

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS



TESIS

**APLICACIÓN DEL MÉTODO PULL TEST PARA LA ESTABILIDAD
DE TALUDES EN EL PUENTE DE PASO DE RELAVE CAPILLUNE,
UNIDAD MINERA ANGLOAMÉRICAN – QUELLAVECO -
MOQUEGUA**

PRESENTADO POR:

Br. ROBERT CHURATA MEZA

PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL

DE INGENIERO DE MINAS

ASESOR:

Mgt. RAIMUNDO MOLINA DELGADO.

CUSCO – PERÚ

2026



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor RAIMUNDO MOLINA DELGADO
..... quien aplica el software de detección de similitud al
trabajo de investigación/tesis titulada: "APLICACION DEL METODO PULLTEST
PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES EN EL PUENTE DE PASO DE RELAYE
CAPILLUNE, UNIDAD MINERA ANGLOAMERICAN - QUELLAVECO - MOQUEGUA."

Presentado por: ROBERT CHURATA MEZA DNI N° 70122585 ;
presentado por: — DNI N°: —
Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO DE MINAS

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 1 veces, mediante el
Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de**
Similitud en la UNSAAC y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 6 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	☒
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	☐
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	☐

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto**
las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 25 de AGOSTO de 2026



Firma

Post firma RAIMUNDO MOLINA DELGADO

Nro. de DNI 23912083

ORCID del Asesor 0000-0003-0291-2700

Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: oid: 27259:615427188

Robert Churata Meza

APLICACIÓN DEL MÉTODO PULL TEST PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES EN EL PUENTE DE PASO DE RELAVE CAPILLUNE,...



Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:615427188

Fecha de entrega

19 ago 2026, 6:52 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

19 ago 2026, 8:14 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

TESIS ROBERT_12-08-2026 COMPLETO.docx

Tamaño del archivo

27.8 MB

135 páginas

22.269 palabras

125.911 caracteres

6% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 5%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 5%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, en primer lugar, a mi familia, por ser mi pilar fundamental. A mis padres, por su amor incondicional, su apoyo constante y por enseñarme con su ejemplo el valor del esfuerzo y la perseverancia.

A Carmen Achahuanco, por su paciencia, comprensión y por acompañarme en cada paso de este camino, incluso en los momentos más difíciles.

A mis amigos, que siempre estuvieron para alentarme, escucharme y recordarme que no estaba solo en este proceso.

Y, finalmente, a todas las personas que creyeron en mí, incluso cuando yo dudaba de mis propias capacidades.

Este logro también es de ustedes.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la fortaleza, la salud y la perseverancia necesarias para culminar esta etapa tan importante de mi vida.

A mis padres y mi familia, por su amor, comprensión y apoyo incondicional durante todo este proceso. Su confianza en mí ha sido el motor que me impulsó a seguir adelante incluso en los momentos más difíciles.

A mis docentes, quienes a lo largo de la carrera compartieron sus conocimientos y me ayudaron a crecer tanto académica como personalmente. Su experiencia y consejos fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

A mis amigos colegas de todas las unidades mineras donde laboré, por su compañerismo, colaboración y por compartir conmigo este camino lleno de retos, aprendizajes y logros.

Y finalmente, agradezco a todas las personas que, de una u otra forma, contribuyeron con su apoyo, sus palabras de aliento o su ejemplo. Este logro también es de ustedes.

INTRODUCCIÓN

La presente tesis evalúa la estabilidad de los anclajes instalados en los taludes del Puente Capillune, ubicado en la Unidad Minera Angloamérican – Quellaveco. Para ello, se empleó el método Pull Test, con el fin de verificar en campo la capacidad de carga de los pernos de anclajes y la efectividad de las medidas de estabilización implementadas.

El estudio abordó el comportamiento del macizo rocoso, la calidad de la lechada de inyección y los resultados de las pruebas Pull Test. Se evidenció que las condiciones geológicas influyen en el desempeño de los anclajes y que un adecuado control de la lechada mejora significativamente la respuesta estructural del sistema.

Los resultados confirmaron que el sistema de anclaje fue correctamente diseñado y ejecutado, cumpliendo con los criterios técnicos establecidos por la minera Angloamérican.

Esta investigación se estructura en cuatro capítulos principales que abordan el problema, el marco teórico, la metodología y el análisis de resultados.

- **Capítulo I: Planteamiento del Problema** Establece el contexto de la investigación, describe, formulación del problema y justifica la importancia y la necesidad del estudio.
- **Capítulo II: Marco Teórico Conceptual** Proporciona los fundamentos teóricos, revisando antecedentes investigativos.
- **Capítulo III: Método de la Investigación** Detalla la metodología utilizada, identifica la población y muestra, técnicas de recolección de datos y explica el proceso de análisis de la información obtenida.
- **Capítulo IV: Análisis de Resultados y Discusión** Presenta la evidencia empírica, analizando los resultados del ensayo Pull Test en la Cepa 03.

Finalmente, se detallan las conclusiones y recomendaciones de estudio.

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo general evaluar la estabilidad de talud del Puente de Paso de Relave Capillune mediante la aplicación del método Pull Test a los pernos de anclaje instalados, con el fin de verificar su capacidad de carga en la Unidad Minera Angloamérican – Quellaveco,-Moquegua. Utilizando una metodología de tipo aplicativo y nivel explicativo. La muestra se estará conformada por los taludes de la Cepa 3 de la complejidad en el puente Capillune. Obteniendo por resultados que la estabilidad del talud depende fundamentalmente del comportamiento geomecánico. En la roca sana (U-4), los pernos se desplazaron 45-55% menos que en la roca meteorizada (U-3) bajo las mismas cargas. A pesar de ello, todos los pernos cumplieron el límite de desplazamiento de 12.5 mm. La calidad del mortero también fue esencial, ya que los diseños de lechada superaron la resistencia de 300 kg/cm², permitiendo pruebas exitosas entre 48 y 96 horas después de la inyección. La resistencia a la tracción de los pernos, probada con cargas de hasta 12 toneladas, fue suficiente para asegurar la estabilidad, sin mostrar fallas ni relajación. Concluyendo que la evaluación con el método Pull Test en el puente Capillune corroboró que la estabilidad del talud es efectiva, la calidad de la roca y del mortero son factores clave para el rendimiento del sistema de anclaje, asimismo, la resistencia a la tracción de los pernos cumplió con los criterios de aceptación, lo que valida su correcta ejecución y dimensionamiento para asegurar la seguridad del talud.

Palabras clave: Pull Test, Talud, Anclaje, Geomecánica, Estabilidad

ABSTRACT

The general objective of this research is to evaluate the slope stability of the Capillune Tailings Bridge by applying the Pull Test method to the installed anchor bolts, in order to verify their load-bearing capacity at the AngloAmerican – Quellaveco – Moquegua Mining Unit. An application-type methodology and explanatory level are used. The sample will be made up of the slopes of Strain 3 of the Capillune Bridge complexity. The results show that slope stability depends fundamentally on geomechanical behavior. In healthy rock (U-4), the bolts displaced 45-55% less than in weathered rock (U-3) under the same loads. Despite this, all bolts met the 12.5 mm displacement limit. The quality of the mortar was also essential, since the grout designs exceeded the 300 kg/cm² strength, allowing successful tests between 48 and 96 hours after injection. The tensile strength of the bolts, tested with loads of up to 12 tons, was sufficient to ensure stability, showing no failure or relaxation. The Capillune Bridge's Pull Test evaluation confirmed that the slope's stability is effective. The quality of the rock and mortar are key factors in the anchoring system's performance. Furthermore, the bolts' tensile strength met the acceptance criteria, validating their proper execution and sizing to ensure the safety of the slope.

Keywords: Pull Test, Slope, Anchorage, Geomechanics, Stability

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
INTRODUCCIÓN	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT	vi
ÍNDICE	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	15
1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA	20
1.2.1. Problema General	20
1.2.2. Problemas Específicos	20
1.3. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN	20
1.3.1. Objetivo general	20
1.3.2. Objetivos Específicos	21
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN	21
1.4.1. Justificación	21
1.4.2. Importancia	22

1.5. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	23
1.5.1. Delimitación Temporal.....	23
1.5.2. Delimitación Espacial.....	23
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	24
2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	24
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	24
2.1.2. Antecedentes nacionales	25
2.1.3. Antecedente local	27
2.2. BASES TEÓRICAS O CIENTÍFICAS.....	28
2.2.1. Talud	28
2.2.2. Método Pull Test.....	40
2.2.3. Normativa y estándares	43
2.2.3.1. Normativa del Talud	43
2.2.3.2. Normativa del Método Pull test.....	45
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	46
2.4. HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	47
2.4.1. Hipótesis General.	47
2.4.2. Hipótesis Específicas.....	47
2.5. VARIABLES DE ESTUDIO	47
2.5.1. Identificación de variables.....	47

2.5.2. Cuadro de Operacionalización de variables	48
CAPÍTULO III MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN	49
3.1. TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN.....	49
3.1.1. Tipo de investigación	49
3.1.2. Nivel de la investigación	49
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN	49
3.2.1. Población.....	49
3.2.2. Muestra.....	49
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	50
3.3.1. Técnicas	50
3.3.2. Instrumentos.....	50
3.3.3. Procesamiento de datos	50
3.3.3.1. Técnicas de análisis de datos	51
CAPÍTULO IV ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
4.1. Aplicación del Pull test para la estabilidad de taludes	52
4.1.1. Geomecánica del talud Cepa 03	52
4.1.2. Inyección de pernos.....	57
4.1.3. PULL TEST.....	61
4.2. Resultados.....	68
4.3. Discusión	81

CONCLUSIONES 81

RECOMENDACIONES 86

 BIBLIOGRAFÍA 88

ANEXOS..... 97

 Anexo 1: Ubicación..... 98

 Anexo 2: Accesibilidad 99

 Anexo 3: Geología local..... 101

 Anexo 4: Geología regional 104

 Anexo 5: Geología estructural..... 106

 Anexo 6: Geología económica 108

 Anexo 7: Planta de tratamiento 111

Evidencias 131

Matriz de consistencia 135

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Tipos de taludes.....	28
Tabla 2	Operacionalización de variables.....	48
Tabla 3	Propiedades Geotécnicas Unidades Meteorizada y Sana.....	54
Tabla 4	Solicitaciones a tomar con anclajes (cortes V1, V2; tracción; T máx. por anclaje).....	56
Tabla 5	Solicitaciones a tomar con Anclajes.....	57
Tabla 6	Diseños de lechada y materiales.....	57
Tabla 7	Cargas de diseño y de prueba por diámetro requeridas por la unidad minera Angloaamérican - Quellaveco	61
Tabla 8	Características del elemento de anclaje (Titan 73/53).	62
Tabla 9	Evolución de f_c vs Edad y Notas de Desempeño	67
Tabla 10	Modelo geológico geotécnico y unidades del macizo.....	69
Tabla 11	Resistencia a compresión de lechadas.....	70
Tabla 12	Síntesis de Pull Test – P1 - P6.....	71
Tabla 13	Datos de Curvas $F-\delta$ comparativas por unidad geomecánica (U-3 y U-4).....	71
Tabla 14	Matriz $U\ 3/U\ 4 \times DL\ 02/DL\ 04 \times$ Pull Test $\rightarrow$ efecto en $F-\delta$ y cumplimiento.....	72
Tabla 15	Tabla cruzada del modelo geológico geotécnico y unidades del macizo y resistencia a compresión de lechadas.....	73
Tabla 16	Factores de seguridad – Sin cortes vs Con plataformas CA3 (estático/pseudoestático).	74
Tabla 17	Factores de seguridad – Sin corte para plataformas temporales (estático/pseudoestático)	75
Tabla 18	Factores de seguridad – Con cortes para plataformas CA3–CA4 (estático/pseudoestático).	75

Tabla 19 Análisis de Estabilidad en condiciones sin corte de plataformas temporales78

Tabla 20 Análisis de Estabilidad en condiciones con cortes de plataformas temporales CA1, CA3 y CA478

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Puente Capillune – Vista en planta	52
Figura 2	Sección A – Vista general de cepas y estribos.	53
Figura 3	Registro fotográfico del sondaje SPC-3: Unidades de Granodiorita meteorizada y Granodiorita sana.	54
Figura 4	Perfil longitudinal del puente con estratigrafía.....	55
Figura 5	Modelo – Estribo Sur (CA3–CA4).	55
Figura 6	Ejes locales del análisis estructural (M1, M2, F1–F3).	56
Figura 7	Preparación de Lechadas para inyección de Pernos de Prueba	58
Figura 8	Fluidez Marsh (embudo).....	59
Figura 9	Ensayo de fluidez con Cono de Marsh para verificar la viscosidad de la lechada.	59
Figura 10	Muestreo de Lechada DL-02	60
Figura 11	Muestreo de Lechada DL-04	60
Figura 12	Ensayo de Pull Test	62
Figura 13	Planta general talud sur – Disposición de pernos (CE1028).	63
Figura 14	Planta general talud sur y disposición pernos.....	64
Figura 15	Ubicación de pernos ensayado.....	65
Figura 16	Cortes y detalle de disposición de perno	66
Figura 17	Cortes y detalle de disposición de perno	66
Figura 18	$f'c$ (kg/cm ²) vs edad por diseño y notas de desempeño en tramo de prueba.	67
Figura 19	Diagrama de polos y sets de diaclasas próximos al estribo norte (principal NE y set SW).....	68
Figura 20	Perfil longitudinal del puente Capillune con estratigrafía	69
Figura 21	Curvas $F-\delta$ comparativas por unidad geomecánica	72

Figura 22 Análisis de estabilidad Estribo Sur. Condición estática.76

Figura 23 Análisis de estabilidad Estribo Sur, condición pseudo estática77

Figura 24 Análisis de estabilidad Estribo Sur, con cortes para plataforma CA3, CA4, condición estática.79

Figura 25 Análisis de estabilidad Estribo Sur, con cortes para plataforma CA3, CA4, condición pseudoestática.....80

Figura 26 Ubicación de la Unidad Minera Quellaveco98

Figura 27 Accesibilidad100

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La estabilidad de taludes se refiere a la capacidad de una pendiente para resistir el deslizamiento, influenciada por factores como la inclinación, composición del suelo, humedad y cargas externas (Terzaghi, 1943). Es de importancia evaluar estos factores geológicos y geotécnicos para prevenir incidentes que puedan comprometer la seguridad o la infraestructura, utilizando observaciones visuales, pruebas de laboratorio y análisis matemáticos. El método pull test ayuda a medir la capacidad de firmeza y la carga de un talud a través de la aplicación de tensión mecánica en sus refuerzos, brindando datos esenciales para proyectar sistemas de contención seguros y precisos (Maharjan, 2019).

Los deslizamientos de tierra se provocan por múltiples factores, que abarcan desde la composición geológica y el ángulo de las laderas hasta la saturación hídrica, los sucesos sísmicos, las actividades humanas y las variaciones en el clima. La excavación y extracción del material de construcción es un componente de riesgo (Smith, 2019). Los cambios en la utilización del suelo disminuyen la deforestación; la estabilidad de las laderas, sobre todo, puede agilizar el proceso de degradación y comprometer la estabilidad de las laderas (Jones & & Johnson, 2020). Cuando la construcción de carreteras y la urbanización se realizan sin planeamiento, se transforma el terreno y el ciclo del agua, aumentando el peligro de deslaves al involucrase la topografía e hidrología locales (García & al., 2021). El desarrollo de las actividades mineras se trate en superficie o bajo tierra, perjudica la estabilidad de los taludes al ocasionar relieves muy inclinados y generar la pérdida de la cobertura vegetal (Martínez & & López, 2018). Por otra parte, la estabilidad del suelo puede verse afectada por la filtración de aguas residuales y la existencia de vertederos, los cuales modifican la firmeza de las capas subterráneas (Brown & Miller, 2020).

La inestabilidad de las laderas conlleva implicaciones críticas que abarcan los deslizamientos de tierra, la pérdida de vidas y la detención de servicios básicos. Distintos estudios resaltan que los gastos orientados a la reparación son excesivamente altos, lo que demuestra la necesidad de abordar este fenómeno con mayor efectividad. En la investigación de García y colaboradores (2022) estableció que la recuperación después de un deslizamiento de tierra simbolizó una inversión superior a los 500,000 dólares, este alto costo fue causado por las labores de reconstrucción de infraestructuras críticas y la restitución de servicios fundamentales para la comunidad rural. De acuerdo con la investigación de Martínez y López (2021), la inversión esencial para las medidas preventivas y la rehabilitación ambiental luego de un suceso de inestabilidad de taludes aumentó a más de 1 millón de dólares. Estos resultados resaltan que es necesario analizar los impactos económicos de la inestabilidad de las laderas al instante de diseñar planes de gestión de riesgos naturales, debido a su alto valor de los costos de reconstrucción.

A nivel mundial, la inestabilidad de taludes simboliza un conflicto que incide de forma directa la seguridad de las personas, la continuidad de las actividades extractiva y la integridad de las infraestructuras. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (ONU-RRD, 2021), los colapsos de taludes y deslizamientos de tierra simbolizan uno de los factores principales de pérdidas humanas y financieras a nivel mundial; esto subraya la necesidad de aplicar sistemas de monitoreo y medidas de reducción que sean altamente eficaces. Bajo este contexto, la utilización de herramientas de vanguardia, así como los sistemas de información geográfica y sensores remotos, es vital para reconocer desplazamientos irregulares del terreno, lo que posibilita actuar con eficacia y rapidez en la prevención de desastres; conforme con lo presentado por Li y otros (2020) la aplicación de estos modelos resulta totalmente exitosa al momento de reducir el impacto y la incidencia de los desastres geotécnicos. Además, el Banco Mundial (2019) resalta que la inversión por obras de infraestructura con capacidad de adaptación

y por el intercambio de conocimientos técnicos es esencial para fortalecer la gestión de riesgos, garantizando así el bienestar de las comunidades. En la Unidad Minera AngloAmerican – Quellaveco, en Moquegua, resulta crucial asegurar la firmeza de las pendientes relacionadas a infraestructuras clave, como el Puente de Paso de Relave Capillune; para esto, se utiliza el ensayo Pull Test como un método preciso para medir la resistencia de los anclajes, lo que posibilita impedir colapsos geotécnicos y alinearse con las normativas globales de protección.

A nivel nacional, la estabilidad de los taludes permanece una preocupación a causa de la variedad de condiciones climáticas y geográficas del territorio de Perú, las cuales aumenta la vulnerabilidad frente a colapsos y deslizamientos. Según el INDECI (2020) estos hechos continuos conforman un peligro para la seguridad pública y han sido desfavorables para las personas y para el concreto adyacente. En este sentido, el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS, 2021), destaca la importancia de investigar y instruirse en los métodos de análisis del terreno, que deben construir la resiliencia nacional, planificando de mejor forma para cualquier posible desastre. Este informe también indica que es indispensable estructurar planes de gestión del riesgo, fundados en la colaboración científica entre organismos gubernamentales, así como universidades y empresas privadas. En este sentido, el Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres indica fortalecer los mecanismos de detección temprana; lo mismo sucede con la participación de la ciudadanía para evitar y atender a los riesgos provenientes de la inestabilidad de deslizamientos de tierra (Gobierno del Perú, 2022).

En la región de Moquegua, la relevancia de este tema es vital, porque el territorio posee proyectos esenciales de infraestructura y actividades mineras que son indispensables para el desarrollo de todo el entorno local. Según el informe del gobierno regional de Moquegua (2019), señala que los deslizamientos de tierra y la erosión de laderas acontecen con frecuencia en la región; estos procedimientos se ven empeorados por las lluvias intensas. Además, es esencial implementar

1.5. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Delimitación Temporal

La delimitación temporal de la investigación se comprende desde el mes de Abril al mes de Diciembre del 2025, fecha en la que se concluyen el presente trabajo de investigación.

1.5.2. Delimitación Espacial

La delimitación espacial de la investigación se enfocó en el Puente Capillune, ubicado en la unidad minera Anglo American Quellaveco Moquegua, distrito de Torata, provincia de Mariscal Nieto, en la región de Moquegua, Perú.

medidas de reducción y prevención del riesgo para amparar tanto a los habitantes locales como los recursos naturales de la región. El plan de desarrollo regional de Moquegua (2020), determina que es imprescindible aplicar medidas específicas dirigidas a maximizar la capacidad de adaptación expuestos a riesgos de ladera, desde sistemas de monitoreo hasta métodos de utilización sostenible del suelo. El principal problema vinculado con la estabilidad de taludes se implica en el Puente Capillune en la UM Quellaveco de Anglo American; ubicado en Moquegua.

Una falla técnica común visible en la unidad AngloAmerican – Quellaveco se vincula con la estabilidad de los taludes junto a las cimentaciones y las estructuras de cruce, generado por escorrentía subsuperficial/superficial situado en el Puente Capillune. La estabilidad del área se ve afectada por distintos factores como la inestabilidad del suelo, el aumento de humedad y el desgaste producido por precipitaciones intensas; estos factores, añadidos a las presiones mecánicas resultantes del transporte de relaves y tránsito de maquinaria pesada, generan esfuerzos que afectan de forma negativa en la capacidad portante del terreno y complican la adherencia de los sistemas de anclaje. La ausencia de una verificación sistemática del comportamiento mecánico de los anclajes mediante ensayos especializados limita la identificación anticipada de movimientos o fallas estructurales; por eso, es indispensable optimizar los métodos de monitoreo a través de procesos de mayor presión técnica que garanticen la estabilidad de los taludes y la firmeza estructural bajo sus condiciones operativas actuales.

Si no se aplican planes de evaluación y control eficaces, la estabilidad taludes vinculados al Puente Capillune podría verse afectada por la pérdida de adherencia en los anclajes o deslizamientos, este escenario, potenciado por la humedad o la sobrecarga estructural, pondrá en riesgo la infraestructura minera y ocasionaría el cese de las operaciones logísticas; además, ocasiona graves impactos económicos y ambientales, mientras que la falta de vigilancia dificulta reconocer deformaciones o desplazamientos a tiempo, incrementando el peligro de sufrir colapsos.

Para disminuir los riesgos, es muy importante que se utilice las metodologías de análisis vibrante para calcular con exactitud cuánta carga pueden resistir los pernos y cómo se actúan los taludes; desde esta perspectiva, el método de Pull test se manifiesta como un instrumento funcional para analizar la estabilidad del sostenimiento y, por ende, la integridad y la fiabilidad del sistema de anclaje. La adopción de esta técnica, así como con el monitoreo geotécnico persistente y un estudio estructural completo, facilita llevar a cabo verificaciones preliminares específicas; la implementación de estas operaciones es indispensable para fortalecer la seguridad operativa, preservar la estabilidad de la infraestructura y lograr una disminución eficiente del riesgo geotécnico en el área de Moquegua.

Este estudio tiene primordialmente como finalidad mejorar los métodos de anclaje para las pruebas de carga, disminuyendo las restricciones actuales que se contemplan al adecuar el método de Pull Test. El proceso, detallado y conforme a lo largo de los años, para investigar la resistencia y la estabilidad de las estructuras geotécnicas debe seguir una guía con el objetivo de respaldar lo que puede obtenerse en un resultado seguro y preciso.

En esta situación, la investigación tiene como propósito presentar optimizaciones importantes en las prácticas de anclaje que aseguren pruebas de carga apropiadas y potencien la seguridad y la estabilidad de los taludes en la zona del Puente Paso de Relave Capillune, U.M AngloAmerican. En relación con esto, el estudio se apoya en la implementación de las mejoras indispensables para los procesos de anclaje y en hacer que las pruebas de carga sean más eficaces, además de fortalecer la estabilidad de los taludes en el área de cruce del puente de los relaves de Capillune, en la U.M. Anglo American en Quellaveco – Moquegua.

1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema General

¿Cómo es el comportamiento de la estabilidad de talud del Puente de Paso de Relave Capillune mediante la aplicación del método Pull Test a los pernos de anclaje en la Unidad Minera Angloamérican – Quellaveco,-Moquegua?

1.2.2. Problemas Específicos

- PE1.- ¿Cuál es la influencia del comportamiento geomecánico en la aplicación del Método Pull Test para evaluar los pernos de anclaje en la estabilidad de Talud en el Puente de paso de relave Capillune?
- PE2.- ¿Cuál es la influencia de la calidad de mortero en la aplicación del Método Pull Test para evaluar los pernos de anclaje instalados en la Estabilidad de Talud en el Puente de paso de relave Capillune?
- PE3.- ¿Cuál es la resistencia a la tracción de los pernos de anclaje instalados en los taludes mediante ensayos de Pull Test para evaluar la estabilidad del talud en el Puente de paso de relave Capillune?

1.3. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo general

Evaluar el comportamiento de la estabilidad de talud del Puente de Paso de Relave Capillune mediante la aplicación del método Pull Test a los pernos de anclaje instalados, con el fin de verificar su capacidad de carga en la Unidad Minera Angloamérican – Quellaveco,-Moquegua.

1.3.2. Objetivos Específicos

- OE1.- Determinar la influencia del comportamiento geomecánico en la aplicación del Método Pull Test para evaluar los pernos de anclaje en la estabilidad de Talud en el Puente de paso de relave Capillune.
- OE2.- Determinar la influencia de la calidad de mortero en la aplicación del Método Pull Test para evaluar los pernos de anclaje instalados en la Estabilidad de Talud en el Puente de paso de relave Capillune.
- OE3.- Determinar la resistencia a la tracción de los pernos de anclaje instalados en los taludes mediante ensayos de Pull Test. Para evaluar la estabilidad del talud en el Puente de paso de relave Capillune.

1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Justificación

La justificación se sustenta por el análisis de los problemas de seguridad en las laderas en Capillune en la unidad minera AngloAmerican en Moquegua, en el periodo 2021–2022. Este estudio muestra una solución vital para asegurar la estabilidad y la integridad de las obras en áreas mineras, cuyas condiciones se distinguen por sus taludes y características específicas del terreno geológico.

La investigación realizada en esta zona es indispensable para optimizar la fiabilidad y la eficacia de los sistemas que examinan la estabilidad de taludes, como los procedimientos de prueba de tracción o conocido como método Pull Test. Conseguir información de forma que la seguridad estructural pueda manejarse de manera sólida desde el enfoque técnico requiere comprender y reconocer el impacto de los factores geomecánicos particulares y la calidad del mortero al usar este método.

1.4.2. Importancia

Para asegurar la seguridad estructural de la obra y proteger a los habitantes, este estudio examino la estabilidad de todas las laderas en el puente de cruce Relave Capillune. Con la aplicación de este, impide deslizamientos de tierra que pueden perjudicar la infraestructura, ocasionar desastres o provocar altos costos de reparación. Asimismo, el estudio protege las cimentaciones y los pilares al ayudar a incrementar la vida útil de los puentes permitiendo que las actividades en el área no se paralicen; la investigación también cumple con las normas de seguridad y calidad ambiental, favoreciendo la protección del medio ambiente.

La estabilidad de taludes es una preocupación determinante para la seguridad de los trabajadores y de los habitantes cercanos, así como para la sostenibilidad de la extracción en el área minera. Los deslizamientos de tierra u otras errores pueden interrumpir las operaciones, ocasionar no solo pérdidas económicas significativas, sino también una destrucción ambiental de gran envergadura. Por tanto, este estudio es esencial, debido a que ayuda a optimizar los protocolos y prácticas de seguridad geotécnica en la minería, al reconocer las variables que alteran la estabilidad y plantear optimización en la evaluación con el método Pull Test, la investigación busca reforzar la gestión del riesgo para determinar una base técnica para diseñar procedimientos y políticas más eficaces en la seguridad operacional y estructural.

Por último, a causa de la dificultad e importancia del tema, los resultados de esta investigación podrían utilizarse en otros entornos de la ingeniería civil y la geotecnia. Esto facilitaría fomentar al progreso del conocimiento científico y a la optimización de los métodos de evaluación estructural que se emplean actualmente en proyectos de infraestructura y minería.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Mesa et al. (2020), en su estudio titulado “*Evaluación del factor de seguridad en taludes de terraplenes carreteros altos ante carga sísmica*”, publicado en la *Revista de Ingeniería Sísmica*, tuvieron por objetivo analizar el comportamiento del factor de seguridad (FS) en taludes de infraestructuras altas sometidos a cargas sísmicas. La metodología empleada consistió en un diseño experimental 3² mediante simulación numérica con el método de elementos finitos (MEF) y el método de Newmark en el software Geo-Studio (módulos QUAKE/W y SLOPE/W). Los resultados indicaron que ante aceleraciones sísmicas el factor de seguridad puede reducirse temporalmente por debajo de 1.0 debido a fuerzas inerciales; sin embargo, para garantizar la estabilidad global post-sismo de la infraestructura, el factor de seguridad final acumulado debe ser obligatoriamente 1.0. Concluyeron que en taludes de gran altura las intervenciones de perfilado y soporte son indispensables para prevenir deslizamientos ante eventos pseudoestáticos.

Villazhañay y Bucheli (2023) en su investigación titulada “*Estabilidad de taludes en el puente sobre el río Copueno en Morona Santiago-Ecuador*”, publicada en la revista *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, se plantearon como objetivo evaluar la estabilidad geomecánica de los taludes de acceso a un puente crítico de transporte viales. La metodología comprendió exploración geotécnica directa (perforaciones SPT, calicatas) y ensayos geofísicos de refracción sísmica (SRS). Los resultados evidenciaron que la estabilidad del talud está fuertemente condicionada por la variabilidad litológica, donde los estratos meteorizados y coluviales presentan mayores deformaciones y susceptibilidad a deslizamientos en comparación con los basamentos de roca sana o conglomerados compactos situados a mayor profundidad, los cuales actúan como una base rígida

de alto confinamiento. Concluyeron que la zonificación geológica-geotécnica exacta es indispensable para diseñar adecuadamente los elementos de retención y contención en laderas complejas que soportan puentes.

Kılıc et al. (2002), en su investigación titulada “Effect of grout properties on the pull-out load capacity of fully grouted rock bolt”, publicada en la revista Tunnelling and Underground Space Technology, tuvieron como objetivo evaluar la influencia de las propiedades mecánicas y la resistencia de la lechada de cemento sobre la capacidad de carga al arrancamiento (Pull Test) en pernos de anclaje inyectados. La metodología fue de carácter experimental cuantitativo en laboratorio, aplicando aproximadamente 80 ensayos de extracción sobre bloques de basalto con pernos de acero de diferentes diámetros y longitudes, utilizando mezclas con variadas relaciones agua/cemento (a/c). Los resultados mostraron que la resistencia a la compresión y la resistencia al corte del mortero influyen de manera logarítmica sobre la resistencia del anclaje, demostrando que al controlar una relación a/c adecuada (entre 0.34 y 0.40) se alcanza un rápido desarrollo de la resistencia en los primeros 7 días, trasladando el mecanismo de falla principal hacia la interfaz de adherencia entre el acero, la lechada y la roca sin fallas prematuras del mortero. Los autores concluyeron que la calidad de la mezcla y su tiempo de curado son determinantes para garantizar la adherencia del bulbo de anclaje.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Enciso y Núñez (2019), en su tesis “*Verificación de anclajes postensados mediante la aplicación del ensayo de capacidad en el edificio hotel ibis san isidro-lima-perú-2019*” (Universidad Ricardo Palma), evaluaron el comportamiento de anclajes en el conglomerado de Lima ($c' = 0.40 \text{ kg/cm}^2$, $\phi' = 38$, $\gamma = 2.10 \text{ t/m}^3$). Sometieron anclajes de prueba (longitudes libres de 4.50 m y bulbos de 4.50 m a 5.80 m) a escalones cíclicos de carga de hasta 150\% de la carga de servicio ($P_w = 392 \text{ kN}$ y 490 kN). Los resultados estadísticos mostraron desplazamientos elásticos

medidos de 21 mm y 22 mm a la carga de servicio ($100\% P_w$), registrando diferencias de apenas 1 mm a 7 mm respecto a las deformaciones teóricas calculadas (23 mm y 21 mm), manteniéndose 100% dentro del rango admisible de las líneas límites ($80\% L_L$ a $L_L + 50\% L_b$). Concluyeron que el control de deformaciones cíclicas certifica la seguridad del diseño.

Sullcahuaman (2019), en su investigación “*Evaluación diferencial entre la aplicación de cargas monotónicas y cíclicas del ensayo Pull Out Test en la instalación del sistema de sostenimiento del talud norte C2 - Cerro Verde, Arequipa*” (UNSA), comparó cuantitativamente 18 ensayos de tracción in situ sobre pernos de $\varnothing 32$ mm y $L = 3.0$ m. En celdas geomecánicas con RMR entre 47 y 64 (Roca Regular a Buena), los ensayos de arranque destructivos alcanzaron la rotura entre 26.0 y 30.0 toneladas}. El análisis comparativo determinó que en los ensayos cíclicos la elongación elástica pura del acero ($\varnothing 32$ mm) fue de solo 0.33 mm a 7 t, 0.68 mm a 14 t y 1.02 mm a 21 t (representando $<10\%$ del desplazamiento total acumulado). Concluyó estadísticamente que la deformación intrínseca del acero es despreciable y que las diferencias en la curva $F-\Delta$ dependen del fracturamiento del macizo y de la carga de alineamiento.

