



# **Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

**Universidad del Perú. Decana de América**

**Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica**

**Escuela Profesional de Ingeniería Geológica**

## **Soluciones para la estabilidad de taludes de la carretera Canta –Huayllay entre las progresivas del km 102 al km 110**

### **TESIS**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Geólogo

### **AUTOR**

Carlos Enrique SACKSCHEWSKI CHAPMAN

### **ASESOR**

Rosendo Olimpio ÁNGELES GIRON

Lima, Perú

2017



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

## Referencia bibliográfica

---

Sackschewski, C. (2017). *Soluciones para la estabilidad de taludes de la carretera Canta –Huayllay entre las progresivas del km 102 al km 110*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Escuela Profesional de Ingeniería Geológica]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

---



**UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS**

Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA  
Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO  
PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO**

En el Salón de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, el día viernes 06 del mes de enero del año 2017, siendo las 12:00 horas, en presencia de los señores docentes designados como miembros del Jurado Calificador:

Dr. TOMÁS EZEQUIEL GALLARDAY BOCANEGRA  
Ing. MANUEL ZEA AYALA  
Mg. CIRO SERGIO BEDIA GUILLEN

(Presidente de Jurado)  
(Miembro de Jurado)  
(Miembro de Jurado)

Reunidos para el acto académico público de colación de la Tesis del Sr. CARLOS ENRIQUE SACKSCHEWSKI CHAPMAN, Bachiller en Ingeniería Geológica quien sustentará la Tesis titulada: «**SOLUCIONES PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA CARRETERA CANTA-HUAYLLAY ENTRE LAS PROGRESIVAS DEL KM 102 AL KM 110**», para la obtención del Título Profesional de Ingeniero Geólogo.

Los miembros del Jurado, escuchada la colación respectiva, plantearon al graduando las observaciones pertinentes, que fueron absueltas a:

*A SATISFACCION DEL JURADO*

El Jurado procedió a la calificación, cuyo resultado fue:

*APROBADO POR UNANIMIDAD CON NOTA 17 (Diecisiete).*

Habiendo sido aprobada la Sustentación de Tesis por el Jurado examinador, el Presidente del Jurado, recomienda que la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, proponga se le otorgue el Título Profesional de Ingeniero Geólogo al Sr. CARLOS ENRIQUE SACKSCHEWSKI CHAPMAN.

Siendo las 12:40 horas se dio por concluido el acto académico, expidiéndose cinco (05) Actas Originales de la Sustentación de la Tesis.

Ciudad Universitaria, 06 de enero de 2017

*[Firma]*  
Dr. TOMÁS EZEQUIEL GALLARDAY BOCANEGRA  
PRESIDENTE DE JURADO

*[Firma]*  
Mg. CIRO SERGIO BEDIA GUILLEN  
MIEMBRO DE JURADO

*[Firma]*  
Ing. MANUEL ZEA AYALA  
MIEMBRO DE JURADO

*[Firma]*  
Ing. ROSENDO OLIMPIO ANGELES GIRON  
ASESOR

**SOLUCIONES PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA CARRETERA CANTA – HUAYLLAY  
ENTRE LAS PROGRESIVAS DEL KM 102 AL KM 110**

**ÍNDICE**

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN EJECUTIVO

1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA .....	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.2.1. Problema General .....	2
1.2.2. Problemas Específicos .....	2
1.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO .....	2
1.4. OBJETIVOS DEL ESTUDIO .....	3
1.4.1. Objetivo General .....	3
1.4.2. Objetivos Específicos.....	3
2. MARCO TEÓRICO .....	4
2.1. ANTECEDENTES .....	4
2.2. UBICACIÓN, ACCESIBILIDAD Y CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	5
2.2.1. Ubicación.....	5
2.2.2. Accesibilidad.....	5
2.2.3. Geografía.....	6
2.2.4. Clima.....	6
2.2.5. Vegetación.....	6
2.2.6. Hidrografía .....	7
2.3. GEOMORFOLOGÍA.....	7
2.4. GEOLOGÍA REGIONAL.....	8
2.4.1. Estratigrafía .....	8
2.4.2. Tectónica .....	12
2.5. HIDROGEOLOGÍA.....	13
2.6. GEODINÁMICA INTERNA .....	14
2.6.1. Riesgo Sísmico .....	14
2.6.1.1. Fuentes Sismogénicas.....	15
2.6.1.2. Recurrencia Sísmica .....	17
2.6.1.3. Aceleración Máxima Horizontal .....	18

2.7. BASES TEÓRICAS .....	19
2.7.1. Criterio de Mohr – Coulomb .....	19
2.7.2. Criterio de Hoek & Brown .....	21
2.7.3. Clasificación Geomecánica de Bieniawski (RMR) .....	24
2.7.4. Clasificación Geomecánica de Romana (SMR) .....	27
2.7.5. Coeficiente de Permeabilidad .....	28
2.7.6. Correlación del Ensayo de DPL con el SPT para la obtención de $\phi$ .....	29
2.8. CRITERIOS PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES.....	30
2.8.1. Método de Cálculo de Taludes por Equilibrio Límite .....	33
2.8.1.1. Factor de Seguridad en Taludes .....	34
2.8.1.2. Método de Cálculo de Taludes por Dovelas.....	34
2.8.1.3. Método de Bishop simplificado.....	36
2.8.1.4. Método de Spencer .....	36
2.8.2. Análisis Retrospectivo .....	39
2.9. GLOSARIO DE TÉRMINOS .....	40
3. HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	48
3.1. HIPÓTESIS GENERAL .....	48
3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS .....	49
3.3. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES .....	49
4. METODOLOGÍA Y DISEÑO DEL ESTUDIO .....	49
4.1. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN .....	49
4.2. TRABAJO DE CAMPO .....	50
4.2.1. Geología Local .....	51
4.2.1.1. Geología del Sector del Km 102+780 al Km 103+020.....	52
4.2.1.2. Geología del Sector del Km 104+920 al Km 105+010.....	53
4.2.1.3. Geología del Sector del Km 109+500 al Km 109+580.....	53
4.2.2. Geodinámica Externa .....	53
4.2.2.1. Derrumbes.....	54
4.2.2.2. Deslizamientos.....	54
4.2.2.3. Reptación de Suelos .....	55
4.2.2.4. Filtraciones de Agua .....	55
4.2.3. Trabajos Geotécnicos de Campo.....	56
4.2.3.1. Calicatas.....	56
4.2.3.2. Ensayos de Refracción Sísmica .....	57
4.2.3.3. Ensayos de DPL.....	58
4.2.3.4. Ensayos de Cono de Arena .....	61

4.2.3.5. Clasificación Geomecánica RMR – SMR .....	63
4.2.3.6. Resistencia a la Compresión Uniaxial (UCS) .....	63
4.2.3.7. Índice de Resistencia Geológica .....	64
4.3. ENSAYOS DE LABORATORIO .....	65
4.4. TRABAJO DE GABINETE .....	65
4.4.1. Ley de Recurrencia Sísmica en Canta .....	67
4.4.2. Determinación de las Aceleraciones Sísmicas.....	70
4.4.3. Constante de la Roca Intacta.....	71
4.4.4. Condiciones Geotécnicas de los Taludes .....	72
4.4.4.1. Talud del km 102+780 al km 103+020.....	72
4.4.4.2. Talud del km 104+920 al km 105+010.....	73
4.4.4.3. Talud del km 109+500 al km 109+580.....	74
4.4.5. Análisis de Estabilidad de Taludes.....	75
4.4.5.1. Análisis de Estabilidad del Talud del km 102+780 al Km 103+020.....	76
4.4.5.2. Análisis de Estabilidad del Talud del km 104+920 al km 105+010 .....	78
4.4.5.3. Análisis de Estabilidad del Talud del km 109+500 al km 109+580 .....	80
5. CONCLUSIONES .....	83
6. RECOMENDACIONES .....	83
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	85

ANEXOS:

A. TRABAJOS GEOTÉCNICOS

    REGISTROS DE CALICATAS

    LÍNEAS DE REFRACCIÓN SÍSMICA Km 103+000 – Km 103+100

B. ENSAYOS DE LABORATORIO

    Km 102+730 – Km 102+920

        ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

        LÍMITES DE CONSISTENCIA

        CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA

    Km 102+920 – Km 103+000

        ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

        LÍMITES DE CONSISTENCIA

    Km 104+930 – Km 105+000

        ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

        LÍMITES DE CONSISTENCIA

Km 109+550 – Km 109+650

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO  
LÍMITES DE CONSISTENCIA  
CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA

C. ENSAYOS IN SITU Y EVALUACIONES DE CAMPO

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE BIENIAWSKI (RMR) Km 102+740 – km 102+850  
DETERMINACIÓN DEL SMR (Slope Mass Rating) Km 102+740 – km 102+850  
ENSAYOS DE PENETRACIÓN DINÁMICA LIGERA (DPL)  
ENSAYOS DE DENSIDAD EN CAMPO (Método del Cono de Arena)

D. FOTOGRAFIAS

Km 102+780 – km 103+020  
Km 104+920 – km 105+010  
Km 109+500 – km 109+580

E. PLANOS

Mapa de Ubicación de la Ruta PE-20A  
Mapa Geológico de la Carretera Canta-Huayllay del Km 102 al Km 110

F. SECCIONES TRANSVERSALES

ST Km 102+780 – km 103+020  
ST Km 104+920 – km 105+010  
ST Km 109+500 – km 109+580

G. ANALISIS RETROSPECTIVOS (Back Analysis)

Km 104+920 – km 105+010  
Km 109+500 – km 109+580

H. MODELOS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

Km 102+780 – km 103+020  
Km 104+920 – km 105+010  
Km 109+500 – km 109+580

I. NORMA E.030 DE DISEÑO SISMO-RESISTENTE

**LISTADO DE CUADROS, FIGURAS Y FOTOGRAFÍAS**

**CONTENIDO:**

**FIGURAS**

Figura N° 2.1. Fuentes sismogénicas superficiales

Figura N° 2.2. Fuentes sismogénicas intermedias y profundas

Figura N° 2.3. Mapa de Isoaceleraciones para un 10% de excedencia en 50 años

Figura N° 2.4. Criterio de rotura lineal de Mohr-Coulomb



Figura N° 2.5. Envolventes de rotura del Criterio de Hoek & Brown

Figura N° 2.6. División de la masa deslizante en dovelas

Figura N° 2.7. Diagrama de Fuerzas de la Dovela. Método de Spencer

Figura N° 4.1. Trazo de la Carretera del Km 0 al Km 10 en el Cuadrángulo de Canta

Figura N° 4.2. Sismos registrados (1973-2013) en un área de 500km x 1000km teniendo como centro el pueblo de Canta

Figura N° 4.3. Representación de zonas sísmicas definidas en la norma técnica E-030 de diseño sismo-resistente sobre el mapa del Perú

