el Distrito Judicial de Cañete, en el marco del nuevo código procesal penal" – CUI 2090071 Se procede a firmar el documento junto con el representante de la Entidad Ministerio Público Distrito Fiscal Cañete,

Adjunto orden de servicio 15632-2023

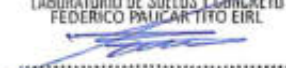
Credencial de identificación por oficina de estudios MP

Copia de dni

Cañete 5 diciembre 2023


Lic. E. Augusto Fierro Campos
ADMINISTRADOR
DISTRITO FISCAL DE CAÑETE


Mario Segundo Leyton Noblecilla
Analista
Distrito Fiscal de Cañete

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PAUCAR TITO EIRL

Federico Pascual Paucar Tito
ING. CIVIL Reg. CP 44210

FPT EIRL 	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS	DOCUMENTO: FPT-00140/2023	000910- Rev. 0
	SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACIÓN DEL INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN: "CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL"	FECHA: DIC 2023	
		ORIGINADO POR: FPT	

SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACIÓN DEL INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN: "CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL"



LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PAUCAR TITO EIRL

Federico Pascual Paucar Tito
ING. CIVIL R.C. CIP 44210

ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS

Elaborado por:	Ing. Civil Federico Pascual Paucar Tito CIP 44210
-----------------------	--

CAÑETE – 2023

FPT EIRL 	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS	DOCUMENTO: FPT-00140/2023	000909 Rev. 0
	SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACIÓN DEL INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN: "CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL"	FECHA: DIC 2023	
		ORIGINADO POR: FPT	

1	CONTENIDO	
2	DATOS GENERALES.....	4
3	UBICACIÓN Y ACCESO A LA ZONA DE ESTUDIO.....	4
3.1.1	CARACTERISTICAS DEL PROYECTO	4
3.1.2	OBJETIVO	4
3.1.3	EXPLORACION DE CAMPO.....	4
3.1.4	TRABAJO DE CAMPO	4
3.1.5	MUESTREO Y REGISTRO DE EXPLORACION.....	5
3.1.6	ENSAYOS DE SPT	5
4	GEOLOGIA.....	7
4.1	ANTECEDENTES GEOLOGICOS.....	7
4.2	GEOLOGIA GENERAL Y LOCAL	7
4.3	GEODINAMICA EXTERNA.....	8
4.4	GEOMORFOLOGIA.....	9
4.5	FENOMENOS DE GEODINAMICA EXTERNA	9
4.6	HIDROLOGIA E HIDROGRAFIA	9
4.7	SISMICIDAD.....	10
a.	SISMICIDAD HISTÓRICA.....	11
b.	PARÁMETROS SÍSMICOS	13
5	ENSAYOS DE LABORATORIO	14
5.1	ENSAYOS ESPECIALES	15
6	CARACTERIZACION GEOTECNICA DE LA CIMENTACION	15
6.1	PERFIL ESTRATIGRAFICO	15
6.1.1	CLASIFICACIÓN DE SUELOS	15
6.1.1	HUMEDAD Y NAPAS FREÁTICAS.....	16
6.1.2	PLASTICIDAD.....	16
6.2	ANÁLISIS DE CIMENTACIONES.....	17
6.3	CAPACIDAD ADMISIBLE POR RESISTENCIA.....	17
6.4	CÁLCULO DE ASENTAMIENTOS	19
6.4.1	Asentamientos Inmediatos suelo granular.	19

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PAUCAR TITO EIRL
Federico Paucar Tito
ING Civil, Reg. CIP 44210

FPT EIRL 	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS	DOCUMENTO: FPT-00140/2023	000908 Rev. 0
	SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACIÓN DEL INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN: "CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL"	FECHA: DIC 2023	
		ORIGINADO POR FPT	

6.5	CAPACIDAD DE SOPORTE	19
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	21
8	REFERENCIAS	28
9	ANEXOS	28
9.1	PLANO DE UBICACIÓN DE ENSAYOS	28
9.2	ENSAYOS DE LABORATORIO Y CAMPO	28
9.3	PANEL FOTOGRÁFICO	28
9.4	CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS	28

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PAUCAR TITO EIRL

Federico Paucar Tito
Ing Civil Reg. CIP 44210

FPT EIRL 	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS	DOCUMENTO:	FPT-00140'2023	000907 Rev. 0
	SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACIÓN DEL INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN: "CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL"	FECHA:	DIC 2023	
		ORIGINADO POR	FPT	

2 DATOS GENERALES

Servicio especializado de elaboración del informe de verificación de mecánica de suelos para el expediente técnico de saldo de obra del proyecto de inversión: "Construcción y equipamiento de la sede del Ministerio Público en el Distrito Judicial de Cañete, en el marco del nuevo código procesal penal" – CUI 2090071

3 UBICACIÓN Y ACCESO A LA ZONA DE ESTUDIO

Departamento : Lima

Provincia : Cañete

Distrito : San Vicente de Cañete.

lote 1 , parcela cuatro Fundo Ramos

El área del terreno es de 1846.66m², tiene accesos viales mediante calles y avenidas. .

3.1.1 CARACTERISTICAS DEL PROYECTO

Se requiere la construcción de la infraestructura para la Sede del Ministerio Público del Distrito Judicial de Cañete para entregar una Oferta adecuada de los servicios fiscales de la Sede del Ministerio Público en el Distrito Judicial de Cañete, con la implementación del nuevo código procesal penal.

3.1.2 OBJETIVO

Elaborar el informe de verificación de mecánica de suelos para el expediente técnico de saldo de obra del proyecto de inversión: "Construcción y equipamiento de la sede del Ministerio Público en el Distrito Judicial de Cañete, en el marco del nuevo código procesal penal" – CUI 2090071, de acuerdo a los siguientes alcances:

- El informe requerido busca verificar las condiciones y características del suelo y subsuelo del predio en el cual se erige el establecimiento.

3.1.3 EXPLORACION DE CAMPO

3.1.4 TRABAJO DE CAMPO

Se efectuó trabajos de reconocimiento de campo, para verificar la topografía del lugar, el tipo de suelo, subsuelo, los niveles de excavación existente, para así determinar la ubicación de la calicata y los 03 ensayos de SPT a ejecutarse.

Estas labores se efectuaron en coordinación con la oficina de estudios

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PAUCAR TITO EIRL

Federico Paucar Tito
Ing Civil Reg. CIP 44230

FPT EIRL 	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS		DOCUMENTO: FPT-00140'2023	000906 Rev. 0
	SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACIÓN DEL INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN: "CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL"		FECHA: DIC 2023	
			ORIGINADO POR: FPT	

3.1.5 MUESTREO Y REGISTRO DE EXPLORACION

En las exploraciones a cielo abierto efectuadas, se tomaron muestras de cada uno de los tipos de suelos encontrados, en cantidad suficiente como para realizar los ensayos de clasificación. Se tomaron muestras representativas para los ensayos de granulometría, Límites de consistencia, contenido de humedad, densidad insitu con cono de 12", también se tomó muestra para el ensayo triaxial CD.

Paralelamente al muestreo se efectuó el registro de excavaciones, anotándose las principales características de los estratos encontrados, tales como: Humedad, compacidad, consistencia, plasticidad, forma y tamaño de las partículas, clasificación, presencia del nivel freático, etc., los mismos que se adjuntaran en el anexo Registro de sondaje

3.1.6 ENSAYOS DE SPT

Se realizaron un total de 3 ensayos de SPT , aplicando la normativa de procedimiento NTP 339.133 .

Se alcanzó una profundidad máxima de exploración de 6 metros desde el sotano , lo que permitió analizar la resistencia y compacidad relativa de los suelos arenosos y granulares en la zona de estudio. Además, se recuperaron muestras del suelo para su evaluación. A medida que se profundiza, se puede observar dos estratos uno semi compacto y el siguiente compacto y densificado

Esto indica que el suelo de cimentación en la zona de estudio se encuentra en un rango de densidad desde medianamente denso hasta denso.

A profundidades por debajo de los 5 m, se observa un aumento en los registros de golpes del ensayo, llegando incluso a valores de rechazo, valores de N superiores a 50. Estos resultados indican que el terreno presenta condiciones de densidad alta, desde densas hasta muy densas.

Para este trabajo se utilizo un equipo SPT automático trasladado en un camión, con guía de remisión electrónica N° EG07-006

AGENCIA DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PAUCAR TITO EIRL

Federico Pascual Paucar Tito
ING CIVIL Reg. CIP 44210

FPT EIRL 	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACIÓN DEL INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN: "CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL"	DOCUMENTO:	FPT-00140/2023	000905 Rev. 0
		FECHA:	DIC 2023	
		ORIGINADO POR	FPT	

Descripción Detallada
PENETROMETRO SPT AUTOMATICO 15 METROS 13HP (MARCA: HONDA) MARCA G&L EQUILAB-PERU - Torre 2.05 x 0.6 x 0.5 m. cilindro 1300 mm de carrera - sistema de golpeo automatico Peso 270 kg - central hidraulica 1 x 0.6 x 0.8 m. motor marca : honda/ potencia 13 hp - peso 80kg - 10 barras de perforacion 1m - 06 cucharas de terzagui (tubos bipartidos) - herramientas compatibles (llaves entre otros) -



INGENIERIA DE SUELOS Y CONCRETO
 FEDERICO PAUCAR TITO EIRL

Federico Pascual Paucar Tito
 ING-CIVIL Reg. CP 44210

FPT EIRL 	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS		DOCUMENTO: FPT-00140'2023	000904 Rev. 0
	SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACIÓN DEL INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN: "CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL"		FECHA: DIC 2023	
			ORIGINADO POR: FPT	

4 GEOLOGIA

4.1 ANTECEDENTES GEOLOGICOS

El relieve general de la cuenca del río cañete presenta un cuadro morfológico típico de las cuencas costeras es decir, con una hoya hidrográfica alargada, de fondo profundo y pronunciada pendiente en su cauce.

En la parte alta de la cuenca los terrenos son ondulados con depresiones topográficas lagunares, resultado de la actividad glaciár, cuyas aguas drenan a los valles principales. En las cabeceras de los afluentes del río Cañete se encuentra una morfología accidentada de valles profundos y estrechos, , con pendientes de 35%'a 50%, a veces con saltos y tramos de cauce de fuerte pendiente. En los sectores intermedios los flancos tienen pendientes entre 40° y 45° con procesos de erosión diferencial dada la diversidad litológica de los afloramientos rocosos. Aproximándose a la llanura aluviónica, las laderas de los cerros tienen pendientes de 18° a 20° y el fondo del valle está relleno do de materiales fluviales y los provenientes de huaycos, con desarrollo de terrazas fluviales de espesores variables,

Por último, 1a llanura aluvial está caracterizada por la acumulación de materiales: de acarreo. formando un manto fluvio-aluvia1 de granulometría variada, se formó debido a sucesivas acumulaciones de flujos de barro (lahares), depósitos de caídas y flujos piroclásticos principalmente generados por el volcán Misti durante el Holoceno y la época histórica (Mariño et al., 2015).

4.2 GEOLOGIA GENERAL Y LOCAL

Geología General.- Para describir las principales unidades geológicas, se tomó como base la información regional descrita por Salazar y Landa (1993) . Estos autores describen las unidades litológicas aflorantes en las inmediaciones de la zona de estudio, todas con edades entre el Terciario Inferior y Cuaternario. Estas unidades están conformadas por rocas sedimentarias de las formaciones Paracas y Cañete, así como depósitos inconsolidado-

Geología Local .- A continuación se describen las principales características de estas unidades estratigráficas.

Formación Paracas (Ti-pa): Consiste de areniscas grises y areniscas calcáreas pardas, alternando con algunos horizontes de limolitas e infrayace con discordancia

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PASCUAL PAUCAR TITO
INGENIERO CIVIL N° 44210

FPT EIRL 	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS		DOCUMENTO: FPT-00140/2023	000903
	SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACIÓN DEL INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN: "CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL"		FECHA: DIC 2023	
			ORIGINADO POR: FPT	

angular a la Formación Cañete. Esta unidad constituye el substrato rocoso de la ciudad de San Vicente de Cañete y se encuentra aflorando en la Asociación de Viviendas "El Progreso" y en el A.H. Villa del Carmen ubicados a 1 y 1.5 km al noreste de la ciudad de San Vicente de Cañete.

Formación Cañete (Qp-c): Consiste en un conglomerado consolidado constituido por gravas redondeadas a subredondeadas de tamaño y litología variada, y englobados en una matriz areno-limosa. Sobreyace con discordancia angular a la Formación Paracas, Figura 26. Esta unidad se encuentra aflorando en la Asociación de Viviendas "El Progreso" ubicado a 1.5 km al noreste de la ciudad de San Vicente de Cañete.

Depósitos cuaternarios: Estos depósitos se encuentran suprayacendo al substrato rocoso, conforma por areniscas de la Fm. Paracas. Se encuentran distribuidos de manera dispersa y con variados espesores. Estos depósitos de la edad Holocena, son principalmente de origen aluvial.

Depósitos aluviales (Qr-al): Están conformados por cantos y gravas redondeadas a subredondeadas, envueltos en una matriz areno-limosa y arcillosa. Es la mayor unidad litológica presente en el área de estudio, presenta espesores de 8 m aproximadamente y conforma la extensa terraza aluvial presente en la margen derecha del río Cañete, sobre la cual se asienta la ciudad de San Vicente de Cañete

4.3 GEODINAMICA EXTERNA

La geodinámica externa estudia la acción de los procesos exógenos sobre la superficie de la Tierra. En tal sentido, las precipitaciones pluviales son las de mayor incidencia en la geodinámica del territorio, pues constituyen el principal factor detonante de los Movimientos en Masa (MM), como los deslizamientos, derrumbes y caída de rocas; los cuales a su vez afectan la seguridad física de los centros poblados donde ocurren este tipo de eventos.

Los eventos geodinámicos predominantes en la ciudad de San Vicente de Cañete son de origen antrópico (movimientos de masa del tipo caída de rocas e inundaciones por desbordes de las acequias) y natural como las inundaciones por desborde de la quebrada Pócoto en épocas de lluvia.

INGENIERO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PAUCAR TITO EIRL

Federico Paucar Tito
1995-Civil Reg. CIP 64210

FPT EIRL 	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS		DOCUMENTO: FPT-00140/2023	000902 Rev. 0
	SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACIÓN DEL INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN: "CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL"		FECHA: DIC 2023	
			ORIGINADO POR: FPT	

4.4 GEOMORFOLOGIA

Los rasgos geomorfológicos presentes en la ciudad de Cañete y alrededores son el resultado de la interacción de fuerzas endógenas y exógenas. Las primeras actúan como fuerzas creadoras de las grandes elevaciones y depresiones formadas principalmente por movimientos de componente vertical y las segundas, como desencadenantes de una continua denudación que tiende a rebajar el relieve originado, estos últimos llamados procesos de geodinámica externa que se agrupan en la cadena de meteorización-erosión, transporte y sedimentación (Gutiérrez, 2008)

4.5 FENOMENOS DE GEODINAMICA EXTERNA

Origen antrópico

Corresponden a eventos geodinámicos cuyo origen obedece a la acción del hombre y entre los más importantes se tiene a la caída de rocas e inundaciones causadas por los desbordes de las acequias.

Caídas de rocas: Se han reconocido eventos asociados a caída de rocas de origen antrópico provenientes de los muros de contención (pircas) elaborados por la población sin criterio técnico, en todos los casos conforman la base de los terraplenes donde se asientan las viviendas. En la actualidad se encuentran deteriorados y causan caídas de rocas que afectan a las viviendas del Asentamiento Humano Villa del Carmen-Sector I.

- Inundaciones por desbordes de acequias

Las inundaciones ocasionadas por los desbordes de las acequias de riego son producto del deficiente mantenimiento por parte de la población. Estos se producen por el arrojado de desechos sólidos (basura, desmonte y otros) en las acequias de San Miguel, Tercer Mundo, Ihuanco y María Angola.

Origen natural

Corresponden a eventos geodinámicos generados por aguas de escorrentía como las inundaciones por el desborde de la quebrada Pócoto.

4.6 HIDROLOGIA E HIDROGRAFIA

Cordillera de los Andes divide hidrográficamente al país en dos vertientes principales que drenan sus aguas hacia los Océanos Pacífico y Atlántico, respectivamente, constituyendo así la divisoria continental de las aguas. Existe, también, una tercera

ORGANISMO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PAUCAR TITO EIRL
Federico Paucar Tito
Ing. Civil

FPT EIRL 	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS		DOCUMENTO: FPT-00140/2023	000901 REV. 0
	SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACIÓN DEL INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN: "CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL"		FECHA: DIC 2023	
			ORIGINADO POR: FPT	

vertiente en la región sur-oriental del país, constituida por una alta cuenca interandina cuyas aguas drenan al lago Titicaca. La vertiente del Pacífico u Occidental, nombre con el que también se le conoce, tiene una extensión aproximada de 290,000 Km², equivalente al 22 % del área total del país y da origen como consecuencia de y del deshielo de los nevados y glaciares en su parte alta, a 52 ríos de que discurren hacia el Océano Pacífico siguiendo una dirección predominante hacia el sur oeste. El río Cañete es uno de ellos, encontrándose situado en la región central de esta vertiente. La cuenca en estudio tiene en general la forma de una L, cuya rama menor, orientada sensiblemente de Oeste a Este, contiene las áreas agrícolas del valle, limitando por el Norte con la cuenca del Río Omas, por el Sur con la cuenca de la Quebrada Topará y por el Oeste, con el Océano Pacífico. La rama mayor, bastante irregular y orientada de Norte a Sur, está conformada por las montañas que constituyen la cuenca alta y cuya línea de cumbres lo separa, por el Norte y Este, de la cuenca del río Mantaro (divisoria continental); por el Sur, de la cuenca del río San Juan (Chincha) y, por el Oeste, de las cuencas de los ríos Omas y Mala. Ocupa una extensión aproximada de 6, 192 Km², de la cual 78.5 %, o sea 4,856 Km², situado por encima de los 2,500 m.s.n.m., corresponde a la cuenca imbrífera o húmeda.

El río Cañete nace en la laguna Ticllacocha, ubicada al pie de las cordilleras de Ticlla y Pichahuarco, en la divisoria de cuencas con el río Mala. Su caudal es alimentado con las aguas de una serie de lagunas y nevados importantes y discurre cambiando constantemente de dirección, especialmente en el sector más alto. Luego de recorrer aproximadamente 220 Km. con una pendiente promedio de 2 %, desemboca en el Océano Pacífico

4.7 SISMICIDAD

Las condiciones locales de sitio son uno de los principales factores responsables de los daños que se producen en cualquier tipo de edificación durante la ocurrencia de sismos severos, y se evalúan en los estudios de zonificación sísmica-geotécnica. La evaluación del comportamiento dinámico de los suelos (CDS), es una de las herramientas disponibles más importantes para minimizar los daños producidos por los sismos; diversos estudios muestran que los suelos - ante

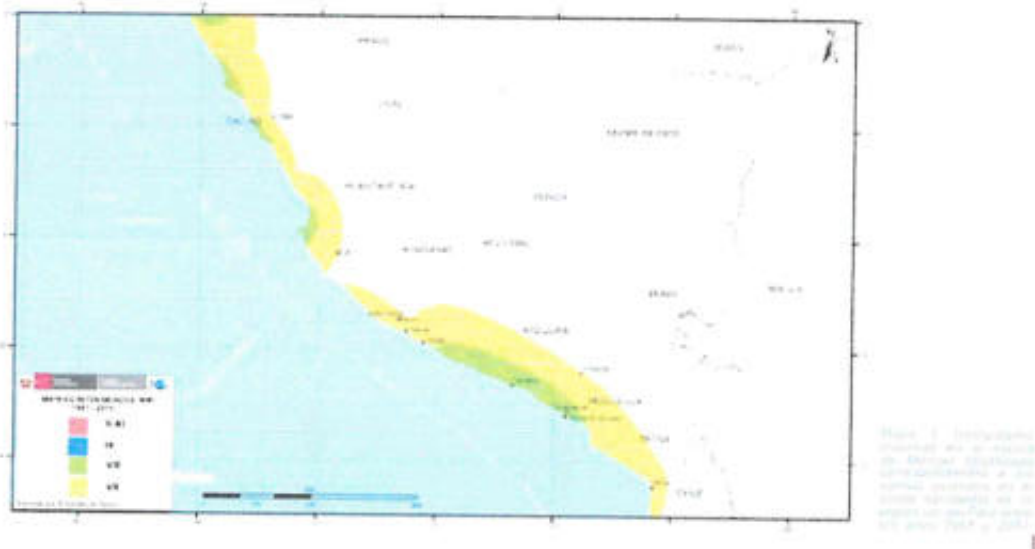
LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PAUCAR TITO EIRL

Federico Paucar Tito
Ing. Civil N.º 42210

FPT EIRL 	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS		DOCUMENTO: FPT-00140/2023	000900 Rev. 0
	SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACIÓN DEL INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN: "CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL"		FECHA: DIC 2023	
			ORIGINADO POR: FPT	

la incidencia de ondas sísmicas asociadas a movimientos débiles y/o fuertes -, responden de acuerdo a sus condiciones locales, pudiendo estos modificar el contenido frecuencial de las ondas y/o generar amplificaciones de las ondas sísmicas. Los efectos que produce cada tipo de suelo sobre la propagación y amplitud de las ondas sísmicas, permiten tipificar los suelos y estimar su comportamiento dinámico. El resultado final es el mapa de zonificación sísmica-geotécnica que debe constituirse como el documento más importante en las tareas y programas de gestión del riesgo ante la ocurrencia de sismos. Dependiendo de cada zona, se deben realizar estudios complementarios relacionados a tsunamis, inundaciones por crecida de los ríos, licuación de suelos y deslizamientos de tierra y piedras en zonas de pendiente, entre otros. Estos escenarios son frecuentes en ciudades ubicadas en zonas costeras y otras en las regiones andinas y subandinas, próximas a zonas de alta pendiente y/o adyacentes a las riberas de ríos.

El borde occidental del Perú, se constituye como la principal fuente generadora de sismos y tsunamis, siendo los de mayor magnitud los que han causado grandes niveles de daños y pérdidas de vidas humanas. Dentro de este contexto, el borde occidental de la región sur presenta actividad sísmica de tipo superficial (profundidad menor a 60 km) e intermedia (profundidad entre 61 y 350 km), siendo los primeros de mayor peligro debido a que frecuentemente alcanzan magnitudes elevadas y al tener sus focos cerca de la superficie, producen daños y efectos importantes en las ciudades costeras

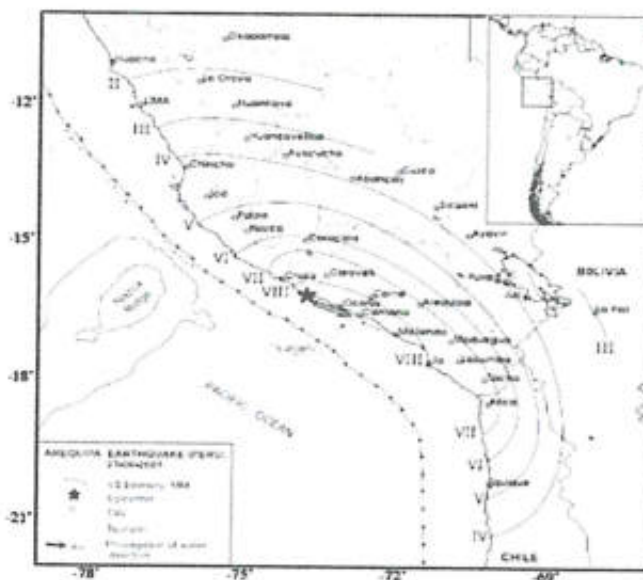


a. SISMICIDAD HISTÓRICA

Los sismos de 1979 y 2001 fueron los que causaron mayor daño en la ciudad, principalmente este último debido a la elevada magnitud que alcanzó el evento (8.2 Mw). Según Tavera et al. (2002), el sismo del 2001 produjo una área de ruptura del orden de 350x100 km², siendo el eje mayor paralelo a la línea de costa, causando daños y efectos desde Ocoña hasta la península de Ilo en Moquegua. El proceso de ruptura de este evento concluyó con la ocurrencia de tres importantes réplicas y de ellas, dos presentaron sus epicentros entre las ciudades de Camaná y

FPT EIRL 	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS		DOCUMENTO: FPT-00140/2023	000899 Rev. 0
	SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACIÓN DEL INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN: "CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL"		FECHA: DIC 2023	
			ORIGINADO POR: FPT	

Punta de Bombón. Según el Mapa 4, el sismo del 2001 produjo en la ciudad de Arequipa – Cercado intensidades de VII (MM) produciendo daños y efectos en viviendas, iglesias y principalmente, la catedral de la ciudad de Arequipa. Asimismo, el tsunami que siguió al sismo mayor, presentó mayor intensidad y daños en el área costera de la ciudad de Camaná. Según INDECI, los daños Mapa 4. Intensidades macrosísmicas en la escala de Mercalli Modificada para el sismo ocurrido el 23 de junio de 2001 (Tavera y Buforn, 2001) Mapa 5. Distribución de asperezas y/o zonas de acoplamiento sísmico en el borde occidental de Perú-Chile obtenido a partir de datos de GPS. Las flechas negras corresponden a las medidas GPS in situ y las verdes a las obtenidas con el modelo teórico. La buena correlación sugiere la existencia de hasta cuatro asperezas (Chlieh et al., 2011). identificados en la provincia de Arequipa fueron: población damnificada: 25,782; heridos: 1,422; fallecidos: 7; viviendas afectadas: 5,332; viviendas colapsadas: 1,631; centros educativos afectados: 219; centros educativos destruidos: 587; centros de salud afectados: 27; puentes averiados: 10.