Ortiz (2022), en su tesis “*Aplicación de Mallas Triple Torsión Ancladas para Estabilización de Talud Rocoso en Institución Educativa JEM, distrito de Andahuaylas - 2022*” (UCV), analizó un talud rocoso de granodiorita de 111 m} de longitud y 22 m de altura. La caracterización geomecánica registró RMR = 62 (Clase III, Calidad Media), GSI = 57, UCS = 25 MPa, $\gamma = 28.36$ kN/m³ y parámetros de rotura Hoek-Brown ($m_b = 2.825$, $s = 0.002$, $a = 0.5035$, $c' = 0.235$ MPa, $\phi' = 32.56^\circ$). El análisis numérico determinó Factores de Seguridad globales estables (FS = 5.26 estático y 4.07 pseudoestático con $k_h = 0.12$ g); sin embargo, el análisis cinemático estereográfico en DIPS identificó un 16.67% de probabilidad de falla por cuña y riesgo de vuelco. La simulación en GEO5 del sistema de malla con anclajes de fuerza requerida $F = 2831.22$ kN ($T_{res} = 11,633.24$ kN) garantizó un $FS = 1.50 \geq 1.50$.

Vásquez (2018), en su tesis *“Estudio de estabilización de taludes en macizos rocosos fracturados que presentan mecanismo de falla en zona de explotación minera de la empresa Antamina”* (UPN), evaluó el sostenimiento con mallas Steel Grid HR30 (170 kN/m) y 732 pernos helicoidales de $\varnothing 25$ mm ($L = 3.0$ m, $f_y = 5270$ kg/cm², $F_{rotura} = 25.8$ t). Se ejecutaron 14 ensayos *Pull Test* in situ (2% de la población) sometidos a cargas escalonadas de 2.5 a 25.0 toneladas. El 100% de los pernos ensayados aprobó la prueba sin rotura de acero ni extracción del bulbo, registrando desplazamientos elásticos acumulados sumamente bajos que variaron entre 0.79mm y 7.09 mm a la carga de 20.0 t.

2.1.3. Antecedente local

Mamani y Tarqui (2023) en su tesis *“Análisis del factor de seguridad en estabilidad de taludes considerando geometría y tipo de suelo, carretera Omate - Moquegua, Moquegua, 2023”* (UCV), analizaron 3 taludes críticos en el sector Otora (km 6+800 al 8+200, 2700 m.s.n.m.). Los ensayos de laboratorio clasificaron el suelo como Arena Arcillosa (SC / A-2-6(0), $\gamma_{seco} = 1.474$ a 1.903 g/cm³, $c' = 13.10$ a 24.52 kN/m², $\phi' = 26.23^\circ$ a 27.95°). El análisis en Slide 6.0 mostró que los taludes actuales (71° a 75°) eran inestables ($FS = 1.34$ a $1.44 < 1.50$ estático). Al aplicar la prueba de correlación de Pearson, se obtuvieron relaciones estadísticas inversas altamente significativas entre el ángulo de inclinación y el FS ($r = -0.903$, $p = 0.001 < 0.05$), entre el coeficiente sísmico (k_h) y el FS ($r = -0.931$, $p = 0.001 < 0.05$), y entre el nivel freático y el FS ($r = -0.967$, $p = 0.033 < 0.05$). La propuesta geométrica a 56° estabilizó el terreno con $FS = 1.60$ a 1.87 (estático) y 1.29 a 1.39 (pseudoestático con $k_h = 0.198$ g).

Quispe & Rodríguez (2021), en su tesis *“Evaluación de estabilidad de taludes a través de elementos finitos en la carretera Interoceánica sur de Marcapata, Quispicanchis, Cusco, 2021”* (UCV), evaluaron taludes rocosos de basalto y gneis mediante el software Phase2 (RS2). En el Km 124 (Basalto, UCS = 133 MPa, RMR = 55), el factor de reducción de resistencia (SRF / FS) bajó

de 1.97 (roca sana sin juntas) a 1.82 (con juntas). Al aplicar un coeficiente sísmico $k_h = 0.15 g$, el FS colapsó a 0.47. La simulación de alternativas mediante elementos finitos demostró que el uso exclusivo de anclajes de 10 t alcanzaba un $FS = 0.93$ (insuficiente), mientras que la combinación de anclajes de 10 t con una pantalla de concreto de 10 cm elevó el factor de seguridad a $FS = 1.49 \geq 1.25$, reduciendo las tensiones axiales en los anclajes a valores de 0.007 MN a 0.031 MN (0.74 a 3.18 t).

2.2. BASES TEÓRICAS O CIENTÍFICAS

2.2.1. Talud

2.2.1.1. Tipos de taludes

Los taludes son estructuras inclinadas que se encuentran en el terreno y pueden clasificarse en diferentes tipos según su geometría, origen y estabilidad. A continuación, se describen algunos de los tipos de taludes más comunes, respaldados por referencias bibliográficas:

Tabla 1
Tipos de taludes

Clasificación	Tipos de Talud	Descripción
Taludes Naturales	Talud de ladera	Se refiere a una pendiente o inclinación natural del terreno, típicamente en una colina o montaña (Hernandez, 2019)
	Talud de barranco	Se refiere a la pendiente o inclinación de un terreno en un área donde hay un desnivel pronunciado, como un barranco, cañón o acantilado (Chavarria, 2021).
Taludes Artificiales	Talud de excavación	Se refiere a la pendiente o inclinación que se crea durante el proceso de excavación de tierra para construir cimientos, sótanos, zanjas u otros proyectos de ingeniería (Layana, 2023)
	Talud de terraplén	Se refiere a la pendiente inclinada que se construye artificialmente en el lado exterior de un terraplén, que es una estructura elevada de tierra o material de relleno utilizada para construir carreteras, vías férreas, presas u otras infraestructuras (Zavala, 2021).

Clasificación	Tipos de Talud	Descripción
Taludes por Estabilidad	Talud estable	Se refiere a una pendiente de terreno que mantiene su forma y resistencia frente a diversas fuerzas externas, como la gravedad, la erosión, la presión del agua y los cambios climáticos (Breña, 2019)
	Talud inestable	Es una pendiente de terreno que corre el riesgo de colapsar o deslizarse debido a diversos factores que comprometen su estabilidad (Torres & Real, 2021)
Taludes por Geometría	Talud convexo	Es una pendiente de terreno que se curva hacia afuera, alejándose del observador (Mujica & Reymundo, 2022).
	Talud cóncavo	Es una pendiente de terreno que se curva hacia adentro, hacia el observador (Castro, 2022).
	Talud recto	Es una pendiente de terreno que se inclina de manera uniforme en una sola dirección, sin curvaturas o irregularidades significativas (Gutiérrez, 2019)
Taludes por Mecanismo de Falla	Talud rotacional	Es un tipo de movimiento de masa en el que una porción de terreno se desliza y rota hacia abajo a lo largo de una superficie curva o cóncava (Romero, 2021)
	Talud translacional	Es un tipo de movimiento de masa en el que una porción de terreno se desplaza de manera rectilínea a lo largo de una superficie de ruptura plana o ligeramente inclinada (Espinoza, 2019).
	Talud de bloque	Es una formación geológica o geomorfológica que consiste en una masa de roca o suelo que se encuentra en una pendiente, pero que se ha separado del cuerpo principal y se ha desplazado como un solo bloque (Romero, 2021)

2.2.1.2. Introducción a la estabilidad de taludes

2.2.1.2.1. Definición de estabilidad talud

Existen diferentes conceptos sobre estabilidad de taludes como:

Breña (2019) menciona que la estabilidad de talud se refiere a su capacidad para resistir el deslizamiento o colapso bajo las condiciones a las que está expuesto. También Mujica & Reymundo (2022) definen al talud como cualquier superficie que tiene una inclinación horizontal, ya sea de forma temporal o permanente, y puede estar compuesto de suelo o roca. Un talud se considera estable cuando las fuerzas que actúan sobre él están equilibradas y no hay movimiento significativo de suelo o rocas (Carrion, 2019). Cahuana y Sánchez (2019) refieren que la estabilidad

de un talud está influenciada por varios factores, como la inclinación de la pendiente, la composición del suelo o roca, la presencia de agua, la vegetación, la actividad sísmica y las cargas externas. La estabilidad de taludes se refiere a la capacidad de un talud para permanecer en su lugar original sin sufrir deslizamientos, derrumbes o cualquier tipo de colapso (Zavala, 2021).

Evaluar la estabilidad de un talud es fundamental para prevenir deslizamientos, colapsos u otros eventos que puedan representar un peligro para la seguridad de las personas y las estructuras cercanas (Castro, 2022). Los taludes pueden ser producto de acciones humanas o formaciones naturales en proyectos de ingeniería, por ello para garantizar la estabilidad de los taludes bajo diferentes circunstancias y entornos, se utilizan variadas herramientas que abarcan monitoreo constante, estudios geotécnicos y medidas de reducción (Romero, 2021).

Por la inclinación del terreno, la gravedad provoca una fuerza que empuja el suelo hacia niveles más bajos, y si este es excesivo, se origina una falla en el talud; esto sucede cuando la fuerza sobrepasa la resistencia del terreno, la cual depende de forma directa de la capacidad de corte del suelo (Hospinal & Laureano, 2020).

2.2.1.2.2. *Equilibrio y estabilidad de taludes*

En el campo de ingeniería, el equilibrio y estabilidad de los taludes son esenciales, estos términos especifican la capacidad que tiene una pendiente para impedir deslizamientos o derrumbamientos, mantenido su estructura de forma continua, asimismo, lograr esta estabilidad es fundamental, para proteger la integridad de las infraestructuras, la seguridad de los ciudadanos y la protección del medio ambiente (Carrion, 2019).

Martínez & López (2021) destacan la importancia de un diseño cuidadoso y análisis riguroso, así como métodos de análisis de estabilidad, control de agua y monitoreo constante para garantizar la seguridad y durabilidad de los taludes. La estabilidad y el equilibrio de los taludes se

refieren a la capacidad de una pendiente o ladera para resistir el deslizamiento o colapso bajo diversas condiciones.

Castro (2022) refiere a la resistencia como una pendiente a la deformación o movimiento. Un talud se considera estable cuando las fuerzas que actúan sobre él están equilibradas y no hay riesgo inminente de falla. Los factores que afectan la estabilidad del talud incluyen la geología del terreno, la inclinación de la pendiente, la presencia de agua, la vegetación, la actividad sísmica y las cargas externas.

Así mismo, el equilibrio del talud se relaciona con la distribución adecuada de las fuerzas en un talud para mantener su estabilidad. Un talud está en equilibrio cuando las fuerzas que tienden a hacer que el suelo o la roca se desplacen hacia abajo (como la gravedad) se contrarrestan con las fuerzas que lo mantienen en su lugar (como la resistencia del suelo o la roca). El equilibrio se ve afectado por la geometría del talud, la cohesión del material, la fricción entre las partículas y otros factores (Torres & Real, 2021).

Para garantizar la estabilidad y el equilibrio de los taludes, se utilizan diversas técnicas de ingeniería, como la geometría adecuada de la pendiente, la instalación de sistemas de drenaje para controlar el agua, la estabilización con estructuras de contención o refuerzo, el monitoreo continuo de las condiciones del talud y la implementación de medidas de mitigación de riesgos. La evaluación cuidadosa de estos aspectos es fundamental para prevenir deslizamientos de tierra, colapsos y otros eventos que puedan representar peligros para la seguridad de las personas y las infraestructuras (Zavala, 2021).

2.2.1.2.3. Factores que afectan la estabilidad de taludes

Varios factores pueden influir en la estabilidad de un talud:

Geometría

La estabilidad de un talud está estrechamente relacionada con su forma y ángulo. En general, los taludes con pendientes más pronunciadas tienden a ser menos estables y más propensos a sufrir deslizamientos (Breña, 2019).

Tipo de material

La composición de los taludes bien sea de suelo o roca, determina su comportamiento estructural, siendo la resistencia y la cohesión al corte los criterios definitivos de su firmeza, desde esta perspectiva, los terrenos con características cohesivas, como las arcillas, evidencian una mayor susceptibilidad ante posibles desplazamientos, a diferencia de los suelos granulados como la arena (Torres & Real, 2021).

Presencia de agua

Esta presencia opera como un agente desestabilizador que disminuye la resistencia de los materiales e incrementa la presión de poros dentro del talud. Componentes como lluvias torrenciales, la profundidad o la proximidad a cuerpos de agua son factores fundamentales que determinan la integridad de las estructuras (Hospinal & Laureano, 2020).

Cargas externas

Las cargas extremas que son resultado de la construcción de obras o la ejecución de maquinaria pesada influyen de forma directa en el equilibrio del terreno, este incremento provoca fuerzas mecánicas extra que pueden exceder el límite de equilibrio y causar desplazamientos del suelo (Layana, 2023).

Actividad sísmica

Estas actividades simbolizan un riesgo inminente puesto que la alteración y las vibraciones de la presión de poros desgastan la consistencia del terreno; además, estas suelen detonar

movimientos en masa, principalmente en zonas con registros de inestabilidad geotécnica donde la capacidad del suelo se ve amenazada (Gutiérrez, 2019).

Factores de seguridad

Este es un indicador que permite tasar la estabilidad a causa de que contrasta la resistencia real de un sistema ante las fuerzas externas que influyen sobre él. Este valor establece a que distancia se detecta una estructura de su límite de rotura, posibilitando a los especialistas tomar decisiones preventivas que garanticen permanencia y protección de las obras civiles (Lugo, 2018).

El factor de seguridad (FS) se precisa a través de la vinculación entre la capacidad de resistencia que presenta el material y las solicitaciones o fuerzas exteriores que intervienen respecto a él. Específicamente, se define de la siguiente manera:

$$FS = \frac{Resistencia}{Carga}$$

Donde:

Resistencia: Se refiere a la capacidad máxima de una estructura para mantener con algunos esfuerzos externos sin presentar un quiebre; este aspecto se evidencia en la resistencia al corte cuando se examinan las áreas, para las infraestructuras, como capacidad portante o integridad mecánica (Díaz, 2021).

Carga: Es el conjunto completo de cargas que inciden en un sistema, y comprende fuerzas dinámicas y estáticas; y comprenden factores como el flujo de vehículos, el peso propio de la masa de suelo, la presión del agua debida a la filtración y la fuerza del viento, etc., que cambien el equilibrio estructural. (Layana, 2023).

- $FS > 1$: Cuando el factor de seguridad es mayor que la unidad, esto representa que la capacidad de respuesta del sistema sobrepasa la carga externa que opera sobre él,

preservando estables los elementos estructurales. Es decir, el sistema puede considerarse seguro y estable si me entiende.

- $FS = 1$: Cuando un factor de seguridad de 1 representa que el sistema está en su límite de resistencia. Cualquier aumento en la carga podría resultar en un fallo.
- $FS < 1$: Un factor de seguridad menor que 1 indica que la carga supera la resistencia del sistema, lo que significa que es probable que el sistema falle o se desestabilice.

El factor de seguridad se aplica en:

Diseño geotécnico: En ingeniería geotécnica, el factor de seguridad se emplea para analizar la estabilidad de diversos elementos como taludes, muros de contención, cimientos y otras estructuras que involucran suelos y rocas en su diseño (Pajuelo, 2018).

Diseño estructural: El factor de seguridad se utiliza en el diseño de una variedad de estructuras, como puentes, edificios y otras infraestructuras, con el propósito de garantizar su estabilidad y seguridad frente a diferentes condiciones de carga (Puquio, 2021).

Evaluación de riesgos: Una baja medida de factor de seguridad puede señalar un riesgo importante de fallo, lo que demanda la implementación de medidas de mitigación, tales como reforzamientos estructurales, modificaciones en el diseño o incluso evacuaciones preventivas (González, 2019).

Variabilidad de los datos: Los factores de seguridad se apoyan de forma directa en los datos recibidos acerca de la resistencia y las cargas de los resortes; no obstante, estos datos con frecuencia evidencian cambios según las propiedades de exposición de los materiales de construcción, la heterogeneidad del suelo y las variaciones en las condiciones de funcionamiento de la carga (Pajuelo, 2018).

Margen de seguridad: Según ciertas condiciones, es indispensable aplicar un factor de seguridad extra para compensar los datos técnicos inestables o inexactos. Este proceso disminuye los riesgos imprevistos, lo que lleva a un alto nivel de protección estructural. (Martínez & López, 2021).

2.2.1.2.4. Métodos de análisis de estabilidad del Talud

Los métodos de análisis de estabilidad de taludes se utilizan para evaluar la seguridad y el riesgo de deslizamientos o colapsos en taludes, ya sean naturales o artificiales. Estos métodos permiten a los ingenieros geotécnicos diseñar y aplicar medidas de estabilización si es necesario.

Los métodos más comunes son los siguientes:

Método de equilibrio límite

Consiste en analizar las fuerzas actuantes sobre el talud y compararlas con la resistencia al corte del material. Si la resistencia es mayor que las fuerzas actuantes, el talud es considerado estable (Ccahuana & Sanchez, 2019).

Método de elementos finitos

Mediante este método cuantitativo, se aparenta el comportamiento de la pendiente frente a distintas situaciones de sollicitación y grados de saturación hídrica, lo que facilita anticipar con mayor precisión la aparición de posibles inestabilidades en el terreno (Alvarez, 2020).

Análisis de falla potencial

El proceso se basa en determinar los planos de ruptura dentro de la estructura del talud para examinar el riesgo de desplazamiento de masa, a través de este se considera qué tan factible es que suceda un desplazamiento mediante las áreas de riesgo (Chavarria, 2021).

2.2.1.2.5. *Medidas para mejorar la estabilidad de los taludes*

Se presenta distintas tácticas para optimizar la estabilidad del talud:

Drenaje

La sustracción del excedente hídrico ayuda a potenciar la capacidad portante del terreno, lo que implica de forma directa en un aumento de la estabilidad del talud. Este proceso reduce la presión hidrostática y mejora la cohesión del suelo o roca, lo que contribuye a reducir el riesgo de deslizamientos y otros eventos de inestabilidad (Breña, 2019).

Refuerzos

Para poder reforzar el talud y reducir el riesgo de movimientos de masa, se pueden aplicar soluciones como pilotes, muros de contención o sistemas de anclaje; estas participaciones no solo aumentan la resistencia del suelo, sino que maximizan la distribución de las cargas, reduciendo de forma significativa la posibilidad de un colapso. (Mujica & Reymundo, 2022).

Control de vegetación

La introducción de vegetación en el área puede contribuir significativamente a la estabilidad del suelo, al mejorar su capacidad para retener agua y disminuir la erosión. La cobertura vegetal opera como un sistema de refuerzo natural, debido a que su red de raíces equilibra el terreno y reduce de forma considerable la posibilidad de desplazamientos de tierra (Pari, 2021).

2.2.1.2.6. *Mecanismos de falla de taludes*

La pérdida de estabilidad en las pendientes se ocasiona por una diversidad de detonantes específicos, habitualmente vinculados con transformaciones en el medio geológico, las propiedades geotécnicas, el factor antrópico o las variaciones climáticas; estos procedimientos establecen la naturaleza del derrumbe o desplazamiento que pueda suceder, por otra parte, examinar cómo se conectan estas variables es esencial para determinar un diagnóstico exacto de la estabilidad y emplear correctivas eficaces o soluciones preventivas (Huaman, 2023). Los principales sistemas de falla son los siguientes:

a) Falla por deslizamiento rotacional

Este tipo de rotura sucede cuando el deslizamiento de roca o suelo continua una trayectoria cóncava o curva; este también es un fenómeno recurrente en acumulaciones de suelos cohesivos. Mientras esto ocurre, el bloque desplazado rota alrededor de un eje horizontal que usualmente se ubica cerca de la punta del talud; para examinar los peligros y diseñar sistemas particulares de retención o disminución del peligro para las plasticidades del suelo, es esencial estudiar estos mecanismos como un procedimiento (Callirgos, 2020).

b) Falla por deslizamiento traslacional

Esta clase de superficie de falla se presenta de forma casi plana o lineal en el cual la masa se desplaza por medio de ella; esta variedad es característica de suelos con recursos de baja cohesión o granulares. Por otra parte, los desplazamientos rotacionales tienden a presentar una

menor profundidad, aunque pueden ocultar planos longitudinales extensos. Se debe establecer una diferenciación de estos fenómenos para presentar alternativas de estabilización que aseguren que la infraestructura sea confiable (Torres L. , 2019).

c) Falla por flujo

Esta falla se genera cuando un suelo saturado debilita su resistencia al corte y se desplaza con un comportamiento similar al de un fluido viscoso. Es característico de arenas saturadas o arcillas muy blandas. Los desencadenantes comunes comprenden el aumento súbito de la presión de poros, eventos sísmicos o la alteración de la inclinación del talud. Entender estas dinámicas es esencial para instaurar drenajes y medidas que impiden la licuación o el flujo del material (León, 2022).

d) Falla por caída de rocas

En macizos rocosos, la inestabilidad se muestra a través del desprendimiento de fragmentos o bloques aislados. Las fracturas naturales, la meteorización, los terremotos o la erosión son encargados de estas situaciones; estos son un riesgo para la vida humana y la infraestructura a causa de la fuerza del impacto y su rápida velocidad de caída, por ello es necesario explorar los motivos de su deslizamiento de tierra para que puedan instalarse una malla de refuerzo o barreras protectoras resistentes (Suloaga, 2023).

e) Falla por toppling (desprendimiento por volcaduras)

Este fenómeno geológico pequeño se produce cuando bloques de rocas se deslazan cuesta abajo por una pendiente empinada; este clase de falla está fomentado por una serie de factores, como la dirección y el ángulo de las fracturas en la roca, y el desgaste puede debilitar la base de la ladera. Otros elementos u otros agentes externos pueden influir la estabilidad de los bloques de roca y empujarlos más hacia adelante; además, estos métodos deben comprenderse para posibilitar

una prevención y disminución efectivas en laderas rocosas inclinadas vulnerables al riesgo (Tirado, 2020).

f) Falla por deslizamiento lateral

El deslizamiento lateral se presenta cuando una parte de una ladera se desplaza de forma horizontal en vez de hacerlo alrededor del plano vertical hacia abajo; este fenómeno causa una grieta. Además de este proceso, la actividad sísmica y la presión del agua subterránea también podrían desgastar de forma gradual la estabilidad del suelo, lo que podría conllevar a un fallo. La interacción de estos procesos puede ocasionar deslizamientos laterales en las laderas, representando una posibilidad de daño para la seguridad de la infraestructura y de las personas en las áreas deterioradas. Conocer estos mecanismos es esencial para poseer acciones apropiadas de prevención y gestión del riesgo siempre que se presente este tipo de falla en zonas vulnerables (Romero, 2021).

Los factores inmediatos son:

- Precipitación: Las fuertes lluvias pueden lograr que el suelo saturado se desestabilice, y provoque un aumento en la presión del agua de los poros finos, disminuyendo la resistencia al corte y generando desplazamientos de tierra.
- Actividad sísmica: Los terremotos pueden agitar el suelo y provocar desplazamientos de tierra a causa de las vibraciones en el terreno que ocasionan que la roca o el suelo sean inestables.
- Erosión: La erosión en la base de una inclinación puede hacer que se desplace.
- Actividades humanas: La minería, la construcción y otras acciones humanas pueden transformar la estabilidad de una pendiente, ya que cambian factores naturales de traslado que la ayudan.

2.2.2. Método Pull Test

Es un método de ingeniería que tiene como propósito efectuar ensayos acerca de la resistencia en cualquier estructura geotécnica o en los anclajes en taludes. En este método, se implanta de forma progresiva una deformación nominal y a fuerza de tracción constante sobre el anclaje antes de la falla, lo que concede establecer la capacidad de carga del anclaje y también la adherencia con la roca o el suelo circundantes (Enciso & Nuñez, 2019).

Es un método común definido por la American Society for Testing and Materials (ASTM) para examinar la resistencia de los anclajes en aplicaciones geotécnicas; El proceso para ensayar los anclajes se detalla en la norma ASTM D4435—Standard Test Method for Tensile Testing of Rock Anchor Bolts. Además, el libro llamado manual de ingeniería de cimentaciones de Hsai-Yang Fang brinda una descripción minucias del método Pull Test, junto con sus implementaciones, procesos de ensayo y comprensión de resultados. Esta obra es un referente reconocido en la ingeniería geotécnica y brinda una perspectiva general de los métodos de ensayo que se emplean para la examinación de infraestructura geotécnica y cimentaciones (Rodríguez, 2018).

2.2.2.1. Historia y desarrollo

El método de prueba de tracción se ha elaborado como un procedimiento fundamental para el análisis de la estabilidad de taludes y de estructuras geotécnicas con el paso del tiempo; se emplea este término para evidenciar su asociación histórica con la ingeniería de cimentaciones y la mecánica de suelos (Carrion, 2019).

Pese a que no se puede concretar una fecha específica, las evidencias iniciales de las pruebas de tensión se originan a experimentos de ingeniería iniciales; sin embargo, el avance fundamental en esta área empezó en el siglo XX respecto al establecimiento de particulares criterios y normativas acerca de su aplicación geotécnicas o de construcción (Breña, 2019).

La estandarización del método de Pull Test fue una iniciativa dirigida por American Society for Testing and Materials (ASTM), este ha publicado distintas normas para el ensayo de tracción, brindando pautas y procedimientos para llevarlo a cabo; además, los avances en la tecnología han concedido desempeños mucho más eficaces de los ensayos e inclusive han apoyado con su análisis (Lugo, 2018).

En la ingeniería geotécnica, se presenta un curso de investigación y desarrollo constante del método de Pull Test; estos trabajos nuevos se centran a mejorar los protocolos de ensayo, entender los resultados y emplear el método en contextos geotécnicos específicos, resaltando su importancia en el análisis de estabilidad y estructuras de taludes (Mujica & Reymundo, 2022).

2.2.2.2. Principios de funcionamiento

El método de Pull Test actúa bajo fundamentos que emplean una fuerza pensil tracción ajustada a un anclaje o a un elemento de fijación en una estructura geotécnica o inclinación. En la prueba, el anclaje se carga de forma incremental y se supervisa hasta su punto de falla, lo que ayuda a establecer la capacidad de carga de un anclaje, así como la adherencia con la roca o el suelo adyacentes (ASTM, 2020).

La mecánica de materiales y la resistencia de este determinan el desempeño de la Pull Test, donde la carga empleada al anclaje provoca tensiones internas en estos y dichas tensiones interactúan con las propiedades de la roca o suelo adyacentes. La contestación de un anclaje a la carga de tracción es un indicador esencial de su resistencia y de su conducta bajo condiciones reales de carga (Pérez, 2018) .

La ejecución de la Pull Test es el procedimiento de ubicar el anclaje en su posición de partida dentro de la pendiente y luego emplearlo de forma progresiva hasta lograr la fuerza de tracción establecida a través de equipos especiales. En esta prueba, los deslizamientos y la carga

empleada se conservan como valores separados, lo que posibilita construir curvas carga–desplazamiento y, por ende, establecer parámetros de seguridad y diseño (Gutierrez, 2022).

2.2.2.3. Aplicaciones y usos

Las aplicaciones del método de Pull Test están generalizados desde un ámbito de la ingeniería hasta otro; este enfoque se implementa esencialmente para examinar muros de contención, resistencias de anclajes en taludes, estructuras de retención de suelos y otros componentes geotécnicos expuestos a fuerzas de tracción (ASTM, 2020).

La prueba de tracción se emplea en el ámbito de la construcción de infraestructura como parte de las procesos de diseño y construcción en proyectos de puentes, carreteras, muros de contención y cimentaciones profundas; además, este posibilita comprobar la capacidad portante de los anclajes aplicados para consolidar taludes y asegurar la estabilidad y seguridad de las estructuras en distintas condiciones geotécnicas (Castro, 2022).

El Pull Test, como herramienta básica para analizar la estabilidad de taludes en bancos de cantera, botaderos de residuos mineros y otros ambientes geotécnicos complejos, en el caso de trabajos de excavación y minería. Esto es fundamental en el diseño de disposiciones de estabilización y en los peligros vinculados con deslizamientos y fallas de taludes (Zavala, 2021).

Además, el Pull Test se emplea para aplicaciones geotécnicas particulares, como la estabilización de suelos en proyectos de geotecnia ambiental y la restauración de taludes impactados por desplazamientos y deterioro; por otra parte, en una diversidad de entornos geotécnicos, se opta por su adaptabilidad y exactitud, lo que lo vuelve en una herramienta invaluable para asegurar estructuras estables y seguras (Suloaga, 2023)

2.2.2.4. Ventajas y limitaciones

El método de Prueba de Tracción brinda una medida cuantitativa y directa de la resistencia de los anclajes en estructuras y taludes geotécnicas, sin embargo, implica sus propias desventajas

y ventajas; este método proporciona mediciones sobre el terreno que permiten analizar de forma correcta la adherencia del anclaje y la capacidad portante al suelo adyacentes (ASTM, 2020).

El Pull Test presenta datos en tiempo real de la capacidad portante del anclaje, lo que concede tomar decisiones informadas tanto en las etapas de diseño como de construcción de los proyectos, por otra parte, la capacidad de modelado de la respuesta del terreno posibilita acomodar el diseño de los anclajes de acuerdo a las condiciones reales, lo que permitirá a brindar un mayor grado de estabilidad y seguridad para las estructuras puestas a cargas realistas; otra ventaja también es que permite una identificación precisa y en tiempo real que ayuda a disminuir fallas de la obra y a optimizar la eficiencia (Carrion, 2019)

La Pull Test puede llevarse a cabo en la gran mayoría de los ámbitos geotécnicos y bajo distintas condiciones de carga, lo que posibilita que se use en una amplia variedad de aplicaciones, evaluando muchos tipos de anclajes y componentes de fijación, obras de ingeniería o estructuras (Layana, 2023)

No obstante, se presentan algunas limitaciones de la técnica de pull test que es indispensable tomar en cuenta; entre las primeras es su alta dependencia a la preparación del suelo circundante y la calidad de la instalación del anclaje; por otra parte, los factores como obstrucciones físicas en la trayectoria del anclaje, la compactación del suelo y la experiencia de los soldadores pueden impactar la precisión de los resultados en el Pull Test (Torres & Real, 2021).

2.2.3. Normativa y estándares

2.2.3.1. Normativa del Talud

La estabilidad de taludes es un punto clave para el área de la ingeniería y su regulación está dirigida por estándares y normativas que determinan las condiciones y exigencias procedimentales para la construcción, diseño, supervisión y preservación de taludes. Por ello se presentan algunos ejemplos de la legislación y los condiciones correspondientes en este contexto:

2.2.3.1.1. Normativa Internacional

- a) ISO 18674-1:2015 (E): Es un estándar internacional donde sus directrices tienen como propósito ayudar en el reconocimiento y análisis de riesgos además de la selección de medidas de reducción.
- b) ASTM D4435 - 13: Es una guía estándar para el reconocimiento y especificación de la estabilidad de taludes de relleno de suelo y roca con pruebas de laboratorio y de campo, lo que comprende los procesos de recojo de datos, evaluación de factores de seguridad e interpretación de resultados.

2.2.3.1.2. Normativa Nacional

- a) Norma Técnica Peruana NTP 399.502: Brinda requerimientos mínimos y procedimientos para la construcción, diseño y mantenimiento de taludes en obras geotécnicas y civiles en el territorio nacional; además, integran criterios de selección para los materiales usados para el control y la estabilización de la erosión.
- b) Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE): Son normas que determinan las características técnicas mínimas que las obras y las estructuras geotécnicas deben ejecutar para su apropiada seguridad estructural y geotécnica, esta norma además establece disposiciones específicas acerca de la estabilidad de taludes en distintos tipos de proyectos.

2.2.3.1.3. Estándares Específicos

- a) FHWA Geotechnical Engineering Circular No. 7 (GEC 7): Es una guía para el diseño, construcción y supervisión de taludes en obras de autopistas o carreteras, asimismo, brinda directrices acerca de los métodos de análisis de estabilidad selección de medidas de estabilización y criterios de diseño (U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration , 2015).

- b) Eurocode 7 - Part 3: Esta norma Europea detalla los criterios de diseño geotécnico que pueden emplearse para diferentes obras de ingeniería, también abarca reglas para examinar la estabilidad de los taludes y orientación acerca de cómo cumplir con el nivel de seguridad necesario y sugiere algunos procedimientos exigidos por la investigación geotécnica previa. Su principal función como marco normativo es que es una herramienta vital de trabajo para ingenieros o actores en este ámbito, debido a que brinda directrices prácticas y completas para la ejecución de proyectos geotécnicos de acuerdo a la normativa vigente y los métodos prácticos de la industria (Norma Europea Experimental, 2002).

2.2.3.2. Normativa del Método Pull test

American Society for Testing and Materials (ASTM, 2020) en sus regulaciones sobre el método de Pull Test determina que:

ASTM International difunde la mayor parte de las normas apoyadas en Estados Unidos para información vinculada con ensayos geotécnicos; entre estas, la norma ASTM D4435 que brinda información detallada acerca del equipo necesario, el procedimiento de ensayo y los pautas de aceptación para establecer la capacidad de carga de anclajes y cimentaciones sujetas a cargas de tracción. Cumplir estas regulaciones posibilita la integridad de la salida producida a través del método de Pull Test y garantiza resultados consistentes en distintos proyectos de ingeniería.

Una amplia variedad de entidades autorizadas puede publicar características y normas para la evaluación de ensayos de tracción y las pruebas de estabilidad de taludes en distintos ASTM o, en algunos casos, esta información podría determinarse por otras organizaciones de normalización como ANSI (American National Standards Institute) e ISO (International Organization for Standardization). La aplicación y el cumplimiento de estas normas es crucial para impulsar la seguridad, la integridad y la calidad de las estructuras de ingenieros o geotécnicos a nivel mundial.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Estabilidad de Talud: Se le conoce como la resistencia del suelo ladeado a desplazarse o caerse debido al clima (Breña, 2019).