## **CUADROS**

Cuadro N° 2.1: Columna Estratigráfica del tramo Canta - Huayllay

Cuadro N° 2.2. Valores de Cohesión por tipo de suelo

Asignación de Taludes por tipo de material

Cuadro N° 2.3. Valores del ángulo de fricción interna en suelos granulares no plásticos, en función de la granulometría y la compacidad

Cuadro N° 2.4. Resistencia a la Compresión Simple a partir de índices de campo

Cuadro N° 2.5. Estimación del GSI en base a descripciones geológicas

Cuadro N° 2.6. Valores de la Constante  $m_i$  de la Roca Intacta para distintos tipos de roca

Cuadro N° 2.7. Parámetros y Valores de la Clasificación de Bieniawski

Cuadro N° 2.8. Ajuste por Orientación de las Discontinuidades

Cuadro N° 2.9. Parámetros del SMR

Cuadro N° 2.10. Determinación del Factor de Ajuste  $F_1$

Cuadro N° 2.11. Determinación del Factor de Ajuste  $F_2$

Cuadro N° 2.12. Determinación del Factor de Ajuste  $F_3$

Cuadro N° 2.13. Determinación del Factor de Ajuste  $F_4$

Cuadro N° 2.14. Calidad de la Roca según el SMR

Cuadro N° 2.15. Rango de valores del coeficiente de permeabilidad en suelos

Cuadro N° 2.16. Correlación entre el SPT y el ángulo de fricción interna de suelos granulares

Cuadro N° 2.17. Asignación de Taludes por tipo de material

Cuadro N° 2.18. Características de los principales métodos de Análisis de Estabilidad de Taludes

Cuadro N° 2.19. Forma de calcular el factor de seguridad de cada método

Cuadro N° 4.1. Resumen de los Registros de Calicatas

Cuadro N° 4.2. Resumen de los resultados del Ensayo de Refracción Sísmica

Cuadro N° 4.3. Resultados de los Ensayos de DPL

Cuadro N° 4.4. Resultados de los Ensayos de Cono de Arena

Cuadro N° 4.5. Lista de Ensayos de Laboratorio Realizados

Cuadro N° 4.6. Resumen de Ensayos de Laboratorio

Cuadro N° 4.7. Tabla de sismos con magnitudes mayores de 6 mb

Cuadro N° 4.8. Datos para el Gráfico de la Ley de Recurrencia

Cuadro N° 4.9. Factores de Zona

Cuadro N° 4.10. Valores de la Constante  $m_i$  de la Roca Intacta para distintos tipos de roca

Cuadro N° 4.11. Clasificación de materiales de corte Km 102+780 al Km 103+020

Cuadro N° 4.12. Clasificación de materiales de corte Km 104+920 al Km 105+010

Cuadro N° 4.13. Clasificación de materiales de corte Km 109+500 al Km 109+580

## **FOTOGRAFÍAS**

Foto N° 4.1. Rocas volcánicas fracturadas y alteradas del Grupo Calipuy

Foto N° 4.2. Derrumbe Km 107+050

Foto N° 4.3. Deslizamientos rotacionales paralelos Km 107+860

Foto N° 4.4. Reptación de suelos Km 108+450

Foto N° 4.5. Filtraciones de agua Km 105+520

Foto N° 4.6. Ensayo de Cono de Arena y DPL Km 102+770 – 103+040. Suelo Coluvial

Foto N° 4.7. Ensayo de DPL Km 104+920 – 105+010

Foto N° 4.8. Ensayo de DPL Km 109+500 – 109+620

Foto N° 4.9. Ensayo de Cono de Arena y DPL Km 102+770 – 103+040. Suelo Coluvio-Aluvial

Foto N° 4.10. Ensayo de Cono de Arena Km 104+920 – 105+010

Foto N° 4.11. Ensayo de Cono de Arena Km 109+500 – 109+620

## **GRÁFICOS**

Gráfico N° 2.1. Métodos de Análisis de Estabilidad de Taludes

Gráfico N° 4.1. Ley de Recurrencia Sísmica de Canta

## **ANEXOS:**

### **FOTOGRAFÍAS**

Foto N° 1. Vista en perfil de un agrietamiento y desplazamiento en la ladera superior

Foto N° 2. Inicio de cortes en la parte superior del talud

Foto N° 3. Plano de contacto entre el depósito coluvial (arriba) y la roca (base)

Foto N° 4. Vista del agrietamiento y desplazamiento del terreno en la ladera superior

Foto N° 5. Talud después de ejecutado el corte de 1:1 (H:V)

Foto N° 6. Vista de los materiales conformantes del talud

Foto N° 7. Toma desde arriba de la ladera con grietas tensionales escalonadas

Foto N° 8. Grietas tensionales producidas en la corona del talud

Foto N° 9. Inicio de cortes en el talud. Nótese la ocurrencia de deslizamientos

Foto N° 10. Excavaciones en el talud

Foto N° 11. Deslizamientos y reptación de suelos superficiales en la ladera

Foto N° 12. Vista lateral de los deslizamientos y reptación en la ladera

Foto N° 13. Reptación de suelos. Vista de alfalfar regado por aspersión en la ladera superior

- Foto N° 14. Reptación de Suelos. Filtraciones de agua hacia las paredes del talud
- Foto N° 15. Pequeños deslizamientos después de ejecutada la excavación de talud (1:2, H:V)
- Foto N° 16. Vista panorámica de la zona
- Foto N° 17. Agrietamientos en la ladera superior
- Foto N° 18. Vista panorámica del deslizamiento, véase el asentamiento de la plataforma
- Foto N° 19. Vista del acceso a Cantamarca
- Foto N° 20. Vista de deslizamientos y agrietamientos desde la parte superior

## **FIGURAS**

- Figura N° 1: Análisis Retrospectivo de la Sección del Km 104+950
- Figura N° 2: Valores de  $c$  y  $\phi$  para suelo de tipo SC-SM con un FS = 1. Km 104+950
- Figura N° 3: Valores de  $c$  y  $\phi$  para suelo de tipo ML con un FS = 1. Km 104+950
- Figura N° 4: Análisis Retrospectivo de la Sección del Km 109+520
- Figura N° 5: Valores de  $c$  y  $\phi$  para suelo de tipo SC con un FS = 1. Km 109+520 (SLIDE 6.0)
- Figura N° 6: Modelo Estático del Terreno Natural Km 102+800
- Figura N° 7: Modelo Pseudo-Estático del Terreno Natural Km 102+800
- Figura N° 8: Modelo Estático del Talud de 1:1 (H:V) con banquetas. Km 102+800
- Figura N° 9: Modelo Pseudo-Estático del Talud de 1:1 (H:V) con banquetas. Km 102+800
- Figura N° 10: Modelo Estático del Talud con las obras correctivas. Km 102+800
- Figura N° 11: Modelo Pseudo-Estático del Talud con obras correctivas. Km 102+800
- Figura N° 12: Modelo Estático del Talud con obras correctivas. Km 104+950
- Figura N° 13: Modelo Pseudo-Estático del Talud con obras correctivas. Km 104+950
- Figura N° 14: Modelo Pseudo-Estático del Talud tomando en consideración la infiltración de agua subterránea. Km 104+950
- Figura N° 15: Modelo Pseudo-Estático del Talud estabilizado con la colocación de un subdren horizontal. Km 104+950
- Figura N° 16: Modelo Estático del Talud con obras correctivas. Km 109+520
- Figura N° 17: Modelo Estático del Talud con obras correctivas. Km 109+520

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mis padres Carlos y Pilar, a mi abuela Bertha, por el apoyo incondicional, cuidado y guía desde que comencé a realizar mis estudios, también a mi Casa de Estudios, la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, por haberme brindado los criterios y herramientas para desenvolverme en el campo de la Geología. Agradezco de corazón a mis profesores, amigos y compañeros de clase, por haberme ofrecido la posibilidad de compartir con ellos tantos años de aprendizaje en la carrera de Ingeniería Geológica, la que nos ha dado y seguirá dando muchas experiencias y satisfacciones.

Asimismo, quiero expresar mi agradecimiento a la empresa Cesel Ingenieros S.A., al Jefe de Supervisión Ing. Octaviano Ubillús J.; a mi jefe directo, el Ing. Néstor Romero R., Especialista en Geología y Geotecnia, por su guía constante en obra, y lecciones tanto profesionales como de vida, a todos mis compañeros de trabajo por sus consejos y apoyo desinteresado, además de haberme permitido el uso del presente trabajo como tesis de grado.

También manifiesto mi agradecimiento de corazón al Director de la E.A.P. de Ingeniería Geológica Dr. Tomás Gallarday B. y al Ing. Olimpio Ángeles G., Asesor de Tesis, por la revisión y sugerencia para completar la elaboración del presente trabajo; al Ing. Christian Breña V., por haberme acogido como asistente y por la formación teórica y práctica en la rama de la Geotecnia, misma que me sirvió para dar mis primeros pasos como profesional; a mi compañero, el Ing. Jack Arone P., por haberme apoyado y por introducirme al mundo de la Geotecnia, también por los consejos y momentos compartidos cuando trabajábamos juntos; y a mi compañero, el Ing. Elvis Feria Q., por haber confiado en mí y haberme dado la oportunidad para seguir desempeñándome en obras de Geotecnia.

Finalmente agradezco a todos los que de alguna manera han estado conmigo, apoyándome y dándome consejos a lo largo de mi etapa de formación académica.

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo consiste en el estudio de los taludes inestables de riesgo moderado a elevado que se presentaron durante la Supervisión del Mejoramiento y Rehabilitación del Corredor Vial Lima – Canta – Huayllay – Dv. Cochamarca -Empalme PE 3N, Tramo: Canta – Huayllay desde el Km 102 hasta el Km 110, ubicado en la provincia de Canta, departamento de Lima.

Estas zonas son afectadas por fenómenos de Geodinámica Externa como derrumbes, deslizamientos rotacionales y reptación de suelos condicionados por la influencia de las filtraciones de aguas superficiales y subterráneas.

Los objetivos de la presente tesis se basan en brindar soluciones geotécnicamente seguras, eficaces y económicamente viables que garanticen la estabilidad de los taludes de la carretera Canta – Huayllay en los sectores con problemas de ocurrencia de fenómenos de geodinámica externa de riesgo medio a elevado entre las progresivas del Km 102 al Km 110. En este sector se detectaron tres zonas de taludes inestables: del km 102+780 al km 103+020, del km 104+920 al km 105+010 y del km 109+500 al km 109+580.