Según Tavera (2014), el sismo ocurrido en el año 2001 habría liberado aproximadamente el 60% de la energía acumulada en la zona costera de la región sur del Perú desde el año 1868; por lo tanto, la energía restante debe ser liberada por otro evento sísmico que involucraría un área de ruptura por debajo de la península de Ilo, y que produciría en la ciudad de Arequipa - Cercado niveles altos de sacudimiento del suelo, quizás similares a los producidos por el sismo del 2001. Esta información es corroborada por estudios realizados por Chlieh et al. (2011) y Villegas-Lanza (2014) sobre la distribución de asperezas en la costa sur del Perú. En el Mapa 5 se muestra la distribución de asperezas en el borde occidental de la región sur, siendo codificada como A-3 la que tiene una alta probabilidad de generar un evento sísmico de gran magnitud en la región.

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PAUCAR TITO EIRL
Federico Paucar Tito
Ing. Civil Reg. CP 4210

FPT EIRL 	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS	DOCUMENTO: FPT-00140/2023	000898 Rev. 0
	SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACIÓN DEL INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN: "CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL"	FECHA: DIC 2023	
		ORIGINADO POR: FPT	

Dentro de este escenario, también se debería considerar la aspereza A-4, dado que por las dimensiones del área, el sismo que se produciría también afectaría a la zona de estudio

Durante el año 2015, el IGP realiza los estudios de Zonificación Sísmica Geotécnica en las ciudades de Asia, San Vicente de Cañete, Cerro Azul, Chancay, Huaral, Lunahuana y Mala en el departamento de Lima; además, de la ciudad de Casma en el departamento de Ancash. Los resultados obtenidos para la Ciudad de San Vicente de Cañete son presentados en este informe bajo el siguiente título: "Zonificación Sísmica – Geotécnica del área urbana de la Ciudad de San Vicente de Cañete".

b. PARÁMETROS SÍSMICOS

Parámetros Sísmicos para este Proyecto, De acuerdo al nuevo mapa de zonificación Sísmica del Perú NTE E-30 2016, el predominio del suelo bajo la cimentación se pudo deducir los siguientes parámetros:

- **FACTOR DE ZONA**

Zona Z4

$Z = 0.45$ que corresponde a la máxima aceleración del terreno con una probabilidad del 10% de ser excedida en 50 años

- **PERFIL DEL SUELO**

Perfil Tipo S1: Suelos rígidos con velocidades de propagación de onda de corte V_s entre 500 m/s y 1500 m/s, incluyéndose Arena muy densa o grava arenosa densa, con N_{60} mayor que 50.



- **PARAMETROS DE SITIO (S, TL, TP)**

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PAUCAR TITO EIRL

Federico Pascual Paucar Tito
ING CIVIL Reg. CIP 44210

FPT EIRL 	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS	DOCUMENTO: FPT-00140/2023	000897 Rev. 0
	SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACIÓN DEL INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN: "CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL"	FECHA: DIC 2023	
		ORIGINADO POR: FPT	

Tabla N° 3 FACTOR DE SUELO "S"				
SUELO ZONA	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
Z ₄	0.80	1.00	1.05	1.10
Z ₃	0.80	1.00	1.15	1.20
Z ₂	0.80	1.00	1.20	1.40
Z ₁	0.80	1.00	1.60	2.00

Factor de suelo S=1.0,

Tabla N° 4 PERÍODOS "T_p" Y "T_L"				
	Perfil de suelo			
	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
T _p (s)	0.3	0.4	0.6	1.0
T _L (s)	3.0	2.5	2.0	1.6

Tp(S)=0.4

TL(S)=2.5

5 ENSAYOS DE LABORATORIO

A partir de la información obtenida durante los trabajos de campo se efectuó los ensayos de laboratorio, la clasificación de suelos, contenido de humedad, peso específico, límites de consistencia, contenido de sales cloruros sulfatos, de acuerdo a sus características de la muestra en análisis.

Tabla N° 1.- Ensayos elaborados en laboratorio

ENSAYO	NORMA MTC ó NTP	NORMA ASTM
ENSAYOS ESTANDAR		
Análisis Granulométrico por Tamizado	MTC E 107	ASTM D422

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETOS
FEDERICO PAUCAR TITO EIRL
Federico Paucar Tito
Ingeniero Reg. C° 44210

FPT EIRL 	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS	DOCUMENTO: FPT-00140/2023	000896 Rev. 0
	SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACIÓN DEL INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN: "CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL"	FECHA: DIC 2023	
		ORIGINADO POR: FPT	

Contenido de Humedad		MTC E 108	ASTM D2216
Límites de Atterberg	Límite Líquido (LL)	MTC E 110	ASTM D4318
	Límite Plástico (LP)	MTC E 111	ASTM D4318
	Índice de Plasticidad	MTC E 111	ASTM D4318
Densidad Natural			
Clasificación de Suelos Método SUCS			ASTM D-2487

5.1 ENSAYOS ESPECIALES

Fueron realizados los siguientes ensayos:

ENSAYO	NORMAS
TRIAXIAL CD	ASTM
SPT	ASTM D 1586

6 CARACTERIZACION GEOTECNICA DE LA CIMENTACION

6.1 PERFIL ESTRATIGRAFICO

6.1.1 CLASIFICACIÓN DE SUELOS

De las características de los suelos, se estima con el comportamiento de los suelos, especialmente con el conocimiento de la granulometría, plasticidad e índice de grupo; y luego clasificar los suelos.

La clasificación de suelos se efectuará bajo el sistema de clasificación AASHTO, a continuación, se muestra una clasificación con un comportamiento aproximado de los suelos en correlación con el sistema más difundido de clasificación ASTM (SUCS):

Tabla N° 2.- Correlación de Tipos de Suelos AASHTO - SUCS

CLASIFICACION DE SUELOS AASHTO M-145	CLASIFICACION DE SUELOS SUCS ASTM-D-2487
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM
A-1-b	GM,GP,SM, SP
A-2	GM, GC, SM,SC
A-3	SP

FPT EIRL 	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS	DOCUMENTO: FPT-00140/2023	000895 Rev. 0
	SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACIÓN DEL INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN: "CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL"	FECHA: DIC 2023	
		ORIGINADO POR: FPT	

A-4	CL, ML
A-5	ML, MH, CH
A-6	CL, CH
A-7	OH, MH, CH

Fuente: US Army Corps of Engineers

6.1.1 HUMEDAD Y NAPAS FREÁTICAS

La determinación de la humedad natural, Mediante la prospección de calicatas y sondajes con SPT, luego de la obtención de muestras y ensayos en laboratorio, se encontró nivel freático a 1.8 m de profundidad respecto del nivel del sótano.

6.1.2 PLASTICIDAD

Corresponde a la propiedad de estabilidad que representa los suelos hasta cierto límite de humedad sin disgregarse, por tanto la plasticidad de un suelo depende únicamente de sus elementos finos.

El análisis granulométrico no permite apreciar esta característica por lo que es necesario determinar los límites de Atterberg, que determinará la cohesión del suelo: El límite Líquido (LL, según el ensayo MCT E 110), el límite Plástico (LP, según el ensayo MTC E 111) y el límite de contracción (LC, según el ensayo MTC E 112), además de ello con la diferencia entre el LL y LP se definirá el Índice de Plasticidad IP (Según el ensayo MTC E 111):

$$IP = LL - LP$$

Donde:

IP = Índice de Plasticidad

LL = Límite Líquido

LP = Límite plástico

El índice de plasticidad indica la magnitud del intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica y permite clasificar bastante bien un suelo. Un IP grande corresponde a un suelo arcilloso; por el contrario un IP pequeño es característico de un suelo poco arcilloso. En tal sentido, el suelo en relación a su índice de plasticidad puede clasificarse en lo siguiente:

Tabla N° 3.- Clasificación de suelos según Índice de Plasticidad

IND. PLASTICIDAD	PLASTICIDAD	CARACTERÍSTICA
$IP > 20$	Alta	Suelos muy arcillosos.
$IP \leq 20$ $IP > 7$	Media	Suelos arcillosos.
$IP < 7$	Baja	Suelos poco arcillosos plasticidad.
$IP = 0$	No Plástico (NP)	Suelos exentos de arcilla.

Fuente: Manual de carreteras- Sección Suelos y Pavimentos.

En este estudio predominan los suelos con plasticidad nula, exento de arcilla.

LABORATORIO DE SUELOS Y CARRETERAS
FEDERICO PAUCAR TITO EIRL
Federico Pascual Paucar Tito
ING CIVIL Reg. CP 44210

FPT EIRL 	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS	DOCUMENTO: FPT-00140/2023	000894 Rev. 0
	SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACIÓN DEL INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN: "CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL"	FECHA: DIC 2023	
		ORIGINADO POR: FPT	

6.2 ANÁLISIS DE CIMENTACIONES

El diseño de una cimentación debe ser capaz de no solo soportar todas las cargas que imponen la misma estructura, sino el poder adaptarse a las condiciones que impone el suelo que lo rodea.

Como estamos trabajando en un suelo que presenta nivel freático cercano a la cimentación, se recomienda usar losa o platea de cimentación.

6.3 CAPACIDAD ADMISIBLE POR RESISTENCIA

La capacidad de carga se ha analizado usando la fórmula de Terzaghi y Peck (1967) con los parámetros de Vesic (1973),

$$q_u = S_c C N_c + S_\gamma \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma + S_q \gamma D_f N_q ; \quad q_{ad} = \frac{q_u}{F_s}$$

Donde:

q_u	=	capacidad última de carga
q_{ad}	=	capacidad admisible de carga
F_s	=	factor de seguridad = 3
γ	=	peso unitario del suelo
B	=	Ancho de la cimentación,
D_f	=	profundidad de cimentación
N_c, N_γ, N_q	=	parámetros de capacidad portante en función de ϕ
S_c, S_γ, S_q	=	factores de forma (Vesic, 1979),

$$S_\gamma = 1 - 0.4 \left(\frac{B}{L} \right) ; \quad S_q = 1 + \tan \phi \left(\frac{B}{L} \right) ;$$

$$S_c = 1 + \left(\frac{N_q}{N_c} \right) \times \left(\frac{B}{L} \right)$$

INGENIERO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PAUCAR TITO EIRL

Federico Pascual Paucar Tito
Ings Civil Reg. CIP 44210

Los valores de capacidad admisible serán verificados por el asentamiento permisible.

De una serie de investigaciones y pruebas basadas en ensayos de SPT en suelos granulares se ha obtenido relaciones empíricas entre ϕ, D_r y Densidad natural para profundidades menores de 6.00m., los cuales se presentan en el siguiente cuadro:

FPT EIRL 	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS		DOCUMENTO: FPT-00140/2023	000893 Rev. 0
	SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACIÓN DEL INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN: "CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL"		FECHA: DIC 2023	
			ORIGINADO POR: FPT	

Tabla N° 4.- Relaciones empíricas entre la Densidad relativa (D_r) y el ángulo de fricción interna(ϕ)

DESCRIPCIÓN	MUY SUELTO	SUELTO	MEDIO	DENSO	MUY DENSO
Densidad Relativa D_r	0 - 0.15	0.15 - 0.35	0.35 - 0.65	0.65 - 0.85	0.85 - 1.00
SPT N_{70}					
Fino 0.075-0.425 mm	1 - 2	3 - 6	7 - 15	16 - 30	
Medio 0.425-2.000 mm	2 - 3	4 - 7	8 - 20	21 - 40	>40
Grueso 2.000-4.750 mm	3 - 6	5 - 9	10 - 25	26 - 45	>45
ϕ					
Fino 0.075-0.425 mm	26 - 28	28 - 30	30 - 34	33 - 38	
Medio 0.425-2.000 mm	27 - 28	30 - 32	32 - 36	36 - 42	
Grueso 2.000-4.750 mm	28 - 30	30 - 34	33 - 40	40 - 50	<50
$\gamma_{\text{húmedo}}$ (gr/cm^3)	1.1 - 1.6	1.4 - 1.8	1.7 - 2.0	1.7 - 2.2	20 - 23

Fuente: Ref. Manuel Delgado Vargas / Ingeniería de Cimentaciones/ 2da edición 1999

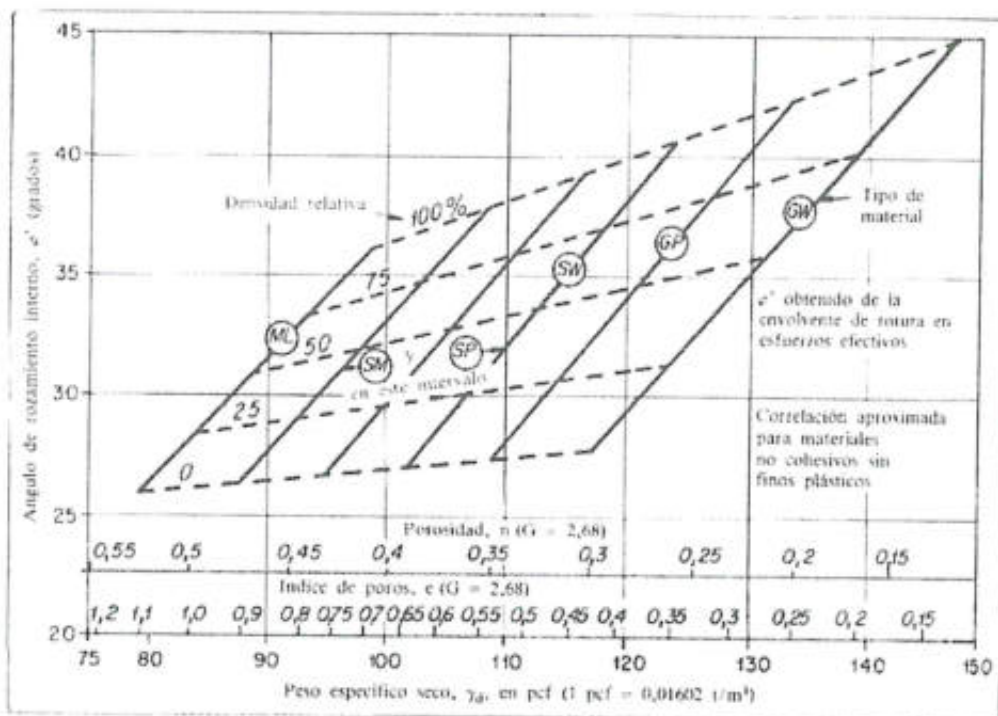


Fig. 2. Relación entre el ángulo de fricción interna efectivo y el peso unitario seco para suelos granulares. Según NAVFAC.
(Tomado del LambeT y col., 2006)

ARMANDO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PAUCAR TITO EIRL

Federico Pascual Paucar Tito
ING CIVIL Reg. CIP 44210

FPT EIRL 	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS		DOCUMENTO: FPT-00140/2023	Rev. 0
	SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACIÓN DEL INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN: "CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL"		FECHA: DIC 2023	
			ORIGINADO POR: FPT	

6.4 CÁLCULO DE ASENTAMIENTOS

6.4.1 Asentamientos Inmediatos suelo granular.

El asentamiento inmediato o instantáneo de la cimentación se calculará en base a la teoría de la elasticidad (Lambe y Whitman, 1964).

El asentamiento elástico inicial será:

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

Donde:

S = asentamiento inmediato (cm)

Δq_s = esfuerzo neto transmisible (kg/cm²)

B = ancho de cimentación (cm)

E_s = módulo de Elasticidad (kg/cm²)

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.

6.5 CAPACIDAD DE SOPORTE

CAPACIDAD PORTANTE

Se plantea determinar la capacidad portante del terreno en base a las características del sub suelo y se verificaran las dimensiones de la cimentación existente.

La Capacidad de carga se determinara en base a la fórmula de Terzaghi y Peck (1967), modificado por Meyerhof y los parámetros de Vesic (1971) con un factor de seguridad FS=3 por encontrarse el proyecto ubicado en una zona sísmica.

Cálculo la Capacidad Portante con la siguiente ecuación:

$$q_u = S_u C N_{cu} + S_\gamma \frac{1}{2} \gamma_f B N_{\gamma f} + S_q \gamma_f D_f N_{qf}$$

q_u = Capacidad ultima de carga

$$q_{ad} = \frac{q_u}{F_s}$$

q_{ad} = Capacidad admisible de carga

F_s = Factor de seguridad = 3(para este caso)

γ_t = Peso unitario del suelo de cimentación (kg/m³)

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PAUCAR TITO EIRL

Federico Pascual Paucar Tito
ING CIVIL Reg. CIP 84210

FPT EIRL 	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS		DOCUMENTO: FPT-00140/2023	000891 Rev. 0
	SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACIÓN DEL INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN: "CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL"		FECHA: DIC 2023	
			ORIGINADO POR FPT	

γ_f = Peso unitario del suelo superficial (Kg/m³)

D_f = Profundidad de cimentación (m.)

N_c, N_γ, N_q = Parámetros de capacidad portante en función de ϕ

Sc, S_γ, Sq = Factores de forma (Vesic, 1979).

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PAUCAR TITO EIRL

Federico Pascual Paucar Tito
ING CIVIL Reg. CIP 44210

FPT EIRL 	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS		DOCUMENTO: FPT-00140/2023	000890 Rev. 0
	SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACIÓN DEL INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN: "CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL"		FECHA: DIC 2023	
			ORIGINADO POR: FPT	

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1 El proyecto desde el punto de vista geológico, la zona está conformado por depósitos aluvial Qp-al Cuaternario.

Localmente la superficie del suelo del área de estudio está constituida por Suelo granular (predominante) tipo GP-GM grava mal graduada de forma sub redondeada estado semi compacto a compacto, con nivel freático y sin plasticidad.

Dada esa conformación se ha evidenciado lentes de limo y arena en unos 20cm

Se efectuó un análisis granulométrico .

La profundidad de excavación de calicata fue de 4.5 mt, con presencia en todas de nivel freático este nivel fluctuaba a 1.9 mt de profundidad. desde el nivel del sótano.

Se efectuaron 03 ensayos de SPT a nivel del sótano con una profundidad de 6 metros en los tres casos se llegó hasta el rechazo.

Para correlacionar y determinar la profundidad del estrato granular se efectuó ensayos geofísicos con los cuales se determina que a mayor profundidad se incrementa la resistencia del suelo.

Clasificación del tipo de suelo según Norma Técnica E.030 2019

En el caso del diseño sísmico estructural, de acuerdo con la Norma Técnica E.030 Diseño Sismo Resistente (2019), se considera que los suelos de la zona de estudio clasifican como suelos

de tipo S1

Para el caso del suelo tipo S1 le corresponde un periodo predominante $TP(s)=0.4$ s., $TL(s)=2.5$ s. y un

factor de suelo $S=1.00$.

Como el proyecto se encuentra ubicado en el distrito de San Vicente de Cañete, provincia de

Cañete, departamento de Lima, que pertenece a la Zona Sísmica 4, le corresponde un factor de

Zona $Z=0.45$.

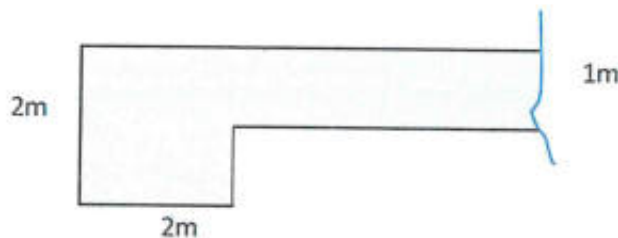
2 Profundidad de cimentación

INGENIERO EN SUELOS Y CONCRETO
FREDERICO PAUCAR TITO EIRE

FREDERICO PAUCAR TITO
ING CIVIL Reg. CP 44230

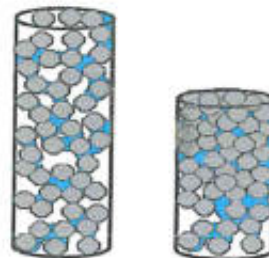
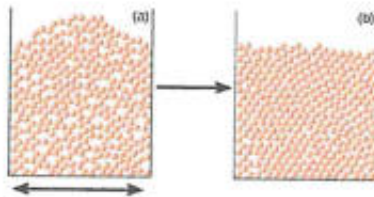
FPT EIRL 	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS		DOCUMENTO: FPT-00140/2023	000889 Rev. 0
	SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACIÓN DEL INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN: "CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL"		FECHA: DIC 2023	
			ORIGINADO POR: FPT	

Se plantea cimentar con platea de cimentación de espesor 1m desde el nivel - 4.15m (nivel de sótano) con una viga de peralte adicional en los bordes de la losa de 2m de ancho y un metro. Nivel -5.15m



acuerdo a la evaluación de la zona se debe cimentar en el estrato compacto GP-GM es decir a unos 5 metros de profundidad con respecto al terreno inicial

En concordancia con los perfiles encontrados por los S.P.T. , las calicatas y los ensayos geofísicos, se propone mejoramiento de suelo adicionando grava de 3 pulgadas en un 30% y densificar al suelo existente debajo de la platea de cimentación con, vibro compactación hasta el 95% de du_{MDC} .

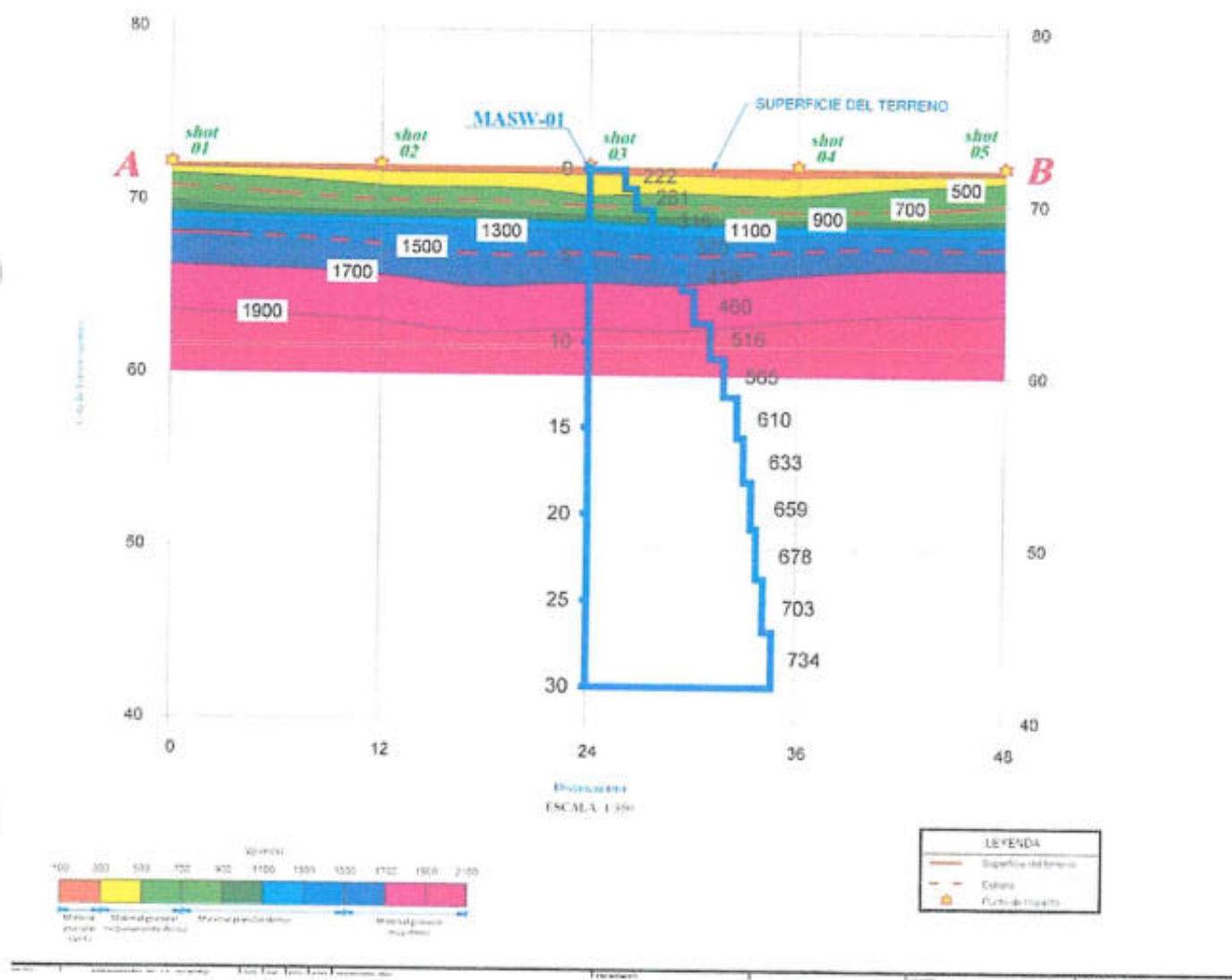


Al ser suelos granulares y en presencia del nivel freático requieren vibración para su densificación.

Ing. ERICO PAUCAR TITO EIRL
Ing. EIRL
Ing. Civil Reg. CIP 44210

FPT EIRL 	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACIÓN DEL INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN: "CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL"	DOCUMENTO: FPT-00140'2023	000888 Rev. 0
		FECHA: DIC 2023	
		ORIGINADO POR: FPT	

PERFIL SÍSMICO LÍNEA LS-01



3 Angulo de fricción ensayo triaxial CD SUELO GRANULA GP-GM

Ang fricción 43.9° cohesión .42 kg/cm2

4 Capacidad portante:

a) Mediante el método de las Terzagui y Vesic, se ha determinado las capacidades de cargas admisibles siguientes:

capacidad admisible de losa de cimentación de 40mx47m

INGENIERO DE SUELOS Y CONCRETO
 FEDERICO BASEAL PAUCAR TITO EIRL
 Reg. CIP 44210

FPT EIRL 	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS		DOCUMENTO: FPT-00140'2023	000887 Rev. 0
	SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACIÓN DEL INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN: "CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL"		FECHA: DIC 2023	
			ORIGINADO POR: FPT	

[m]	Capacidad admisible considerando asentamiento qad [kg/cm ²]			
	L/B=1.0	L/B=1.2	40x47m	
B=40.0	2.17	2.00	-	-
B=47.0	1.84	1.70	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-

[m]	asentamiento maximo Sq-all [cm]			
	L/B=1.0	L/B=1.2		
B=40.0	5.00	5.00	-	-
B=47.0	5.00	5.00	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-

Generated by "SO-Foundation" Version 2.3.8598.1
 Soil Office Software Group
 www.soiloffice.com
 Tel: +98 912 313 4107 - Umad Zargaran



Thursday, diciembre 2023 - 12:24:33
 Licensed to: FEDERICO PAUCAR TITO EIRL

verificando en obra el modulo de balasto mediante ensayo de placa de carga

k30 minimo 17 kg/cm3

Modulo de winckler = 4.1 kg/cm3



Capacidad admisible en viga de borde de 2 m de ancho

Q adm. = 3.5 kg/cm2

5 Asentamiento :Terzaghi y Peck dicen que Δp para plateas es la mitad del Δp que se esperaría si la misma

El asentamiento máximo tolerable para platea es menor de 5cm . que se verifico para el calculo de la capacidad portante.