Método Pull Test: La prueba de tracción o solo llamada Pull Test es un método de que se usa en el área de ingeniería para analizar la resistencia de los anclajes en taludes u otros sistemas geotécnicos (Enciso & Nuñez, 2019).

Talud de ladera: Se le conoce como una inclinación o una pendiente natural generalmente en una montaña o colina (Hernandez, 2019).

Talud estable: Es una superficie del terreno que mantiene la forma y la resistencia para resistir distintas fuerzas externas como los agentes hidráulicos o la gravedad, así como la variación de temperatura (Breña, 2019).

Talud inestable: Se refiere al terreno que puede desplazarse o colapsar como resultado de algunas factores detonantes (Torres & Real, 2021)

Drenaje: Al eliminar la excesiva cantidad de agua se aumenta la capacidad de resistencia del material y, por lo que las laderas son estables, este proceso reduce la presión hidrostática e incrementa la tensión efectiva en el suelo o la roca, cuya disminución ayuda a reducir los desplazamientos de tierra y otros eventos que generan inestabilidad (Breña, 2019).

Control de vegetación: La aplicación de vegetación en el área tiene mucha relevancia para preservar la estabilidad del suelo, debido a que aumenta tanto la retención de agua del suelo como la protección contra el deterioro (Pari, 2021).

Factores de seguridad: Este ayuda a entender el peligro de falla de una ladera u otras estructuras; además este factor evalúa qué tan bien el sistema combate las cargas y/o fuerzas a las que se afronta, en relación con su capacidad natural para aguantar ese tipo de cargas (Lugo, 2018).

2.4. HIPÓTESIS Y VARIABLES

2.4.1. Hipótesis General.

La aplicación del método Pull Test a los pernos de anclaje instalados en el Puente de Paso de Relave Capillune garantiza la capacidad de carga de los pernos y el comportamiento geomecánico en la unidad minera Angloamérican – Quellaveco – Moquegua.

2.4.2. Hipótesis Específicas

- HE1.- El comportamiento geomecánico influye positivamente en la aplicación del Método Pull Test para evaluar los pernos de anclaje en la estabilidad de Talud en el Puente de paso de relave Capillune.
- HE2.- La calidad de mortero influye positivamente en la aplicación del Método Pull Test para evaluar los pernos de anclaje instalados en la Estabilidad de Talud en el Puente de paso de relave Capillune.
- HE3.- La resistencia a la tracción de los pernos de anclaje instalados en los taludes mediante ensayos de Pull Test garantiza la estabilidad del talud en el Puente de paso de relave Capillune.

2.5. VARIABLES DE ESTUDIO

2.5.1. Identificación de variables

Variable dependiente: Estabilidad de Talud

Variable independiente: Método Pull Test.

2.5.2. Cuadro de Operacionalización de variables

Tabla 2

Operacionalización de variables

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES
Variable dependiente Estabilidad de Talud	Características topográficas	Altura del talud (m) Ángulo de inclinación (°) Factores de seguridad (FS) Cargas externas
	Composición del material	Resistencia a la compresión del concreto lanzado Resistencia a la compresión de lechada Adherencia entre el anclaje y el grout
	Capacidad del anclaje	Resistencia del material del anclaje Longitud del anclaje (L) Profundidad del talud (H) Distancia entre anclajes o espaciamiento (S)
Variable independiente: Método pull Test.	Propiedades geomecánicas	Tipo de material Densidad del material (kg/m ³) Cohesión (Pa) Ángulo de fricción Porosidad (%) Saturación de agua (%) Estructura geológica
	Calidad del mortero	Fuerza máxima aplicada Resistencia a la tracción Curva de carga-desplazamiento Punto de falla Umbral de carga
	Deformación	Distancia de desplazamiento total (cm) Velocidad de desplazamiento (cm/s) Distancia de desplazamiento elástica (cm) Distancia de desplazamiento residual (cm) Deformación relativa (%)

CAPÍTULO III

MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es aplicada ya que busca resolver un problema específico relacionado con la estabilidad de los taludes en la Unidad Minera Anglo American Quellaveco. Esta investigación se centra en la aplicación del método Pull Test para evaluar la estabilidad de los taludes en el Puente Capillune y en identificar mejoras significativas en las técnicas de anclaje existentes.

3.1.2. Nivel de la investigación

El nivel de investigación explicativo porque pretende explicar la influencia de factores como el comportamiento geomecánico y la calidad del mortero en la aplicación del método Pull Test para evaluar la estabilidad de los taludes.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1. Población

La población de la investigación está constituida por todos los taludes que se encuentran dentro del área de influencia del Puente Capillune en la Unidad Minera Anglo American Quellaveco. Estos taludes están sujetos a los procesos de evaluación y estabilización con el método Pull Test.

3.2.2. Muestra

La muestra se seleccionará de forma intencional e incluirá los taludes de la Cepa 3, porque presento complejidad en el puente Capillune. del entorno de la Unidad Minera Anglo American Quellaveco. La muestra será representativa de las condiciones geológicas y geotécnicas de la zona de estudio para asegurar resultados generalizables.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. Técnicas

a) Observación directa

Para evaluar el estado actual de los taludes y realizar mediciones preliminares.

b) Entrevistas a expertos

Con profesionales en geotecnia y minería para obtener información adicional sobre las características del terreno y los procedimientos actuales de estabilización de taludes.

3.3.2. Instrumentos

a) Medidores

Utilizados durante la realización del Pull Test para medir la fuerza de tracción aplicada y los desplazamientos.

b) Cinta métrica

Para medir las dimensiones de los taludes, incluidos la altura, el ángulo de inclinación y otros parámetros relevantes.

c) Cuestionarios

Para recopilar información de expertos sobre las condiciones geológicas y geotécnicas del área de estudio.

3.3.3. Procesamiento de datos

Para el procesamiento de datos se empleará una revisión bibliográfica y caracterización geomecánica del sitio a través de ensayos de laboratorio y levantamientos topográficos, con la ejecución experimental de pruebas *Pull Test* in situ bajo normativas estandarizadas (ASTM D4541). Los datos conseguidos sobre la calidad del mortero, propiedades de la roca y resistencia a la tracción de los anclajes serán procesados estadísticamente y usados para calibrar modelos numéricos y de equilibrio límite, permitiendo determinar la influencia de los factores geomecánicos

y la dosificación del mortero en la estabilidad del talud del Puente Capillune, verificando finalmente el cumplimiento de las especificaciones técnicas de Angloamericana Quellaveco.

3.3.3.1. Técnicas de análisis de datos

a) Análisis estadístico

Los datos recolectados serán analizados mediante métodos estadísticos para identificar tendencias y relaciones entre las variables dependientes e independientes.

b) Informe técnico

Los resultados obtenidos se presentarán en un informe técnico detallado que incluirá las conclusiones y recomendaciones para mejorar la estabilidad de los taludes en el Puente Capillune.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Aplicación del Pull test para la estabilidad de taludes

Este capítulo presenta los resultados del ensayo de Pull Test realizado en el talud del Puente Capillune CEPA 03. Se detallan los resultados de la resistencia a la compresión del concreto, la resistencia a la compresión de la lechada y otros ensayos relevante.

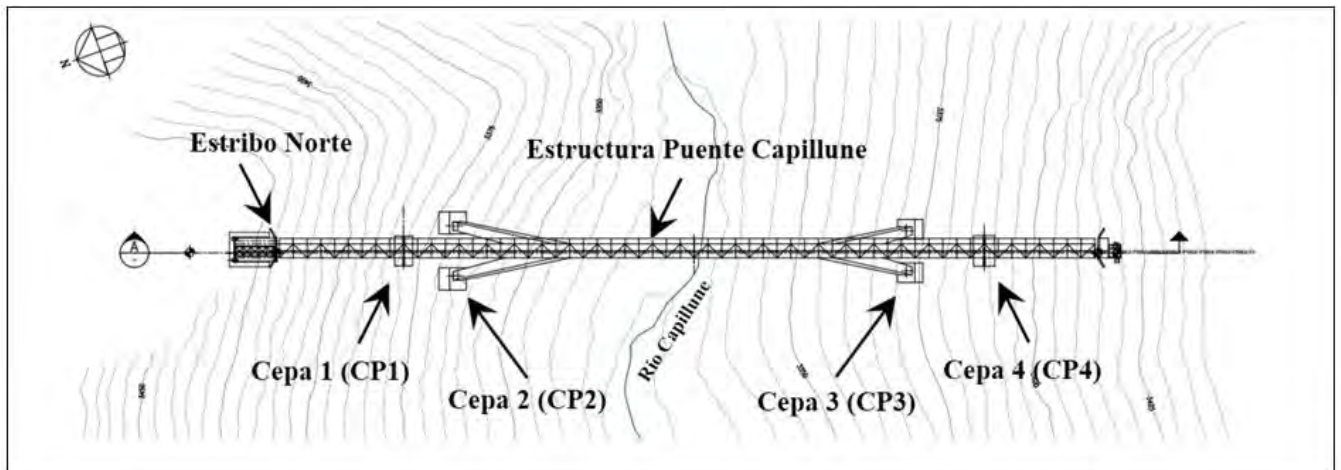
4.1.1. Geomecánica del talud Cepa 03

Ubicación, geometría del puente Capillune

El Puente Capillune es una estructura de 295 metros de largo, con altura máxima de cepas de 90 metros, forma parte del sistema de transporte de relaves, con coordenadas de inicio N 8.102.080, E 324.088 (Estribo Norte) y de término N 8.101.801, E 323.987 (Estribo Sur). El puente se proyecta a través de vigas enrejadas continuas, cepas laterales verticales y cepas centrales inclinadas. La disposición general de la obra se observa en las siguientes figuras:

Figura 1

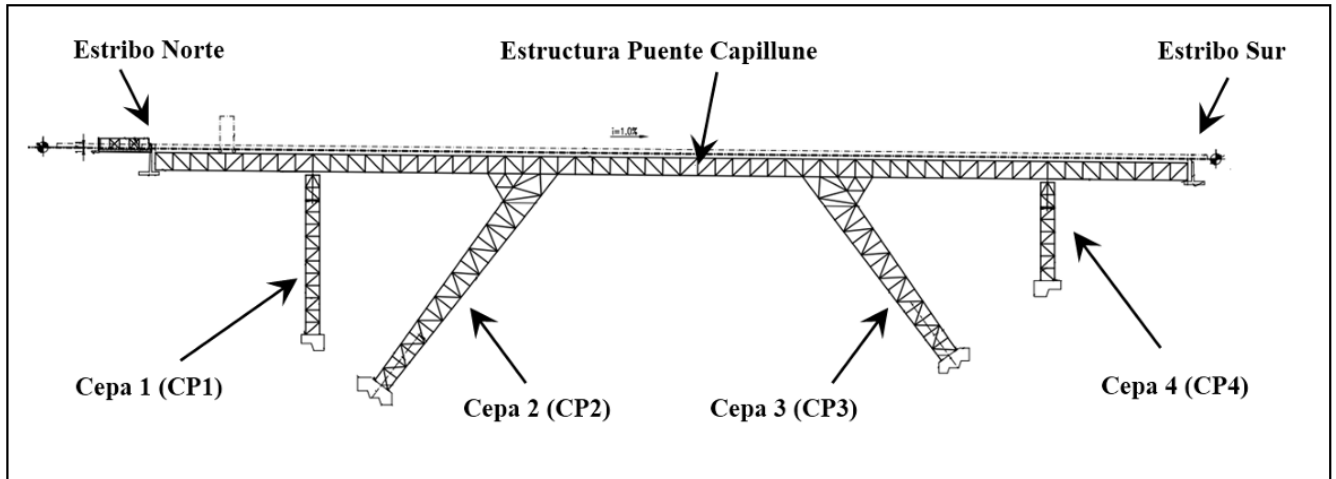
Puente Capillune – Vista en planta



Fuente: *Informe Geotécnico – Puente Capillune*

Figura 2

Sección A – Vista general de cepas y estribos.



Fuente: *Informe Geotécnico – Puente Capillune, Fig. 5.2.*

En las figura 1 y 2 se presenta el corte general e implantación del puente Capillune, el cual en planta se ve el eje del puente cruzando el cauce y la ubicación de los apoyos: Estribo Norte y Estribo Sur en los extremos y las cepas CP1–CP4 distribuidas a lo largo del alineamiento.

La sección A valida la configuración estructural: el tablero se apoya en 4 pilas, con CP2–CP3 como elementos más altos en el tramo central, mientras CP1 y el Estribo Norte quedan en una zona más baja y CP4 se aproxima al talud Sur; los estribos se empotran en laderas opuestas. Esta geometría define los 2 ámbitos geotécnicos de evaluación (Estribo Norte y Estribo Sur), ubica el tramo de estabilización con anclajes en el sector sur y explica la necesidad de cortes/plataformas temporales y de verificar la estabilidad global por estribo en los análisis posteriores.

Caracterización del perfil estratigráfico

La estabilidad del talud en el Puente de Paso de Relave Capillune depende de las propiedades del macizo rocoso subyacente. Se identificaron dos unidades de granodiorita con propiedades contrastantes: una moderadamente meteorizada (Unidad U-3) y otra sana (Unidad U-4).

En los sondeos de la zona del puente se reporta para la granodiorita meteorizada RQD 11%–33% y UCS 5,7–15 MPa; para la granodiorita sana RQD 33%–88 % y UCS 150–200 MPa. Con mapeo y criterio Hoek–Brown, se adoptaron $GSI \approx 50$ (meteorizada) y $GSI \approx 80$ (sana), lo que conduce a σ_t muy diferentes: 0,01 MPa (meteorizada) vs 1,58 MPa (sana). Esta brecha explica el contraste de respuesta tensional y los mecanismos de falla potenciales alrededor de los anclajes.

Fitografía de cajas del sondaje SPC-3.

Figura 3

Registro fotográfico del sondaje SPC-3: Unidades de Granodiorita meteorizada y Granodiorita sana.



Del análisis geomecánico del puente se distinguen 2 unidades principales y sus parámetros para diseño.

Tabla 3

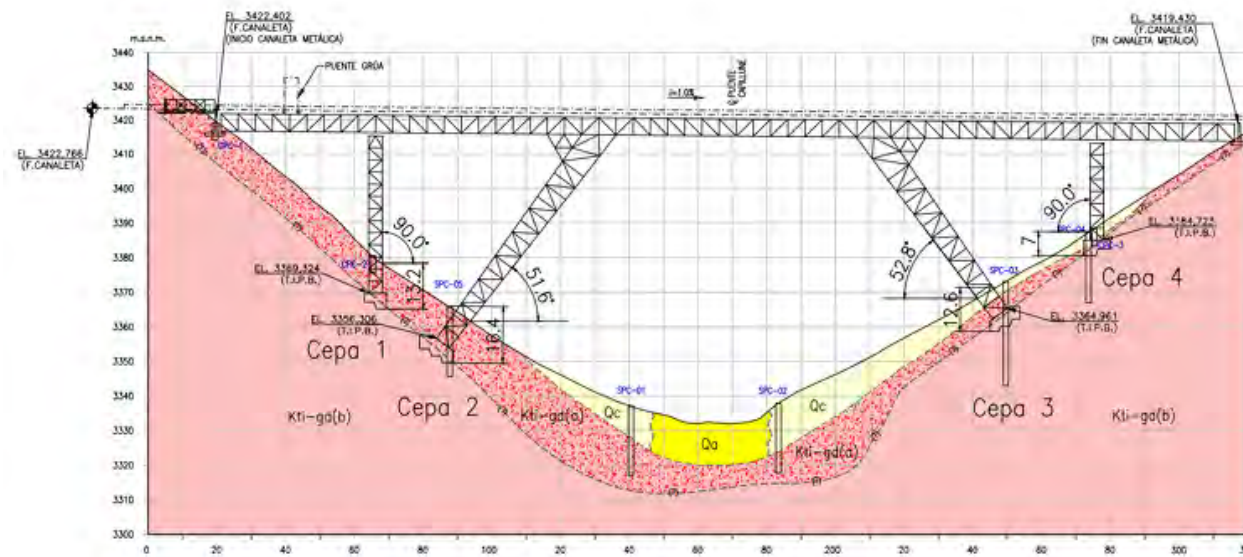
Propiedades Geotécnicas Unidades Meteorizada y Sana

PARÁMETROS	U-3 (moderadamente meteorizada)	U-4 (escasamente meteorizada a sana)
Densidad, γ (t/m ³)	2,40	2,65
Cohesión, c (t/m ²)	12	60
Ángulo de Fricción Interna, ϕ (°)	46°	65°
Módulo de Deformación, E_s (t/m ²)	35.000	300.000
Razón de Poisson, ν	0,38	0,30

Fuente: *Análisis Geomecánico*

Figura 4

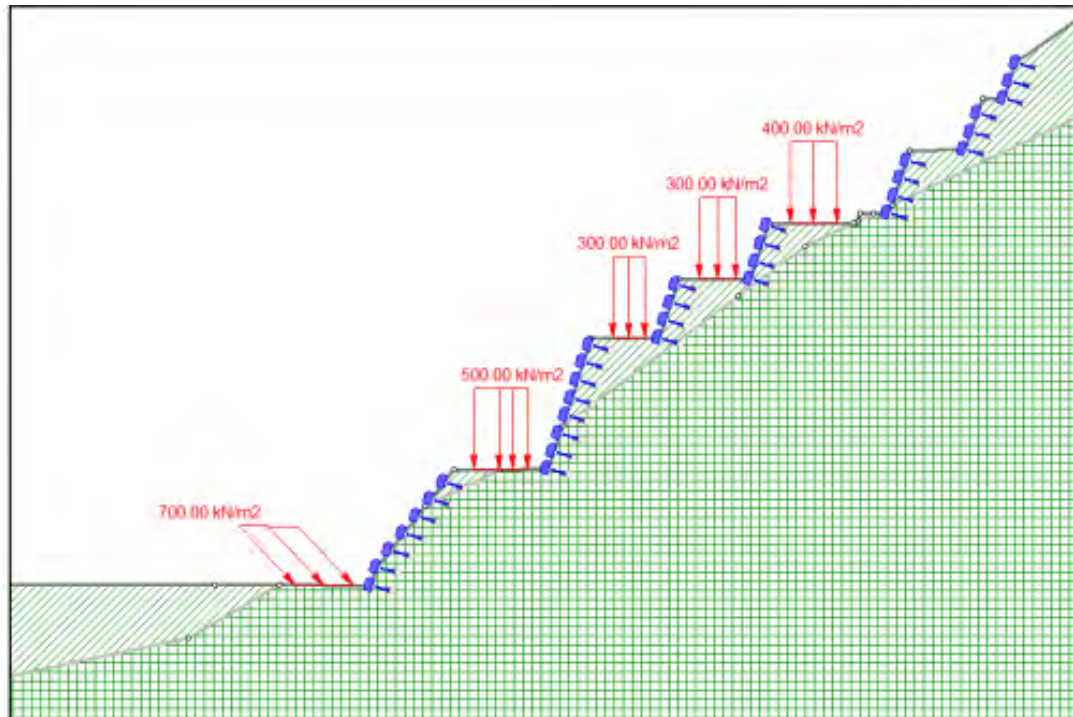
Perfil longitudinal del puente con estratigrafía.



Fuente: *Análisis Geomecánico*

Figura 5

Modelo – Estribo Sur (CA3–CA4).



Fuente: HSA-20014-001, Fig. 4.1 y 4.2.

En la figura 5, el modelo geológico-geotécnicos Sur (CA3–CA4) evidencia taludes acodados con bermas, trazos de discontinuidades y zonificación del macizo; el reperfilado con

plataformas acorta superficies potenciales de falla y aumenta el confinamiento entre bermas, lo que explica la mejora de la estabilidad global, especialmente en el Estribo Sur (FS de 1,228/0,976 sin cortes a 2,339/1,891 con CA3–CA4; el Norte se mantiene conforme).

Solicitaciones de diseño

Cepa 4 gobierna por tracción ($T_{\text{máx/anc}} \approx 46,8$ t, tracción total ≈ 104 t), mientras el sector central (3a–3b–2b) gobierna por corte (mayores resultantes; V2 cambia de signo). Cepa 2a casi sin tracción; Cepa 1 con demandas moderadas.

Tabla 4

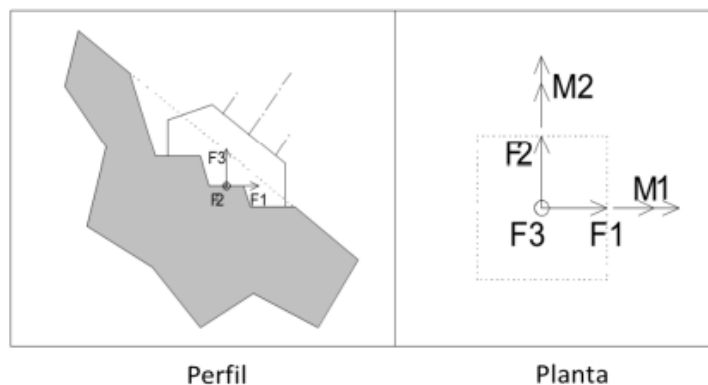
Solicitaciones a tomar con anclajes (cortes V1, V2; tracción; T máx. por anclaje).

Cepa	Tracción vertical Máx. por anclaje T3 (Ton)	Resultante corte total (Ton)	Corte total V1 (Ton)	Corte total V2 (Ton)	Tracción Máx. por anclaje T Máx. (Ton)	Tracción Máx. total vertical (Ton)
1	4,6	92,1	16,2	90,6	31,2	15,7
2a	0,2	198,6	188,8	-61,8	30,2	0,7
2b	0,4	265,1	254,4	74,7	39,2	1
3a	2,9	326,8	318,8	-72,2	44,5	17,6
3b	1,8	278,8	270,8	-66,3	38,9	11,4
4	25,8	145,2	141	34,5	46,8	104

Fuente: *Análisis Geomecánico*, Tabla 7.1 (Sección 7.0).

Figura 6

Ejes locales del análisis estructural (M1, M2, F1–F3).



Fuente: *Análisis Geomecánico*.

La figura 6 fija el sistema de ejes locales del análisis: F1 y F2 son los cortes horizontales en planta (longitudinal y transversal al talud, los mismos que en la tabla V1/V2), F3 es la tracción

vertical del anclaje; M1 y M2 son los momentos alrededor de esos ejes. Con esta convención se leen las solicitaciones de la Tabla 4 (qué componente gobierna por cepa).

Tabla 5

Solicitaciones a tomar con Anclajes

Cepa	Tracción vertical máx. Por anclaje t3 (ton)	Resultante corte total (ton)	Corte total V1 (ton)	Corte total V2 (ton)	Tracción máx. Por anclaje T máx. (ton)	Tracción máx. Total vertical (ton)
1	4,6	92,1	16,2	90,6	31,2	15,7
2a	0,2	198,6	188,8	-61,8	30,2	0,7
2b	0,4	265,1	254,4	74,7	39,2	1
3a	2,9	326,8	318,8	-72,2	44,5	17,6
3b	1,8	278,8	270,8	-66,3	38,9	11,4
4	25,8	145,2	141	34,5	46,8	104

Fuente: *Análisis Geomecánico*, Sección 7.0.

4.1.2. Inyección de pernos

Diseño de mezcla

Las lechadas de anclaje se diseñaron con Cemento Yura IP y combinaciones de aditivos expansores/superplastificantes específicas según el tipo de perno: DL-02 (helicoidal) emplea Intraplast PE + MasterEase 3900 con a/c = 0,33, mientras que DL-04 (helicoidal) utiliza Euco Span + Neoplast 8500 HP con a/c = 0,31. Estas formulaciones logran mezclas bombeables, sin sedimentación ($\leq 5\%$) y con resistencias a 7 días $\geq 29,4$ MPa, de acuerdo con los ensayos de laboratorio reportados en el INF-055.

Tabla 6

Diseños de lechada y materiales

Diseño	Relación a/c	Cemento Yura IP (kg)	Agua (kg)	Aditivo 1	Cant. (kg)	Aditivo 2	Cant. (kg)
DL-02 (helicoidal)	0,33	42,5	14,0	Intraplast PE	0,565	MasterEase 3900	0,159
DL-04 (helicoidal)	0,31	42,5	13,0	Euco Span	0,075	Neoplast 8500 HP	0,127

Fuente: *INF-055 – Informe de diseño de lechadas.*

Figura 7

Preparación de Lechadas para inyección de Pernos de Prueba



Control de propiedades en estado fresco

En laboratorio se controlaron las propiedades reológicas de la lechada conforme a ASTM: temperatura 10–32 °C (C1064), fluidez *Marsh* (C6910) registrada con embudo y medida como fluidez inicial 5–10 min y fluidez final 25–35 min (aplicable a lechadas para pernos autoperforantes), y sedimentación (C243) aceptada con $\leq 5\%$; en los diseños evaluados se obtuvo 0% de sedimentación. Estos rangos se emplean como datos de diseño y para comparar con los controles de campo.

Figura 8

Fluidez Marsh (embudo)



Fuente: INF-055.

Figura 9

Ensayo de fluidez con Cono de Marsh para verificar la viscosidad de la lechada.



Metodología de muestreo (QA/QC)

La lechada se prepara e inyecta con A/C entre 0,30 y 0,35, controlada en campo con equipos de laboratorio calibrados (balanza, pipetas y baldes verificados), y se ensaya para verificar $f'c \geq 300 \text{ kg/cm}^2$ a 7 días; el muestreo se realiza por tanda, tomando cubos al inicio de cada preparación según el plan PI&E 7200.

Figura 10
Muestreo de Lechada DL-02



Figura 11
Muestreo de Lechada DL-04



Ensayo de compresión de cubos 2"×2" (método): Las probetas de mortero de lechada se moldearon en cubos de 50×50×50 mm siguiendo ASTM C109/C109M-16a. Cada molde se llenó en dos capas (~25 mm cada una). Cada capa se apisonó 32 golpes en 4 rondas de 8 golpes, con rondas en ángulos rectos entre sí; la presión del apisonado debe ser solo la necesaria para lograr

llenado uniforme. Durante la segunda capa, el mortero expulsado se reincorpora antes de cada ronda y, al finalizar, se enrasa con llana de acero en un solo pase. El apisonador es no absorbente y no abrasivo, con sección 13×25 mm y longitud 150 mm, cara plana y perpendicular al eje. Las probetas se curaron en agua a 23 ± 2 °C (ASTM C1064) y se ensayaron a los 7 días (ASTM C109) (y de ser requerido, a 3 días), con prensa calibrada.

Esquema de apisonado

- Capa 1 (~25 mm): 4 rondas × 8 golpes = 32 golpes → pasar a capa 2.
- Capa 2 (llenado total): 4 rondas × 8 golpes = 32 golpes; reincorporar el mortero expulsado en cada ronda; enrasar con llana.
- Apisonador: 13×25 mm, 150 mm de largo, cara plana.
- Curado y edades: 23 ± 2 °C en agua; 3 y 7 días.

4.1.3. PULL TEST

Protocolo del ensayo (ASTM A615 G75)

Tabla 7

Cargas de diseño y de prueba por diámetro requeridas por la unidad minera Angloamericana - Quellaveco

Ø (mm)	Acero	Carga de diseño (t)	Carga de prueba = 2/3 (t)	¼ (t)	½ (t)	¾ (t)	δ total límite	Instrumento
25	ASTM A615 G75	14,7	9,8	3,3	6,5	9,8	≤ 12,5 mm	Vernier ±0,03 mm

La carga de prueba definida en 2/3 de la carga de diseño es un ensayo no destructivo que verifica que el perno sostiene su capacidad con deformaciones controladas: para Ø25 → 9,8 t. Se aplica en 3 escalones ($\frac{1}{4}$ – $\frac{1}{2}$ – $\frac{3}{4}$) con permanencias 3–3–5 min para evitar picos y estabilizar lecturas; el criterio de aceptación es δ total ≤ 12,5 mm y sin arranque/relajación, medido con vernier digital ±0,03 mm para capturar variaciones finas. Si el perno mantiene el $\frac{3}{4}$ dentro de ese límite de

desplazamiento, aprueba la prueba; si no, debe investigarse alineación, longitud de desarrollo, continuidad del bulbo o calidad de lechada.

Figura 12
Ensayo de Pull Test



Elementos del sistema de anclaje

Tabla 8
Características del elemento de anclaje (Titan 73/53).

Característica	Valor	Unidad
Diámetro exterior, ϕ ext	73	mm
Sección transversal, A	1631	mm ²
Tensión de Fluencia, σ_y	5900	Kg/cm ²
Fuerza de rotura, Fr	116	ton

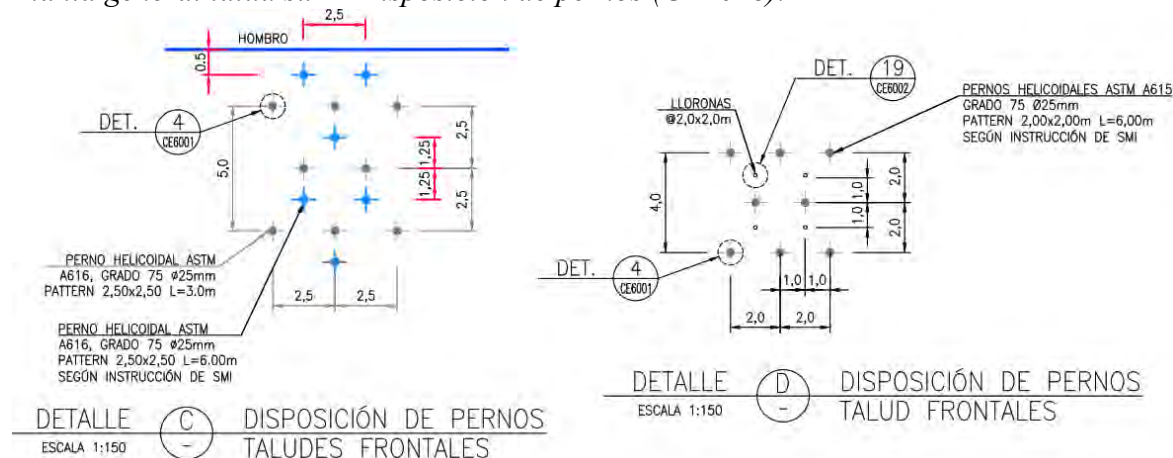
Fuente: *Análisis Geomecánico*

La tabla 8 resume el anclaje tipo Titan 73/53 ($A = 1631 \text{ mm}^2$, $\sigma_y = 5900 \text{ kg/cm}^2$, Fructura $\approx 116 \text{ t}$): su capacidad de acero es muy superior a las cargas de prueba ($\approx 7,6\text{--}9,8 \text{ t}$) y de diseño por perno, por lo que el modo controlante en obra es la adherencia lechada-roca y la longitud de desarrollo del bulbo, no la resistencia del acero.

Ubicación y disposición

Figura 13

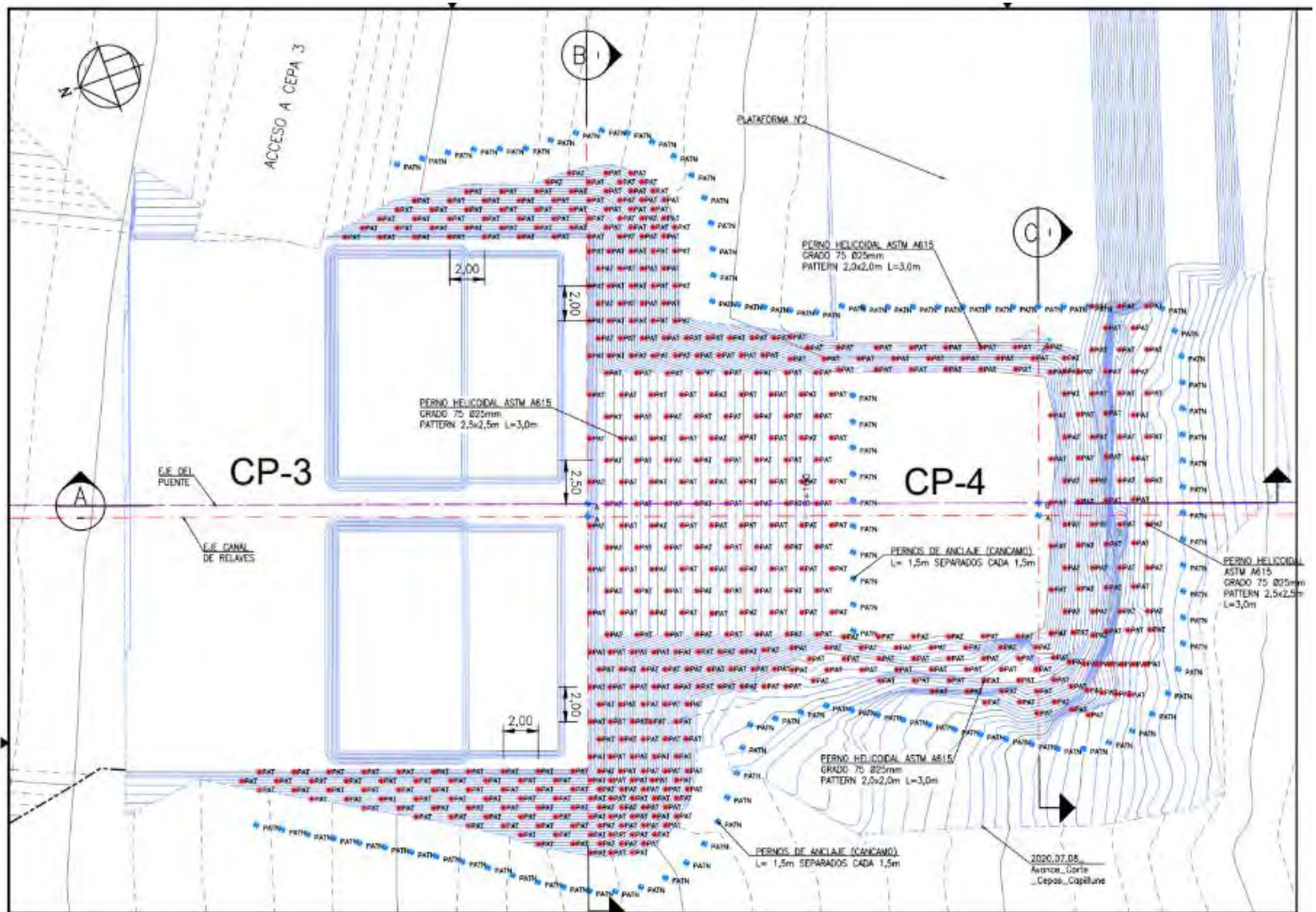
Planta general talud sur – Disposición de pernos (CE1028).



