

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
ESCUELA DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN GEOTECNIA



**PROPUESTA DE DISEÑO DE CIMENTACIÓN PARA UN ALMACÉN DE
NITRATOS BASADA EN EL ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS,
CUSCO 2025**

TESIS

Presentada por:

Bach. Sánchez Salazar Fabiola Del Pilar

ORCID: 0009-0000-9077-0444

Asesor:

Dr. Samuel Huaquisto Cáceres

ORCID: 0000-0002-9294-6359

Para obtener el grado académico de:

MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN GEOTECNIA

TACNA – PERÚ

2026

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
ESCUELA DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN GEOTECNIA

Tesis
“PROPUESTA DE DISEÑO DE CIMENTACIÓN PARA UN ALMACÉN DE
NITRATOS BASADA EN EL ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS,
CUSCO 2025”

Presentada por:
Bach. Sánchez Salazar Fabiola Del Pilar

Tesis sustentada y aprobada el 14 de abril de 2026; ante el siguiente jurado
examinador:

PRESIDENTE : Dr. Pedro Valerio MAQUERA CRUZ

SECRETARIO : Dr. Oscar Walther NOVOA CASTILLO

VOCAL : Dr. Genner Alvarito VILLARREAL CASTRO

ASESOR : Dr. Samuel HUAQUISTO CÁCERES

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo Sánchez Salazar Fabiola Del Pilar, en calidad de egresada de la Maestría en Ingeniería Civil con mención en geotecnia de la Escuela de Postgrado de la Universidad Privada de Tacna, identificado (a) con DNI 76616350

Soy autor (a) de la tesis titulada:

PROPUESTA DE DISEÑO DE CIMENTACIÓN PARA UN ALMACÉN DE NITRATOS BASADA EN EL ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CUSCO 2025, con asesor: Dr. Samuel HUAQUISTO CÁCERES.

DECLARO BAJO JURAMENTO

Ser el único autor del texto entregado para obtener el grado académico de Maestro en Ingeniería Civil con mención en Geotecnia, y que tal texto no ha sido entregado ni total ni parcialmente para obtención de un grado académico en ninguna otra universidad o instituto, ni ha sido publicado anteriormente para cualquier otro fin.

Así mismo, declaro no haber trasgredido ninguna norma universitaria con respecto al plagio ni a las leyes establecidas que protegen la propiedad intelectual.

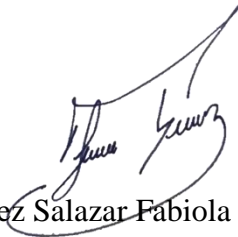
Declaro, que después de la revisión de la tesis con el software Turnitin se declara 11% de similitud, además que el archivo entregado en formato PDF corresponde exactamente al texto digital que presento junto al mismo.

Por último, declaro que para la recopilación de datos se ha solicitado la autorización respectiva a la empresa u organización, evidenciándose que la información presentada es real y soy conocedor (a) de las sanciones penales en caso de infringir las leyes del plagio y de falsa declaración, y que firmo la presente con pleno uso de mis facultades y asumiendo todas las responsabilidades de ella derivada.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a LA UNIVERSIDAD cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a LA UNIVERSIDAD y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis, libro o invento.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Fecha: 14 de abril de 2026



Sánchez Salazar Fabiola Del Pilar

DNI: 76616350

DEDICATORIA

A Dios,

Por ser el guía silencioso en mis noches de desvelo y la fortaleza en los días de mayor desafío. Por permitirme concluir este camino con sabiduría y por poner en mi vida las señales correctas para nunca perder el norte.

A mis padres, Eleodoro y Luci,

Quienes son los verdaderos cimientos de este logro. Este título lleva sus nombres grabados en cada página, porque fue su sacrificio el que me dio las alas para volar y su amor el que me mantuvo firme. Todo lo que soy, se lo debo a su ejemplo y a su fe incondicional en mí.

A mi "Círculo de Hierro": Paola, Roy, Shamir y Rudy,

Por ser el soporte estructural de mi alegría; por las risas que aliviaron el cansancio y por recordarme siempre quién soy cuando la presión del camino nublaba la vista. Gracias por ser la familia que uno elige y por demostrarme que la lealtad es la fuerza más resistente que existe.

Y finalmente, a mí misma,

Como reconocimiento a la mujer que no se rindió. Por las jornadas interminables entre la mina y el estudio, por la disciplina frente al agotamiento y por la valentía de perseguir mis sueños sin descanso. Me dedico este logro por haber creído en mi capacidad de transformar el esfuerzo en éxito y por la promesa cumplida de seguir siempre hacia adelante.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Privada de Tacna, por abrirme sus puertas y permitirme alcanzar este importante hito académico en mi formación profesional.

A los docentes de la Maestría en Geotecnia, por compartir sus conocimientos, su tiempo y su experiencia, los cuales han sido fundamentales para consolidar mi criterio técnico y mi pasión por esta especialidad.

A la organización y al equipo de gestión del proyecto minero donde se desarrolló esta investigación, por las facilidades brindadas y por permitirme aplicar el rigor académico en un entorno operativo real, contribuyendo así a la mejora de los estándares de infraestructura en el sector.

Al Ingeniero Fernando Valdez, por su invaluable apoyo, por facilitar el acceso a la información técnica necesaria para este estudio y por su disposición constante para guiar este proceso con profesionalismo y reserva.

A mis jefes directos, el Ingeniero Ruben Alomia y el Ingeniero Jose Carlos Arenas, por la confianza depositada en mi trabajo, por su comprensión durante las etapas de mayor carga académica y por ser mentores que impulsan mi crecimiento constante dentro de la gestión de proyectos.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	13
ABSTRACT	14
INTRODUCCIÓN	15
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA	17
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	19
1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	20
1.4 OBJETIVOS	21
CAPÍTULO II: MARCO REFERENCIAL.....	22
2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	22
2.2 NORMATIVA VIGENTE	24
2.3 DEFINICIÓN DE CONCEPTOS BÁSICOS.....	28
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA Y DISEÑO DEL PROYECTO	31
3.1 DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN APLICADA	31
3.1.1 Tipo de investigación.....	31
3.1.2 Nivel de investigación	31
3.1.3 Justificación del enfoque aplicado.....	32
3.2 DISEÑO DEL PROYECTO.....	33
3.2.1 Etapas del proyecto	33
3.3 EVALUACIÓN TÉCNICA Y FACTIBILIDAD.....	36
3.3.1 Análisis geotécnico	36
3.3.2 Modelado estructural	36
3.3.3 Simulación de impacto ambiental.....	37
3.4 PLANIFICACIÓN Y EJECUCIÓN	37
3.4.1 Cronograma de actividades.....	37

3.4.2	Asignación de recursos	38
3.4.3	Costos y financiamiento.....	39
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		40
4.1	DESARROLLO DEL PROYECTO Y VALIDACIÓN DEL DISEÑO	40
4.1.1	Ubicación del proyecto:	40
4.1.2	Exploración de campo y ubicación de las calicatas	41
4.1.3	Resultados de los ensayos de laboratorio	42
4.1.4	Cálculo de capacidad de carga.....	49
4.1.5	Cálculos de asentamientos o distorsión angular	50
4.1.6	Metrado de cargas.....	51
4.1.7	Diseño de la cimentación.....	56
4.2	ANÁLISIS DE IMPACTO, BENEFICIOS Y COMPARACIÓN CON CASOS SIMILARES.....	62
4.2.1	Análisis de Impacto	62
4.2.2	Análisis de Beneficios	62
4.2.3	Comparación con casos similares	63
4.3	LIMITACIONES DEL ESTUDIO Y MEJORAS IDENTIFICADAS	64
4.4	DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA Y SU IMPLEMENTACIÓN	64
4.4.1	Descripción de la solución estructural propuesta	64
4.4.2	Criterios de implementación constructiva	65
4.4.3	Viabilidad técnica y operativa	65
4.4.4	Sostenibilidad y proyección futura	66
4.5	EVALUACIÓN DE COSTOS, SOSTENIBILIDAD Y VIABILIDAD A LARGO PLAZO	66
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		68
REFERENCIAS		70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Cronograma de actividades de ejecución de la investigación.</i>	38
Tabla 2. <i>Asignación de recursos.</i>	38
Tabla 3. <i>Costos a precios reales de la ejecución de la investigación.</i>	38
Tabla 4. <i>Información de las calicatas efectuadas.</i>	42
Tabla 5. <i>Resumen de ensayos estándar.</i>	43
Tabla 6. <i>Resumen de los ensayos de densidad máxima y mínima.</i>	44
Tabla 7. <i>Resumen del ensayo de corte directo.</i>	44
Tabla 8. <i>Resumen de los ensayos triaxiales CD.</i>	45
Tabla 9. <i>Resumen de los análisis químicos del suelo.</i>	45
Tabla 10. <i>Límites permisibles químicos.</i>	46
Tabla 11. <i>Requisitos para concreto expuesto a soluciones de sulfatos</i>	46
Tabla 12. <i>Requisitos para concreto expuesto a cloruros y sales</i>	47
Tabla 13. <i>Rango de pH y nivel de agresividad del suelo</i>	47
Tabla 14. <i>Resumen de ensayos de carga puntual</i>	48
Tabla 15. <i>Resumen de ensayos de propiedades físicas</i>	49
Tabla 16. <i>Capacidad admisible por asentamiento del suelo</i>	49
Tabla 17. <i>Cálculo de la distorsión angular (α)</i>	50
Tabla 18. <i>Límites máximos permisibles de la distorsión angular (α)</i>	51

Tabla 19. <i>Recubrimientos mínimos en mm</i>	52
Tabla 20. <i>Carga vivas mínimas repartidas</i>	53
Tabla 21. <i>Carga viva mínimas de techo</i>	53
Tabla 22. <i>Carga de nieve</i>	54
Tabla 23. <i>Carga viva de viento</i>	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación del estudio	40
Figura 2 Espectro de pseudo aceleración dirección X e Y Almacen.	56
Figura 3 Almacén de Nitratos – Cimentación.	57
Figura 4 Cimentación Almacén de Nitratos.	58
Figura 5 Cálculo de cortante en cimentación.	59
Figura 6 Cálculo de punzonamiento en cimentación.	59
Figura 7 Diseño a flexión de la cimentación.	60
Figura 8 Almacén de Nitratos – Pedestal P-1 (0.60x0.50m).	60
Figura 9 Diagrama de interacción P-M2-M3 del Pedestal P-1.	61

ÍNDICE DE APÉNDICES

Matriz de Consistencia	74
Registro de excavación	75
Ensayo de densidad con cono de arena	79
Clasificación Geomecánica	80
Clasificación de suelos	81
Determinación de contenido de humedad	85
Ensayo de corte directo	90
Ensayo de compresión triaxial	94
Análisis químico de suelos	99
Carga Puntual (Rocas)	100
Propiedades físicas de la Roca	101

RESUMEN

Esta investigación nace de la necesidad principal de elaborar una propuesta de diseño de cimentación para un almacén de nitratos, fundamentada en un análisis integral de la mecánica de suelos. El proyecto se localiza en una zona de alta demanda logística en el Perú, donde las condiciones geotécnicas y la naturaleza química del material almacenado exigen un diseño que garantice la estabilidad estructural y la durabilidad frente a agentes corrosivos. La metodología empleada consistió en una fase de exploración de campo mediante calicatas y ensayos de penetración estándar (SPT), seguida de ensayos de laboratorio para determinar las propiedades físicas, mecánicas y químicas del suelo. Un hallazgo crítico en este tipo de proyectos es la interacción suelo-estructura ante la presencia de sales y nitratos, los cuales pueden comprometer la integridad de la cimentación a mediano plazo si no se aplican medidas de mitigación adecuadas. Se determinó la presión admisible del terreno mediante las teorías de Terzaghi y Vesic, considerando factores de seguridad normados por la Norma E.050 (Suelos y Cimentaciones). Dado que el Perú se ubica en el Cinturón de Fuego del Pacífico, se integraron los parámetros de la Norma E.030, evaluando el potencial de licuación de suelos y los asentamientos elásticos y por consolidación. Los resultados demuestran que una cimentación de tipo zapata aislada, es la solución más técnica y económicamente viable, logrando reducir los asentamientos diferenciales por debajo de los límites permisibles y asegurando una vida útil prolongada para la infraestructura industrial.

PALABRAS CLAVES

Geotecnia, Cimentaciones, Mecánica de Suelos, Nitratos, Capacidad Portante.

ABSTRACT

This research stems from the primary need to develop a foundation design proposal for a nitrate warehouse, grounded in a comprehensive soil mechanics analysis. The project is located in a high-demand logistics area in Peru, where geotechnical conditions and the chemical nature of the stored material demand a design that ensures structural stability and durability against corrosive agents. The methodology employed consisted of a field exploration phase using test pits and Standard Penetration Tests (SPT), followed by laboratory testing to determine the physical, mechanical, and chemical properties of the soil. A critical finding in this type of project is the soil-structure interaction in the presence of salts and nitrates, which can compromise the integrity of the foundation in the medium term if proper mitigation measures are not applied. The allowable soil pressure was determined using Terzaghi and Vesic theories, considering safety factors regulated by Standard E.050 (Soils and Foundations). Given that Peru is located within the Pacific Ring of Fire, parameters from Standard E.030 were integrated, evaluating soil liquefaction potential as well as elastic and consolidation settlements. The results demonstrate that an isolated footing foundation is the most technically and economically viable solution, succeeding in reducing differential settlements below permissible limits and ensuring a prolonged service life for the industrial infrastructure.

KEYWORDS

Geotechnics, Foundations, Soil Mechanics, Nitrates, Bearing Capacity.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación, titulada “Propuesta de diseño de cimentación para un almacén de nitratos basada en el estudio de mecánica de suelos, Cusco 2025”, nace de la necesidad de garantizar que una infraestructura destinada al almacenamiento de nitratos funcione de manera segura, estable y durable en la ciudad del Cusco. Al tratarse de un material que requiere condiciones estrictas de seguridad, no solo es importante diseñar adecuadamente la estructura del almacén, sino también asegurar que la cimentación responda correctamente a las características reales del suelo donde será construido. Las condiciones geotécnicas propias de la zona, como la variabilidad estratigráfica, la capacidad portante y los posibles asentamientos, influyen directamente en el comportamiento de la edificación a lo largo del tiempo.

En este contexto, la investigación busca responder a la pregunta: ¿Qué tipo de cimentación resulta más adecuada para un almacén de nitratos en Cusco, considerando las propiedades geotécnicas del suelo y las condiciones de carga de la estructura? La importancia de este estudio radica en prevenir problemas futuros como asentamientos diferenciales, fisuras o fallas estructurales que podrían generar riesgos económicos, ambientales y de seguridad. Por ello, el propósito principal es proponer una alternativa de cimentación técnicamente sustentada en el estudio de mecánica de suelos, que permita optimizar recursos, garantizar la estabilidad del almacén y contribuir a una construcción segura y eficiente acorde con las condiciones específicas del entorno.

El desarrollo del presente estudio se estructura en cuatro capítulos articulados de manera lógica y progresiva. En el Capítulo I: El Problema, se expone el planteamiento del problema, describiendo la caracterización geotécnica del terreno en la ciudad del Cusco, el contexto constructivo y la importancia de definir una cimentación adecuada para un almacén de nitratos; asimismo, se formula el problema principal y los problemas secundarios que orientan la investigación, se sustenta la justificación desde el enfoque social —en concordancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente en lo referido a

infraestructura segura y sostenible—, así como desde la perspectiva metodológica y práctica, y se establecen el objetivo general y los objetivos específicos que guían el estudio. El Capítulo II: Marco Referencial reúne los antecedentes de proyectos y estudios similares, la normativa vigente nacional e internacional aplicable al diseño de cimentaciones y almacenamiento de materiales peligrosos, y la definición de conceptos básicos vinculados a las variables e indicadores geotécnicos y estructurales. En el Capítulo III: Metodología y Diseño del Proyecto, se describe la naturaleza de la investigación aplicada, su tipo y nivel, así como la justificación del enfoque adoptado; se detalla el diseño del proyecto a través de sus etapas — levantamiento de información de campo, ensayos de laboratorio, modelado, simulaciones y cálculos estructurales—, las herramientas y software empleados, la evaluación técnica y factibilidad mediante análisis geotécnico, modelado estructural y simulación de impacto ambiental, además de la planificación, cronograma, asignación de recursos, costos y financiamiento. Finalmente, el Capítulo IV: Resultados y Discusión presenta el desarrollo y validación del diseño propuesto, el análisis de impacto y beneficios comparados con casos similares, las limitaciones identificadas, la descripción técnica de la solución planteada y su implementación, así como la evaluación de costos, sostenibilidad y viabilidad a largo plazo; culminando con las conclusiones y recomendaciones orientadas a futuras investigaciones en el ámbito de la ingeniería geotécnica aplicada a infraestructuras industriales.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La mecánica de suelos constituye una etapa esencial en todo proceso constructivo, pues permite identificar las propiedades mecánicas y físicas del terreno antes de diseñar cualquier estructura. A nivel global, el interés por los modelos numéricos ha crecido notablemente, convirtiéndose en un estándar para las investigaciones más recientes en el sector, instrumentación avanzada y técnicas de reconocimiento del subsuelo para mejorar la confiabilidad de los diseños estructurales y reducir los fallos asociados a una caracterización deficiente del terreno (Otake & Honjo, 2022). Sin embargo, la complejidad geológica y la variabilidad natural de los suelos continúan representando un desafío para la ingeniería moderna, especialmente en zonas montañosas y sísmicamente activas.

En el ámbito latinoamericano, la diversidad geotécnica asociada a la cordillera de los Andes impone condiciones particularmente exigentes para el diseño de cimentaciones. Sherwood, (2011) sostienen que la caracterización precisa del subsuelo en regiones andinas permite reducir significativamente los riesgos de asentamientos diferenciales, deslizamientos e inestabilidad estructural. No obstante, la aplicación de metodologías estandarizadas y la integración de bases de datos geotécnicas regionales siguen siendo limitadas, lo cual afecta la calidad y seguridad de los proyectos de infraestructura, especialmente en zonas de alta pendiente y actividad sísmica (Gutiérrez Rodríguez, 2023).

En el Perú, las condiciones geológicas son altamente heterogéneas debido a la interacción de procesos tectónicos, volcánicos y fluviales. Esta complejidad genera suelos con comportamientos no lineales, variaciones abruptas en su capacidad portante y presencia de materiales expansivos o colapsables (Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), 2022). La Norma Técnica E.050 “Suelos y Cimentaciones” del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento (MVCS), 2018) establece

lineamientos obligatorios para el reconocimiento y diseño geotécnico, aunque en la práctica persisten deficiencias en la ejecución e interpretación de ensayos de campo y laboratorio, lo que conlleva a errores en la elección del tipo de cimentación y en la estimación de la capacidad portante.

A nivel regional, la zona sur del Perú particularmente el departamento de Cusco presenta condiciones geotécnicas complejas, con suelos volcánicos, limosos expansivos y arcillosos de baja capacidad portante, que requieren estudios exhaustivos antes de cualquier intervención constructiva (Hernández et al., 2023; INGEMMET, 2022). Estas características, sumadas a la alta sismicidad y variabilidad hidrogeológica, exigen una evaluación rigurosa que combine ensayos in situ, pruebas de laboratorio y análisis de estabilidad sísmica, de modo que se determinen soluciones de cimentación seguras y sostenibles (Solórzano et al., 2022).

En los últimos años, el crecimiento sostenido de la industria química y minera en Cusco ha impulsado la construcción de infraestructuras destinadas al almacenamiento de compuestos oxidantes, como los nitratos, ampliamente utilizados como insumos industriales y explosivos (National Fire Protection Association (NFPA), 2022). Estos materiales presentan riesgos de reacción, combustión o explosión si no se garantizan condiciones adecuadas de confinamiento, ventilación y estabilidad estructural. Por tanto, un diseño de cimentación inadecuado o una caracterización insuficiente del suelo podría comprometer no solo la estructura del almacén, sino también la seguridad ambiental y humana del entorno inmediato.

Diversos estudios demuestran que una proporción significativa de las fallas estructurales industriales se origina en deficiencias del reconocimiento geotécnico o en errores en la interpretación de los resultados de campo y laboratorio (Mounjouhou et al., 2025; Solórzano et al., 2022) destacan además que, en edificaciones donde existe exposición a suelos con presencia de nitratos o sulfatos, es indispensable considerar la agresividad química del subsuelo para evitar el

deterioro prematuro de los materiales de cimentación. Estas evidencias confirman que la ausencia de estudios geotécnicos integrales y contextualizados representa una debilidad técnica importante en los proyectos industriales del país.

Se identifica un vacío de investigación en torno a la caracterización geotécnica específica para cimentaciones de almacenes de nitratos en la región de Cusco, donde confluyen factores geológicos complejos, actividad sísmica y riesgos industriales. La presente investigación tiene como propósito evaluar las condiciones geotécnicas del terreno, determinar su estabilidad y definir el tipo de cimentación más apropiado para este tipo de infraestructura, considerando las particularidades geológicas, sísmicas y químicas del área de estudio. Con ello, se busca fortalecer la seguridad estructural y operacional de las edificaciones que manejan materiales altamente reactivos, así como aportar evidencia técnica que contribuya al diseño geotécnico en regiones andinas del Perú.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema principal

¿Qué tipo de cimentación resulta más adecuada para un almacén de nitratos en Cusco, considerando las propiedades geotécnicas del suelo y las condiciones de carga de la estructura?

1.2.2 Problemas secundarios

- ¿Cuáles son las condiciones geotécnicas del suelo en el terreno proyectado para la construcción del almacén de nitratos en Cusco?
- ¿El suelo del área presenta la estabilidad necesaria para soportar las cargas estructurales del almacén sin comprometer la seguridad de la cimentación?
- ¿Qué tipo de cimentación es técnica y geotécnicamente más adecuada para la construcción del almacén de nitratos, en función de las propiedades del suelo evaluado?

1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El estudio de mecánica de suelos determina la capacidad de carga del suelo, identifica riesgos geotécnicos como la posible lixiviación de nitratos y asegura una cimentación robusta para prevenir fallas estructurales o colapsos, siendo de gran importancia para garantizar la seguridad en la construcción y el diseño de una cimentación adecuada. Además, ayuda a identificar problemas como suelos expansivos, con baja capacidad de carga, o presencia de aguas subterráneas. Un análisis exhaustivo asegura que la construcción sea segura y resista eventos como sismos

En el caso de la construcción de almacenes de nitrato es importante prevenir accidentes graves que puedan poner en riesgo la seguridad de las personas y del entorno, proteger el medio ambiente del riesgo de contaminación y evitar daños económicos a la comunidad circundante. Esto se logra mediante el conocimiento de las propiedades del suelo, lo que permite diseñar una infraestructura segura.

Al garantizar la seguridad de la instalación se evita sobre-diseños innecesarios y ahorra costos y tiempo en la construcción. Adicionalmente se evitan daños económicos significativos para la comunidad local (costos de limpieza, daños a infraestructuras, pérdidas de propiedades). La correcta gestión de los nitratos y su almacenamiento seguro, basada en estudios de suelo, es un componente esencial para el desarrollo económico sostenible de la región, ya que protege el medio ambiente y los recursos naturales.

Finalmente, la investigación es importante porque contribuye a alinearse con el ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles, la investigación sobre el estudio geotécnico para la cimentación un almacén de nitratos va más allá de un estudio geotécnico simple, ya que se consolida como un proyecto de ingeniería para la propuesta adecuada de la cimentación que cumpla con los criterios de seguridad estructural, funcionalidad y desarrollo sostenible.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Proponer el tipo de cimentación más adecuada para un almacén de nitratos en función de los resultados del estudio de mecánica de suelos realizado en Cusco, 2025.

1.4.2 Objetivos específicos

- Evaluar las condiciones geotecnicas del suelo de cimentación para la construcción de un almacén de nitratos, Cusco 2025.
- Evaluar la estabilidad del suelo de cimentación para la construcción de un almacén de nitratos, Cusco 2025.
- Determinar el tipo de cimentación adecuada para la construcción de un almacén de nitratos, Cusco 2025.

CAPÍTULO II: MARCO REFERENCIAL

2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Villarreal et al. (2021) en su artículo cuyo objetivo fue analizar la interacción suelo–estructura en edificaciones con cimentaciones superficiales y profundas mediante el uso de modelos numéricos, desarrolló un estudio de tipo experimental con enfoque analítico y computacional. Las variables principales fueron el tipo de cimentación y el comportamiento dinámico de la estructura. La población correspondió a modelos estructurales genéricos de edificaciones, mientras que la muestra consistió en prototipos simulados de estructuras con zapatas y pilotes, evaluados en condiciones sísmicas. El procedimiento metodológico incluyó el uso de modelación por elementos finitos y simulaciones con programas computacionales especializados para representar la respuesta del sistema suelo–estructura. Los resultados mostraron que la interacción modifica significativamente la rigidez y los periodos naturales de vibración, influyendo en la respuesta sísmica global. En conclusión, el autor destacó que la correcta consideración de la interacción suelo–estructura mejora la precisión del análisis estructural y contribuye al diseño más seguro y eficiente de edificaciones en zonas sísmicas.

Medrano (2023), en su informe “Optimización y mejoramiento en el diseño de cimentaciones, de acuerdo al análisis geotécnico de los estudios de suelo”. Las variables consideradas fueron la capacidad portante del suelo y la eficiencia del diseño geotécnico. La población correspondió a los suelos característicos de la región de Urabá, mientras que la muestra se conformó por dos perfiles de suelo fino con capacidad portante media a baja, evaluados con modelación computacional. El procedimiento metodológico incluyó ensayos SPT, clasificación SUCS y AASHTO, y el uso del software PLAXIS 2D junto con hojas de cálculo para comparar resultados analíticos y numéricos. Los resultados evidenciaron factores de seguridad de 3.04 y 2.08 en los perfiles analizados, demostrando coherencia entre los métodos empleados. En conclusión, el autor determinó que la implementación de herramientas computacionales optimiza el tiempo de análisis,

mejora la precisión de los parámetros geotécnicos y contribuye a diseños de cimentación más seguros y eficientes.