6 sobre el tipo de suelo y el ataque químico a la estructura.

No presenta cantidades Agresivas al concreto

Se recomienda usar Cemento Tipo V o HS para estructuras en contacto con suelo húmedo o saturados. Por las condiciones de humedad permanente, y nivel freático cercano recomendamos un concreto $f'c = 280$ kg/cm2 según criterios del ACI 318, de acuerdo al estudio hidrológico para este proyecto hay flujo de aguas que varían los componentes químicos.

Protección de la edificación ante el nivel freático:

El concreto en contacto con el suelo deberá ser impermeable y adicionarse medidas de impermeabilización interna y externa como geomembranas. Waterstop,

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
 FEDERICO PAUCAR TITO EIRL

Federico Paucar Tito
 INGENIERO Reg. CIP 24210

FPT EIRL 	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS		DOCUMENTO: FPT-00140'2023	Rev. 0
	SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACIÓN DEL INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN: "CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL"		FECHA: DIC 2023	
			ORIGINADO POR: FPT	

Se recomienda un sistema con drenes verticales, y el control del nivel freático para la edificación, el diseño de un sistema de expulsión de agua desde el sótano al exterior.

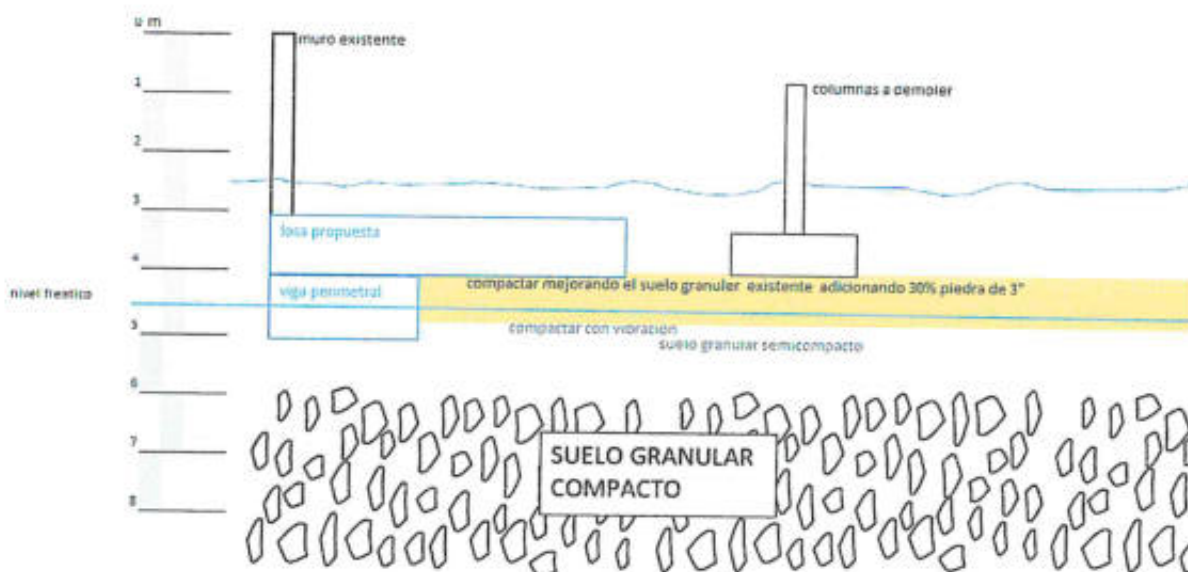
Recomendaciones para el proceso constructivo

FASES 1

Demolición de columnas, zapatas, vigas de cimentación, plateas de cimentación y muros interiores, de forma sectorizada con la finalidad de no debilitar las calzaduras existentes, seguidamente, excavar el terreno existente hasta el nivel freático, que tiene profundidad de 2 m por debajo del existente actual.

FASE 2

Luego se compacta al material existente al cual se añade el 30% de piedra de 3" para su mejoramiento, este proceso se realiza compactando en capas de 25 cm utilizando un rodillo vibratorio para suelo granular de peso mínimo 11.5 toneladas mínimamente, hasta alcanzar el nivel de fondo de cimentación (-4.15 NTN), previo a los trabajo de compactación realizar el apuntalamiento de las calzaduras y muros perimetrales existentes, se debe tener mucho cuidado al momento de compactar para evitar el colapso de las estructuras existentes.



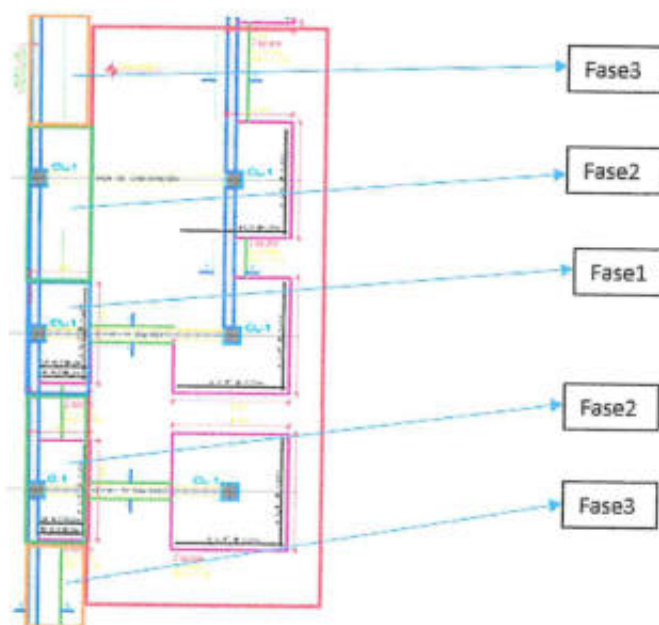
EQUIPO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PAUCAR TITO EIRL

Federico Pascual Paucar Tito
ING CIVIL - RIT. CIP 34210

FPT EIRL 	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACIÓN DEL INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN: "CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL"	DOCUMENTO:	FPT-00140/2023	000885 Rev. 0
		FECHA:	DIC 2023	
		ORIGINADO POR	FPT	

FASE 3

Se procede a la demolición de los muros existentes de forma intercalada sin que se sobrepase la longitud de 5 m, los muros que no serán demolidos deberán estar apuntalados, en el caso de encontrar columnas con zapatas la demolición y ejecución de los muros colindantes se realizara de forma intercalada como se muestra en la siguiente imagen



FASE 4

Se realiza la construcción de la viga de borde y la losa de cimentación de manera sectorizada, previamente se coloca una geomembrana de 1 – 1.5 mm de espesor

FASE 5

Construcción del muro de contención, y la posterior ejecución de la estructura principal del edificio, en todo el proceso se debe respetar los espacios para la cisterna y pozos a tierra.

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PAUCAR TITO EIRL

Federico Pascual Paucar Tito
ING-Civil Reg. CIP 44210

FPT EIRL 	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS	DOCUMENTO:	FPT-00140/2023	000884 Rev. 0
	SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACIÓN DEL INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN: "CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL"	FECHA:	DIC 2023	
		ORIGINADO POR	FPT	

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PAUCAR TITO EIRL

Federico Pascual Paucar Tito
ING. CIVIL Reg. CIP 34210

FPT EIRL 	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS	DOCUMENTO: FPT-00140'2023	000883 Rev. 0
	SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACIÓN DEL INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN: "CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL"	FECHA: DIC 2023	
		ORIGINADO POR: FPT	

8 REFERENCIAS

Mecánica de suelos y cimentaciones LIMUSA Crespo Villalez (1980)

Análisis de la capacidad de carga en cimentaciones Vesic A (1971)

Soil Mechanics Terzagui and Peck (1967)

Reglamento Nacional de edificaciones (2006)

Cimentaciones de Concreto Armado en Edificaciones, ACI

"Distribuciones de Máximas Intensidades Sísmicas Observadas en el Perú, V Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Tacna, Perú" Alva Hurtado J.E. Meneses J Y Guzmán V. (1984).

Carta Geológica IGN

Licuación de suelos gravosos XI-CONIC Trujillo - Peru Martinez V.Alberto (1997)

Ingeniería de Cimentación Braja M Das

Reconocimiento geológico y geodinámico INDECI

Efectos geológicos en edificaciones INGENMMET- CISMID

Zonificación Geotécnica Sísmica INDECI

9 ANEXOS

9.1 PLANO DE UBICACIÓN DE ENSAYOS

9.2 ENSAYOS DE LABORATORIO Y CAMPO

9.3 PANEL FOTOGRÁFICO

9.4 CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETOS
FEDERICO PAUCAR TITO EIRL

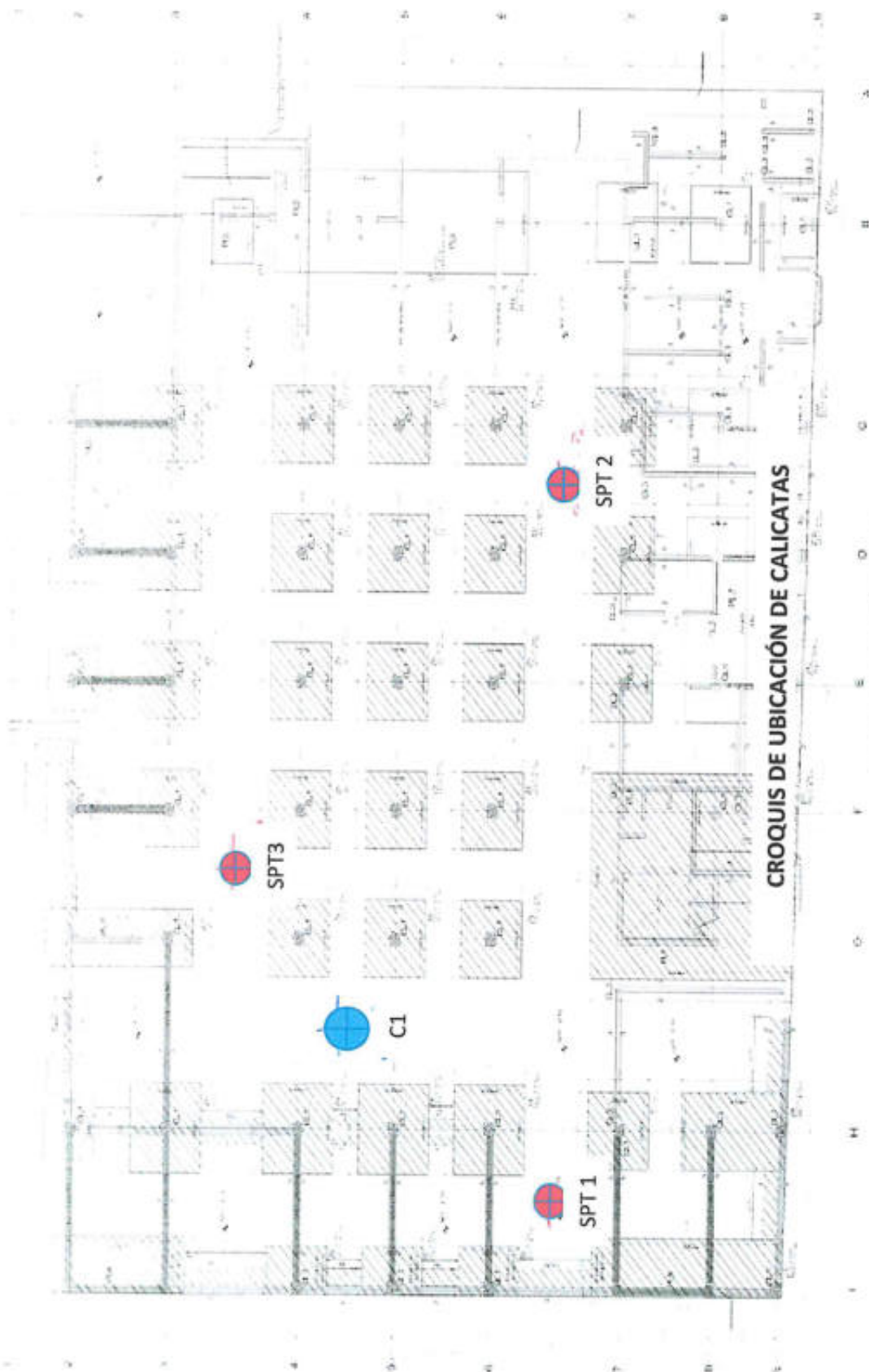
Federico Paucar Tito
ING. CIVIL REG. CO 34230



FEDERICO PAUCAR TITO, ING. CIVIL

SERVICIO	INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN : CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICA EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL				
SOLICITANTE	MINISTERIO PUBLICO				
UBICACIÓN	DISTRITO	SAN VICENTE DE CAÑETE			
	PROVINCIA	CAÑETE			
	DEPARTAMENTO	LIMA			
INGENIERO	FEDERICO PAUCAR TITO	COLEGIATURA		CIP N°: 44210	
		LICENCIATURA DE SUELOS Y CIMENTADO FEDERICO PAUCAR TITO EIRL			
		 Federico Paucar Tito ING CIVIL REG. CIP 14210			

DESCRIPCION	COORDENADAS UTM	
	E	S
CALICATA C1	352646.19	8555000.95
SPT 1	352646.11	8555000.83
SPT 2	352623.41	8555024.38
SPT 3	352621.99	8554999.92



CAPACIDAD ADMISIBLE en kg/cm2

[m]	qall [kg/cm ²]								
	L/B=1.0	L/B=1.2	40x47						
B=40.0	2.17	2.00	-	-	-	-	-	-	-
B=47	1.84	1.70	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Settlement due to the allowable bearing capacity

[m]	Sq-all [cm]								
	L/B=1.0	L/B=1.2							
B=40.0	5.00	5.00	-	-	-	-	-	-	-
B=47	5.00	5.00	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Generated by "SO-Foundation" Version 2.3.8598.1
 Soil Office Software Group
 www.soiloffice.com
 Tel: +98 912 313 4107 - Emad Zargaran



Tuesday, febrero 06, 2024 - 08:25:36
 Licensed to: FEDERICO PAUCAR TITO EIRL

CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO

DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL

LABORATORIO DE SUELOS Y CIMENTOS
 FEDERICO PAUCAR TITO EIRL
 Federico Pascual Paucar Tito
 ING Civil Reg. C^o 42110

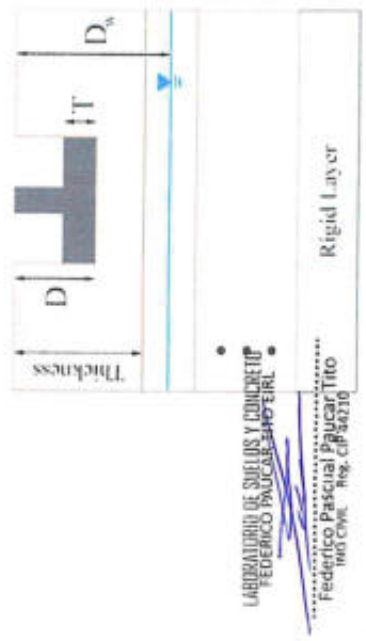
Name	ESTUDIO DE SUELOS	Client	MINISTERIO PÚBLICO	Location	DISTRITO SAN VICENTE DE CAÑETE REGION LIMA	Code		Date	2023-12-11
------	-------------------	--------	--------------------	----------	--	------	--	------	------------

Notes

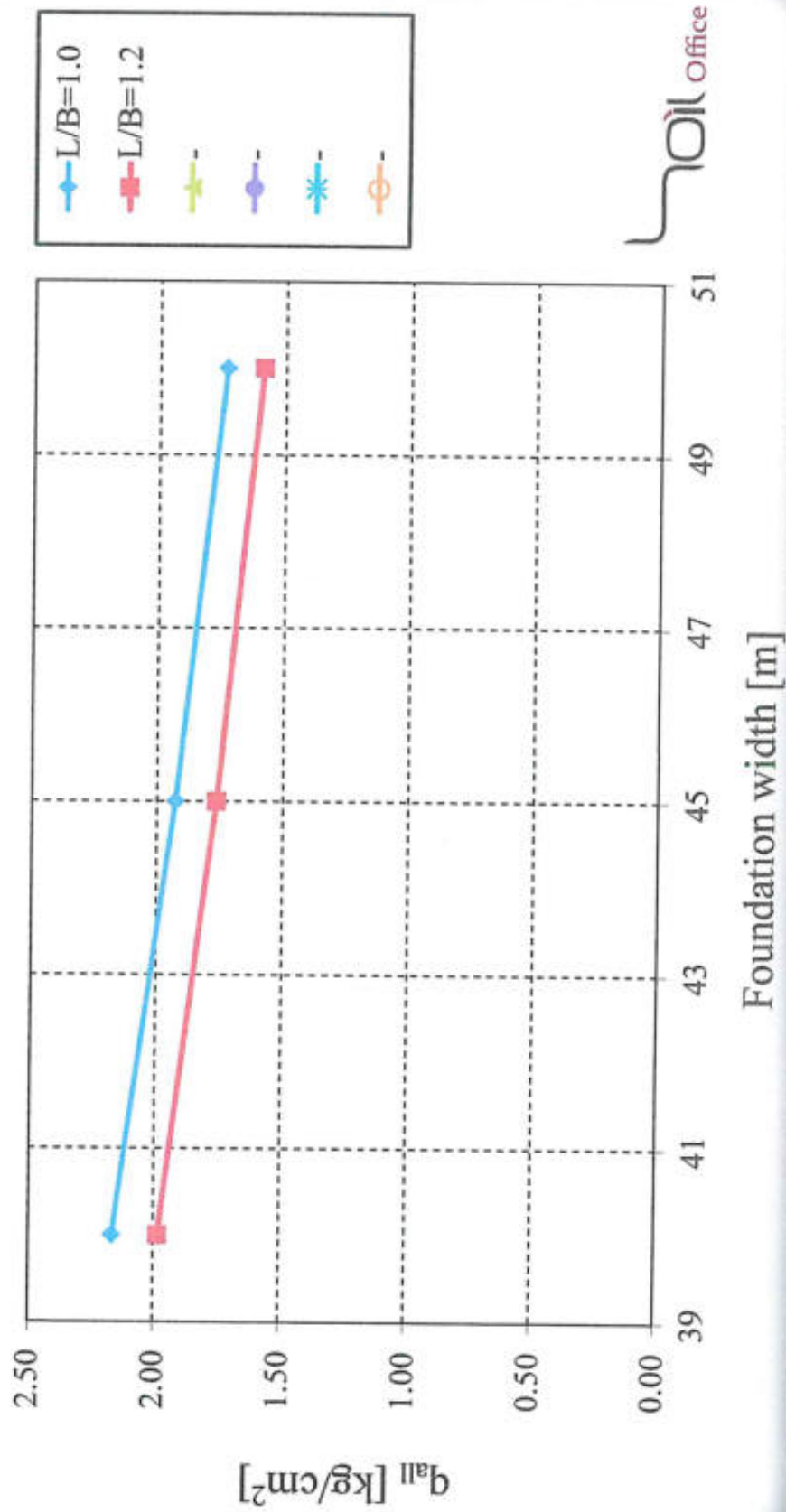
CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL

No.	USCS	Bounds [m]	γ [g/cm^3]	ϕ [deg.]	c [kg/cm^2]	E_s [kg/cm^2]	v	Consolidation	C_c	C_u	e_0	Auto	Sublayers
1	GP-GM	0.00-3.00	1.10	44.0	0.00	1,200	0.42	False	-	-	-	-	1
2	GP	3.00-13.00	1.10	44.0	0.00	1,200	0.42	False	-	-	-	-	1

General	g [m/s^2]	9.80	T [m]	1.0	O [m]	2.0	D_w [m]	2.0	Footing type	Mat				
Shear failure	Method	Hansen	Failure type	General	$F.S.$	3.0	RF_ϕ	-	RF_c	-	Water effect	Das	Large footing effect	False
Settlement	Basic	Allowable settlement [cm]	5.00	Effective stratum depth	Criteria	Pressure isobars	Method	Boussinesq	Value [%]	10				
	Elastic	E_s method	Weighted average	E_r/E_s	Excavation effect	Influence factor	Steinbrener	Rigidity	Flexible	Criteria	Center			
	Consolidation	P'_c method	Auto	Westergaard	Loading effects	α_{sum}	Excavation effect	True						



CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL



JOIL Office

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PASQUAL PAUCAR TITO EIRL

Federico Pasqual Paucar Tito
ING. CIVIL REG. CP 34210

**ENSAYOS DE CARACTERIZACIONES FÍSICAS**

(ASTM - D2216; D6913; D4318; D4943; D2487; D-3282)

Informe : LG23-085

Fecha : Diciembre, 2023

Solicitante : FEDERICO PAUCAR TITO E. I. R. L.

Proyecto : Informe de Verificación de Mecánica de Suelos para el Expediente Técnico Saldo de Obra del Proyecto de Inversión
Construcción y Equipamiento de la Sede del Ministerio Público en el Distrito Judicial de Cañete en el Marco del Nuevo
Código Procesal Penal CUI 2090071

Ubicación : San Vicente de Cañete - Lima

Sondaje : C - 1

Hoja : 1 de 1

Muestra : M - 1

Profundidad (m) : 2.00

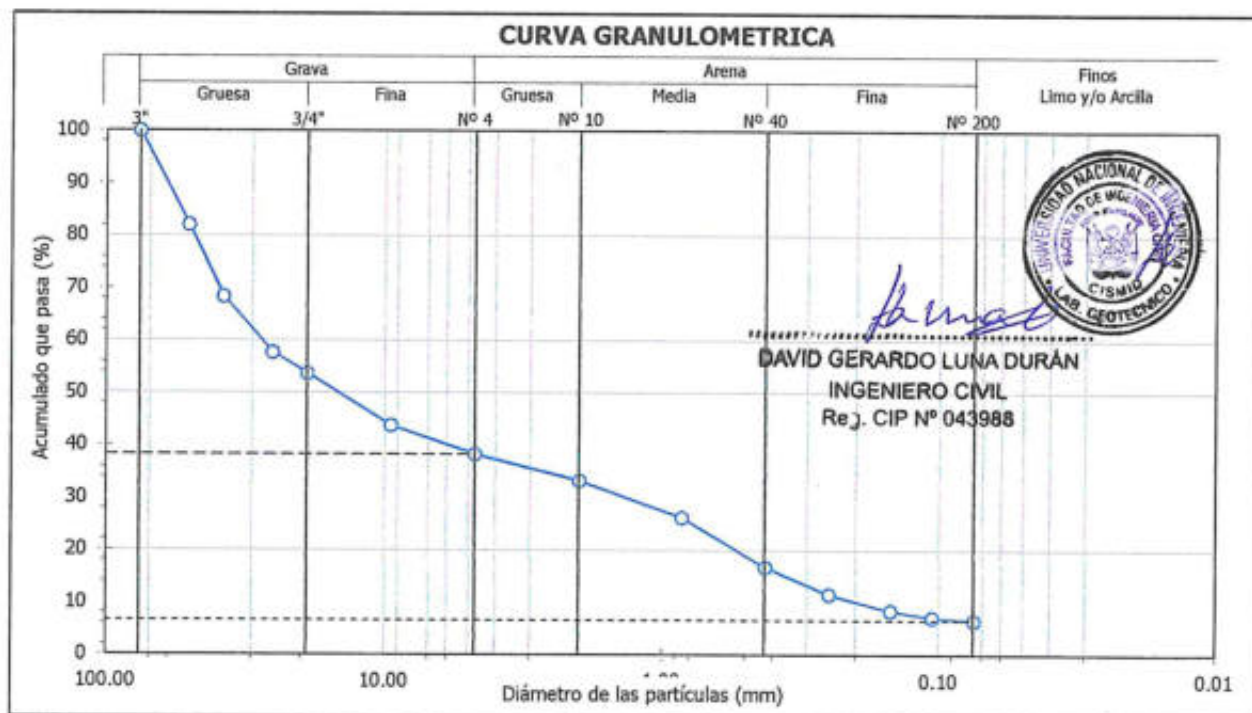
Granulometría por tamizado - D6913		
Tamiz	Abertura (mm)	Acum. q' Pasa (%)
3"	76.200	100.0
2"	50.800	82.1
1½"	38.100	68.4
1"	25.400	57.7
¾"	19.050	53.7
3/8"	9.525	43.8
Nº 4	4.750	38.3
Nº 10	2.000	33.3
Nº 20	0.850	26.2
Nº 40	0.425	16.8
Nº 60	0.250	11.6
Nº 100	0.150	8.5
Nº 140	0.106	7.2
Nº 200	0.075	6.6

Contenido de humedad - D2216		(%)	8.9
Límites de consistencia D4318	Límite Líquido	(%)	NP
	Límite Plástico	(%)	NP
	Índice de Plasticidad	(%)	NP
	Límite de Contracción - D4943	(%)	---
Resultados de granulometría por tamizado	Coefficiente de Uniformidad (Cu)		144.7
	Coefficiente de Curvatura (Cc)		0.3
	Grava [Nº 4 < ϕ < 3"]	(%)	61.7
	Arena [Nº 200 < ϕ < Nº 4]	(%)	31.7
	Finos [ϕ < Nº 200]	(%)	6.6

Clasificación - D3282 / D2487

AASHTO

SUCS

A-1a (0)**GP - GM Grava mal gradada con limo y arena**

Observación : La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante.

**ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL**

Consolidado - Drenado (CD) // ASTM - D7181

Informe : LG23-085
Solicitante : FEDERICO PAUCAR TITO E. I. R. L.
Proyecto : Informe de Verificación de Mecánica de Suelos para el Expediente Técnico Saldo de Obra del Proyecto de Inversión Construcción y Equipamiento de la Sede del Ministerio Público en el Distrito Judicial de Cañete en el Marco del Nuevo Código Procesal Penal CUI 2090071
Ubicación : San Vicente de Cañete - Lima

Fecha : Diciembre, 2023

Sondaje : C - 1
Muestra : M - 1
Profundidad (m) : 2.00
Estado : Remoldeado

Hoja : 1 de 4

Clasificación - SUCS : GP - GM

Velocidad (mm/min) : 0.50

ESPECIMEN 01

Condiciones	Inicial	Final
Altura (cm)	20.00	19.94
Diámetro (cm)	10.10	10.07
Humedad (%)	8.4	11.0
Densidad seca (g/cm ³)	2.13	2.14

Datos del ensayo		
Parámetro de saturación B (%)		71
Presión de celda (σ_3) (kg/cm ²)		2.0
Contrapresión (kg/cm ²)		1.0
Esfuerzo Efectivo (σ_3') (kg/cm ²)		1.0

Deformación (%)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Volumen (cm ³)	σ_1 (kg/cm ²)	p (kg/cm ²)	q (kg/cm ²)	q/p	Oblicuidad (σ_1/σ_3)	Δ_v / V_o (%)
0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00
0.05	0.38	0.30	1.38	1.19	0.19	0.16	1.38	0.02
0.10	0.73	0.66	1.73	1.36	0.36	0.27	1.73	0.04
0.25	1.37	1.32	2.37	1.69	0.69	0.41	2.37	0.08
0.35	2.40	1.88	3.40	2.20	1.20	0.55	3.40	0.12
0.50	3.46	1.90	4.46	2.73	1.73	0.63	4.46	0.12
0.75	4.91	0.62	5.91	3.45	2.45	0.71	5.91	0.04
1.00	5.68	-2.06	6.68	3.84	2.84	0.74	6.68	-0.13
1.25	6.05	-5.18	7.05	4.03	3.03	0.75	7.05	-0.33
1.50	6.25	-5.58	7.25	4.13	3.13	0.76	7.25	-0.35
1.75	6.34	-11.78	7.34	4.17	3.17	0.76	7.34	-0.74
2.00	6.16	-14.72	7.16	4.08	3.08	0.75	7.16	-0.93
2.50	6.03	-20.80	7.03	4.01	3.01	0.75	7.03	-1.31
3.00	5.80	-26.18	6.80	3.90	2.90	0.74	6.80	-1.65
3.50	5.57	-30.58	6.57	3.79	2.79	0.74	6.57	-1.92
4.00	5.15	-33.82	6.15	3.58	2.58	0.72	6.15	-2.13
4.50	4.93	-36.80	5.93	3.46	2.46	0.71	5.93	-2.32
5.00	4.52	-38.72	5.52	3.26	2.26	0.69	5.52	-2.44
6.00	4.31	-40.58	5.31	3.16	2.16	0.68	5.31	-2.55
7.00	4.23	-41.92	5.23	3.12	2.12	0.68	5.23	-2.64
8.00	4.29	-42.96	5.29	3.15	2.15	0.68	5.29	-2.70
9.00	4.29	-44.34	5.29	3.15	2.15	0.68	5.29	-2.79
11.00	4.24	-46.68	5.24	3.12	2.12	0.68	5.24	-2.94
13.00	4.26	-48.98	5.26	3.13	2.13	0.68	5.26	-3.08
15.00	4.28	-49.38	5.28	3.14	2.14	0.68	5.28	-3.11

Observaciones : La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante. Material menor de 3/4", humedad remoldeable = 8.4 % (humedad proporcionada = 10.5 %), densidad seca = 2.13 g/cm³. Los datos de remoldeo son responsabilidad del

Av. Túpac Amaru 1150, Rímac, Lima 25, Código Postal 15333 - Perú

Teléfonos: (1) 4811070 Anexo 7314 / Celular: 967493914.

Correo-e: labgeoc@uni.edu.pe / URL: <http://www.cismid-uni.org>

DAVID GERARDO LUNA DURÁN

INGENIERO CIVIL

Reg. CIP N° 043988



**ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL**

Consolidado - Drenado (CD) // ASTM - D7181

Informe : LG23-085
Solicitante : FEDERICO PAUCAR TITO E. I. R. L.
Proyecto : Informe de Verificación de Mecánica de Suelos para el Expediente Técnico Saldo de Obra del Proyecto de Inversión Construcción y Equipamiento de la Sede del Ministerio Público en el Distrito Judicial de Cañete en el Marco del Nuevo Código Procesal Penal CUI 2090071
Ubicación : San Vicente de Cañete - Lima

Fecha : Diciembre, 2023

Sondaje : C - 1
Muestra : M - 1
Profundidad (m) : 2.00
Estado : Remoldeado

Hoja : 2 de 4
Clasificación - SUCS : GP - GM
Velocidad (mm/min) : 0.50

ESPECIMEN 02

Condiciones	Inicial	Final
Altura (cm)	20.00	19.92
Diámetro (cm)	10.10	10.07
Humedad (%)	8.4	11.11
Densidad seca (g/cm ³)	2.1	2.14

Datos del ensayo		
Parámetro de saturación B	(%)	91
Presión de celda (σ_3)	(kg/cm ²)	3.0
Contrapresión	(kg/cm ²)	1.0
Esfuerzo Efectivo (σ_3')	(kg/cm ²)	2.0

Deformación (%)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Volumen (cm ³)	σ_1 (kg/cm ²)	p (kg/cm ²)	q (kg/cm ²)	q/p	Oblicuidad (σ_1/σ_3)	Δ_v / V_o (%)
0.00	0.00	0.00	2.00	2.00	0.00	0.00	1.00	0.00
0.05	0.59	0.22	2.59	2.29	0.29	0.13	1.29	0.01
0.10	1.16	0.60	3.16	2.58	0.58	0.22	1.58	0.04
0.25	2.22	1.40	4.22	3.11	1.11	0.36	2.11	0.09
0.35	3.86	2.20	5.86	3.93	1.93	0.49	2.93	0.14
0.50	5.52	2.64	7.52	4.76	2.76	0.58	3.76	0.17
0.75	8.03	2.52	10.03	6.02	4.02	0.67	5.02	0.16
1.00	9.56	1.34	11.56	6.78	4.78	0.71	5.78	0.08
1.25	10.42	-0.48	12.42	7.21	5.21	0.72	6.21	-0.03
1.50	10.95	-2.56	12.95	7.47	5.47	0.73	6.47	-0.16
1.75	11.26	-4.84	13.26	7.63	5.63	0.74	6.63	-0.30
2.00	11.41	-7.18	13.41	7.71	5.71	0.74	6.71	-0.45
2.50	11.44	-11.84	13.44	7.72	5.72	0.74	6.72	-0.75
3.00	11.10	-16.64	13.10	7.55	5.55	0.74	6.55	-1.05
3.50	10.74	-20.70	12.74	7.37	5.37	0.73	6.37	-1.30
4.00	10.34	-24.10	12.34	7.17	5.17	0.72	6.17	-1.52
4.50	9.98	-27.08	11.98	6.99	4.99	0.71	5.99	-1.71
5.00	9.64	-29.20	11.64	6.82	4.82	0.71	5.82	-1.84
6.00	9.01	-32.54	11.01	6.50	4.50	0.69	5.50	-2.05
7.00	8.36	-35.04	10.36	6.18	4.18	0.68	5.18	-2.21
8.00	8.07	-36.64	10.07	6.03	4.03	0.67	5.03	-2.31
9.00	7.83	-37.52	9.83	5.91	3.91	0.66	4.91	-2.36
11.00	7.51	-39.04	9.51	5.75	3.75	0.65	4.75	-2.46
13.00	7.32	-39.64	9.32	5.66	3.66	0.65	4.66	-2.50
15.00	7.15	-40.20	9.15	5.57	3.57	0.64	4.57	-2.53

Observaciones : La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante. Material menor de 3/4", humedad remoldeable = 8.4 % (humedad proporcionada = 10.5 %), densidad seca = 2.13 g/cm³. Los datos de remoldeo son responsabilidad del solicitante.

Av. Túpac Amaru 1150, Rimac, Lima 25, Código Postal 15333 - Perú

Teléfonos: (1) 4811070 Anexo 7314 / Celular: 967493914.

Correo-e: labgeoc@uni.edu.pe / URL: <http://www.cismid-uni.org>

DAVID GERARDO LUNA DURÁN
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 043988



**ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL**

Consolidado - Drenado (CD) // ASTM - D7181

Informe : LG23-085 Fecha : Diciembre, 2023
Solicitante : FEDERICO PAUCAR TITO E. I. R. L.
Proyecto : Informe de Verificación de Mecánica de Suelos para el Expediente Técnico Saldo de Obra del Proyecto de Inversión Construcción y Equipamiento de la Sede del Ministerio Público en el Distrito Judicial de Cañete en el Marco del Nuevo Código Procesal Penal CUI 2090071
Ubicación : San Vicente de Cañete - Lima

Sondaje : C - 1 Hoja : 3 de 4
Muestra : M - 1 Clasificación - SUCS : GP - GM
Profundidad (m) : 2.00 Velocidad (mm/min) : 0.50
Estado : Remoldeado

ESPECIMEN 03

Condiciones	Inicial	Final
Altura (cm)	20.00	19.89
Diámetro (cm)	10.10	10.06
Humedad (%)	8.4	10.81
Densidad seca (g/cm ³)	2.1	2.15

Datos del ensayo		
Parámetro de saturación B	(%)	93
Presión de celda (σ_3)	(kg/cm ²)	5.0
Contrapresión	(kg/cm ²)	1.0
Esfuerzo Efectivo (σ_3^T)	(kg/cm ²)	4.0

Deformación (%)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Volumen (cm ³)	σ_1 (kg/cm ²)	p (kg/cm ²)	q (kg/cm ²)	q/p	Oblicuidad ($\bar{\sigma}_1/\bar{\sigma}_3$)	Δ_v/V_o (%)
0.00	0.00	0.00	4.00	4.00	0.00	0.00	1.00	0.00
0.05	0.62	0.15	4.62	4.31	0.31	0.07	1.16	0.01
0.10	1.63	0.47	5.63	4.81	0.81	0.17	1.41	0.03
0.25	3.64	1.28	7.64	5.82	1.82	0.31	1.91	0.08
0.35	6.92	2.34	10.92	7.46	3.46	0.46	2.73	0.15
0.50	10.04	3.07	14.04	9.02	5.02	0.56	3.51	0.19
0.75	13.65	3.48	17.65	10.82	6.82	0.63	4.41	0.22
1.00	15.76	3.13	19.76	11.88	7.88	0.66	4.94	0.20
1.25	17.08	2.41	21.08	12.54	8.54	0.68	5.27	0.15
1.50	18.08	1.43	22.08	13.04	9.04	0.69	5.52	0.09
1.75	18.79	-0.07	22.79	13.40	9.40	0.70	5.70	0.00
2.00	19.31	-1.37	23.31	13.65	9.65	0.71	5.83	-0.09
2.50	19.88	-4.07	23.88	13.94	9.94	0.71	5.97	-0.26
3.00	20.01	-7.32	24.01	14.01	10.01	0.71	6.00	-0.46
3.50	19.84	-10.67	23.84	13.92	9.92	0.71	5.96	-0.67
4.00	19.64	-13.42	23.64	13.82	9.82	0.71	5.91	-0.85
4.50	19.29	-16.42	23.29	13.64	9.64	0.71	5.82	-1.04
5.00	18.91	-18.92	22.91	13.46	9.46	0.70	5.73	-1.20
6.00	18.03	-23.37	22.03	13.01	9.01	0.69	5.51	-1.48
7.00	17.39	-27.47	21.39	12.69	8.69	0.68	5.35	-1.74
8.00	16.80	-29.97	20.80	12.40	8.40	0.68	5.20	-1.90
9.00	16.37	-31.97	20.37	12.19	8.19	0.67	5.09	-2.02
11.00	15.44	-34.77	19.44	11.72	7.72	0.66	4.86	-2.20
13.00	14.99	-36.08	18.99	11.49	7.49	0.65	4.75	-2.28
15.00	15.02	-36.65	19.02	11.51	7.51	0.65	4.76	-2.32

Observaciones : La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante. Material menor de 3/4", humedad remoldeable = 8.4 % (humedad proporcionada = 10.5 %), densidad seca = 2.13 g/cm³. Los datos de remoldeo son responsabilidad del solicitante.

Av. Túpac Amaru 1150, Rimac, Lima 25, Código Postal 15333 - Perú

Teléfonos: (1) 4811070 Anexo 7314 / Celular: 967493914.

Correo-e: labgeoc@uni.edu.pe / URL: <http://www.cismid-uni.org>

David Gerardo Luna Durán
DAVID GERARDO LUNA DURÁN
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 043988



**ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL**

Consolidado - Drenado (CD) // ASTM - D7181

Informe : LG23-085
Solicitante : FEDERICO PAUCAR TITO E. I. R. L.
Proyecto : Informe de Verificación de Mecánica de Suelos para el Expediente Técnico Saldo de Obra del Proyecto de Inversión Construcción y Equipamiento de la Sede del Ministerio Público en el Distrito Judicial de Cañete en el Marco del Nuevo Plan General de Desarrollo Urbano 2000071
Ubicación : San Vicente de Cañete - Lima

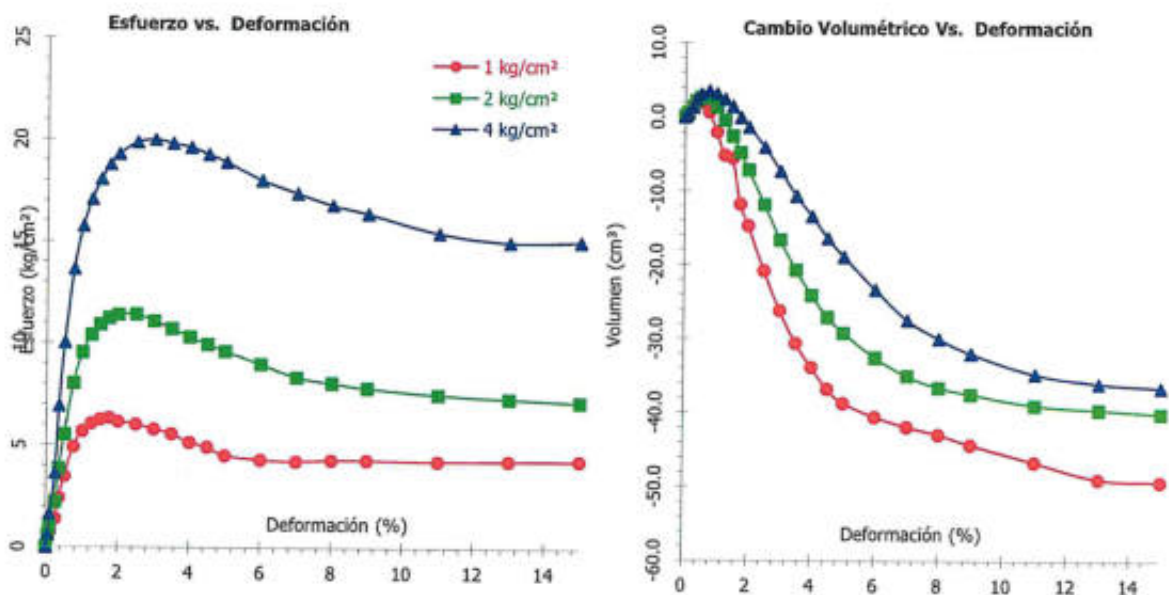
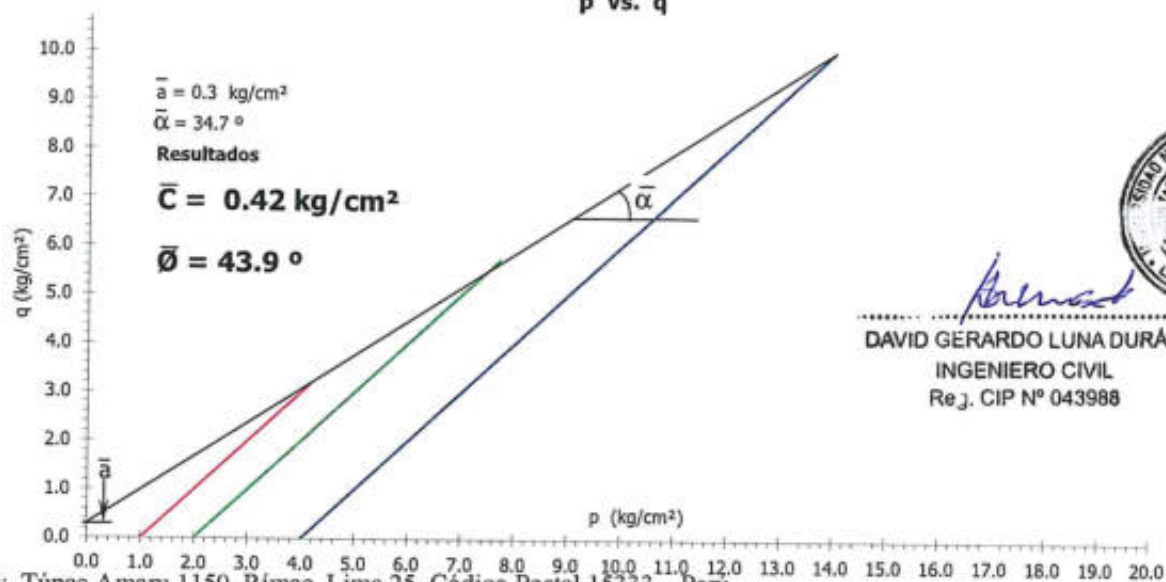
Fecha : Diciembre, 2023

Sondaje : C - 1
Muestra : M - 1
Profundidad (m) : 2.00
Estado : Remoldeado

Hoja : 4 de 4

Clasificación - SUCS : GP - GM

Velocidad (mm/min) : 0.50

**p vs. q**

DAVID GERARDO LUNA DURÁN
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 043988



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Civil
Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas
y Mitigación de Desastres
Laboratorio Geotécnico



ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - Drenado (CD) // ASTM - D7181

Informe
Solicitante
Proyecto
Ubicación

: LG23-085
: FEDERICO PAUCAR ELIRI
: Informe de Verificación de Mecánica de Suelos para el Expediente Técnico Saldo de Obra
del Proyecto de Inversión Construcción y Equipamiento de la Sede del Ministerio Público en
: San Vicente de Cañete - Lima

Fecha : Diciembre, 2023

Sondaje
Muestra
Profundidad (m)
Estado

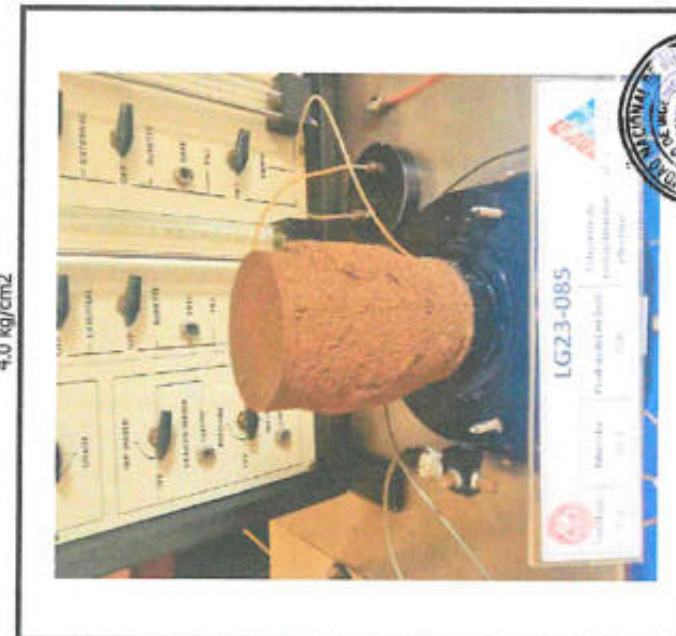
: C - 1
: M - 1
: 2.00
: Remoldeado

Hoja : Fotos
AASHTO : A-1a (0)
SUCS : GP - GM // Grava mal graduada con limo y arena
Velocidad (mm/min): 0.50

ESPÉCIMEN 1
Esfuerzo efectivo
1.0 kg/cm²

ESPÉCIMEN 2
Esfuerzo efectivo
2.0 kg/cm²

ESPÉCIMEN 3
Esfuerzo efectivo
4.0 kg/cm²



Av. Túpac Amaru 1150, Rimac, Lima 25, Código Postal 15333 - Perú
Teléfonos: (1) 4811070 Anexo 7314 / Celular: 967493914.
Correo-e: labgeoc@uni.edu.pe / URL: <http://www.sismid-uni.org>

DAVID GERARDO LUNA DURAN
INGENIERO CIVIL
Rej. CIP N° 043988



000873

ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR (SPT) STANDARD TEST METHOD FOR STANDARD PENETRATION TEST (SPT) AND SPLIT-BARREL SAMPLING OF SOILS (ASTM D1586 / D1586M - 10)

PROYECTO	SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACIÓN DEL INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN:	Registro N°	: PJI_FP_CA-12/AA-SPT01@6.3-C3IE
	"CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL"	Fecha	: Diciembre del 2023
DATOS GENERALES			
UBICACIÓN	: PROVINCIA DE CAÑETE - DEPARTAMENTO DE LIMA		
PROCEDENCIA	: SUELO NATURAL		
PERFORACION	: SPT - 01		
MUESTRA	: Secciones de 0.45 m		
PROFUND.	: 0.00 - 6.30 m.		
	SOLICITANTE : FEDERICO PAUCAR TITO EIRL		
	TAMANO MÁXIMO : > 3/4 in.		
	NIVEL FREÁTICO : -,-		

DESCRIPCIÓN VISUAL - MANUAL	PROFUNDIDAD	N ₁	N ₂	N ₃	N _{campo}	Q _{no} Centro de la muestra kN/m ²	N ₆₀ arcillas	C _u	N ₁₀₀ arenas	Asentamiento Cimentación arenas (cm)
	0.00 - 0.45	1	1	3	4	8.55	3.00	1.70	5	5.5
	0.45 - 0.90	7	3	1	4	17.10	3.00	1.58	5	5.5
	0.90 - 1.35	3	3	5	8	25.65	6.00	1.44	9	2.3
	1.35 - 1.80	11	27	27	54	37.80	38.00	1.35	51	0.1
	1.80 - 2.25	14	16	15	31	40.50	22.00	1.29	28	0.3
	2.25 - 2.70	19	10	1	11	48.60	8.00	1.26	10	0.5
	2.70 - 3.15	2	4	14	18	56.70	15.00	1.23	18	0.0
	3.15 - 3.60	19	18	16	34	75.60	29.00	1.20	35	0.0
	3.60 - 4.05	11	8	8	16	72.90	14.00	1.18	17	0.0
	4.05 - 4.50	10	12	8	20	94.50	17.00	1.15	20	0.0
	4.50 - 4.95	15	13	45	58	89.10	49.00	1.13	55	0.0
	4.95 - 5.40	21	54	81	145	97.20	138.00	1.11	153	0.0
	5.40 - 5.85	90	90	95	185	108.23	176.00	1.09	192	0.0
	5.85 - 6.30	94	96	105	201	113.40	191.00	1.07	204	0.0



LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PAUCAR TITO EIRL

Federico
Federico Pascual Paucar Tito
ING CIVIL. Exp. CIP 44753

C3 INGENIERIA ESPECIALIZADA SAC
ING OMAR HUAMANI SALAZAR CIP 146898
Av. Los Próceres N° 1000 Chilca Huancayo Junín
Email: C3ingenieriaespecializadasac@gmail.com



ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR (SPT)

STANDARD TEST METHOD FOR STANDARD PENETRATION TEST (SPT) AND SPLIT-BARREL SAMPLING OF SOILS (ASTM D1586 / D1586M - 18)

PROYECTO	SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACIÓN DEL INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN: "CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAJETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL"	Registro N°	J.A. 03-02-18-SP00003-CDE
		Fecha	1 Diciembre del 2023

DATOS GENERALES									
UBICACIÓN	PROVINCIA DE CAJETE - DEPARTAMENTO DE LIMA								
PROCEDENC	SUELO NATURAL								
PERFORACI	SPT - 01								
MUESTRA	Secciones de 0.45 m								
PROPUND.	0.00 - 6.30 m.								
	SOLICITANTE : FEDERICO PAUCAR TITO EIRL								
	TAMANO MÁXIMO : >3/4 in.								
	NIVEL FREÁTICO : ~								