Fuente: Plano MQ13-186-DR-4110-CE1028.

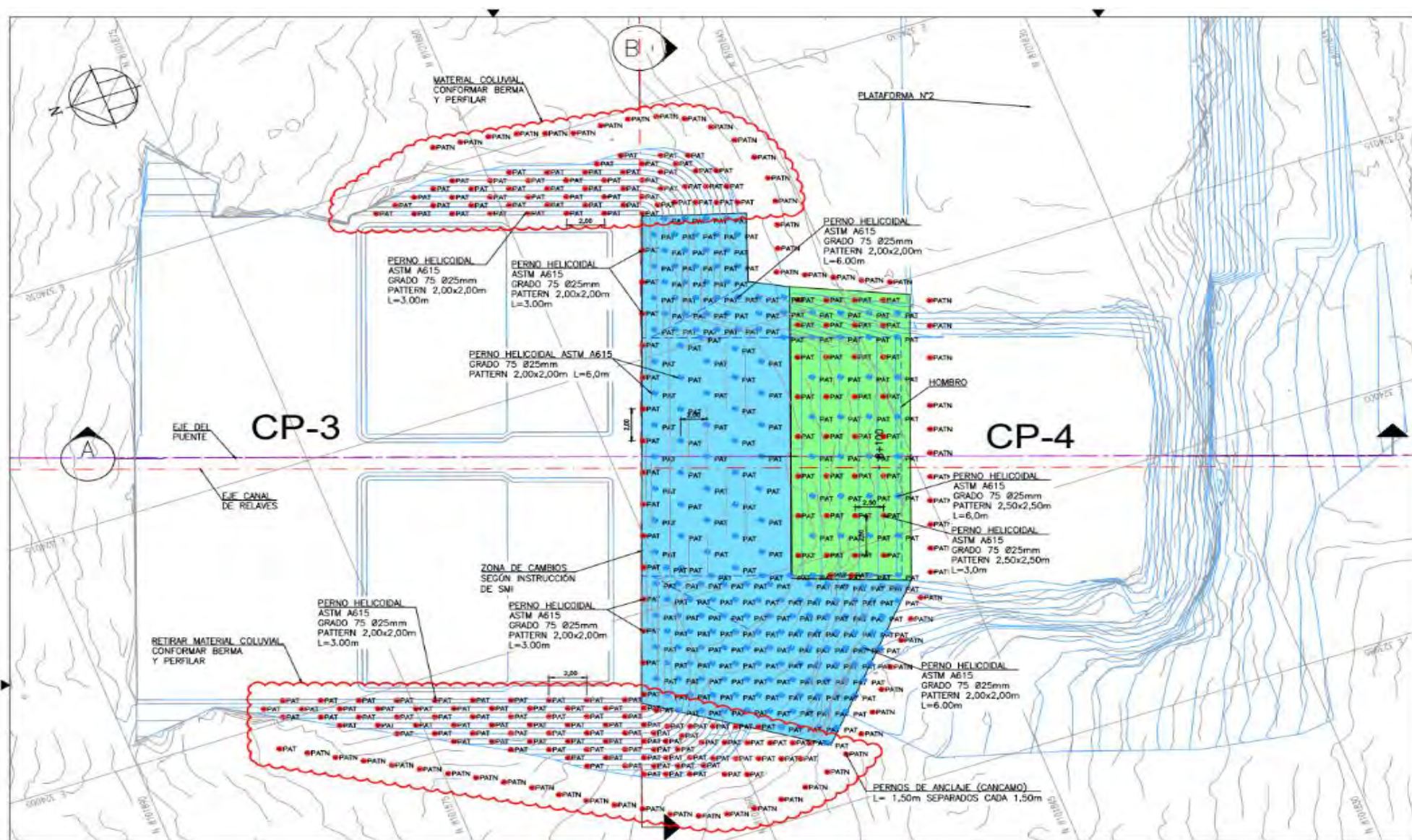
En la figura 13 el plano CE1028 muestra la planta general del talud sur entre CP-3 y CP-4 con la disposición de pernos frontales: una malla regular de anclajes helicoidales Ø25 mm ($L \approx 6 \text{ m}$) con paso típico $\sim 2,5 \times 2,5 \text{ m}$, orientada paralela a las bermas. Se diferencian las áreas de tratamiento (coloreadas) y, en la coronación, una fila superior resaltada que, según la Nota B, se reubica 1,30 m respecto del hombro del talud para asegurar cobertura y borde libre. Los detalles superiores del plano precisan patrón, perforación e inyección. Esta planta sirve para ubicar y codificar P1–P6 en el tramo de prueba y para verificar densidad y alineación de los anclajes respecto a CP-3/CP-4.

Figura 14
Planta general talud sur y disposición pernos



En la figura 14, es una vista global de la malla de anclajes y su integración con las bermas/plataformas (CA3–CA4). Permite verificar continuidad del patrón, transición entre pernos frontales y laterales, y la compatibilidad geométrica con los accesos y obras auxiliares. Corrobora que el tramo de prueba (P1–P6) representa el comportamiento del diseño típico del sector.

Figura 15
Ubicación de pernos ensayado



En la figura 15, muestra la planta entre CP-3 con el patrón de pernos helicoidales (frontal y laterales) y las plataformas de trabajo. Están marcados P1–P6 sobre el tramo de prueba en el pie del talud, dentro de la malla estándar $\approx 2,5 \times 2,5$ m, $\varnothing 25$ mm y $L \approx 6$ m. La nota B indica la reubicación de la fila superior 1,30 m respecto del hombro del talud (ajuste constructivo). La densificación del patrón hacia CP-3 sugiere mayor demanda local y necesidad de confinamiento adicional en esa zona.

Figura 16

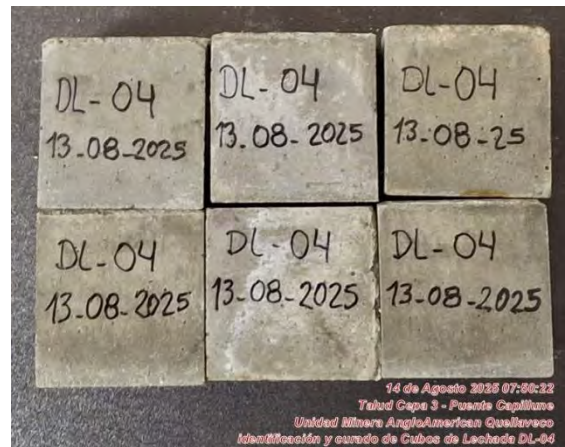
Cortes y detalle de disposición de perno

CUADRO DE COORDENADAS DL-02			
PUNTO	ESTE	NORTE	COTA
P-1	323997.661	8101881.284	3370.702
P-2	323996.893	8101879.996	3370.463
P-3	323996.181	8101878.677	3370.440
P-4	323995.431	8101877.377	3371.040
P-5	323994.688	8101876.090	3371.928
P-6	323993.922	8101874.766	3372.654

CUADRO DE COORDENADAS DL-04			
PUNTO	ESTE	NORTE	COTA
P-7	323995.565	8101878.123	3371.412
P-8	323995.478	8101876.461	3370.614
P-9	323994.733	8101880.514	3371.036
P-10	323995.801	8101879.207	3371.365
P-11	323996.024	8101877.344	3372.124
P-12	323995.126	8101875.159	3372.055

Figura 17

Cortes y detalle de disposición de perno



En la figura 16 y 17 se muestra que el 1er cuadro registra los puntos P-1 al P-6, relacionados al diseño de lechada DL-02, con elevaciones que fluctúan relativamente entre los 3370.44 y 3372.65 m.s.n.m. Por otra parte, el 2do cuadro precisa los puntos P-7 al P-12 correspondientes al diseño DL-04, localizados en un rango altimétrico similar que va desde los 3370.61 hasta los

3372.12 m.s.n.m. Esta información es importante para la ubicación espacial precisa de los pernos ensayados a través del método Pull Test, concediendo correlacionar su desempeño estructural con la ubicación exacta y la unidad geomecánica.

Condiciones de ejecución

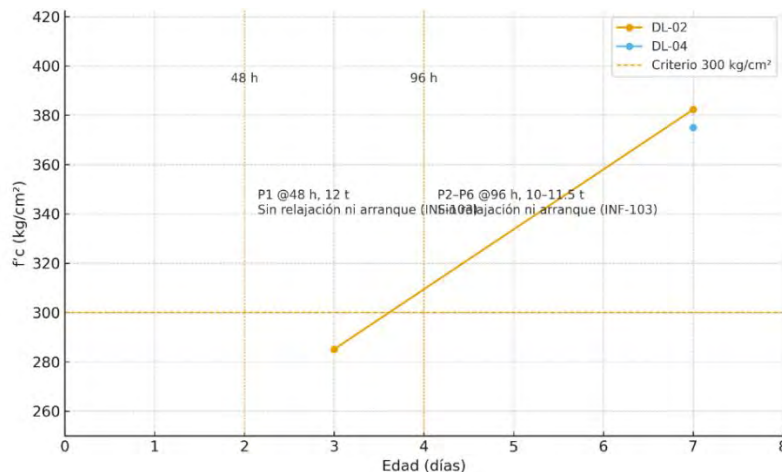
Tabla 9

Evolución de f'_c vs Edad y Notas de Desempeño

Edad (días)	Diseño (Serie)	f'_c (kg/cm ²)	Criterio Mínimo
3	DL-02	285	300
7	DL-02	382	300
7	DL-04	375	300

Figura 18

f'_c (kg/cm²) vs edad por diseño y notas de desempeño en tramo de prueba.



Fuente: INF-103 (edades 48/96 h).

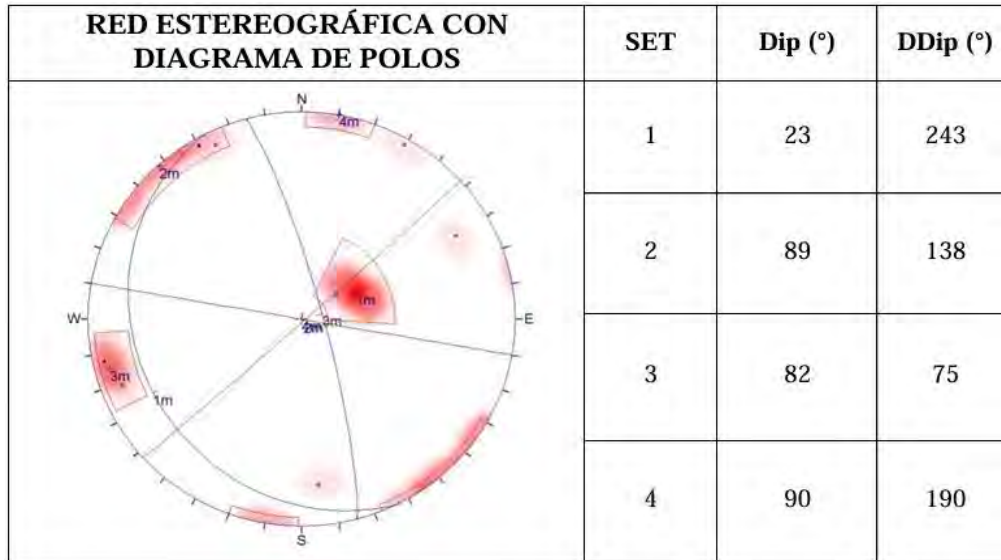
En la figura 18 muestra el desarrollo de resistencia de las lechadas: DL-02 pasa de ≈ 285 kg/cm² a 3 días a ≈ 382 kg/cm² a 7 días (+34 %), y DL-04 alcanza ≈ 375 kg/cm² a 7 días; ambas superan claramente el criterio de aceptación 300 kg/cm² (línea horizontal) a 7 días. Las líneas verticales en 48 h (2 d) y 96 h (4 d) ubican las edades de los Pull Test: P1 a 48 h (12 t) y P2–P6 a 96 h (10–11,5 t), todos sin relajación ni arranque; esto es consistente con el buen desarrollo temprano de la lechada y señala que las diferencias de $F-\delta$ observadas se explican más por la unidad geomecánica (U-3 vs U-4) y la ejecución que por el diseño de mezcla (DL-02 vs DL-04), que a 7 días presentan resistencias muy similares.

4.2. Resultados

A. Resultados de caracterización geométrica

Figura 19

Diagrama de polos y sets de diaclasas próximos al estribo norte (principal NE y set SW)



Fuente: *Informe Geotécnico – Puente Capillune*, Fig. 6.1, p. 11.

De acuerdo con la figura 19, la orientación principal de diaclasas es NE, reconociéndose además otro set de importancia con rumbo SW. En la tabla asociada se reportan cuatro sets medidos en granodiorita regional próxima al estribo norte (Set 1: Dip 23°, DDip 243°; Set 2: Dip 89°, DDip 138°; Set 3: Dip 82°, DDip 75°; Set 4: Dip 90°, DDip 190°). No se evidencian fallas menores en el área del puente. Estas familias estructurales gobiernan la persistencia y movilidad de bloques, condicionando el confinamiento local y la eficacia del bulbo de adherencia de los anclajes evaluados con Pull Test. Las orientaciones principales de diaclasas con rumbo NE y un set SW; no se evidencian fallas menores en el área inmediata del puente. Estas familias condicionan la persistencia y la movilidad de bloques, afectando confinamiento local del bulbo de adherencia del anclaje.

Modelo geológico-geotécnico y unidades del macizo (U-3 / U-4)

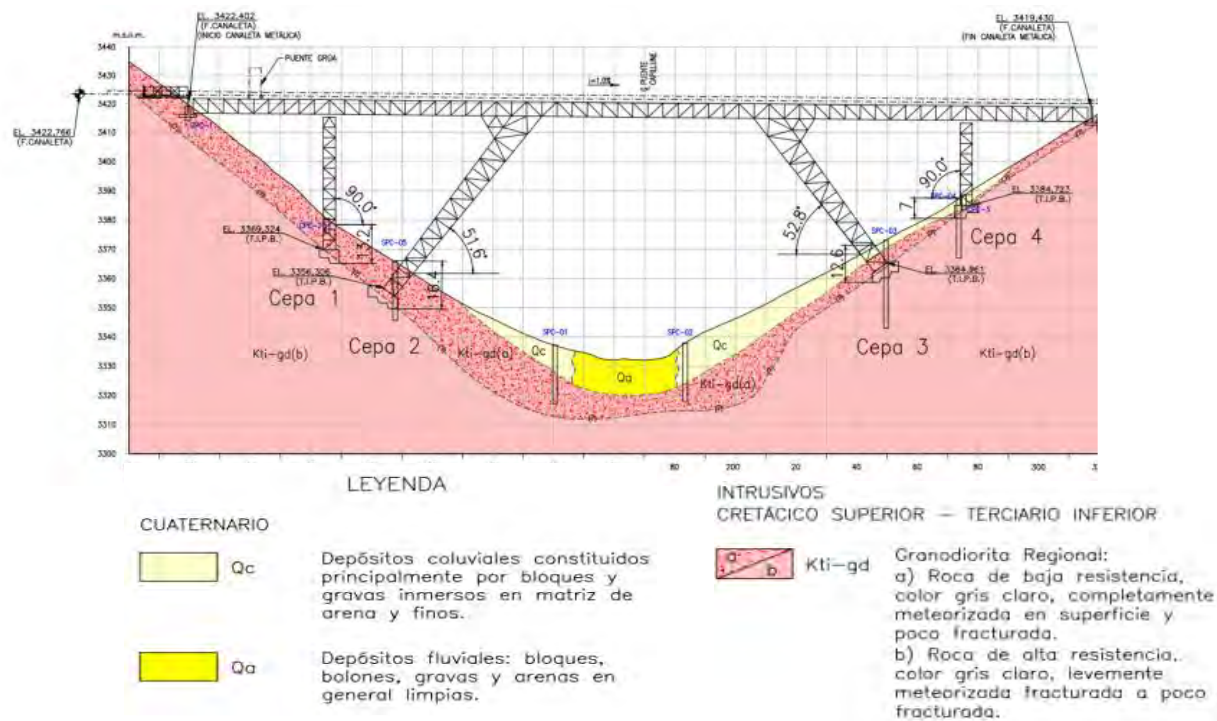
Tabla 10

Modelo geológico geotécnico y unidades del macizo

Parámetros	Valor recomendado	
Unidad	U-3 (moderadamente meteorizada)	U-4 (escasamente meteorizada a sana)
Densidad, γ (t/m ³)	2,4	2,65
Cohesión, c (t/m ²)	12	60
Ángulo de Fricción Interna, ϕ (°)	46°	65°
Módulo de Deformación, E_s (t/m ²)	35.000	300.000
Razón de Poisson, ν	0,38	0,30

Figura 20

Perfil longitudinal del puente Capillune con estratigrafía



Fuentes: *Análisis Geomecánico e Informe Geotécnico.*

La eficacia del bulbo de adherencia depende, a la vez, de la calidad del macizo y de la orientación del perno respecto a las discontinuidades: en U-4 (**ver Tabla 10**) el mayor confinamiento y la rigidez del macizo (c' , ϕ' y E_s altos) permiten una transmisión de esfuerzos más uniforme, con tramos F- δ más lineales, menor desplazamiento residual y menor carga de pre-alineamiento; en U-3, al ser más deformable y meteorizado, es habitual una acomodación inicial

mayor, no linealidad temprana y la necesidad de incrementar la longitud de desarrollo y extremar el control de inyección para asegurar continuidad del bulbo.

Además, si el eje del perno queda sub-paralelo a los sets de diaclasas (principal NE y set SW) se acorta la longitud efectiva del bulbo y puede degradarse la adherencia; por ello conviene orientar la perforación para interceptar esos planos con ángulos altos y, cuando la geometría obligue a una alineación desfavorable, compensar con mayor L de desarrollo y verificación de continuidad (presión/volumen/rechazo). En síntesis, el binomio (*calidad del macizo + relación eje-juntas*) gobierna la capacidad movilizable; verificar alineación en campo y ajustar L de desarrollo y QA/QC de inyección es clave para que el Pull Test reproduzca la capacidad prevista en diseño.

B. Resultados de calidad de lechada

Tabla 11

Resistencia a compresión de lechadas.

Diseño de lechada	Edad (días)	n (muestras)	f'c prom. (MPa)	f'c prom. (kg/cm ²)	DE (MPa)	¿Cumple ≥ 300 kg/cm ² ?
DL-02	3	114	27,96	285,1	4,35	No
DL-02	7	321	37,50	382,3	3,82	Sí
DL-04	3	S/D	-	-	-	s/d
DL-04	7	141	36,79	375	2,47	Sí

Fuentes: Planillas 10.0 y 11.0 (Excel), PROC-076 (método) + PIE-022 (criterios).

En la tabla 11 se observa que a 3 días, DL-02 promedia 27,96 MPa (≈ 285 kg/cm²), como es esperable en madurez temprana y por debajo del criterio de 7 días; a 7 días, DL-02 = 37,50 MPa y DL-04 = 36,79 MPa, ambos > 300 kg/cm² y con DE acotadas, por lo que la calidad de la lechada no limita los Pull Test

Los diseños DL-02 ($a/c=0,33$) y DL-04 ($a/c=0,31$), formulados con aditivos expansores/superplastificantes y controlados en laboratorio (Marsh, temperatura y sedimentación ≤ 5 %), entregan mezclas bombeables y estables que a 7 días alcanzan $f'c \approx 37,5$ MPa (382 kg/cm²) y 36,8 MPa (375 kg/cm²), respectivamente, superando el criterio de 300 kg/cm²; a 3 días, DL-02 $\approx$

28 MPa muestra un desarrollo temprano consistente con lo observado en los Pull Test a 48–96 h (sin relajación ni arranque). Así, la calidad del mortero/lechada no limita la capacidad a tracción del sistema; las variaciones en las curvas $F-\delta$ y en los desplazamientos se explican principalmente por la condición del macizo (U-3 vs U-4) y por la ejecución (alineación y longitud efectiva de bulbo). Se recomienda mantener el QA/QC de relación a/c 0,30–0,35, equipos calibrados y trazabilidad por tanda; registrar sistemáticamente f'_c a 3 días para DL-04 y contrastar con desempeño en campo para afinar la correlación edad–respuesta.

C. Resultados del PULL TEST

Tabla 12

Síntesis de Pull Test – P1 - P6

Perno	Edad de prueba	Carga aplicada	Criterio	Observación de desplazamiento	Cumple
P1	48 h	12,0 t	2/3 de diseño; $\delta \leq 12,5 \text{ mm}$	Sin relajación y sin arranque	Sí
P2	96 h	10,0 t			
P3	96 h	10,5 t			
P4	96 h	11,0 t			
P5	96 h	11,0 t			
P6	96 h	11,5 t			

Fuente: INF-103.

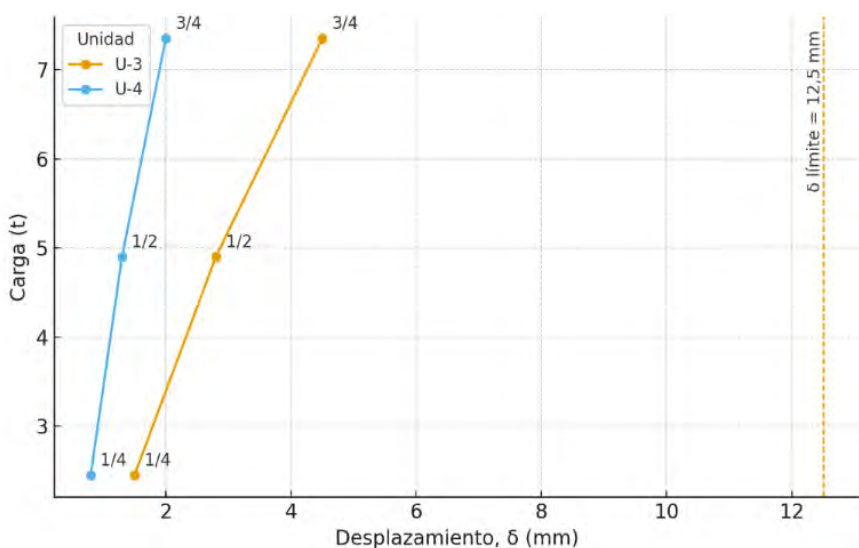
Según la tabla 12, en el tramo de prueba los pernos se ensayaron a 48 h (P1) y 96 h (P2–P6) con cargas entre 10 y 12 t; en todos los casos se registró sin relajación y sin desplazamiento de arranque. Con estas cargas y edades, todas las pruebas cumplen el criterio operativo (ensayo a 2/3 de la carga de diseño y δ total $\leq 12,5$ mm), verificando la capacidad a tracción del sistema de anclaje.

Tabla 13

Datos de Curvas $F-\delta$ comparativas por unidad geomecánica (U-3 y U-4)

Etapas de Carga	Carga (t)	Desplazamiento U-3 (mm)	Desplazamiento U-4 (mm)
1/4	2.45	1.50	0.80
1/2	4.90	2.80	1.30
3/4	7.40	4.50	2.00
Límite	-	12.50	12.50

Figura 21
Curvas $F-\delta$ comparativas por unidad geomecánica



Fuente: Elaboración propia

En la figura 21, las curvas $F-\delta$ del tramo de prueba evidencian el efecto de la calidad del macizo: para una misma carga los desplazamientos medianos en U-4 son 0,8–1,3–2,0 mm ($1/4-1/2-3/4$), mientras que en U-3 son 1,5–2,8–4,5 mm; es decir, U-4 requiere 45–55% menos δ para movilizar la carga, lo que confirma mayor confinamiento/adherencia del bulbo. Aun al $3/4$ de carga (7,35 t para $\varnothing 25$ mm), todas las lecturas quedan por debajo del límite de aceptación $\delta = 12,5$ mm, sin arranque ni relajación apreciable; por tanto, los pernos ensayados cumplen con el criterio de la prueba.

Tabla 14
Matriz U 3/U 4 $\times$ DL 02/DL 04 $\times$ Pull Test $\rightarrow$ efecto en $F-\delta$ y cumplimiento.

Unidad geomecánica	DL-02	DL-04
U-3 (granodiorita moderadamente meteorizada)	- Efecto $F-\delta$: $\delta_{1/4}=1,5\text{mm}$; $\delta_{1/2}=2,8\text{mm}$; $\delta_{3/4}=4,5\text{mm} \Rightarrow$ mayor deformabilidad. Pull Test: P1, P3, P5 sin relajación/arranque, $\delta \leq 12,5\text{mm} =$ cumple.	No ensayado en tramo (INF-103 usó DL-02). Con $f'c\ 7d \geq 29,4$ MPa y 0% sedimentación se espera respuesta similar si se aplica PROC-084 en campo.
U-4 (granodiorita escasamente meteorizada a sana)	- Efecto $F-\delta$: $\delta_{1/4}=0,8$ mm; $\delta_{1/2}=1,3\text{mm}$; $\delta_{3/4}=2,0\text{mm} \Rightarrow$ mayor rigidez y confinamiento. Pull Test: P2, P4, P6 sin relajación/arranque. $\delta \leq 12,5\text{mm} =$ cumple.	No ensayado en tramo; en laboratorio cumple $f'c\ 7d$ y estabilidad de mezcla; se anticipa δ menores que U-3 bajo PROC-084.

Fuentes: Análisis Geomecánico / INF-055 / INF-103.

En la tabla 14, la matriz U-3/U-4 $\times$ DL-02/DL-04 $\times$ Pull Test evidencia que, aunque ambas lechadas cumplen $f'c \ 7 \ d \geq 300 \text{ kg/cm}^2$, la respuesta F- δ está dominada por la calidad del macizo: en U-4 (más rígida) se observan δ medianos 0,8–1,3–2,0 mm y cumplimiento sin relajación/arranque; en U-3 (más deformable) los δ son 1,5–2,8–4,5 mm, también dentro del límite $\delta \leq 12,5 \text{ mm}$. En el tramo de prueba se ensayó DL-02 (P1, P3, P5 en U-3; P2, P4, P6 en U-4) con cumplimiento en todos los casos; DL-04 no se ensayó en tramo, pero su desempeño de laboratorio indica comportamiento equivalente bajo PROC-084. Implicancia: ajustar longitud de desarrollo y QA/QC de inyección en U-3 para controlar deformaciones, manteniendo la especificación de lechada; en U-4, las longitudes de diseño resultan suficientes.

Tabla 15

Tabla cruzada del modelo geológico geotécnico y unidades del macizo y resistencia a compresión de lechadas.

Ítem clave	U-3 (granodiorita moderadamente meteorizada)	U-4 (granodiorita escasamente meteorizada a sana)
Parámetros del macizo	$c'=12 \text{ t/m}^2$, $\phi'=46^\circ$, $Es=35 \ 000 \text{ t/m}^2 \rightarrow$ más deformable.	$c'=60 \text{ t/m}^2$, $\phi'=65^\circ$, $Es=300 \ 000 \text{ t/m}^2 \rightarrow$ más rígida / mejor confinamiento.
Lechadas a 7 días (DL-02 / DL-04)	Cumplen $\geq 300 \text{ kg/cm}^2$ (29,4 MPa). (Ver Tabla 13)	Cumplen $\geq 300 \text{ kg/cm}^2$ (29,4 MPa). (Ver Tabla 13)
Efecto esperado en F- δ	δ mayores y curva menos lineal (domina deformabilidad del macizo).	δ menores y curva más lineal (domina rigidez y confinamiento).
Implicación de diseño	Priorizar mayor L de desarrollo, control de alineación y QA/QC de inyección.	Longitudes de diseño usualmente suficientes; control estándar.

Fuentes: *Análisis Geomecánico / INF-055 / INF-103.*

En la tabla 15 deja claro que la diferencia determinante decisiva del macizo: la U-4 ($c' \approx 60 \text{ t/m}^2$, $\phi' \approx 65^\circ$, $Es \approx 300 \ 000 \text{ t/m}^2$) es mucho más rígida y confinante que la U-3 ($c' \approx 12 \text{ t/m}^2$, $\phi' \approx 46^\circ$, $Es \approx 35 \ 000 \text{ t/m}^2$), por esa razón, aun utilizando lechadas equivalentes (DL-02/DL-04) que cumplen el criterio de obra $f'c \geq 300 \text{ kg/cm}^2$ a 7 días, las curvas F- δ estarán gobernadas por la calidad del macizo: en U-4 se esperan δ menores y respuesta más lineal, mientras que en U-3 habrá δ mayores y mayor sensibilidad a ejecución. De allí las implicancias: en U-3 conviene incrementar longitud

de desarrollo, verificar alineación y extremar QA/QC de inyección; en U-4, las longitudes típicas suelen ser suficientes.

Para verificar la resistencia a tracción de los pernos, se aplicó el PROC-084: carga de prueba = 2/3 de la de diseño ($\varnothing 22 \rightarrow 7,6 \text{ t}$; $\varnothing 25 \rightarrow 9,8 \text{ t}$), en tres escalones $\frac{1}{4}-\frac{1}{2}-\frac{3}{4}$ con permanencias 3–3–5 min, lecturas con vernier $\pm 0,03 \text{ mm}$ y criterio de aceptación $\delta \text{ total} \leq 12,5 \text{ mm}$ sin arranque ni relajación; en el tramo de prueba (INF-103), P1 se ensayó a 48 h con 12 t, y P2–P6 a 96 h con 10–11,5 t, registrándose en todos los casos sin relajación y sin desplazamiento de arranque; las curvas F– δ se mantuvieron dentro del límite de desplazamiento y todos los ensayos cumplieron el criterio, validando en obra la capacidad a tracción prevista para el sistema de anclaje.

D. Resultados de estabilidad global

En conjunto, los resultados de mezcla, cubos y Pull Test validan la capacidad a tracción prevista para los anclajes; a escala de estabilidad global, el informe HSA-20014-001 - Rev. 1 reporta que sin cortes de plataformas los FS son Norte = 1,835 (est.)/1,372 (seudoest.) y Sur = 1,228/0,976, mientras que con cortes (CA1 al Norte; CA3 al Sur) los FS pasan a Norte = 1,733/1,372 y Sur = 2,339/1,891. Estos valores evidencian que las intervenciones provisionales incrementan significativamente la condición del Estribo Sur, y respaldan los resultados de desempeño puntual observados en las pruebas de tracción.

Tabla 16

Factores de seguridad – Sin cortes vs Con plataformas CA3 (estático/pseudoestático).

Zona de Análisis	Condición de Análisis	Hipótesis de Condición	Factor de Seguridad Obtenido	Factor de Seguridad Mínimo
Estribo Norte	Sin plataformas	Condición Estática	1.835	1.50
		Condición Seudoestática	1.372	1.25
		Condición Estática	1.228	1.50
Estribo Sur	Sin plataformas	Condición Seudoestática	976	1.25

Tabla 17*Factores de seguridad – Sin corte para plataformas temporales (estático/pseudoestático)*

Zona de análisis	Condición de análisis	Hipótesis condición	Factor de seguridad obtenido	Factor de seguridad mínimo
Estribo Norte	Sin Corte para plataformas	Condición estática	1.835	1.50
		Condición pseudoestática	1.372	1.25
Estribo Sur	Sin Corte para plataformas	Condición estática	1.228	1.50
		Condición pseudoestática	976	1.25

Tabla 18*Factores de seguridad – Con cortes para plataformas CA3–CA4 (estático/pseudoestático).*

Zona de análisis	Condición de análisis	Hipótesis condición	Factor de seguridad obtenido	Factor de seguridad mínimo
Estribo Norte	Con Corte para plataforma CA1	Condición estática	1.733	1.50
		Condición pseudoestática	1.372	1.25
Estribo Sur	Con Corte plataformas CA3 y CA4	Condición estática	2.339	1.50
		Condición pseudoestática	1.891	1.25

En Tabla 17 se muestra que sin cortes el Estribo Norte cumple ($FS = 1,835/1,372 \geq 1,50/1,25$), mientras el Estribo Sur no cumple ($1,228/0,976 < 1,50/1,25$); al ejecutar plataformas (CA1 al Norte; CA3–CA4 al Sur) ambos cumplen, con Norte = $1,733/1,372$ y un salto sustancial en el Sur = $2,339/1,891$, lo que corrobora que las plataformas son determinantes para habilitar la estabilidad global durante la obra, dejando en el Norte un margen pseudoestático ajustado que amerita control constructivo.