Partiendo de la base de estudios anteriores, el sector está marcado por la ocurrencia de flujos de lodo o “huaycos” producidos como consecuencia de las precipitaciones pluviales, principalmente entre los meses de diciembre a marzo, que humedecen las capas superficiales meteorizadas de las laderas de los cerros, saturándose hasta que sobreviene su desprendimiento. El pueblo de Canta comprende una de las zonas deslizantes que se extiende desde el centro poblado de Yaso hasta Huaros, y está cimentado sobre masas deslizadas temporalmente estabilizadas que implican un alto riesgo de reactivación durante la ocurrencia de lluvias torrenciales y sismos.

La hipótesis plantea que la reconformación de los taludes y el control de las filtraciones de agua son las soluciones que garantizarán la estabilidad de los taludes de la carretera Canta – Huayllay en los sectores con problemas de ocurrencia de fenómenos de geodinámica externa de riesgo medio a elevado entre las progresivas del km 102 al km 110.

El método de la investigación se efectuó siguiendo un programa de trabajo con un diseño de tipo experimental en base a la recopilación de información de antecedentes técnicos, evaluación en campo mediante observaciones geológico – geotécnicas y ensayos in situ tanto para suelos como para rocas (DPL, Densidad Natural, RMR, SMR, GSI), ensayos de laboratorio (Análisis Granulométrico, Límites de Atterberg, etc.), para su posterior procesamiento en

gabinete complementado en algunos casos por análisis retrospectivos (Back Analysis) por el método de Bishop simplificado mediante el software Slide 6.0 de Rocscience, programa con el que se efectuaron también los cálculos del factor de seguridad de los taludes, siguiendo el método de Spencer, en base a las medidas correctivas recomendadas para cada caso. Estos cálculos fueron ejecutados teniendo en cuenta los criterios de rotura de Mohr-Coulomb (para suelos) y Hoek & Brown generalizado (para rocas).

Los análisis sísmicos o pseudo-estáticos de estabilidad de taludes fueron ejecutados con una aceleración horizontal de 0.17g y una aceleración vertical de 0.11g, teniendo en cuenta los antecedentes e información existente de isoaceleraciones para un 10% de excedencia en 50 años y factores de zona.

En conclusión, los problemas de inestabilidad de taludes en los sectores del km 112 al km 110 fueron generados por la ejecución de excavaciones inadecuadas para los materiales que conforman el terreno, las condiciones desfavorables de las discontinuidades, y la influencia de las filtraciones de agua hacia las laderas y taludes, teniendo en cuenta que en muchos casos se trata de antiguos deslizamientos que se encontraban temporalmente estabilizados.

Las soluciones propuestas para contrarrestar los problemas de inestabilidad, tales como la reconfiguración de taludes (inclinación de taludes, construcción de banquetas) y el control de las filtraciones de agua a través de obras de drenaje y subdrenaje (cunetas de coronación, subdrenes horizontales) son adecuadas, ya que de acuerdo con los análisis geológico-geotécnicos efectuados, presentan un factor de seguridad apropiado.

## **1. INTRODUCCIÓN**

La ocurrencia y/o evaluación de estabilidad de taludes y los fenómenos de Geodinámica Externa, favorecidos por los factores condicionantes y desencadenantes como la geología, la sismicidad, las precipitaciones pluviales, la topografía y las propiedades geotécnicas de los terrenos, son de gran importancia al momento de realizar la construcción de obras de gran envergadura como carreteras.

El presente estudio corresponde a la investigación geológico-geotécnica que se ha realizado para la Supervisión del Mejoramiento, Rehabilitación y Conservación por Niveles de Servicio del Corredor Vial Lima – Canta – Huayllay – Dv. Cochamarca – Empalme PE 3N, Tramo: Canta – Huayllay Km 101+500 – Km 197+607.50, con la finalidad de evaluar específicamente los procesos de geodinámica externa en el sector del Km 102+000 al Km 110+000, para proyectar soluciones estables y seguras con el propósito de mitigar los riesgos desencadenados por los mismos.

### **1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA**

La inclinación de los taludes propuesta en el expediente técnico del proyecto fue inadecuada para muchos sectores del tramo, lo cual se hizo notorio durante los trabajos de excavaciones, ya que se produjo como consecuencia, en dichos sectores, la inestabilidad de los nuevos taludes.

De acuerdo con las especificaciones técnicas del manual de carreteras del ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), se debía proceder con la reclasificación de los materiales de corte de los taludes y reasignación de la inclinación de los mismos, antes, durante y después de ejecutados los trabajos. Con la aplicación de dicha medida se logró estabilizar la mayoría de los taludes; sin embargo, algunos, a pesar de ello, sufrieron la ocurrencia de fenómenos de geodinámica externa, de mediana a gran envergadura, tales como derrumbes, deslizamientos, reptación de suelos, etc. que afectaron el desarrollo normal de la obra y el tránsito normal de vehículos, maquinaria y transeúntes.

Por lo tanto, es urgente la toma de medidas correctivas rápidas, económicas y técnicamente adecuadas, dentro del marco de las especificaciones técnicas, para lograr la estabilidad de los taludes.

## 1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

### 1.2.1. Problema General

¿Cuáles son las soluciones geotécnicamente seguras, económicas y eficaces para garantizar la estabilidad de los taludes de la carretera Canta – Huayllay en los sectores con problemas de ocurrencia de fenómenos de geodinámica externa de riesgo medio a elevado entre las progresivas del Km 102 al Km 110?

### 1.2.2. Problemas Específicos

En el sector del Km 102 al Km 110 se han identificado tres zonas de taludes inestables, materia de estudio de la presente tesis, con ocurrencia de fenómenos de geodinámica externa de grado moderado a alto; es decir, que afectaron parcial o totalmente la transitabilidad de la vía:

**Km 102+780 al Km 103+020**: ¿En qué medida las técnicas como la reconformación de taludes, el sellado de grietas y la colocación de cunetas de coronación mejorarán la estabilidad del talud en el sector del km 102+780 al Km 103+020 de la carretera Canta – Huayllay?

**Km 104+920 al Km 105+010**: ¿En qué medida el control de las filtraciones de agua y la adopción de banquetas garantizará la estabilidad del talud en el sector del km 104+920 al km 105+010 de la carretera Canta – Huayllay?

**Km 109+500 al Km 109+580**: ¿En qué medida la inclinación de taludes y la adopción de banquetas mejorará la estabilidad del talud en el sector del km 109+500 al Km 109+580 de la carretera Canta – Huayllay?

## 1.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Durante la excavación de los taludes de la carretera Canta – Huayllay se ha generado inestabilidad en los mismos, la cual fue subsanada en la mayoría de sectores con la reclasificación de materiales de corte y la reasignación de taludes señaladas en las especificaciones técnicas. Sin embargo, entre los kms 102 y 110 de la carretera se han presentado zonas de riesgo moderado a elevado que requieren de un tratamiento definitivo para lograr la estabilidad de los taludes. Debido al peligro potencial que implica la ocurrencia de fenómenos de geodinámica externa



para los comuneros de Canta, vehículos y demás usuarios de la vía, se justifica la ejecución de la presente investigación.

Otro aspecto importante que justifica la realización del presente estudio es el de garantizar la transitabilidad normal de la vía y con ello evitar mayores retrasos en el cronograma de ejecución de la obra. Además, la carretera Canta - Huayllay tiene una gran relevancia como vía alterna a la Carretera Central, que actualmente recibe mucho tránsito vehicular y que es afectada cada año por bloqueos generados por la ocurrencia de huaycos e inundaciones en temporada de lluvias y Fenómeno del Niño.

## **1.4. OBJETIVOS DEL ESTUDIO**

### **1.4.1. Objetivo General**

Brindar soluciones geotécnicamente seguras, eficaces y económicamente viables que garanticen la estabilidad de los taludes de la carretera Canta – Huayllay en los sectores con problemas de ocurrencia de fenómenos de geodinámica externa de riesgo medio a elevado entre las progresivas del Km 102 al Km 110.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Demostrar que la reconfiguración de taludes, el sellado de grietas y la colocación de cunetas de coronación mejorarán la estabilidad del talud en el sector del km 102+780 al Km 103+020 de la carretera Canta – Huayllay.
- Determinar que el control de las filtraciones de agua y la adopción de banquetas garantizarán la estabilidad del talud en el sector del km 104+920 al km 105+010 de la carretera Canta – Huayllay.
- Estabilizar el talud en el sector del Km 109+500 al Km 109+580 de la carretera Canta – Huayllay mediante la inclinación del talud y adopción de banquetas.
- Presentar a la E.A.P. de Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos como tema de tesis para optar el título de Ingeniero Geólogo.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. ANTECEDENTES

Los estudios realizados en este sector se remontan a los años 1966 y 1967 con las investigaciones geológicas efectuadas por Cobbing J.<sup>1</sup> plasmadas en el Boletín N° 26 del Servicio de Geología y Minería (actual INGEMMET) en 1973; donde menciona la ocurrencia de flujos de lodo o “huaycos” que se desarrollan como consecuencia de las precipitaciones pluviales que humedecen la capa superficial intemperizada de las laderas de los cerros, de manera que finalmente llega a saturarse hasta que sobreviene su desprendimiento, arrastrando fragmentos mayores constituyendo una corriente de barro. Según Cobbing un factor importante para que se produzcan los flujos de lodo son las marcadas lluvias estacionales, ya que la extrema desecación que se presenta en la región andina, permite que las características físicas de las capas superficiales intemperizadas cambien rápidamente al humedecerse provocando inmediatamente la inestabilidad e inicio del flujo de barro.

En el año 2011, la empresa Winrod Contratistas S.A.C.<sup>2</sup> realizó el Estudio Geológico Geotécnico del Tramo: Canta – Huayllay. En dicha investigación se evaluaron los procesos de geodinámica externa presentes en el tramo que puedan afectar al proyecto mediante observaciones en campo, ensayos in-situ y de laboratorio.

Asimismo, se identificaron algunas zonas inestables, para las cuales se realizaron modelamientos y se plantearon soluciones. Winrod también efectuó la clasificación de materiales de los taludes de corte del tramo así como el estudio y análisis de cimentaciones para los pontones que contempla el proyecto.

El IMP<sup>3</sup> realizó el 2014 un estudio de la Cuenca del río Chillón, donde se-

- 
1. COBBING J. et al (1973) Geología de los Cuadrángulos de Barranca, Ambar, Oyón, Huacho, Huaral y Canta. Servicio de Geología y Minería. Bol 26, pág. 30
  2. WINROD CONTRATISTAS S.A.C. (2012) “Estudio Definitivo Para la Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lima – Canta – La Viuda – Unish, Tramo: Canta – Huayllay”:, Vol. N° 01, Tomo 3: 3.1 Estudio Geológico Geotécnico
  3. INSTITUTO METROPOLITANO DE PLANIFICACIÓN (2014). Plan Integral de La Cuenca Chillón, Intercuencas La Pampilla, Ventanilla, Santa Rosa y Ancón y la Zona Marítima Costera Callao-Pasamayo. Plan de Ordenamiento Territorial Cuenca Chillón. Capítulo IV: Diagnóstico de los Componentes Ecológicos Físicos, pág. 335

ñala que en el valle Central del Chillón se presentan dos zonas deslizantes. La primera se extiende desde Yaso hasta Huaros, donde se encuentran los pueblos de Canta, Obrajillo, San Miguel, Huacos, Huaros y San Buenaventura. Los mismos están contruidos sobre masas deslizadas temporalmente estabilizadas, que corren el riesgo de activarse durante las ocurrencias de lluvias y sismos. De acuerdo con el IMP, el pueblo de Canta se ve amenazado por el deslizamiento que actualmente se está produciendo desde las partes altas con dirección a éste, y en la parte baja por la desestabilización de la carretera de acceso desde Lima.