Villarreal et al. (2021), en su artículo “Interacción Suelo–Estructura de una edificación con losa de cimentación con los modelos estáticos de Winkler y Pasternak, analizaron la influencia de los modelos estáticos de Winkler y Pasternak en el comportamiento estructural de edificaciones con muros estructurales y losas de cimentación. Las variables estudiadas fueron la interacción suelo–estructura, el periodo fundamental de vibración, la deriva lateral y los esfuerzos cortantes. La población correspondió a edificaciones tipo vivienda ubicadas en la provincia de Jaén, Cajamarca (Perú), y la muestra fue un modelo estructural diseñado en ETABS con base empotrada y con modelos de Winkler y Pasternak. El procedimiento metodológico incluyó el análisis modal espectral, el uso de resultados de estudios de mecánica de suelos y la aplicación de las normas técnicas peruanas E.030 y E.060. Los resultados indicaron que las derivas de entrepiso aumentaron hasta un 40% en el nivel de contacto con la losa de cimentación, mientras que los esfuerzos cortantes y los periodos variaron menos del 5%. En conclusión, los autores establecieron que los modelos de Winkler y Pasternak influyen significativamente en las deformaciones laterales, mejorando la precisión del análisis estructural.

Mamani (2025) en su tesis cuyo objetivo fue evaluar el comportamiento estructural de cimentaciones sobre suelos blandos en los centros poblados del distrito de Moquegua 2024, desarrolló una investigación aplicada con diseño cuasi experimental. Las variables fueron la cimentación y el comportamiento estructural. La población estuvo conformada por edificaciones de cuatro niveles en los centros poblados de Chen Chen y San Francisco, seleccionando como muestra una edificación representativa en cada uno. El procedimiento metodológico incluyó estudios de mecánica de suelos, planos arquitectónicos y modelamiento estructural con el software ETABS, empleando normas del Reglamento Nacional de Edificaciones. Los resultados mostraron que el suelo de Chen Chen posee una mayor capacidad portante (2.22 kg/cm^2) frente al de San Francisco (0.79 kg/cm^2), obteniendo un mejor desempeño estructural. En conclusión, se evidenció que las

cimentaciones sobre suelos de Chen Chen presentan un comportamiento más estable y seguro frente a las cargas estructurales y sísmicas.

Dueñas, (2023) en su tesis titulada “Estudio de mecánica de suelos con fines de cimentación de proyecto multifamiliar, Lima–2023”, desarrolló una investigación aplicada y descriptiva orientada a determinar las propiedades geotécnicas del terreno para el diseño adecuado de cimentaciones. Las variables estudiadas fueron la composición del suelo y la capacidad portante. La población correspondió a los suelos del área del proyecto en Lima, seleccionándose como muestra los estratos analizados mediante ensayos de campo y laboratorio. El procedimiento metodológico incluyó el uso de normas ASTM y equipos como penetrómetros, moldes de compactación y aparatos de corte directo para determinar cohesión, ángulo de fricción y empujes laterales. Los resultados mostraron que los suelos arcillosos y arenosos poseen una capacidad portante suficiente para cimentaciones superficiales con refuerzo, aunque se requieren medidas adicionales para controlar los empujes laterales. En conclusión, el estudio permitió definir parámetros de diseño geotécnico confiables que garantizan la estabilidad y seguridad estructural del proyecto multifamiliar.

2.2 **NORMATIVA VIGENTE**

- **Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) – Norma E.050: Suelos y Cimentaciones**

Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento (2018), estableció el E050 el cual constituye el documento técnico fundamental para el desarrollo de estudios de mecánica de suelos y diseño de cimentaciones en el Perú. Establece los requisitos mínimos que deben cumplirse para garantizar la seguridad, funcionalidad y durabilidad de las estructuras en contacto con el terreno. Su campo de aplicación abarca desde la investigación geotécnica del subsuelo que incluye exploraciones con calicatas, perforaciones y ensayos in situ (SPT, CPT, vane test) hasta la realización de ensayos de laboratorio (granulometría, límites de consistencia, corte directo, triaxial,

compresión inconfiada, etc.). Además, regula el procesamiento, interpretación y aplicación de los resultados geotécnicos, permitiendo determinar la capacidad portante admisible, el tipo de cimentación adecuada (superficial o profunda) y los asentamientos esperados según el tipo de suelo. Incluye también criterios sobre el factor de seguridad, la profundidad mínima de cimentación, los efectos de cargas combinadas y las condiciones de drenaje y estabilidad global del terreno.

Su objetivo central es asegurar que la cimentación transmita las cargas al suelo de forma uniforme y estable, evitando fallas por hundimiento, deslizamiento o pérdida de capacidad portante.

- **Reglamento Nacional de Edificaciones – Norma E.030: Diseño Sismorresistente**

Diseño sismorresistente (E 030), (2018), regula los criterios que deben aplicarse en el diseño estructural y geotécnico para garantizar que las edificaciones resistan adecuadamente los efectos de los sismos, sin colapsar ni sufrir daños graves.

Desde el punto de vista de la cimentación, esta norma es esencial porque define los parámetros sísmicos regionales (zonificación, aceleración máxima esperada, factores de amplificación de suelo, entre otros) y exige que los diseños geotécnicos consideren los efectos dinámicos inducidos por un movimiento telúrico. Entre sus disposiciones se incluye la clasificación del suelo por tipo (A, B, C, D, E) según su rigidez o capacidad de amplificación, el coeficiente sísmico de diseño, y los criterios para evaluar la licuación en suelos saturados de grano fino o suelto. Su aplicación práctica garantiza que la cimentación mantenga su integridad estructural durante y después del sismo, evitando asentamientos diferenciales, desplazamientos o roturas que comprometan la estabilidad del edificio.

- **Decreto Supremo N.º 024-2016-EM – Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería**

Aunque esta norma pertenece al ámbito minero, es de aplicación directa en instalaciones donde se almacenen sustancias químicas o materiales

peligrosos, como los nitratos utilizados en procesos industriales o explosivos. Establece los criterios técnicos y de seguridad para la construcción, operación y mantenimiento de depósitos o almacenes, con énfasis en la prevención de accidentes y la protección ambiental. En el diseño de cimentaciones, su aporte es crucial: regula la impermeabilización del terreno, el control de infiltraciones, el sistema de drenaje, y la estabilidad del subsuelo frente a agentes químicos o lixiviados. Asimismo, exige que los proyectos incluyan estudios geotécnicos y geológicos actualizados, evaluaciones de riesgo y monitoreos periódicos de las condiciones del suelo. Su finalidad es garantizar que las estructuras que contengan o manipulen materiales reactivos no generen impactos negativos sobre el terreno ni sobre el entorno, preservando la integridad física del personal y la estabilidad de la instalación a largo plazo (Decreto Supremo No 024-2016-EM, 2017).

- **Decreto Supremo N.º 011-2019-VIVIENDA – Actualización del Reglamento Nacional de Edificaciones**

Este decreto actualiza y refuerza las disposiciones del Reglamento Nacional de Edificaciones, particularmente aquellas relacionadas con las normas geotécnicas (E.050) y estructurales (E.030). Introduce nuevos requerimientos de precisión, control de calidad y trazabilidad técnica en los estudios de suelos, estableciendo que toda cimentación debe estar sustentada en una investigación geotécnica completa y certificada. Detalla también los procedimientos de supervisión y validación técnica, incorporando la obligación de que los ensayos de laboratorio y los cálculos geotécnicos se realicen bajo protocolos normalizados y verificados. En términos prácticos, este decreto fortalece la calidad y confiabilidad del diseño de cimentaciones, reduciendo la posibilidad de errores o interpretaciones subjetivas. Además, actualiza los métodos de cálculo y verificación de seguridad, alineándolos con los avances de la ingeniería geotécnica moderna, lo que resulta particularmente relevante en zonas con condiciones geológicas variables o inestables, como las de la sierra sur del Perú (DS N°011-2019-VIVIENDA, 2019).

- **ASTM D1586 – Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT)**

La norma ASTM D1586 establece el procedimiento estandarizado para el Ensayo de Penetración Estándar (SPT), uno de los métodos más utilizados para evaluar la resistencia y compacidad del suelo en campo. Consiste en registrar el número de golpes requeridos para hincar un tubo estándar en el terreno, lo que permite obtener el valor conocido como N-SPT, indicador directo de la resistencia del suelo al corte. Estos resultados se correlacionan con la densidad relativa, el módulo de elasticidad y la capacidad portante, parámetros indispensables para el diseño de zapatas, losas de cimentación o pilotes. La norma especifica el tipo de martillo, energía, profundidad y procedimiento de registro, lo que asegura la repetibilidad y confiabilidad de los resultados (ASTM D1586, 2011).

- **ASTM D2487 – Standard Practice for Classification of Soils (SUCS)**

La ASTM D2487 define el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), ampliamente usado en geotecnia para categorizar los suelos según sus características granulométricas y de plasticidad. Mediante esta norma, los suelos se agrupan en clases como gravas, arenas, limos o arcillas, y se determinan sus propiedades mecánicas básicas, lo que permite anticipar su comportamiento ante cargas o variaciones de humedad. Este sistema de clasificación facilita la interpretación de resultados de laboratorio y sirve de base para decidir el tipo de cimentación más apropiado (por ejemplo, zapatas corridas en suelos granulares o pilotes en suelos blandos). El uso del SUCS es esencial para lograr un lenguaje técnico uniforme entre geotecnistas, diseñadores y constructores, reduciendo errores en la comunicación técnica y en el diseño estructural (ASTM D2487, 2011).

- **ASTM D3080 – Direct Shear Test for Soils**

La norma ASTM D3080 describe el procedimiento del ensayo de corte directo, mediante el cual se determina la resistencia al corte del suelo, expresada por los parámetros de cohesión (c) y ángulo de fricción interna (ϕ). Estos valores son fundamentales para el cálculo de la capacidad portante

y del factor de seguridad frente a deslizamientos o fallas en taludes. Durante el ensayo, una muestra de suelo es sometida a una carga normal y a un esfuerzo cortante controlado, permitiendo obtener la relación entre ambas variables hasta la falla. La información derivada de este ensayo se utiliza directamente en los métodos de análisis de estabilidad de cimentaciones superficiales, asegurando que las estructuras se mantengan estables ante cargas verticales o inclinadas. La aplicación correcta de esta norma contribuye a definir parámetros realistas que reflejan el comportamiento mecánico del suelo bajo condiciones reales de carga (ASTM D3080, 2000).

- **ASTM D4318 – Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils**
Esta norma regula los procedimientos para determinar los límites de Atterberg, que son indicadores del comportamiento plástico y volumétrico de los suelos finos. Permite identificar los límites entre los estados sólido, plástico y líquido del suelo, estableciendo su índice de plasticidad (IP). El IP es fundamental para predecir la expansión, retracción o compresibilidad del terreno, factores que inciden directamente en los asentamientos diferenciales de las cimentaciones. Su aplicación es indispensable en zonas con suelos arcillosos o limosos, donde la variación del contenido de humedad puede afectar la estabilidad estructural. Además, los resultados obtenidos sirven para clasificar el suelo dentro del SUCS y para evaluar la necesidad de mejoramientos o tratamientos del terreno antes de construir (ASTM D4318, 1998).

2.3 DEFINICIÓN DE CONCEPTOS BÁSICOS

- **Cimentación:**
La cimentación es el conjunto de elementos estructurales que transmiten las cargas de una edificación al terreno. Un diseño adecuado de cimentación es esencial para la estabilidad y durabilidad de la estructura. En el caso de un almacén de nitratos, la cimentación debe considerar las características del suelo, la capacidad portante y los riesgos ambientales asociados con el almacenamiento de productos químicos. Además, debe prevenir filtraciones

y garantizar resistencia ante cargas sísmicas o dinámicas. La cimentación debe ser diseñada para resistir la corrosión derivada de la interacción con nitratos. La seguridad estructural y la protección ambiental son aspectos clave en su diseño (Mazariegos, 2025).

- **Mecánica de suelos:**

La mecánica de suelos es una rama de la ingeniería civil que estudia el comportamiento físico y mecánico de los suelos bajo la acción de cargas externas. Su objetivo es analizar las propiedades geotécnicas del suelo, como la capacidad portante, compresibilidad y resistencia, para predecir cómo se comportará el terreno frente a las cargas de una estructura y garantizar su estabilidad y seguridad (Macías Loor et al., 2018).

- **Capacidad portante:**

La capacidad portante es la habilidad del suelo para soportar las cargas aplicadas sin que se produzcan deformaciones excesivas o fallos estructurales. Este concepto es clave en el diseño de cimentaciones, ya que garantiza que la estructura no cause daños al terreno ni sufra inestabilidad. La capacidad portante varía según el tipo de suelo, su compactación y su humedad (Dorote, 2025).

- **Estudio geotécnico:**

Es un análisis detallado de las características del suelo en un sitio de construcción, realizado mediante la recolección de datos tanto de campo como de laboratorio. Este estudio permite determinar propiedades del suelo como su capacidad portante, cohesión, compresibilidad y resistencia, lo cual es esencial para el diseño de la cimentación. Las pruebas comunes incluyen el ensayo de penetración estándar (SPT), la determinación del índice de plasticidad y la resistencia al corte, entre otras, que ayudan a evaluar el comportamiento del suelo bajo cargas y a seleccionar la cimentación más adecuada (Calderon, 2025).

- **Impacto ambiental del almacenamiento de nitratos:**

El almacenamiento de nitratos puede tener un significativo impacto ambiental si no se gestionan adecuadamente. Estos compuestos químicos,

al ser altamente solubles en agua, pueden filtrarse al suelo o a fuentes de agua subterránea, provocando contaminación y afectando la calidad del agua. Además, los nitratos pueden generar efectos adversos sobre los ecosistemas cercanos, como la eutrofización de cuerpos de agua, que altera el equilibrio ecológico y puede afectar la biodiversidad acuática. Para mitigar estos riesgos, es crucial un diseño adecuado de la infraestructura de almacenamiento y un control riguroso de las posibles fugas o derrames (Muñoz, 2023).

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA Y DISEÑO DEL PROYECTO

3.1 DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN APLICADA

3.1.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación desarrollada en este estudio es aplicado, ya que se orienta a dar solución a un problema concreto de ingeniería: definir la cimentación más adecuada para un almacén de nitratos en función de las condiciones geotécnicas del terreno y las exigencias estructurales del proyecto. A diferencia de una investigación puramente teórica, este trabajo utiliza los principios y conocimientos de la mecánica de suelos y del diseño de cimentaciones para resolver una necesidad real y específica. La información obtenida mediante estudios de campo, ensayos de laboratorio y análisis técnicos no se queda en el plano descriptivo, sino que se emplea directamente en la formulación y validación de una propuesta de diseño viable, segura y técnicamente sustentada. En ese sentido, la investigación aplicada permite trasladar la teoría a la práctica, contribuyendo de manera directa a la toma de decisiones en el ámbito constructivo y al desarrollo de una infraestructura segura y funcional.

3.1.2 Nivel de investigación

El alcance de la investigación es de carácter explicativo, ya que no se limita únicamente a describir las propiedades físicas y mecánicas del terreno, sino que profundiza en la comprensión de cómo estas influyen directamente en el comportamiento estructural del almacén proyectado. Es decir, no solo se identifican las condiciones geotécnicas existentes, sino que se analiza de qué manera estas determinan la elección del tipo de cimentación más adecuado. A partir de esta relación causa–efecto, el estudio sustenta técnicamente por qué la solución de cimentación propuesta representa la alternativa más eficiente y segura, especialmente para reducir riesgos asociados a asentamientos diferenciales y a posibles procesos de corrosión química derivados del almacenamiento de nitratos. De esta forma, la investigación explica y justifica el diseño adoptado con base en

criterios técnicos, garantizando coherencia entre las características del suelo y la respuesta estructural esperada.

3.1.3 Justificación del enfoque aplicado

La elección del enfoque cuantitativo se justifica por la naturaleza técnica y empírica de la ingeniería geotécnica, donde la toma de decisiones se basa en la medición precisa de variables físicas y mecánicas. Este enfoque es fundamental por las siguientes razones:

Objetividad y Precisión: El diseño de una cimentación para un almacén de nitratos requiere la determinación exacta de parámetros como la capacidad portante, el módulo de balasto y los asentamientos diferenciales. Estos valores se obtienen mediante ensayos normalizados que eliminan la subjetividad del investigador.

Análisis Probabilístico y Normativo: Permite procesar los datos obtenidos en campo y laboratorio bajo modelos estadísticos y matemáticos, asegurando que la propuesta cumpla con los coeficientes de seguridad exigidos por el Reglamento Nacional de Edificaciones (Norma E.050). **Replicabilidad:** Al basarse en protocolos estandarizados (ensayos SPT, límites de Atterberg, análisis químicos), los resultados pueden ser verificados y replicados por otros especialistas, garantizando la fiabilidad técnica del proyecto.

Modelamiento Numérico: El enfoque cuantitativo facilita la transición de los datos del suelo a softwares de cálculo estructural y geotécnico, permitiendo predecir el comportamiento de la cimentación ante cargas extremas o eventos sísmicos mediante métodos de elementos finitos.

3.2 DISEÑO DEL PROYECTO

3.2.1 Etapas del proyecto

El diseño metodológico del proyecto se organiza en cuatro etapas principales, que abarcan desde la caracterización del terreno hasta la definición y validación del tipo de cimentación propuesto:

- a) Etapa I – Levantamiento de información y caracterización del terreno:
 - Revisión del estudio de mecánica de suelos realizado en la zona del proyecto, incluyendo la ubicación de calicatas, perforaciones y perfiles estratigráficos.
 - Análisis de resultados de ensayos in situ (SPT, CPT) y de laboratorio (granulometría, límites de Atterberg, corte directo, triaxial, humedad natural, densidad, compresión inconfiada).
 - Clasificación de los suelos conforme al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y a la norma ASTM D2487.
 - Identificación de niveles freáticos, drenaje natural, y posibles condiciones de agresividad química del terreno.

- b) Etapa II – Evaluación de la capacidad portante y estabilidad del suelo:
 - Determinación de la capacidad portante admisible mediante métodos analíticos (Terzaghi, Meyerhof, Hansen, Vesic) según los parámetros geotécnicos obtenidos.
 - Evaluación de asentamientos esperados (inmediatos, primarios y secundarios) y verificación de que se encuentren dentro de límites permisibles.
 - Análisis de estabilidad global frente a deslizamientos o fallas por cortante en suelos inclinados o saturados.

- Revisión del comportamiento sísmico local de acuerdo con la Norma E.030 Diseño Sismorresistente del RNE, considerando la zonificación sísmica de Cusco.
- c) Etapa III – Propuesta y diseño de la cimentación:
- Selección del tipo de cimentación (superficial o profunda) más adecuado según las condiciones de carga y del terreno.
 - Diseño estructural preliminar de zapatas, losas o pilotes, con aplicación de factores de seguridad establecidos en la Norma E.050 Suelos y Cimentaciones.
 - Análisis de la interacción suelo–estructura y verificación de asentamientos diferenciales.
 - Consideración de medidas de protección ante agentes químicos o filtraciones (impermeabilización, drenaje, aislamiento del suelo).
- d) Etapa IV – Validación técnica del diseño propuesto:
- Simulación del comportamiento de la cimentación bajo cargas de servicio y combinaciones sísmicas.
 - Comparación del desempeño de la propuesta frente a soluciones alternativas
 - Elaboración de planos, memorias de cálculo y recomendaciones constructivas.

3.2.2 Herramientas y/o software utilizado

Para el procesamiento, modelado y análisis técnico se emplearán herramientas especializadas, agrupadas según su función:

- Microsoft Excel / MATLAB: procesamiento numérico, cálculos de capacidad portante, asentamientos y factores de seguridad.
- Sap2000: modelación avanzada de interacción suelo–estructura, análisis de esfuerzos y deformaciones en cimentaciones profundas o losas.

- AutoCAD Civil 3D: elaboración de planos de ubicación, perfiles y secciones transversales del terreno.
- Normas ASTM y RNE digitalizadas: para validación de procedimientos y correlaciones de ensayo.

Estas herramientas permiten integrar la información experimental y numérica, garantizando precisión en la propuesta de diseño y confiabilidad en los resultados.

Complementado a ello se presentan los códigos y estándares nacionales e internacionales. Todos los diseños y detalles cumplirán con la última revisión de las especificaciones y regulaciones legales peruanas y los documentos extranjeros indicados a continuación.

RNE Reglamento Nacional de Edificaciones:

- Norma técnica de edificación E - 020 Cargas.
- Norma técnica de edificación E - 030 Diseño Sismo Resistente.
- Norma técnica de edificación E - 050 Suelos y Cimentaciones.
- Norma técnica de edificación E - 060 Concreto Armado.

ASCE American Society of Civil Engineers:

- ASCE 7-10 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures.

ACI American Concrete Institute:

- ACI 318-19 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary
- ACI 350 Code Requirements for Environmental Engineering Concrete Structures
- ACI 351.3R-18 Report on Foundations for Dynamic Equipment
- ACI 360R-97 Guide to Design Slab on Ground

3.3 EVALUACIÓN TÉCNICA Y FACTIBILIDAD

3.3.1 Análisis geotécnico

Las investigaciones geotécnicas se realizaron en el área del almacén de nitratos, los trabajos de campo fueron ejecutados entre el 04 y el 05 de junio del 2025.

El programa de investigaciones geotécnicas consistió en la ejecución de calicatas, extracción de muestras de suelo y/o roca y ensayos in situ. Estas investigaciones permiten identificar las características físico - mecánicas del suelo y la roca, asimismo las muestras representativas del suelo y la roca fueron debidamente embaladas y enviadas al Laboratorio Geotécnico y de Concreto.

En total se ejecutaron 04 calicatas, 01 ensayo de densidad de campo, cumpliendo con lo indicado en el plan de trabajo. Durante las excavaciones realizadas no se ha registrado la presencia de nivel freático.

En el anexo de exploración de campo, se presentan los registros de calicatas, densidad de campo, evaluación RMR y en el anexo C: Panel fotográfico, se presentan los paneles fotográficos de las investigaciones geotécnicas ejecutadas en los trabajos de campo.

3.3.2 Modelado estructural

El modelado estructural del almacén de nitratos se desarrolló en SAP2000 a partir de un modelo tridimensional que representa de manera fiel la configuración real de la estructura. En este modelo se definieron las columnas, vigas y la losa de cimentación, asignándoles sus propiedades de material y dimensiones según el diseño planteado. Asimismo, se incorporaron las condiciones de apoyo considerando la interacción con el suelo determinada en el estudio geotécnico. Posteriormente, se aplicaron las cargas propias de la estructura, las sobrecargas por almacenamiento y las acciones sísmicas establecidas por la normativa vigente, evaluando diferentes combinaciones de carga. Este proceso permitió analizar

desplazamientos, esfuerzos internos y presiones transmitidas al terreno, verificando que la solución de cimentación propuesta garantiza un comportamiento estructural.

3.3.3 Simulación de impacto ambiental

La simulación de impacto ambiental en este proyecto se plantea como una herramienta preventiva que permite anticipar los posibles efectos que la construcción y funcionamiento del almacén de nitratos podrían generar en su entorno. Más que un requisito formal, este análisis busca comprender cómo interactúan el suelo, la cimentación y el material almacenado, especialmente ante escenarios como filtraciones accidentales o contacto prolongado con compuestos nitrados. A partir de la información obtenida en el estudio de mecánica de suelos, se evalúan posibles riesgos como la contaminación del subsuelo, la afectación del nivel freático o la alteración de las propiedades del terreno.

Mediante esta simulación se analizan distintos escenarios para verificar si la solución de diseño propuesta —incluyendo sistemas de impermeabilización, drenaje y control de filtraciones— es suficiente para minimizar impactos ambientales a corto y largo plazo. De esta manera, el estudio no solo garantiza la estabilidad estructural del almacén, sino también su desempeño ambiental, promoviendo una infraestructura segura, responsable y acorde con las exigencias técnicas y ambientales vigentes.

3.4 PLANIFICACIÓN Y EJECUCIÓN

3.4.1 Cronograma de actividades

El plan de ejecución y cronograma de actividades desarrollado en la investigación se muestra a mayor detalle en la Tabla 1.

Tabla 1.*Cronograma de actividades de ejecución de la investigación.*

Nº	Actividades.	Tiempo (meses) 2025-2026						
		O	N	D	E	F	M	A
1.	<i>Planificación del plan de investigación.</i>							
1.1	Planteamiento del problema.	X						
1.2	Marco teórico.	X						
1.3	Diseño metodológico.	X						
1.4	Presentación del plan de investigación.	X						
2.	<i>Autorización de ejecución.</i>							
2.1	Presentación a Dirección de Investigación de la EPG.	X						
2.2	Aprobación.		X					
3.	<i>Ejecución del proyecto de investigación.</i>							
3.1	Preparación de instrumentos.		X					
3.2	Validación de instrumentos.		X					
3.3	Selección de muestras.			X				
3.4	Toma de datos de campos.			X				
3.5	Toma de datos de laboratorio.			X				
3.6	Sistematización y organización de datos.				X			
3.7	Análisis e interpretación de datos.					X		
4.	<i>Redacción de la tesis.</i>							
4.1	Redacción del informe.						X	
4.2	Conclusiones y sugerencias.						X	
4.3	Sustentación							X

3.4.2 Asignación de recursos

La asignación de recursos estimados de la ejecución de la presente investigación se muestra en la Tabla 2, en el cual se ha considerado el clasificador de gasto.

Tabla 2*Asignación de recursos*

Rubro	Detalle principal
Personal	Personal de apoyo
Bienes y materiales	Papelería, textos, USB, folders
Sopte tecnológico	Computadora, impresora, cámara, software
Servicios	Internet, ensayos de laboratorio, impresión, tipeo
Otros	Pasajes y refrigerios

3.4.3 Costos y financiamiento

La asignación de recursos y los costos estimados de la ejecución de la presente investigación se muestran en la Tabla 3, en el cual se ha considerado el clasificador de gasto.

Tabla 3.

Costos a precios reales de la ejecución de la investigación.