Figura 22

Análisis de estabilidad Estribo Sur. Condición estática.

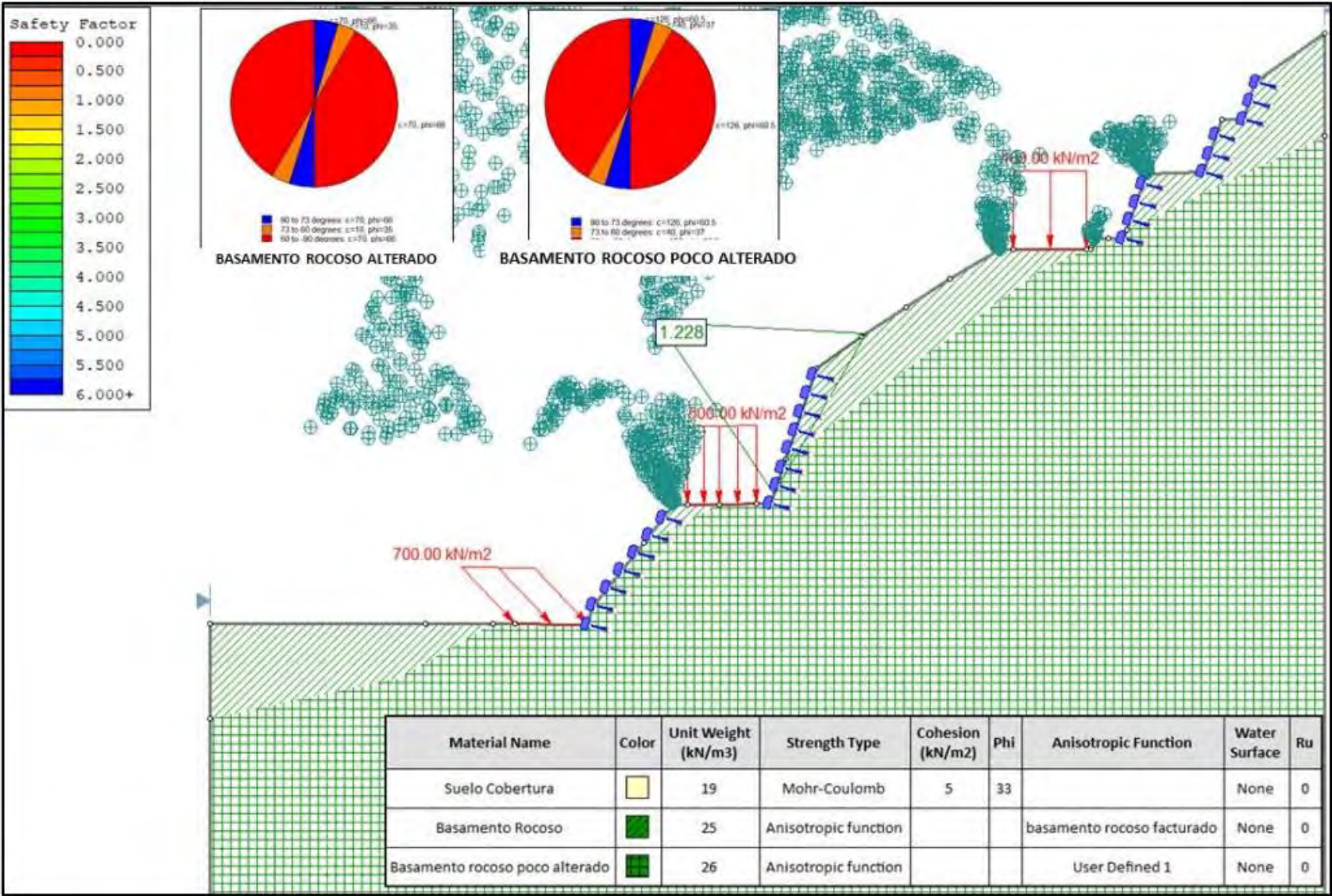
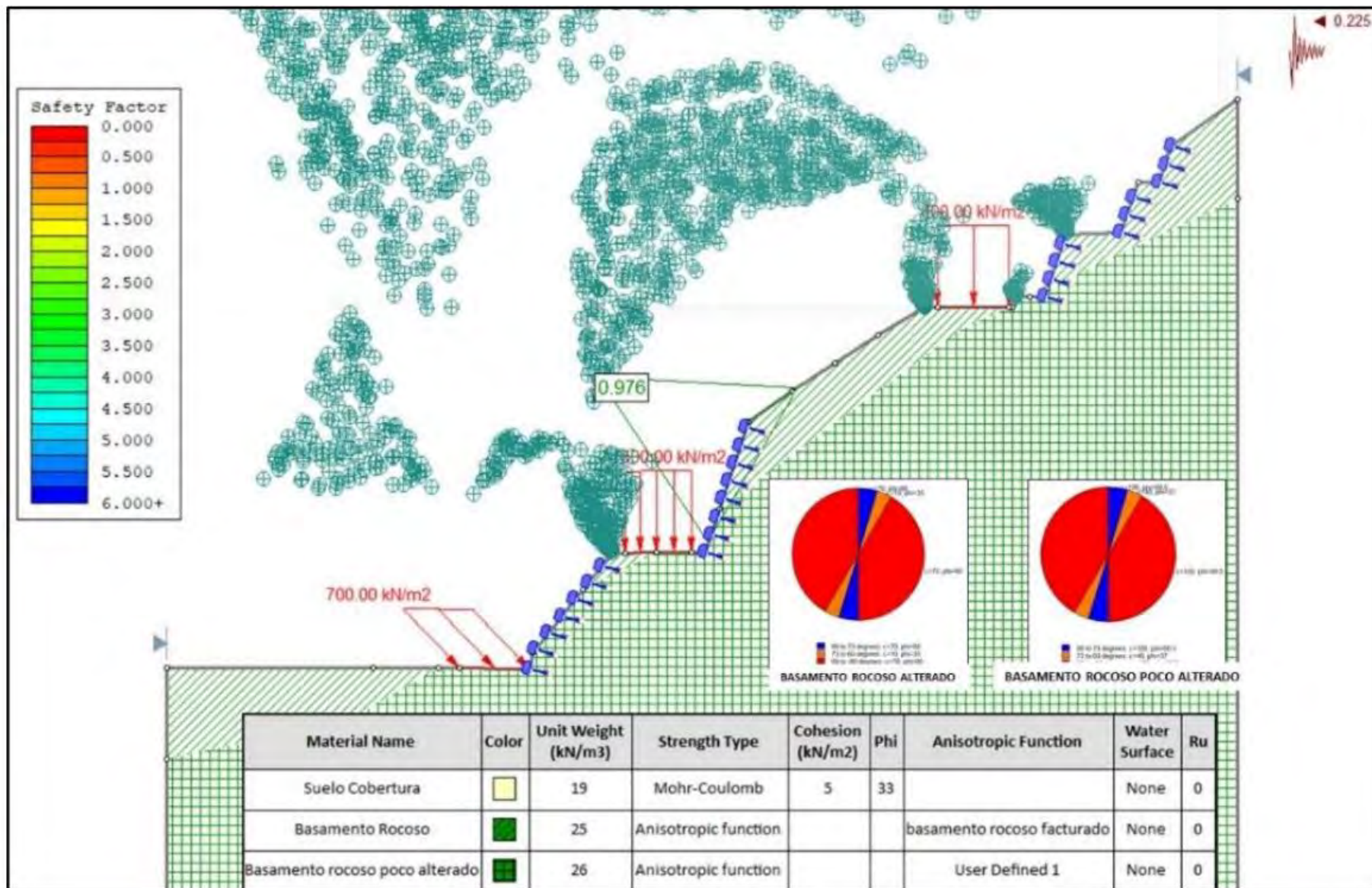


Figura 23

Análisis de estabilidad Estribo Sur, condición pseudo estática



La figura 22 y 23 evidencian la respuesta global de cada estribo con las plataformas ejecutadas: en el Norte (CA1) las superficies potenciales son someras y los anclajes las interceptan, resultando FS $\approx 1,73$ (estático) y $\approx 1,37$ (pseudoe estático); en el Sur (CA3–CA4) las bermas acortan las longitudes de falla y aumentan el confinamiento, logrando FS $\approx 2,34$ (estático) y $\approx 1,89$ (pseudoe estático), holgadamente sobre los mínimos (1,50/1,25). En ambos casos los mapas de colores concentran las zonas más demandadas en las bermas altas y frente del talud, coherente con la estratigrafía U-3/U-4 y con el rol de los anclajes como barrera de deslizamiento; de ahí que el control de geometría real, drenaje y QA/QC de anclajes sea crítico para sostener esos factores.

Tabla 19

Análisis de Estabilidad en condiciones sin corte de plataformas temporales

Zona de Análisis	Condición de Análisis	Hipótesis Condición	Factor de Seguridad Obtenido	Factor de Seguridad Mínimo
Estribo Norte	Sin plataformas	Condición estática	1.835	1.50
		Condición seudoestática	1.372	1.25
Estribo Sur	Sin plataformas	Condición estática	1.228	1.50
		Condición seudoestática	976	1.25

Tabla 20

Análisis de Estabilidad en condiciones con cortes de plataformas temporales CA1, CA3 y CA4

Zona de análisis	Condición de análisis	Hipótesis condición	Factor de seguridad obtenido	Factor de seguridad mínimo
Estribo Norte	Con corte para plataforma CA1	Condición estática	1.733	1.50
		Condición seudoestática	1.372	1.25
Estribo Sur	Con corte para plataformas CA3 y CA4	Condición estática	2.339	1.50
		Condición seudoestática	1.891	1.25

Fuente: HSA-20014-001 Rev.1.

Figura 24

Análisis de estabilidad Estribo Sur, con cortes para plataforma CA3, CA4, condición estática.

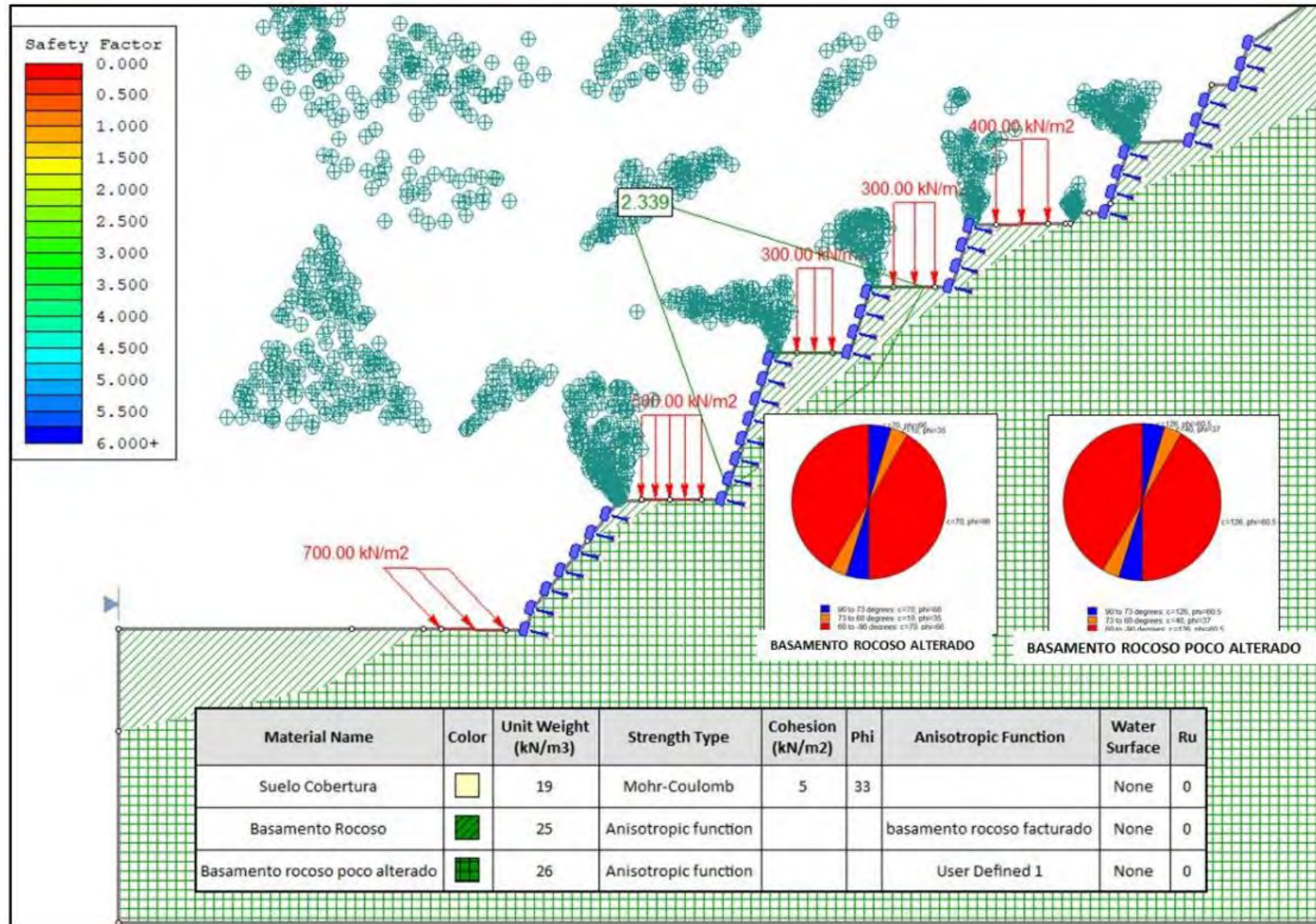
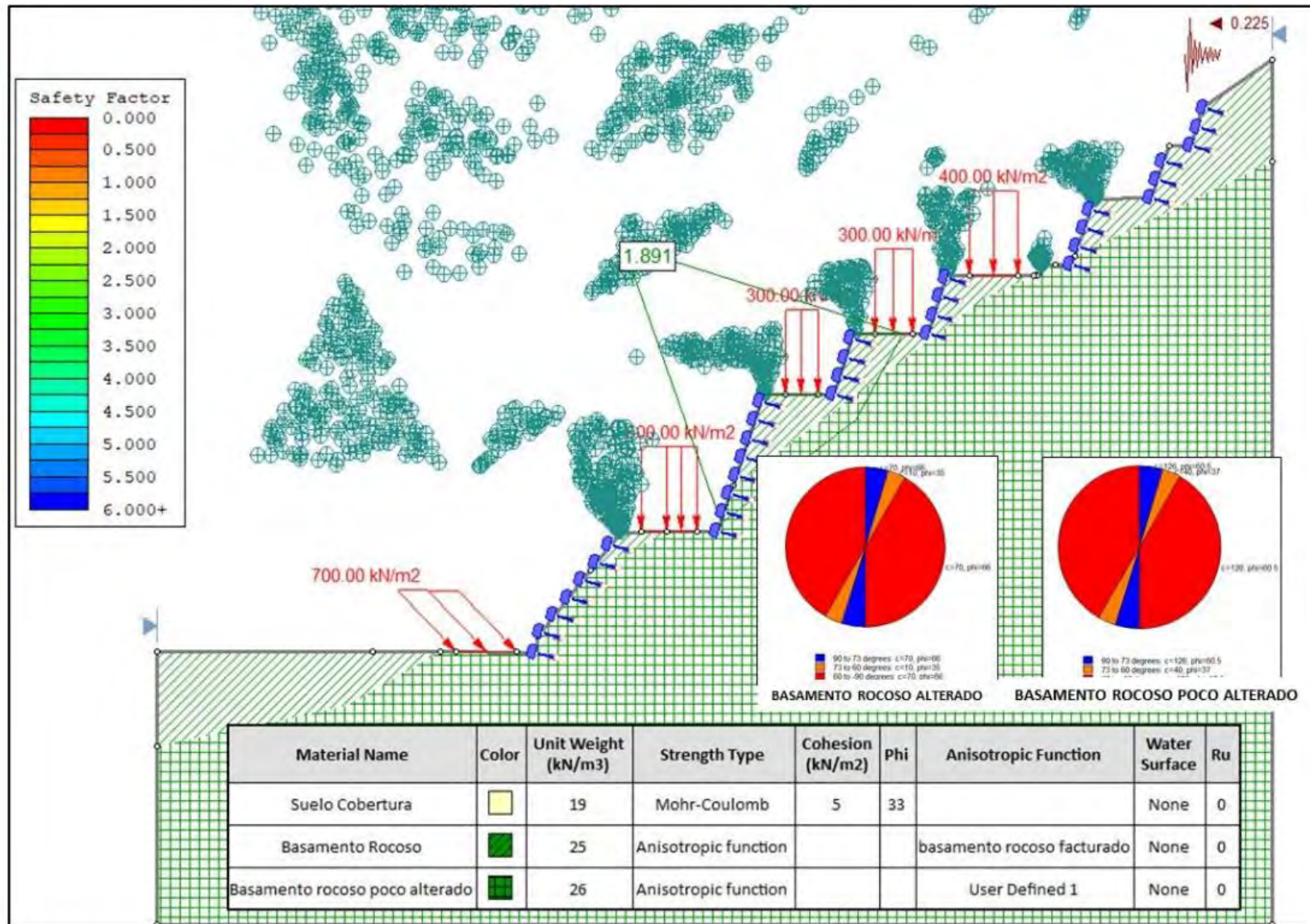


Figura 25

Análisis de estabilidad Estribo Sur, con cortes para plataforma CA3, CA4, condición seudoestática



En las figuras 24 y 25 muestran que, con las plataformas CA1 (Norte) y CA3–CA4 (Sur), ambos estribos cumplen los mínimos de estabilidad (1,50 estático/1,25 pseudoestático): el Estribo Norte alcanza $FS = 1,733$ (est.) / $1,372$ (seud.), con margen sísmico ajustado, mientras el Estribo Sur muestra una mejora sustancial hasta $FS = 2,339 / 1,891$; los mapas de colores y los diagramas de contribución de resistencia evidencian que las bermas acortan las superficies de falla y aumentan el confinamiento, concentrando las demandas en los frentes superiores del talud. Operativamente, esto respalda el reperfilado ejecutado y sugiere mantener un control estricto de geometría, drenaje y QA/QC de anclajes para sostener los factores obtenidos, especialmente en el Norte, donde el margen pseudoestático es menor.

4.3. Discusión

Al evaluar el comportamiento de la estabilidad del talud del Puente de Paso de Relave Capillune mediante la aplicación del método Pull Test en la Unidad Minera AngloAmerican Quellaveco, los resultados confirmaron la efectividad del sistema de anclaje diseñado e instalado en la Cepa 3. En relación al primer objetivo específico (OE1), orientado a determinar la influencia del comportamiento geomecánico en la aplicación del método Pull Test, los datos empíricos evidenciaron que la calidad y rigidez del macizo rocoso son los factores determinantes en la respuesta fuerza-desplazamiento ($F-\delta$). En la granodiorita sana (Unidad U-4), los pernos ensayados registraron desplazamientos de 0.80 mm a 1/4 de carga (2.45 t), 1.30 mm a 1/2 de carga (4.90t y 2.00 mm} a 3/4 de carga (7.40 t); mientras que en la granodiorita moderadamente meteorizada (Unidad U-3), los desplazamientos para las mismas etapas de carga fueron de 1.50 mm, 2.80mm y 4.50mm respectivamente. Esto demuestra que la Unidad U-4 requiere entre 45% y 55% menos desplazamiento para movilizar la misma carga de tracción. Estos hallazgos concuerdan con lo reportado por Villazhañay & Bucheli ((2023), quienes evidenciaron que la respuesta

deformacional del talud está fuertemente condicionada por la variabilidad litológica, donde las zonas meteorizadas sufren mayores desplazamientos en comparación con las unidades de roca sana. Asimismo, guarda correlación con Ortiz (2022) en la caracterización geomecánica de taludes rocosos de granodiorita.

Respecto al segundo objetivo específico (OE2), referido a la influencia de la calidad del mortero/lechada en la aplicación del Pull Test, las pruebas de laboratorio sobre cubos de 2" x 2" demostraron que las formulaciones DL-02 ($a/c = 0.33$) y DL-04 ($a/c = 0.31$) alcanzaron resistencias promedio a la compresión a los 7 días de 382.3 kg/cm² (37.50 MPa) y 375.0kg/cm² (36.79MPa) respectivamente, superando ampliamente el criterio mínimo de aceptación de 300kg/cm² (29.4MPa) exigido por la minera AngloAmerican. Además, a los 3 días de curado, la lechada DL-02 alcanzó 285.1 kg/cm² (27.96 MPa), lo que permitió ejecutar ensayos exitosos de Pull Test a las 48 y 96 horas de la inyección sin registrar fallas en el mortero. Estos hallazgos concuerdan con los estudios experimentales de Kılıc et al. (2002) , quienes demostraron que al controlar relaciones a/c reducidas se alcanza una alta resistencia temprana de la lechada, garantizando que el cuerpo del mortero no limite el sistema y traslade la capacidad resistente a la interfaz de adherencia. Asimismo, coincide con Enciso & Núñez (2019)al validar la efectividad de la mezcla en el control de deformaciones

En lo que corresponde al tercer objetivo específico (OE3), enfocado en determinar la resistencia a la tracción de los pernos de anclaje, los ensayos Pull Test aplicados en el tramo de prueba (pernos P1 a P6) bajo la norma ASTM D4435 con cargas de 10.0 t a 12.0 t confirmaron que el 100% de los anclajes ensayados cumplieron con el criterio operativo. Ningún perno superó el límite máximo de desplazamiento total establecido de 12.5mm, ni evidenció flujo, deslizamiento o relajación de carga durante los tiempos de permanencia. Este resultado coincide con lo reportado por Vásquez (2018), quien obtuvo un 100% de efectividad operativa sin extracción de bulbo ni

fallas de acero en pruebas in situ bajo cargas escalonadas. Asimismo, ratifica los hallazgos de Sullcahuaman (2019) y Enciso & Núñez (2019), quienes demostraron que los protocolos cíclicos/escalonados permiten verificar que las deformaciones se mantienen dentro del rango elástico admisible sin presentar flujo ni relajación de carga.

Finalmente, los resultados puntuales de la prueba Pull Test respaldan los modelos de estabilidad global del informe geotécnico (HSA-20014-001), donde la ejecución de las plataformas de montaje (CA3 y CA4) y la instalación del sostenimiento incrementaron el Factor de Seguridad del Estribo Sur de un valor crítico inestable de 1.228 (estático) y 0.976 (pseudoestático) hasta valores seguros de 2.339 y 1.891 respectivamente, superando holgadamente los requerimientos mínimos de diseño (1.50 estático y 1.25 pseudoestático). Estos resultados respaldan lo expuesto por Mesa et al. (2020) y Quispe & Rodríguez (2021), quienes demostraron mediante elementos finitos que en taludes rocosos sometidos a cargas sísmicas pseudoestáticas, el factor de seguridad se reduce drásticamente, siendo indispensable combinar el perfilado geométrico con sistemas de anclaje para alcanzar valores seguros ($FS \geq 1.25$). Asimismo, concuerda con la validación estadística de Mamani & Tarqui (2023) en Moquegua, confirmando que la modificación de la inclinación del terreno eleva directamente la estabilidad global.

CONCLUSIONES

Primero: La aplicación del método Pull Test in situ bajo norma ASTM D4435 a los pernos de anclaje de los taludes del Puente de Paso de Relave Capillune demostró ser efectiva para verificar la capacidad de carga del sistema de sostenimiento. Las pruebas de tracción confirmaron que el 100% de los pernos ensayados cumplen con los criterios de capacidad resistente sin presentar relajación ni deslizamiento del bulbo, garantizando los Factores de Seguridad requeridos en la Unidad Minera AngloAmerican Quellaveco ($FS \geq 1.50$ estático y $FS \geq 1.25$ pseudoestático).

Segundo: El comportamiento geomecánico del macizo rocoso es el factor gobernante en la respuesta fuerza-desplazamiento ($F-\delta$) obtenida en el Pull Test. En la granodiorita sana (Unidad U-4), la mayor rigidez y confinamiento del macizo produjeron desplazamientos entre 45% y 55% menores en comparación con la granodiorita moderadamente meteorizada (Unidad U-3) bajo idénticos escalones de carga. A pesar de esta mayor deformabilidad en la Unidad U-3, todos los anclajes ensayados se mantuvieron dentro del límite elástico admisible ($\delta \leq 12.5\text{mm}$)

Tercero: La calidad del mortero/lechada de inyección es un elemento clave para asegurar el desarrollo del bulbo de anclaje, mas no constituye el factor limitante del sistema cuando se cumplen las especificaciones de diseño. Las formulaciones DL-02 ($a/c = 0.33$) y DL-04 ($a/c = 0.31$) superaron la resistencia requerida de 300 kg/cm^2 a los 7 días (alcanzando promedios de 382.3 kg/cm^2 y 375.0 kg/cm^2 respectivamente). El desarrollo temprano de resistencia de la lechada DL-02 a los 3 días (285.1 kg/cm^2) permitió la ejecución segura y exitosa de los ensayos Pull Test desde las 48 horas de inyectado el perno.

Cuarta: La resistencia a la tracción del acero de los pernos de anclaje helicoidales ($\phi 25\text{mm}$, Grado 75) resulta suficiente para soportar las solicitudes estructurales y sísmicas en la Cepa 3. Sometidos a cargas de prueba de hasta 12.0 toneladas (superando la carga nominal de prueba de

9.8 t), los pernos registraron desplazamientos elásticos acumulados máximos de 9.4 mm en U-3 y 2.0 mm en U-4, demostrando una holgada reserva de capacidad estructural sin deformación plástica del elemento.

RECOMENDACIONES

Primero: Primera (Optimización del Protocolo Operativo y Calidad QA/QC):

Se recomienda estandarizar e institucionalizar la ejecución del ensayo Pull Test no destructivo bajo el estándar ASTM D4435, aplicándolo como un procedimiento obligatorio de aseguramiento y control de calidad (QA/QC) en al menos el 10% del total de anclajes helicoidales proyectados en obras de infraestructura minera de alta criticidad. Esta verificación in situ debe realizarse escalonando la fuerza de tracción hasta los dos tercios de la carga de diseño, manteniendo tiempos de permanencia mínimos de 3 a 5 minutos en cada etapa para corroborar que no existan fenómenos de flujo plástico o relajación de carga en la interfaz lechada-roca. Asimismo, se sugiere implementar celdas de carga digitales y sensores de desplazamiento de alta precisión (LVDT) calibrados, que permitan registrar de forma continua las curvas de deformación elástica en tiempo real, garantizando la detección temprana de anomalías en el comportamiento estructural del sostenimiento previo a la puesta en servicio de las estructuras.

Segundo: En función de la marcada respuesta diferencial observada entre las unidades litológicas, se recomienda diferenciar los parámetros de diseño del sostenimiento según la calidad del macizo rocoso interceptado. Para aquellos sectores donde prevalezca la granodiorita moderadamente meteorizada (Unidad U-3), caracterizada por un menor módulo de deformabilidad y mayor susceptibilidad a desplazamientos, se sugiere incrementar la longitud de desarrollo del bulbo de anclaje entre un 15% y 20%, o en su defecto, reducir el espaciamiento de la malla de perforación (por ejemplo, de 2.50 m x 2.50 m a 2.00 m x 2.00 m) para compensar la menor capacidad de confinamiento del terreno y restringir la deformación acumulada. Por el contrario, en tramos con presencia de granodiorita sana a ligeramente meteorizada (Unidad U-4), las longitudes nominales de diseño resultan técnicamente suficientes, recomendándose priorizar en dicha unidad

el control geométrico y el correcto ángulo de intersección entre la perforación y las familias de discontinuidades principales.

Tercero: Se recomienda fortalecer los controles de calidad en estado fresco de los diseños de mezcla inyectados (formulaciones DL-02 y DL-04), estableciendo como protocolo de campo obligatorio la medición de la temperatura de la mezcla, el ensayo de fluidez mediante el Cono de Marsh (manteniendo tiempos de escurrimiento dentro de los rangos normados) y la verificación estricta de una sedimentación nula (0%). Es indispensable garantizar que la relación agua/cemento se conserve estrictamente en el intervalo de 0.30 a 0.35 mediante el uso de aditivos superplastificantes y expansores, evitando el exceso de agua que pueda degradar la resistencia mecánica o generar vacíos por exudación en la parte superior del taladro. Adicionalmente, dado que se logró validar la ejecución de pruebas de tracción a las 48 y 96 horas de la inyección, se recomienda instrumentar el seguimiento sistemático de la resistencia a compresión a los 3 días de curado (f_c 280 kg/cm²) para autorizar trabajos de tensión temprana de manera segura sin comprometer la adherencia del bulbo.

Cuarto: Se recomienda utilizar de manera sistemática los valores reales de rigidez, adherencia y desplazamiento obtenidos en las pruebas de Pull Test para retroalimentar y recalibrar los modelos geotécnicos de estabilidad global (desarrollados mediante métodos de equilibrio límite y elementos finitos). La incorporación de estos parámetros reales de campo permitirá refinar las simulaciones de la interacción suelo-estructura ante escenarios de sobrecarga operativa por el paso de maquinaria pesada, flujo en las líneas de relave o sollicitaciones sísmicas pseudostáticas (Kh). Esta actualización continua de los modelos asegurará que los Factores de Seguridad calculados reflejen con máxima fidelidad la condición física del talud en los estribos del Puente Capillune, facilitando una gestión proactiva del riesgo geotécnico a lo largo de la vida útil de la operación minera.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, J. (2020). Análisis aplicativo del método de los elementos finitos en un campo estático-lineal e introducción a la no linealidad. *Pontificie Universidad Catolica del Perú*, 1-264. Obtenido de https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/16877/ALVAREZ_RUFFR%c3%81N_JORGE_AN%c3%81LISI_APLICATIVO_M%c3%89TODO.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- ASTM. (2020). Método Pull test. *American Society for Testing and Materials*, 1. Obtenido de <https://www.astm.org/>
- Banco Mundial. (2019). *Lifelines: The Resilient Infrastructure Opportunity*. Washington, DC: World Bank. Obtenido de <https://documents1.worldbank.org/curated/en/111181560974989791/pdf/Lifelines-The-Resilient-Infrastructure-Opportunity.pdf>
- Breña, C. (2019). Estabilidad de taludes de la carretera longitudinal de la sierra; tramo Cochabamba-Cutervo-Chiple, Cajamarca-Perú. *Universidad Mayor San Marcos*, 1-79. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/323353566.pdf>
- Brown, S., & Miller, T. (2020). Impacts of Landfill Leachate Infiltration on Slope Stability. *Environmental Engineering Research*, 28(2), 156-170.
- Callirgos, L. (2020). “Evaluación de riesgos por deslizamiento rotacional de tierra mediante el análisis de peligrosidad y vulnerabilidad en el centro poblado de cuenca - huancavelica”. *Universidad Nacional Federico Villareal*, 1-141. Obtenido de <https://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13084/4446/CALLIRGOS%20MONDRAG%C3%93N%20LEYNA%20KARIN%20%20-%20TITULO%20PROFESIONAL.pdf?sequence=1>

- Carrion, C. (2019). Analisis y diseño de la estabilidad de Talud en el sector Sausacocha. *Universidad Catolica Santo Torivio de Mogrovejo*, 1-212. Obtenido de https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/1788/1/TL_CarrionAguilarCarlos.pdf
- Castro, L. (2022). Análisis de estabilidad de talud por el Método Bishop en depósitos de desmonte Minero Excélsior, Cerro de Pasco – 2021. *Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion*, 1-104. Obtenido de http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/3280/1/T026_70568092_T.pdf
- Ccahuana, S., & Sanchez, J. (2019). Analisis de estabilidad de Talud mediante metodos de equilibrio limite para la carretera Huancavelica Lircay entre las progresivas del Km 02+700 AL Km 02+800. *Universidad Nacional de Huancavelica*, 1-147. Obtenido de <https://repositorio.unh.edu.pe/bitstreams/1c728a33-8278-4d2e-8756-f24613950ded/download>
- Chavarria, Á. (2021). Análisis y evaluación del acantilado de la costa verde para la estabilización con suelo reforzado en el distrito de barranco – tramo malecón paul harris. *Universidad San Ignacio de Loyola*, 1-234. Obtenido de <https://repositorio.usil.edu.pe/entities/publication/723d2004-ec09-40ca-8e12-e08c055b535c>
- Diaz, C. (2021). Uso del sistema soil nailing para solucionar la inestabilidad del talud, en la carretera PE-3Skilómetro 628+300 al 628+450 sector Yahuarí,distrito de Santa María de Chicmo - 2021. *Universidad Continental*, 1-204. Obtenido de https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/13181/1/IV_FIN_105_TE_Diaz_Pezua_2021.pdf
- Enciso, R., & Nuñez, R. (2019). Verificación de anclajes postensados mediante la aplicación del ensayo de capacidad en el edificio hotel ibis san isidro-lima-perú-2019. *Universidad*

Ricardo Palma, 1-148. Obtenido de
https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/2807/CIV_T030_45232091_T%20%20%20ENCISO%20SALDA%C3%91A%20ROMELL%20MART%C3%8DN.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Espinoza, G. (2019). Evaluación de taludes inestables en el tramo: km 100+000 al km 115+000 de la carretera Huánuco-la Unión. *Universidad Nacional Hermilio Valdizan*, 1-294. Obtenido de <https://repositorio.unheval.edu.pe/handle/20.500.13080/5116>

García, A., Rodríguez, B., & Pérez, C. (2022). Costos de recuperación después de deslizamientos de tierra en áreas rurales. *Revista de Geología Aplicada*, 30(1), 78-92.