## 2.2. UBICACIÓN, ACCESIBILIDAD Y CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

### 2.2.1. Ubicación

La zona de estudio de la carretera Canta – Huayllay km 101+500 – km 197+607.50, se ubica en la Cordillera Occidental y Central de los Andes Peruanos, perteneciente a las regiones Lima, Junín y Pasco, estando delimitada por las siguientes coordenadas geográficas:

COORDENADAS	CANTA	HUAYLLAY
Latitud Sur	10° 30'	11° 00'
Longitud Oeste	76° 00'	76° 30'

### 2.2.2. Accesibilidad

El acceso a la zona de estudio es posible por vía terrestre siguiendo la ruta nacional PE-20A, denominada “Carretera Vencedores de Sánger”, la misma que se circunscribe a una troncal de la carretera Panamericana Norte (PE-1N) que parte desde el Óvalo Naranjal.

Se ingresa desde Lima por el km 22 de la Av. Túpac Amaru en el distrito de Carabayllo. En el trayecto se pasa por las localidades de Punchauca (km 28), Trapiche (km 39.5), Yangas (km 56), Dv. Santa Rosa de Quives (km 64), Yaso (km 77) y el desvío a San Buenaventura (km 90). Son 101.5 km de pista totalmente asfaltada. Para llegar a Canta se tarda entre hora y media y 2 horas.

- Ver **Anexos**. E. Planos. Plano N° 1: Mapa de Ubicación de la Ruta PE-20A “Vencedores del Sánger”

### **2.2.3. Geografía**

El sector del km 102 al km 110 de la carretera Canta – Huayllay, geográficamente se ubica en la Cordillera Occidental entre los 2800 msnm a los 3400 msnm en el distrito de Canta, provincia de Canta, Lima. Tiene un relieve muy complejo, formado por montañas altas y el valle del río Chillón, pertenecientes a las regiones naturales Quechua y Suni. En las partes bajas de las quebradas de este sector, existen amplias extensiones de depósitos aluviales que son importantes para el desarrollo de la agricultura.

### **2.2.4. Clima**

El clima de la región es templado – subhúmedo. Este clima se ubica sobre el clima templado cálido seco, y altitudinalmente se encuentra comprendido entre los 2,600 msnm y 3,600 msnm. Es agradable tanto por la temperatura (mínima de 10°C, y máxima de 22°C), como por la humedad (alrededor de 500 mm/año), lo que hace muy atractivos los pueblos de Canta y Obrajillo; en los límites superiores, la temperatura desciende hasta 10°C, principalmente en los meses de junio, julio y agosto, época donde los cielos están totalmente despejados.

La estación lluviosa es entre los meses de octubre y abril, aunque la mayor parte de las precipitaciones anuales se registran entre enero y marzo.

### **2.2.5. Vegetación**

La mayoría de las especies vegetales que producen alimentos requieren de temperaturas de moderadas a altas. Las bajas temperaturas, generalmente ocasionan la muerte de las plantas, salvo algunas especies que soportan estas condiciones como son el "ichu" y la "yareta", que se presentan sobre los 3800 msnm.

En el sector abundan los terrenos de cultivo de vegetales para consumo humano y de animales, principalmente de alfalfa para la alimentación de acémilas.

Entre la variedad de plantas que crecen naturalmente en la región destacan los eucaliptos, el molle, la tara, los álamos, la ortiga, etc.

### 2.2.6. Hidrografía

El drenaje principal en la zona de estudio está regulado por la presencia del río Chillón, que es alimentado por los deshielos de la Cordillera de La Viuda, y su cuenca respectiva, sustentada por las constantes precipitaciones pluviales que ocurren en las partes altas del flanco occidental de la Cordillera Occidental de los Andes Peruanos.

La cuenca del río Chillón, hidrográficamente se encuentra ubicada en la Vertiente de Pacífico, formando parte de las 53 cuencas que desembocan al Océano Pacífico. Sus límites geográficos son: 76°20' y 77°10' de longitud oeste, 11°20' y 12°00' de latitud sur, y altitudinalmente entre 0 y 5000 msnm.

La pendiente del río Chillón es variada; aguas arriba de la localidad de Canta, tiene una pendiente promedio de 6 %, lo que facilita en algunos tramos la instalación de centrales hidroeléctricas como la C.H. de Huaros y la C.H. de Obrajillo.

### 2.3. GEOMORFOLOGÍA

Las unidades geomorfológicas presentes son el resultado de los fenómenos degradantes causados por la meteorización, la misma que ha actuado mayormente sobre las unidades litológicas calcáreas y volcánicas, en las que la temperatura del medio ambiente, las constantes precipitaciones pluviales, la escorrentía superficial y subterránea han intervenido como agentes de meteorización modeladores de la topografía del área de estudio, dentro de las cuales se puede identificar las siguientes unidades geomorfológicas:

**Espolones Montañosos Altos (2.000 a 3.800 m.s.n.m).**- Parte alta de los espolones montañosos transversales de la Cordillera Occidental. Presentan un modelado irregular accidentado característico de medios áridos y pajonales premontanos.

**Mesetas Intermedias o Superficie Puna.**- Mesetas onduladas en las cimas de los espolones, en las cuales existen pajonales y cultivos en secano.

**Valles fluviales.**- Valles en forma de "V" que presentan una topografía escarpada caracterizada por tener una superficie de intensa erosión, cuyas laderas son relativamente empinadas y los ríos moderadamente

profundos, siendo en el sector el río Chillón y sus tributarios los agentes modeladores principales.

## 2.4. GEOLOGÍA REGIONAL

La carretera Canta - Huayllay se halla emplazada en la vertiente del Océano Pacífico en la Cordillera Occidental, atravesando zonas pertenecientes a la Región Lima, la Región Junín y a la Región Pasco, y pasando por los cuadrángulos de Canta y Ondores. A lo largo de todo el tramo afloran rocas volcánicas del Gpo. Calipuy del Paleógeno - Neógeno, así como rocas sedimentarias del Cretácico.

### 2.4.1. Estratigrafía

La estratigrafía presente a lo largo del tramo está constituida por una secuencia de rocas volcánicas y formaciones sedimentarias mesozoicas y depósitos cuaternarios de material suelto, siendo las unidades estratigráficas existentes en el área de influencia del proyecto, las siguientes:

Formación Pariatambo (Ki-pt): Sobre el tramo intermedio de la vía aflora esta formación que data del Cretácico medio (Albiano medio a tardío). El afloramiento parcialmente se encuentra cubierto de depósitos cuaternarios, observándose a través de los cortes de carretera calizas, con intercalaciones de margas bituminosas, que se rompen a manera de lajas tabulares, con espesores variables de 5 a 10m y una coloración que van de marrón oscuro a gris claro e intensamente alterada. Aflora entre las siguientes progresivas: del km 144+500 al km 146+500 y del km 150+500 al km 151+300.

Formación Jumasha (Ks-ju): Se halla sobre la parte alta colindante con la laguna de Chuchún, data del Cretácico superior (Albiano superior – Turoniano) que consiste en calizas, de tonalidad de gris a gris pardusca, con bancos de espesores de 150m a más. Se muestran con plegamientos perfectos de anticlinales y sinclinales, fuertemente alterados y afectados por la acción erosiva, de la fusión de los glaciares perpetuos. Suprayace a la formación Pariatambo. Aflora entre las progresivas del km 138+300 al km 144+500, del km 146+500 al km 150+500 y del km 163+000 al km 165+900.

Formación Casapalca (KsP-ca): La formación Casapalca data del Paleógeno inferior, que infrayace al grupo Calipuy, constituye de una litología variable con rocas lutáceas, limolitas, areniscas de una

tonalidad rojo ladrillo, hacia la base presenta niveles de conglomerados con clastos de caliza, arenisca roja e intrusivos y esquistos hacia el tope de calizas blanquecinas, que se intercalan de areniscas conglomeradas rojizas. Sus espesores son variables, van hasta los 1000m. Aflora entre las progresivas del km 158+500 al km 162+500 y del km 179+100 al km 197+670.

Grupo Calipuy (PN-vca): Aflora en las tres cuartas partes del Proyecto. Está compuesta litológicamente por una secuencia variada de lavas andesíticas púrpuras, piroclastos gruesos y tufos finamente estratificados, basaltos, riolitas y dacitas intruidas por rocas batolíticas, que han dado edades radiométricas que varían de 60 a 90 millones de años, siendo del Cretácico reciente al Paleógeno, el Volcánico Calipuy suprayace discordante sobre rocas del cretáceo y hacia el Este sobre capas rojas de la Fm. Casapalca. El grupo aflora en las progresivas del km 102+000 al km 138+300 y del km 165+900 al km 179+100 intercalado con depósitos cuaternarios.

Formación Yantac (PE-y): Aflora sobre el tramo de la mina Alpamarca y data del Paleógeno superior a Eoceno. Su litología consiste de rocas clásticas y piroclásticas, variando a conglomerado, arenisca de tonalidad gris pardusca y con intercalaciones de calizas, limolita y lutitas de colores abigarrados y parcialmente con intercalación de tufos exhalativos a lavas andesíticas. Aflora en las siguientes progresivas: del km 151+300 al km 158+500 y del km 162+500 al km 163+000

Formación Huayllay (NP-h): Esta formación corresponde a una actividad volcánica con ignimbritas que rellenaron las superficies de erosión bajo la forma de efusiones lávicas andesíticas intercaladas con piroclastos. El afloramiento más notable se observa en los alrededores de Huayllay, donde se encuentra formando una extensa meseta alargada de orientación andina. Morfológicamente es ondulada a agreste, presentando disyunción columnar bien desarrollada, la cual se intemperizó dando lugar a un paisaje denominado "Bosque de Piedras". Litológicamente es un tufo porfirítico friable, que contiene vidrio, plagioclasa, cuarzo redondeado, biotita, estando presente clastos de piedra pómez.