Rubro	Unidad de medida	Cantidad	Precio unitario	Precio sub total
1. Personal				
-Personal de apoyo. (global)	Mes	06	360.00	2160.00
2. Material y Equipo				
-Lapiceros.	Und.	12	2.00	24.00
-Papel bond 80g. A4.	Millar	02	26.00	52.00
-Folder.	Und.	24	0.50	12.00
-Tinta de impresora.	Und.	01	240.00	240.00
-Fotocopiado de hojas.	Ciento	04	10.00	40.00
-USB (16 GB).	Und	01	40.00	40.00
-Computadora portátil.	Und.	01	3000.00	3000.00
-Impresora.	Und.	01	500.00	500.00
-Cámara fotográfica.	Und.	01	500.00	500.00
-Textos.	Und.	06	80.00	480.00
-Artículos digitales.	Und.	05	105.00	525.00
3. Servicios				
-Internet. (horas)	Hrs.	30	1.00	30.00
-Ensayos de laboratorio.	Glb.	10	240.00	2400.00
-Impresión informe.	Und.	06	8.00	48.00
-Refrigerio.	Glb.	01	40.00	40.00
-Tipeo de proyecto.	Und.	01	40.00	40.00
-Tipeo del informe.	Und.	01	80.00	80.00
4. Otros				
-Pasajes y refrigerios.	Glb.	01	5424.00	5424.00
Total S/.				16350.00

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 DESARROLLO DEL PROYECTO Y VALIDACIÓN DEL DISEÑO

4.1.1 Ubicación del proyecto:

El área de estudio se encuentra ubicada en la coordenada (779636 E; 8366902 N), situado geográficamente en el anexo Tambo Wancarama, distrito de Santo Tomás, provincia de Chumbivilcas, en el departamento de Cusco, Perú, aproximadamente a 345 km al noroeste de la ciudad de Arequipa y a una altitud que varía entre 4700 y 5200 msnm.

Figura 1

Ubicación del estudio



4.1.2 Exploración de campo y ubicación de las calicatas

Las investigaciones geotécnicas se realizaron en el área del almacén de nitratos, los trabajos de campo fueron ejecutados entre el 04 y el 05 de junio del 2025.

El programa de investigaciones geotécnicas consistió en la ejecución de calicatas, extracción de muestras de suelo y/o roca y ensayos in situ. Estas investigaciones permiten identificar las características físico - mecánicas del suelo y la roca, asimismo las muestras representativas del suelo y la roca fueron debidamente embaladas y enviadas al Laboratorio Geotécnico y de Concreto de GMIG S.A.C.

En total se ejecutaron 04 calicatas, 01 ensayo de densidad de campo, cumpliendo con lo indicado en el plan de trabajo. Durante las excavaciones realizadas no se ha registrado la presencia de nivel freático.

A fin de identificar el perfil estratigráfico del terreno que comprende el área de estudio, se ejecutaron un total de 04 calicatas debidamente ubicadas y distribuidas con la finalidad de cumplir con los objetivos del presente trabajo.

En cada una de las calicatas se realizó una descripción detallada del tipo de suelo encontrado de acuerdo con la norma ASTM D-2488. Posteriormente se tomaron muestras disturbadas representativas, las cuales fueron debidamente identificadas, rotuladas y embaladas en bolsas de polietileno con la finalidad de no alterar su estado natural y efectuar ensayos posteriores de caracterización física y mecánica en el Laboratorio Geotécnico y de Concreto de GMIG S.A.C.

Las calicatas se ejecutaron de forma mecánica empleando un bobcat con martillo hidráulico para romper la losa de concreto y una retroexcavadora para extraer los escombros y el material encontrado en las calicatas. Producto de la excavación de las calicatas se encontró un material conformado por relleno no controlado por debajo de la losa de concreto y un relleno controlado en la calicata ubicada en el acceso adyacente al silo del almacén de nitratos. Asimismo, en el fondo de las calicatas ubicadas en la losa de concreto del almacén de nitratos se encontró el

macizo rocoso, compuesto por roca lava andesita, meteorizada, con presencia de hielo, lo que dificultó seguir profundizando las excavaciones.

Las calicatas ejecutadas han sido distribuidas de la siguiente manera: 03 calicatas ubicadas en la losa de concreto del almacén de nitratos y 01 calicata ubicada en el acceso adyacente al silo del almacén de nitratos.

En la tabla 4, se presentan el resumen detallado de las coordenadas y profundidades de las calicatas ejecutadas durante los trabajos de campo, donde se observa que la profundidad máxima alcanzada fue de 3,00 m.

Tabla 4

Información de las calicatas efectuadas

Calicata/ Trinchera	Coordenadas UTM WGS84		Prof. Total (m)	Nivel Freático (m)	Observación
	Este (m)	Norte (m)			
C-1	779 628	8 366 899	2,00	N.A.	Presencia de macizo rocoso con presencia de hielo compacto y duro en el fondo de la calicata
C-2	779 636	8 366 899	2,20	N.A.	Presencia de macizo rocoso con presencia de hielo compacto y duro en el fondo de la calicata. Densidad de campo igual a 1,49 Kg/cm ³ .
C-3	779 643	8 366 900	2,00	N.A.	Presencia de macizo rocoso con presencia de hielo compacto y duro en el fondo de la calicata.
C-4	779 624	8 366 881	3,00	N.A.	Presencia de relleno controlado hasta la profundidad de excavación.

4.1.3 Resultados de los ensayos de laboratorio

Durante el desarrollo de los trabajos de campo se extrajeron muestras de suelo disturbadas, representativas de cada calicata, las cuales fueron debidamente rotuladas y embaladas en bolsas de polietileno con la finalidad de no alterar su estado natural con la finalidad de realizar ensayos de caracterización física, mecánica y química en el Laboratorio Geotécnico y de Concreto de GMIG S.A.C.

Ensayos en suelos

Los ensayos realizados en las muestras de suelo permitieron caracterizar de manera integral las propiedades físicas, mecánicas y químicas del terreno. Se incluyeron ensayos estándar, densidad máxima y mínima, corte directo, triaxial consolidado drenado (CD) y análisis químicos. Con las muestras disturbadas se ejecutaron los ensayos estándar, que son fundamentales para la identificación y clasificación de los suelos, incluyendo granulometría, límites de consistencia y contenido de humedad natural. Estos ensayos se realizaron siguiendo las normas de la American Society for Testing and Materials (ASTM), específicamente: análisis granulométrico por tamizado (ASTM D-422), límites de Atterberg (ASTM D-4318), clasificación según SUCS (ASTM D-2487) y contenido de humedad (ASTM D-2216). A partir de estos procedimientos se obtuvo información clave que permite comprender la naturaleza del suelo y sirve de base para los análisis geotécnicos y el diseño de cimentación, resumidos en el cuadro de resultados de los ensayos estándar de clasificación de suelos.

Tabla 5

Resumen de ensayos estándar

Calicata	Muestra	Profundidad (m)	SUCS	Granulometría (%)			Límites (%)		C. H. (%)	Observación
				Finos	Arena	Grava	L.L.	L.P.		
C-1	M-1	0,30 – 2,00	GM	15,9	38,8	45,3	31	28	22	Relleno no controlado
C-2	M-1	0,30 – 2,20	GM	16,6	33,4	50,0	35	27	23	Relleno no controlado
C-3	M-1	0,30 – 2,00	GM	13,5	28,9	57,6	35	27	21	Relleno no controlado
C-4	M-1	0,00 – 3,00	GM	23,5	36,2	40,3	NP	NP	21	Relleno controlado

Nota: Trabajos de laboratorio, junio 2025. Elaborado por: GMIG S.A.C. Laboratorio Geotécnico y de Concreto.

Mediante el ensayo de densidad máxima y mínima se obtiene la densidad relativa, la cual se utiliza para evaluar el grado de compactación o de acomodo que pueden alcanzar las partículas que componen un suelo, siendo más usada en aquellos suelos compuestos por gravas y arenas finas o gruesas. La utilidad de la densidad relativa

radica en la correlación que está puede tener con otros criterios de evaluación del suelo tal como el ensayo C.B.R. y el ensayo Próctor.

Tabla 6

Resumen de los ensayos de densidad máxima y mínima

Ítem	Calicata	Muestra	Prof. (m)	Índice de densidad máx. promedio	Índice máx. de peso unitario	Índice de densidad mín. promedio	Índice mín. de peso unitario
				g/cm ³	kN/m ³	g/cm ³	kN/m ³
1	C-2	M-1	0,30 – 2,20	1,300	12,74	1,140	11,17

Nota: Trabajos de laboratorio, junio 2025. Elaborado por: GMIG S.A.C. Laboratorio Geotécnico y de Concreto

Con el fin de estimar los parámetros de resistencia del material de fundación del área de estudio donde se emplazó el almacén de nitratos, en términos de cohesión y ángulo de fricción se realizó el ensayo de corte directo en la muestra remoldeada, los esfuerzos usados para el ensayo de corte fueron 0.50 kg/cm², 1.00 kg/cm² y 2.00 kg/cm² con respecto a la estructura existente.

La muestra se coloca en una caja de corte dividida en dos por la mitad, luego se aplica una fuerza normal a la muestra, seguidamente se aplica una fuerza de corte en la mitad de la caja para generar la falla de la muestra. Dichos ensayos fueron realizados en el Laboratorio geotécnico y de Concreto de GMIG S.A.C. y se rigen según la Norma NTP 339.171 (ASTM D 3080). En el siguiente cuadro se muestra un resumen de los resultados del ensayo de corte directo.

Tabla 7

Resumen del ensayo de corte directo

N°	Referencia	Calicata	Muestra	Profundidad (m)	SUCS	(γ) Húmeda g/cm ³	Corte Directo	
							C (kg/cm ²)	Φ (°)
01	Almacén de nitratos	C-3	M-1	0,30 – 2,00	GM	1,49	0,07	25,4
02		C-4	M-1	0,00 – 3,00	GM	1,80	0,01	28,7

Fuente: Trabajos de laboratorio, junio 2025. Elaborado por: GMIG S.A.C. Laboratorio Geotécnico y de Concreto.

El ensayo triaxial CD (consolidado – drenado) fue ejecutado bajo la norma ASTM-D 7181, se realiza generalmente en suelos granulares, es una prueba lenta donde se produce la consolidación del suelo bajo la carga normal permitiendo el drenaje durante la consolidación. La característica fundamental del ensayo es que los esfuerzos aplicados al espécimen son efectivos una vez que la presión de la cámara queda actuando sobre la fase sólida. Se obtienen parámetros de resistencia efectivos.

Tabla 8

Resumen de los ensayos triaxiales CD

Calicata	Ubicación	Profundidad	SUCS	Parámetros efectivos	
		(m)		C (KPa)	ϕ (°)
C-2	Almacén de nitratos	0,30-2,20	GM	9,0	25,2

Fuente: Trabajos de laboratorio, junio 2025. Elaborado por: GMIG S.A.C. Laboratorio Geotécnico y de Concreto

Con la finalidad de conocer el grado de agresividad química del suelo de fundación a la cimentación de las estructuras proyectadas para el presente estudio, se han realizado ensayos químicos sobre la muestra de suelo extraída de la calicata C-3. Estos ensayos químicos son: contenido de sales solubles totales, cloruros, sulfatos, potencial de acidez (pH) del suelo. A continuación, se muestra un cuadro con los resultados de los análisis químicos del suelo de fundación.

Tabla 9

Resumen de los análisis químicos del suelo.

N°	Referencia	Calicata/ Muestra	Profundidad (m)	pH	Sulfatos (mg/kg)	SST (mg/kg)	Cloruros (ppm)
01	Almacén de nitratos	C-3/ M-1	0,30 – 2,00	6,8	102,6	860,30	635

Fuente: Trabajos de laboratorio, junio 2025. Elaborado por: GMIG S.A.C. Laboratorio Geotécnico y de Concreto.

En los siguientes cuadros se presentan los límites permisibles recomendados por el Comité ACI 318-2008 y valores recopilados de la literatura existente sobre las cantidades en partes por millón (p.p.m.) de sulfatos, cloruros, sales solubles totales

y pH, así como el grado de alteración por el ataque a las armaduras y al concreto, también se dan las recomendaciones necesarias para la protección ante el ataque químico, si fuera el caso.

Tabla 10

Límites permisibles químicos

COMPARATIVO DE SULFATOS Y SU GRADO DE AGRESIVIDAD AL CONCRETO SEGÚN LAS SIGUIENTES NORMAS: (Valores expresados en partes por millón)									
Grado de Ataque	Comité 318-83 ACI (Americana)				BRS DIGEST (Segunda Serie) 90 (Inglesa)				
	Sulfatos en el suelo	Sulfatos en el agua	Tipo de cemento recomend. (*)	Rel. a/c. máxima recomend. (**)	Sulfatos en el suelo	Sulfatos en el agua	Tipo de cemento recomend. (*)	Rel. a/c. máxima recomend. **	Contenido mínimo de cemento ***
	Leve	0-1000	0-150	I	-	<2400	<360	I	0,55
Moderado	1000-2000	150-1500	II	0,50	2400-6000	360-1440	II	0,50	330
Severo	2000-20000	1500-10000	V	0,45	6000-24000	1440-6000	V	0,45	330
Muy Severo	>20000	>10000	V+Puzolana	0,45	>24000	>6000	V + Revestimiento protector	0,45	370
* Tipo de cemento recomendado.					* Tipo de cemento recomendado.				
** Relación agua - cemento recomendada en el diseño del concreto.					** Relación agua - cemento recomendada en el diseño del concreto.				
					*** Contenido mínimo de cemento en kg/m ³ , que debe usarse en el concreto.				

Tabla 11

Requisitos para concreto expuesto a soluciones de sulfatos

Exposición a sulfatos	Sulfato soluble en agua (SO ₄) presente en el suelo, porcentaje en peso	Sulfato (SO ₄) en el agua, ppm	Tipo de Cemento	Relación máxima agua - material cementante (en peso) para concretos de peso normal*	f'c mínimo (MPa) para concretos de peso normal y ligero*
Insignificante	$0,0 \leq SO_4 < 0,1$	$0 \leq SO_4 < 150$	-	-	-
Moderada**	$0,1 \leq SO_4 < 0,2$	$150 \leq SO_4 < 1500$	II, IP(MS), IS(MS), P(MS), I(PM)(MS), I(SM)(MS)	0,50	28
Severa	$0,2 \leq SO_4 < 2,0$	$1500 \leq SO_4 < 10000$	V	0,45	31
Muy severa	$2,0 < SO_4$	> 10000	Tipo V más puzolana***	0,45	31

* Cuando se utilicen las Tablas simultáneamente, se debe utilizar la menor relación máxima agua-material cementante aplicable y el mayor f'c mínimo.

** Se considera el caso del agua de mar como exposición moderada.

*** Puzolana que se ha comprobado por medio de ensayos, o por experiencia, que mejora la resistencia a sulfatos cuando se usa en concretos que contienen cemento tipo V.

Tabla 12*Requisitos para concreto expuesto a cloruros y sales*

Presencia en el suelo de:	p.p.m.	Grado de riesgo	Observaciones
Cloruros *****	> 6000	Perjudicial	Ocasiona problemas de corrosión de armaduras o elementos metálicos.
Sales Solubles Totales *****	> 15000	Perjudicial	Ocasiona problemas en la resistencia del suelo por procesos de lixiviación.

Nota: *** Experiencia existente. Comité ACI 318-2005

Tabla 13*Rango de pH y nivel de agresividad del suelo*

pH	Medio	Nivel de Agresividad
< 4	Extremadamente ácida	Muy Agresiva
4.0 - 4.5	Muy ácida	Muy Agresiva
4.5 - 5.0	Ácida	Muy Agresiva
5.0 - 6.0	Moderadamente ácida	Muy Agresiva
6.0 - 6.5	Ligeramente ácida	Agresiva
6.5 - 7.5	Neutro	No Agresiva
7.5 - 8.5	Ligeramente alcalina	No Agresiva
> 8.5	Muy alcalina	Condicional

Nota: H. Klas y H. Steinrath, "Die Korrosion des Eisens und ihre Verhütung" (1956).

De los resultados obtenidos y los valores referenciales consignados en las tablas anteriores, se tiene que de la presencia de sales solubles totales correspondiente a la muestra extraída de la calicata C-2, el resultado presenta un valor inferior al permisible. La presencia de sulfatos indica un valor de ataque químico leve. Los cloruros presentes en la muestra de suelo no superan el valor permisible por lo que no se presentará problemas de corrosión de armaduras o elementos metálicos y el pH marca un nivel neutro siendo un nivel no agresivo. Se concluye que no existe una agresividad química del suelo de fundación al concreto; por lo tanto, no habría necesidad de dar un tratamiento especial ni emplear otro tipo de cemento que no sea el del Tipo I en la mezcla de concreto.

Ensayos en rocas

Durante el desarrollo de las exploraciones geotécnicas se obtuvieron muestras representativas de las exploraciones geotécnicas (calicatas) que se llevaron al

laboratorio. En el material de roca extraída se realizaron ensayos, tales como la carga puntual y las propiedades físicas, con la finalidad de caracterizar física y mecánicamente la roca. Los ensayos en muestras de rocas se enviaron al Laboratorio Geotécnico y de Concreto de GMIG S.A.C.

Para la caracterización de las rocas se realizaron ensayos siguiendo normas reconocidas internacionalmente, garantizando la confiabilidad de resultados. Se aplicó ensayo de carga puntual según la norma ASTM D5731-08, así como los ensayos de propiedades físicas siguiendo las normas ASTM D6473 y ASTM D-2937. Las muestras de roca utilizadas fueron extraídas de la calicata C-3, y los resultados obtenidos en laboratorio, que permiten evaluar la resistencia y características físicas del material, se presentan detalladamente en los anexos.

Para el ensayo de carga puntual, este ensayo tiene como objetivo estimar la resistencia de la compresión simple del material de tipo roca encontrado en las investigaciones geotécnicas y el cual sirve para determinar los parámetros físicos mecánicos de la roca. El ensayo fue realizado en el Laboratorio Geotécnico y de Concreto de GMIG S.A.C, según lo indicado en la norma ASTM D-5731. Este ensayo consiste en comprimir la muestra de roca entre puntos situados en generatrices opuestas, realizando así la deformación y falla de la roca. En la siguiente tabla, se puede observar los resultados del ensayo de carga puntual.

Tabla 14

Resumen de ensayos de carga puntual

N°	Referencia	Calicata / Muestra	Profundidad (m)	Dureza	Resistencia a la compresión simple (MPa)		
					Máximo	Mínimo	Promedio
01	Almacén de nitratos	C-3/ M-2	>2,00	R-4	101	50	76

Fuente: Trabajos de laboratorio, junio 2025. Elaborado por: GMIG S.A.C. Laboratorio Geotécnico y de Concreto.

Con las muestras de roca obtenidas de la calicata C-3, se realizaron los ensayos correspondientes para determinar las propiedades físicas de la roca, tales como: gravedad específica y absorción (ASTM D- 6473), densidad de la roca (ASTM D-2937) y contenido de humedad de la roca (ASTM D-2216).

Tabla 15

Resumen de ensayos de propiedades físicas

Nº	Referencia	Calicata / Muestra	Absorción (%)	Densidad (g/cm ³)	Gravedad Específica	Humedad (%)
01	Almacén de nitratos	C-3/ M-2	11,03	1,92	2,58	7,25

Fuente: Trabajos de laboratorio, junio 2025. Elaborado por: GMIG S.A.C. Laboratorio Geotécnico y de Concreto.

4.1.4 Cálculo de capacidad de carga

El cálculo de la capacidad admisible del suelo por asentamiento se ha determinado considerando los parámetros respectivos como dimensiones de la cimentación, profundidad y parámetros de resistencia del suelo (**Tabla 15**).

Tabla 16

Capacidad admisible por asentamiento del suelo

Tipo de cimentación	Ancho B (m)	Longitud L (m)	Profundidad d (m)	Cohesión C (Kg/cm ²)	Ángulo de fricción Φ (°)	Qadm (Kg/cm ²)	Si (cm)
Zapata cuadrada	1,20	1,20	1,30	0,00	28,7	2,32	0,69
	1,20	1,20	1,60	0,00	28,7	2,76	0,82
	1,50	1,50	1,30	0,00	28,7	2,42	0,90
	1,50	1,50	1,60	0,00	28,7	2,86	1,06
	1,80	1,80	1,30	0,00	28,7	2,52	1,12
	1,80	1,80	1,60	0,00	28,7	2,96	1,32
Plata de cimentación	3,00	3,00	0,40	0,00	28,7	1,59	1,18
	3,00	3,00	0,60	0,00	28,7	1,89	1,40
	6,00	10,0	0,40	0,00	28,7	2,60	4,87
	6,00	10,0	0,60	0,00	28,7	2,65	4,96
	10,0	35,0	0,40	0,00	28,7	1,12	4,76
	10,0	35,0	0,60	0,00	28,7	1,17	4,98

Nota: Cálculos para relleno controlado, densidad del suelo 1.8 g/cm³, E = 330 kg/cm² y u = 0.35

En la **Tabla 16**, se observa que la capacidad admisible por asentamiento de la cimentación más desfavorable es de 2,32 kg/cm² para un Si de 0,69 cm, lo que es adecuado para este tipo de cimentación. Así mismo para plateas de cimentación se tiene una capacidad crítica de 1,12 kg/cm² para un Si de 5,76 cm considerado también aceptable. Por tanto, se muestra una estabilidad buena a la carga admisible por asentamiento.

4.1.5 Cálculos de asentamientos o distorsión angular

Se calculó la distorsión angular entre un pedestal próximo y el punto de deflexión total, obteniéndose una distorsión angular de 0.001547. Haciendo la comparativa con la Tabla 18 Distorsión Angular = α , de la norma técnica E.050 Suelos y cimentaciones, resulta que la distorsión angular calculada se encuentra dentro de los límites permisibles de la **Tabla 17** de la norma en mención.

Tabla 17

Cálculo de la distorsión angular (α)

Asentamientos/ longitud/ distorsión angular	Unidad	Valor
(a) Asentamiento total del pedestal próximo	cm	0,00
(b) Asentamiento total del punto de deflexión máxima	cm	0,50
(c) Asentamiento diferencial (δ): b - a	cm	0,50
(d) Longitud entre puntos (L)	cm	323
(e) Distorsión angular (α): c/d	--	0.001547

Tabla 18*Límites máximos permisibles de la distorsión angular (α)*

$\alpha = \delta / L$	Descripción
1/150	Límite en el que se debe esperar daño estructural en edificios convencionales
1/250	Límite en que la pérdida de verticalidad de edificios altos y rígidos puede ser visible
1/300	Límite en que se debe esperar dificultades con puentes grúas.
1/300	Límite en que se debe esperar las primeras grietas en paredes.
1/500	Límite seguro para edificios en los que no se permiten grietas.
1/500	Límite para cimentaciones rígidas circulares o para anillos de cimentación de estructuras rígidas, altas y esbeltas.
1/650	Límite para edificios rígidos de concreto cimentado sobre un solado con espesor aproximado de 1,20 m.
1/750	Límite donde se esperan dificultades en maquinaria sensible a asentamientos.

Nota: Distorsión angular, norma técnica E.050.

4.1.6 Metrado de cargas

- MATERIALES.

Los materiales para ser usados en el proyecto se establecen teniendo en cuenta los componentes auxiliares a diseñar.

Concreto Armado.

- Solado y rellenos $f^c = 100 \text{ kg/cm}^2$
- Estructuras importantes $f^c = 315 \text{ kg/cm}^2$ - Portland Tipo HS (*)
- Estructuras menores $f^c = 210 \text{ kg/cm}^2$ - Portland Tipo HS (*)
- Acero de refuerzo ASTM A615 - $F_y = 420 \text{ MPa}$
- Recubrimiento mínimo utilizado siguió el siguiente detalle:

Tabla 19*Recubrimientos mínimos en mm*

Ubicación	Recubrimiento mínimo (mm)
Concreto vaciado contra terreno o en contacto permanente con él.	70
Concreto en contacto permanente con el suelo o la intemperie (Diámetro < 5/8").	50
Concreto en columnas, pedestales y vigas.	40
Concreto en losas.	20
Concreto en columnetas o confinamiento.	20

- CARGAS DE DISEÑO.

Carga Muerta.

Las cargas muertas incluyen el peso propio de todos los elementos estructurales y no estructurales (correas, conexiones, equipos, sistema eléctrico, etc.) Los pesos deben ser obtenidos para cada caso y considerando todas las referencias de los proveedores de equipos.

El peso propio de la estructura se calculará con pesos unitarios de la siguiente manera a menos que se justifiquen otros valores:

- Concreto armado 2400 kg/m³.
- Acero estructural 7850 kg/m³.
- Relleno estructural compactado 1900 kg/m³.

Carga Viva.

Se usará como mínimo los valores establecidos en la tabla para los diferentes tipos de ocupación o uso.

Tabla 20*Carga vivas mínimas repartidas*

USO	CARGA UNIFORME (kg/m ²)
Almacén	500
Rampas, corredores y escaleras	400

Carga Viva de Techo.

Las cargas vivas de techo serán como mínimo las que se indican en la Tabla, en cumplimiento con lo recomendado para este proyecto y lo indicado en la norma de cargas E020.

Tabla 21*Carga viva mínimas de techo*

USO	CARGA UNIFORME (kg/m ²)
Techos con cobertura liviana	30

Carga de Nieve.

El valor mínimo de la carga básica de nieve sobre el suelo (Q_s) será de 0,40 kPa (40 kgf/m²) que equivalen a 0,40 m de nieve fresca (peso específico de 1 kN/m³ (100 kgf/m³) o a 0,20 m de nieve compactada (peso específico de 2 kN/m³ (200 kgf/m³)).

Para techos a una o dos aguas con inclinaciones menores o iguales a 15° (pendiente < 27%) y para techos curvos con una relación flecha/luz < 0,1 o ángulo vertical menor o igual a 10° (calculado desde el borde hasta el centro) la carga de diseño (Q_t), sobre la proyección horizontal, será:

$$Q_t = Q_s$$

Para techos a una o dos aguas con inclinaciones comprendidas entre 15° y 30° la carga de diseño (Q_t), sobre la proyección horizontal, será:

$$Q_t = 0,80 Q_S$$

Para techos a una o dos aguas con inclinaciones mayores que 30° la carga de diseño (Q_t), sobre la proyección horizontal, será:

$$Q_t = CS (0,80 Q_S) \text{ donde } CS = 1 - 0,0025(\theta^\circ - 30^\circ), \text{ siendo } CS \text{ un factor adimensional.}$$

Tabla 22

Carga de nieve.

USO	CARGA UNIFORME (kg/m ²)
Carga de nieve	40

Carga de Viento.