García, C., & al., e. (2021). Urban Expansion and Slope Stability: Assessing Risk in Metropolitan Areas. *Journal of Urban Planning and Development*, 38(4), 321-335.

Gobierno del Perú. (2022). *Plan Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres*. Lima.

Gobierno Regional de Moquegua. (2019). *Informe Anual de Riesgos y Desastres Naturales*.

Gobierno Regional de Moquegua. (2020). *Plan de Desarrollo Regional de Moquegua*.

Gonzáles, C. (2019). Identificación de peligros, evaluación de riesgos y las medidas de control en el área administrativa de la empresa Costa del Pacífico Perú S.A.C., 2018. *Universidad Cesar Vallejo*, 1-149. Obtenido de
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/35872/Gonzales_NCA.pdf?sequence=1

Gutierrez, A. (2022). Evaluación geomecánica para el diseño del sostenimiento del túnel de integración Animon - Islay, 2022. *Universidad Nacional San Cristobal de Huamanga*, 1-108. Obtenido de
https://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/UNSCH/5790/1/TESIS%20M859_Gut.pdf

- Gutiérrez, J. (2019). Sistemas de estabilidad de taludes Erdox y Gaviones para mejorar el comportamiento estructural y económico del Km.14 Puente Capelo-Chanchamayo, 2019. *Universidad Cesar Vallejo*, 1-152. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/46694/Guti%C3%A9rez_LJK-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Hernandez, A. (2019). Analisis de sstabilidad del talud y obras de contencion necesarias para el diseño de una via de orden secundario en el municipio de Dabeiba-Antioquia. *Universidad Cooperativa de Colombia*, 1-80. Obtenido de https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/5d1325ef-eb93-48f5-b41e-79fb0466dafa/content
- Hospinal, M., & Laureano, D. (2020). Propuesta de estabilidad de Taludes en tramos sinuosos en la carretera Mollepata - Pallasca. *Universidad Ricardo Palma*, 1-183. Obtenido de https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/3831/T030_70833862_T%20%20HOSPINAL%20VILCHEZ%20MARCO%20ANTONIO.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Huaman, M. (2023). Implementación del Método de Reducción de Resistencia para el Análisis de Estabilidad de Taludes. *Pontific Universidad Catolica del Perú*, 1-64. Obtenido de https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/25416/HUAMAN_CANGALAYA_MARYCARMEN_IMPLEMENTACION_METODO.pdf?sequence=7&isAllowed=y
- INDECI. (2020). *Reporte Anual de Desastres Naturales*. Lima: INDECI.
- Jones, A., & Johnson, B. (2020). Impact of Deforestation on Slope Stability: A Case Study in XYZ Region. *Environmental Science Journal*, 25(3), 102-115.

- Kilic, A., Yasar, E., & Celik, A. G. (2002). Effect of grout properties on the pull-out capacity of fully grouted rock bolts. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 117, 104135.
- Layana, M. (2023). Análisis del diseño de taludes de excavación en base al proyecto de norma nch3206. *Universidad de Chile*, 1-181. Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/194868>
- León, L. (2022). Evaluacion de peligros geologicos por deslizamiento en el sector miraflores, caserio la primavera. *Ingemmet*, 1-27. Obtenido de https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/3602/1/A7218-Eval.pelig_deslizamiento_Miraflores-San_Martin.pdf
- Li, H., Zhang, Q., & Wu, L. (2020). Advanced Monitoring and Early Warning Technology for Slope Stability Based on IoT. *Geosciences*, 10(8), 310.
- Lugo, E. (2018). “Combinación de los métodos janbú – spencer en el análisis de estabilidad de taludes para el empleo de sistemas flexibles de alta resistencia en la construcción de carreteras”. *Universidad Nacional Federico Villareal*, 1-132. Obtenido de http://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13084/2272/LUGO_ALVAREZ_E_MEL%20DIEGO.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Maharjan, B. M. (2019). Pull testing of soil nails and anchors for slope stability assessment. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*.
- Mamani, J. C., & Tarqui, W. Y. (2023). Análisis del factor de seguridad en estabilidad de taludes considerando geometría y tipo de suelo, carretera Omate - Moquegua, Moquegua, 2023. *Repositorio Institucional UCV*. Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo.
- Martínez, R., & López, M. (2018). Mining Activities and Slope Instability. *Mining Engineering Journal*, 12(1), 78-92.

- Martínez, R., & López, M. (2021). Evaluación de los costos de reconstrucción después de eventos de inestabilidad de taludes en áreas mineras. *Journal of Mining Engineering*, 20(2), 156-170.
- Mesa, M., Álvarez, J., & Álvarez, J. (2020). Evaluación del factor de seguridad en taludes de terraplenes carreteros altos ante carga sísmica. *Revista de Ingeniería Sísmica*(103), 1 - 17. Retrieved from https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0185-092X2020000200001&script=sci_arttext
- Mujica, J., & Reymundo, J. (2022). Análisis de Estabilidad de Taludes desde el Puente Posanca hasta el Poblado Licahuasi de la Carretera LM 111 en el Distrito de Arahua. *Universidad Tecnológica del Peru*, 1-145. Obtenido de https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/6737/J.Mujica_J.Reymundo_Tesis_Titulo_Profesional_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- MVCS. (2021). *Plan Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres*. Arequipa.
- Norma Europea Experimental. (2002). *Eurocode 7 - Part 3*. Madrid: Asociacion Española de normalizacion y Certificacion. Obtenido de http://www.tocasa.es/ingeniero/UNE-ENV_1997-3=2002.pdf
- ONU-RRD. (2021). *Global Report on Disaster Risk Reduction*. Obtenido de United Nations Office for Disaster Risk Reduction: <https://www.undrr.org/gar>
- Ortiz, R. (2022). *Aplicación de Mallas Triple Torsión Ancladas para Estabilización de Talud Rocosos en Institución Educativa JEM, distrito de Andahuaylas - 2022*. Universidad Cesar Vallejo, Lima. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/105580/Ortiz_CR%20-%20SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Pajuelo, A. (2018). Diseño geotécnico de la cimentación del mercado modelo Villas de Ancón distrito de Ancón. *Universidad San Martín de Porres*, 1-159. Obtenido de <https://repositorio.usmp.edu.pe/handle/20.500.12727/4080>
- Pari, Y. (2021). Sistema de estabilización de taludes de corte mediante anclajes metálicos, carretera Chojata Moquegua, Moquegua 2021. *Universidad Continental*, 1-106. Obtenido de https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/10421/1/IV_FIN_105_TE_Pari_Eugenio_2021.pdf
- Pérez, J. (2018). Estudio del test del empujón ("pull test") en sujetos sanos y en pacientes con enfermedad de parkinson: análisis cuantitativo de la fuerza desestabilizadora, análisis posturográfico y electromiográfico. *Universidad Complutense de Madrid*, 1-178. Obtenido de <https://docta.ucm.es/rest/api/core/bitstreams/0b448a08-1c01-4ec1-b159-7d5886dcf4f9/content>
- Puquio, A. (2021). Diseño estructural de un edificio multifamiliar de concreto armado de 5 niveles. *Pontificia Universidad Católica del Perú*, 1-116. Obtenido de [https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/21466/PUQUIO_PALACIOS_ALEXANDER_DISE% c3%91O_ESTRUCTURAL_EDIFICIO.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/21466/PUQUIO_PALACIOS_ALEXANDER_DISE%c3%91O_ESTRUCTURAL_EDIFICIO.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Quispe, L., & Rodríguez, Y. E. (2021). Evaluación de estabilidad de taludes a través de elementos finitos en la carretera Interoceánica sur de Marcapata, Quispicanchis, Cusco, 2021. *Repositorio Institucional UCV*. Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo.
- Rodríguez, S. (2018). Aplicación de Técnicas de Sistemas de Producción “Pull / Push” - COBACABANA. *Universidad de Sevilla*, 1-88. Obtenido de <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/71121/fichero/TFM-1121-RODRIGUEZ.pdf>

- Romero, M. (2021). Análisis de estabilidad del talud compuesto de puzolana ubicado entre las progresivas 57+110 a la 57+200 de la vía PE - 34 entre las regiones de Arequipa y Puno. *Universidad Continental*, 1-189. Obtenido de https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/12337/4/IV_FIN_105_TE_Romero_Alosilla_2021.pdf
- Smith, J. (2019). Effects of Unplanned Excavation on Slope Stability. *Journal of Geotechnical Engineering*, 15(2), 45-58.
- Sullcahuaman, D. (2019). *Evaluación diferencial entre la aplicación de cargas monotónicas y cíclicas del ensayo Pull Out Test en la instalación del sistema de sostenimiento del talud norte C2 - Cerro Verde, Arequipa*. Arequipa.
- Suloaga, E. (2023). Evaluación de riesgo por deslizamiento mediante el análisis de peligrosidad y vulnerabilidad del Centro Poblado de Mallas, Huari - 2022. *Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión*, 1-124. Obtenido de https://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14067/7864/Tesis_evaluacion%20de%20riesgo%20por%20deslizamiento%20mediante%20el%20analisis%20de%20peligrosidad%20y%20vulnerabilidad%20de%20centro
- Terzaghi, K. (1943). *Theoretical Soil Mechanics*. Wiley.
- Tirado, M. (2020). Evaluación del riesgo asociado a la vulnerabilidad física por laderas inestables en el tramo de carretera cajamarca – gavián, 2018”. *Universidad Nacional de Cajamarca*, 1-131. Obtenido de <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/4012/TESIS%20FINAL%20EMPASTAR.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Torres, B., & Real, J. (2021). Estudios de inestabilidad del talud en la carretera del tramo tutumbaru-machente y su relación con el talud con roca fracturada, para la preparación de

los cadetes de ingeniería de la escuela militar de chorrillos “coronel francisco bolognesi” año 2021. *Escuela Militar de Chorrillos*, 1-112. Obtenido de <https://repositorio.escuelamilitar.edu.pe/server/api/core/bitstreams/fb9e2ae8-747d-4691-bb14-5cc2ff554a32/content>

Torres, L. (2019). Estabilidad de Taludes para mejorar la transitabilidad y seguridad en los tramos críticos de la carretera Monteseco, Distrito Catache. *Universidad Cesar Vallejo*, 1-90. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/37101/Torres_RL.pdf?sequence=1&isAllowed=y

U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration . (2015). Soil Nail Walls Reference Manual . *NHI Course No. 132085* , 1-425.

Vasquez, H. H. (2018). Estudio de la estabilización de taludes en macizos rocosos fracturados que presentan mecanismo de falla en zona de explotación minera de la Empresa Antamina. Dracón Perú SAC. *Repositorio Institucional UPN*. Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte.

Villazhañay, J., & Bucheli, J. (2023). Estabilidad de taludes en el puente sobre el río Copueno en Morona Santiago-Ecuador. *Ingeniería hidráulica y ambiental*, 44(3), 83 - 95. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1680-03382023000300082&script=sci_arttext

Zavala, J. (2021). Estabilidad de taludes para el mejoramiento del terraplén en la construcción de túnel de drenaje Toquepala - Tacna, 2021. *Universidad Privada de Tacna*, 1-198. Obtenido de <https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/2072>

ANEXOS

Anexo 1: Ubicación

Región: Moquegua

Provincia: Mariscal Nieto

Distrito: Torata

Figura 26

Ubicación de la Unidad Minera Quellaveco



Nota. Google Maps

Anexo 2: Accesibilidad

La Unidad Minera **Quellaveco**, operada por Anglo American, se ubica en la **región Moquegua**, provincia de **Mariscal Nieto**, distrito de **Torata**, en el valle alto del **río Asana**, a una altitud aproximada entre **3,400 y 3,900 msnm**. Su localización estratégica dentro del corredor minero del sur del Perú permite una adecuada conexión con centros urbanos, puertos y otras operaciones mineras de importancia regional.

2.1 Acceso Terrestre

El acceso principal a la unidad minera se realiza por vía terrestre, utilizando la red vial nacional y regional, la cual se encuentra en condiciones adecuadas para el tránsito de vehículos livianos y pesados.

- **Desde Lima hasta Moquegua:** Aproximadamente 1,254 km, siguiendo la Carretera Panamericana Sur (PE-1S) hasta la ciudad de Moquegua. Esta ruta es asfaltada y constituye el principal eje de transporte de carga y pasajeros del país.
- **Desde Cusco hasta Moquegua:** Aproximadamente 643 km, a través de la Carretera Longitudinal de la Sierra Sur (Ruta 3S), que conecta las regiones del sur andino con la costa.
- **Desde la ciudad de Moquegua hasta la Unidad Minera Quellaveco:** Una distancia aproximada de 79.8 km, recorriendo carreteras asfaltadas y tramos afirmados hasta llegar a las instalaciones mineras.

2.2 Rutas de Acceso a la Unidad Minera

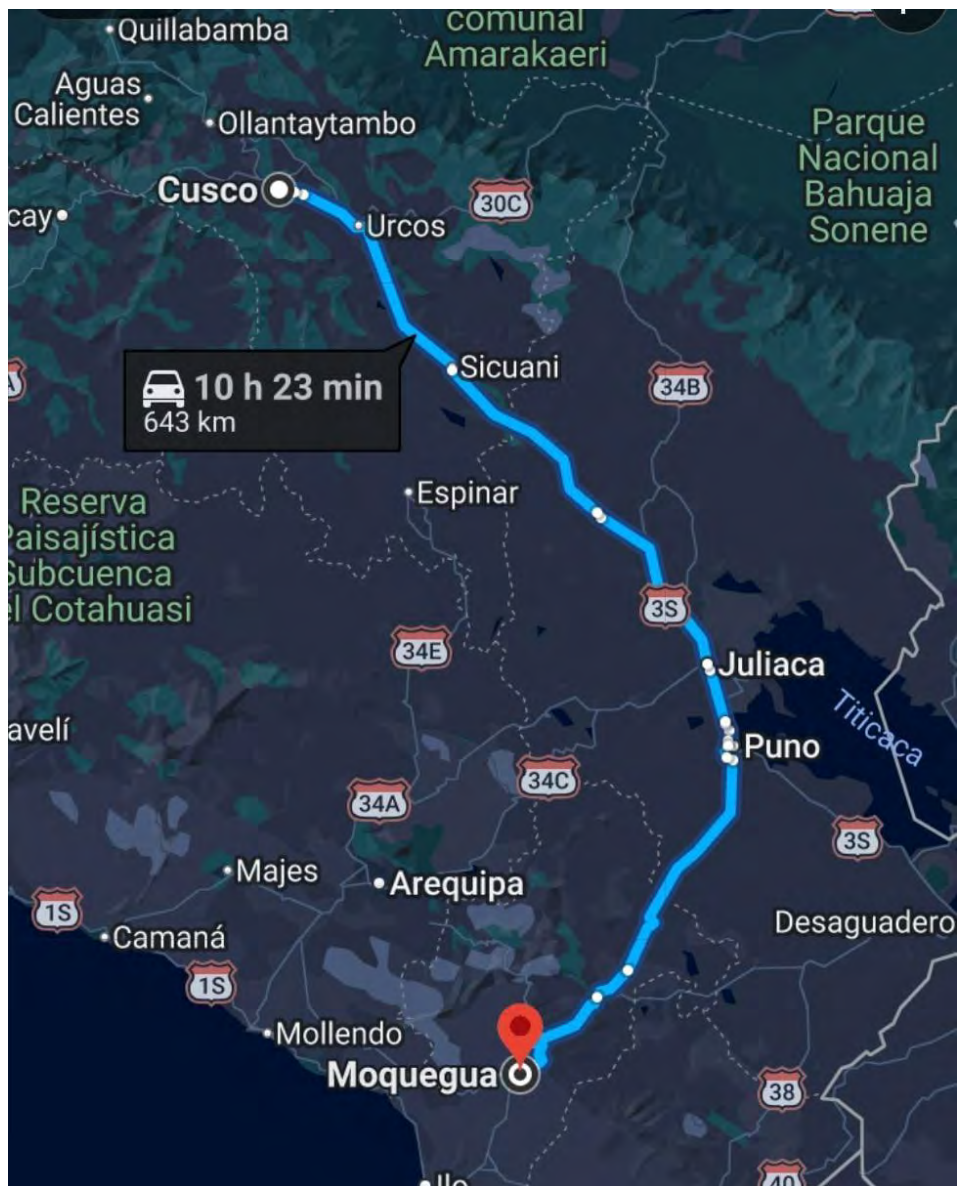
Las principales rutas de acceso desde la ciudad de Moquegua son:

- **Ruta Moquegua – Torata – Papujune – Quellaveco** Es la vía más utilizada para el transporte de personal, suministros y equipos. Presenta tramos asfaltados y afirmados, con pendientes moderadas propias de la topografía andina.
- **Ruta Moquegua – Cuajone – Quellaveco:** Corresponde a una carretera afirmada que se conecta con la operación minera Cuajone, añadiendo aproximadamente 33 km adicionales. Esta ruta es utilizada principalmente para operaciones logísticas y conexiones mineras.

2.3 Infraestructura Vial y Logística

- La red vial que conduce a Quellaveco ha sido mejorada y mantenida para soportar el tránsito de maquinaria pesada, camiones de alto tonelaje y transporte continuo de insumos.
- Existen vías internas dentro de la unidad minera, diseñadas para garantizar la seguridad operacional y la eficiencia del transporte interno.
- La cercanía a la ciudad de Moquegua permite un abastecimiento continuo de bienes, servicios y mano de obra, reduciendo los costos logísticos.
- La operación cuenta con accesos controlados, garitas de seguridad y señalización adecuada, cumpliendo estándares de seguridad industrial y vial.

Figura 27
Accesibilidad



Anexo 3: Geología local

La Unidad Minera Quellaveco presenta una geología local compleja, resultado de la interacción entre **procesos volcánicos, intrusivos y tectónicos**, los cuales dieron origen a un sistema **porfídico de cobre–molibdeno** de gran extensión. La secuencia litológica observada es típica de los depósitos porfíricos del sur del Perú y refleja múltiples eventos magmáticos e hidrotermales.

3.1 Secuencia Litológica

3.1.1 Rocas Volcánicas

Las rocas volcánicas constituyen la parte superior de la secuencia geológica y corresponden principalmente a unidades de edad **Mesozoica–Cenozoica temprana**. Estas rocas forman parte del encajonante del sistema mineralizado.

Litológicamente se reconocen:

- **Riolitas:** de textura afanítica a porfídica, generalmente alteradas, asociadas a eventos volcánicos explosivos.
- **Andesitas:** de composición intermedia, con fenocristales de plagioclasa y hornblenda, ampliamente fracturadas.
- **Brechas volcánicas:** compuestas por clastos angulares a subredondeados en matriz volcánica, relacionadas con eventos eruptivos y colapsos volcánicos.
- Estas unidades volcánicas se encuentran afectadas por distintos tipos de **alteración hidrotermal**, lo que evidencia su participación en el sistema mineralizante.

3.1.2 Rocas Intrusivas

Las rocas intrusivas constituyen el **núcleo del sistema porfídico** y están directamente relacionadas con la mineralización económica.

- **Plutón granodiorítico–tonalítico:** Representa la unidad intrusiva principal, de grano medio a grueso, con composición intermedia a félsica. Actúa como roca huésped de los cuerpos mineralizados.
- **Stocks y diques porfídicos dacíticos:** Corresponden a intrusiones tardías, de textura porfídica, emplazadas a niveles someros. Estos cuerpos están estrechamente asociados a la **mineralización de cobre y molibdeno**, actuando como conductos para los fluidos hidrotermales.

Las intrusiones muestran evidencias de **múltiples pulsos magmáticos**, característica típica de los yacimientos tipo pórfido.

3.2 Alteración Hidrotermal

La geología local de Quellaveco muestra una zonación típica de alteración hidrotermal, bien desarrollada:

- **Alteración potásica:** Asociada al núcleo del sistema, caracterizada por la presencia de biotita secundaria, feldespato potásico y magnetita. Está directamente relacionada con la mineralización hipogénica.
- **Alteración filica (cuarzo–sericita–pirita):** Rodea la zona potásica y presenta alta intensidad de fracturamiento y sulfuros.
- **Alteración argílica y argílica avanzada:** Presente en zonas superiores, relacionada con fluidos más ácidos.
- **Alteración propilítica:** Ubicada en las zonas periféricas del sistema, con clorita, epidota y calcita.

3.3 Tipos de Mineralización

El depósito de Quellaveco corresponde a un **pórfido de cobre–molibdeno (Cu–Mo)**, caracterizado por:

3.3.1 Mineralización Hipogénica

Es la mineralización primaria, formada a profundidad por procesos hidrotermales de alta temperatura.

Minerales principales:

- **Calcopirita (CuFeS_2)**
- **Molibdenita (MoS_2)**
- **Pirita (FeS_2)**

Minerales de ganga:

- **Cuarzo**
- **Calcita**
- **Feldespatos**

3.3.2 Enriquecimiento Supergénico

En zonas cercanas a superficie, la acción de aguas meteóricas dio lugar a procesos de lixiviación y redeposición de cobre, generando una **zona de enriquecimiento supergénico**.

Mineral característico:

- **Chalcocita (Cu_2S):** Este proceso incrementa localmente la ley de cobre, siendo de gran importancia económica para la explotación a cielo abierto.

3.4 Importancia de la Geología Local en la Explotación

- La comprensión detallada de la geología local permite:
- Definir con precisión los **cuerpos mineralizados**
- Optimizar el **diseño del tajo**
- Evaluar la **variabilidad de leyes**
- Determinar condiciones geotécnicas y metalúrgicas

Anexo 4: Geología regional

La región de Moquegua forma parte de la **Faja Metalogenética de Pórfidos Cupríferos del Sur del Perú**, una de las provincias cupríferas más importantes del mundo. Esta faja se desarrolló durante el **Paleoceno–Eoceno (~55 Ma)** y alberga yacimientos de gran tonelaje como **Quellaveco, Toquepala, Cuajone y Cerro Verde**.

La génesis de estos depósitos está relacionada con procesos **magmático–hidrotermales** asociados a la subducción de la **placa oceánica de Nazca bajo la placa continental Sudamericana**, en un contexto de margen convergente activo.

4.1 Marco Geológico Regional

Desde el punto de vista regional, Moquegua se encuentra dentro del **Arco Magmático Andino del Sur del Perú**, caracterizado por una intensa actividad volcánica e intrusiva durante el Cenozoico temprano.

Las principales unidades geológicas regionales incluyen:

- **Basamento ígneo-metamórfico pre-andino**, no aflorante ampliamente en la zona.
- **Secuencias volcánico-sedimentarias mesozoicas**, principalmente andesitas, dacitas y brechas volcánicas.
- **Intrusivos cenozoicos** asociados al Batolito de la Costa y al **Batolito de Yarabamba**, estrechamente vinculados a la mineralización cuprífera.
- **Depósitos volcánicos y sedimentarios terciarios y cuaternarios**, que cubren parcialmente las unidades mineralizadas.

4.2 Batolito de Yarabamba

Los depósitos de **Quellaveco**, están genéticamente relacionados con el **Batolito de Yarabamba**, el cual corresponde a un conjunto de intrusiones plutónicas emplazadas durante el Paleoceno–Eoceno.

◆ **Litología dominante:**

- Granodioritas
- Monzonitas
- Tonalitas
- Dioritas cuarzosas

◆ **Importancia metalogenética:**

- Estas intrusiones actuaron como **fuentes de calor y fluidos hidrotermales**
- Generaron sistemas de alteración y mineralización tipo **pórfido cuprífero Cu–Mo**
- Presentan texturas porfídicas y múltiples pulsos intrusivos, característicos de este tipo de depósitos

En Quellaveco, la mineralización está asociada principalmente a **stocks y diques porfídicos granodioríticos a dacíticos**, emplazados dentro de rocas intrusivas más antiguas.

Anexo 5: Geología estructural

La geología estructural de la Unidad Minera Quellaveco está caracterizada por un conjunto de fallas, fracturas y sistemas de diaclasas que desempeñaron un papel fundamental en el emplazamiento de los intrusivos, la circulación de fluidos hidrotermales y la distribución de la mineralización del depósito porfídico de cobre–molibdeno.

5.1 Marco Estructural Regional

A escala regional, Quellaveco se encuentra dentro del sistema estructural andino, desarrollado como resultado de la **orogenia andina**, dominada por un régimen tectónico **compresivo**, con episodios locales de extensión.

Este contexto dio origen a sistemas de fallas regionales con direcciones preferenciales **NW–SE** y **NE–SW**, las cuales controlan la disposición de los principales yacimientos de la faja cuprífera del sur del Perú.

4.2 Sistemas de Fallas Principales

En el área de Quellaveco se reconocen principalmente:

4.2.1 Fallas de rumbo NW–SE (N40°–50°W)

- Constituyen el **sistema estructural dominante**.
- Presentan longitudes regionales y continuidad significativa.
- Controlaron el **emplazamiento de los intrusivos porfídicos**.
- Actuaron como **conductos preferenciales para los fluidos hidrotermales**, favoreciendo la mineralización.

Estas fallas están asociadas a zonas de alta fracturación, lo que incrementó la permeabilidad de las rocas encajonantes.

4.2.2 Fallas NE–SW

- Corresponden a estructuras secundarias que cortan al sistema principal NW–SE.
- Generan zonas de intersección estructural altamente favorables para la concentración de mineralización.
- En algunos sectores presentan evidencias de reactivación tectónica.

4.3 Diaclasamiento y Fracturamiento

El yacimiento presenta un intenso **diaclasamiento**, especialmente en las rocas intrusivas y volcánicas, caracterizado por:

- Alta densidad de fracturas abiertas y rellenas
- Presencia de vetillas de cuarzo, cuarzo–pirita y cuarzo–calcopirita
- Incremento de la permeabilidad secundaria

Este patrón de fracturamiento fue esencial para el desarrollo del sistema hidrotermal y la posterior mineralización.

4.4 Control Estructural de la Mineralización

Las estructuras geológicas ejercen un control directo sobre:

- **La geometría del cuerpo mineralizado**, definiendo zonas de mayor espesor y continuidad.
- **La zonación de alteración hidrotermal**, concentrándose la alteración potásica en zonas estructuralmente favorables.
- **La distribución de leyes de cobre y molibdeno**, con mayores concentraciones en intersecciones de fallas y zonas de alta fracturación.

Las áreas donde convergen fallas NW–SE y NE–SW presentan una mayor intensidad de alteración y mineralización, siendo consideradas zonas prioritarias para exploración y explotación.

4.5 Importancia Geotécnica y Minera

Desde el punto de vista minero y geotécnico, las estructuras influyen en:

- La **estabilidad de taludes** en minería a cielo abierto
- La orientación de **bancos y rampas**
- La planificación del **drenaje y control de aguas**
- El diseño de voladuras

Por ello, el análisis estructural detallado es indispensable para una explotación segura y eficiente.

Anexo 6: Geología económica

La Unidad Minera Quellaveco constituye un yacimiento de cobre de clase mundial, cuyo valor económico está determinado por su gran volumen de reservas, continuidad de la mineralización y condiciones favorables para la explotación a cielo abierto. Su importancia radica tanto en el ámbito productivo como en el impacto económico regional y nacional.

6.1 Tipo de Depósito

Quellaveco corresponde a un depósito tipo pórfido de cobre–molibdeno (Cu–Mo), caracterizado por:

- Gran tonelaje de mineral
- Leyes moderadas de cobre
- Amplia extensión lateral y vertical
- Mineralización diseminada y en vetillas

Este tipo de depósitos se forma por sistemas magmático–hidrotermales asociados a intrusiones porfídicas someras, y representa la principal fuente de cobre a nivel mundial.

6.2 Reservas y Recursos Minerales

El yacimiento cuenta con reservas estimadas del orden de 1.1 mil millones de toneladas, con una ley promedio aproximada de 0.55 % de Cu, además de contenidos económicos de molibdeno.

Desde el punto de vista económico, estas características permiten:

- Una vida útil prolongada de la mina
- Planificación de producción a largo plazo
- Reducción de riesgos económicos asociados a fluctuaciones de precios

Las reservas han sido definidas mediante:

- ✓ perforación diamantina
- ✓ modelamiento geológico
- ✓ estimación geoestadística de leyes

6.3 Mineralización Económica

6.3.1 Minerales de Valor

- Cobre:
 - o Calcopirita (CuFeS_2) – mineral primario
 - o Chalcocita (Cu_2S) – mineral supergénico de alto valor
- Molibdeno:
 - o Molibdenita (MoS_2), como subproducto económicamente significativo

6.3.2 Minerales de Ganga

- Cuarzo
- Calcita
- Feldespatos
- Minerales de alteración hidrotermal

6.4 Producción Minera

La producción anual proyectada de Quellaveco es del orden de 300,000 toneladas de cobre fino por año durante su operación a plena capacidad, lo que la posiciona como una de las principales operaciones cupríferas del Perú.

La explotación se realiza mediante:

- Minería a cielo abierto
- Métodos de minado por bancos descendentes
- Uso de equipos de gran capacidad

6.5 Procesos Metalúrgicos

El tratamiento del mineral se realiza en una planta concentradora, empleando el proceso de flotación, el cual comprende:

1. Chancado primario, secundario y terciario
2. Molienda

3. Flotación de cobre
4. Flotación selectiva de molibdeno
5. Espesamiento y filtrado

Este proceso permite obtener:

- Concentrado de cobre
- Concentrado de molibdeno (como subproducto)

La recuperación metalúrgica es elevada, lo que mejora la rentabilidad del proyecto.

6.6 Costos y Viabilidad Económica

Las características del yacimiento permiten:

- Costos unitarios competitivos
- Alta eficiencia operacional
- Optimización del consumo de energía y agua

El uso de agua de mar desalinizada contribuye a la sostenibilidad del proyecto, reduciendo conflictos por el uso de recursos hídricos continentales.