#### Depósitos Cuaternarios

Depósito Aluvial (Q-al): Estos depósitos están formados por materiales que se muestran a través de los cortes. Constan de material suelto

parcialmente compacto y en tramos pequeños con material inconsolidado de forma variable que va de anguloso a subanguloso y de tamaños que van de ½" a 20" de diámetro con una matriz limo-arcillosa.

Depósito Coluvial (Q-co): Los afloramientos rocosos muestran una morfología abrupta dando lugar a la formación de depósitos mixtos coluvio – aluvionales acumulados al pie de los taludes. Los materiales están constituidos mayormente por bloques rocosos angulosos, caídos por gravedad, de 20" a 50" de diámetro y parcialmente con matriz limo-arenosa. Estos depósitos existentes están inconsolidados y sueltos, a lo largo del corte de la carretera.

Depósito Fluvial (Q-fl): Presenta una morfología escalonada en forma de terrazas fluviales de pendiente llana a leve, mostrando eventos fluviales tanto en avenidas normales como extraordinarias y actualmente afloran en algunos sectores por encima del lecho del río. Estos depósitos están conformados mayormente por bloques mayores de 20", bolonería de cantos rodados, arena gruesa y fina, abundante cobertura vegetal y terrenos de cultivo; y sobre ambos flancos afloramientos rocosos de tipo volcánico. Estos depósitos se hallan entre el km 117+500 al km 124+000 y entre el km 126+000 al km 127+000.

Depósitos Morrénicos (Q-mo): Muestra una morfología ondulada rugosa parcialmente cubierta con depósitos aluviales de consistencia fina a gruesa, sus materiales están conformados predominantemente por bolonerías subredondeadas, polimícticas de diámetros de 15" a 25" y fuertemente alteradas por la meteorización física y química. Se encuentran este tipo de depósitos a partir del km 130+900.

Bofedales (Q-bo): Son depósitos cuaternarios conformados por suelos hidromórficos, de granulometría fina, sobresaturados y permeables, característicos de zonas altas. Se emplazan sobre pendientes suaves y en algunos tramos llegan a deformar la plataforma de rodadura. Se hallan bofedales en las siguientes progresivas: km 127+000 al km 127+300, km 131+240 al km 131+300, del km 137+000 al km 137+050, del km 141+850 al km 141+950, del km 147+900 al km 148+200, del km 148+530 al km 148+700, del km 148+800 al km 148+980, km 149+800, km 154+100, km 156+300, km 157+050, km 158+000, km 165+700, km 166+970, del km 177+240 al km 177+900, km 178+800, km 179+240, del km 179+830 al km 180+470, del km 180+540 al km



180+780, km 185+040, km 185+150 al km 185+500, del km 185+630 al km 186+130, km 186+580, y km 187+500.

**Cuadro N° 2.1: COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DEL TRAMO CANTA - HUAYLLAY**

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA		
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Depósitos Aluviales <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Q-al</span>	Depósitos Aluviales		
			Depósitos Coluviales <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Q-co</span>	Depósitos Coluviales		
			Dep. en Bofedales <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Q-bo</span>	Suelos finos hidromórficos		
			Depósitos Fluviales <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Q-fl</span>	Depósitos Fluviales		
			Depósitos Morrénicos <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Q-mo</span>	Depósitos Morrénicos		
	NEÓGENO	Plioceno	Fm. Huayllay <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Np-h</span>	Lavas andesíticas intercaladas con piroclastos.		
			Grupo Calipuy	Mioceno	Lavas andesíticas púrpuras, piroclastos gruesos y tufos finamente estratificados.	
		PALEÓGENO		Oligoceno	PN-vca	Tufos, lavas andesíticas con intercalaciones de conglomerado, arenisca, limolita y lutita.
				Eoceno		
		Paleoceno	Fm. Casapalca <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Kp-ca</span>	Lutitas, limolitas, areniscas y conglomerados de color rojo ladrillo.		
MESOZOICO	CRETÁCEO	Superior	Fm. Jumasha <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Ks-J</span>	Calizas de tonalidad gris a gris pardusca.		
			Fm. Pariatambo <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Ki-pt</span>	Caliza, con intercalaciones de margas bituminosas marrón oscuro a gris claro.		

## 2.4.2. Tectónica

El Perú está comprendido entre una de las regiones de más alta actividad sísmica que hay en el planeta, formando parte del Cinturón Circumpacífico. Los principales rasgos tectónicos de la región occidental de Sudamérica, como son la Cordillera de los Andes y la fosa oceánica Perú – Chile, están relacionados con la alta actividad sísmica y otros fenómenos telúricos de la región, como una consecuencia de la interacción de dos placas convergentes, cuyo resultante más saltante es el proceso orogénico contemporáneo constituido por los Andes.

La tectónica andina ha afectado a las rocas de edad Mesozoica y Cenozoica dando lugar al Levantamiento Andino. En la zona de estudio comprende las siguientes fases:

Fase Peruana: Está caracterizada por la reactivación de fallas antiguas de origen hercínico, que generó cuencas intra-montañosas con la consiguiente formación de nuevas depresiones tectónicas, dando lugar al depósito de sedimentos.

Fase Inca: Considerada como el evento tectónico más importante del Ciclo Andino por su extensión geográfica e intensidad de esfuerzos, cuyos efectos se pueden observar en las capas rojas. Se caracteriza por su naturaleza compresiva, cuyos efectos son principalmente fallas regionales reactivadas.

Fase Quechua: Fase de deformación que afecta a rocas del Mesozoico y Cenozoico. En la región de la Cordillera, esta fase se distingue por la leve discordancia angular mostrada entre la formación Yaguarango y la formación Ipururo.

Como resultado de la convergencia entre la Placa Sudamericana y la Placa de Nazca, y la subducción de esta última, han sido formadas la Cadena Andina y la fosa Perú – Chile en diferentes etapas evolutivas.

Algunos trabajos de sismotectónica en Sudamérica han señalado ciertas discontinuidades de carácter regional, que dividen el panorama tectónico de esta región en varias provincias tectónicas. Dichas provincias están separadas por discontinuidades laterales (Berrocal, 1974) o por “zonas de transición sismotectónicas” (Deza y Carbonell, 1978), todas ellas normales a la zona de subducción. Estas provincias

tectónicas tienen características específicas que influyen en la actividad sísmica que ocurre en cada una de ellas.

Los rasgos tectónicos superficiales más importantes en el área de estudio son: (Berrocal et al, 1975).

- La cadena de los Andes.
- Las unidades de deformación y sus intrusiones magmáticas asociadas.
- Sistemas regionales de fallas normales e inversas y de sobre-escurrimientos.

Las principales fallas que inciden directamente en el tramo de la carretera Canta – Huayllay son:

**Falla Huacos – Canta – Lachaqui – Arahuay:** Falla oblicua al eje longitudinal de la Cordillera Occidental, la que ha capturado los ríos Chillón y Arahuay; dando lugar a encañonamientos muy profundos y recientes o activos, cuyas manifestaciones actuales, son los deslizamientos de masas rocosas muy grandes.

Esta falla es muy importante porque ha dado lugar a medios accesibles para los usos urbanos, agrícolas, forestales. Sin embargo también representa los mayores peligros, riesgos y vulnerabilidad de la cuenca del río Chillón. El pueblo de Canta es el más vulnerable y de alto riesgo.

**Falla La Viuda:** Es una falla longitudinal en el eje central y en el ápice de la cumbre de la Cordillera Occidental de Los Andes. Ha formado una gran fosa tectónica de varios cientos de metros de profundidad, donde se han formado lagunas muy grandes y se ha formado una cordillera oriental más alta con glaciares y una cordillera occidental de menor altitud.

Esta falla es muy relevante en la regulación hídrica pluvial, de escurrimiento superficial y subterráneo. Ha dado origen a los atractivos paisajísticos turísticos más impactantes del lugar.

## **2.5. HIDROGEOLOGÍA**

Como parte de la caracterización de los componentes físicos de la Cuenca del río Chillón, la evaluación hidrológica constituye un aspecto importante, toda vez que ante la limitada disponibilidad de agua superficial

del río Chillón, su depresión es evidente en el valle, principalmente debido a la explotación del acuífero a través de una red de pozos, orientado al abastecimiento de la población asentada en dicho ámbito, así como para la industria y agricultura.

Los sedimentos del manto aluvial cuaternario superpuestos sobre un basamento rocoso impermeable pre-cuaternario, permiten el almacenamiento de grandes volúmenes de agua que proviene de las aguas del escurrimiento superficial del río Chillón, aguas de filtraciones de los riegos de los campos agrícolas, aguas de los afloramientos de los manantiales y aguas de los flujos subterráneos que provienen de las partes altas.

## **2.6. GEODINÁMICA INTERNA**

### **2.6.1. Riesgo Sísmico**

El riesgo sísmico se define por la probabilidad que en un lugar determinado ocurra un movimiento sísmico de una intensidad igual o mayor que un cierto valor fijado. En general, se hace extensivo el término intensidad a cualquier otra característica de un sismo, tal como su magnitud, la aceleración máxima, el valor espectral de la velocidad, el valor espectral del desplazamiento del suelo, el valor medio de la intensidad de Mercalli Modificada u otro parámetro.

La ubicación geográfica del Perú, dentro del contexto geotectónico del “Cinturón de Fuego Circum-Pacífico” y la existencia de la placa tectónica de Nazca, que se introduce por debajo de la Placa Sudamericana, permiten ubicar al Perú con un alto índice de sismicidad en la región. Esto se demuestra por los continuos movimientos telúricos producidos en la actualidad y los registros catastróficos ocurridos en la historia.

La Placa Sudamericana crece a partir de la cadena meso-oceánica del Atlántico, avanzando hacia el noroeste con una velocidad de 2 a 3 cm por año encontrándose con la Placa de Nazca en su extremo occidental. A su vez, la Placa de Nazca crece en la cadena meso-oceánica del Pacífico y avanza hacia el Este con una velocidad de 5 a 10 cm por año, hundiéndose bajo la placa sudamericana con una velocidad de 7 a 13 cm por año. El desplazamiento de ambas placas genera un plano de fricción entre estas, originando un número ilimitado de sismos de diversas magnitudes a diferentes niveles de profundidad.

### **2.6.1.1. Fuentes Sismogénicas**

Se denomina fuente sísmica a una zona o región dentro de la cual los sismos tienen una característica en común que permite separarlos de aquellos de otras fuentes sísmicas adyacentes.

Se han utilizado las fuentes sismogénicas establecidas en el estudio de evaluación del peligro sísmico en el Perú (Castillo, 1993). La determinación de las fuentes sismogénicas se ha basado en el mapa de distribución de epicentros, así como en las características tectónicas del área de influencia. Tanto la interacción entre las placas de Nazca y la Sudamericana como el proceso de ajustes tectónicos del aparato andino, han permitido agrupar a las fuentes sismogénicas en fuentes de subducción y continentales.