Las cargas de viento se determinarán según la Norma Técnica Peruana de Cargas E-020. Las presiones debido al viento serán calculadas de acuerdo al artículo 12 de la Norma E.020 y al Mapa Eólico del Perú, pero no menos de 75 Km/h. La velocidad del viento en cada altura de la edificación se obtendrá con la siguiente expresión:

$$V_h = V \cdot (h/10)^{0.22}$$

- V_h : Velocidad de diseño en la altura h en km/h
- V : Velocidad de diseño a 10 m de altura en km/h
- h : Altura sobre el terreno en m

Asimismo, el cálculo para la carga exterior del viento (presión o succión) ejercida se supondrá estática y perpendicular a la superficie sobre la cual actúa. Se calcula mediante la expresión

$$P_h = 0.005 C.V_h^2$$

- P_h : Presión o succión del viento a una altura h en kg/m^2
- V_h : Velocidad de diseño en la altura h en km/h
- C : Factor de forma adimensional indicada en la tabla adjunta

Tabla 23*Carga viva de viento*

Construcción	Barlovento	Sotavento
Superficies verticales e edificios	+0.80	-0.60
Anuncios, muros aislados, elementos con una dirección corta en la dirección del viento	+1.5	-
Tanques de agua, chimeneas y otros de sección circular o elíptica	+0.7	-
Tanques de agua, chimeneas y otros de sección cuadrada o rectangular	+2.0	-
Arcos y cubiertas cilíndricas con un ángulo de inclinación que no exceda a 45°	+/- 0.80	-0.50
Superficies inclinadas a 15° o menos	+0.30 -0.70	-0.60
Superficies inclinadas entre 15° y 60°	+0.70 -0.30	-0.60
Superficies inclinadas entre 60° y la vertical	+0.80	-0.60
Superficies verticales o inclinadas planas o curvas paralelas a la dirección del viento	-0.70	-0.70

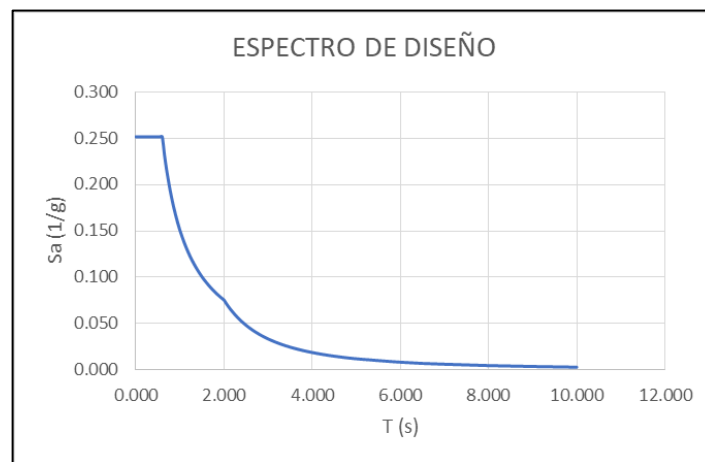
Carga de Sismo Almacén de Nitratos.

La estructura ha sido desarrollada bajo las consideraciones sísmicas según la Norma Técnica Peruana de Diseño Sismorresistente E.030.

- Factor de Zona: $Z3=0.35$
- Factor de suelo $S=1.15$
- Factor de Importancia $U = 1.0$
- Periodo $T_p=0.60s$ y $T_l=2.00s$
- Coeficiente de Reducción del Almacén de Nitratos.
 $R_x=4$ (OMF)
 $R_y=4$ (OCBF)

Figura 2

Espectro de pseudo aceleración dirección X e Y Almacén



4.1.7 Diseño de la cimentación

4.1.7.1 Cimentación Almacén De Nitratos.

- Pre-dimensionamiento.

La subestructura del almacén de Nitratos, está conformada por:

Zapata 1 Z1: 2.10X1.80x0.50m

Zapata 2 Z2: 1.80X1.80x0.50m

Pedestal Principal P-1: 50x60cm

La nave fue modelada, analizada y verificada en Sap2000 v24.1.0.

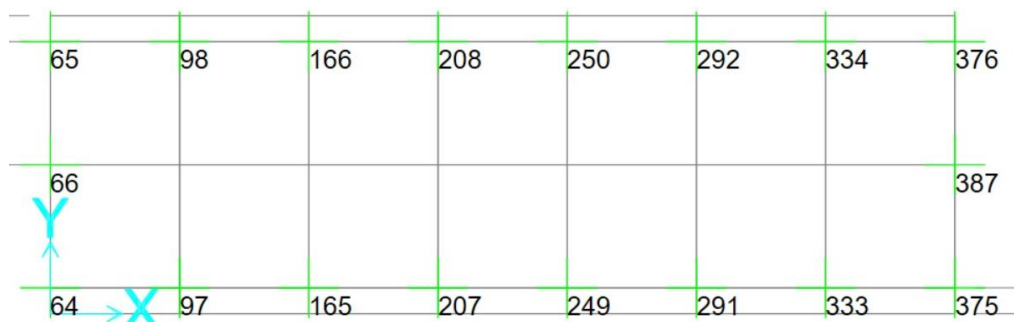
Cargas de Diseño.

Estas cargas son provenientes de la superestructura que corresponde a cargas de viento, nieve

, carga viva de techo y el peso propio de la estructura metálica.

Figura 3

Almacén de Nitratos – Cimentación.



○ Diseño de la Cimentación.

Las cargas sobre la estructura son transmitidas al suelo de fundación mediante las zapatas, las mismas que han sido dimensionadas con base a la carga que transmite cada columna en su área tributaria; y la capacidad portante del suelo.

El modelo de análisis de la misma consiste en una losa que se apoya sobre el suelo, el mismo que produce una reacción uniforme (representado por el módulo de reacción del suelo), a lo largo de su superficie de contacto. El método de diseño adoptado, conlleva el dimensionamiento a través de la capacidad de soporte del suelo y la fuerza transmitida por la columna a la

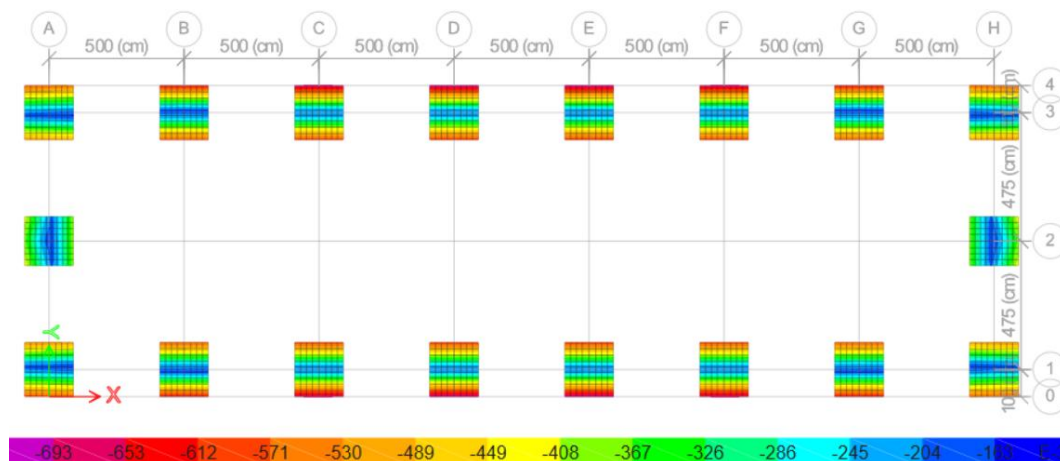
cimentación. Luego de realizado el pre-dimensionamiento, se procede al chequeo por cortante, por flexión y por punzonamiento; para finalmente realizar el diseño de la misma.

Se establecen los siguientes parámetros de suelo, valores que fueron alcanzados por minera Crespo

- Coeficiente de balasto, según la tabla es : 6.9 Kg/cm³
- Capacidad portante (Qa) : 3.45 Kg/cm² (valor asumido).

Figura 4

Cimentación Almacén de Nitratos.



Como resultado se tiene para las cargas de servicio $D+L+W = 0.69 \text{ kg/cm}^2 \leq 3.45 \text{ kg/cm}^2$.

Figura 5

Cálculo de cortante en cimentación

Diseño de Zapatas.	
L	210.00 cm
b	180.00 cm
h	50.00 cm
f'c	315.00 kg/cm ²
fy	4200.00 kg/cm ²
r	7.50 cm
d	42.50 cm

Cálculo de la altura de la zapata	
Según el cap 21.12.2 de la norma E.060, las columnas que resistan fuerzas sísmicas, deben estar ancladas para desarrollar tracción en el interfaz, Por lo que se calcula el desarrollo dell gancho estandar en traccion según art 12.5.2 de E.060	
Para las barras corrugadas, ldg debe ser $(0,075 \Psi e \lambda fy / \sqrt{f'c}) db \dots$	
Ψe	1
λ	1
fy	4200.00 kg/cm ²
f'c	315.00 kg/cm ²
db	3/4
	1.91 cm
ldg	33.90 cm
r	7.5 cm
h	41 cm
Usaremos h	50 cm

Verificación de la Fuerza Cortante, cap 11.3 E.060.	
$Vc = 0,53 \sqrt{f'c} bwd$	
fc	315.00 kg/cm ²
bw	180.00 cm
d	42.50 cm
Vc	71.96 tnf
fi	0.85
fi.Vc	61.17 tnf

Verificación de la Fuerza Cortante, cap 11.3 E.060.					
fi.Vc (tn)	61.17	>	Vu (tn)	4.35	OK

Figura 6

Cálculo de punzonamiento en cimentación

Verificación por Corte por Punzonamiento, cap 11.12.2 E.060		
Dimensiones de la columna		
bc	60.00 cm	
hc	50.00 cm	
fc	315.00 kg/cm ²	
Relacion lado largo/ lado corto de la columna		
$\beta=L/b$	1.20	
Perímetro de la sección crítica de la columna		
d/2	21.25 cm	
m=bc+d	102.50 cm	
n=hc+d	92.50 cm	
bo	390 cm	
Fuerza cortante por Punzonamiento		
Vc1	415.77 tn	$Vc = 0,53 \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \sqrt{f'c} bo d$
αs	40	
Vc2	505.08 tn	$Vc = 0,27 \left(\frac{\alpha s d}{bo} + 2\right) \sqrt{f'c} bo d$
Vc3	311.83 tn	$Vc = 1,06 \sqrt{f'c} bo d$
Min (Vc1, Vc2, Vc3)	311.83 tn	
fi	0.85	
fi.Vc	265.05 tn	

Verificación de la Fuerza Cortante, cap 11.3 E.060.					
fi.Vc (tn)	265.05	>	Vu (tn)	4.35	OK

Figura 7

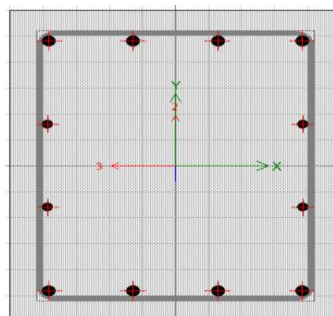
Diseño a flexión de la cimentación.

Diseño por flexion			
Cálculo del Area de Acero			
X-X		Y-Y	
Mux	164941	Muy	285656 kg.cm
fi	0.9	fi	0.9
r	7.50	r	7.5
d	42.5	d	42.5 cm
a	8.5	a	8.5 cm
f'c	315.00	f'c	315.00 kg/cm2
fy	4200.00	fy	4200.00 kg/cm2
L	210.00	b	180.00 cm
As (cm2)	a (cm)	As (cm2)	a (cm)
1.14	0.09	1.98	0.17
1.03	0.08	1.78	0.16
1.03	0.08	1.78	0.16
Cálculo del acero mínimo Cara Inferior			
Cuantia	0.0018	Cuantia	0.0018
L	210.00	b	180.00 cm
d	50.00	d	50.00 cm
Asmin	18.90	Asmin	16.20 cm2
Cálculo de espaciamiento			
As	18.90	16.20	cm2
fi	5/8		5/8
Area	1.98		1.98 cm2
# varillas	10		8
s	23		23 cm
Usaremos acero de 5/8" a cada 20 cm en la Cara Inferior			
Cálculo del acero mínimo cara superior			
Cuantia	0.0018	Cuantia	0.0018
L	210.00	b	180.00 cm
d	50	d	50 cm
Asmin	18.90	Asmin	16.20 cm2
Cálculo de espaciamiento			
As	18.90	16.20	cm2
fi	5/8		5/8
Area	1.98		1.98 cm2
# varillas	10		8
s	23		23 cm
Usaremos acero de 5/8" a cada 20 cm en la Cara Superior			

Diseño Pedestal P-1 y P-2.

Figura 8

Almacén de Nitratos – Pedestal P-1 (0.60x0.50m)

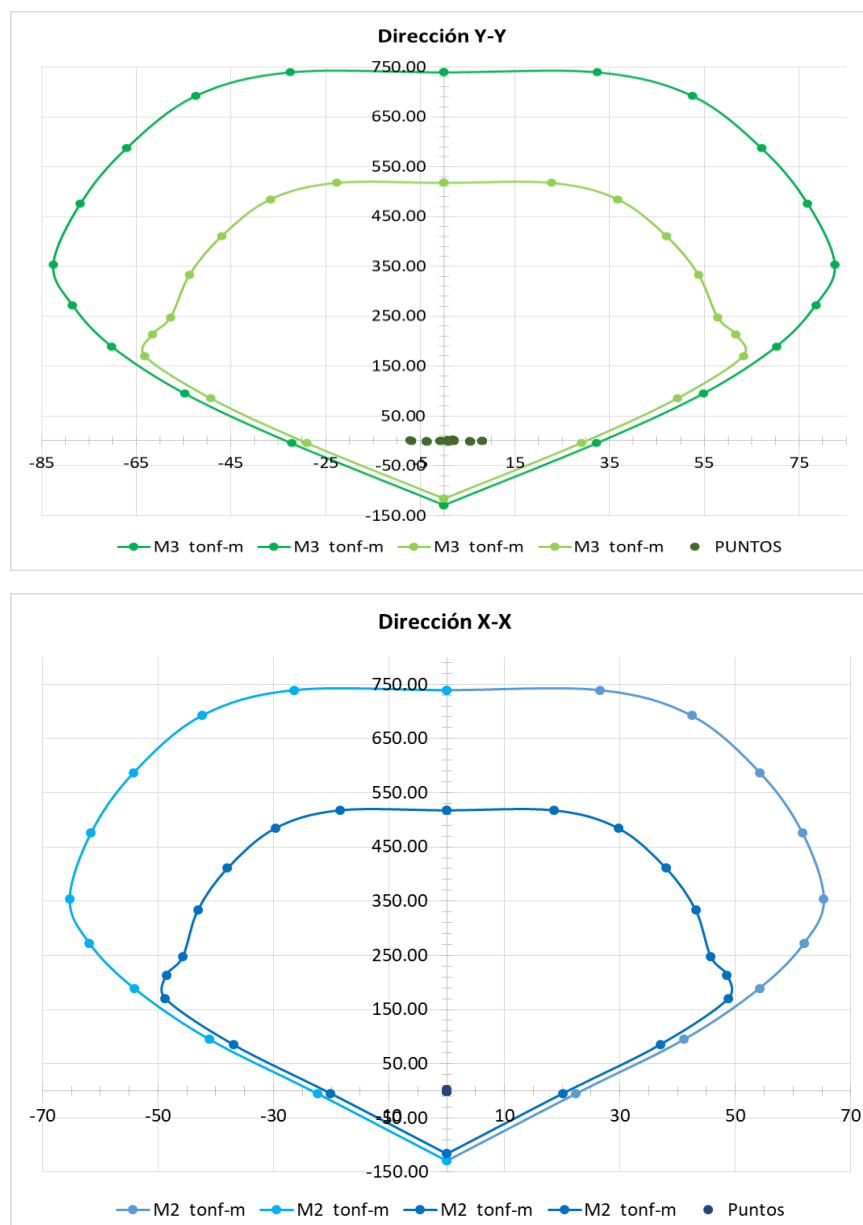


- Diseño por flexo-compresión.

Para la verificación del pedestal crítico, se utilizó la carga axial proveniente de los pórticos de la estructura. La distribución del acero de en el pedestal es de $8 \text{ } \varnothing 3/4'' + 4 \text{ } \varnothing 5/8''$. A continuación, se muestra los resultados del análisis estructural para las verificaciones. Se muestra la verificación del pedestal en flexo-compresión.

Figura 9

Diagrama de interacción P-M2-M3 del Pedestal P-1



- Diseño por Corte.

En el pedestal más crítico, se tiene que la contribución del concreto es suficiente como para absorber las sollicitaciones de corte por ello se considera la distribución del acero por cuantía mínima lo cual estable la norma E-060.

Según la normatividad en los capítulos 21.6.2 y 21.6.4.4 se dispone de la siguiente distribución del armado de los estribos $3\emptyset 3/8'' @ 0.05$, Rto. $@ 0.10$.

4.2 ANÁLISIS DE IMPACTO, BENEFICIOS Y COMPARACIÓN CON CASOS SIMILARES

4.2.1 Análisis de Impacto

El análisis del impacto técnico, social, económico y ambiental de la propuesta de cimentación para el almacén de nitratos muestra cómo este proyecto influye de manera positiva en distintos ámbitos. Técnicamente, garantiza la estabilidad y seguridad de la estructura, evitando problemas comunes como asentamientos o corrosión que podrían poner en riesgo la infraestructura. Socialmente, contribuye a proteger la salud y seguridad de las personas que trabajan en el almacén y de la comunidad cercana, al asegurar un manejo seguro de materiales peligrosos. Además, desde el punto de vista ambiental, se toman en cuenta medidas para prevenir la contaminación del suelo y del agua, cumpliendo con las normativas y promoviendo un desarrollo responsable y sostenible. Por último, en términos económicos, el diseño optimizado ayuda a reducir costos, al evitar reparaciones futuras y pérdidas por fallas estructurales, lo que aporta estabilidad financiera al proyecto.

4.2.2 Análisis de Beneficios

En cuanto a los beneficios, esta propuesta ofrece ventajas claras y concretas. Técnicamente, el diseño asegura una cimentación adecuada que se adapta a las condiciones específicas del terreno en Cusco, lo que mejora la durabilidad y

funcionalidad del almacén. Económicamente, el ahorro en materiales y mantenimiento representa una inversión eficiente, mientras que socialmente genera confianza y bienestar en quienes están involucrados directa o indirectamente con la operación del almacén. Desde el punto de vista científico, la investigación aporta nuevos conocimientos aplicados en mecánica de suelos y diseño estructural, que pueden ser de utilidad para futuros proyectos similares, enriqueciendo el campo de la ingeniería geotécnica y fomentando la innovación en soluciones constructivas.

4.2.3 Comparación con casos similares

Los resultados obtenidos en la presente investigación muestran coherencia técnica con estudios previos desarrollados en el ámbito geotécnico y de diseño de cimentaciones.

Medrano (2023) evaluó suelos finos de capacidad portante media a baja, obteniendo factores de seguridad de 3.04 y 2.08 mediante análisis analíticos y modelación con PLAXIS 2D. En el presente estudio, la capacidad admisible mínima obtenida fue de 2.32 kg/cm² para zapatas cuadradas y 1.12 kg/cm² para platea, valores que garantizan estabilidad frente a cargas de servicio de 0.69 kg/cm²; manteniéndose por debajo de la capacidad portante asumida de 3.45 kg/cm². Esto evidencia un comportamiento geotécnico adecuado del suelo granular tipo GM identificado. Mamani (2025) reportó capacidades portantes de 2.22 kg/cm² y 0.79 kg/cm² en suelos blandos, concluyendo que el desempeño estructural depende directamente del estrato de fundación. En comparación, el presente estudio presenta mejores condiciones de soporte, asociadas a material granular con ángulos de fricción de 25.2° a 28.7° y presencia de macizo rocoso con resistencia promedio a compresión simple de 76 MPa, lo que incrementa la estabilidad global. Asimismo, Dueñas (2023) determinó parámetros geotécnicos mediante ensayos ASTM para definir cimentaciones superficiales seguras. De manera similar, esta investigación empleó ensayos granulométricos, límites de Atterberg, corte directo y triaxial CD, además de análisis químicos (pH = 6.8; sulfatos = 102.6 mg/kg), confirmando ausencia de agresividad química significativa.

4.3 LIMITACIONES DEL ESTUDIO Y MEJORAS IDENTIFICADAS

Aunque este estudio ha logrado establecer una propuesta sólida de diseño de cimentación basada en un análisis geotécnico detallado, presenta algunas limitaciones que es importante reconocer. La principal limitación radica en la variabilidad natural del suelo en la zona de estudio, lo que puede generar diferencias locales que no fueron totalmente captadas por los muestreos y ensayos realizados. Además, las condiciones ambientales y de carga a largo plazo pueden variar, lo que implica que el diseño debe ser revisado periódicamente para asegurar su vigencia. Como mejora, se recomienda ampliar la cobertura de muestreo y realizar monitoreos continuos durante la vida útil de la estructura para detectar cualquier cambio en las condiciones del terreno. También sería beneficioso incorporar estudios más avanzados de interacción suelo-estructura y simulaciones dinámicas que permitan prever con mayor precisión el comportamiento del almacén frente a diferentes escenarios, fortaleciendo así la seguridad y durabilidad del proyecto.

4.4 DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA Y SU IMPLEMENTACIÓN

4.4.1 Descripción de la solución estructural propuesta

En función de la caracterización geotécnica realizada, el suelo del área de estudio fue clasificado como material granular tipo GM (grava limosa), con ángulos de fricción entre 25.2° y 28.7°, cohesión baja (0.01–0.07 kg/cm²) y ausencia de nivel freático hasta 3.00 m de profundidad. Asimismo, se identificó la presencia de macizo rocoso andesítico con resistencia promedio a compresión simple de 76 MPa, lo cual mejora las condiciones de soporte.

Con base en estos resultados, se propone el uso de cimentaciones superficiales, específicamente:

- Zapata aislada para el almacén de nitratos (2.10 × 1.80 × 0.50 m y 1.80 × 1.80 × 0.50 m).

La capacidad portante adoptada fue de 3.45 kg/cm², verificándose que las presiones transmitidas por las cargas de servicio cumplen la condición:

- Almacén: $0.69 \text{ kg/cm}^2 \leq 3.45 \text{ kg/cm}^2$

Se realizaron verificaciones por cortante, flexión, punzonamiento y volteo, obteniendo relaciones de estabilidad mayores al límite normativo ($M_r/M_v = 1.81$ y $1.61 > 1.25$), garantizando seguridad estructural.

En cuanto a agresividad química, los valores de pH = 6.8, sulfatos = 102.6 mg/kg y cloruros = 635 ppm indican un medio no agresivo, permitiendo el uso de cemento Tipo I sin necesidad de protección especial.

4.4.2 Criterios de implementación constructiva

La implementación contempla:

- Excavación hasta el estrato competente (relleno controlado o contacto con macizo rocoso).
- Compactación controlada del terreno de fundación.
- Uso de concreto $f'_c = 315 \text{ kg/cm}^2$ en elementos principales.
- Recubrimientos mínimos de 70 mm en contacto con suelo.
- Control de calidad mediante ensayos de densidad y supervisión técnica permanente.

4.4.3 Viabilidad técnica y operativa

La solución es técnicamente viable debido a:

- Capacidad portante suficiente.
- Asentamientos admisibles controlados (Si mínimo = 0.69 cm).
- Verificación satisfactoria frente a cargas sísmicas ($Z = 0.35$; $S = 1.15$).
- Estabilidad comprobada ante volteo y punzonamiento.

4.4.4 Sostenibilidad y proyección futura

La solución propuesta minimiza intervenciones profundas innecesarias, reduce costos de ejecución y aprovecha las condiciones naturales del terreno. Además, al confirmarse la baja agresividad química del suelo, se disminuye el riesgo de deterioro prematuro del concreto, garantizando durabilidad estructural y seguridad operativa en el almacenamiento de nitratos.

4.5 EVALUACIÓN DE COSTOS, SOSTENIBILIDAD Y VIABILIDAD A LARGO PLAZO

Para el desarrollo de este proyecto, se realiza una inversión previa que es la nivelación de la plataforma donde se construirá el almacén de nitratos, esta inversión inicial está valorizada en \$ 92,755.11. Propiamente la construcción tiene un valor de \$ 550.650.19 comprendiendo los trabajos de obras civiles, mecánicas y eléctricas. Considerando costos indirectos y servicios vinculados el costo final del proyecto sería de \$ 864,694.65.

La construcción de este proyecto se define como sostenible al integrar un diseño que prioriza la durabilidad extrema y la prevención de la contaminación del subsuelo, cumpliendo con el triple balance (económico, social y ambiental). Desde la perspectiva ambiental, la propuesta utiliza concretos de baja huella de carbono y cementos especializados (Tipo V o adicionados) que resisten la agresividad química de los nitratos, evitando filtraciones que degraden los acuíferos o el ecosistema local. Económicamente, el diseño basado en la mecánica de suelos optimiza el uso de materiales, evitando el sobredimensionamiento y reduciendo el mantenimiento futuro; mientras que, en el ámbito social, garantiza una infraestructura segura ante eventos sísmicos, protegiendo la integridad de los trabajadores y la continuidad operativa de la cadena logística en el Perú.

La viabilidad de la construcción de este almacén de nitratos se sustenta en la convergencia de la solidez técnica y la rentabilidad operativa, garantizada por un diseño cimentado en la mecánica de suelos precisa. Desde la perspectiva técnica, el

proyecto es viable al emplear soluciones de ingeniería que mitigan los riesgos geotécnicos y la agresividad química del nitrato, asegurando que la estructura mantenga su estabilidad funcional durante toda su vida útil. Asimismo, la viabilidad económica se manifiesta en la optimización de recursos mediante un diseño de cimentación eficiente que evita costos innecesarios por fallas estructurales o mantenimientos correctivos prematuros. Al estar alineado con la normativa vigente en el Perú (RNE E.050 y E.030), el proyecto no solo es ejecutable, sino que representa una infraestructura segura y competitiva para el sector industrial.

Para el desarrollo de este proyecto es necesario contemplar las fases que comprende la construcción de un proyecto, el cual se esquema a continuación.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Conclusión general

Realizado los estudios geotécnicos y de estabilidad de la cimentación de acuerdo con los análisis realizados se ha determinado que lo más adecuado es tener cimentación zapatas aislada para el almacén de nitratos ($2.10 \times 1.80 \times 0.50$ m y $1.80 \times 1.80 \times 0.50$ m), la cual soportará la carga del almacén de nitratos.

Conclusiones específicas

Del estudio geotécnico analizado se concluye que el suelo del sitio presenta una clasificación SUCS GM de compactidad relativa compacta, para el cual la cimentación es adecuada, además no se ha podido percibir la existencia del nivel freático.

El suelo de cimentación del lugar presenta una estabilidad óptima debido a que su capacidad de carga es de $q_{adm} 2,32 \text{ kg/cm}^2$ con distorsiones angulares máximos de 0.002 que están dentro de los rangos permisibles. Los ensayos de laboratorio respaldan esta competencia mecánica al reportar ángulos de fricción interna de hasta 28.7° y una cohesión de 9.0 KPa, sumado a una estabilidad química confirmada por bajos niveles de sulfatos (35.3 ppm) y cloruros (21.3 ppm). Por tanto, se muestra una estabilidad buena a la carga admisible por asentamiento.