PROFUNDIDAD	N(60) arcil 05	N(60) arenas	ÁNGULO DE FRICCIÓN (φ)								COHESION (kPa)			E _s (kPa)			Densidad Relativa	Jamiolkowski, 1968 & Skempton 1966		Meyerhof (1957)
			Bowles and Fidel 1966 (q _{net})	Peck et al. 1953	Meyerhof 1959 (Dr Uchida)	Hansen a Uchida 1966	Hansen & Uchida 1966	Hansen & Uchida 1966	φ Criterio Conservat or	Bowles, 1968	estroul, 1969	φ Criterio Conservat or	Bowles 1968	Schmertmann 1970	Promedio	Condición		Dr (%)	Dr (%)	
0.00 - 0.45	3	5.00	21	28	33	29.90	29.80	26.60	21.1	7.0	14.0	7.0	25000	25000	25000	Suelto	22.6	20.7	13.7	
0.45 - 0.90	3	5.00	21	28	32	29.70	29.40	26.40	21.1	7.0	14.0	7.0	25000	25000	25000	Suelto	22.6	20.7	9.9	
0.90 - 1.35	8	9.00	22	28	34	32.20	32.70	29.70	22.2	14.0	28.0	14.0	45000	45000	45000	Suelto	31.9	29.3	11.5	
1.35 - 1.80	38	51.00	35	30	41	45.00	45.00	45.00	30.4	94.5	189.0	94.5	13200	40800	27025	Muy denso	82.9	76.2	24.7	
1.80 - 2.25	22	28.00	28	30	38	40.80	43.70	40.70	28.4	54.2	108.5	54.2	9050	22400	15825	Medianament e denso	82.8	57.8	-	
2.25 - 2.70	8	10.00	23	29	34	33.20	33.90	30.90	23.0	19.2	38.5	19.2	50000	50000	50000	Medianament e denso	37.4	34.4	-	
2.70 - 3.15	16	18.00	26	29	36	37.50	39.40	36.40	25.9	38.3	76.5	38.3	7500	14400	10950	Medianament e denso	52.7	48.5	11.7	
3.15 - 3.60	29	35.00	31	30	39	42.90	45.00	43.40	29.9	72.3	144.5	72.3	11000	28000	19500	Denso	72.5	66.7	13.9	
3.60 - 4.05	14	17.00	25	29	36	36.30	37.90	34.90	25.2	34.0	68.0	34.0	7250	12600	10425	Medianament e denso	46.7	45.7	9.7	
4.05 - 4.50	17	20.00	27	29	36	37.80	39.80	36.80	26.6	42.5	85.0	42.5	8000	16000	12000	Medianament e denso	55.6	51.1	9.6	
4.50 - 4.95	49	55.00	39	31	42	45.00	45.00	45.00	30.8	123.3	246.5	123.3	16000	44000	30000	Muy denso	94.6	87.1	16.8	
4.95 - 5.40	138	153.00	45	33	45	45.00	45.00	45.00	33.4	344.4	688.8	344.4	39250	122400	89325	Muy denso	100	100	25.4	
5.40 - 5.85	176	192.00	45	34	45	45.00	45.00	45.00	34.3	439.4	878.8	439.4	47750	153600	106875	Muy denso	100	100	27.2	
5.85 - 6.30	191	204.00	45	35	45	45.00	45.00	45.00	34.6	477.4	954.8	477.4	51500	163200	107350	Muy denso	100	100	27.7	



LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PAUCAR TITO EIRL
Federico Pascual Paucar Tito
ING. CIVIL REG. C.P. 96719

C3 INGENIERIA ESPECIALIZADA SAC
ING OMAR HUAMANI SALAZAR CIP 146898
Av. Los Proceres N° 1000 Chilca Huancayo Junin
Email: C3ingenieriaespecializadasac@gmail.com

ING. ALEXIS GOMEZ CALLA
LABORATORIO DE SUELOS E INVESTIGACIONES
REG. C.I.P. N° 19178

ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR (SPT)

STANDARD TEST METHOD FOR STANDARD PENETRATION TEST (SPT) AND SPLIT-BARREL SAMPLING OF SOILS (ASTM D1586 / D1586M - 18)

PROYECTO	SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACIÓN DEL INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN: "CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL"	Registro N°	: PJL_FP_CA-12/AA-SPT01@6.3-C3EE
		Fecha	: Diciembre del 2023

DATOS GENERALES

UBICACIÓN	: PROVINCIA DE CAÑETE - DEPARTAMENTO DE LIMA	SOLICITANTE	: FEDERICO PAUCAR TITO EIRL
PROCEDENCIA	: SUELO NATURAL	TAMANO MÁXIMO	: >3/4 in.
PERFORACION	: SPT - 01	NIVEL FREÁTICO	: -.-
MUESTRA	: Secciones de 0.45 m		
PROFUND.	: 6.30 m		

REGISTRO DE SONDAJES

GM	SIMBOLO	DESCRIPCION DEL SUELO	S U C S	CORRELACIONES			ENSAYOS DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR	
				N SPT	N 60	N ₆₀	N _{SPT}	N° de golpes 15 cm
0.05								
0.15								
0.30		Suelo Fino Arenoso, Sin Plasticidad	SP					
0.45				4	3	5		
0.60								
0.75								
0.90		Suelo Fino Arenoso, Plasticidad Baja a Nula	SM	4	3	5		
1.05								
1.20								
1.35				8	6	9		
1.50		Suelo Fino Arenoso, Plasticidad Baja a Nula	SM					
1.65								
1.80				54	38	51		
1.95								
2.10		Suelo Fino Arenoso, Plasticidad Baja a Nula	SM					
2.25				31	22	28		
2.40								
2.55								
2.70		Suelo Gravoso, con Arena, Plasticidad Baja a Nula		11	8	10		
2.85								
3.00								
3.15				18	15	18		
3.30		Suelo Gravoso, con Arena, Plasticidad Baja a Nula	GM					
3.45								
3.60								



C3 INGENIERIA ESPECIALIZADA SAC
ING OMAR HUAMANI SALAZAR CIP 146898
Av. Los Próceres N° 1000 Chica Huacayo Junín
Email: C3ingenieriaespecializada@gmail.com

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PAUCAR TITO EIRL

Federico Pascual Paucar Tito
ING CIVIL - R.O.C. 12510



000869

ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR (SPT)

STANDARD TEST METHOD FOR STANDARD PENETRATION TEST (SPT) AND SPLIT-BARREL SAMPLING OF SOILS (ASTM D1586 / D1586M - 18)

PROYECTO	SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACIÓN DEL INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN: "CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL"	Registro N°	: PJI_FP_CA-12/AA-SPT01@6.3-C3IE
		Fecha	: Diciembre del 2023

DATOS GENERALES

UBICACIÓN	: PROVINCIA DE CAÑETE - DEPARTAMENTO DE LIMA	SOLICITANTE	: FEDERICO PAUCAR TITO EIRL
PROCEDENCIA	: SUELO NATURAL	TAMANO MÁXIMO	: > 3/4 in.
PERFORACION	: SPT - 01	NIVEL FREÁTICO	: -.-
MUESTRA	: Secciones de 0.45 m		
PROFUND.	: 6.30 m		

REGISTRO DE SONDAJES

GM	SIMBOLO	DESCRIPCION DEL SUELO	S U C S	CORRELACIONES			ENSAYOS DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR	
				N SPT	N 60	N ₆₀	N _{SPT}	N° de golpes 15 cm
3.75		Suelo Gravoso, con Arena, Plasticidad Baja a Nula	GM					
3.90								
4.05				16	14	17		
4.20		Suelo Gravoso, con Arena, Plasticidad Baja a Nula	GM					
4.35								
4.50				20	17	20		
4.65								
4.80		Suelo Gravoso, con Arena, Sin Plasticidad	GP					
4.95								
5.10				58	49	55		
5.25								
5.40				145	138	153		
5.55		Suelo Gravoso, con Arena, Sin Plasticidad						
5.70								
5.85					176	192		
6.00								
6.15								
6.30					191	204		



C3 INGENIERIA ESPECIALIZADA SAC
ING OMAR HUAMANI SALAZAR CIP 146898
Av. Los Proceres N° 1000 Chilca Huancayo Junin
Email: C3ingenieriaespecializadasac@gmail.com



LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PAUCAR TITO EIRL
Federico Pascual Paucar Tito
ING CIVIL R.S.P. CIP 64210

000868

ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR (SPT)

STANDARD TEST METHOD FOR STANDARD PENETRATION TEST (SPT) AND SPLIT-BARREL SAMPLING OF SOILS (ASTM D1586 / D1586M - 1B)

PROYECTO

SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACIÓN DEL INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN: "CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL"

Registro N° : PJI_FP_CA-12/AA-SPT01@6.3-C3IE

Fecha : Diciembre del 2023

DATOS GENERALES

UBICACIÓN : PROVINCIA DE CAÑETE - DEPARTAMENTO DE LIMA

PROCEDENCIA : SUELO NATURAL

PERFORACION : SPT - 01

MUESTRA : Secciones de 0.45 m

PROFUND. : 6.30 m

SOLICITANTE : FEDERICO PAUCAR TITO EIRL

TAMANO MÁXIMO : >3/4 in.

NIVEL FREÁTICO : -,-

REGISTRO DE SONDAJES

GM	SIMBOLO	DESCRIPCION DEL SUELO	S U C S	SUELOS FRICIONANTES (BOWLES)				ENSAYOS DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR	
				N ₆₀	Hatanaka & Uchida 1996 - ϕ^*	Asentamiento Cimentación arena (cm)	Base Cuadrada (m)	q _{adm} kg/cm ²	q _{adm} 2mX2m
0.30		Suelo Fino Arenoso, Sin Plasticidad	SP				1.50	0.56	
0.45							1.50	0.51	
0.60							2.00	0.43	
0.75							2.50	0.51	
0.90				4	29.90	0.00	3.00	0.61	2.28
1.05							1.00	0.60	
1.20							1.50	0.61	
1.35							2.00	0.45	
1.50							2.50	0.66	
1.65							3.00	0.75	2.47
1.80							1.00	0.77	
1.95							1.50	0.64	
2.10							2.00	0.54	
2.25							2.50	0.76	
2.40				8	32.20	2.30	3.00	0.83	3.21
2.55							1.00	0.47	
2.70							1.50	0.45	
2.85							2.00	0.72	
3.00							2.50	0.94	
3.15				54	45.00	0.09	3.00	0.89	4.83
3.30							1.00	0.36	
3.45							1.50	0.42	
3.60							2.00	0.60	
3.75							2.50	0.96	
3.90				31	40.80	0.26	3.00	0.92	6.80
4.05							1.00	0.43	
4.20							1.50	0.69	
4.35							2.00	0.62	
4.50							2.50	0.98	
4.65				11	33.20	0.54	3.00	0.91	8.73
4.80							1.00	0.51	
4.95							1.50	1.01	
5.10							2.00	1.08	
5.25							2.50	1.02	
5.40				18	37.50	0.00	3.00	0.94	8.77
5.55							1.00	0.60	
5.70							1.50	1.13	
5.85							2.00	1.23	
6.00							2.50	1.08	
6.15				34	42.90	0.00	3.00	0.98	9.29
6.30									

C3 INGENIERIA ESPECIALIZADA SAC
ING OMAR HUAMANI SALAZAR CIP 146898
Av. Los Próceres N° 1000 Chilca Huancayo Junín
Email: C3ingenieriaespecializadasac@gmail.com

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PAUCAR TITO EIRL
Federico Pascual Paucar Tito
ING CIVIL N° 2, CIP 44318

ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR (SPT)

STANDARD TEST METHOD FOR STANDARD PENETRATION TEST (SPT) AND SPLIT-BARREL SAMPLING OF SOILS (ASTM D1586 / D1586M - 18)

PROYECTO

SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACIÓN DEL INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN: "CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL"

Registro N° : P3L_FP_CA-12/AA-SPT01@6.3-C3IE

Fecha : Diciembre del 2023

DATOS GENERALES

UBICACIÓN : PROVINCIA DE CAÑETE - DEPARTAMENTO DE LIMA

PROCEDENCIA : SUELO NATURAL

PERFORACION : SPT - 01

MUESTRA : Secciones de 0.45 m

PROFUND. : 6.30 m

SOLICITANTE : FEDERICO PAUCAR TITO EIRL

TAMANO MÁXIMO : >3/4 in.

NIVEL FREÁTICO : -.-

REGISTRO DE SONDAJES

GM	SIMBOLO	DESCRIPCION DEL SUELO	S U C S	SUELOS FRICCIONANTES (BOWLES)					ENSAYOS DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR	
				N ₆₀	Hatanaka & Uchida 1996 - ϕ^*	Asentamiento Cimentación arenas (cm)	Base Cuadrada (m)	q _{adm} kg/cm ²	q _{adm} kg/cm ² 2mX2m	Bowles Meyerhof, 1976 (basado en un asentamiento de 25 mm) Capacidad portante de cimientos superficiales (ton)
3.90		Suelo Gravoso, con Arena, Plasticidad Baja a Nula	GM				1.00	1.32		3.45
4.05							1.50	1.49		3.60
							2.00	1.25		3.75
				16	36.30	0.00	2.50	1.14		
4.20		Suelo Gravoso, con Arena, Plasticidad Baja a Nula	GM				3.00	1.01	10.24	3.90
4.35							1.00	1.45		4.05
4.50							1.50	1.70		4.20
4.65				20	37.80	0.00	2.00	1.29		4.35
4.80		Suelo Gravoso, con Arena, Sin Plasticidad	GP				2.50	1.17		4.50
4.95							3.00	1.07	11.23	4.65
5.10							1.00	1.96		4.80
5.25				58	45.00	0.00	1.50	1.70		4.95
5.40		Suelo Gravoso, con Arena, Sin Plasticidad	GP				2.00	1.35		5.10
5.55							2.50	1.20		5.25
5.70							3.00	1.11	12.30	5.40
5.85				145	45.00	0.00	1.00	2.26		5.55
6.00		Suelo Gravoso, con Arena, Sin Plasticidad	GP				1.50	1.76		5.70
6.15							2.00	1.41		5.85
6.30							2.50	1.26		
				185	45.00	0.00	3.00	1.16	14.15	
		Suelo Gravoso, con Arena, Sin Plasticidad	GP				1.00	2.22		
							1.50	1.82		
							2.00	1.45		
							2.50	1.33		
		Suelo Gravoso, con Arena, Sin Plasticidad	GP				3.00	1.22	16.81	
							1.00	1.96		
							1.50	1.67		
							2.00	1.47		
		Suelo Gravoso, con Arena, Sin Plasticidad	GP				2.50	1.38		
							3.00	1.28	20.07	



C3 INGENIERIA ESPECIALIZADA SAC
ING OMAR HUAMANI SALAZAR CIP 146898
Av. Los Proceres N° 1000 Chilca Huancayo Junin
Email: C3ingenieriaespecializadasac@gmail.com

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PAUCAR TITO EIRL

Federico Pascual Paucar Tito
ING CIVIL R23 CIP 14210



ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR (SPT)

STANDARD TEST METHOD FOR STANDARD PENETRATION TEST (SPT) AND SPLIT-BARREL SAMPLING OF SOILS (ASTM D1586 / D1586M - 18)

PROYECTO	SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACIÓN DEL INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN: "CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL"	Registro N°	PL_FP_CA-12/AA-SPT02@6.3-C3IE
		Fecha	Diciembre del 2023
DATOS GENERALES			
UBICACIÓN	PROVINCIA DE CAÑETE - DEPARTAMENTO DE LIMA		
PROCEDECENCIA	SUELO NATURAL		
PERFORACION	SPT - 02		
MUESTRA	Secciones de 0.45 m		
PROFUND.	0.00 - 6.30 m.	SOLICITANTE	FEDERICO PAUCAR TITO EIRL
		TAMANO MÁXIMO	> 3/4 in.
		NIVEL FREÁTICO	-

	PROFUNDIDAD	N ₁	N ₂	N ₃	N _{total}	σ'_{vm} Centro de la muestra kN/m ²	N ₆₀ arcs/ft	C _u	N ₁₀₀ arcs/ft	Asentamiento Cimentación arcs (cm) alpha 1964
	0.00 - 0.45	4	9	16	25	8.55	17.00	1.70	29	0.8
	0.45 - 0.90	19	12	20	32	17.10	22.00	1.59	35	0.5
	0.90 - 1.35	53	12	5	17	25.65	12.00	1.45	17	1.2
	1.35 - 1.80	2	1	2	3	37.80	2.00	1.36	3	7.0
	1.80 - 2.25	1	2	1	3	40.50	2.00	1.30	3	6.4
	2.25 - 2.70	3	12	11	23	48.60	16.00	1.27	29	0.7
	2.70 - 3.15	25	24	22	46	56.70	39.00	1.24	48	0.0
	3.15 - 3.60	13	8	12	20	75.60	17.00	1.21	21	0.0
	3.60 - 4.05	15	13	49	62	72.90	53.00	1.16	63	0.0
	4.05 - 4.50	54	49	48	97	94.50	82.00	1.16	95	0.0
	4.50 - 4.95	47	54	48	102	89.10	87.00	1.13	96	0.0
	4.95 - 5.40	52	50	68	118	97.20	112.00	1.11	124	0.0
	5.40 - 5.85	65	72	75	147	106.23	140.00	1.09	153	0.0
	5.85 - 6.30	80	91	100	191	113.40	181.00	1.07	194	0.0



C3 INGENIERIA ESPECIALIZADA SAC
ING OMAR HUAMANI SALAZAR CIP 146898
 Av. Los Próceres N° 1000 Chilca Huancayo Junín
 Email: C3ingenieriaespecializadasac@gmail.com

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PAUCAR TITO EIRL
 Federico Pascual Paucar Tito
 ING CIVIL Reg. CIP 64310

[Handwritten signature and blue stamp]

ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR (SPT)

STANDARD TEST METHOD FOR STANDARD PENETRATION TEST (SPT) AND SPLIT-BARREL SAMPLING OF SOILS (ASTM D1586 / D1586M - 18)

PROYECTO : SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACIÓN DEL INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN: "CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL"	Registro N° : P/L_FP_CA-12/AA-SPT02006.3-C30
	Fecha : Diciembre del 2023

DATOS GENERALES**UBICACIÓN :** PROVINCIA DE CAÑETE - DEPARTAMENTO DE LIMA**PROCEDENC :** SUELO NATURAL**PERFORAC :** SPT - 02**MUESTRA :** Secciones de 0.45 m**PROFUND. :** 0.00 - 6.30 m**SOLICITANTE :** FEDERICO PAUCAR TITO EIRL**TAMANO MÁXIMO :** > 3/4 in.**NIVEL FREÁTICO :** -,-

PROFUNDIDAD	N(60) arcilla	N(60) arenas	ÁNGULO DE FRICCIÓN [φ]							COHESION [kPa]			Es (kPa)			Densidad Relativa	Jamiolkowski, 1958 & Skempton 1956		Meyerhof (1957)
			Best and Peckel 1958 (arcilla)	Peck et al. 1953	Mayern et al. 1959 (Dr)	Hatanaka & Uchida 1996	Hatanaka & Uchida 1996	Hatanaka & Uchida 1996	φ Criterio Conservador	Bowles, 1988	astrouf, 1989	Cu Criterio Conservador	Bowles 1968	Schmertmann 1970	Promedio		Dr (%)	Dr (%)	
0.00 - 0.45	17	29.00	27	29	39	41.40	44.40	41.40	26.8	43.8	87.5	43.8	8000	23200	15600	Mediana mede denso	80.4	56.4	34.3
0.45 - 0.90	22	35.00	29	30	39	43.20	45.00	43.70	28.6	56.0	112.0	56.0	9250	28000	18625	Denso	87.9	63.8	28.0
0.90 - 1.35	12	17.00	25	29	36	38.80	38.60	35.60	24.6	29.7	59.5	29.7	6750	13600	10175	Mediana mede denso	81.3	46.5	16.7
1.35 - 1.80	2	3.00	21	28	32	28.20	27.50	24.50	20.8	5.2	10.5	5.2	15000	15000	15000	Muy suelto	24.9	19.5	5.8
1.80 - 2.25	2	3.00	21	28	31	28.10	27.40	24.40	20.8	5.2	10.5	5.2	15000	15000	15000	Muy suelto	24.4	19.5	-
2.25 - 2.70	16	20.00	26	29	37	38.10	40.20	37.20	26.2	40.3	80.5	40.3	7750	10000	11875	Mediana mede denso	66.7	54.1	-
2.70 - 3.15	38	48.00	35	30	41	45.00	45.00	45.00	30.4	97.8	195.5	97.8	13500	38400	25950	Denso	100	84.3	18.7
3.15 - 3.60	17	21.00	27	29	37	38.20	40.30	37.30	26.6	42.5	85.0	42.5	8000	16800	12400	Mediana mede denso	66.9	55.6	10.7
3.60 - 4.05	53	63.00	40	31	42	45.00	45.00	45.00	31.0	131.8	263.5	131.8	17000	50400	33700	Muy denso	100	97.9	19.1
4.05 - 4.50	82	95.00	45	32	45	45.00	45.00	45.00	32.0	206.1	412.2	206.1	24250	76000	50125	Muy denso	100	100	21.0
4.50 - 4.95	87	98.00	45	32	45	45.00	45.00	45.00	32.1	216.8	433.5	216.8	25500	78400	51950	Muy denso	100	100	22.2
4.95 - 5.40	112	124.00	45	33	45	45.00	45.00	45.00	32.8	280.2	560.5	280.2	31750	99200	65475	Muy denso	100	100	22.9
5.40 - 5.85	140	153.00	45	34	45	45.00	45.00	45.00	33.5	349.1	698.2	349.1	36750	122400	80575	Muy denso	100	100	24.2
5.85 - 6.30	181	194.00	45	34	45	45.00	45.00	45.00	34.4	453.6	907.2	453.6	49000	155200	102100	Muy denso	100	100	27.0



C3 INGENIERIA ESPECIALIZADA SAC
ING OMAR HUAMANI SALAZAR CIP 146898

Av. Los Próceres N° 1000 Chilca Huancayo Junín

Email: C3ingenieriaespecializadasac@gmail.com

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PAUCAR TITO EIRL

Federico Pascual Paucar Tito
ING CIVIL. Reg. CIP 24210

ING. JESÚS GÓMEZ CALLA
LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
REG. CIP N° 170

ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR (SPT)

STANDARD TEST METHOD FOR STANDARD PENETRATION TEST (SPT) AND SPLIT-BARREL SAMPLING OF SOILS (ASTM D1586 / D1586M - 18)

PROYECTO	SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACIÓN DEL INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN: "CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL"	Registro N°	: PJL_PP_CA-12/AA-SPT02@6.3-C3IE
		Fecha	: Diciembre del 2023

DATOS GENERALES			
UBICACIÓN	: PROVINCIA DE CAÑETE - DEPARTAMENTO DE LIMA		
PROCEDENCIA	: SUELO NATURAL		
PERFORACION	: SPT - 02		
MUESTRA	: Secciones de 0.45 m		
PROFUND.	: 6.30 m		
		SOLICITANTE	: FEDERICO PAUCAR TITO EIRL
		TAMANO MÁXIMO	: > 3/4 in.
		NIVEL FREÁTICO	: -,-

REGISTRO DE SONDAJES								
GM	SIMBOLO	DESCRIPCION DEL SUELO	S U C S	CORRELACIONES			ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR	
				N SPT	N 60	N 45	N _{SPT}	Nº de golpes 18 cm
0.05		Suelo Arenoso Fino , Sin Plasticidad	SM				0.00	
0.15								
0.30								
0.45				25	17	29	0.45	
0.60		Suelo Arenoso Fino , Sin Plasticidad	SM	32	22	35	0.60	
0.75								
0.90								
1.05								
1.20		Suelo Arenoso Fino , Sin Plasticidad	SM	17	12	17	1.20	
1.35								
1.50								
1.65								
1.80		Suelo Arenoso Fino , Sin Plasticidad	SM	3	2	3	1.80	
1.95								
2.10								
2.25				3	2	3	2.25	
2.40		Suelo Arenoso Fino , Plasticidad Media a Baja	SM					
2.55								
2.70								
2.85								
3.00		Suelo Arenoso Fino , Plasticidad Media a Baja	SM	23	16	20	2.85	
3.15								
3.30								
3.45								
3.60		Suelo Gravoso, con Arena, Plasticidad Media a Baja	GM	46	39	48	3.15	
3.75								
3.90								
4.05								
4.20		Suelo Gravoso, con Arena, Plasticidad Baja a Nula	GM	20	17	21	3.60	
4.35								
4.50								
4.65								
4.80								
4.95					53	63		



C3 INGENIERIA ESPECIALIZADA SAC
ING OMAR HUAMANI SALAZAR CIP 146898
Av. Los Próceres N° 1000 Chilca Huancayo Junín
Email: C3ingenieriaespecializadasac@gmail.com

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PAUCAR TITO EIRL
Federico Pascual Paucar Tito
ING CIVIL Lic. CIP 14315

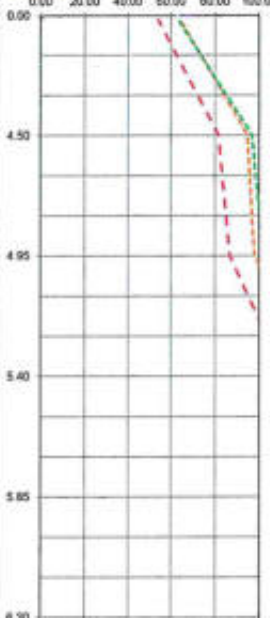
[Handwritten signature]

ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR (SPT)

STANDARD TEST METHOD FOR STANDARD PENETRATION TEST (SPT) AND SPLIT-BARREL SAMPLING OF SOILS (ASTM D1586 / D1586M - 18)

PROYECTO	: SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACIÓN DEL INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN: "CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL"	Registro N°	: PJL_FP_CA-12/AA-SPT02@6.3-C3IE
		Fecha	: Diciembre del 2023

DATOS GENERALES			
UBICACIÓN	: PROVINCIA DE CAÑETE - DEPARTAMENTO DE LIMA		
PROCEDENCIA	: SUELO NATURAL	SOLICITANTE : FEDERICO PAUCAR TITO EIRL	
PERFORACION	: SPT - 02	TAMANO MÁXIMO : > 3/4 in.	
MUESTRA	: Secciones de 0.45 m	NIVEL FREÁTICO : -,-	
PROFUND.	: 6.30 m		