Las fuentes se han presentado como áreas, ya que no existen suficientes datos para modelar las fallas como fuentes lineales en este tipo de análisis. Las Figuras N° 2.1 y N° 2.2 presentan las fuentes sismogénicas aplicables al Proyecto, según la referencia anterior. Se ha mantenido la misma nomenclatura de las zonas sismogénicas, utilizando sólo aquellas que tienen influencia en el área del Proyecto.

La mayor parte de los sismos ocurridos en el área considerada es producto de la interacción de las Placas de Nazca y Sudamericana. La placa de Nazca penetra debajo de la Sudamericana a ángulos variables y se profundiza a medida que avanza hacia el continente, por lo que pueden distinguirse fuentes de subducción superficial (F2, F3, F4), fuentes de subducción intermedia (F14, F15, F18, F19) y una fuente de subducción profunda (F20). Las fuentes de subducción superficiales, intermedias y profundas tienen profundidades focales promedio de 50, 100 y 600 km respectivamente.

Las fuentes F7, F10, F11 y F12 están asociadas a la sismicidad regional andina y presentan profundidades focales superficiales, sin estar asociadas a fallas activas.

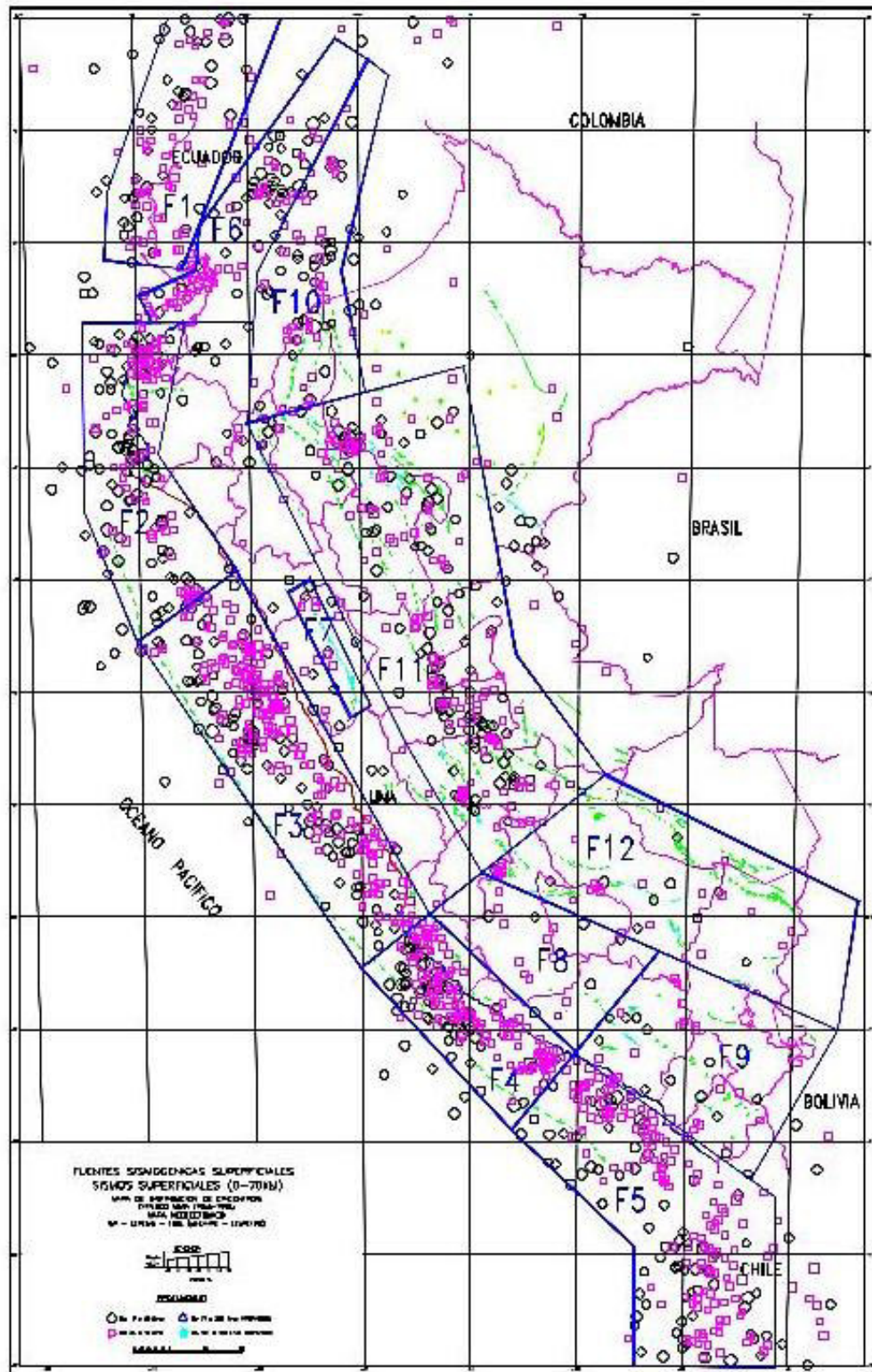


Figura N° 2.1. Fuentes sismogénicas superficiales.

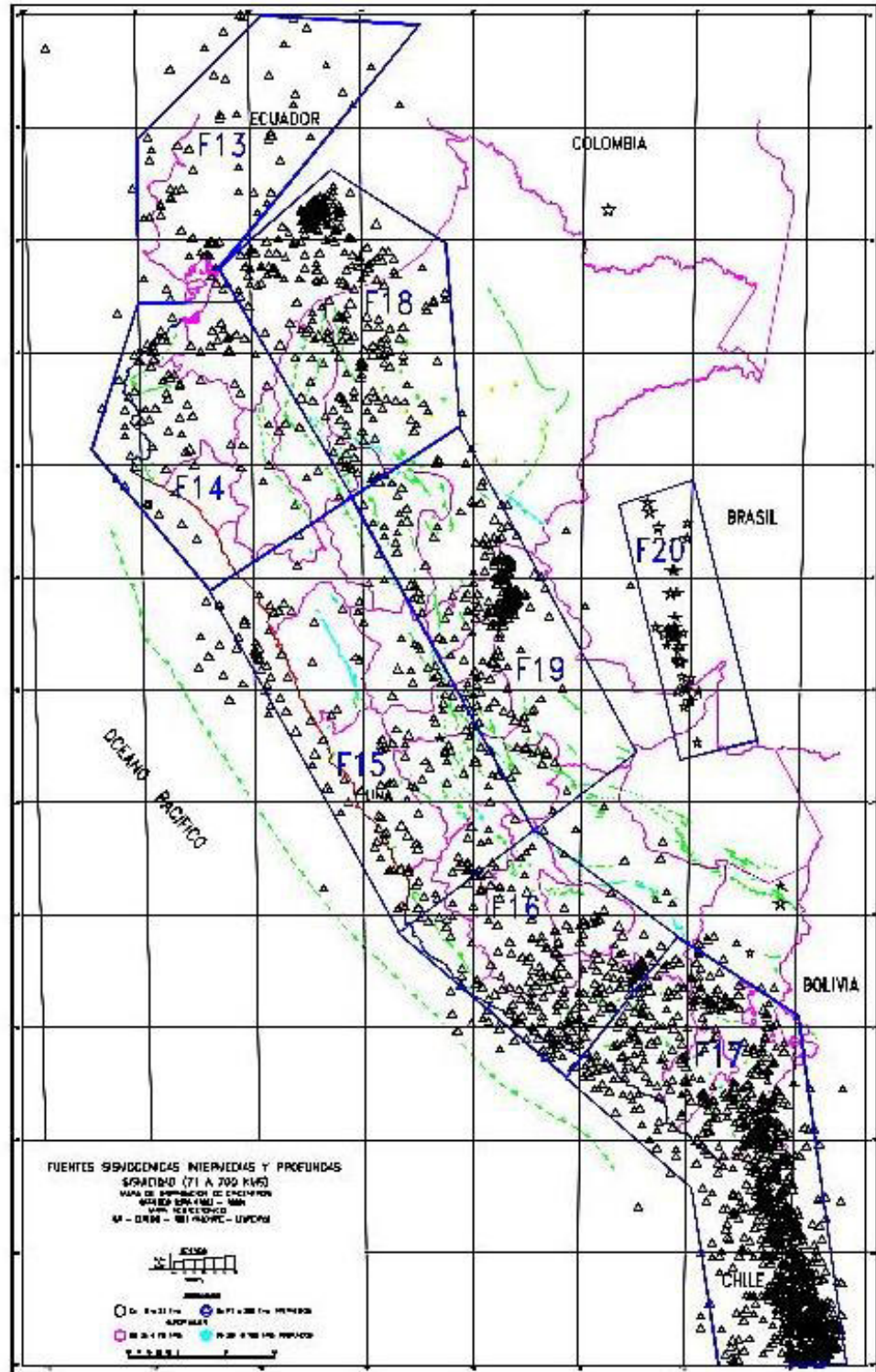


Figura N° 2.2. Fuentes sismogénicas intermedias y profundas.

### 2.6.1.2. Recurrencia Sísmica

La recurrencia de sismos se determina de acuerdo a la Ley de Gutenberg-Richter (1958).

$$\log N = a - bM$$

donde:

$N = n/t$ , número de sismos de magnitud  $M$  por unidad de tiempo.

$a, b$  = parámetros que dependen de la naturaleza sísmica de la región.

$M$  = magnitud del sismo expresada en  $M_s$  o  $m_b$ .

### **2.6.1.3. Aceleración Máxima Horizontal**

La aceleración máxima (PGA) horizontal es el valor absoluto de la aceleración horizontal obtenida en un acelerograma tomando la suma de dos componentes ortogonales. La aceleración producida por un sismo, la cual está relacionada con la intensidad del movimiento en un determinado sitio, es el parámetro más comúnmente utilizado para determinar los parámetros que se van a utilizar en el análisis sísmico de taludes.

Las aceleraciones verticales han recibido una atención menor que las horizontales, debido a que se supone que su efecto sobre las estructuras y taludes es menor. Generalmente, se asume que la aceleración pico vertical es los dos tercios de la aceleración pico horizontal; sin embargo, en sitios muy cercanos al área epicentral, las aceleraciones verticales adquieren valores mayores y en sitios muy alejados valores mucho menores. Usualmente, se utiliza el parámetro PGA para la evaluación sísmica de taludes. Sin embargo, la capacidad de un sismo para activar deslizamientos depende no solamente de la amplitud de la onda, sino también, de su contenido de frecuencias y la duración del sismo.