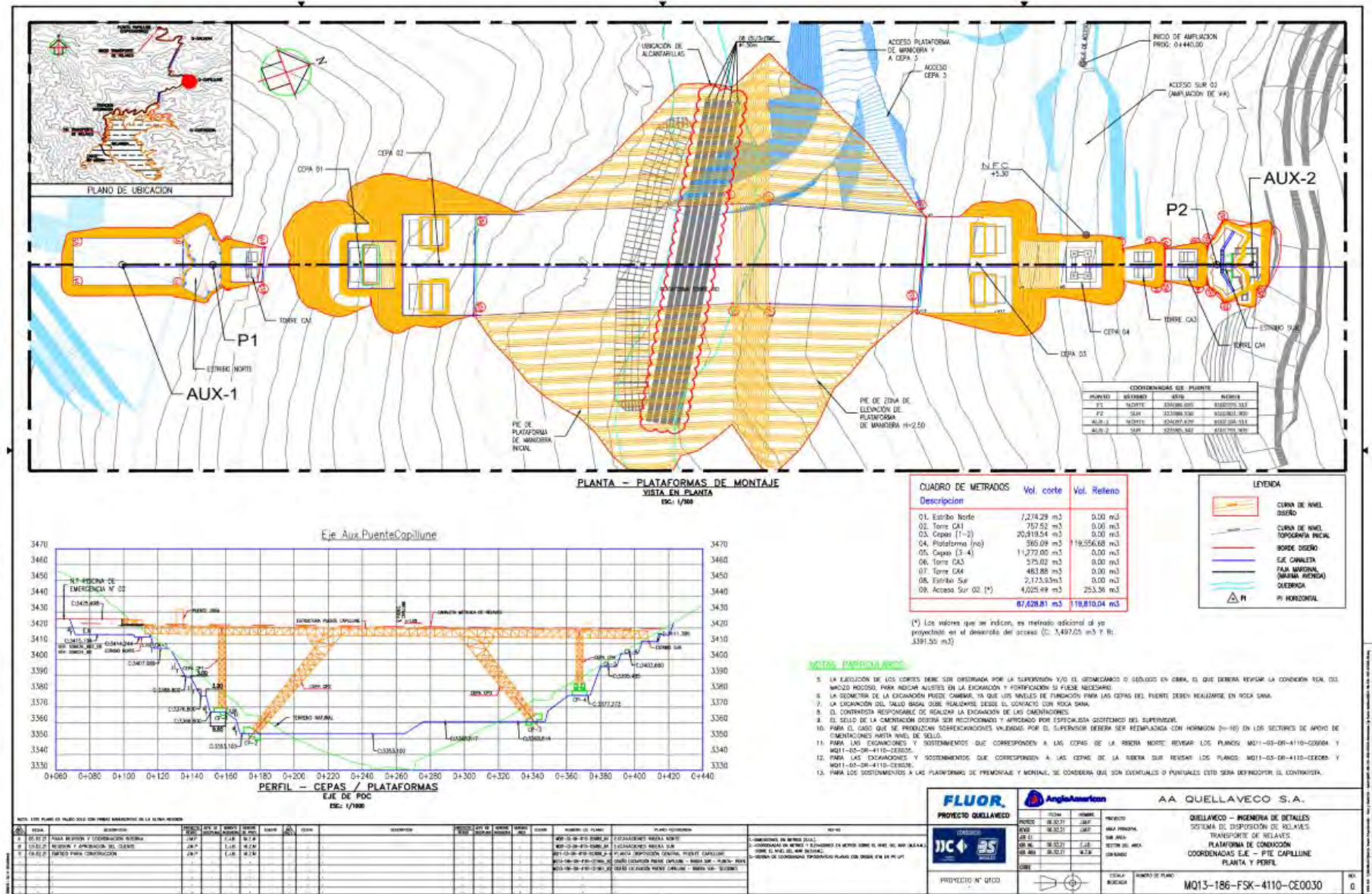
6.7 Impacto Económico Regional y Nacional

Desde el punto de vista económico y social, Quellaveco:

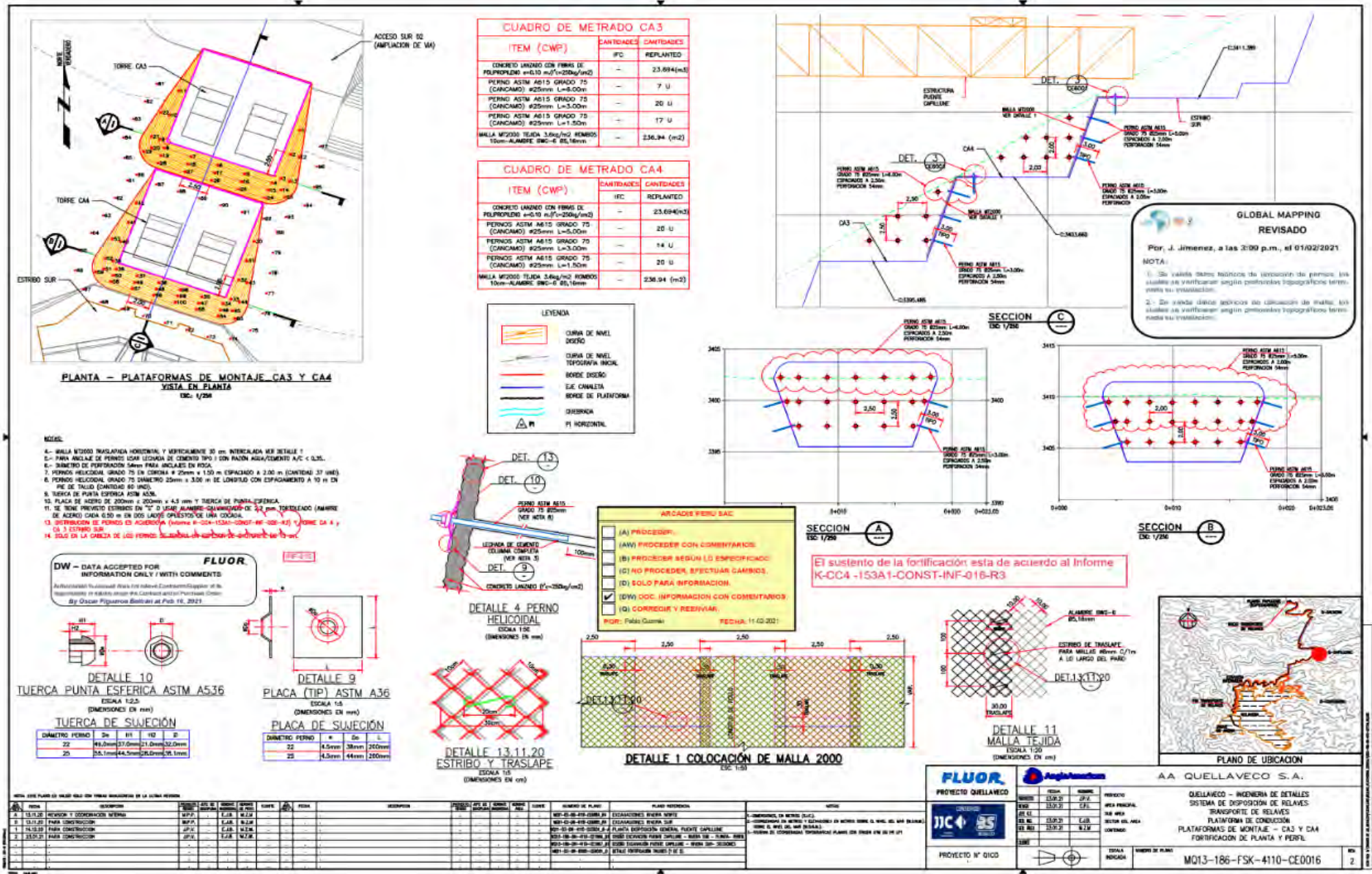
- Representa una inversión de varios miles de millones de dólares
- Genera empleo directo e indirecto
- Contribuye significativamente al PBI regional de Moquegua
- Aporta ingresos por:
 - Canon minero
 - Regalías
 - Impuestos

Además, impulsa el desarrollo de infraestructura, servicios y proveedores locales.

Anexo 7: Planta de tratamiento



Plataforma de montaje CA3 y CA4 vista en planta



Coordenadas de la plataforma de montaje CA3 y CA4

FLUOR
DW = DATA ACCEPTED FOR INFORMATION ONLY / WITH COMMENTS
Autorización de presentarse para ser revisado por el responsable de calidad, según los estándares de Fluor.
By Oscar Figueroa Delatorre el Feb 15, 2021

ARCADIS PERU SAC

☐ (A) PROCEDER.
☐ (AW) PROCEDER CON COMENTARIOS.
☐ (B) PROCEDER SEGUN LO ESPECIFICADO.
☐ (C) NO PROCEDER, EFECTUAR CAMBIOS.
☐ (D) SÓLO PARA INFORMACIÓN.
☒ (DW) DOC. INFORMACIÓN CON COMENTARIOS.
☐ (E) CORREGIR Y REENVIAR.

FOR: Pablo Guzmán FECHA: 11-02-2021

El sustento de la fortificación esta de acuerdo al Informe K-CC4-153A1-CONST-INF-016-R3.

PUNTO	NORTE	ESTE	OTRO
1	810101.812	214002.887	2381480
2	810101.899	214003.257	2381480
3	810101.928	214003.485	2381480
4	810101.987	214003.678	2381482
5	810101.993	214003.785	2381480
6	810101.998	214003.803	2381480
7	810101.994	214003.802	2381480
8	810102.000	214003.740	2381481
9	810102.007	214003.701	2381480
10	810102.000	214003.647	2381481
11	810102.042	214003.440	2381480
12	810102.044	214003.480	2381480
13	810102.040	214003.483	2381480
14	810102.000	214003.400	2381481
15	810102.007	214003.330	2381481
16	810102.010	214003.240	2381481
17	810102.002	214003.100	2381481
18	810102.000	214003.000	2381481
19	810102.000	214002.900	2381481
20	810102.000	214002.800	2381481
21	810102.000	214002.700	2381481
22	810102.000	214002.600	2381481
23	810102.000	214002.500	2381481
24	810102.000	214002.400	2381481
25	810102.000	214002.300	2381481
26	810102.000	214002.200	2381481
27	810102.000	214002.100	2381481
28	810102.000	214002.000	2381481
29	810102.000	214001.900	2381481
30	810102.000	214001.800	2381481
31	810102.000	214001.700	2381481
32	810102.000	214001.600	2381481
33	810102.000	214001.500	2381481
34	810102.000	214001.400	2381481
35	810102.000	214001.300	2381481
36	810102.000	214001.200	2381481
37	810102.000	214001.100	2381481
38	810102.000	214001.000	2381481
39	810102.000	214000.900	2381481
40	810102.000	214000.800	2381481
41	810102.000	214000.700	2381481
42	810102.000	214000.600	2381481
43	810102.000	214000.500	2381481
44	810102.000	214000.400	2381481
45	810102.000	214000.300	2381481
46	810102.000	214000.200	2381481
47	810102.000	214000.100	2381481
48	810102.000	214000.000	2381481
49	810102.000	214000.000	2381481
50	810102.000	214000.000	2381481

PUNTO	NORTE	ESTE	OTRO
51	810102.000	214000.000	2381481
52	810102.000	214000.000	2381481
53	810102.000	214000.000	2381481
54	810102.000	214000.000	2381481
55	810102.000	214000.000	2381481
56	810102.000	214000.000	2381481
57	810102.000	214000.000	2381481
58	810102.000	214000.000	2381481
59	810102.000	214000.000	2381481
60	810102.000	214000.000	2381481
61	810102.000	214000.000	2381481
62	810102.000	214000.000	2381481
63	810102.000	214000.000	2381481
64	810102.000	214000.000	2381481
65	810102.000	214000.000	2381481
66	810102.000	214000.000	2381481
67	810102.000	214000.000	2381481
68	810102.000	214000.000	2381481
69	810102.000	214000.000	2381481
70	810102.000	214000.000	2381481
71	810102.000	214000.000	2381481
72	810102.000	214000.000	2381481
73	810102.000	214000.000	2381481
74	810102.000	214000.000	2381481
75	810102.000	214000.000	2381481
76	810102.000	214000.000	2381481
77	810102.000	214000.000	2381481
78	810102.000	214000.000	2381481
79	810102.000	214000.000	2381481
80	810102.000	214000.000	2381481
81	810102.000	214000.000	2381481
82	810102.000	214000.000	2381481
83	810102.000	214000.000	2381481
84	810102.000	214000.000	2381481
85	810102.000	214000.000	2381481
86	810102.000	214000.000	2381481
87	810102.000	214000.000	2381481
88	810102.000	214000.000	2381481
89	810102.000	214000.000	2381481
90	810102.000	214000.000	2381481
91	810102.000	214000.000	2381481
92	810102.000	214000.000	2381481
93	810102.000	214000.000	2381481
94	810102.000	214000.000	2381481
95	810102.000	214000.000	2381481
96	810102.000	214000.000	2381481
97	810102.000	214000.000	2381481
98	810102.000	214000.000	2381481
99	810102.000	214000.000	2381481
100	810102.000	214000.000	2381481

PUNTO	NORTE	ESTE	OTRO
101	810102.000	214000.000	2381481
102	810102.000	214000.000	2381481
103	810102.000	214000.000	2381481
104	810102.000	214000.000	2381481
105	810102.000	214000.000	2381481
106	810102.000	214000.000	2381481
107	810102.000	214000.000	2381481
108	810102.000	214000.000	2381481
109	810102.000	214000.000	2381481
110	810102.000	214000.000	2381481
111	810102.000	214000.000	2381481
112	810102.000	214000.000	2381481
113	810102.000	214000.000	2381481
114	810102.000	214000.000	2381481
115	810102.000	214000.000	2381481
116	810102.000	214000.000	2381481
117	810102.000	214000.000	2381481
118	810102.000	214000.000	2381481
119	810102.000	214000.000	2381481
120	810102.000	214000.000	2381481
121	810102.000	214000.000	2381481
122	810102.000	214000.000	2381481
123	810102.000	214000.000	2381481
124	810102.000	214000.000	2381481
125	810102.000	214000.000	2381481
126	810102.000	214000.000	2381481
127	810102.000	214000.000	2381481
128	810102.000	214000.000	2381481
129	810102.000	214000.000	2381481
130	810102.000	214000.000	2381481
131	810102.000	214000.000	2381481
132	810102.000	214000.000	2381481
133	810102.000	214000.000	2381481
134	810102.000	214000.000	2381481
135	810102.000	214000.000	2381481
136	810102.000	214000.000	2381481
137	810102.000	214000.000	2381481
138	810102.000	214000.000	2381481
139	810102.000	214000.000	2381481
140	810102.000	214000.000	2381481

GLOBAL MAPPING
REVISADO
Por: J. Jimenez, a las 3:00 p.m., el 01/02/2021

NOTA:

- Se valida datos técnicos de ubicación de pernos, los cuales se verifican según protocolos topográficos antes de su instalación.
- Se valida datos técnicos de ubicación de pernos, los cuales se verifican según protocolos topográficos antes de su instalación.

FLUOR **AngloAmerican** **AA QUELLAVECO S.A.**

PROYECTO QUELLAVECO

QUELLAVECO - INGENIERIA DE DETALLES

SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE RELAJES

TRANSPORTE DE RELAJES

PLATAFORMAS DE MONTAJE - CA3 Y CA4

CUADRO DE COORDENADAS, CA3 Y CA4 (PERNOS)

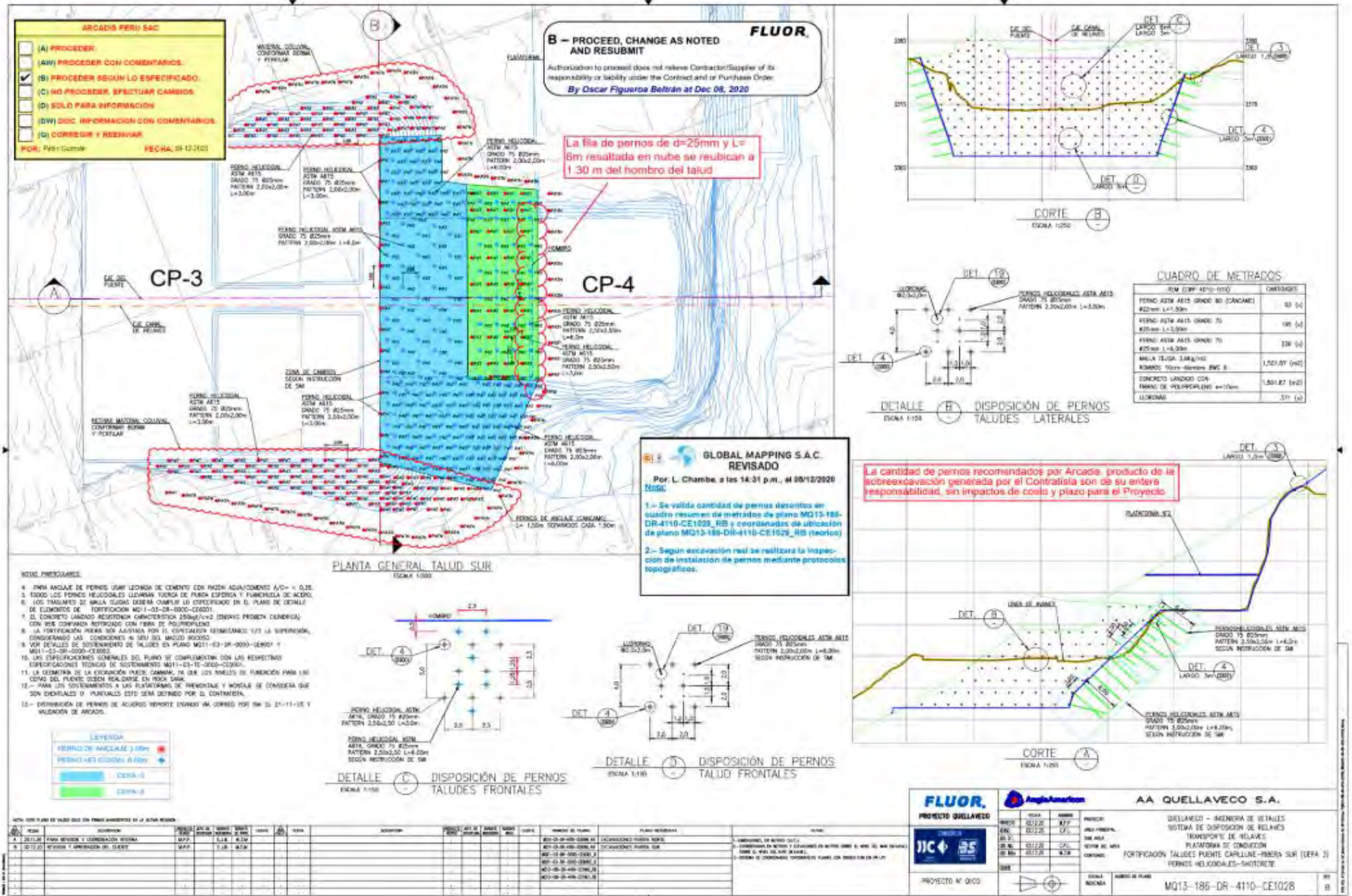
PROYECTO W QGO

QUELLAVECO

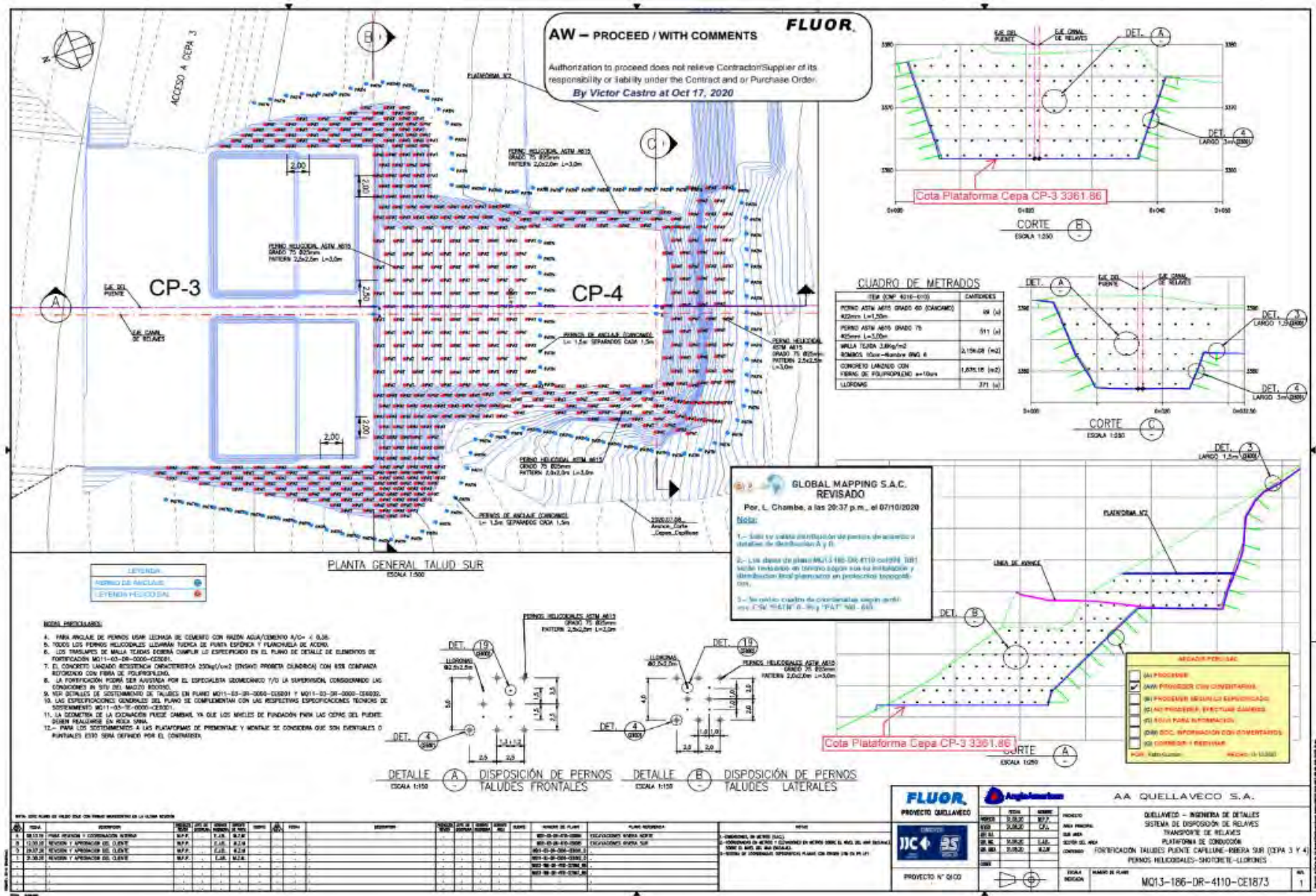
WQ13-186-FSK-4110-CE0017

2

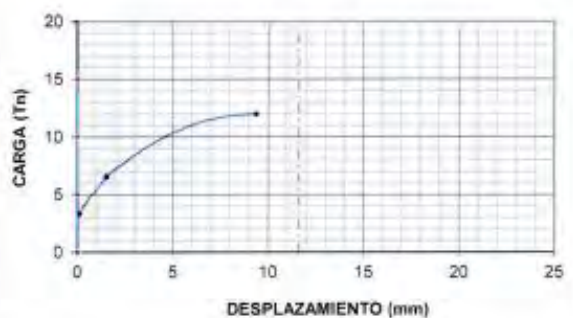
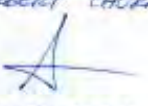
Planta general talud sur



Planta general talud sur



Anexo 9: Informes

		PULL TEST (ASTM D-4435)			
Proyecto: Tailings Disposal System			N° Formato: K-CC4-153A1-QA-REG-040		
N° de Contrato: K-CC4-153A MOD 001			Ubicación: Minera AngloAmerican		
Descripción del Tag: Sosténimiento de Taludes			No de Tag: 151215		
Sistema Transferido: Puente Capillone			Sub Sistema: Talud - Cepa 3		
N° de Plano:			Registro N°:		
Estructura: <u>TALUD CEPA 3</u>			Fecha: <u>15.08.2025</u>		
Tramo: <u>PUENTE CAPILLONE</u>					
DATOS GENERALES					
N° de perno:		P.1		Esquema	
Fecha de instalación:		<u>13.08.2025</u>			
Fecha de la prueba:		<u>15.08.2025</u>			
Longitud de taladro (m)		<u>3.10</u>			
Longitud de perno (m) / rosca (m)		<u>3.00</u>			
Diámetro de Performance (mm)		<u>45</u>			
Diámetro del perno (mm)		<u>25</u>			
Sistema de Anclaje Resina		<u>—</u>			
Sistema de anclaje Lechada		<u>01-02</u>			
Tipo de pernos según planos / especificaciones		<u>HEXAGONAL</u>			
LECTURAS			GRÁFICO		
N° lect.	Carga sometida (Tn)	Desplazamiento (mm)			
1	<u>3.3</u>	<u>0.2</u>			
2	<u>6.5</u>	<u>1.5</u>			
3	<u>12.0</u>	<u>9.4</u>			
4	<u>—</u>	<u>—</u>			
RELAJACIÓN DE CARGA					
N° lect.	Carga inicial (Tn)	Relajación de Carga			
		(Tn)	%		
1	<u>3.3</u>	<u>3.3</u>			
2	<u>6.5</u>	<u>6.5</u>			
3	<u>12.0</u>	<u>12.0</u>			
4	<u>—</u>	<u>—</u>			
Hora Inicio:		<u>15:00</u>		OBSERVACIONES Carga requerida: $(2/3 f_y) = 9.8 \text{ TN}$ $f_y = 60\%$ Tensión de ruptura de los pernos Relajación última obtenida: CUMPLE: ☒ NO CUMPLE: ☐	
Inicio de carga 1:		<u>15:03</u>			
Inicio de carga 2:		<u>15:06</u>			
Inicio de carga 3:		<u>15:11</u>			
Hora Final:		<u>15:13</u>			
OBSERVACIONES: <u>E: 323997.661</u> <u>N: 8101881.284</u> <u>C: 3340.702</u>					
QC JJC-BS		SMI Construccion		SMI QA	
Nombre: <u>ROBERT CHURATA H.</u>		Nombre: <u>LEONARDO MARGARETO C.</u>		Nombre: <u>J. OVALLE A.</u>	
Firma: 		Firma: 		Firma: 	
Fecha: <u>15.08.2025</u>		Fecha: <u>15.08.2025</u>		Fecha: <u>18.08.25</u>	

		PULL TEST (ASTM D-4435)			
Proyecto: Tailings Disposal System				N° Formato: K-CC4-153A1-QA-REG-040	
N° de Contrato: K-CC4-153A MOD 001				Ubicación: Minera AngloAmerican	
Descripción del Tag: Sosténimiento de Taludes				No de Tag: 151215	
Sistema Transferido: Puente Capillone				Sub Sistema: Talud - Cepa 3	
N° de Plano:				Registro N°:	
Estructura: <u>TALUD CEPAS 3</u>				Fecha: <u>17-08-2025</u>	
Tramo: <u>FUENTE CAPILLONE</u>					

DATOS GENERALES		
N° de perno	<u>P-2</u>	Esquema
Fecha de instalación:	<u>13-08-2025</u>	
Fecha de la prueba:	<u>17-08-2025</u>	
Longitud de taladro (m)	<u>3.10</u>	
Longitud de perno (m) / rosca (m)	<u>3.00</u>	
Diámetro de Perforación (mm)	<u>45</u>	
Diámetro del perno (mm)	<u>25</u>	
Sistema de Anclaje Resina	<u>-</u>	
Sistema de anclaje Lechada	<u>DL-02</u>	
Tipo de pernos según planos / especificaciones	<u>HELICOIDAL</u>	

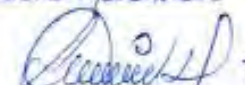
LECTURAS		
N° lect.	Carga sometida	Desplazamiento
	(Tn)	(mm)
1	<u>3.3</u>	<u>0.2</u>
2	<u>6.5</u>	<u>1.5</u>
3	<u>10.0</u>	<u>6.4</u>
4	<u>-</u>	<u>-</u>

RELAJACIÓN DE CARGA			
N° lect.	Carga inicial	Relajación de Carga	
	(Tn)	(Tn)	%
1	<u>3.3</u>	<u>3.3</u>	
2	<u>6.5</u>	<u>6.5</u>	
3	<u>10.0</u>	<u>10.0</u>	
4	<u>-</u>	<u>-</u>	



Hora Inicio: <u>08:20</u> Inicio de carga 1: <u>08:23</u> Inicio de carga 2: <u>08:25</u> Inicio de carga 3: <u>08:31</u> Hora Final: <u>08:33</u>	OBSERVACIONES Carga requerida: $(2/3 f_y) = 9.8 \text{ TN}$ $f_y = 60\%$ Tensión de ruptura de los pernos Relajación última obtenida: CUMPLE: ☒ NO CUMPLE: ☐
--	--

OBSERVACIONES: <u>E: 323996.893</u> <u>N: 8101879.996</u> <u>C: 9370.463</u>
--

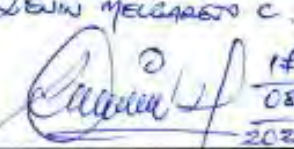
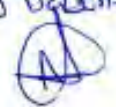
QC JJC-BS Nombre: <u>ROBERTO CHURATA H.</u> Firma:  Fecha: <u>18-08-2025</u>	SMI Construccion Nombre: <u>LEON MELBARETO C.</u> Firma:  Fecha: <u>18-08-2025</u>	SMI QA Nombre: <u>J. D. GARCIA A.</u> Firma:  Fecha: <u>18-08-25</u>
---	---	---

		PULL TEST (ASTM D-4435)			
Proyecto: Tailings Disposal System				N° Formato: K-CC4-153A1-QA-REG-040	
N° de Contrato: K-CC4-153A MOD 001				Ubicación: Minera AngloAmerican	
Descripción del Tag: Sosténimiento de Taludes				No de Tag: 151215	
Sistema Transferido: Puente Capillune				Sub Sistema: Talud - Cepa 3	
N° de Plano:				Registro N°:	
Estructura: TALUD CEPAS 3				Fecha: 17.08.2025	
Tramo: PUENTE CAPILLUNE					

DATOS GENERALES				
N° de perno:	P.3		Esquema	
Fecha de instalación:	17.08.2025			
Fecha de la prueba:	17.08.2025			
Longitud de taladro (m)	3.10			
Longitud de perno (m) / rosca (m)	2.00			
Diámetro de Perforación (mm)	45			
Diámetro del perno (mm)	25			
Sistema de Anclaje Resina	-			
Sistema de anclaje Lechada	DL-02			
Tipo de pernos según planos / especificaciones	HELICOIDAL			
LECTURAS				
N° lect.	Carga sometida (Tn)	Desplazamiento (mm)		
1	3.3	0.4		
2	6.5	1.7		
3	10.5	7.0		
4	-	-		
RELAJACIÓN DE CARGA				
N° lect.	Carga inicial (Tn)	Relajación de Carga (Tn) %		
1	3.3	3.3		
2	6.5	6.5		
3	10.5	10.5		
4	-	-		
Hora Inicio:		09:15		OBSERVACIONES Carga requerida: $(2/3 f_y) = 9.5 \text{ TN}$ $f_y = 60\%$ Tensión de ruptura de los pernos Relajación última obtenida: CUMPLE: ☒ NO CUMPLE: ☐
Inicio de carga 1:		09:18		
Inicio de carga 2:		09:21		
Inicio de carga 3:		09:26		
Hora Final:		09:28		



OBSERVACIONES:	
E: 323996.181	
N: 8101878.637	
C: 3370.940	

QC JJC-BS	SMI Construccion	SMI QA
Nombre: ROBERT CHURATA A.	Nombre: LEON MELGAREJO C.	Nombre: J. DOLIVERES A.
Firma: 	Firma: 	Firma: 
Fecha: 18.08.2025	Fecha: 18.08.2025	Fecha: 18.08.25



PULL TEST (ASTM D-4435)



Proyecto: Tailings Disposal System	N° Formato: K-CC4-153A1-QA-REG-040
N° de Contrato: K-CC4-153A MOD 001	Ubicación: Minera AngloAmerican
Descripción del Tag: Sosténimiento de Taludes	No de Tag: 151215
Sistema Transferido: Puente Capillone	Sub Sistema: Talud - Cepa 3
N° de Plano:	Registro N°:
Estructura: TALUD CEPAS	Fecha: 17.08.2025
Tramo: PUENTE CAPILLONE	

DATOS GENERALES

N° de perno	R 4	Esquema
Fecha de instalación:	17.08.2025	
Fecha de la prueba:	17.08.2025	
Longitud de taladro (m)	3.10	
Longitud de perno (m) / rosca (m)	3.00	
Diámetro de Perforación (mm)	45	
Diámetro del perno (mm)	25	
Sistema de Anclaje Resina	-	
Sistema de anclaje Lechada	DL-02	Esquema
Tipo de pernos según planos / especificaciones	HELICOIDAL	

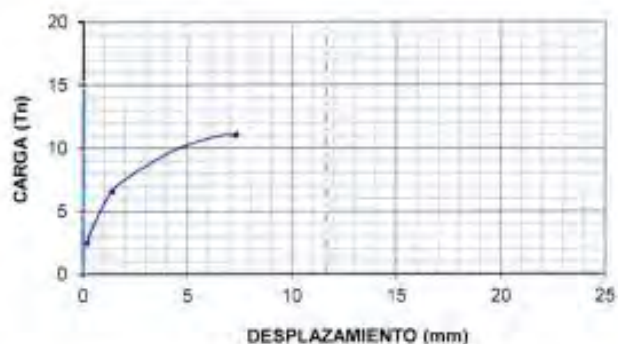
LECTURAS

N° lect.	Carga sometida	Desplazamiento
	(Tn)	(mm)
1	3.3	0.3
2	6.5	1.5
3	11.0	7.2
4	-	-

RELAJACIÓN DE CARGA

N° lect.	Carga Inicial	Relajación de Carga	
	(Tn)	(Tn)	%
1	3.3	3.3	
2	6.5	6.5	
3	11.0	11.0	
4	-	-	

GRÁFICO



Hora Inicio:	10:30
Inicio de carga 1:	10:33
Inicio de carga 2:	10:36
Inicio de carga 3:	10:41
Hora Final:	10:43

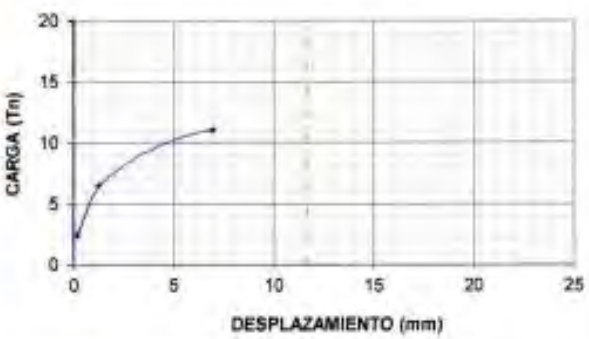
OBSERVACIONES
Carga requerida: $(2/3 f_y) = 9.8 \text{ TN}$
 $f_y = 60\%$ Tensión de ruptura de los pernos
Relajación última obtenida:
CUMPLE: ☒ NO CUMPLE: ☐

OBSERVACIONES:

E: 323995.431
W: 8101877.377
C: 3371.040

QC JJC-BS	SMI Construccion	SMI QA
Nombre: ROBERT CHURATA H. Firma: Fecha: 17.08.2025	Nombre: LENIN MELGAREJO E. Firma: Fecha: 17.08.2025	Nombre: J. DIONISIO A. Firma: Fecha: 18.08.25

		PULL TEST (ASTM D-4435)			
Proyecto: Tailings Disposal System				N° Formato: K-CC4-153A1-QA-REG-040	
N° de Contrato: K-CC4-153A MOD 001				Ubicación: Minera AngloAmerican	
Descripción del Tag: Sosténimiento de Taludes				No de Tag: 151215	
Sistema Transferido: Puente Capillune				Sub Sistema: Talud - Cepa 3	
N° de Plano:				Registro N°:	
Estructura: TALUD - CEP 3				Fecha: 17.08.2025	
Tramo: PUENTE CAPILLUNE					