Se propone zapatas aisladas como tipo de cimentación más adecuada para las cargas a las cuales será sometido el almacén de nitratos de un nivel en función de los resultados del estudio de mecánica de suelos realizado en Cusco, 2025.

RECOMENDACIONES

Recomendación general

Se recomienda previo al inicio de la construcción darle al terreno una base mucho más sólida reemplazando el terreno natural por un material de préstamo bien compactado (relleno estructural); esto evitará que el suelo se deforme y aparezcan grietas con el tiempo. Además, como se almacenará nitratos, es vital proteger el concreto de la cimentación usando un concreto con relación agua/cemento baja (máximo 0.45) y considerar el uso de un cemento Tipo V o aditivos impermeabilizantes de masa, creando así una barrera resistente que impida que cualquier filtración química dañe la estructura desde abajo.

Recomendaciones específicas

Se recomienda que, durante el proceso de excavación, se verifique que la compacidad del suelo GM mantenga una densidad seca mínima de 1.21 g/cm^3 , tal como se registró en los ensayos de campo, para asegurar la estabilidad del terreno.

Considerando que la humedad natural detectada oscila entre 21% y 23%, es fundamental proteger el fondo de la excavación con un solado de concreto de inmediato; esto evitará que el suelo se altere por cambios climáticos y garantizará que las zapatas aisladas trabajen sobre un soporte estable y seco, maximizando así la seguridad estructural del almacén.

Dado que la capacidad admisible de 2.32 kg/cm^2 y la cohesión de 9.0 KPa dependen de que el suelo mantenga su estructura, se debe prohibir estrictamente el uso de equipo vibratorio pesado cerca de las excavaciones abiertas, ya que las vibraciones excesivas podrían reacomodar las partículas de la grava limosa (GM) y generar asentamientos prematuros no previstos en el modelo elástico inicial.

REFERENCIAS

- Aguero, M., & Benítez, J. (2024). *Proyecto Ejecutivo de Edificación para la Facultad Ciencias de la Producción sede Coronel Oviendo de la Universidad Nacional de Caaguazú en el Año 2024*. Universidad Nacional de Caaguazú.
- Álvarez, E. (2023). *Anejo i. el medio físico I* [Tesis de Pregado]. Instituto de Educación Superior Tecnológico Público Trujillo.
- ASTM D1586, 9 (2011). <https://doi.org/10.1520/D1586-11.2>
- ASTM D2487, 12 (2011). <https://doi.org/10.1520/D2487-11.2>
- ASTM D3080, 6 (2000). <https://doi.org/10.1520/C1709-18>.
- ASTM D4318, 14 (1998).
- Argeñal, K. (2024). *Asentamientos Diferenciales en Edificios de Zona Lacustre de Bogotá: Causas y Casos de Estudio*. [Tesis de Maestría]. Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
- Cáceres, J., & Ruiz, D. (2024). *Análisis de la Patología de Cimentaciones en Tres Casos de Estudio en la Ciudad de Cúcuta y su Área Metropolitana*. [Universidad de Santander Trabajo]. Universidad de Santander Trabajo.
- Calderon, B. (2025). CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO DE CIMENTACIÓN DE LA ASOCIACIÓN 14 DE FEBRERO, SATIPO 2024 [Universidad Privada de Tacna]. In *Sustainability* (Switzerland). http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBETUNGAN_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI
- Castañeda, L., & Salguero, C. (2020). *Diseño y evaluación de concreto resistente a sulfatos mediante la adición de nanosílice para la construcción de canales en la costa norte: Caso Chavimochic Etapa I* [Tesis de Pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/652758>
- Cerda, M. (2020). *Propuesta de Cimentación para los Tanques de una Nueva Terminal de Almacenamiento y Reparto de Hidrocarburos, en Acolman, Estado de México*. [Tesina, Universidad Nacional Autónoma de México]. http://www.novapdf.com/%0Ahttp://www.geocities.com/alaro2001/espanyol/historia_cas t.htm.4www.epcc.com.ar/PaginaOficial2/docs/.../fichaguerra_ctes.pd%0Ahttp://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/1439/1/tesis.pdf
- Cerquin, J., & Gamboa, B. (2022). *Diseño de cimentación y capacidad de carga de las plateas en suelos no cohesivos, Trujillo 2022* [Tesis de Pregrado, Universidad Privada del Norte]. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/32299>

- Decreto Supremo N° 024-2016-EM, Reglamento De Seguridad Y Salud Ocupacional En Minería 234 (2017).
- Diseño sismorresistente (E 030) (2018).
- DS N°011-2019-VIVIENDA, 45 (2019).
- Dominguez, R. (2020). *Diseño Geotécnico de una Cimentación Compensada Considerando los Efectos de Interacción Dinámica Suelo-Estructura*. [Tesina]. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Dorote, J. (2025). *Análisis de la Influencia del Potencial de Colapso de suelos en la capacidad de carga en suelo cohesivos, Huasahuasi-2023* [UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA]. <http://repositorio.upla.edu.pe/handle/UPLA/1592>
- Dueñas, R. (2023). *Estudio De Mecánica De Suelos Con Fines De Cimentación De Proyecto Multifamiliar, Lima-2023* [Universidad Nacional Federico Villareal]. www.scribd.com
- Espinoza, C. (2025). *Caracterización de la Resistencia al Corte en Suelos Residuales Mediante Ensayos de Laboratorio y su Influencia en la Estabilidad de Presas de Relave*. [Tesis de Pregrado]. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Fernández, A., & Chamorro, C. (2023). Update Proposal of the Ecuadorian Construction Standard: Geotechnics and Foundations. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 28, 1–16. <http://dx.doi.org/10.24133/riie.v28i1.2964>
- Germán, P. (2022). *Estudio ambiental mediante ACV de la valorización como biofertilizante de la biomasa algal cultivada en aguas residuales de explotaciones porcinas*. [Tesis de Maestría]. Universidad de Valladolid.
- Giler, M. (2024). *Caracterización geotécnica del suelo por medio de ensayos de campo y laboratorio en la comuna Jóa del cantón Jipijapa, provincia de Manabí*. [Tesis de Pregrado]. Universidad Estatal del Sur de Manabí.
- Giron, G. (2024). *Contrucción de Bodegas Industriales PB, Plantel de Constructora Palada y Construcción de Bodega Industrial Megacenter*. [Tesis de Pregrado]. Universidad Tecnológica Centroamericana.
- Gutiérrez Rodríguez, W. Á. (2023). Comportamiento Mecánico de Suelos No Saturados: Una Revisión Sistemática. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(5), 3779–3798. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i5.7990
- Guzmán, M. (2025). *Análisis de la Aislación Sísmica Geotécnica e Interración Suelo-Estructura Basada en SUELOS Deformables. Estudio de una Mezcla de Arena, Caucho y Gravilla*. [Tesis de Pregrado]. Universidad San Sebastian.
- Hernández, M., Escalaya, M., & Vega, R. (2023). Caracterización Geotécnica De Los Suelos Arcillosos De Pucallpa Geotechnical Characterization of the Clay Soils of Pucallpa. *Universidad Ricardo Palma, Lima*, 19(20), 93–118. <https://doi.org/https://doi.org/10.31381/perfilesingenieria.v19i20.6312>

- Huayna, Oscar. (2024). *Estudio de las Características Físicas y de Capacidad Portante del Suelo para Zonificación Geotécnica y su Relación con el Coeficiente de Balasto en la Localidad de Plateria.....* [Tesis de Mestría, Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez].
http://repositorio.uancv.edu.pe/bitstream/handle/UANCV/4161/T036_29624742_S.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Huillca, J. (2022). *Estudio de mecánica de suelos para cimentación para el proyecto: Edificios Barclay* [Tesis de Pregrado, Universidad César Vallejo].
http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, (INGEMMET). (2022). *Memoria anual*.
- Jesus, G., & Quispe, E. (2024). *Propuesta de diseño para mejorar la estabilidad del recrecimiento del depósito de relaves Chacapampa empleando un modelamiento geotécnico 2D en condiciones estáticas y pseudoestáticas en Huancavelica* [Trabajo de Suficiencia]. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Leal, D., & Tello, N. (2024). *Deyvi Leal Flores ; Nene Tello Collantes J turnitin* [Tesis de Pregrado]. Universidad Nacional de Jaén.
- Macías Loor, A. O., Carvajal Rivadeneira, D. D., Cobos Lucio, D. A., Fienco Sánchez, B. E., Peralta Delgado, J. A., & Zambrano Acosta, J. M. (2018). Mecánica de suelo. Tomo I. In *Universidad Estatal del Sur de Manabí*. Editorial Científica 3Ciencias. <https://doi.org/10.17993/IngyTec.2018.33>
- Mamani, K. (2025). *Evaluación del Comportamiento Estructural de Cimentaciones sobre Suelos Blandos en los Centros Poblados del Distrito de Moquegua 2024*. Universidad José Carlos Mariátegui.
- Martínez, A. (2024). *Proyecto de almacenamiento de productos químicos para una empresa que fabrica fertilizantes nitrogenados en la localidad de Ribarroja del Turia (Valencia)*. Universidad Politécnica de València.
- Medrano, J. (2023). *Optimización y Mejoramiento en el Deseño de Cimentaciones, de acuerdo al Análisis Geotécnico de los estudios de Suelo*. Universidad de Antioquia.
- Mounjouhou, A., Ntieche, B., Ntoubé, M., Youpoungam, A., Dawai, D., & Moundi, A. (2025). Geochemical Characterization and Petrogenetic Implication of Recent Mafic Magmatism from Foubot-Koutaba (West-Cameroon) and Their Potential as Sustainable Natural Resources. *Advances in Geological and Geotechnical Engineering Research*, 7(1), 1–14. <https://doi.org/10.30564/agger.v7i1.8268>
- Muñoz, C. (2023). *Evaluación de los impactos ambientales de diferentes tecnologías de abatimiento de nitrato implementadas en un sistema de agua potable rural*. Universidad de Concepción.



- National Fire Protection Association, (NFPA). (2022). *Hazardous Materials Code* (NFPA, Inte).
- Neyra, A., & Cuyubamba, N. (2023). *Mejoramiento del suelo para cimentación de un tanque de almacenamiento de diesel en refinería Conchán - Lima* [Trabajo de Suficiencia]. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Niño, S., & Rivera, V. (2025). *Estudio de las Propiedades y Comportamiento de los Suelos en Colombia, Bajo Condiciones de Carga*. [Tesis de Grado]. Universidad de Santander.
- Nova, H. (2023). *Metodología para Disminuir la Corrosión en la Cimentación Debido a la Presencia de Cloruros y Sulfatos en el Suelo del Puesto de Salud del CPM CHEN-CHEN Moquegua -2019* [Tesis de Pregrado]. Universidad José Carlos Mariátegui.
- Olson, J., & McLay, R. (2018). Engineering standards in geotechnical investigations. In *Engineering Standards for Forensic Application*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813240-1.00013-3>
- Otake, Y., & Honjo, Y. (2022). Challenges in geotechnical design revealed by reliability assessment: Review and future perspectives. *Soils and Foundations*, 62(3), 1–31. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2022.101129>
- Salinas, J. (2024). *Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del suelo en el barrio Martha de Roldós en el cantón Puerto López* [Tesis de Pregrado, Universidad Estatal del Sur de Manabí]. [http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/3211/1/BRUNO ASTUDILLO-TESIS- Revisión Dra. Moran.pdf](http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/3211/1/BRUNO_ASTUDILLO-TESIS- Revisión Dra. Moran.pdf)
- Sherwood, E. D. (2011). *Systemic causes for failure of geotechnical works around the world*.
- Solórzano, J., Morante-Carballo, F., Montalván-Burbano, N., Briones-Bitar, J., & Carrión-Mero, P. (2022). A Systematic Review of the Relationship between Geotechnics and Disasters. *Sustainability (Switzerland)*, 14(19). <https://doi.org/10.3390/su141912835>
- Soria, W. (2025). *Análisis geotécnico para el diseño de un depósito de top soil en la unidad minera Animón, distrito de Huallay, región Pasco, 2024*. [Trabajo de Suficiencia]. Universidad de Huanuco.
- Vilca, J., & Yucra, J. (2024). *Estudio de la capacidad de carga admisible del suelo y diseño de cimentación superficial del edificio de la Policía Nacional, Distrito San Miguel-Puno, 2022* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. <http://hdl.handle.net/20.500.12969/3826>
- Villarreal, G., Cerna, M., & Espinoza, C. (2021). Seismic Interaction of Soil-Structure in Buildings With Limited Ductility Walls on Foundation Plates. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 26, 153–178. <http://dx.doi.org/10.24133/riie.v26i1.1967>

APÉNDICE

- Matriz de consistencia del informe final de tesis

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES/DIMENSIONES E INDICADORES	METODOLOGÍA	RECOMENDACIONES
<p>1. INTERROGANTE PRINCIPAL</p> <p>¿Qué tipo de cimentación resulta más adecuada para un almacén de nitratos en Cusco, considerando las propiedades geotécnicas del suelo y las condiciones de carga de la estructura?</p> <p>2. INTERROGANTES ESPECÍFICAS</p> <p>a) ¿Cuáles son las condiciones geotécnicas del suelo en el terreno proyectado para la construcción del almacén de nitratos en Cusco?</p> <p>b) ¿El suelo del área presenta la estabilidad necesaria para soportar las cargas estructurales del almacén sin comprometer la seguridad de la cimentación?</p> <p>c) ¿Qué tipo de cimentación es técnica y geotécnicamente más adecuada para la construcción del almacén de nitratos, en función de las propiedades del suelo evaluado?</p>	<p>1. OBJETIVO GENERAL</p> <p>Proponer el tipo de cimentación más adecuada para un almacén de nitratos en función de los resultados del estudio de mecánica de suelos realizado en Cusco, 2025.</p> <p>2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <p>a) Evaluar las condiciones geotécnicas del suelo de cimentación para la construcción de un almacén de nitratos, Cusco 2025.</p> <p>b) Evaluar la estabilidad del suelo de cimentación para la construcción de un almacén de nitratos, Cusco 2025.</p> <p>c) Determinar el tipo de cimentación adecuada para la construcción de un almacén de nitratos, Cusco 2025.</p>	<p>1. HIPÓTESIS GENERAL</p> <p>Si se realiza un estudio adecuado de las condiciones geotécnicas del terreno, entonces se podrá seleccionar un tipo de cimentación segura y eficiente para la construcción del almacén de nitratos en Cusco 2025.</p> <p>2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</p> <p>a) El suelo del terreno presenta características físicas y mecánicas que pueden ser determinadas mediante ensayos de campo y laboratorio, permitiendo evaluar correctamente su comportamiento como material de cimentación.</p> <p>b) La estabilidad del suelo de cimentación cumple con los parámetros necesarios para soportar la estructura proyectada, sin riesgo de fallas por asentamientos excesivos o deslizamientos.</p> <p>c) Existe un tipo de cimentación (superficial o profunda) que puede ser recomendado de manera técnica y económicamente viable, acorde a las condiciones del suelo y los requerimientos estructurales del proyecto.</p>	<p>Variable (X)</p> <p>Condiciones geotécnicas del terreno</p> <p>Indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tipo de suelo - Cohesión - Ángulo de fricción - Asentamientos <p>Variable (Y)</p> <p>Indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tipo de cimentación - Capacidad admisible - Distorsión angular - Factor de seguridad 	<p>- Tipo de Investigación</p> <p>Cuantitativa de nivel aplicada</p> <p>- Diseño de la Investigación</p> <p>No experimental de corte transeccional</p> <p>- Ámbito de Estudio</p> <p>145 km al sur este de la ciudad del Cusco, distrito de Santo Tomás, provincia de Chumbivilcas</p> <p>- Población</p> <p>Calicatas y prospecciones realizadas</p> <p>- Muestra</p> <p>Mínimo puntos de exploración</p> <p>- Técnicas de Recolección de datos</p> <p>Observación</p> <p>- Instrumentos</p> <p>Fichas de observación de campo y laboratorio</p>	<p>1.- Si tiene más del 12% de finos, se compacta a una densidad mayor o igual del 90% de la máxima densidad seca del método de ensayo de Próctor Modificado, en todo su espesor.</p> <p>2.- Si tiene igual o menos del 12% de finos, se compacta a una densidad no menor del 95% de la máxima densidad seca del método de ensayo de Próctor Modificado, en todo su espesor.</p> <p>3.- La capa de relleno bajo la cimentación deberá tener un espesor mínimo de 0,30 m compactado al 100% de la máxima densidad seca del método de ensayo de Próctor Modificado.</p> <p>Contribución de la investigación al logro de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS):</p> <p>Con el estudio de mecánica de suelos y el diseño de la cimentación adecuada se contribuirá al desarrollo sostenible, dado que el estudio ayudará a que se diseñen alternativas de solución adecuadas, pertinentes y económicos para tener ciudades y asentamiento humanos seguros, resilientes y sostenibles.</p>

- Ensayos de campo y laboratorio

REGISTRO DE EXCAVACIÓN																					
						CALICATA : C-1															
CÓDIGO : 2432GT			REALIZADO : Ing. John Gómez			FECHA DE EXCAVACIÓN : 4/06/2025															
PROYECTO : Estudio de Mecánica de Suelos - Nave Industrial Nitratos - U.M. Crespo			REVISADO : Ing. Rosa Ledezma			USO : CIMENTACIÓN															
UBICACIÓN : Santo Tomás - Chumbivilcas - Cusco - Perú			PROFUNDIDAD TOTAL (m) : 2,05			ELEVACIÓN (m) : -															
COORDENADAS : 779628 E, 836699 N			PROP. NIVEL FREÁTICO (m) : -																		
REFERENCIA : Nave de Nitratos																					
Prof. (m)	K A P I C O	DESCRIPCIÓN DEL SUELO <small>Clasificación técnica, forma del material granular, color, contenido de humedad, índice de plasticidad / compresibilidad, grado de compactación / consistencia, Otros: presencia de oxidaciones y material orgánico, porcentaje estimado de bolsones / carños, etc.</small>	SUCS		GRANULOMETRÍA																
			AASHTO	U	4.75	75	150	200	425	75	150	200	425								
					%	%	%	%	%	%	%	%	%	%							
0.00		Presencia de losa de concreto de 0.20 m de espesor con un solado de 0.10 m.																			
0.05		Material de relleno no controlado, conformado por grava limosa con arena, formas subangulosas TM=3", color beige amarillento, húmedo, ligeramente plástico, medianamente denso. Presencia de bolonería TM=11" en un 2% en volumen. Presencia de bloques TM=14" en un 2% en volumen. De la Inspección visual se tiene lo siguiente: % grava (vol) = 60%, %arena (vol) = 30%, % finos (vol) = 10%.	GM		15.9	38.5	45.3	31.0	28.0	22.0											M-1
0.08		Presencia de macizo rocoso con hielo, color marrón oscuro.																			
VISTA PANORÁMICA		VISTA EN PERFIL																			
 <p style="text-align: center; font-size: small;">5 Jun. 2025 8:32:53 a. m. 18.779647 -8366903 755° W Nave Industrial Nitratos Calicata C-1</p> <p style="text-align: center; font-weight: bold; font-size: small;">CESEL INGENIEROS</p>		 <p style="text-align: center; font-size: small;">5 Jun. 2025 8:32:45 a. m. 18.779647 -8366903 281° W Nave Industrial Nitratos Calicata C-1</p> <p style="text-align: center; font-weight: bold; font-size: small;">CESEL INGENIEROS</p>																			

OBSERVACIONES: Presencia de macizo rocoso y hielo compacto, duro, en el fondo de la calicata, lo que no permitió profundizar la excavación.

REGISTRO DE EXCAVACIÓN



CALICATA : C-2

CÓDIGO : 2432GT
PROYECTO : Estudio de Mecánica de Suelos - Nave Industrial Nitratos - U.M. Crespo

REALIZADO : Ing. John Gómez
REVISADO : Ing. Rosa Ledezma
FECHA DE EXCAVACIÓN : 5/09/2025

UBICACIÓN : Santo Tomás - Chambivilcas - Cusco - Perú
COORDENADAS : 779636 E, 8366899 N
REFERENCIA : Nave de Nitratos

USO : CIMENTACIÓN
PROFUNDIDAD TOTAL (m) : 2.28
ELEVACIÓN (m) : -
PROF. NIVEL FREÁTICO (m) : -

PROF. (m)	DESCRIPCIÓN DEL SUELO <small>Clasificación técnica, forma del material granular, color, contenido de humedad, índice de plasticidad / compresibilidad, grado de compactación / consistencia, Otros: presencia de oxidaciones y material orgánico; porcentajes estimados de bolones / coque, etc.</small>	SUCS	GRANULOMETRÍA					L.L.	L.P.	H.S.	SP DE BUEYERA	PROP. (m)
			D ₁₅	D ₃₀	D ₆₀	U _c	U _u					
0.00	Presencia de losa de concreto de 0.20 m de espesor con un solado de 0.10 m.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S/M	0.20
0.28	Material de relleno no controlado, conformado por grava limosa con arena, formas subangulosas TM=3", color beige amarillento, húmedo, ligeramente plástico, suelo a medianamente denso. Presencia de bolonería TM=10" en un 2% en volumen. De la inspección visual se tiene lo siguiente: % grava (vol) = 62%, % arena (vol) = 30%, % finos (vol) = 5%.	GM	16.6	33.4	50.0	35.0	27.0	23.0	M-1			2.28
0.28	Presencia de macizo rocoso con hielo, color marrón oscuro.											0.28
VISTA PANORÁMICA		VISTA EN PERFIL										
 <p style="text-align: center; font-size: small;">4 Jun, 2025 8:30:55 a. m. 18° 27' 56.8366899 73° 25' W Nave Industrial Nitratos Cajapic C-2</p> <p>CESEL INGENIEROS</p>		 <p style="text-align: center; font-size: small;">4 Jun, 2025 8:28:52 a. m.</p> <p>CESEL INGENIEROS</p>										

OBSERVACIONES: Presencia de macizo rocoso y hielo compacto, duro, en el fondo de la calicata, lo que no permitió profundizar la excavación. Se realizó una densidad de campo del relleno no controlado obteniéndose una densidad de 1.49 Kg/cm³ aproximadamente.

REGISTRO DE EXCAVACIÓN

CALICATA - C-3

CÓDIGO : 2432GT
PROYECTO : Estudio de Mecánica de Suelos - Nave Industrial Nitratos - U.M. Crespo

REALIZADO : Ing. John Gómez
REVISADO : Ing. Rosa Ledezma

FECHA DE EXCAVACIÓN : 4/06/2025

USO : CIMENTACIÓN

PROFUNDIDAD TOTAL (m) : 2,05

ELEVACIÓN (m) : -

PROP. NIVEL FREÁTICO (m) : -

UBICACIÓN : Sario Tomás - Chumbivilcas - Cusco - Perú

COORDENADAS : 770643 E, 8368980 N

REFERENCIA : Nave de Nitratos

Prof. (m)	K A F I C E	DESCRIPCIÓN DEL SUELO <small>Clasificación técnica, forma del material granular, color, contenido de humedad, índice de plasticidad / compresibilidad, grado de compactación / consistencia, Otros: presencia de ostaculos y material orgánico, porcentaje estimado de bolores / carbas, etc.</small>	SUCS	GRANULOMETRÍA			L.L.	L.P.	U.S.	Nº DE BUEYERA	PROP. (m)
				< 0.075	0.075 - 0.425	> 0.425					
			ASHTO	mm	%	mm	%	%			
0.00		Presencia de losa de concreto de 0.20 m de espesor con un solado de 0.10 m.	-	-	-	-	-	-	-	-	0.20
0.10		Material de relleno no controlado, conformado por grava limosa con arena, formas subangulosas TM=3", color beige amarillento, húmedo, ligeramente plástico, suelo a medianamente denso. Presencia de bolonería TM=7" en un 4% en volumen. Presencia de bloques TM=15" en un 2% en volumen. De la inspección visual se tiene lo siguiente: % grava (vol) = 70%, % arena (vol) = 25%, % finos (vol) = 5%.	GM	13.5	26.9	57.6	35.0	27.0	21.0	M-1	0.10
0.20		Presencia de macizo rocoso con hielo, color marrón oscuro.									0.20
0.30											0.30
0.40											0.40
0.50											0.50
0.60											0.60
0.70											0.70
0.80											0.80
0.90											0.90
1.00											1.00
1.10											1.10
1.20											1.20
1.30											1.30
1.40											1.40
1.50											1.50
1.60											1.60
1.70											1.70
1.80											1.80
1.90											1.90
2.00											2.00
2.05											2.05

VISTA PANORÁMICA

4 Jun 2025 9:40:42 P.
CESEL
 INGENIEROS

VISTA EN PERFIL

4 Jun 2025
CESEL
 INGENIEROS

OBSERVACIONES: Presencia de macizo rocoso y hielo compacto, duro, en el fondo de la calicata, lo que no permitió profundizar la excavación.