Para fines del presente trabajo, se ha considerado el Mapa de Isoaceleraciones para 50 años de vida útil desarrollados por Alva y Castillo en 1985, en la zona de estudio los valores de aceleraciones varían entre 0.34g y 0.32g, disminuyendo conforme se avanza hacia el Este. (Ver Figura N° 2.3)



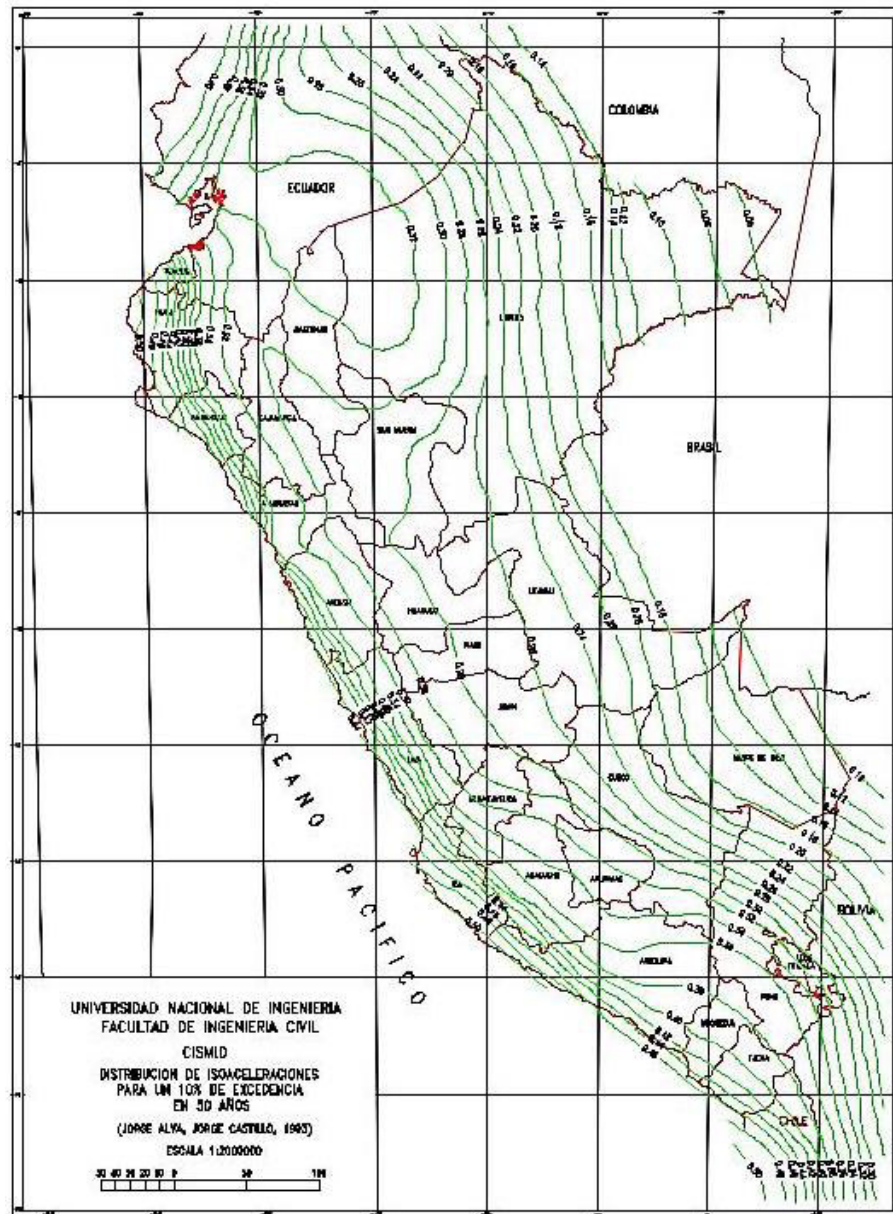


Figura N° 2.3. Mapa de Isoaceleraciones para un 10% de excedencia en 50 años

## 2.7. BASES TEÓRICAS

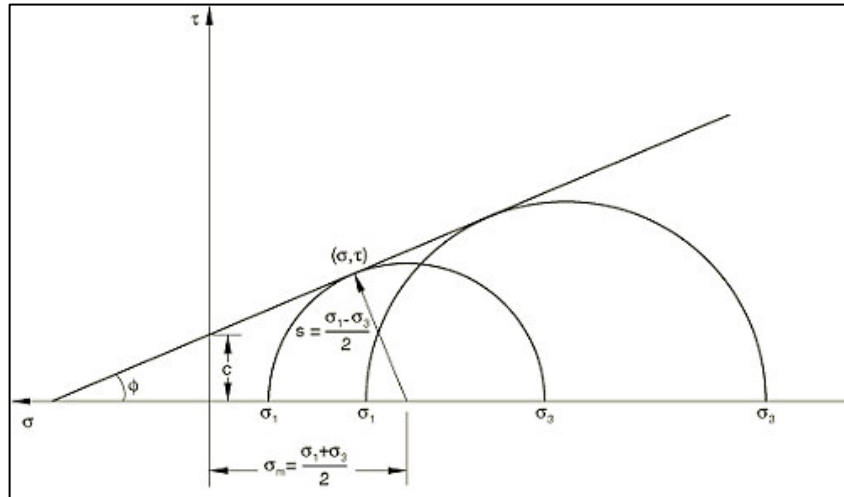
### 2.7.1. Criterio de Mohr-Coulomb

Es un criterio de rotura lineal que expresa la resistencia al corte a lo largo de un plano en un estado triaxial de tensiones, obteniéndose la relación entre los esfuerzos normal y tangencial que actúan en el momento de la rotura. Es representado mediante la siguiente fórmula:

$$\tau = c + \sigma_n \tan \varphi$$

donde:

$\tau$  y  $\sigma_n$  son las tensiones tangencial y normal sobre el plano de rotura.  
 $c$  y  $\phi$  son la cohesión y ángulo de fricción interna del material.



**Figura N° 2.4. Criterio de rotura lineal de Mohr-Coulomb**

Es un criterio de rotura mayormente utilizado para suelos.

**Cohesión:** Es la propiedad por la cual las partículas del terreno se mantienen unidas en virtud de fuerzas internas, que dependen, entre otras cosas del número de puntos de contacto que cada partícula tiene con sus vecinas. En consecuencia, la cohesión es mayor cuanto más finas son las partículas del terreno.

COHESIÓN (KPa)	
Arcilla rígida	20 - 25
Arcilla semirígida	8 - 12
Arcilla blanda	0 - 4
Arcilla arenosa	2 - 8
Limo rígido o duro	0 - 5

**Cuadro N° 2.2. Valores de Cohesión por tipo de suelo.**

**Ángulo de Fricción Interna:** La fricción interna de un suelo está definida por el ángulo cuya tangente es la relación entre la fuerza que resiste el deslizamiento, a lo largo de un plano, y la fuerza normal aplicada sobre dicho plano.

**Cuadro N° 2.3. Valores del ángulo de fricción interna en suelos granulares no plásticos, en función de la granulometría y la compactidad**

Tipo de suelo	Ángulo de fricción interna en función de la densidad inicial (°)		
	Suelto	Medianamente denso	Compacto
Limo no plástico	24 – 28	28 – 32	30 – 34
Arena uniforme fina a media	26 – 30	30 – 34	32 – 36
Arena bien graduada	30 – 34	34 – 40	38 – 46
Mezclas de arena y grava	32 – 36	36 – 42	40 – 48
Grava	36 - 40	38 - 42	42 – 50

**Hough (1957) sugiere emplear los valores más bajos de cada rango para los suelos redondeados o para aquellos que poseen partículas débiles y los más elevados para suelos con partículas angulosas y resistentes.**

### 2.7.2. Criterio de Hoek & Brown

Es un criterio de rotura no lineal más adecuado para evaluar la resistencia de la matriz rocosa isótropa en condiciones triaxiales. Se representa mediante la expresión matemática:

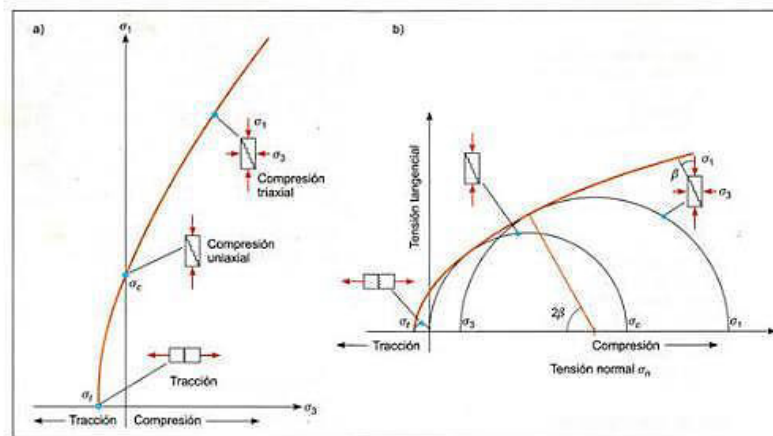
$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{m_i \sigma_{ci} \sigma_3 + \sigma_{ci}^2}$$

donde:

$\sigma_1$  y  $\sigma_3$  son los esfuerzos principales mayor y menor, respectivamente.

$\sigma_{ci}$  es la resistencia a la compresión simple de la matriz rocosa.

$m_i$  es la constante de la roca intacta, que puede obtenerse de la bibliografía cuando no sea posible obtenerla a partir de ensayos triaxiales.



**Figura N° 2.5. Envoltentes de rotura del Criterio de Hoek & Brown en función de a) Esfuerzo principal b) Esfuerzos normal y tangencial.**

**Resistencia a la Compresión Uniaxial (UCS):** Es el esfuerzo de compresión axial, orientado en un solo eje, máximo que puede tolerar una muestra de material antes de fracturarse. Se conoce también como resistencia a la compresión no confinada.

La resistencia a la compresión uniaxial (UCS) de la roca puede ser medida en campo mediante golpes del martillo geológico, de acuerdo al siguiente cuadro:

**Cuadro N° 2.4. Resistencia a la Compresión Simple a partir de índices de campo.**

Resistencia Estimada en Campo	Descripción	Resistencia (MPa)
Se desintegra al golpe firme con la punta del martillo geológico. Puede ser escarbada con una cuchilla.	Muy blanda	1 – 5
Puede ser escarbada con dificultad por una cuchilla. Se puede indentar la punta del martillo geológico con un golpe firme.	Blanda	5 – 25
Se rompe con un golpe firme del martillo geológico. No puede ser escarbada con una cuchilla.	Moderadamente dura	25 – 50
Se rompe con más de un golpe del martillo geológico.	Dura	50 – 100
Se requieren muchos golpes del martillo geológico para romper la roca.	Muy dura	100 – 250
Los golpes del martillo geológico sólo obtienen esquirlas.	Extremadamente dura	>250

**Índice de Resistencia Geológica (GSI):** Es un índice desarrollado por Hoek en 1994 para subsanar los problemas detectados con el uso del RMR para evaluar la resistencia de los macizos rocosos según el criterio generalizado de Hoek-Brown. Se determina en base a dos parámetros: estructura del macizo rocoso (RMS), definida en términos de su grado de fracturamiento y trabazón; y la condición de las discontinuidades presentes en el macizo (JC).