REGISTRO DE SONDAJES								
GM	SÍMBOLO	DESCRIPCION DEL SUELO	S U C S	CORRELACIONES			ENSAYOS DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR	
				N SPT	N 80	N 60	N _{SPT}	nº de golpes 15 cm
4.20		Suelo Gravoso, con Arena, Plasticidad Baja a Nula	GM	97	82	95	4.50	
4.35								
4.45								
4.50		Suelo Gravoso, con Arena, Plasticidad Baja a Nula	GM	102	87	98	4.95	
4.65								
4.80								
4.95		Suelo Gravoso, con Arena, Plasticidad Baja a Nula	GM	118	112	124	5.40	
5.10								
5.25								
5.40		Suelo Gravoso, con Arena, Plasticidad Baja a Nula	GM	147	140	153	5.85	
5.55								
5.70								
5.85		Suelo Gravoso, con Arena, Plasticidad Baja a Nula	GM	191	181	194	6.30	
6.00								
6.15								
6.30								



C3 INGENIERIA ESPECIALIZADA SAC
ING OMAR HUAMANI SALAZAR CIP 146898
Av. Los Proceres N° 1000 Chilca Huancaayo Junin
Email: C3ingenieriaespecializadasac@gmail.com



LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PAUCAR TITO EIRL

Federico Paucar Tito
ING CIVIL, R22, CIP 24210

ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR (SPT)

STANDARD TEST METHOD FOR STANDARD PENETRATION TEST (SPT) AND SPLIT-BARREL SAMPLING OF SOILS (ASTM D1586 / D1586M - 18)

PROYECTO	: SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACION DEL INFORME DE VERIFICACION DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN: "CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL"	Registro N°	: PJI_FP_CA-12/AA-SPT02@6.3-C3IE
		Fecha	: Diciembre del 2023
DATOS GENERALES			
UBICACIÓN	: PROVINCIA DE CAÑETE - DEPARTAMENTO DE LIMA		
PROCEDENCIA	: SUELO NATURAL		
PERFORACION	: SPT - 02		
MUESTRA	: Secciones de 0.45 m		
PROFUND.	: 6.30 m		
		SOLICITANTE	: FEDERICO PAUCAR TITO EIRL
		TAMANO MÁXIMO	: > 3/4 in.
		NIVEL FREÁTICO	: -,-

REGISTRO DE SONDAJES													
GM	SIMBOLO	DESCRIPCION DEL SUELO	S U C S	SUELOS FRICCIONANTES (BOWLES)					ENSAYOS DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR				
				N.º	Rotación a Unidad 1986 - 4°	Asentamiento o Concentración área (cm)	Base Cuadrada (in)	qdm kg/cm2	qdm kg/cm2 2inX2in	Bowles Meyerhof, 1978 (basado en un asentamiento de 25 mm) Capacidad portante de zapatas superficiales (qp)			
0.05		Suelo Arenoso Fino , Sin Plasticidad	SM				1.00	2.03		0.00	0.00		
0.15							1.50	2.40				0.15	
0.30							2.00	2.61					0.30
0.45							2.50	3.95					
0.60		Suelo Arenoso Fino , Sin Plasticidad	SM	28	41.40	0.00	3.00	5.12	2.61	0.60			
0.75							1.00	2.90			0.75		
0.90							1.50	3.05				0.90	
1.05							2.00	3.37					1.05
1.20		Suelo Arenoso Fino , Sin Plasticidad	SM	32	43.20	0.48	2.50	4.64		1.20			
1.35							3.00	5.36	3.37		1.35		
1.50							1.00	3.43				1.50	
1.65							1.50	3.79					1.65
1.80		Suelo Arenoso Fino , Sin Plasticidad	SM	17	36.80	1.18	2.00	4.52		1.80			
1.95							2.50	6.30			1.95		
2.10							3.00	6.61	4.52			2.10	
2.25							1.00	3.18					2.25
2.40		Suelo Arenoso Fino , Plasticidad Media a Baja	SM				1.50	4.68		2.40			
2.55							2.00	5.70			2.55		
2.70							2.50	6.87				2.70	
2.85							3.00	9.26	5.70				2.85
3.00		Suelo Arenoso Fino , Plasticidad Media a Baja	SM	3	28.20	7.03	1.00	4.12		3.00			
3.15							1.50	5.94			3.15		
3.30							2.00	6.95				3.30	
3.45							2.50	7.55					3.45
3.60		Suelo Arenoso Fino , Plasticidad Media a Baja	SM	3	28.10	6.38	3.00	6.78	6.95	3.60			
3.75							1.00	5.10			3.75		
3.90							1.50	7.67				3.90	
4.05							2.00	8.66					4.05
4.20		Suelo Grueso, con Arena, Plasticidad Media a Baja	GM	23	38.10	0.66	2.50	8.21		4.20			
4.35							3.00	7.26	8.66		4.35		
4.50							1.00	5.19				4.50	
4.65							1.50	9.93					4.65
4.80		Suelo Grueso, con Arena, Plasticidad Media a Baja	GM				2.00	9.48		4.80			
4.95							2.50	8.90			4.95		
5.10							3.00	7.02	9.48			5.10	
5.25							1.00	10.24					5.25
5.40		Suelo Grueso, con Arena, Plasticidad Media a Baja	GM	46	45.00	0.00	1.50	12.38		5.40			
5.55							2.00	10.49			5.55		
5.70							2.50	9.65				5.70	
5.85							3.00	8.68	10.49				5.85
6.00		Suelo Grueso, con Arena, Plasticidad Media a Baja	GM	20	38.20	0.00	1.00	12.39		6.00			
6.15							1.50	13.23			6.15		
6.30							2.00	11.37				6.30	
6.45							2.50	10.78					6.45
6.60		Suelo Grueso, con Arena, Plasticidad Media a Baja	GM	62	45.00	0.00	3.00	9.59	11.37	6.60			
6.75											6.75		
6.90												6.90	
7.05													7.05

LABORATORIO C3 INGENIERIA

Dr. Ing. Omar A. Herrera Salazar

IMP 145898

20-04-2023

0.00

0.15

0.30

0.45

0.60

0.75

0.90

1.05

1.20

1.35

1.50

1.65

1.80

1.95

2.10

2.25

2.40

2.55

2.70

2.85

3.00

3.15

3.30

3.45

3.60

3.75

3.90

0.0

4.0

8.0

12.0

16.0

20.0

24.0

--- B=1.00m.

--- B=1.50m.

--- B=2.00m.

--- B=2.50m.

--- B=3.00m.

C3 INGENIERIA ESPECIALIZADA SAC
ING OMAR HUAMANI SALAZAR CIP 146898
Av. Los Proceres N° 1000 Chilca Huancayo Junin
Email: C3ingenieriaespecializadasac@gmail.com

LABORATORIO C3 INGENIERIA ESPECIALIZADA SAC
Ing. Omar Huamani Salazar
CIP 146898
2023-12-10

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PAUCAR TITO EIRL
Federico Pascual Paucar Tito
1995-01-01 Reg. CIP 24210

000861

ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR (SPT)

STANDARD TEST METHOD FOR STANDARD PENETRATION TEST (SPT) AND SPLIT-BARREL SAMPLING OF SOILS (ASTM D1586 / D1586M - 18)

PROYECTO	SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACION DEL INFORME DE VERIFICACION DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN: "CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL"	Registro N° : PJI_FP_CA-12/AA-SPT02@6.3-C3EE
		Fecha : Diciembre del 2023

DATOS GENERALES		
UBICACIÓN	: PROVINCIA DE CAÑETE - DEPARTAMENTO DE LIMA	
PROCEDENCIA	: SUELO NATURAL	
PERFORACION	: SPT - 02	
MUESTRA	: Secciones de 0.45 m	
PROFUND.	: 6.30 m	
		SOLICITANTE : FEDERICO PAUCAR TITO EIRL
		TAMANO MÁXIMO : > 3/4 in.
		NIVEL FREÁTICO : -.-

REGISTRO DE SONDAJES										
CM	SIMBOLO	DESCRIPCION DEL SUELO	S U C S	SUELOS FRICCIONANTES (BOWLES)					ENSAYOS DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR	
				N ₆₀	Rotación a Uchida 1998 - 6°	Rotación a Clasificación arena (cm)	Base Cuadrada (m)	q _{adm} kg/cm ²	q _{adm} kg/cm ² 2mX2m	Bowles Meyerhof, 1971 (basado en un asentamiento de 25 mm) Capacidad portante de zapatas superficiales (qs)
4.20		Suelo Grueso, con Arena, Plasticidad Baja a Nula	GM	97	45.00	0.00	1.00	15.89	12.15	
4.35							1.50	14.80		
4.50							2.00	12.15		
							2.50	11.53		
4.65							3.00	10.41		
4.80	1.00	17.32								
	1.50	16.14								
4.95	2.00	13.60								
	2.50	12.90								
5.10		Suelo Grueso, con Arena, Plasticidad Baja a Nula	GM	102	45.00	0.00	3.00	11.12	13.80	
5.25							1.00	18.55		
5.40							1.50	17.29		
							2.00	14.83		
5.55							2.50	14.06		
5.70	3.00	12.44	14.83							
	1.00	20.39								
5.85	1.50	19.00								
	2.00	15.88								
6.00	2.50	15.06								
	3.00	13.56	15.88							
6.15	1.00	22.45								
	1.50	20.92								
6.30	2.00	17.45								
	2.50	16.55								
				191	45.00	0.00	3.00	14.53	17.45	



C3 INGENIERIA ESPECIALIZADA SAC
ING OMAR HUAMANI SALAZAR CIP 146898
Av. Los Proceres N° 1000 Chilca Huancayo Junin
Email: C3ingenieriaespecializadasac@gmail.com

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PAUCAR TITO EIRL

Federico Pascual Paucar Tito
ING CIVIL Reg. CIP 44210

000860

ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR (SPT)

STANDARD TEST METHOD FOR STANDARD PENETRATION TEST (SPT) AND SPLIT-BARREL SAMPLING OF SOILS (ASTM D1586 / DIS86M - 10)

PROYECTO	SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACION DEL INFORME DE VERIFICACION DE MECANICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TECNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSION: "CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAJETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL"	Registro N°	: PIL_R_CA-13/AA-SPT0386-3-CRE
		Fecha	: Diciembre del 2023
		DATOS GENERALES	
UBICACIÓN	: PROVINCIA DE CAJETE - DEPARTAMENTO DE LIMA		
PROCEDENCIA	: SUELO NATURAL		
PERFORACION	: SPT - 03		
MUESTRA	: Secciones de 0.45 m		
PROFUND.	: 0.00 - 6.30 m.		
		SOLICITANTE	: FEDERICO PAUCAR TITO EIRL
		TAMANO MÁXIMO	: >3/4 in.
		NIVEL FREÁTICO	: -

DESCRIPCIÓN VISUAL - MANUAL	PROFUNDIDAD	N ₁	N ₂	N ₃	N _{campo}	σ'_{vc} (suma de la muestra) kN/m ²	N ₆₀ arifas	C _u	N ₁₀₀ arenas	Ajustamiento Corrección arenas (IN)
	0.00 - 0.45	18	16	15	30	8.55	17.00	1.70	29	0.5
	0.45 - 0.90	36	34	42	70	17.10	22.00	1.59	36	4.9
	0.90 - 1.35	19	7	3	10	25.65	12.00	1.45	17	2.0
	1.35 - 1.80	1	2	9	11	37.80	2.00	1.36	3	1.7
	1.80 - 2.25	12	11	27	38	40.50	2.00	1.30	3	0.4
	2.25 - 2.70	7	4	4	8	49.60	16.00	1.27	20	0.1
	2.70 - 3.15	16	17	14	31	56.70	39.00	1.24	48	0.0
	3.15 - 3.60	12	9	4	13	75.60	17.00	1.21	21	0.0
	3.60 - 4.05	4	2	16	18	72.90	53.00	1.18	63	0.0
	4.05 - 4.50	17	17	51	68	94.50	62.00	1.16	96	0.0
	4.50 - 4.95	16	10	42	52	69.10	67.00	1.13	96	0.0
	4.95 - 5.40	39	49	56	105	97.20	112.00	1.11	124	0.0
	5.40 - 5.85	56	57	64	121	106.23	140.00	1.09	163	0.0
	5.85 - 6.30	66	74	81	155	113.40	181.00	1.07	194	0.0



C3 INGENIERIA ESPECIALIZADA SAC
ING OMAR HUAMANI SALAZAR CIP 146898
 Av. Los Proceres N° 1000 Chilca Huancayo Junin
 Email: C3ingenieriaspecializadasac@gmail.com

ING. ALVARO GOMEZ CALLA
 LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETOS
 REG. C.I.P. N° 176

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PAUCAR TITO EIRL
Federico Pascual Paucar Tito
 ING CIVIL Reg. CIP 44210

ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR (SPT)

STANDARD TEST METHOD FOR STANDARD PENETRATION TEST (SPT) AND SPLIT-BARREL SAMPLING OF SOILS (ASTM D1586 / D1586M - 13)

PROYECTO : SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACIÓN DEL INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN: "CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL"	Registro N° : FIJ_PP_CA-12/AA-SPT0306.3-C18
	Fecha : Diciembre del 2023
DATOS GENERALES	
UBICACIÓN : PROVINCIA DE CAÑETE - DEPARTAMENTO DE LIMA	
PROCEDENC : SUELO NATURAL	
PERFORACD : SPT - 03	
HUESTR : Secciones de 0.45 m	SOLICITANTE : FEDERICO PAUCAR TITO EIRL
PROFUND. : 0.00 - 6.30 m.	TAMANO MÁXIMO : > 3/4 in. NIVEL FREÁTICO : -,-

PROFUNDIDAD	N(60) arcillas	N(60) arenas	ÁNGULO DE FRICCIÓN [°]								COHESION [kPa]			Es [kPa]			Densidad Relativa	Jamiolkowski, 1960 & Skempton 1966	Meyerhof (1957)
			Skempton 1959	Peck et al. 1953	Margenat, 1959 (Dr. Hatanaka)	Hatanaka & Uchida 1966	Hatanaka & Uchida 1966	Hatanaka & Uchida 1966	φ Criterio Conservador	Bowles, 1968	Stroud, 1989	Cu Criterio Conservador	Bowles 1968	Schmertmann 1970	Promedio	Condición			
0.00 - 0.45	17	29.00	28	30	40	43.20	45.00	43.70	26.1	52.5	105.0	52.5	8000	23200	15600	Medanament e denso	61.8	56.8	37.6
0.45 - 0.90	22	35.00	41	31	45	45.00	45.00	45.00	31.0	133.0	266.0	133.0	9250	28000	19625	Denso	98.3	90.4	43.1
0.90 - 1.35	12	17.00	23	28	34	33.50	34.30	31.30	22.7	17.5	35.0	17.5	6750	13600	10175	Medanament e denso	35.7	32.8	12.8
1.35 - 1.80	2	3.00	23	29	34	33.60	34.40	31.40	23.0	19.2	38.5	19.2	15000	15000	15000	Muy suelto	37.4	34.4	11.1
1.80 - 2.25	2	3.00	30	30	39	42.90	45.00	43.30	29.8	66.5	133.0	66.5	15000	15000	15000	Muy suelto	69.5	64	-
2.25 - 2.70	16	20.00	22	28	33	31.60	31.90	28.90	22.2	14.0	28.0	14.0	7750	16000	11875	Medanament e denso	31.9	29.3	-
2.70 - 3.15	39	48.00	30	30	39	42.30	45.00	42.50	29.8	65.9	131.8	65.9	13500	36400	25950	Denso	69.2	63.7	15.3
3.15 - 3.60	17	21.00	24	29	35	35.10	36.30	33.30	24.3	27.6	55.2	27.6	8000	16900	12400	Medanament e denso	44.8	41.2	8.6
3.60 - 4.05	53	53.00	26	29	36	37.20	39.00	36.00	25.9	36.3	76.6	36.3	17000	50400	33700	Muy denso	52.7	48.5	10.3
4.05 - 4.50	82	95.00	42	31	43	45.00	45.00	45.00	31.2	144.5	289.0	144.5	24250	76000	50125	Muy denso	100	94.3	17.6
4.50 - 4.95	87	98.00	37	31	41	45.00	45.00	45.00	30.6	110.5	221.0	110.5	25500	78400	51950	Muy denso	89.6	82.4	15.9
4.95 - 5.40	112	124.00	45	33	45	45.00	45.00	45.00	32.5	249.4	498.8	249.4	31750	99200	65475	Muy denso	100	100	21.6
5.40 - 5.85	140	153.00	45	33	45	45.00	45.00	45.00	32.9	287.4	574.8	287.4	36750	122400	85675	Muy denso	100	100	22.0
5.85 - 6.30	181	194.00	45	34	45	45.00	45.00	45.00	33.6	368.1	736.2	368.1	48000	155200	102100	Muy denso	100	100	24.3



C3 INGENIERIA ESPECIALIZADA SAC
ING OMAR HUAMANI SALAZAR CIP 146898
 Av. Los Próceres N° 1000 Chilca Huancayo Junín
 Email: C3ingenieriaespecializadasac@gmail.com

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PAUCAR TITO EIRL

Federico Pascual Paucar Tito
 ING CIVIL Reg. CIP 54210

[Handwritten signature and stamp]

ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR (SPT)

STANDARD TEST METHOD FOR STANDARD PENETRATION TEST (SPT) AND SPLIT-BARREL SAMPLING OF SOILS (ASTM D1586 / D1586M - 18)

PROYECTO	SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACIÓN DEL INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN: "CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL"	Registro N°	: P3L_FP_CA-12/AA-SPT03@6.3-C3IE
		Fecha	: Diciembre del 2023

DATOS GENERALES

UBICACIÓN	: PROVINCIA DE CAÑETE - DEPARTAMENTO DE LIMA	SOLICITANTE : FEDERICO PAUCAR TITO EIRL
PROCEDENCIA	: SUELO NATURAL	
PERFORACION	: SPT - 03	
MUESTRA	: Secciones de 0.45 m	
PROFUND.	: 6.30 m	TAMANO MÁXIMO : >3/4 in.
		NIVEL FREÁTICO : -,-

REGISTRO DE SONDAJES

GM	SÍMBOLO	DESCRIPCION DEL SUELO	S U C S	CORRELACIONES			ENSAYOS DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR	
				N SPT	N 60	N ₆₀	N _{SPT}	N° de golpes 15 cm
0.05								0.00
0.15								20.00
0.30		Suelo Arenoso Fino, Sin Plasticidad	SM	30	17	29		40.00
0.45								60.00
0.60								80.00
0.75								100.00
0.90		Suelo Arenoso Fino, Sin Plasticidad	SM	76	22	35		
1.05								
1.20								
1.35				10	12	17		
1.50		Suelo Arenoso Fino, Sin Plasticidad	SM					
1.65								
1.80				11	2	3		
1.95								
2.10		Suelo Arenoso Fino, Plasticidad Media a Baja	SM					
2.25				38	2	3		
2.40								
2.55								
2.70		Suelo Arenoso Fino, Plasticidad Media a Baja	SM	8	16	20		
2.85								
3.00								
3.15				31	39	48		
3.30		Suelo Gravoso, con Arena, Plasticidad Media a Baja						
3.45								
3.60				13	17	21		



C3 INGENIERIA ESPECIALIZADA SAC
ING OMAR HUAMANI SALAZAR CIP 146898
Av. Los Próceres N° 1000 Chilca Huancayo Junín
Email: C3ingenieriaespecializadasac@gmail.com

[Handwritten signature]
20917

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PAUCAR TITO EIRL
[Handwritten signature]
Federico Pascual Paucar Tito
ING CIVIL Reg. CIP 44210

000857

ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR (SPT)

STANDARD TEST METHOD FOR STANDARD PENETRATION TEST (SPT) AND SPLIT-BARREL SAMPLING OF SOILS (ASTM D1586 / D1586M - 18)

PROYECTO	SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACIÓN DEL INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN: "CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL"	Registro N°	: P3L_FP_CA-12/AA-SPT03@6.3-C3IE
		Fecha	: Diciembre del 2023

DATOS GENERALES			
UBICACIÓN	: PROVINCIA DE CAÑETE - DEPARTAMENTO DE LIMA		
PROCEDENCIA	: SUELO NATURAL		
PERFORACION	: SPT - 03		
MUESTRA	: Secciones de 0.45 m		
PROFUND.	: 6.30 m		
		SOLICITANTE	: FEDERICO PAUCAR TITO EIRL
		TAMANO MÁXIMO	: >3/4 in.
		NIVEL FREÁTICO	: -,-

REGISTRO DE SONDAJES							
GM	SIMBOLO	DESCRIPCION DEL SUELO	S U C S	CORRELACIONES			ENSAYOS DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR
				N SPT	N 60	N ₆₀	N _{SPT}
							Nº de golpes 15 cm
3.75		Suelo Gravoso, con Arena, Plasticidad Baja a Nula	GM	18	53	63	0.00
3.90							
4.05		Suelo Gravoso, con Arena, Plasticidad Baja a Nula	GM	68	82	95	4.05
4.20							
4.35		Suelo Gravoso, con Arena, Plasticidad Baja a Nula	GM	52	87	98	4.50
4.50							
4.65		Suelo Gravoso, con Arena, Plasticidad Baja a Nula	GM	105	112	124	4.95
4.80							
4.95		Suelo Gravoso, con Arena, Plasticidad Baja a Nula	GM	121	140	153	5.40
5.10							
5.25		Suelo Gravoso, con Arena, Plasticidad Baja a Nula	GM	155	181	194	5.85
5.40							
5.55		Suelo Gravoso, con Arena, Plasticidad Baja a Nula	GM				6.30
5.70							
5.85		Suelo Gravoso, con Arena, Plasticidad Baja a Nula	GM				
6.00							
6.15		Suelo Gravoso, con Arena, Plasticidad Baja a Nula	GM				
6.30							



C3 INGENIERIA ESPECIALIZADA SAC
ING OMAR HUAMANI SALAZAR CIP 146898
Av. Los Proceres N° 1000 Chilca Huancayo Junín
Email: C3ingenieriaespecializadasac@gmail.com

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PAUCAR TITO EIRL

Federico Pascual Paucar Tito
ING CIVIL Reg. CIP 54710

ING. J. J. FLORES CALLA
LABORATORIO DE SUELOS E INVESTIGACIONES
REG. CIP N° 209178

ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR (SPT)

STANDARD TEST METHOD FOR STANDARD PENETRATION TEST (SPT) AND SPLIT-BARREL SAMPLING OF SOILS (ASTM D1586 / DIS66M - 18)

PROYECTO	: SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACION DEL INFORME DE VERIFICACION DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN: "CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL"	Registro N° : P3L_FP_CA-12/AA-SPT03@6.3-C3IE
		Fecha : Diciembre del 2023

DATOS GENERALES

UBICACIÓN	: PROVINCIA DE CAÑETE - DEPARTAMENTO DE LIMA	SOLICITANTE : FEDERICO PAUCAR TITO EIRL
PROCEDENCIA	: SUELO NATURAL	
PERFORACION	: SPT - 03	
MUESTRA	: Secciones de 0.45 m	
PROFUND.	: 6.30 m	TAMANO MÁXIMO : >3/4 in.
		NIVEL FREÁTICO : -,-

REGISTRO DE SONDAJES

GM	SÍMBOLO	DESCRIPCION DEL SUELO	S U C S	SUELOS FRICCIONANTES (BOWLES)					ENSAYOS DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR	
				N ₆₀	Hafanaka & Uchida 1996 - q*	Asentamiento Comestación arena (cm)	Base Cuadrada (m)	q _{adm} kg/cm ²	q _{adm} 2mX2m	Bowles Meyerhof, 1979 (basado en un asentamiento de 25 mm) Capacidad portante de zapatas superficiales (qa)
0.05		Suelo Arenoso Fino, Sin Plasticidad	SM				1.00	4.05		
0.15							1.50	3.36		
0.45							2.00	2.87		
0.60							2.50	3.64		
0.75		Suelo Arenoso Fino, Sin Plasticidad	SM	30	43.20	0.00	3.00	4.55	2.87	
0.90							1.00	4.82		
1.05							1.50	3.96		
1.20							2.00	3.42		
1.35		Suelo Arenoso Fino, Sin Plasticidad	SM				2.50	4.38		
1.50				76	45.00	4.89	3.00	4.77	3.42	
1.65							1.00	4.93		
1.80							1.50	4.11		
2.10		Suelo Arenoso Fino, Plasticidad Media a Baja	SM				2.00	4.16		
2.25							2.50	5.68		
2.40				10	33.50	1.96	3.00	4.98	4.16	
2.55							1.00	3.13		
2.70		Suelo Arenoso Fino, Plasticidad Media a Baja	SM				1.50	3.73		
2.85							2.00	5.14		
3.00				11	33.50	1.72	2.50	6.11		
3.15							3.00	5.57	5.14	
3.30		Suelo Gravoso, con Arena, Plasticidad Media a Baja	SM				1.00	3.48		
3.45							1.50	4.40		
3.60							2.00	5.51		
				38	42.90	0.36	2.50	6.04		
		Suelo Gravoso, con Arena, Plasticidad Media a Baja	SM				3.00	5.94	5.51	
							1.00	4.69		
							1.50	5.87		
							2.00	6.99		
		Suelo Gravoso, con Arena, Plasticidad Media a Baja	SM				2.50	6.63		
				8	31.50	0.10	3.00	5.83	6.99	
							1.00	5.05		
							1.50	7.18		
		Suelo Gravoso, con Arena, Plasticidad Media a Baja	SM				2.00	7.51		
							2.50	7.12		
				31	42.30	0.00	3.00	6.38	7.51	
							1.00	7.25		
		Suelo Gravoso, con Arena, Plasticidad Media a Baja	SM				1.50	9.42		
							2.00	7.83		
							2.50	7.43		
							3.00	6.87	7.83	



C3 INGENIERIA ESPECIALIZADA SAC
ING OMAR HUAMANI SALAZAR CIP 146898
13 35.10 0.00

Av. Los Proceres N° 1000 Chica Huancayo Junín
Email: C3ingenieriaespecializada@gmail.com



LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PAUCAR TITO EIRL

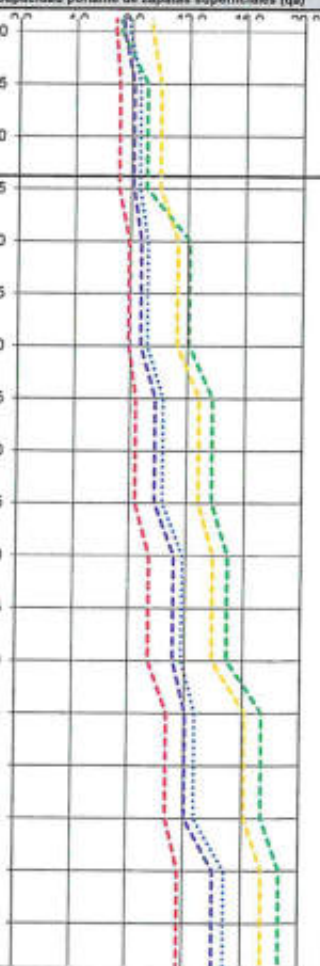
Federico Pascual Paucar Tito
ING CIVIL Reg. CIP 22220

ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR (SPT)

STANDARD TEST METHOD FOR STANDARD PENETRATION TEST (SPT) AND SPLIT-BARREL SAMPLING OF SOILS (ASTM D1586 / D1586M - 18)

PROYECTO	SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACION DEL INFORME DE VERIFICACION DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN: "CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL"	Registro N° : P3L_FP_CA-12/AA-SPT03@6.3-C3IE Fecha : Diciembre del 2023
DATOS GENERALES		
UBICACIÓN	PROVINCIA DE CAÑETE - DEPARTAMENTO DE LIMA	
PROCEDENCIA	SUELO NATURAL	
PERFORACION	SPT - 03	
MUESTRA	Secciones de 0.45 m	
PROFUND.	6.30 m	
		SOLICITANTE : FEDERICO PAUCAR TITO EIRL TAMANO MÁXIMO : >3/4 in. NIVEL FREÁTICO : -.-

REGISTRO DE SONDAJES

GM	SÍMBOLO	DESCRIPCION DEL SUELO	S U C S	SUELOS FRICCIONANTES (BOWLES)					ENSAYOS DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR	
				N ₆₀	Hatanaka & Uchida 1998 - q'	Asentamiento Cimentación arenas (mm)	Base Cuadrada (m)	q _{adm} kg/cm ²	q _{adm} kg/cm ² 2mX2m	
3.75		Suelo Gravoso, con Arena, Plasticidad Baja a Nula	GM				1.00	9.15		3.60
							1.50	10.07		
							2.00	8.65		
4.05							2.50	8.20		3.75
		Suelo Gravoso, con Arena, Plasticidad Baja a Nula	GM	18	37.20	0.00	3.00	7.17	8.65	3.90
							1.00	12.13		
							1.50	11.31		
4.20							2.00	9.24		4.05
4.35		Suelo Gravoso, con Arena, Plasticidad Baja a Nula	GM				2.50	8.77		4.20
							1.00	13.79		
							1.50	12.85		
4.50				68	45.00	0.00	3.00	7.91	9.24	4.35
4.65		Suelo Gravoso, con Arena, Plasticidad Baja a Nula	GM				1.00	13.79		4.50
							1.50	12.85		
							2.00	10.38		
4.80							2.50	9.85		4.65
4.95		Suelo Gravoso, con Arena, Plasticidad Baja a Nula	GM	52	45.00	0.00	3.00	8.46	10.38	4.80
							1.00	14.91		
							1.50	13.89		
5.10							2.00	11.80		4.95
5.25		Suelo Gravoso, con Arena, Plasticidad Baja a Nula	GM				2.50	11.20		5.10
							1.00	17.36		
							1.50	16.17		
5.40				105	45.00	0.00	3.00	9.50	11.80	5.25
5.55		Suelo Gravoso, con Arena, Plasticidad Baja a Nula	GM				1.00	18.68		5.40
							1.50	17.41		
							2.00	14.85		
5.70							2.50	14.09		5.55
5.85		Suelo Gravoso, con Arena, Plasticidad Baja a Nula	GM	121	45.00	0.00	3.00	10.80	12.76	5.70
							1.00	18.68		
							1.50	17.41		
6.00							2.00	14.85		5.85
6.15		Suelo Gravoso, con Arena, Plasticidad Baja a Nula	GM				2.50	14.09		6.00
6.30							3.00	11.67	14.85	6.15

C3 INGENIERIA ESPECIALIZADA SAC
 ING OMAR HUAMANÍ SALAZAR CIP 146898
 Av. Los Proceres N° 1000 Chilca Huancayo Junín
 Email: C3ingenieriaespecializadasac@gmail.com


ING. ALVARO GOMEZ CALLA
 LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
 REG. CIP N° 14710

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PAUCAR TITO EIRL


Federico Pascual Paucar Tito
 ING CIVIL Reg. CIP 44210

LABORATORIO GEOTECNICO E INVESTIGACION

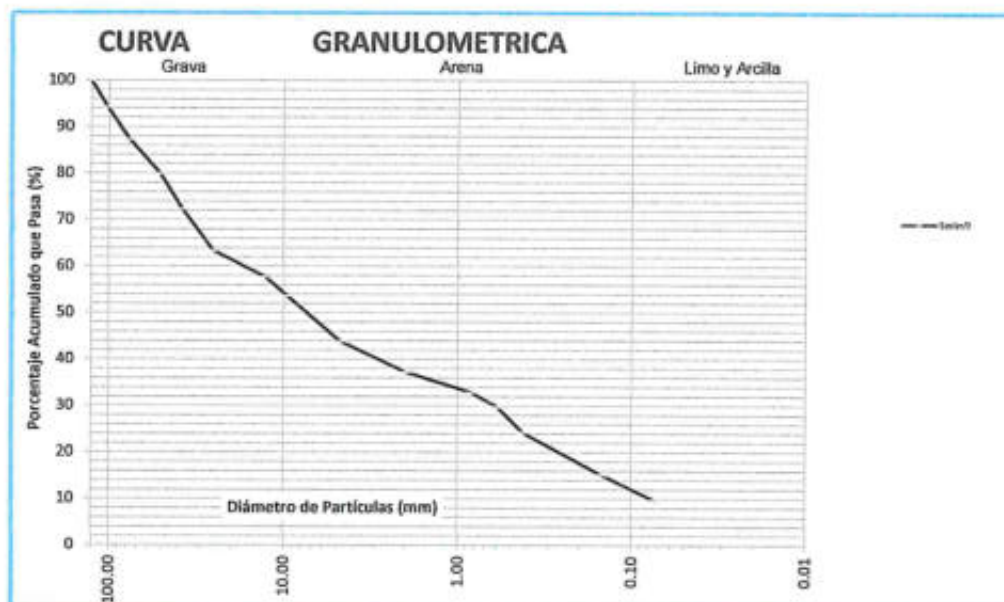
CLASIFICACION DE SUELOS
ASTM D422 - D2216 - D854 - D4318 - D427 - D2487

SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACION DEL INFORME DE VERIFICACION DE MECANICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TECNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSION: "CONSTRUCCION Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PUBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CODIGO PROCESAL PENAL"

MUESTRA : CALICATA - 1
ESTRATO : E-1
FECHA : DICIEMBRE 2023

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

Malla	Abertura (mm)	PESO RETENIDO EN gr	% RETENIDO	% QUE PASA	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA																																							
5"	127.000	0.0	0.00	100.00	<table><tr><th colspan="3">MUESTRA</th></tr><tr><td>% ARENA</td><td>43.83</td><td>%</td></tr><tr><td>% PIEDRA</td><td>56.17</td><td>%</td></tr><tr><th colspan="3">LÍMITES DE CONSISTENCIA</th></tr><tr><td>Límite Líquido</td><td>(%)</td><td>25.4</td></tr><tr><td>Límite Plástico</td><td>(%)</td><td>22.4</td></tr><tr><td>Índice Plástico</td><td>(%)</td><td>3.00</td></tr><tr><th colspan="3">COEFICIENTES</th></tr><tr><td>Coefficiente de uniformidad (C_u) :</td><td></td><td>227.50</td></tr><tr><td>Coefficiente de curvatura (C_c) :</td><td></td><td>0.28</td></tr><tr><th colspan="3">CLASIFICACION</th></tr><tr><td>CLASIFICACION S.U.C.S</td><td></td><td>GP-GM</td></tr><tr><td>CLASIFICACION AASHTO</td><td></td><td>A-1-a(0)</td></tr></table>	MUESTRA			% ARENA	43.83	%	% PIEDRA	56.17	%	LÍMITES DE CONSISTENCIA			Límite Líquido	(%)	25.4	Límite Plástico	(%)	22.4	Índice Plástico	(%)	3.00	COEFICIENTES			Coefficiente de uniformidad (C _u) :		227.50	Coefficiente de curvatura (C _c) :		0.28	CLASIFICACION			CLASIFICACION S.U.C.S		GP-GM	CLASIFICACION AASHTO		A-1-a(0)
MUESTRA																																												
% ARENA	43.83	%																																										
% PIEDRA	56.17	%																																										
LÍMITES DE CONSISTENCIA																																												
Límite Líquido	(%)	25.4																																										
Límite Plástico	(%)	22.4																																										
Índice Plástico	(%)	3.00																																										
COEFICIENTES																																												
Coefficiente de uniformidad (C _u) :		227.50																																										
Coefficiente de curvatura (C _c) :		0.28																																										
CLASIFICACION																																												
CLASIFICACION S.U.C.S		GP-GM																																										
CLASIFICACION AASHTO		A-1-a(0)																																										
4"	101.600	522.0	5.81	94.19																																								
3"	76.200	623.0	6.94	87.25																																								
2"	50.800	659.0	7.34	79.91																																								
1.5"	38.100	685.0	7.63	72.29																																								
1"	25.400	798.0	8.89	63.40																																								
1/2"	12.700	514.0	5.72	57.68																																								
3/8"	9.525	365.0	4.06	53.61																																								
N° 4	4.760	879.0	9.79	43.83																																								
N° 10	2.000	594.5	6.62	37.21																																								
N° 20	0.840	389.2	4.33	32.87																																								
N° 30	0.590	282.3	3.14	29.73																																								
N° 40	0.425	491.5	5.47	24.26																																								
N° 100	0.149	816.8	9.09	15.16																																								
N° 200	0.074	486.5	5.42	9.75																																								
FONDO		875.3	9.75	0.00																																								



LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PAUCAR TITO E.I.R.L.

Federico Pascual Paucar Tito
ING CIVIL - Reg. CIP 44210

LABORATORIO GEOTECNICO E INVESTIGACION

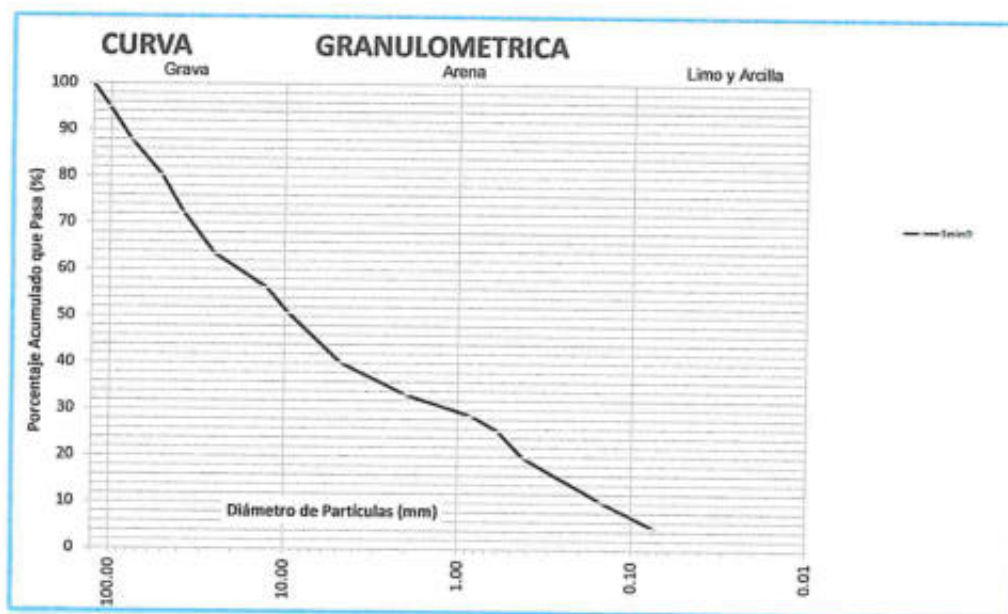
CLASIFICACION DE SUELOS
ASTM D422 - D2216 - D854 - D4318 - D427 - D2487

SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACION DEL INFORME DE VERIFICACION DE MECANICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TECNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSION: "CONSTRUCCION Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PUBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CODIGO PROCESAL PENAL"

MUESTRA : CALICATA - 1
ESTRATO : E-2
FECHA : DICIEMBRE 2023

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

Malla	Abertura (mm)	PESO RETENIDO EN gr	% RETENIDO	% QUE PASA	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA																							
5"	127.000	0.0	0.00	100.00	MUESTRA <table><tr><td>% ARENA</td><td>40.11</td><td>%</td></tr><tr><td>% PIEDRA</td><td>59.89</td><td>%</td></tr></table> LÍMITES DE CONSISTENCIA <table><tr><td>Límite Líquido (%)</td><td></td><td>NP</td></tr><tr><td>Límite Plástico (%)</td><td></td><td>NP</td></tr><tr><td>Índice Plástico (%)</td><td></td><td>NP</td></tr></table> COEFICIENTES <table><tr><td>Coefficiente de uniformidad (C_u) :</td><td>133.81</td></tr><tr><td>Coefficiente de curvatura (C_c) :</td><td>0.49</td></tr></table> CLASIFICACION <table><tr><td>CLASIFICACION S.U.C.S</td><td>GP</td></tr><tr><td>CLASIFICACION AASHTO</td><td>A-1-a(1)</td></tr></table>	% ARENA	40.11	%	% PIEDRA	59.89	%	Límite Líquido (%)		NP	Límite Plástico (%)		NP	Índice Plástico (%)		NP	Coefficiente de uniformidad (C _u) :	133.81	Coefficiente de curvatura (C _c) :	0.49	CLASIFICACION S.U.C.S	GP	CLASIFICACION AASHTO	A-1-a(1)
% ARENA	40.11	%																										
% PIEDRA	59.89	%																										
Límite Líquido (%)		NP																										
Límite Plástico (%)		NP																										
Índice Plástico (%)		NP																										
Coefficiente de uniformidad (C _u) :	133.81																											
Coefficiente de curvatura (C _c) :	0.49																											
CLASIFICACION S.U.C.S	GP																											
CLASIFICACION AASHTO	A-1-a(1)																											
4"	101.600	432.0	5.03	94.97																								
3"	76.200	611.0	7.12	87.85																								
2"	50.800	648.0	7.55	80.29																								
1.5"	38.100	691.0	8.05	72.24																								
1"	25.400	755.0	8.80	63.44																								
1/2"	12.700	622.0	7.25	56.19																								
3/8"	9.525	468.0	5.45	50.74																								
Nº 4	4.760	912.1	10.63	40.11																								
Nº 10	2.000	589.0	6.86	33.25																								
Nº 20	0.840	385.5	4.49	28.75																								
Nº 30	0.590	279.6	3.26	25.50																								
Nº 40	0.425	486.9	5.67	19.82																								
Nº 100	0.149	809.1	9.43	10.39																								
Nº 200	0.074	481.9	5.62	4.78																								
FONDO		409.9	4.78	0.00																								



	REGISTRO		C3-LIM-F2	
	CONTROL DE CALIDAD		Revisión :	1
	LIMITES DE ATTERBERG (ASTM D-4318)		Fecha :	
			Página :	1 de 1

NTP 339.129:1999 (revisión 2019) Método de ensayo estándar para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.

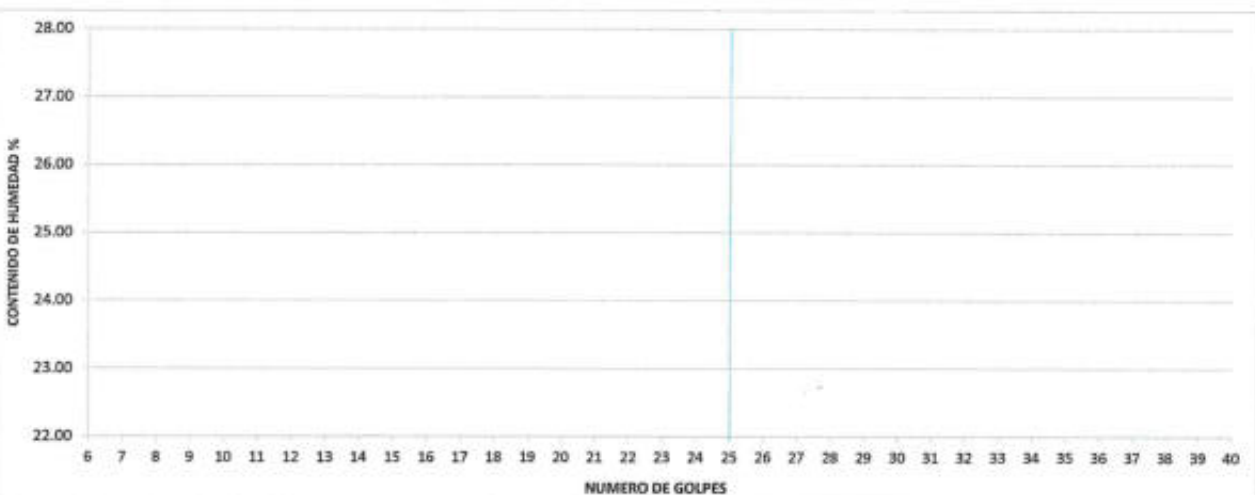
Proyecto	: SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACION DEL INFORME DE VERIFICACION DE MECANICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TECNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSION: "CONSTRUCCION Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PUBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CODIGO PROCESAL PENAL"
Muestra	: Calicata -1
Estrato	: E -2
Proceso de selección	: Pasante N°40
Proceso de secado	: Horno

DATOS DE LA MUESTRA:

CALICATA-1 TERRENO NATURAL		Muestra N° :
		M-01

		LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
Numero de golpes	Nº						
Masa de Tara	g						
Masa de Tara + suelo Humedo	g						
Masa de Tara + suelo Seco	g						
Masa de Agua	g						
Masa de suelo Seco	g						
Contenido de Humedad	%						
L.L.=	NP %	L.P.=	NP %	I.P.=	NP %		

DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO



ELABORADO POR :	
	

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
 FEDERICO PAUCAR TITO EIRL

 Federico Pascual Paucar Tito
 ING CIVIL RPP, CIP 84719

000851

	REGISTRO		C3-LIM-F2
	CONTROL DE CALIDAD		Revisión : 1
	LIMITES DE ATTERBERG (ASTM D-4318)		Fecha : Página : 1 de 1

NTP 339.129:1999 (revisión 2019) Método de ensayo estándar para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.

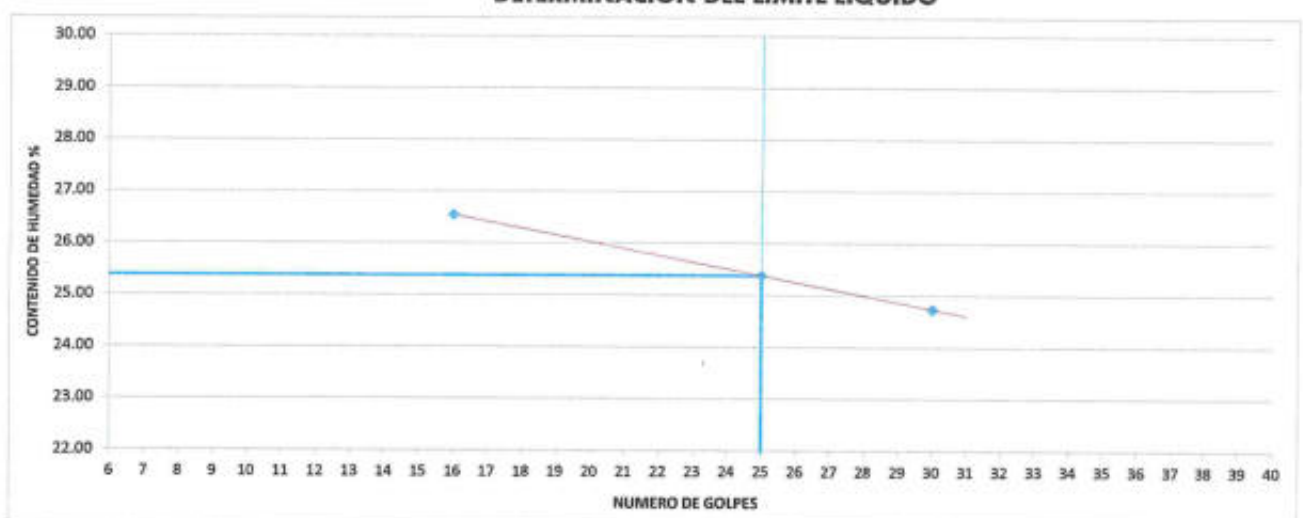
Proyecto	: SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACION DEL INFORME DE VERIFICACION DE MECANICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TECNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSION: "CONSTRUCCION Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PUBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CODIGO PROCESAL PENAL"
Muestra	: Calicata -1
Estrato	: E -1

Proceso de selección	: Pasante N°40
Proceso de secado	: Horno

DATOS DE LA MUESTRA:	
CALICATA-3 TERRENO NATURAL	Muestra N° : M-01

	N°	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
		16	25	30			
Numero de golpes							
Masa de Tara	g	25.10	25.33	26.44	14.12	14.52	
Masa de Tara + suelo Humedo	g	46.41	43.41	42.88	16.81	16.12	
Masa de Tara + suelo Seco	g	41.94	39.75	39.62	16.32	15.83	
Masa de Agua	g	4.47	3.66	3.26	0.49	0.29	
Masa de suelo Seco	g	16.84	14.42	13.18	2.20	1.31	
Contenido de Humedad	%	26.54	25.38	24.73	22.27	22.42	
L.L.=	25.4 %	L.P.= 22.3 %			I.P.= 3.0 %		

DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO



ELABORADO POR :



LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PAUCAR TITO EIRL
[Signature]
Federico Pascual Paucar Tito
ING CIVIL Reg. CIP 44210

DENSIDAD DE CAMPO METODO DEL CONO DE ARENA ASTM D1556: AASHTO T181, T191

SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACION DEL INFORME DE VERIFICACION DE MECANICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TECNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSION: "CONSTRUCCION Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PUBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CODIGO PROCESAL

MUESTRA : CALICATA-1
ESTRATO : E-1 y E2

FECHA : DICIEMBRE 2023

MCA N° 01 C

Cono de arena de 12 "

Ubicación		CALICATA I					
Muestra / Tipo de Material		granular					
Capa							
Espesor de capa controlada							
Fecha de Realizacion del Ensayo		DICIEMBRE 2023					
PUNTO		E1 1m	E2 2m				
A	Peso inicial de la arena + frasco	g	36780	36657			
B	Peso residual de la arena + frasco	g	8918	9416			
C	Peso arena cono	g	7741.0	7741.0			
D	Peso arena empleada A - B - C	g	20121	19500			
E	Densidad arena	g/cm3	1.459	1.459			
F	Volumen del hueco D / E	cm3	13790.95	13365.32			
G	Peso suelo húmedo extraído	g	30597	30597			
H	Densidad humeda G / F	g/cm3	2.219	2.289			
I	Densidad suelo seco $G / ((1+J/100) F)$	g/cm3	2.097	2.112			

CONTENIDO DE HUMEDAD

J	% Humedad	5.8	8.4				
---	-----------	-----	-----	--	--	--	--

OBSERVACIONES :



ING. RESPONSABLE

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PAUCAR TITO EIRL

Federico Pascual Paucar Tito
ING. CIVIL Reg. CIP 141210

 FEDERICO PAUCAR TITO LEPFUICO LPAUCHU TITO AV INDUSTRIAL 712 AREQUIPA - AV DE LA CULTURA 0-10 G ALBARRACIN TACNA- JR GRAU 127 MOQUEGUA fpaucart@gmail.com	Documento:	Rev.
	Fecha:	DICIEMBRE - 2023
	Originado por:	FPT
	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, REGISTRO DE EXCAVACIÓN (ASTM D 2488) -PERFILES ESTRATIGRAFICOS	
Registro:		
REGISTRO DE EXCAVACION ASTM D 2488		
PROYECTO	:SERVICIO ESPECIALIZADO DE ELABORACIÓN DEL INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN: "CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICO EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL PENAL" – CUI 2090071	
SOLICITA	: MINISTERIO PUBLICO	
CALICATA	: C- 01	
FECHA	: DICIEMBRE 2023	
	PROF. 4.50 m	
	NIVEL	
	FREÁTICO -2.0 m	
PROF. (m)	DESCRIPCION DEL SUELO:	CLASIFICACION SUCS
		Nº MUESTRA
0.00	SUELO GRANULAR FINO EN ESTADO SEMI COMPACTO, DE COLOR BEIGE CLARO, CON PRESENCIA DE ARENA LIMOSA,	
0.10		
0.20		
0.30		
0.40		
0.50		
0.60		
0.70		
0.80		
0.90		
1.00	GRAVA CON ARENA LIMOSA DE COLOR GRIS CLARO, LA GRAVA DE FORMA SUBREDONDEADA, CON UNA HUMEDAD ALTA A SATURADA , DE CLASIFICACIÓN SUCS GP-GM EN NIVEL FREATICO SE ENCUENTRA A -2 metros	GP-GM
1.10		
1.20		
1.30		
1.40		
1.50		
1.60		
1.70		
1.80		
1.90		
2.00	GRAVA SUBREDONDEADA DE DIVERSOS TAMAÑOS, SEMI COMPACTO, DE COLOR GRIS, CON HUMEDAD MEDIA, SE OBSERVA PRESENCIA DE ARENA DE GRANO GRUESO, DE CLASIFICACIÓN SUCS GP	GP
2.10		
2.20		
2.30		
2.40		
2.50		
2.60		
2.70		
2.80		
2.90		
3.00		M-2
3.10		
3.20		
3.30		
3.40		
3.50		
3.60		
3.70		
3.80		
3.90		
4.00		
4.10		
4.20		
4.30		
4.40		
4.50		