REGISTRO DE EXCAVACIÓN

CALICATA : C-4

CODIGO : 2432GT
PROYECTO : Estudio de Mecánica de Suelos - Nave Industrial Nitratos - U.M. Crespo

REALIZADO : Ing. John Gómez
REVISADO : Ing. Rosa Ledesma
FECHA DE EXCAVACIÓN : 4/05/2025

UBICACIÓN : Santo Tomás - Chambivilcas - Cusco - Perú
COORDENADAS : 779624 E, 8366881 N
REFERENCIA : Acceso - Nave de Nitratos

USO : CIMENTACIÓN
PROFUNDIDAD TOTAL (m) : 3.00
ELEVACIÓN (m) : -
PROF. NIVEL FREÁTICO (m) : -

PROF. (m)	S A P I C D	DESCRIPCIÓN DEL SUELO Clasificación litológica, forma del material granular, color, contenido de humedad, índice de plasticidad / compresibilidad, grado de compactación / consistencia, Dens, presencia de obstrucciones, y material orgánico, porcentaje estimado de bolos / centros, etc.	SUCS	GRANULOMETRÍA			L.L.	L.P.	N.S.	SP DE SUBSTRATA	PROF. (m)
				%	mm	mm					
			AASHTO	%	mm	mm	%	%	%		

0.00											0.00
0.50		Material de relleno controlado, conformado por grava limosa con arena, formas subangulosas TM=3", color beige oscuro, húmedo, no plástico, medianamente denso. Presencia de bolonería TM=9.5" en un 2% en volumen. De la inspección visual se tiene lo siguiente: % grava (vol) = 60%, % arena (vol) = 3%, % finos (vol) = 5%.	GM	23.5	36.2	40.3	NP	NP	21.0	M-1	0.50
1.00											1.00
1.50											1.50
2.00											2.00
2.50											2.50
3.00											3.00

VISTA PANORÁMICA



VISTA EN PERFIL



OBSERVACIONES:

ENSAYO DE DENSIDAD METODO CONO DE ARENA (NORMA ASTM D-1556)									
CODIGO PROYECTO : 2432GT					REALIZADO : JGP				
PROYECTO : ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS - ALMACÉN DE NITRATOS - U.M. CRESPO					REVISADO : RLV				
					VERIFICADO : MHH				
					FECHA : JUNIO 2025				
DENSIDAD HUMEDA									
ENSAYO		D-1							
UBICACION		ALMACÉN NITRATOS							
FECHA		4/06/2025							
CALICATA/TRINCHERA		C-2							
PROFUNDIDAD (m)		1.30							
SUCS		GM							
Peso del frasco + arena	gr	7254							
Peso del frasco + arena que queda	gr	1070							
Peso de arena empleada	gr	6184							
Peso de arena en el cono	gr	1633							
Peso de arena en la excavación	gr	4551							
Densidad de la arena	gr/cm ³	1.509							
Volumen del material extraído	cm ³	3016							
Peso del recipiente + suelo + grava	gr	4485							
Peso del recipiente	gr	0							
Peso de Material Extraído	gr	4485							
Volumen de finos	cm ³	3016							
Densidad Húmeda	gr/cm ³	1.49							
CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D2216)									
Contenido de humedad	%	23.00							
RESULTADOS									
Densidad húmeda	gr/cm ³	1.49							
Contenido de humedad	%	23.00							
Densidad seca	gr/cm ³	1.21							

Observaciones:

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO CLASIFICACION GEOMECANICA DE BIENIAWSKI - RMR					
PROYECTO : "Estudio de Mecánica de Suelos - Almacén de Nitratos - U.M. Crespo"			FECHA : junio 25		
ESTACION GEOMECANICA: EG-01			REALIZADO : J.G.P.		
Referencia : Talud corte			Litología : Lava andesita		
			REVISADO : R.L.V.		

DETERMINACION DEL VALOR DE RMR (ROCK MASS RATING)

1.- RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA (Ensayo de Carga Puntual)						50.0 Mpa
Rango de valores	> 250	100 - 250	50 - 100	25 - 50	5 - 25	1 - 5
Puntaje	15	12	7	4	2	0
Valoración :						4
2.- VALOR DE ROD (Rock Quality Index)						35 %
Rango de valores	90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25	
Puntaje	20	17	13	5	3	
Valoración :						5
3.- ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES						0.30 m
Rango de valores	> 2	0.6 - 2	0.2 - 0.6	0.06 - 0.2	< 0.06	
Puntaje	20	15	10	5	5	
Valoración :						9
4.- CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES						
Persistencia de las discontinuidades						1 m
Rango de valores	< 1	1 - 3	3 - 10	10 - 20	> 20	
Puntaje	6	4	2	1	0	
Valoración :						4
Separación (apertura)						10 mm
Rango de valores	Ninguno	< 0.1	0.1 - 1.0	1 - 5	> 5	
Puntaje	6	5	4	1	0	
Valoración :						0
Rugosidad						R
Condición	Muy rugosa VR	Rugosa R	Ligeramente rugosa SR	Lisa L	Superficie pulida SK	
Puntaje	6	5	3	1	0	
Valoración :						5
Relleno						10 mm
Rango de valores	Ninguno	Duro < 5	Duro > 5	Blando < 5	Blando > 5	
Puntaje	6	4	2	2	0	
Marque con X el tipo de relleno : Blando : <input checked="" type="checkbox"/> Duro : <input type="checkbox"/>						0
Meteorización						HW
Condición	No Intemperizada UW	Ligeramente Intemperizada SW	Moderadamente Intemperizada MW	Altamente Intemperizada HW	Completamente Intemperizada CW	
Puntaje	6	5	3	1	0	
Valoración :						1
5.- CONDICIONES GENERALES DEL AGUA SUBTERRANEA						DM
Condición	Completamente seca CD	Húmeda DM	Mojada WT	Goteo DP	Flujo FW	
Puntaje	15	10	7	4	0	
Valoración :						10
6.- AJUSTE POR ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES						FR
Orientaciones del rumbo y buzamiento	Muy Favorable VF	Favorable FV	Regular FR	Desfavorable UF	Muy desfavorable VU	
Puntaje según el tipo de trabajo	Túneles y minas (T)	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones (F)	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes (S)	0	-3	-25	-50	-60
Indique el tipo de trabajo : <input checked="" type="checkbox"/> F						-7

VALOR DE RMR	
RMR Básico	38
RMR Ajustado	31
RMR89 (condiciones secas y muy favorables)	43
Cohesión (c)	190 KPa
Angulo de fricción interna (°)	24°

*Cálculo de la cohesión y ángulo de fricción establecidos por Bieniawski 1976
Cohesión (c)= 5*RMR básico Angulo de fricción (°) = 5 +(RMR básico/2)

INFORME DE ENSAYO - CLASIFICACIÓN DE SUELOS

ENSAYOS ESTÁNDAR DE CLASIFICACIÓN
(ASTM D2216, ASTM D6913, ASTM D4318, ASTM D2487)

PROYECTO : ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, DIAGNÓSTICO, SOLUCIÓN - NAVE INDUSTRIAL NITRATOS
CLIENTE : Cesel S.A.
SOLICITANTE : Ing. John Elvis Gómez Pumaleque
UBICACIÓN : U. M. Crespo, Distrito de Santo Tomás, Provincia de Chumbivilcas, Departamento del Cusco
Fecha de emisión: 18/05/2025
Fecha de recepción: 11/05/2025

DATOS DE LA MUESTRA

Zona / Sector : ---
Sondaje : C - 4
Muestra : M - 1
Profundidad (m) : 0.00 - 3.00
Tipo de Material: Suelo
Condición de la muestra: Disturbada

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO, ASTM - D 6913-17

PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	Malla		% que pasa
	Nº	Abertura (mm)	
	3 in.	75.000	100.0
	2 in.	50.000	100.0
	1 1/2 in.	37.500	97.9
	1 in.	25.000	94.5
	3/4 in.	19.000	91.0
	3/8 in.	9.500	50.3
	Nº 4	4.750	59.7
	Nº 10	2.000	46.5
	Nº 20	0.850	37.6
	Nº 40	0.425	32.5
	Nº 60	0.250	29.5
	Nº 140	0.106	25.2
	Nº 200	0.075	23.5

Contenido de Humedad, ASTM - D 2216-19

Contenido de Humedad (%)	---
--------------------------	-----

Limites de Consistencia, ASTM - D 4318

Límite Líquido (LL) (%)	NP
Límite Plástico (LP) (%)	NP
Índice Plástico (IP) (%)	NP



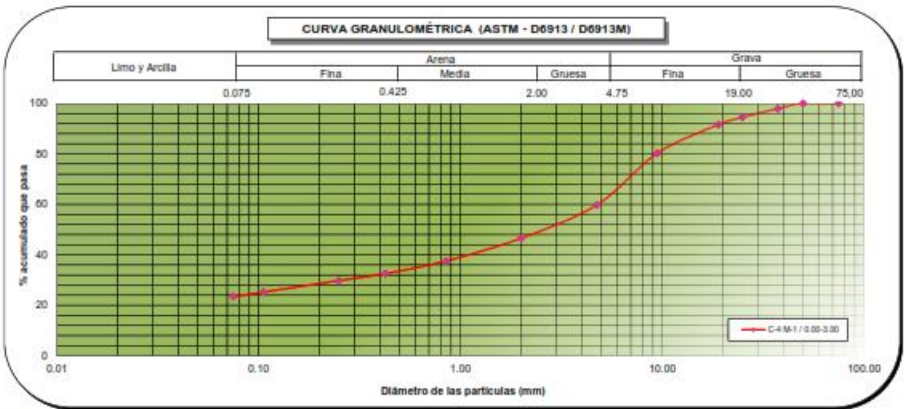
Distribución Granulométrica

% Grava	GG%	GF%	AG%	% Arena	AM%	AF%	% Finos
	0.4	31.9	13.2		14.0	9.0	23.5

Clasificación ASTM - D 2487

Clasificación (SUCS)	GM
Nombre de Grupo (SUCS)	
Grava limosa con arena	

Porcentaje retenido en la 3 pulg (%)	0
Coefficiente de Curvatura (CC)	---
Coefficiente de Uniformidad (CU)	---



Observaciones : ---
Referencias : ASTM D2216-19 Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass
 ASTM D6913 / D6913M Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gratation) of Soils Using Sieve Analysis
 ASTM D4318-17e1 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils
 ASTM D2487 - 17e1 Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)

El muestreo y la entrega de la muestra en las instalaciones del laboratorio de GMG S.A.C. son responsabilidad del solicitante. Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante. Los resultados reportados en el presente informe de ensayo son aplicables a la muestra de acuerdo a las condiciones en que se recibió. Prohibida la reproducción total o parcial, excepto con la autorización previa y por escrito de GMG S.A.C.



Cód.: LG-E1-FO-01
 Ver.00
 Fecha: 24/02/2020

GMG S.A.C. Laboratorio Geotécnico y de Concreto
 Av. Santa Rosa, Mz. E LL 13 - SMP - Lima - Perú
 Telf.: (01) 6206901 / 969025105
 E-mail: info@gmgingenieros.com / www.gmgingenieros.com

Carlos Enrique Tito Silva
CARLOS ENRIQUE TITO SILVA
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP Nº 76173

INFORME DE ENSAYO - CLASIFICACIÓN DE SUELOS

**ENSAYOS ESTÁNDAR DE CLASIFICACIÓN
(ASTM D2216, ASTM D6913, ASTM D4318, ASTM D2487)**

PROYECTO : ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, DIAGNÓSTICO, SOLUCIÓN - NAVE INDUSTRIAL NITRATOS
CLIENTE : Cesel S.A.
SOLICITANTE : Ing. John Elvis Gómez Pumaleque
UBICACIÓN : U. M. Crespo, Distrito de Santo Tomás, Provincia de Chumbivilcas, Departamento del Cusco

Fecha de emisión: 18/06/2025
Fecha de recepción: 11/06/2025

DATOS DE LA MUESTRA

Zona / Sector : ---
Sondaje : C - 3
Muestra : M - 1
Profundidad (m) : 0.30 - 2.00

Tipo de Materia: Suelo
Condición de la muestra: Disturbada

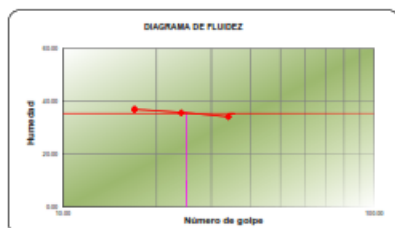
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO, ASTM - D 6913-17			
Malla	Malla		% que pasa
	Nº	Abertura (mm)	
3 in.	75.000	100.0	
2 in.	50.000	96.4	
1 1/2 in.	37.500	55.9	
1 in.	25.000	52.4	
3/4 in.	19.000	76.9	
3/8 in.	9.500	50.6	
Nº 4	4.750	42.4	
Nº 10	2.000	31.4	
Nº 20	0.850	23.5	
Nº 40	0.425	19.6	
Nº 60	0.250	17.4	
Nº 140	0.106	14.4	
Nº 200	0.075	13.5	

Distribución Granulométrica			
% Grava	GG%	23.1	57.6
	GF%	34.5	
	AG%	11.9	
% Arena	AM%	25.9	25.9
	AF%	6.1	
	AP%	6.1	
% Finos		13.5	

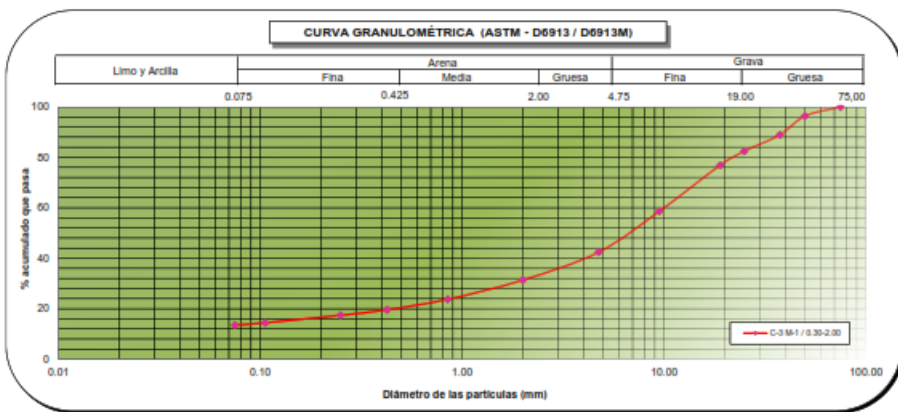
Porcentaje retenido en la 3 pulg (%)	0
Coefficiente de Curvatura (CC)	---
Coefficiente de Uniformidad (CU)	---

Contenido de Humedad, ASTM - D 2216-19	
Contenido de Humedad (%)	---

Límites de Consistencia, ASTM - D 4318	
Límite Líquido (LL) (%)	35
Límite Plástico (LP) (%)	27
Índice Plástico (IP) (%)	8



Clasificación ASTM - D 2487	
Clasificación (SUCS)	GM
Nombre de Grupo (SUCS)	
Grava limosa con arena	



Observaciones : ---

Referencias : ASTM D2216-19 Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass
 ASTM D6913 / D6913M Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis
 ASTM D4318-17e1 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils
 ASTM D2487 - 17e1 Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)

El muestreo y la entrega de la muestra en las instalaciones del laboratorio de GMIG S.A.C son responsabilidad del solicitante.
 Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.
 Los resultados reportados en el presente informe de ensayo son aplicables a la muestra de acuerdo a las condiciones en que se recibió.
 Prohibido la reproducción total o parcial, excepto con la autorización previa y por escrito de GMIG S.A.C.



Cód.: LG-E1-FO-01
 Ver.: 00
 Fecha: 24/02/2020

GMIG S.A.C. Laboratorio Geotécnico y de Concreto
 Av. Santa Rosa, Mz. E LL 13 - SMP - Lima - Perú
 Telf.: (01) 6206951 / 969625105
 E-mail: info@gmigingenieros.com / www.gmigingenieros.com

Carlos Enrique Tito Silva
CARLOS ENRIQUE TITO SILVA
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 76173

Pág. 1/1

INFORME DE ENSAYO - CLASIFICACIÓN DE SUELOS

**ENSAYOS ESTÁNDAR DE CLASIFICACIÓN
(ASTM D2216, ASTM D6913, ASTM D4318, ASTM D2487)**

PROYECTO : ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, DIAGNÓSTICO, SOLUCIÓN - NAVE INDUSTRIAL NITRATOS
CLIENTE : Cesel S.A.
SOLICITANTE : Ing. John Elvis Gómez Pumaleque
UBICACIÓN : U. M. Crespo, Distrito de Santo Tomás, Provincia de Chumbivilcas, Departamento del Cusco

Fecha de emisión: 18/06/2025
Fecha de recepción: 11/06/2025

DATOS DE LA MUESTRA

Zona / Sector : ---
Sondaje : C - 2
Muestra : M - 1
Profundidad (m) : 0.30 - 2.20

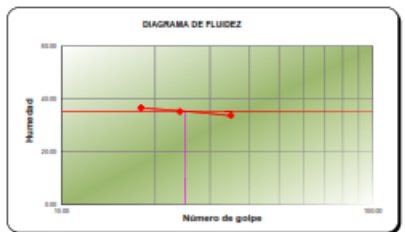
Tipo de Material: Suelo
Condición de la muestra: Disturbada

PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	Malla		% que pasa
	Nº	Abertura (mm)	
	3 in.	75.000	100.0
	2 in.	50.000	93.3
	1 1/2 in.	37.500	91.7
	1 in.	25.000	83.0
	3/4 in.	19.000	79.5
	3/8 in.	9.500	64.2
	Nº 4	4.750	50.0
	Nº 10	2.000	39.3
	Nº 20	0.850	30.2
	Nº 40	0.425	24.6
	Nº 60	0.250	21.6
	Nº 140	0.106	17.7
	Nº 200	0.075	16.6

Contenido de Humedad (%)	---
--------------------------	-----

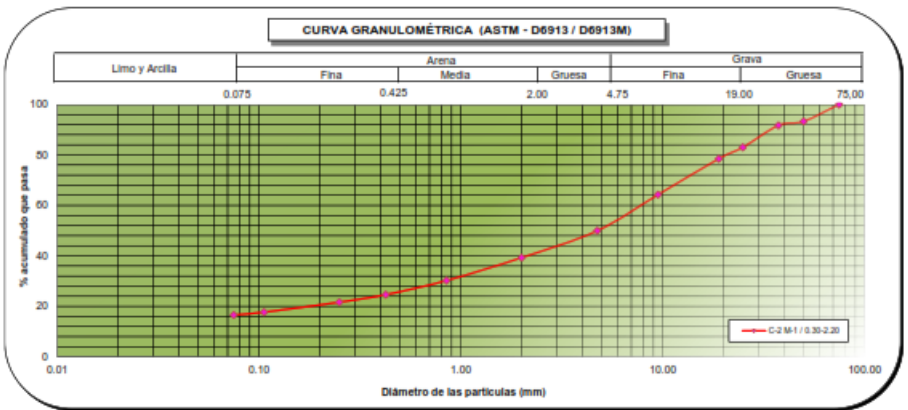
Límite Líquido (LL) (%)	35
Límite Plástico (LP) (%)	27
Índice Plástico (IP) (%)	8

	GG%	GF%	AG%	AM%	AF%	
% Grava	21.5	25.5	10.7			50.0
% Arena			14.7	5.0		33.4
% Finos						16.6



Porcentaje retenido en la 3 pulg (%)	0
Coefficiente de Curvatura (CC)	---
Coefficiente de Uniformidad (CU)	---

Clasificación (SUCS)	GM
Nombre de Grupo (SUCS)	
Grava limosa con arena	



Observaciones : ---

Referencias : ASTM D2216-19 Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass
 ASTM D6913 / D6913M Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis
 ASTM D4318-17e1 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils
 ASTM D2487 - 17e1 Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)

El muestreo y la entrega de la muestra en las instalaciones del laboratorio de GMG S.A.C son responsabilidad del solicitante.
 Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.
 Los resultados reportados en el presente informe de ensayo son aplicables a la muestra de acuerdo a las condiciones en que se recibió.
 Prohibido la reproducción total o parcial, excepto con la autorización previa y por escrito de GMG S.A.C.



Cód.: LG-E1-FO-01
 Ver.: 00
 Fecha: 24/02/2020

GMG S.A.C. Laboratorio Geotécnico y de Concreto
 Av. Santa Rosa, Mz. E.L. 13 - SMP - Lima - Perú
 Tel.: (01) 6206901 / 969025105
 E-mail: info@gmgingenieros.com / www.gmgingenieros.com

Carlos Enrique Tito Silva
CARLOS ENRIQUE TITO SILVA
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 76173

INFORME DE ENSAYO - CLASIFICACIÓN DE SUELOS

**ENSAYOS ESTÁNDAR DE CLASIFICACIÓN
(ASTM D2216, ASTM D6913, ASTM D4318, ASTM D2487)**

PROYECTO : ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, DIAGNÓSTICO, SOLUCIÓN - NAVE INDUSTRIAL NITRATOS
CLIENTE : Cesel S.A.
SOLICITANTE : Ing. John Elvis Gómez Pumaleque
UBICACIÓN : U. M. Crespo, Distrito de Santo Tomás, Provincia de Chumbivilcas, Departamento del Cusco
Fecha de emisión: 18/06/2020
Fecha de recepción: 11/06/2020

DATOS DE LA MUESTRA

Zona / Sector : --
Sondaje : C - 1
Muestra : M - 1
Profundidad (m) : 0.30 - 2.00
Tipo de Materia: Suelo
Condición de la muestra: Disturbada

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO, ASTM - D 6913-17			
PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	Malla		% que pasa
	Nº	Abertura (mm)	
	3 in.	75.000	100.0
	2 in.	50.000	100.0
	1 1/2 in.	37.500	98.9
	1 in.	25.000	96.2
	3/4 in.	19.000	93.3
	3/8 in.	9.500	74.6
	Nº 4	4.750	54.7
	Nº 10	2.000	40.0
	Nº 20	0.850	30.0
	Nº 40	0.425	24.3
	Nº 60	0.250	21.3
	Nº 140	0.106	17.2
	Nº 200	0.075	15.9

Distribución Granulométrica			
% Grava	GG%	6.7	45.3
	GF%	38.6	
% Arena	AG%	14.7	35.8
	AM%	19.7	
% Finos		5.4	
		15.9	

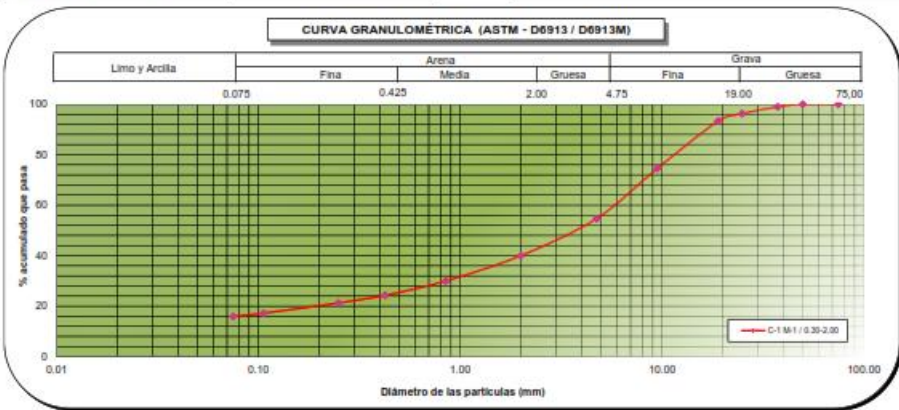
Porcentaje retenido en la 3 pulg (%)	0
Coefficiente de Curvatura (CC)	---
Coefficiente de Uniformidad (CU)	---

Contenido de Humedad, ASTM - D 2216-19	
Contenido de Humedad (%)	---

Límites de Consistencia, ASTM - D 4318	
Límite Líquido (LL) (%)	31
Límite Plástico (LP) (%)	25
Índice Plástico (IP) (%)	3



Clasificación ASTM - D 2487	
Clasificación (SUCS)	GM
Nombre de Grupo (SUCS)	
Grava limosa con arena	



Observaciones : --

Referencias : ASTM D2216-19 Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass
 ASTM D6913 / D6913M Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis
 ASTM D4318-17e1 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils
 ASTM D2487 - 17e1 Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)

El muestreo y la entrega de la muestra en las instalaciones del laboratorio de GMG S.A.C son responsabilidad del solicitante
 Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante
 Los resultados reportados en el presente informe de ensayo son aplicables a la muestra de acuerdo a las condiciones en que se recibió
 Prohibido la reproducción total o parcial, excepto con la autorización previa y por escrito de GMG S.A.C.



GMG S.A.C. Laboratorio Geotécnico y de Concreto
 Av. Santa Rosa, Mz. E L1 13 - SMP - Lima - Perú
 Telf.: (01) 6206981 / 989623105
 E-mail: info@gmgingenieros.com / www.gmgingenieros.com

Carlos Enrique Tito Silva
CARLOS ENRIQUE TITO SILVA
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 76173



LABORATORIO GEOTÉCNICO Y DE CONCRETO

INFORME DE ENSAYO

**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD
(ASTM D 2216-19)**

Proyecto : ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, DIAGNÓSTICO, SOLUCIÓN - NAVE INDUSTRIAL NITRATOS

Cliente : Cesei S.A.

Solicitante : Ing. John Elvis Gómez Pumaleque

Ubicación : U. M. Crespo, Distrito de Santo Tomás, Provincia de Chumbivilcas, Departamento del Cusco

Fecha de emisión: 10/06/2025

Fecha de recepción: 11/06/2025

DATOS DE LA MUESTRA

Zona / Sector : ---

Coordenadas : ---

Sondeo : C - 1

Muestra : M - 1

Profundidad (mts.) : 0.30 - 2.00

Tipo de Material: Suelo

Condición de la muestra: Disturbada

Temperatura de secado: 110°C

CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D 2216-19)	
Método del ensayo	"A"
Tamaño Máximo (visual)	---
Masa de recipiente con muestra húmeda (g)	8752.00
Masa de recipiente con muestra seca (g)	7417.00
Masa de recipiente (g)	1430.00
Masa del agua (g)	1335.00
Masa de la muestra seca (g)	5957.00
Contenido de humedad (%)	22

Observación : El peso de la muestra cumple con lo especificado en la Norma

Referencias : ASTM D2216-19 Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass

El muestreo y la entrega de la muestra en las instalaciones del laboratorio de GMIG S.A.C son responsabilidad del solicitante
 Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante
 Los resultados reportados en el presente informe de ensayo son aplicables a la muestra de acuerdo a las condiciones en que se recibió
 Prohibido la reproducción total o parcial, excepto con la autorización previa y por escrito de GMIG S.A.C.



Carlos Enrique Tito Silva
CARLOS ENRIQUE TITO SILVA
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 76173



LABORATORIO GEOTÉCNICO Y DE CONCRETO

INFORME DE ENSAYO

**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD
(ASTM D 2216-19)**

Proyecto : ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, DIAGNÓSTICO, SOLUCIÓN - NAVE INDUSTRIAL NITRATOS
Cliente : Cesel S.A.
Solicitante : Ing. John Elvis Gómez Pumaleque
Ubicación : U. M. Crespo, Distrito de Santo Tomás, Provincia de Chumbivilcas, Departamento del Cusco
Fecha de emisión: 10/06/2025
Fecha de recepción: 11/06/2025

DATOS DE LA MUESTRA

Zona / Sector : ---
Coordenadas : ---
Sondeo : C - 2
Muestra : M - 1
Profundidad (mts.) : 0.30 - 2.20
Tipo de Material: Suelo
Condición de la muestra: Disturbada

Temperatura de secado: 110°C

CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D 2216-19)	
Método del ensayo	"A"
Tamaño Máximo (visual)	---
Masa de recipiente con muestra húmeda (g)	10785.00
Masa de recipiente con muestra seca (g)	8961.00
Masa de recipiente (g)	1127.00
Masa del agua (g)	1824.00
Masa de la muestra seca (g)	7834.00
Contenido de humedad (%)	23

Observación : El peso de la muestra cumple con lo especificado en la Norma

Referencias : ASTM D2216-1 Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass

El muestreo y la entrega de la muestra en las instalaciones del laboratorio de GMIG S.A.C son responsabilidad del solicitante
 Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante
 Los resultados reportados en el presente informe de ensayo son aplicables a la muestra de acuerdo a las condiciones en que se recibió
 Prohibido la reproducción total o parcial, excepto con la autorización previa y por escrito de GMIG S.A.C.