DATOS GENERALES					
N° de perno		R-5		Esquema	
Fecha de instalación:		18.08.2025			
Fecha de la prueba:		17.08.2025			
Longitud de taladro (m)		3.10			
Longitud de perno (m) / rosca (m)		3.00			
Diámetro de Perforación (mm)		45			
Diámetro del perno (mm)		25			
Sistema de Anclaje Resina		-			
Sistema de anclaje Luchada		01-02			
Tipo de pernos según planos / especificaciones		HELICOIDAL			
LECTURAS					
N° lect.	Carga sometida (Tn)	Desplazamiento (mm)			
1	3.3	0.2			
2	6.5	1.3			
3	11.0	6.9			
4	-	-			
RELAJACIÓN DE CARGA					
N° lect.	Carga Inicial (Tn)	Relajación de Carga (Tn)		%	
1	3.3	3.3			
2	6.5	6.5			
3	11.0	11.0			
4	-	-			
GRÁFICO  OBSERVACIONES Carga requerida: $(2/3)f_y = 9.8 \text{ TN}$ $f_y = 60 \text{ N/mm}^2$ Tensión de ruptura de los pernos Relajación última obtenida: CUMPLE: ☒ NO CUMPLE: ☐					
Hora Inicio: 11:28 Inicio de carga 1: 11:31 Inicio de carga 2: 11:34 Inicio de carga 3: 11:39 Hora Final: 11:41					

OBSERVACIONES:	
E: 323994.688	
N: 9101876.090	
C: 3371.426	

QC JJC-BS	SMI Construcción	SMI QA
Nombre: ROBERT CHORATA R.	Nombre: LEWIN MELGAREDO C.	Nombre: J. DIONIS ALVAREZ
Firma: 	Firma: 	Firma: 
Fecha: 17.08.2025	Fecha: 18.08.2025	Fecha: 18.08.25

		PULL TEST (ASTM D-4435)			
Proyecto: Tailings Disposal System				N° Formato: K-CC4-153A1-QA-REG-040	
N° de Contrato: K-CC4-153A MOD 001				Ubicación: Minera AngloAmerican	
Descripción del Tag: Sosténimiento de Taludes				No de Tag: 151215	
Sistema Transferido: Puente Capillone				Sub Sistema: Talud - Cepa 3	
N° de Plano:				Registro N°:	
Estructura: TALUD CEPAS				Fecha: 17-08-2025	
Tramo: PUENTE CAPILLONE					

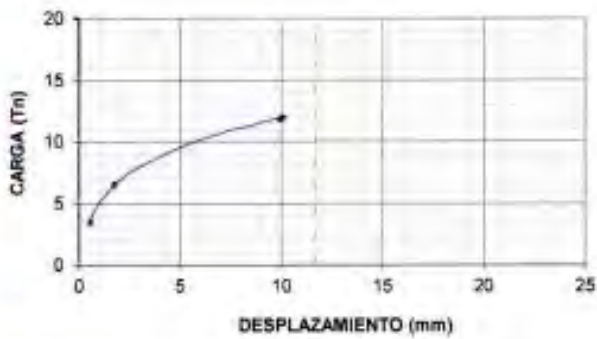
DATOS GENERALES				
N° de perno	P. 6		Esquema	
Fecha de instalación:	13-08-2025			
Fecha de la prueba:	17-08-2025			
Longitud de taladro (m)	3.10			
Longitud de perno (m) / rosca (m)	3.00			
Diámetro de Perforación (mm)	45			
Diámetro del perno (mm)	25			
Sistema de Anclaje Resina	-			
Sistema de anclaje lechada	BL-02			
Tipo de pernos según planos / especificaciones			HELICOIDAL	
LECTURAS			GRÁFICO	
N° lect.	Carga sometida (Tn)	Desplazamiento (mm)		
1	3.3	0.9		
2	6.5	1.7		
3	11.5	8.1		
4	-	-		
RELAJACIÓN DE CARGA				
N° lect.	Carga Inicial (Tn)	Relajación de Carga		
		(Tn)	%	
1	3.3	3.3		
2	6.5	6.5		
3	11.5	11.5		
4	-	-		
Hora Inicio: 12:36			OBSERVACIONES	
Inicio de carga 1: 12:39			Carga requerida: $(2/3 f_y) = 9.8 \text{ Tn}$	
Inicio de carga 2: 12:42			fy = 60 % Tensión de ruptura de los pernos.	
Inicio de carga 3: 12:47			Relajación última obtenida:	
Hora Final: 12:49			CUMPLE: ☒ NO CUMPLE: ☐	



OBSERVACIONES:	
E: 382993.922	
N: 8101879.766	
C: 3332.834	

QC JJC-BS	SMI Construccion	SMI QA
Nombre: ROBERT CHURATA N.	Nombre: LEONEL MELGAREJO C.	Nombre: J. D. ...
Firma: 	Firma: 	Firma: 
Fecha: 12-08-2025	Fecha: 18-08-2025	Fecha: 18-08-25

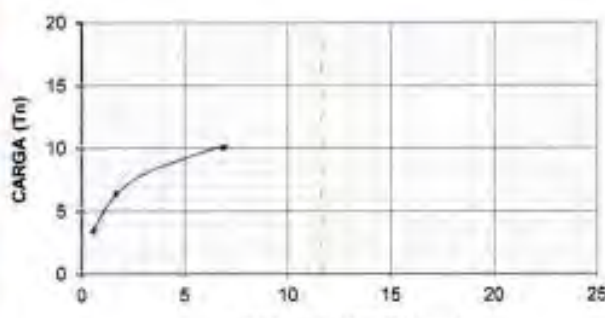
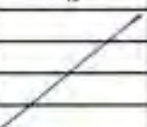
		PULL TEST (ASTM D-4435)			
Proyecto: Tailings Disposal System				N° Formato: K-CC4-153A1-QA-REG-040	
N° de Contrato: K-CC4-153A MOD 001				Ubicación: Minera AngloAmerican	
Descripción del Tag: Sosténimiento de Taludes				No de Tag: 151215	
Sistema Transferido: Puente Capillone				Sub Sistema: Talud - Cepa 3	
N° de Plano:				Registro N°:	
Estructura: TALUD CEPAS 3				Fecha: 15.08.2025	
Tramo: PUENTE CAPILLONE					

DATOS GENERALES				
N° de perno	P-7			Esquema
Fecha de instalación:	13.08.2025			
Fecha de la prueba:	15.08.2025			
Longitud de taladro (m)	3.10			
Longitud de perno (m) / rosca (m)	3.00			
Diámetro de Perforación (mm)	45			
Diámetro del perno (mm)	25			
Sistema de Anclaje Resina	-			
Sistema de anclaje Lechada	DL-04			
Tipo de pernos según planos / especificaciones	HEXAGONAL			
LECTURAS			GRÁFICO	
N° lect.	Carga sometida (Tn)	Desplazamiento (mm)		
1	3.3	0.6		
2	6.5	1.8		
3	12.0	10.0		
4	-	-		
RELAJACIÓN DE CARGA				
N° lect.	Carga Inicial (Tn)	Relajación de Carga		
		(Tn)	%	
1	3.3	3.3		
2	6.5	6.5		
3	12.0	12.0		
4	-	-		
Hora Inicio:		15:35		OBSERVACIONES Carga requerida: $(2/3 f_y) = 9.8 \text{ TN}$ $f_y = 80\%$ Tensión de ruptura de los pernos Relajación última obtenida: CUMPLE: ☒ NO CUMPLE: ☐
Inicio de carga 1:		15:38		
Inicio de carga 2:		15:41		
Inicio de carga 3:		15:46		
Hora Final:		15:48		

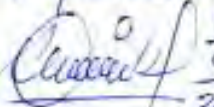
OBSERVACIONES:	
E: 323995.365	
N: 8101878.123	
C: 3371.412	

QC JJC-BS	SMI Construcción	SMI QA
Nombre: ROBERT CHURATA H.	Nombre: LEON MELGAREJO C.	Nombre: J. D. GONZALEZ A.
Firma: 	Firma: 	Firma: 
Fecha: 15.08.2025	Fecha: 15.08.2025	Fecha: 18.08.25

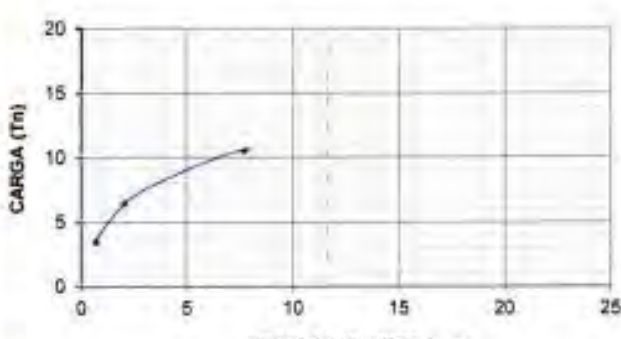
		PULL TEST (ASTM D-4435)			
Proyecto: Tailings Disposal System				N° Formato: K-CC4-153A1-QA-REG-040	
N° de Contrato: K-CC4-153A MDO 001				Ubicación: Minera AngloAmerican	
Descripción del Tag: Sosténimiento de Taludes				No de Tag: 151215	
Sistema Transferido: Puente Capillone				Sub Sistema: Talud - Cepa 3	
N° de Plano:				Registro N°:	
Estructura: <u>TALUD CEPAS 3</u>				Fecha: <u>17.08.2025</u>	
Tramo: <u>PUENTE CAPILLONE</u>					

DATOS GENERALES					
N° de perno	R. 8		Esquema		
Fecha de instalación:	10.08.2025				
Fecha de la prueba:	17.08.2025				
Longitud de taladro (m)	3.10				
Longitud de perno (m) / rosca (m)	3.00				
Diámetro de Perforación (mm)	45				
Diámetro del perno (mm)	25				
Sistema de Andaje Resina	-				
Sistema de andaje Lechada	02-04				
Tipo de pernos según planos / especificaciones		HELICOIDAL			
LECTURAS			GRÁFICO		
N° lect.	Carga sometida (Tn)	Desplazamiento (mm)			
1	3.3	0.7			
2	6.5	1.9			
3	10.0	7.0			
4	-	-			
RELAJACIÓN DE CARGA					
N° lect.	Carga inicial (Tn)	Relajación de Carga			
		(Tn)	%		
1	3.3	3.3			
2	6.5	6.5			
3	10.0	10.0			
4	-	-			
Hora Inicio:		08:49		OBSERVACIONES	
Inicio de carga 1:		08:52		Carga requerida: $(2/3 f_y) = 9.8 \text{ Tn}$	
Inicio de carga 2:		08:53		$f_y \approx 60\%$ Tensión de ruptura de los pernos	
Inicio de carga 3:		08:59		Relajación última obtenida:	
Hora Final:		09:02		CUMPLE: ☒ NO CUMPLE: ☐	

OBSERVACIONES:	
E: 323995.478	
N: 8121878.461	
C: 33320.814	

QC JJC-BS	SMI Construcción	SMI QA
Nombre: <u>ROBERTO CHAVEZ</u>	Nombre: <u>JENNIFER MELGAREJO C.</u>	Nombre: <u>J. DUCRET</u>
Firma: 	Firma: 	Firma: 
Fecha: <u>17.08.2025</u>	Fecha: <u>18.08.2025</u>	Fecha: <u>18.08.25</u>

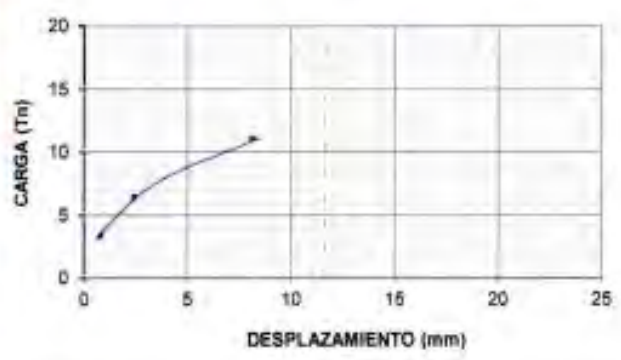
		PULL TEST (ASTM D-4435)			
Proyecto: Tailings Disposal System				N° Formato: K-CC4-153A1-QA-REG-040	
N° de Contrato: K-CC4-153A MDO 001				Ubicación: Minera AngloAmerican	
Descripción del Tag: Sostenimiento de Taludes				No de Tag: 151215	
Sistema Transferido: Puente Capillone				Sub Sistema: Talud - Cepa 3	
N° de Plano:				Registro N°:	
Estructura: <u>TALUD CEPAS 3</u>				Fecha: <u>17-08-2025</u>	
Tramo: <u>PUENTE CAPILLONE</u>					

DATOS GENERALES				
N° de perno	<u>P. 9</u>			Esquema
Fecha de instalación:	<u>13.08.2025</u>			
Fecha de la prueba:	<u>17.08.2025</u>			
Longitud de taladro (m)	<u>3.10</u>			
Longitud de perno (m) / rosca (m)	<u>3.00</u>			
Diámetro de Perforación (mm)	<u>45</u>			
Diámetro del perno (mm)	<u>25</u>			
Sistema de Anclaje Resina	<u>-</u>			
Sistema de anclaje Lechada	<u>PL-04</u>			
Tipo de pernos según planos / especificaciones				<u>HELICOIDAL</u>
LECTURAS				
N° lect.	Carga sometida (Tn)	Desplazamiento (mm)		
1	<u>3.3</u>	<u>0.8</u>		
2	<u>6.5</u>	<u>2.0</u>		
3	<u>10.5</u>	<u>7.6</u>		
4	<u>-</u>	<u>-</u>		
RELAJACIÓN DE CARGA				
N° lect.	Carga Inicial (Tn)	Relajación de Carga (Tn) %		
1	<u>3.3</u>	<u>3.3</u>		
2	<u>6.5</u>	<u>6.5</u>		
3	<u>10.5</u>	<u>10.5</u>		
4	<u>-</u>	<u>-</u>		
Hora Inicio: <u>09:48</u> Inicio de carga 1: <u>09:51</u> Inicio de carga 2: <u>09:54</u> Inicio de carga 3: <u>09:59</u> Hora Final: <u>10:02</u> OBSERVACIONES Carga requerida: $(2/3 f_y) = 9.8 \text{ TN}$ $f_y = 60\%$ Tensión de ruptura de los pernos Relajación última obtenida: CUMPLE: ☒ NO CUMPLE: ☐				
GRÁFICO 				

OBSERVACIONES:	
<u>E: 323994 933</u>	
<u>N: 8101830 514</u>	
<u>C: 3331 036</u>	

QC JJC-BS	SMI Construccion	SMI QA
Nombre: <u>ROBERTO GONZALEZ</u>	Nombre: <u>LEON MEGARREO C.</u>	Nombre: <u>JOSUE ALVAREZ</u>
Firma: 	Firma: 	Firma: 
Fecha: <u>17.08.2025</u>	Fecha: <u>18.08.2025</u>	Fecha: <u>18.08.25</u>

		PULL TEST (ASTM D-4435)			
Proyecto: Tailings Disposal System				N° Formato: K-CC4-153A1-QA-REG-040	
N° de Contrato: K-CC4-153A MOD 001				Ubicación: Minera AngloAmerican	
Descripción del Tag: Sosténimiento de Taludes				No de Tag: 151215	
Sistema Transferido: Puente Capillone				Sub Sistema: Talud - Cepa 3	
N° de Plano:				Registro N°:	
Estructura: <u>TALUD CEPAS 3</u>				Fecha: <u>17.08.2025</u>	
Tramo: <u>PUENTE CAPILLONE</u>					

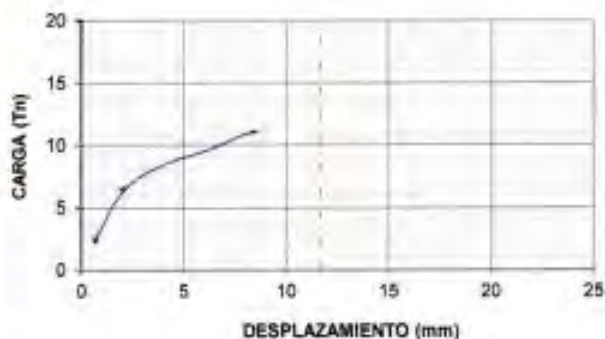
DATOS GENERALES				
N° de perno	<u>P. 10</u>		Esquema	
Fecha de instalación:	<u>13.08.2025</u>			
Fecha de la prueba:	<u>17.08.2025</u>			
Longitud de taladro (m)	<u>3.10</u>			
Longitud de perno (m) / rosca (m)	<u>3.00</u>			
Diámetro de Perforación (mm)	<u>45</u>			
Diámetro del perno (mm)	<u>25</u>			
Sistema de Anclaje Resina	<u>—</u>			
Sistema de anclaje Lechada	<u>DL-04</u>			
Tipo de pernos según planos / especificaciones			<u>HELICOIDAL</u>	
LECTURAS			GRÁFICO 	
N° lect.	Carga sometida (Tn)	Desplazamiento (mm)		
1	<u>3.3</u>	<u>0.8</u>		
2	<u>6.5</u>	<u>2.2</u>		
3	<u>11.0</u>	<u>8.1</u>		
4	<u>—</u>	<u>—</u>		
RELAJACIÓN DE CARGA				
N° lect.	Carga Inicial (Tn)	Relajación de Carga (Tn) %		
1	<u>3.3</u>	<u>3.3</u>	/	
2	<u>3.3</u>	<u>6.5</u>		
3	<u>11.0</u>	<u>11.0</u>		
4	<u>—</u>	<u>—</u>		
Hora Inicio: <u>10:59</u>		OBSERVACIONES		
Inicio de carga 1: <u>11:02</u>		Carga requerida: $(2/3 f_y) = 9.8 \text{ TN}$		
Inicio de carga 2: <u>11:05</u>		$f_y = 60\%$ Tensión de ruptura de los pernos		
Inicio de carga 3: <u>11:10</u>		Relajación última obtenida:		
Hora Final: <u>11:12</u>		CUMPLE: ☒ NO CUMPLE: ☐		

OBSERVACIONES:	
<u>E: 323993.601</u>	
<u>N: 8101879.207</u>	
<u>C: 3271.365</u>	

QC JJC-BS	SMI Construccion	SMI QA
Nombre: <u>ROBERT CHURATA R.</u>	Nombre: <u>LEWIS MELBADEZ C.</u>	Nombre: <u>J. DOMINGOS A.</u>
Firma: 	Firma: 	Firma: 
Fecha: <u>17.08.2025</u>	Fecha: <u>18.08.2025</u>	Fecha: <u>18.08.25</u>

		PULL TEST (ASTM D-4435)			
Proyecto: Tailings Disposal System				N° Formato: K-CC4-153A1-QA-REG-040	
N° de Contrato: K-CC4-153A MOD 001				Ubicación: Minera AngloAmerican	
Descripción del Tag: Sosténimiento de Taludes				No de Tag: 151215	
Sistema Transferido: Puente Capillone				Sub Sistema: Talud - Cepa 3	
N° de Plano:				Registro N°:	
Estructura: TALUD CEPAS 3				Fecha: 17.08.2025	
Tramo: PUENTE CAPILLONE					

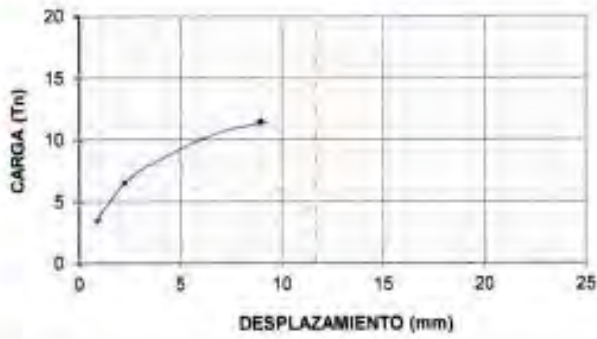
DATOS GENERALES				
N° de perno	P. 11		Esquema	
Fecha de instalación:	13.08.2025			
Fecha de la prueba:	17.08.2025			
Longitud de taladro (m)	3.10			
Longitud de perno (m) / rosca (m)	3.00			
Diámetro de Perforación (mm)	45			
Diámetro del perno (mm)	25			
Sistema de Anclaje Resina	-			
Sistema de anclaje Lechada	02-04			
Tipo de pernos según planos / especificaciones	HELICOIDAL			
LECTURAS			GRÁFICO	
N° lect.	Carga sometida (Tn)	Desplazamiento (mm)		
1	3.3	0.8		
2	6.5	2.0		
3	11.0	3.3		
4	-	-		
RELAJACIÓN DE CARGA				
N° lect.	Carga Inicial (Tn)	Relajación de Carga (Tn) %		
1	3.3	3.3		
2	6.5	6.5		
3	11.0	11.0		
4	-	-		
Hora Inicio:		11:55		OBSERVACIONES Carga requerida: $(2/3 f_u) = 9.8 \text{ TN}$ $f_u = 60 \%$ Tensión de ruptura de los pernos Relajación última obtenida: CUMPLE: ☒ NO CUMPLE: ☐
Inicio de carga 1:		11:58		
Inicio de carga 2:		12:01		
Inicio de carga 3:		12:06		
Hora Final:		12:08		



OBSERVACIONES:	
E: 323496.024	
N: 8101877.349	
C: 3872.124	

QC JJC-BS	SMI Construcción	SMI QA
Nombre: ROBERTO CHAVEZ M.	Nombre: LEONEL MELGAREJO C.	Nombre: J. DIMITROV ALVAREZ
Firma: 	Firma: 	Firma: 
Fecha: 17.08.2025	Fecha: 17.08.2025	Fecha: 18.08.25

		PULL TEST (ASTM D-4435)			
Proyecto: Tailings Disposal System				N° Formato: K-CC4-153A1-QA-REG-040	
N° de Contrato: K-CC4-153A MOD 001				Ubicación: Minera AngloAmerican	
Descripción del Tag: Sostentamiento de Taludes				No de Tag: 151215	
Sistema Transferido: Puente Capillone				Sub Sistema: Talud - Cepa 3	
N° de Plano:				Registro N°:	
Estructura: <u>TALUD CEPAS 3</u>				Fecha: <u>17.08.2025</u>	
Tramo: <u>PUNTE CAPILLONE</u>					

DATOS GENERALES			
N° de perno	<u>P-12</u>		Esquema
Fecha de instalación:	<u>13.08.2025</u>		
Fecha de la prueba:	<u>17.08.2025</u>		
Longitud de taladro (m)	<u>3.10</u>		
Longitud de perno (m) / rosca (m)	<u>3.00</u>		
Diámetro de Perforación (mm)	<u>45</u>		
Diámetro del perno (mm)	<u>25</u>		
Sistema de Anclaje Resina	<u>-</u>		
Sistema de anclaje Lechada	<u>DL-04</u>		GRÁFICO 
Tipo de pernos según planos / especificaciones	<u>HELICOIDAL</u>		
LECTURAS			
N° lect.	Carga sometida (Tn)	Desplazamiento (mm)	
1	<u>3.3</u>	<u>0.9</u>	
2	<u>6.5</u>	<u>2.1</u>	
3	<u>11.5</u>	<u>8.7</u>	
4	<u>-</u>	<u>-</u>	
RELACION DE CARGA			
N° lect.	Carga Inicial (Tn)	Relajación de Carga (Tn)	%
1	<u>3.3</u>	<u>3.3</u>	
2	<u>6.5</u>	<u>6.5</u>	
3	<u>11.5</u>	<u>11.5</u>	
4	<u>-</u>	<u>-</u>	
Hora Inicio:	<u>13:04</u>		OBSERVACIONES Carga requerida: $(2/3 f_y) = 9.8 \text{ TN}$ $f_y = 60\%$ Tensión de ruptura de los pernos Relajación última obtenida: CUMPLE: ☒ NO CUMPLE: ☐
Inicio de carga 1:	<u>13:07</u>		
Inicio de carga 2:	<u>13:10</u>		
Inicio de carga 3:	<u>13:15</u>		
Hora Final:	<u>13:17</u>		

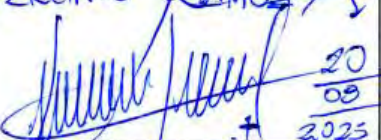
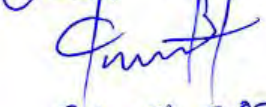
OBSERVACIONES:	
<u>E: 202995.126</u>	
<u>N: 8101875.159</u>	
<u>D: 3892.035</u>	

QC JJC-BS	SMI Construcción	SMI QA
Nombre: <u>ROBERT GUERRA M.</u>	Nombre: <u>LEON MARGARETA C.</u>	Nombre: <u>J. DÍAZ</u>
Firma: 	Firma: 	Firma: 
Fecha: <u>17.08.2025</u>	Fecha: <u>18.08.2025</u>	Fecha: <u>18.08.25</u>

	RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CUBOS DE MORTERO DE CEMENTO HIDRAULICO (ASTM C 109/C)	K-CC4-153A1-QA-REG-036_R0	
	"TAILINGS DISPOSAL SYSTEM"	Fecha : 20/08/2025	

ITEM	Resistencia a la Compresión			Control de Resistencias Lechadas = (03 Dias) (07 Dias)												DISEÑO DE MEZCLA: K-CC4-153A1-QA-INF-055						
N°	Estructura	Elemento (Descripción)	Ubicación (Prog.)	Fecha		Edad (Dias)	Carga Lbf	Ancho mm	Largo mm	Ancho cm	Largo cm	Area cm²	Area pulg²	Resistencia (kg/cm2)	Resistencia Mpa	Resistencia Obtenida (%)	f'c kg/cm²	Promedio Valores Kg/cm2	Promedio %	Resistencia Requerida Minima (%)	Observaciones	
				Vaciado	Rotura																	
01	PUENTE CAPILLARE	Inyección de 96 pares helicoidales P.1 P.2 P.3 P.4 P.5 P.6	CEPA 3	13-08-25	16-08-25	3	18062	50.8	50.9	5.08	5.09	25.9	4.0	316.9	31.1	105.6	300	316.3	105.4	—	DL-02	
02				13-08-25	16-08-25	3	18312	50.9	50.8	5.09	5.08	25.9	4.0	321.2	31.5	107.1	300					
03				13-08-25	16-08-25	3	17681	50.8	50.8	5.08	5.08	25.8	4.0	310.8	30.5	103.6	300					
04				13-08-25	20-08-25	7	24273	50.8	50.7	5.08	5.07	25.8	4.0	427.5	41.9	142.5	300	427.8	142.6	—		
05				13-08-25	20-08-25	7	24526	50.8	50.8	5.08	5.08	25.8	4.0	431.1	42.3	143.7	300					
06				13-08-25	20-08-25	7	24209	50.8	50.9	5.08	5.09	25.9	4.0	424.7	41.7	141.6	300					

OBSERVACIONES:

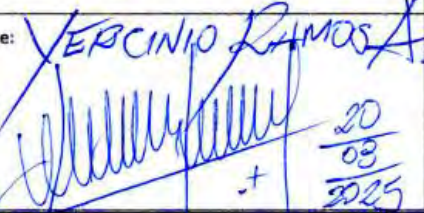
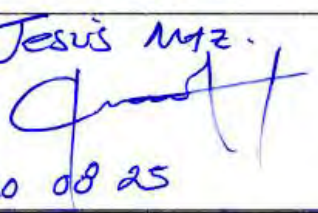
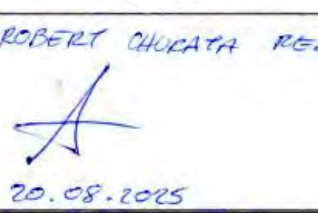
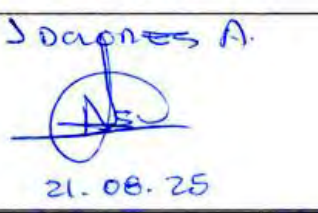
JJC - BS TECNICO DE LABORATORIO		JJC-BS JEFE DE LABORATORIO		JJC- BS QC		SUPERVISION QA	
Nombre: YERONIMO RAMOS A.	Nombre: Jesús M. P.	Nombre: ROBERT CHUATA REZA	Nombre: J. D. A.	Firma: 	Firma: 	Firma: 	Firma: 
Fecha: 20/08/2025	Fecha: 20 08 2025.	Fecha: 20.08.2025	Fecha: 21.08.25				

	RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CUBOS DE MORTERO DE CEMENTO HIDRAULICO (ASTM C 109/C)	K-CC4-153A1-QA-REG-036_R0	  Quellaveco
	"TAILINGS DISPOSAL SYSTEM"	Fecha : 20/08/2025	

ITEM : Resistencia a la Compresión	Control de Resistencias Lechadas = (03 Dias) (07 Dias)	DISEÑO DE MEZCLA: K-CC4-153A1-QA-INF-055
---	---	---

N°	Estructura	Elemento (Descripción)	Ubicación (Prog.)	Fecha		Edad (Días)	Carga Lbf	Ancho mm	Largo mm	Ancho cm	Largo cm	Area cm²	Area pulg²	Resistencia (kg/cm2)	Resistencia Mpa	Resistencia Obtenida (%)	f'c= kg/cm²	Promedio Valores Kg/cm2	Promedio %	Resistencia Requerida Mínima (%)	Observaciones
				Vaciado	Rotura																
01	PUENTE CAPILLUNE	Inyección de 06 pernos helicoidales P-7 P-8 P-9 P-10 P-11 P-12	CEPA 3	13-08-25	16-08-25	3	17000	50.6	50.5	5.06	5.05	25.6	4.0	301.8	29.6	100.6	300	300.8	100.3	—	DL-04
02				13-08-25	16-08-25	3	16729	50.8	50.7	5.08	5.07	25.8	4.0	294.6	28.9	98.2	300				
03				13-08-25	16-08-25	3	17198	50.5	50.5	5.05	5.05	25.5	4.0	305.9	30.0	102.0	300				
04				13-08-25	20-08-25	7	21819	50.5	50.6	5.05	5.06	25.6	4.0	387.3	38.0	129.1	300	395.6	131.9	—	
05				13-08-25	20-08-25	7	22597	50.4	50.5	5.04	5.05	25.5	3.9	404.5	39.7	134.8	300				
06				13-08-25	20-08-25	7	22245	50.6	50.5	5.06	5.05	25.6	4.0	394.9	38.7	131.6	300				

OBSERVACIONES:

JJC - BS TECNICO DE LABORATORIO	JJC-BS JEFE DE LABORATORIO	JJC- BS QC	SUPERVISION QA
Nombre: YERGINIO RAMOS A.	Nombre: Jesús Mtz.	Nombre: ROBERT CHURATA REZA	Nombre: J. D. A.
Firma: 	Firma: 	Firma: 	Firma: 
Fecha: 20/08/2025	Fecha: 20.08.25	Fecha: 20.08.2025	Fecha: 21.08.25

Evidencias









Matriz de consistencia

“APLICACIÓN DEL SISTEMA PULL TEST PARA ESTABILIZACIÓN DE TALUD, EN PUENTE CAPILLUNE, UNIDAD MINERA ANGLOAMÉRICAN - QUELLAVECO 2021-2022”

Problema	Objetivo/s	Hipótesis	Metodología
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Tipo: Aplicado Nivel: Descriptivo Diseño: Experimental Método: Científico Enfoque: Cuantitativo Población: Cepas del estribo norte y sur la Unidad Minera Angloamérican - Quellaveco 2021-2022 Muestra: Cepa 3 del estribo norte. Técnica: Ensayos de Pull Test
¿Cómo es el comportamiento de la estabilidad de talud del Puente de Paso de Relave Capillune mediante la aplicación del método Pull Test a los pernos de anclaje en la Unidad Minera Angloamérican – Quellaveco,- Moquegua?	Evaluar el comportamiento de la estabilidad de talud del Puente de Paso de Relave Capillune mediante la aplicación del método Pull Test a los pernos de anclaje instalados, con el fin de verificar su capacidad de carga en la Unidad Minera Angloamérican – Quellaveco,- Moquegua.	La aplicación del método Pull Test a los pernos de anclaje instalados en el Puente de Paso de Relave Capillune garantiza la capacidad de carga de los pernos y el comportamiento geomecánico en la unidad minera Angloamérican – Quellaveco – Moquegua.	
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis Especifica	
PE1: ¿Cuál es la influencia del comportamiento geomecánico en la aplicación del Método Pull Test para evaluar los pernos de anclaje en la estabilidad de Talud en el Puente de paso de relave Capillune?	OE1: Determinar la influencia del comportamiento geomecánico en la aplicación del Método Pull Test para evaluar los pernos de anclaje en la estabilidad de Talud en el Puente de paso de relave Capillune.	HE1: El comportamiento geomecánico influye positivamente en la aplicación del Método Pull Test para evaluar los pernos de anclaje en la estabilidad de Talud en el Puente de paso de relave Capillune.	
PE2: ¿Cuál es la influencia de la calidad de mortero en la aplicación del Método Pull Test para evaluar los pernos de anclaje instalados en la Estabilidad de Talud en el Puente de paso de relave Capillune?	OE2: Determinar la influencia de la calidad de mortero en la aplicación del Método Pull Test para evaluar los pernos de anclaje instalados en la Estabilidad de Talud en el Puente de paso de relave Capillune.	HE2: La calidad de mortero influye positivamente en la aplicación del Método Pull Test para evaluar los pernos de anclaje instalados en la Estabilidad de Talud en el Puente de paso de relave Capillune.	
PE3: ¿Cuál es la resistencia a la tracción de los pernos de anclaje instalados en los taludes mediante ensayos de Pull Test para evaluar la estabilidad del talud en el Puente de paso de relave Capillune?	OE3: Determinar la resistencia a la tracción de los pernos de anclaje instalados en los taludes mediante ensayos de Pull Test. Para evaluar la estabilidad del talud en el Puente de paso de relave Capillune.	HE3: La resistencia a la tracción de los pernos de anclaje instalados en los taludes mediante ensayos de Pull Test garantiza la estabilidad del talud en el Puente de paso de relave Capillune.	