CALLE MIGUEL GRAU 127-I MOQUEGUA AV INDUSTRIAL 712 AREQUIPA email fpaucart@gmail.com cel 954692383

 LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
 FEDERICO PAUCAR TITO EIRL

 Federico Pascual Paucar Tito
 ING CIVIL Reg. EIR 00219



FEDERICO PAUCAR TITO EIRL

AV INDUSTRIAL 702 AREQUIPA - JR GRAU 127 MOQUEGUA

FPAUCART@gmail.com

000848



INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN : CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICA EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL

SOLICITA : MINISTERIO PUBLICO

RESPONSABLE : FPT

FECHA : DICIEMBRE 2023

CALICATA C1

PANEL FOTOGRÁFICO



Av. INDUSTRIAL N°702 AREQUIPA- CALLE GRAU 127 -I MOQUEGUA

ASOCIADO A LA SOCIEDAD PERUANA DE GEOTECNIA CEL/053/92383 fpaucart@gmail.com

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PAUCAR TITO EIRL

Federico Paucar Tito
ING CIVIL Reg. CIP 44210



INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN : CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICA EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL

SOLICITA : MINISTERIO PUBLICO

RESPONSABLE : FPT

FECHA : DICIEMBRE 2023

SPT 1

PANEL FOTOGRÁFICO



Av. INDUSTRIAL N°712 AREQUIPA CALLE GRAU 127 - I MOQUEGUA

ASOCIADO A LA SOCIEDAD PERUANA DE GEOTECNIA CH.95602583 fpaucart@gmail.com

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PAUCAR TITO EIRL

Federico Pascual Paucar Tito
ING CIVIL Reg. CIP 44210



FEDERICO PAUCAR TITO EIRL

AV INDUSTRIAL 712 AREQUIPA - JR GRAU 127 MOQUEGUA

FPAUCART@gmail.com



000846

ENSAYO GEOFÍSICO DE REFRACCIÓN SÍSMICA, MASW Y MAM PARA EL PROYECTO: INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN : CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICA EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL

SOLICITA : MINISTERIO PUBLICO

RESPONSABLE : FPT

FECHA : DICIEMBRE 2023

SPT 2

PANEL FOTOGRÁFICO



LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PAUCAR TITO EIRL

Federico Paucar Tito
Federico Pascual Paucar Tito
ING CIVIL Reg. CIP 44210

Av. INDUSTRIAL N°712 AREQUIPA CALLE GRAU 127 - I MOQUEGUA

ASOCIADO A LA SOCIEDAD PERUANA DE GEOTECNIA CEL0536/02583 fpaucart@gmail.com



ENSAYO GEOFÍSICO DE REFRACCIÓN SÍSMICA, MASW Y MAM PARA EL PROYECTO: INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN : CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICA EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL

SOLICITA : MINISTERIO PÚBLICO

RESPONSABLE : FPT

FECHA : DICIEMBRE 2023

SPT 3

PANEL FOTOGRÁFICO

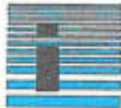


Av. INDUSTRIAL N°712 AREQUIPA - CALLE GRAU 127 - J. MOQUEGUA

ASOCIADO A LA SOCIEDAD PERUANA DE GEOTECNIA CIE.9536/92383 fpaucart@gmail.com

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PAUCAR TITO EIRL

[Signature]
Federico Pascual Paucar Tito
ING CIVIL Reg. CIP 44210



FEDERICO PAUCAR TITO EIRL
FEDERICO PAUCAR TITO EIRL

AV INDUSTRIAL 712 AREQUIPA - JH GRAU 127 MOQUEGUA

FPALICART@gmail.com

000844



ENSAYO GEOFÍSICO DE REFRACCIÓN SÍSMICA, MASW Y MAM PARA EL PROYECTO: INFORME DE VERIFICACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL EXPEDIENTE TÉCNICO DE SALDO DE OBRA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN : CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA SEDE DEL MINISTERIO PÚBLICA EN EL DISTRITO JUDICIAL DE CAÑETE, EN EL MARCO DEL NUEVO CÓDIGO PROCESAL

SOLICITA : MINISTERIO PUBLICO
RESPONSABLE : FPT
FECHA : DICIEMBRE 2023

PANEL FOTOGRÁFICO



LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PAUCAR TITO EIRL

Federico Pascual Paucar Tito
ING Civil Reg. CIP 142210

Av. INDUSTRIAL N°712 AREQUIPA CALLE GRAU 127 - I MOQUEGUA

ASOCIADO A LA SOCIEDAD PERUANA DE GEOTECNIA CIE.0536/2383 fpaucar@gmail.com

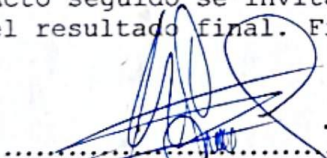
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
Bach. JOEL CHRISTIAN SOTO LEON
R.D. N° 074-2026-UNSCH-FCA-D

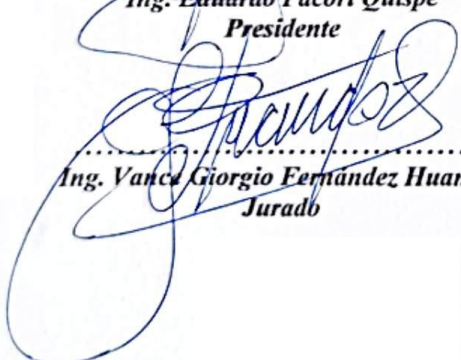
En la ciudad de Ayacucho, a los veintidós días del mes de julio del año dos mil veintiséis, siendo las dieciocho horas, se reunieron en el auditorio de la Facultad de Ciencias Agrarias, bajo la presidencia del Dr. Felipe Escobar Ramírez Decano de la Facultad de Ciencias Agrarias; los miembros del jurado conformado por el Ing. Eduardo Pacori Quispe, Ing. Efraín Chuchón Prado como asesor, Ing. Vance Giorgio Fernández Huamán y el Dr. Eleazar Chuchón Angulo; actuando como secretario de actas el Mtro. Rodolfo Alca Mendoza, para recibir la sustentación de la Tesis titulado: **Estudio hidrogeológico para la cimentación y control de filtraciones en la sede del Ministerio Público en Cañete - 2024**, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agrícola, presentado por el Bachiller **JOEL CHRISTIAN SOTO LEON**.

El señor Decano previa verificación de los documentos exigidos solicitó se proceda con la sustentación y posterior defensa de la tesis en un periodo de cuarenta y cinco minutos de acuerdo al reglamento de grados y títulos vigente. Terminado la exposición, los miembros del Jurado, formularon sus preguntas, aclaraciones y/o observaciones correspondientes. Luego se invitó a los miembros del jurado pasar a otra aula para la deliberación y calificación del trabajo de tesis, teniendo el siguiente resultado:

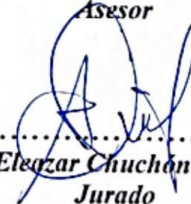
Jurado evaluador	Exposición	Respuestas a las preguntas	Generación de conocimiento	Promedio
Ing. Eduardo Pacori Quispe	15	15	15	15
Ing. Efraín Chuchón Prado	16	16	16	16
Ing. Vance Giorgio Fernández Huamán	13	13	13	13
Dr. Eleazar Chuchón Angulo	16	15	15	15
PROMEDIO GENERAL				15

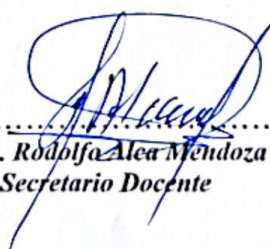
Acto seguido se invita a la sustentante y público en general para dar a conocer el resultado final. Firman el acta.


Ing. Eduardo Pacori Quispe
Presidente


Ing. Vance Giorgio Fernández Huamán
Jurado


Ing. Efraín Chuchón Prado
Asesor


Dr. Eleazar Chuchón Angulo
Jurado


Mtro. Rodolfo Alca Mendoza
Secretario Docente

CONSTANCIA DE CONTROL DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

El que suscribe, miembro de la comisión de docentes instructores responsables de operativizar, verificar, garantizar y controlar la originalidad de los trabajos de **TESIS** de la Facultad de Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, autorizado por R.D N° 213-2025-UNSCH-FCA-CF; hace constar que el trabajo titulado:

Estudio Hidrogeológico para la Cimentación y Control de Filtraciones en la Sede del Ministerio Público en Cañete – 2024

Autor : Joel Christian Soto Leon
Asesor : Efraín Chuchón Prado

Ha sido sometido al control de originalidad mediante el software TURNITIN UNSCH, acorde al Reglamento de originalidad de trabajos de tesis, aprobado mediante RCU 039-2021-UNSCH-CU, arrojando un resultado de **siete (7%)** de índice de similitud, con exclusión de citas y bibliografía, y de coincidencias menores de 30 palabras.

En consecuencia, se otorga la presente Constancia de Originalidad para los fines pertinentes.

Nota: Se adjunta el resultado con identificador de la entrega: 3008045608

Ayacucho, 04 de Agosto de 2026

Atentamente,



UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
Facultad de Ciencias Agrarias
Prof. Dr. Eleazar Chuchón Angulo
DNI 42682714

Estudio Hidrogeológico para la Cimentación y Control de Filtraciones en la Sede del Ministerio Público en Cañete – 2024

por Joel Christian SOTO LEON

Fecha de entrega: 04-ago-2026 03:35p. m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 3008045608

Nombre del archivo: TESIS_FINAL_SOTO_LEON_ULTIMO_ASESOR_OKK_.pdf (15.59M)

Total de palabras: 21268

Total de caracteres: 137780

Estudio Hidrogeológico para la Cimentación y Control de Filtraciones en la Sede del Ministerio Público en Cañete - 2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

7%	6%	4%	1%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net	Fuente de Internet	1%
2	repositorioacademico.upc.edu.pe	Fuente de Internet	1%
3	eprints.uanl.mx	Fuente de Internet	1%
4	WALSH PERU S.A. INGENIEROS Y CIENTIFICOS CONSULTORES. "EIA para el Proyecto de Explotación de la Concesión Minera No Metálica Dunas 3 Segunda-IGA0007037", R.D. N°005-2016-PRODUCE/DVMYPE-I/DIGGAM, 2020	Publicación	<1%
5	Sesma Bastida, Begona. "Out-of-court procedures of solution about the labor conflicts: Normative and conventional framework", Proquest, 20111109	Publicación	<1%
6	doku.pub	Fuente de Internet	<1%
7	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga	Trabajo del estudiante	<1%
8	digital.cic.gba.gob.ar	Fuente de Internet	<1%
9	ri.uaemex.mx	Fuente de Internet	<1%
10	Submitted to Blackboard	Trabajo del estudiante	<1%
11	www.editoresasagai.org.ar	Fuente de Internet	<1%
12	tierra.rediris.es	Fuente de Internet	<1%
13	CESEL S A. "EIA para el Suministro de Agua, Energía y Planta Desaladora del Proyecto Cerro Lindo-IGA0000852", R.D. N° 134-2007-MEM-AAM, 2020	Publicación	<1%

14

Submitted to Universidad Nacional de Trujillo

Trabajo del estudiante

<1 %

15

LUIS ALTAREJOS GARCÍA. "Contribución a la estimación de la probabilidad de fallo de presas de hormigón en el contexto del análisis de riesgos.", Universitat Politecnica de Valencia, 2009

Publicación

<1 %

16

oldri.ues.edu.sv

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 30 words

Excluir bibliografía

Activo

**"Estudio Hidrogeológico para la Cimentación y Control de Filtraciones en la Sede del
Ministerio Público en Cañete – 2024"**

**Hydrogeological Study for Foundation Design and Seepage Control at the Public
Prosecutor's Office Headquarters in Cañete – 2024**

Joel Christian Soto Leon¹ joel.soto.21@unsch.edu.pe
Efrain Chuchon Prado² efrain.chuchon@unsch.edu.pe
Área de investigación: Ingeniería de Recursos Hídricos
Línea de investigación: Hidrogeología aplicada y geotecnia

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo caracterizar las condiciones hidrogeológicas del terreno destinado a la construcción de la sede del Ministerio Público en Cañete y proponer una alternativa técnica para el control de filtraciones que garantice la estabilidad de la cimentación. La investigación fue de tipo aplicada, con enfoque cuantitativo y diseño no experimental. La metodología comprendió el inventario de fuentes de agua subterránea, prospección geofísica mediante tomografía eléctrica (ERT), pruebas de bombeo, análisis hidrogeoquímico, evaluación de alternativas de control de filtraciones y modelamiento numérico del flujo subterráneo mediante PLAXIS 2D. Los resultados evidenciaron la presencia de un acuífero superficial hidráulicamente activo, con nivel freático promedio de 1,93 m, alta conductividad hidráulica y continuidad del flujo subterráneo. La evaluación comparativa permitió seleccionar las mantas de bentonita como la alternativa técnicamente más adecuada para el control de filtraciones debido a su capacidad impermeabilizante, compatibilidad con el sistema de cimentación y desempeño hidráulico. Se concluye que la integración de la caracterización hidrogeológica, la evaluación geotécnica y el modelamiento numérico constituye una herramienta eficaz para el diseño de cimentaciones en terrenos con presencia de agua subterránea.

Palabras clave: Hidrogeología, agua subterránea, cimentación, tomografía eléctrica, mantas de bentonita.

ABSTRACT

The objective of this research was to characterize the hydrogeological conditions of the site selected for the construction of the Public Prosecutor's Office headquarters in Cañete and to propose a technical alternative for seepage control to ensure foundation stability. The research followed an applied, quantitative, and non-experimental approach. The methodology included groundwater source inventory, electrical resistivity tomography (ERT), pumping tests, hydrogeochemical analysis, evaluation of seepage control alternatives, and groundwater numerical modeling using PLAXIS 2D. The results identified a shallow hydraulically active aquifer with an average groundwater table depth of 1.93 m, high hydraulic conductivity, and continuous groundwater flow. Comparative evaluation identified bentonite mats as the most suitable seepage control alternative due to their waterproofing capacity, compatibility with the proposed foundation system, and hydraulic performance. It is concluded that integrating hydrogeological characterization, geotechnical assessment, and numerical modeling provides an effective methodology for designing foundations under shallow groundwater conditions.

Keywords: Hydrogeology, groundwater, foundation, electrical resistivity tomography, bentonite mats.

I. INTRODUCCIÓN

La presencia de agua subterránea representa uno de los principales factores que condicionan el comportamiento geotécnico de los terrenos destinados a obras de cimentación. Cuando el nivel freático se encuentra próximo a la superficie, se incrementan las presiones intersticiales, disminuyen los esfuerzos efectivos y se generan condiciones que pueden comprometer la estabilidad y durabilidad de las estructuras. Estas condiciones son frecuentes en depósitos aluviales de zonas costeras, donde el control de filtraciones constituye un aspecto fundamental para garantizar un adecuado desempeño de la cimentación.

En el área destinada a la construcción de la sede del Ministerio Público en Cañete se identificó la presencia de un nivel freático superficial y materiales granulares altamente permeables, condiciones que motivaron el desarrollo de un estudio hidrogeológico integral para evaluar la influencia del agua subterránea sobre la estabilidad del terreno de fundación y seleccionar una alternativa técnica de control de filtraciones.

La investigación tuvo como objetivo caracterizar las condiciones hidrogeológicas del área de estudio y proponer una solución técnicamente viable para el control de filtraciones mediante la integración de información hidrogeológica, geofísica, hidrogeoquímica y geotécnica. Para ello se aplicaron técnicas de inventario de fuentes de agua subterránea, tomografía eléctrica (ERT), pruebas de bombeo, análisis hidrogeoquímico, evaluación multicriterio de alternativas y modelamiento numérico del flujo subterráneo mediante PLAXIS 2D. Los resultados permitieron seleccionar las mantas de bentonita como la alternativa más adecuada para reducir el ingreso de agua subterránea y mejorar las condiciones de estabilidad de la cimentación.

II. METODOLOGÍA

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicada y nivel explicativo, con un diseño no experimental. El estudio se realizó en el terreno destinado a la construcción de la sede del Ministerio Público en la provincia de Cañete, donde previamente se identificó la presencia de un nivel freático superficial y materiales granulares con elevada permeabilidad, condiciones que influyen en el comportamiento hidráulico y geotécnico del terreno de fundación.

La metodología comprendió cinco etapas. En primer lugar, se efectuó el inventario de fuentes de agua subterránea mediante el reconocimiento de pozos existentes y el registro de sus principales características hidráulicas. Posteriormente, se realizó la prospección geofísica mediante tomografía eléctrica (ERT), permitiendo caracterizar la distribución de resistividades del subsuelo e identificar las unidades geoeléctricas asociadas a materiales saturados y no saturados.

En una tercera etapa se ejecutaron pruebas de bombeo para determinar los parámetros hidráulicos del acuífero, complementadas con el análisis hidrogeoquímico de muestras de agua subterránea para evaluar sus características fisicoquímicas. A continuación, se identificaron y compararon las alternativas de control de filtraciones mediante criterios hidráulicos, geotécnicos y constructivos, considerando muros pantalla, columnas de grava, platea de cimentación y mantas de bentonita. Finalmente, la alternativa seleccionada fue evaluada mediante modelamiento numérico utilizando PLAXIS 2D, con el propósito de analizar el comportamiento del flujo subterráneo y verificar la eficiencia de la solución propuesta para el control de filtraciones y la estabilidad de la cimentación.

Figura 1
Esquema metodológico de la investigación



III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La caracterización hidrogeológica permitió identificar un acuífero superficial hidráulicamente activo en el área de estudio, evidenciado por un nivel freático promedio de 1,93 m y por la continuidad del flujo subterráneo determinada mediante la integración del inventario hidrogeológico, la tomografía eléctrica (ERT) y las pruebas de bombeo. Estas condiciones indican que el terreno presenta una elevada susceptibilidad al ingreso de agua subterránea durante la construcción de la cimentación, generando un incremento de las presiones intersticiales y una reducción de los esfuerzos efectivos del suelo.

La interpretación de la tomografía eléctrica permitió diferenciar tres unidades geoeléctricas. La primera presentó resistividades comprendidas entre 10 y 50 $\Omega \cdot m$, asociadas a materiales areno-limosos saturados; la segunda registró valores entre 50 y 150 $\Omega \cdot m$, correspondientes a arenas, gravas y limos con saturación intermedia; mientras que la tercera presentó resistividades entre 150 y 200 $\Omega \cdot m$, asociadas a materiales más competentes y con menor contenido de humedad. La continuidad lateral de estas unidades confirmó la presencia de un acuífero superficial con comportamiento hidráulicamente activo, concordando con las condiciones identificadas mediante las pruebas de bombeo.

Los resultados de la evaluación comparativa de alternativas de control de filtraciones demostraron que las mantas de bentonita

constituyen la solución técnicamente más adecuada para las condiciones hidrogeológicas del área de estudio. Esta alternativa presentó ventajas respecto a los muros pantalla, columnas de grava y platea de cimentación, debido a su elevada capacidad impermeabilizante, facilidad constructiva y compatibilidad con las características geotécnicas del terreno.

El modelamiento numérico realizado mediante PLAXIS 2D evidenció que la incorporación de mantas de bentonita reduce significativamente el flujo de infiltración y las presiones de poro en el entorno de la cimentación, mejorando las condiciones de estabilidad del terreno de fundación. Estos resultados corroboran la eficiencia hidráulica de la solución propuesta y respaldan su aplicación como sistema de control de filtraciones para edificaciones construidas sobre terrenos con presencia de agua subterránea.

Los resultados obtenidos son consistentes con los fundamentos hidrogeológicos y geotécnicos desarrollados en la investigación, evidenciando que la integración de técnicas geofísicas, pruebas hidráulicas y modelamiento numérico constituye una metodología confiable para la evaluación de cimentaciones en condiciones de nivel freático superficial. Asimismo, la selección de las mantas de bentonita responde tanto a criterios técnicos como al comportamiento hidráulico observado durante las simulaciones numéricas.

Figura 2
Modelo 3D de resistividad eléctrica.

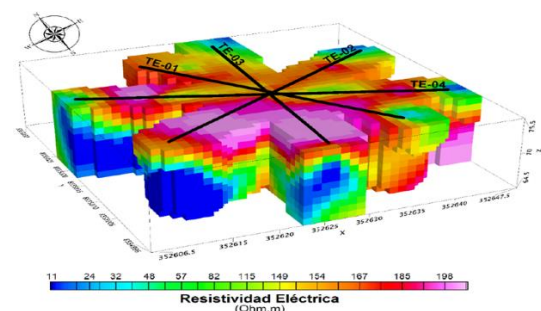


Tabla 1

Parámetros hidráulicos del acuífero obtenidos de la prueba de bombeo.

Pozo	Transmisividad T (m ² /s)	Conductividad hidráulica K (m/s)	Coefficiente de almacenamiento S (%)
Pozo - 01	0.89×10^{-2}	24.65×10^{-4}	7.0
Pozo - 02	0.91×10^{-2}	25.27×10^{-4}	7.0
Pozo - 03	0.87×10^{-2}	24.03×10^{-4}	7.0

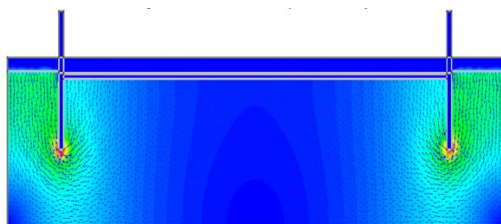
Tabla 2

Evaluación comparativa de alternativas.

Criterio	Muro pantalla	Columnas de grava	Plataea de cimentación	Manta de bentonita
Eficiencia hidráulica	Alta	Media	Media	Alta
Compatibilidad con el suelo	Alta	Alta	Media	Alta
Facilidad constructiva	Baja	Media	Media	Alta
Durabilidad	Alta	Alta	Alta	Alta
Viabilidad técnica-constructiva	Bajo	Medio	Medio	Alto
Integración con cimentación	Media	Alta	Alta	Alta

Figura 3

Distribución de líneas de flujo y velocidades del agua subterránea obtenidas mediante modelamiento numérico.



CONCLUSIONES

1. La caracterización hidrogeológica permitió identificar un acuífero superficial hidráulicamente activo en el área de estudio, evidenciado por un nivel freático promedio de 1,93 m, alta conductividad hidráulica y continuidad del flujo subterráneo, condiciones que afectan la estabilidad del terreno destinado a la cimentación.
2. La evaluación comparativa de las alternativas de control de filtraciones determinó que las mantas de bentonita constituyen la solución técnicamente más adecuada para las condiciones hidrogeológicas del terreno, debido a su capacidad impermeabilizante, facilidad de instalación y compatibilidad con el sistema de cimentación proyectado.

3. El modelamiento numérico mediante PLAXIS 2D confirmó que la incorporación de mantas de bentonita reduce significativamente el flujo de infiltración y las presiones de poro, mejorando las condiciones de estabilidad hidráulica y geotécnica del terreno de fundación

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso, E. E. (2014). *Mejora del terreno mediante columnas de grava: Principios y aplicaciones*. Editorial Tébar.
- Anderson, M. P., Woessner, W. W., y Hunt, R. J. (2015). *Applied groundwater modeling: Simulation of flow and advective transport* (2nd ed.). Academic Press.
- Appelo, C. A. J., y Postma, D. (2005). *Geochemistry, groundwater and pollution* (2nd ed.). CRC Press.
- Brinkgreve, R. B. J., Kumaraswamy, S., Swolfs, W. M., Foria, F., Waterman, D., Chesaru, A., Bonnier, P. G., y den Eijnden, A. van. (2020). *PLAXIS 2D reference manual*. Bentley Systems.
- Camargo García, D. B., y Zapata Vera, N. S. (2017). *Evaluación de la reducción del potencial de licuefacción usando la metodología de análisis de Seed & Idriss sobre ensayos de SPT realizados en el suelo arenoso del proyecto Outlet Premium Lurín mejorado con pilas de grava compactada* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas].
- Custodio, E., y Llamas, M. R. (2001). *Hidrología subterránea* (2.^a ed.). Omega.
- Das, B. M. (2012). *Principles of foundation engineering* (8th ed.). Cengage Learning.

- Falla Rufasto, P. C. (2021). *Propuesta de mejoramiento de suelos licuables mediante el uso de columnas de grava en áreas portuarias – Puerto del Callao* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas].
- Ferrer, M. (2010). *Geotecnia y cimientos II: cimentaciones, excavaciones y aplicaciones de la geotecnia*. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- González de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., y Oteo, C. (2002). *Ingeniería geológica*. Pearson Educación.
- Gutiérrez, M. (2008). *Geomorfología*. Pearson Educación.
- Koerner, R. M. (2012). *Designing with geosynthetics* (6th ed.). Xlibris Corporation.
- Loke, M. H. (2004). *Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys*. Geotomo Software.
- MAPEI. (2020). *Ficha técnica de sistema de impermeabilización con manta bentónica*. MAPEI Perú.
- Potts, D. M., y Zdravković, L. (1999). *Finite element analysis in geotechnical engineering: Theory* (Vol. 1). Thomas Telford Publishing.
- Reynolds, J. M. (2011). *An introduction to applied and environmental geophysics* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.
- Sánchez San Román, F. J. (2012). *Hidrología e hidrogeología*. Universidad de Salamanca.
- Yepes, V. (2016). *Cimentaciones profundas: pilotes y pantallas*. Universidad Politécnica de València.