CARLOS ENRIQUE TITO SILVA
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 76173



LABORATORIO GEOTÉCNICO Y DE CONCRETO

INFORME DE ENSAYO

**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD
(ASTM D 2216-19)**

Proyecto : ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, DIAGNÓSTICO, SOLUCIÓN - NAVE INDUSTRIAL NITRATOS

Cliente : Cesel S.A.

Solicitante : Ing. John Elvis Gómez Pumaleque

Ubicación : U. M. Crespo, Distrito de Santo Tomás, Provincia de Chumbivilcas, Departamento del Cusco

Fecha de emisión: 15/06/2025

Fecha de recepción: 11/06/2025

DATOS DE LA MUESTRA

Zona / Sector : ---

Coordenadas : ---

Sondeo : C - 3

Muestra : M - 1

Profundidad (mts.) : 0.30 - 2.00

Tipo de Material: Suelo

Condición de la muestra: Disturbada

Temperatura de secado: 110°C

CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D 2216-19)		
Método del ensayo		"A"
Tamaño Máximo (visual)		---
Masa de recipiente con muestra húmeda (g)		10120.00
Masa de recipiente con muestra seca (g)		8517.00
Masa de recipiente (g)		1055.00
Masa del agua (g)		1603.00
Masa de la muestra seca (g)		7462.00
Contenido de humedad (%)		21

Observación : El peso de la muestra cumple con lo especificado en la Norma

Referencias : ASTM D2216-1 Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass

El muestreo y la entrega de la muestra en las instalaciones del laboratorio de GMIG SAC son responsabilidad del solicitante
 Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante
 Los resultados reportados en el presente Informe de ensayo son aplicables a la muestra de acuerdo a las condiciones en que se recibió
 Prohibido la reproducción total o parcial, excepto con la autorización previa y por escrito de GMIG S.A.C.



Carlos Enrique Tito Silva

CARLOS ENRIQUE TITO SILVA
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 76173

INFORME DE ENSAYO

**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD
(ASTM D 2216-19)**

Proyecto : ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, DIAGNÓSTICO, SOLUCIÓN - NAVE INDUSTRIAL NITRATOS

Ciente : Cesel S.A.

Solicitante : Ing. John Elvis Gómez Pumaleque

Ubicación : U. M. Crespo, Distrito de Santo Tomás, Provincia de Chumbivilcas, Departamento del Cusco

Fecha de emisión: 15/05/2025

Fecha de recepción: 11/05/2025

DATOS DE LA MUESTRA

Zona / Sector : ---

Coordenadas : ---

Sondeo : C - 4

Muestra : M - 1

Profundidad (mts.) : 0.00 - 3.00

Tipo de Material: Suelo

Condición de la muestra: Disturbada

Temperatura de secado: 110°C

CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D 2216-19)		
Método del ensayo		"A"
Tamaño Máximo (visual)		---
Masa de recipiente con muestra húmeda (g)		8014.00
Masa de recipiente con muestra seca (g)		6786.00
Masa de recipiente (g)		962.00
Masa del agua (g)		1225.00
Masa de la muestra seca (g)		5524.00
Contenido de humedad (%)		21

Observación : El peso de la muestra cumple con lo especificado en la Norma

Referencias : ASTM D2216-1 Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass

El muestreo y la entrega de la muestra en las instalaciones del laboratorio de GMIG S.A.C son responsabilidad del solicitante
 Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante
 Los resultados reportados en el presente informe de ensayo son aplicables a la muestra de acuerdo a las condiciones en que se recibió
 Prohibido la reproducción total o parcial, excepto con la autorización previa y por escrito de GMIG S.A.C.




CARLOS ENRIQUE TITO SILVA
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 76173



LABORATORIO GEOTÉCNICO Y DE CONCRETO

DENSIDAD MÁXIMA, DENSIDAD MÍNIMA
ASTM D 4253, D 4254 / NTP 339.137, 339.138

Proyecto: ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, DIAGNÓSTICO, SOLUCIÓN - NAVE INDUSTRIAL NITRATOS

Ciente: Cesel S.A.

Solicitante: Ing. John Elvis Gómez Pumaleque

Fecha de emisión: 15/06/2025

Ubicación: U. M. Crespo, Distrito de Santo Tomás, Provincia de Chumbivilcas, Departamento del Cusco

Fecha de recepción: 11/06/2025

Zona / Sector : ---
Sondaje : C - 2
Muestra : M - 1
Prof. (m) : 0.30 - 2.20

DETERMINACION DE LA DENSIDAD MÁXIMA

Especímenes	1	2	3	4
Método	1A	1A	1A	
Peso molde + muestra (g)	24563	24354	24435	
Peso del molde (g)	5996	5996	5996	
Peso de la muestra (g)	18567	18358	18439	
Volumen del molde (cm ³)	14200	14200	14200	
Índice de densidad (g/cm ³)	1.310	1.290	1.300	
Índice de densidad máx. promedio (g/cm ³)	1.300			
Índice máx. de peso unitario (kN/m ³)	12.74			
				Desv. Est: 0.01

DETERMINACION DE LA DENSIDAD MÍNIMA

Especímenes	1	2	3	4
Método	A	A	A	
Peso del molde + muestra (g)	21976	22273	22164	
Peso del molde (g)	5996	5996	5996	
Peso de la muestra (g)	15980	16277	16168	
Volumen del molde (cm ³)	14200	14200	14200	
Densidad (g/cm ³)	1.130	1.150	1.140	
Índice de densidad mín. promedio (g/cm ³)	1.140			
Índice mín. de peso unitario (kN/m ³)	11.17			
				Desv. Est: 0.01

Observaciones : ---




 CARLOS ENRIQUE TITO SILVA
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 76173

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO
ASTM - D 3080 / NTP 339.171**

PROYECTO	:	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, DIAGNÓSTICO, SOLUCIÓN - NAVE INDUSTRIAL NITRATOS			
CLIENTE	:	Cesel S.A.			
SOLICITANTE	:	Ing. John Elvis Gómez Pumaleque			
UBICACIÓN	:	U. M. Crespo, Distrito de Santo Tomás, Provincia de Chumbivilcas, Departamento del Cusco			
Zona / Sector	:	---	Fecha de emisión :	10/06/2025	
Sondeo	:	C - 3	Fecha de recepción :	11/06/2025	
Muestra	:	M - 1			
Profundidad (m)	:	0.30 - 2.00	Clasificación SUCS	GM	
Tipo de ensayo	:	CONSOLIDADO DRENADO - CD			
Diámetro	:	6.26 cm	Peso Suelo Seco	79.50 g	
Altura	:	2.10 cm	Contenido Humedad	21.00 %	
Área	:	30.78 cm ²	Densidad Húmeda	1.49 g/cm ³	
Volumen	:	64.63 cm ³	Densidad Seca	1.23 g/cm ³	
Estado	:	Remoldeado (Material < Tamiz N°4).		Velocidad de ensayo	0.50 mm/min

Nro.	Deform. Hz. (día)	Deformación Tangencial (%)	I (0.50 kg/cm ²)		II (1.00 kg/cm ²)		III (2.00 kg/cm ²)	
			Lectura de dial de carga	Esfuerzo Cortante (Kg/cm ²)	Lectura de dial de carga	Esfuerzo Cortante (Kg/cm ²)	Lectura de dial de carga	Esfuerzo Cortante (Kg/cm ²)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	5	0.05	10.90	0.05	19.50	0.09	48.80	0.22
3	10	0.10	16.30	0.07	29.10	0.13	82.60	0.37
4	25	0.25	21.50	0.10	38.50	0.17	107.30	0.49
5	50	0.50	26.90	0.12	48.10	0.22	122.80	0.56
6	75	0.75	33.30	0.15	61.10	0.28	130.50	0.59
7	100	1.00	42.90	0.20	67.50	0.31	138.30	0.63
8	125	1.25	46.30	0.21	79.40	0.36	145.10	0.67
9	150	1.50	49.60	0.23	87.20	0.40	154.70	0.71
10	200	2.00	52.90	0.24	94.80	0.44	163.30	0.76
11	250	2.50	55.70	0.26	97.90	0.46	178.00	0.83
12	300	3.00	58.70	0.28	102.40	0.48	186.60	0.87
13	350	3.50	60.80	0.29	106.00	0.50	195.70	0.92
14	400	4.00	61.60	0.29	108.90	0.52	204.20	0.97
15	450	4.50	62.10	0.30	111.50	0.53	209.20	1.00
16	500	5.00	63.40	0.30	113.30	0.54	211.70	1.02
17	600	6.00	60.70	0.30	108.90	0.53	206.70	1.01
18	700	7.00	56.10	0.28	106.10	0.52	199.80	0.99
19	800	8.00	52.90	0.26	103.70	0.52	195.20	0.98
20	900	9.00	52.30	0.27	100.30	0.51	191.80	0.97
21	1000	10.00	50.60	0.26	95.50	0.49	184.50	0.95
22	1100	11.00	49.20	0.26	91.70	0.48	181.50	0.95
23	1200	12.00	47.50	0.25	86.30	0.46	179.00	0.95
24	1300	13.00	45.90	0.25	83.90	0.45	173.60	0.93
25	1400	14.00	45.00	0.25	80.60	0.44	170.30	0.93
26	1500	15.00	42.10	0.23	78.50	0.43	166.90	0.92

Carga Normal	:	15.5 Kg	30.8 Kg	61.5 Kg
Constante del Anillo	:	0.139		
ESFUERZOS	:			
Esfuerzo Normal	:	0.50 Kg/cm ²	1.00 Kg/cm ²	2.00 Kg/cm ²
Esfuerzo Cortante	:	0.30 Kg/cm ²	0.54 Kg/cm ²	1.02 Kg/cm ²
RESULTADOS	:			
Ángulo de Fricción Interna	:	25.4 Grados		
Cohesión	:	0.07 kg/cm ²		

Observaciones : ---

Los especímenes se remoldearon con la densidad húmeda del suelo 1.49 g/cm³. Datos de remoldeo proporcionados por el solicitante.



LG-E2-FO-03
0
i: 24/02/2020

GMIG S.A.C. Laboratorio Geotécnico y de Concreto
Av. Santa Rosa, Mz. E.L. 13 - SMP - Lima - Perú
Telf.: (01) 6206951 / 969625105
E-mail: info@gmigingenieros.com / www.gmigingenieros.com


CARLOS ENRIQUE TITO SILVA
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 76173

Pág. 1/2



**ENSAYO DE CORTE DIRECTO
ASTM - D 3080 / NTP 339.171**

PROYECTO : ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, DIAGNÓSTICO, SOLUCIÓN - NAVE INDUSTRIAL NITRATOS
 CLIENTE : Cesef S.A.
 SOLICITANTE : Ing. John Elvis Gómez Pumaleque
 UBICACIÓN : U. M. Crespo, Distrito de Santo Tomás, Provincia de Chumbivilcas, Departamento del Cusco

Zona / Sector : -- Fecha de emisión : 15/06/2025
 Sondeo : C - 3 Fecha de recepción : 11/06/2025
 Muestra : M - 1
 Profundidad (m) : 0.30 - 2.00 Clasificación SUCS : GM

GRÁFICO DE CURVA DEFORMACIÓN TANGENCIAL vs ESFUERZO DE CORTE

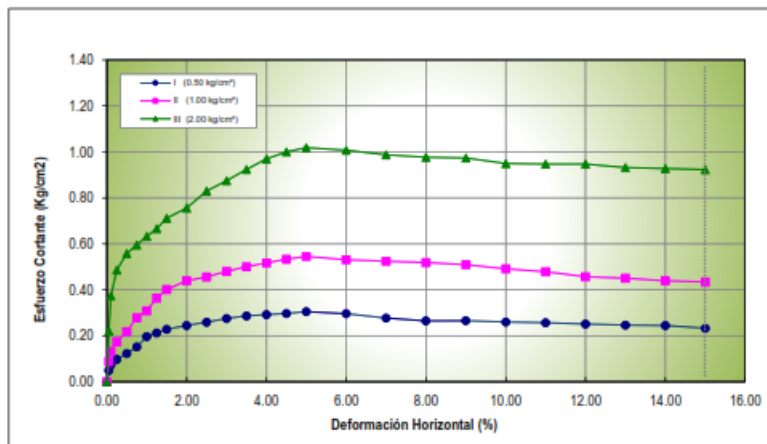
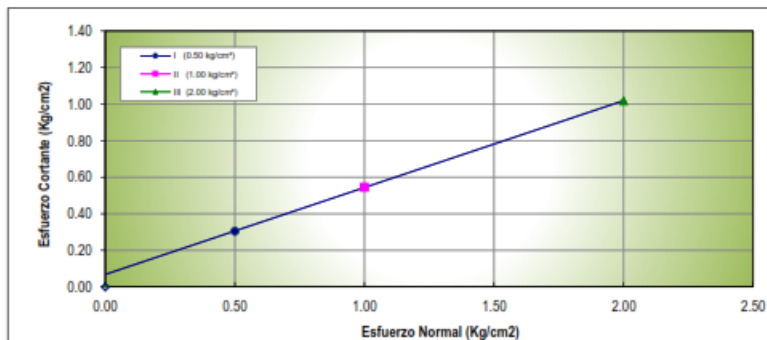


GRÁFICO DE CURVA ESFUERZO NORMAL vs ESFUERZO DE CORTE



RESULTADOS
 Ángulo de Fricción Interna : 25.4 Grados
 Cohesión : 0.07 kg/cm²

Observaciones : --
 Los especímenes se remoldearon con la densidad húmeda del suelo 1.49 g/cm3. Datos de remoldeo proporcionados por el solicitante.

Cód.: LG-E2-FO-03
 Ver.:00
 Fecha: 24/02/2020



GMIG S.A.C. Laboratorio Geotécnico y de Concreto
 Av. Santa Rosa, Mz. E L1. 13 - SMP - Lima - Perú
 Telf.: (01) 6206981 / 969625105
 E-mail: info@gmigingenieros.com / www.gmigingenieros.com

Carlos Enrique Tito Silva
CARLOS ENRIQUE TITO SILVA
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 76173

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO
ASTM - D 3080 / NTP 339.171**

PROYECTO : ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, DIAGNÓSTICO, SOLUCIÓN - NAVE INDUSTRIAL NITRATOS
 CLIENTE : Cesel S.A.
 SOLICITANTE : Ing. John Elvis Gómez Pumaleque
 UBICACIÓN : U. M. Crespo, Distrito de Santo Tomás, Provincia de Chumbivilcas, Departamento del Cusco

Zona / Sector : --- Fecha de emisión : 10/06/2025
 Sondeo : C - 4 Fecha de recepción : 11/06/2025
 Muestra : M - 1
 Profundidad (m) : 0.00 - 3.00 Clasificación SUCS : GM
 Tipo de ensayo : CONSOLIDADO DRENADO - CD
 Diámetro : 6.26 cm Peso Suelo Seco : 96.30 g
 Altura : 2.10 cm Contenido Humedad : 21.00 %
 Área : 30.78 cm² Densidad Húmeda : 1.80 g/cm³
 Volumen : 64.63 cm³ Densidad Seca : 1.49 g/cm³
 Estado : Remoldeado (Material <Tamiz N°4). Velocidad de ensayo : 0.50 mm/min

Nro.	Deform Hz. (dial)	Deformación Tangencial (%)	I (0.50 kg/cm ²)		II (1.00 kg/cm ²)		III (2.00 kg/cm ²)	
			Lectura de dial de carga	Esfuerzo Cortante (Kg/cm ²)	Lectura de dial de carga	Esfuerzo Cortante (Kg/cm ²)	Lectura de dial de carga	Esfuerzo Cortante (Kg/cm ²)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	5	0.05	8.00	0.04	12.30	0.06	32.70	0.15
3	10	0.10	11.20	0.05	29.70	0.13	62.40	0.28
4	25	0.25	18.30	0.08	39.30	0.18	96.30	0.44
5	50	0.50	22.40	0.10	49.10	0.22	122.80	0.56
6	75	0.75	30.60	0.14	62.30	0.28	141.10	0.64
7	100	1.00	38.50	0.18	72.30	0.33	149.60	0.68
8	125	1.25	42.50	0.19	81.00	0.37	157.00	0.72
9	150	1.50	45.50	0.21	88.90	0.41	167.30	0.77
10	200	2.00	48.50	0.22	96.70	0.45	176.60	0.82
11	250	2.50	51.10	0.24	99.90	0.47	192.50	0.90
12	300	3.00	53.90	0.25	104.50	0.49	201.80	0.95
13	350	3.50	55.80	0.26	108.20	0.51	211.70	1.00
14	400	4.00	56.60	0.27	111.10	0.53	220.80	1.05
15	450	4.50	57.00	0.27	113.70	0.54	226.20	1.08
16	500	5.00	58.20	0.28	115.60	0.56	228.90	1.10
17	600	6.00	55.70	0.27	111.10	0.54	223.60	1.09
18	700	7.00	51.50	0.25	108.30	0.53	216.10	1.07
19	800	8.00	48.50	0.24	105.80	0.53	211.10	1.06
20	900	9.00	48.00	0.24	102.30	0.52	207.50	1.05
21	1000	10.00	47.20	0.24	99.50	0.51	199.60	1.03
22	1100	11.00	46.50	0.24	93.50	0.49	196.30	1.02
23	1200	12.00	44.30	0.23	88.00	0.47	193.50	1.02
24	1300	13.00	43.20	0.23	85.60	0.46	187.70	1.01
25	1400	14.00	42.10	0.23	82.30	0.45	184.10	1.00
26	1500	15.00	39.70	0.22	80.10	0.44	180.50	1.00

Carga Normal : 15.5 Kg 30.8 Kg 61.5 Kg
 Constante del Anillo : 0.139

ESFUERZOS
 Esfuerzo Normal : 0.50 Kg/cm² 1.00 Kg/cm² 2.00 Kg/cm²
 Esfuerzo Cortante : 0.28 Kg/cm² 0.56 Kg/cm² 1.10 Kg/cm²

RESULTADOS
 Ángulo de Fricción Interna : 28.7 Grados
 Cohesión : 0.01 kg/cm²

Observaciones :

Los especímenes se remoldearon con la densidad húmeda del suelo 1.50 g/cm³. Datos de remoldeo proporcionados por el solicitante.



**ENSAYO DE CORTE DIRECTO
ASTM - D 3080 / NTP 339.171**

PROYECTO : ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, DIAGNÓSTICO, SOLUCIÓN - NAVE INDUSTRIAL NITRATOS
CLIENTE : Cesel S.A.
SOLICITANTE : Ing. John Elvis Gómez Pumaleque
UBICACIÓN : U. M. Crespo, Distrito de Santo Tomás, Provincia de Chumbivilcas, Departamento del Cusco

Zona / Sector : --- **Fecha de emisión** : 15/06/2025
Sondeo : C - 4 **Fecha de recepción** : 11/06/2025
Muestra : M - 1
Profundidad (m) : 0.00 - 3.00 **Clasificación SUCS** : GM

GRÁFICO DE CURVA DEFORMACIÓN TANGENCIAL vs ESFUERZO DE CORTE

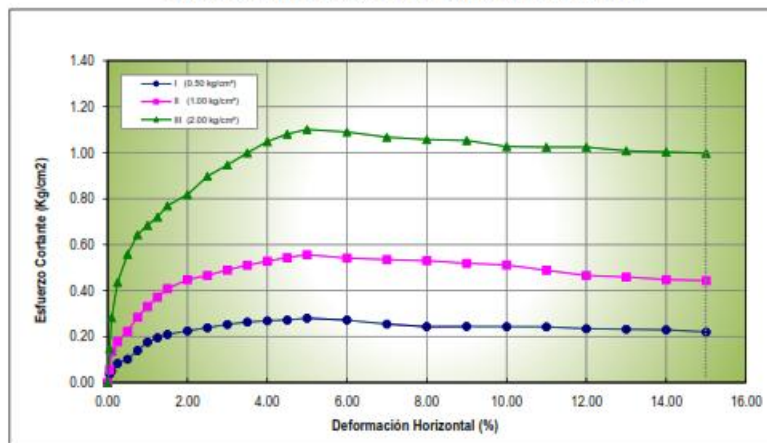
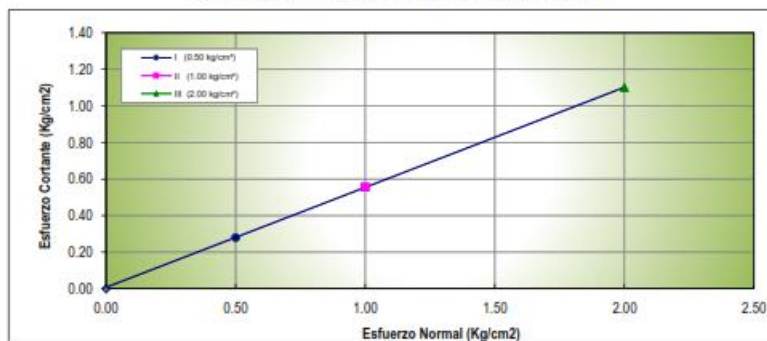


GRÁFICO DE CURVA ESFUERZO NORMAL vs ESFUERZO DE CORTE



RESULTADOS
 Angulo de Fricción Interna : 28.7 Grados
 Cohesión : 0.01 kg/cm²

Observaciones : ---
 Los especímenes se remoldearon con la densidad húmeda del suelo 1.90 g/cm³. Datos de remoldeo proporcionados por el solicitante.

Cód.: LG-E2-FO-03
 Ver.:00
 Fecha: 24/02/2020



GMIG S.A.C. Laboratorio Geotécnico y de Concreto
 Av. Santa Rosa, Mz. E.L1, 13 - SMP - Lima - Perú
 Telf.: (01) 6200951 / 969625105
 E-mail: info@gmigingenieros.com / www.gmigingenieros.com

Carlos Enrique Tito Silva

CARLOS ENRIQUE TITO SILVA
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 76173

**ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL
CONSOLIDADO - DRENADO (CD) ASTM - D 7181**

Proyecto : ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, DIAGNÓSTICO, SOLUCIÓN - NAVE INDUSTRIAL NITRATOS

Cliente : Cesel S.A.

Solicitante : Ing. John Elvis Gómez Pumaleque

Fecha de emisión : 20/06/2025

Ubicación : U. M. Crespo, Distrito de Santo Tomás, Provincia de Chumbivilcas, Departamento del Cusco

Fecha de recepción : 11/06/2025

Zona / Sector : ---

Coordenadas : ---

Sondaje : C - 2

Muestra : M - 1

Prof. (m) : 0.30 - 2.20

Clasificación SUCS : GM

Estado de la muestra : Remoldeado

ESPECÍMEN N° 1

DATOS DEL ESPECÍMEN		
Condiciones	Inicial	Final
Diámetro (mm)	101.50	108.20
Altura (mm)	200.25	176.25
Area (mm ²)	8091.37	9194.72
Densidad Seca (g/cm ³)	1.21	1.21
Humedad (%)	22.99	41.29
Grado Saturación (%)	55.14	98.97

DATOS DE ENSAYO	
Parámetro "B"	(%) 90.0
Hc	(mm) 200.0
Ac	(mm ²) 8091.4
Velocidad de Carga	(mm/min) 0.1
Presión de Celda	(Kpa) 250.0
Contra Presión	(Kpa) 200.0
Est. Efectivo Inicial	(Kpa) 50.0

Deform. (%)	ESF. DES. (Kpa)	Volumen (cm ³)	σ_3' (Kpa)	σ_1' (Kpa)	p (Kpa)	q (Kpa)	q/p	Oblicuidad (σ_1/σ_3)	$\Delta V/V_0$
0.00	0.00	0.00	50.0	50.0	50.00	0.00	0.00	1.00	0.00
0.12	14.18	-0.31	50.0	64.18	57.09	7.09	0.12	1.28	-0.02
0.25	26.06	-0.09	50.0	76.06	63.03	13.03	0.21	1.52	-0.01
0.37	38.47	0.19	50.0	88.47	69.23	19.23	0.28	1.77	0.01
0.50	46.33	0.34	50.0	96.33	73.17	23.17	0.32	1.93	0.02
0.62	55.87	0.26	50.0	105.87	77.93	27.93	0.36	2.12	0.02
0.75	57.49	-0.16	50.0	107.49	78.74	28.74	0.37	2.15	-0.01
0.87	68.11	-0.52	50.0	118.11	84.05	34.05	0.41	2.36	-0.03
1.00	74.49	-0.88	50.0	124.49	87.24	37.24	0.43	2.49	-0.05
1.25	83.83	-1.38	50.0	133.83	91.92	41.92	0.46	2.68	-0.08
1.50	88.37	-1.80	50.0	138.37	94.19	44.19	0.47	2.77	-0.11
1.75	90.05	-2.30	50.0	140.05	95.02	45.02	0.47	2.80	-0.14
2.00	93.60	-3.23	50.0	143.60	96.80	46.80	0.48	2.87	-0.20
2.50	95.01	-3.80	50.0	145.01	97.50	47.50	0.49	2.90	-0.23
3.00	96.39	-4.44	50.0	146.39	98.20	48.20	0.49	2.93	-0.27
3.50	97.76	-4.87	50.0	147.76	98.88	48.88	0.49	2.96	-0.30
4.00	100.03	-5.37	50.0	150.03	100.02	50.02	0.50	3.00	-0.33
5.00	100.82	-5.73	50.0	150.82	100.41	50.41	0.50	3.02	-0.35
6.00	100.67	-6.16	50.0	150.67	100.34	50.34	0.50	3.01	-0.38
7.00	100.50	-6.66	50.0	150.50	100.25	50.25	0.50	3.01	-0.41
8.00	100.30	-7.23	50.0	150.30	100.15	50.15	0.50	3.01	-0.45
9.00	99.21	-7.73	50.0	149.21	99.61	49.61	0.50	2.98	-0.48
10.00	98.99	-8.37	50.0	148.99	99.50	49.50	0.50	2.98	-0.52
11.00	97.89	-8.80	50.0	147.89	98.95	48.95	0.49	2.96	-0.54
12.00	96.79	-8.87	50.0	146.79	98.40	48.40	0.49	2.94	-0.55


Observaciones : Los especímenes se remoldearon con la densidad natural del suelo 1.49 g/cm³. Datos de remoldeo proporcionados por el solicitante.

La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante. Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.



Cód.: LG-E1-F0-04.3
Ver.:00
Fecha: 24/02/2020

GMIG S.A.C. Laboratorio Geotécnico y de Concreto
Av. Santa Rosa, Mz. E Lt. 13 - SMP - Lima - Perú
Tel.: (01) 6208951 / 969625105
E-mail: info@gmigingenieros.com / www.gmigingenieros.com


CARLOS ENRIQUE TITO SILVA
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 76173

Pág. 1/5

**ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL
CONSOLIDADO - DRENADO (CD) ASTM - D 7181**

Proyecto : ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, DIAGNÓSTICO, SOLUCIÓN - NAVE INDUSTRIAL NITRATOS

Cliente : Cesel S.A.

Solicitante : Ing. John Elvis Gómez Pumaleque

Ubicación : U. M. Crespo, Distrito de Santo Tomás, Provincia de Chumbivilcas, Departamento del Cusco

Fecha de emisión : 20/06/2025
Fecha de recepción : 11/06/2025

Zona / Sector : --- **Coordenadas** : ---

Sondaje : C - 2 **Clasificación SUCS** : GM

Muestra : M - 1 **Estado de la muestra** : Remoldeado

Prof. (m) : 0.30 - 2.20

ESPECÍMEN N° 2

DATOS DEL ESPECÍMEN				DATOS DE ENSAYO					
Condiciones	Inicial	Final		Parámetro "B"	(%)				
Diámetro (mm)	101.45	108.15		Hc	(mm)	199.8			
Altura (mm)	200.30	176.30		Ac	(mm ²)	8083.4			
Area (mm ²)	8083.40	9186.75		Velocidad de Carga	(mm/min)	0.1			
Densidad Seca (g/cm ³)	1.21	1.21		Presión de Celda	(Kpa)	300.0			
Humedad (%)	23.00	41.37		Contra Presión	(Kpa)	200.0			
Grado Saturación (%)	55.19	99.21		Est. Efectivo Inicial	(Kpa)	100.0			

Deform. (%)	ESF. DES. (Kpa)	Volumen (cm ³)	σ_3' (Kpa)	σ_1' (Kpa)	p (Kpa)	q (Kpa)	q/p	Oblicuidad (σ_1/σ_3)	$\Delta V/V_0$
0.00	0.00	0.00	100.0	100.0	100.00	0.00	0.00	1.00	0.00
0.13	32.93	-0.20	100.0	132.93	116.46	16.46	0.14	1.33	-0.01
0.25	40.82	-0.05	100.0	140.82	120.41	20.41	0.17	1.41	0.00
0.38	58.33	0.09	100.0	158.33	129.16	29.16	0.23	1.58	0.01
0.50	72.39	0.52	100.0	172.39	136.20	36.20	0.27	1.72	0.03
0.63	82.47	0.87	100.0	182.47	141.23	41.23	0.29	1.82	0.05
0.75	103.24	1.44	100.0	203.24	151.62	51.62	0.34	2.03	0.09
0.88	116.07	1.87	100.0	216.07	158.03	58.03	0.37	2.16	0.12
1.00	120.42	2.09	100.0	220.42	160.21	60.21	0.38	2.20	0.13
1.25	132.47	2.23	100.0	232.47	166.23	66.23	0.40	2.32	0.14
1.50	143.89	2.30	100.0	243.89	171.94	71.94	0.42	2.44	0.14
1.75	147.43	2.30	100.0	247.43	173.72	73.72	0.42	2.47	0.14
2.00	152.07	2.09	100.0	252.07	176.03	76.03	0.43	2.52	0.13
2.50	158.50	1.87	100.0	258.50	179.25	79.25	0.44	2.58	0.12
3.00	160.44	1.66	100.0	260.44	180.22	80.22	0.45	2.60	0.10
3.50	167.51	1.37	100.0	267.51	183.76	83.76	0.46	2.68	0.08
4.00	168.61	1.09	100.0	268.61	184.30	84.30	0.46	2.69	0.07
5.00	168.79	0.87	100.0	268.79	184.40	84.40	0.46	2.69	0.05
6.01	170.86	0.52	100.0	270.86	185.43	85.43	0.46	2.71	0.03
7.01	170.94	0.23	100.0	270.94	185.47	85.47	0.46	2.71	0.01
8.01	170.05	-0.05	100.0	270.05	185.02	85.02	0.46	2.70	0.00
9.01	169.13	-0.34	100.0	269.13	184.56	84.56	0.46	2.69	-0.02
10.01	169.11	-0.77	100.0	269.11	184.55	84.55	0.46	2.69	-0.05
11.01	168.14	-1.13	100.0	268.14	184.07	84.07	0.46	2.68	-0.07
12.01	166.25	-1.34	100.0	266.25	183.12	83.12	0.45	2.66	-0.08

Observaciones : Los especímenes se remoldearon con la densidad natural del suelo 1.49 g/cm³. Datos de remoldeo proporcionados por el solicitante.

La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante. Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.



**ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL
CONSOLIDADO - DRENADO (CD) ASTM - D 7181**

Proyecto : ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, DIAGNÓSTICO, SOLUCIÓN - NAVE INDUSTRIAL NITRATOS

Ciente : Cesel S.A.

Solicitante : Ing. John Elvis Gómez Pumaleque

Fecha de emisión : 20/06/2025

Ubicación : U. M. Crespo, Distrito de Santo Tomás, Provincia de Chumbivilcas, Departamento del Cusco

Fecha de recepción : 11/06/2025

Zona / Sector : ---

Coordenadas : ---

Sondaje : C - 2

Muestra : M - 1

Prof. (m) : 0.30 - 2.20

Clasificación SUCS : GM

Estado de la muestra : Remoldeado

ESPECÍMEN N° 3

DATOS DEL ESPECÍMEN		
Condiciones	Inicial	Final
Diametro (mm)	101.51	108.24
Altura (mm)	200.24	176.24
Area (mm ²)	8092.96	9201.57
Densidad Seca (g/cm ³)	1.21	1.21
Humedad (%)	23.00	41.37
Grado Saturación (%)	55.11	99.00

DATOS DE ENSAYO		
Parámetro "B"	(%)	90.0
Hc	(mm)	199.2
Ac	(mm ²)	8093.0
Velocidad de Carga	(mm/min)	0.1
Presión de Celda	(Kpa)	400.0
Contra Presión	(Kpa)	200.0
Esf Efectivo Inicial	(Kpa)	200.0

Deform. (%)	ESF. DES. (Kpa)	Volumen (cm ³)	σ_3' (Kpa)	σ_1' (Kpa)	p (Kpa)	q (Kpa)	q/p	Oblicuidad (σ_1/σ_3)	$\Delta V/V_0$
0.00	0.00	0.00	200.0	200.0	200.00	0.00	0.00	1.00	0.00
0.13	59.54	0.11	200.0	259.54	229.77	29.77	0.13	1.30	0.01
0.25	82.68	0.25	200.0	282.68	241.34	41.34	0.17	1.41	0.02
0.38	106.90	0.61	200.0	306.90	253.45	53.45	0.21	1.53	0.04
0.50	125.97	1.10	200.0	325.97	262.98	62.98	0.24	1.63	0.07
0.63	147.25	1.53	200.0	347.25	273.62	73.62	0.27	1.74	0.09
0.75	153.82	1.96	200.0	353.82	276.91	76.91	0.28	1.77	0.12
0.88	173.89	2.32	200.0	373.89	286.94	86.94	0.30	1.87	0.14
1.00	193.90	2.39	200.0	393.90	296.95	96.95	0.33	1.97	0.15
1.26	218.64	2.46	200.0	418.64	309.32	109.32	0.35	2.09	0.15
1.51	238.21	2.53	200.0	438.21	319.11	119.11	0.37	2.19	0.16
1.76	257.68	2.53	200.0	457.68	328.84	128.84	0.39	2.29	0.16
2.01	278.06	2.46	200.0	478.06	339.03	139.03	0.41	2.39	0.15
2.51	295.56	2.46	200.0	495.56	347.78	147.78	0.42	2.48	0.15
3.01	308.91	2.32	200.0	508.91	354.45	154.45	0.44	2.54	0.14
3.51	317.17	2.18	200.0	517.17	358.58	158.58	0.44	2.59	0.13
4.02	320.42	2.10	200.0	520.42	360.21	160.21	0.44	2.60	0.13
5.02	322.89	1.96	200.0	522.89	361.45	161.45	0.45	2.61	0.12
6.02	320.44	1.75	200.0	520.44	360.22	160.22	0.44	2.60	0.11
7.03	316.07	1.60	200.0	516.07	358.03	158.03	0.44	2.58	0.10
8.03	309.83	1.46	200.0	509.83	354.92	154.92	0.44	2.55	0.09
9.04	303.66	1.39	200.0	503.66	351.83	151.83	0.43	2.52	0.09
10.04	296.63	1.46	200.0	496.63	348.32	148.32	0.43	2.48	0.09
11.04	287.87	1.53	200.0	487.87	343.93	143.93	0.42	2.44	0.09
12.05	278.33	1.53	200.0	478.33	339.16	139.16	0.41	2.39	0.09


Observaciones : Los especímenes se remoldearon con la densidad natural del suelo 1.49 g/cm³. Datos de remoldeo proporcionados por el solicitante.

La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante. Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.



Cód.: LG-E1-FO-04.3
Ver.: 00
Fecha: 24/02/2020

GMIG S.A.C. Laboratorio Geotécnico y de Concreto
Av. Santa Rosa, Mz. E.LI. 13 - SMP - Lima - Perú
Tel.: (01) 6206951 / 909025105
E-mail: info@gmigingenieros.com / www.gmigingenieros.com


CARLOS ENRIQUE TITO SILVA
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 76173

Pág. 3/5



**ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL
CONSOLIDADO - DRENADO (CD) ASTM - D 7181**

Proyecto : ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, DIAGNÓSTICO, SOLUCIÓN - NAVE INDUSTRIAL NITRATOS

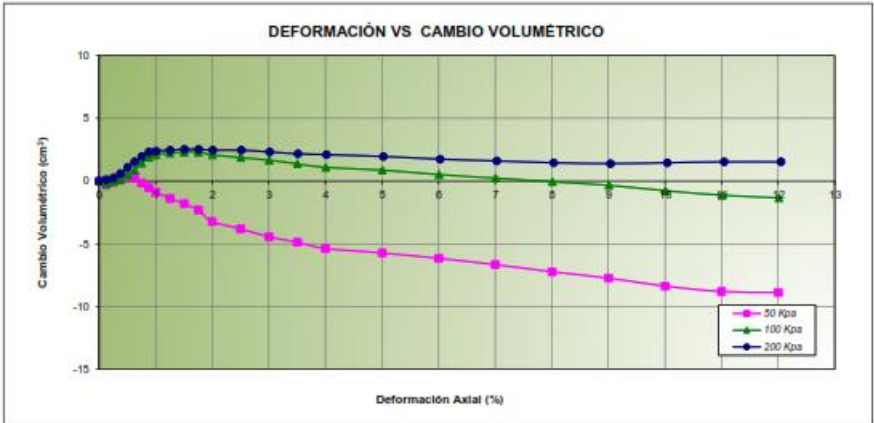
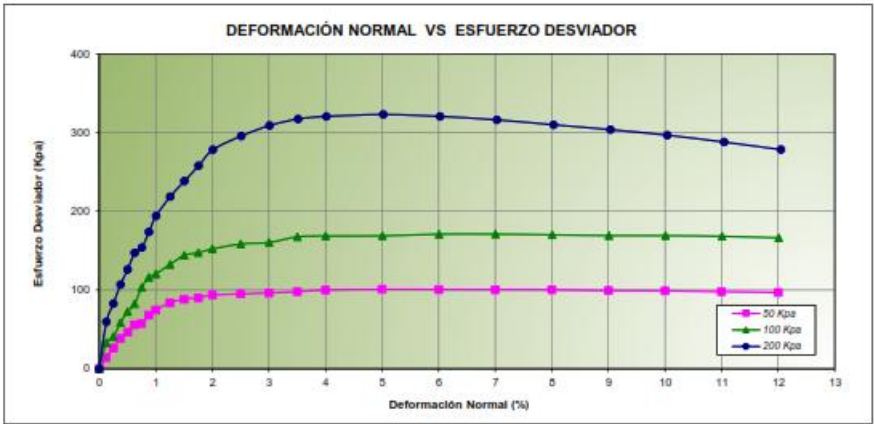
Ciente : Cesel S.A.
Solicitante : Ing. John Elvis Gómez Pumaleque

Ubicación : U. M. Crespo, Distrito de Santo Tomás, Provincia de Chumbivilcas, Departamento del Cusco

Fecha de emisión : 20/06/2025
Fecha de recepción : 11/06/2025

Zona / Sector : -- **Coordenadas** : --

Sondaje : C - 2 **Clasificación SUCS** : GM
Muestra : M - 1 **Estado de la muestra** : Remoideado
Prof. (m) : 0.30 - 2.20



La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante. Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.

Cód.: LG-E1-FO-04.3
 Ver.: 00
 Fecha: 24/02/2020



GMIG S.A.C. Laboratorio Geotécnico y de Concreto
 Av. Santa Rosa, Mz. E LL 13 - SMP - Lima - Perú
 Telf.: (01) 6206991 / 969625105
 E-mail: info@gmigingenieros.com / www.gmigingenieros.com

Carlos Enrique Tito Silva
CARLOS ENRIQUE TITO SILVA
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 76173



**ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL
CONSOLIDADO - DRENADO (CD) ASTM - D 7181**

Proyecto : ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, DIAGNÓSTICO, SOLUCIÓN - NAVE INDUSTRIAL NITRATOS

Cliente : Cesel S.A.
Solicitante : Ing. John Elvis Gómez Pumaleque

Ubicación : U. M. Crespo, Distrito de Santo Tomás, Provincia de Chumbivilcas, Departamento del Cusco

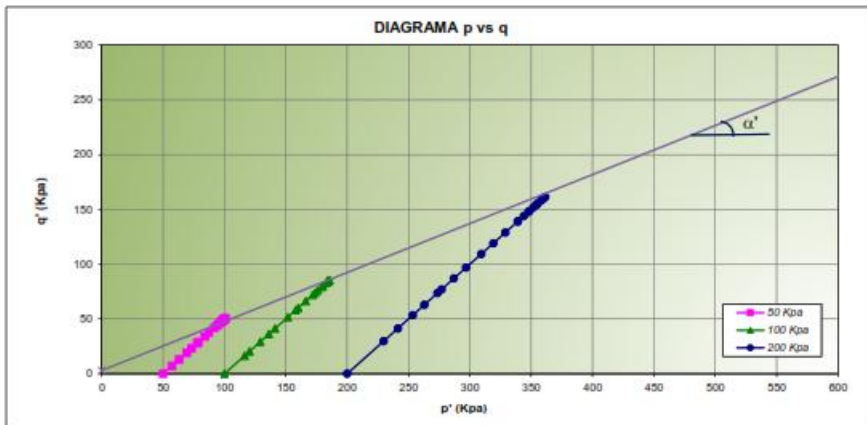
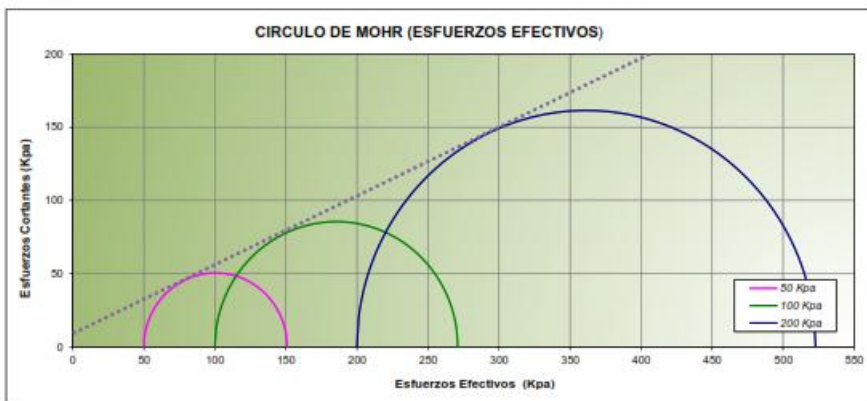
Fecha de emisión : 20/05/2025
Fecha de recepción : 11/05/2025

Zona / Sector : --- **Coordenadas** : ---

Sondaje : C - 2 **Clasificación SUCS** : GM

Muestra : M - 1 **Estado de la muestra** : Remoldeado

Prof. (m) : 0.30 - 2.20



$\bar{\sigma} = 3.00 \text{ Kpa}$
 $\alpha' = 24.1^\circ$

Cohesión
 $C' = 7.35 \text{ Kpa}$
Angulo de Fricción
 $\phi = 26.6^\circ$

La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante. Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.



ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS
NTP 339.152, NTP 339.176, NTP 339.178, T-291-94

PROYECTO : ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, DIAGNÓSTICO, SOLUCIÓN - NAVE INDUSTRIAL NITRATOS
CLIENTE : Cesel S.A.
SOLICITANTE : Ing. John Elvis Gómez Pumaleque

Fecha de emisión: 18/06/2025

UBICACIÓN : U. M. Crespo, Distrito de Santo Tomás, Provincia de Chumbivilcas, Departamento del Cusco

Fecha de recepción: 11/06/2025

N° Muestra	Descripción	S.S.T. (ppm)	Cl ⁻ (ppm)	SO ₄ ²⁻ (ppm)	pH
C - 3 / M - 1 Prof.: 0.30 - 2.00 m.	GM Grava limosa con arena	860.30	635.00	102.60	6.80

TABLAS NORMATIVAS

**CUADRO COMPARATIVO DE CONTENIDO DE SULFATOS Y SU GRADO DE AGRESIVIDAD AL CONCRETO
SEGÚN DIFERENTES NORMAS Y REGLAMENTOS**
(Valores expresados en ppm)

ACI - 201.2R.77, R.N.E.		BRS DIGEST (SEGUNDA SERIE) 90 (inglesa)		DIN 4030 (Alemana)
Grado de Ataque	Sulfatos en el suelo	Sulfatos en el Agua	Sulfatos en el suelo	Sulfatos en el Agua
Leve	0-1,000	0-150	<2,400	<360
Moderado	1,000-2,000	150-1,500	2,400-6,000	360-1440
Severo	2,000-20,000	1,500-10,000	6,000-24,000	1,440-6,000
Muy Severo	>20,000	>10,000	>24,000	>6,000

Los valores máximos tolerables recomendados en nuestro medio, en comparación con los del agua potable, expresados en partes por millón (ppm)

Sustancia	Referencias	MTC	RIVVA 5	Agua Potable
Cloruros		300	300	250
Sulfatos		300	50	50
Sales Solubles Totales		1 500	300	300
Sales en Magnesio		-	125	125
Sólidos en Suspensión		1 000	10	10
pH		< de 7	> de 8	10.5
Mat. Orgánica expres. en Oxígeno		16	0.001	0.001

* Para concretos que han de estar expuestos a ataques por sulfatos

Métodos:

Sales Solubles Totales: Determinación de Sales Solubles en suelos y agua subterránea - NTP 339.152 - 2002

Cloruro Soluble: Determinación de Cloruros Solubles en suelos y agua subterránea - T-291-94 (2018) - Método Potenciométrico


Sulfato Soluble: Determinación de Sulfatos Solubles en suelos y agua subterránea - NTP 339.178 - 2002

pH: Determinación de valor de pH en suelos y agua subterránea - NTP 339.176 - 2002 - Método Potenciométrico

Cód.: LG-E6-FO-01
Ver.:00
Fecha: 24/02/2020



GMIG S.A.C. Laboratorio Geotécnico y de Concreto
Av. Santa Rosa, Mz. E LL 13 - SMP - Lima - Perú
Telf.: (01) 6206961 / 999625105
E-mail: info@gmigingenieros.com / www.gmigingenieros.com


CARLOS ENRIQUE TITO SILVA
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 76173

Pág. 1/1

**CARGA PUNTUAL (ROCAS)
ASTM D5731 - 08**

PROYECTO : ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, DIAGNÓSTICO, SOLUCIÓN - NAVE INDUSTRIAL NITRATOS

CLIENTE : Cesel S.A.

SOLICITANTE : Ing. John Elvis Gómez Pumaleque

UBICACIÓN : U. M. Crespo, Distrito de Santo Tomás, Provincia de Chumbivilcas, Departamento del Cusco

Fecha de emisión: 18/06/2025

Fecha de recepción: 11/06/2025

Zona / Sector : ---

Prof. (m): > 2.00

Coordenadas : ---

Sondeo : C - 3

Condición de la muestra: Muestra Alterada

Muestra : M - 2

Tipo de Roca : ---

Tipo de Material: Roca

GEOMETRIA DE LA MUESTRA

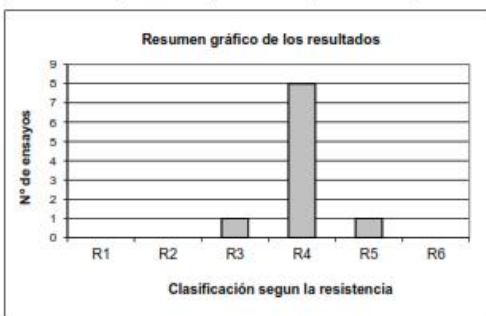
Nº	Forma de la muestra	Carga aplicada	L (mm)	D (mm)	W1(*) (mm)	W2 (mm)
1		⊥	46.36	48.32	57.35	64.25
2		⊥	45.28	46.18	55.45	62.12
3		⊥	47.42	45.45	59.23	65.37
4		⊥	49.37	47.62	56.95	64.47
5		⊥	48.88	49.35	59.73	65.21
6		⊥	45.73	44.26	56.43	62.67
7		⊥	47.11	48.19	56.73	64.82
8		⊥	46.23	42.53	58.61	65.72
9		⊥	48.25	45.84	57.38	63.68
10		⊥	51.44	44.61	62.45	68.52

Leyenda

⊥ : Carga aplicada de forma perpendicular a la muestra

// : Carga aplicada de forma paralela a la muestra

Nº	Diámetro equivalente D_e (mm ²)	Presión Hidráulica P_{hid} (kN)	I_p Calculado (MPa)	Factor de corrección F	$I_{p(30)}$ Corregido (MPa)	σ_c Calculado (MPa)	Clasificación	Tipo de rotura
1	3740.59	10.25	2.7	1.09	3.0	72	R4	C
2	3456.45	8.63	2.5	1.08	2.7	64	R4	C
3	3605.22	11.55	3.2	1.09	3.5	83	R4	C
4	3680.95	6.96	1.9	1.09	2.1	50	R3	C
5	3925.26	9.63	2.5	1.11	2.7	65	R4	C
6	3355.86	13.22	3.9	1.07	4.2	101	R5	C
7	3729.00	12.62	3.4	1.09	3.7	89	R4	C
8	3366.29	9.46	2.8	1.07	3.0	72	R4	C
9	3532.85	10.42	2.9	1.08	3.2	77	R4	C
10	3719.50	11.74	3.2	1.09	3.5	83	R4	C



Resultados del ensayo

$\sigma_{c,i}$ (máx): 101 MPa (R5)

$\sigma_{c,i}$ (mín): 50 MPa (R3)

$\sigma_{c,i}$ (prom): 76 MPa (R4)

$\sigma_{c,ii}$ (máx): ---

$\sigma_{c,ii}$ (mín): ---

$\sigma_{c,ii}$ (prom): ---

Nomenclatura

R1 : Roca muy débil ----- 1,0 - 5,0 Mpa
 R2 : Roca débil ----- 5,0 - 25,0 Mpa
 R3 : Roca media ----- 25,0 - 50,0 Mpa
 R4 : Roca dura ----- 50,0 - 100,0 Mpa
 R5 : Roca muy dura ----- 100,0 - 250, Mpa
 R6 : Roca extremadamente dura > 250 Mpa

Observaciones :

- Las muestras cumplen con las dimensiones exigidas por la norma



Cód.: LG-E4-FO-01
Ver.:00
Fecha: 24/02/2020

CARLOS ENRIQUE TITO SILVA
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 76173

GMIG S.A.C. Laboratorio Geotécnico y de Concreto
 Av. Santa Rosa, Mz. E.L. 13 - SMP - Lima - Perú
 Telf.: (01) 6206901 / 989625105
 E-mail: info@gmigingenieros.com / www.gmigingenieros.com

Tipos de rotura	
A (Diametrales)	
B (Axiales)	
C (Bloque)	
D (No válidos)	



LABORATORIO GEOTÉCNICO Y DE CONCRETO

PROPIEDADES FÍSICAS DE LA ROCA
ASTM D 6473 / ASTM D 2937

PROYECTO : ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, DIAGNÓSTICO, SOLUCIÓN - NAVE INDUSTRIAL NITRATOS

CLIENTE : Cesel S.A.

SOLICITANTE : Ing. John Elvis Gómez Pumaleque

UBICACIÓN : U. M. Crespo, Distrito de Santo Tomás, Provincia de Chumbivilcas, Departamento del Cusco

Fecha de emisión: 18/06/2025

Fecha de recepción: 11/06/2025

Zona / Sector : --

Sondaje : C - 3

Muestra : M - 2

Prof. (m) : > 2.00

Coordenadas : --

Tipo de Roca : --

Propiedades físicas de las roca		Resultados
Gravedad específica y absorción de la roca ASTM D 6473	Gravedad específica nominal:	2.01
	Gravedad específica nominal (s.s.s.):	2.23
	Gravedad específica aparente:	2.58
	Absorción (%):	11.03
Densidad de la roca NTP 339.139 / ASTM D 2937	Densidad de la roca (gr/cm ³):	1.92
	Densidad de la roca seca (gr/cm ³):	1.79
Contenido de humedad de la roca ASTM D 2216	Contenido de humedad de la roca (%)	7.25

Observaciones : ---

Referencias

ASTM D6473 - 10 Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Rock For Erosion Control
ASTM D2937 - 10 Standard Test Method for Density of Soil in Place by the Drive-Cylinder Method
NTP 339.139-1999 SUELOS. Determinación del peso volumétrico de suelo cohesivo

La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante, y los datos presentados aplican exclusivamente a las muestras indicadas. Los resultados corresponden a los ensayos efectuados sobre las muestras proporcionadas por el cliente al Laboratorio Geotécnico, sin intervención del laboratorio en la toma o verificación de las mismas.



CARLOS ENRIQUE TITO SILVA
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 76173