El GSI se obtiene mediante la observación de las condiciones de las discontinuidades en el macizo rocoso en campo. Se utiliza el siguiente cuadro:

**Cuadro N° 2.5. Estimación del GSI en base a descripciones geológicas (Hoek y Brown, 1997)**

ÍNDICE GEOLÓGICO DE RESISTENCIA GSI (geological strength index)		CONDICIÓN DEL FRENTE				
ESTRUCTURA		MUY BUENA (MB) Superficies muy rugosas sin alillar	BUENA (B) Superficies rugosas ligeramente alteradas, con palmas de oxidación	MEDIA (M) Superficies suaves moderadamente alteradas	POBRE (P) Superficies de cicalla muy alteradas con alto contenido de fragmentos rocosos	MUY POBRE (MP) Superficies de cicalla muy alteradas con rellenos arcillosos
	<b>BLOQUES REGULARES (BR)</b> Macizo rocoso sin alillar. Bloques en contacto de forma cúbica formados por tres familias de discontinuidades ortogonales, sin relleno.	80	70			
	<b>BLOQUES IRREGULARES (BI)</b> Macizo rocoso parcialmente alterado. Bloques en contacto de forma angular formados por cuatro o más familias de discontinuidades con rellenos con baja proporción de finos.		60	50		
	<b>BLOQUES Y CAPAS (BC)</b> Macizo alterado, plegado y fracturado con múltiples discontinuidades que forman bloques angulosos y con baja proporción de finos.			40	30	
	<b>FRACTURACIÓN INTENSA (FI)</b> Macizo rocoso muy fracturado formado por bloques angulosos y redondeados, con alto contenido de finos.				20	10

La Constante de la Roca Intacta ( $m_i$ ) se estima del siguiente cuadro:

**Cuadro N° 2.6. Valores de la Constante  $m_i$  de la Roca Intacta para distintos tipos de roca**

Tipo de Roca	Clase	Grupo	Textura			
			Gruesa	Media	Fina	Muy Fina
SEDIMENTARIAS	Clásicas		Conglomerado (22)	Arenisca 19	Limolita 9	Arcillolita 4
	No Clásicas	Orgánicas	←----- Grauwaca -----> (18)			
			←----- Creta -----> 7			
			←----- Carbón -----> (8 - 21)			
	Carbonatos	Brechas (20)	Caliza Esparítica (10)	Caliza Micrítica 8		
	Químicas		Yeso 16	Anhidrita 13		
METAMORFICAS	No Foliadas		Mármol 9	Rocas Córneas (19)	Cuarcita 24	
	Levemente Foliadas		Migmatita (30)	Anfibolita 25 - 31	Milonitas (6)	
	Foliadas		Gneiss 33	Esquistos 4 - 8	Filitas (10)	Pizarras 9
IGNEAS	Intrusivas	Claras	Granito 33		Riolita (16)	Obsidiana (19)
		Oscuras	Granodiorita (30)		Dacita (17)	
			Diorita (28)		Andesita 19	
		Gabbro 27	Dolerita (19)	Basalto (17)		
		Norita 22				
	Extrusivas Piroclásticas		Aglomerados (20)	Brechas (18)	Tobas (15)	

### 2.7.3. Clasificación Geomecánica de Bieniawski (RMR)

La clasificación RMR (Rock Mass Rating) fue desarrollada por Bieniawski en 1973 y tuvo actualizaciones en 1979 y 1989.

Esta clasificación permite evaluar los macizos rocosos de acuerdo con su calidad geomecánica y correlacionarla con otros parámetros geotécnicos del macizo rocoso. Para calcular el índice de calidad RMR se tiene en cuenta los siguientes parámetros geomecánicos:

- Resistencia uniaxial de la matriz rocosa.
- Grado de fracturación en términos del RQD.
- Espaciado de las discontinuidades.
- Condiciones de las discontinuidades.
- Condiciones hidrogeológicas.
- Orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación.

La incidencia de estos parámetros en el comportamiento geomecánico del macizo rocoso se expresa mediante el índice de calidad RMR, que varía de 0 a 100.

Para aplicar la clasificación RMR se divide el macizo rocoso en zonas o tramos que presenten características geológicas más o menos uniformes de acuerdo con las observaciones hechas en campo, para la cual se toman las medidas y datos correspondientes a las discontinuidades y propiedades de la matriz rocosa.

El índice RQD (Rock Quality Designation) fue desarrollado por Deere entre 1963 y 1967. Para su cálculo en taludes rocosos, cuando no se dispone de perforaciones diamantinas, existen dos métodos:

- En función del número de fisuras por metro, determinadas al realizar el levantamiento litológico-estructural en el área o zona predeterminada. Se aplica la siguiente fórmula:

$$RQD = 100e^{-0.1\lambda} \times (0.1\lambda + 1)$$

$$\text{donde } \lambda = \frac{N^{\circ} \text{ de fisuras}}{\text{Espacio}}$$

- En función del número de fisuras por metro cúbico ( $J_v$ ), determinadas al realizar el levantamiento litológico-estructural en el área. (Para rocas sin arcilla,  $RQD = 100$  para  $J_v < 4.5$ )

$$RQD = 115 - 3.3(J_v)$$

El  $J_v$  se calcula sumando el número de fisuras por metro que corten de manera independiente a cada uno de los 3 ejes de un cubo imaginario en el cuerpo rocoso materia de análisis. No se debe contar una fisura en más de un eje, por ejemplo, si una fisura corta al eje x y al eje y, se contará bien en el eje x o en el eje y pero no en ambos.

Para tener una mayor precisión, se mide una longitud adecuada en cada eje y luego se halla el número de fisuras en un solo metro. Así se tendrá:

$$J_v(\text{eje}) = \frac{\text{n}^\circ \text{ de fisuras}}{\text{longitud del eje}}$$

$$J_v = J_{v_x} + J_{v_y} + J_{v_z}$$

Los valores de los parámetros de la clasificación RMR que se indican en la tabla N° 2.7 son sumados. Al resultado obtenido se le aplica un ajuste por orientación de las discontinuidades de acuerdo con el tipo de obra a ejecutarse, como se observa en la tabla N° 2.8. El resultado final será el valor del RMR del macizo rocoso.

**Cuadro N° 2.7. Parámetros y Valores de la Clasificación de Bieniawski**

Parámetro		Escala de valores							
1	Resistencia de la roca inalterada	Índice de la carga de punta	> 8 MPa	4-8 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Para esta escala tan baja se prefiere la prueba de la resistencia a la comp. uniaxial		
		Resistencia a la comp. uniaxial	> 200 MPa	100-200 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	10-25 MPa	3-10 MPa	1-3 MPa
	<b>Valoración</b>	<b>15</b>	<b>12</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	
2	RQD		90-100 %	75-90 %	50-75 %	25-50 %	< 25 %		
	<b>Valoración</b>		<b>20</b>	<b>17</b>	<b>13</b>	<b>8</b>	<b>33</b>		
3	Espaciamiento de juntas		> 3 m	1-3 m	0.3-1 m	50-300 mm	< 50 mm		
	<b>Valoración</b>		<b>30</b>	<b>25</b>	<b>20</b>	<b>10</b>	<b>5</b>		
4	Estado de las fisuras		Superficies muy rugosas, sin continuidad, sin separación. Paredes de roca dura	Superficies algo rugosas, separación $n < 1$ mm, paredes de roca dura	Superficies algo rugosas, separación $< 1$ mm, paredes de roca suave	Superficies pulidas o relleno $< 5$ mm, esp. O fisuras abiertas 1-5 mm, fisuras continuas	Relleno blando $< 5$ mm o fisuras abiertas $< 5$ mm, fisuras continuas		
	<b>Valoración</b>		<b>25</b>	<b>20</b>	<b>12</b>	<b>6</b>	<b>0</b>		
5	Aguas subterráneas	Cantidad de infiltración en lt/min del túnel		Ninguna		< 25 litros/min	25-125 litros/min	> 125 litros/min	
		Relación	Presión de agua	0		0.0-0.2	0.2-0.5	> 0.5	
	Esfuerzo principal o mayor		Totalmente seco		Solo húmedo (agua de intersticios)	Ligera presión de agua	Serios problemas de agua		
	<b>Valoración</b>		<b>10</b>		<b>7</b>	<b>4</b>	<b>0</b>		

**Cuadro N° 2.8. Ajuste por Orientación de las Discontinuidades**

AJUSTE POR ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES						
Orientaciones del rumbo y buzamiento		Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Puntaje según el tipo de trabajo	Túneles y minas (T)	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones (F)	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes (S)	0	-5	-25	-50	-60



### 2.7.4. Clasificación Geomecánica de Romana (SMR)

La clasificación SMR (Slope Mass Rating) se basa en una corrección del RMR, propuesta por Manuel Romana en 1985 con la finalidad de poder predecir el comportamiento de los taludes en roca con mayor precisión.

En esta clasificación se utilizan parámetros como la dirección del buzamiento, el buzamiento de cada familia de juntas ( $a_j$ ,  $b_j$ ) y del talud a estudiar ( $a_s$ ,  $b_s$ ).

El valor del SMR es el resultado de la suma del valor del RMR con cuatro factores:

$$SMR = RMR + (F_1 \times F_2 \times F_3) + F_4$$

**Cuadro N° 2.9. Parámetros del SMR**

<i>Parámetros del SMR</i>			
<i>Dirección de buzamiento de la discontinuidad</i>	$a_j$	<i>Buzamiento de la discontinuidad</i>	$b_j$
<i>Dirección de buzamiento del talud</i>	$a_s$	<i>Buzamiento del talud</i>	$b_s$

El factor  $F_1$  depende del paralelismo entre las direcciones de las juntas y del talud, el factor  $F_2$  del buzamiento de la familia de juntas y el factor  $F_3$  de la diferencia de buzamientos entre la familia de juntas y el talud. El producto de estos tres factores ( $F_1 \times F_2 \times F_3$ ) se denomina factor de ajuste.

**Cuadro N° 2.10. Determinación del Factor de Ajuste  $F_1$**

<i>Determinación del factor de ajuste <math>F_1</math></i>						
<i>Caso</i>		<i>Muy favorable</i>	<i>Favorable</i>	<i>Regular</i>	<i>Desfavorable</i>	<i>Muy desfavorable</i>
<i>Planar</i>	$a_s - a_j$	$> 30^\circ$	$30^\circ - 20^\circ$	$20^\circ - 10^\circ$	$10^\circ - 5^\circ$	$< 5^\circ$
<i>Volteo</i>	$a_s - a_j - 180$					
<i>Valores de <math>F_1</math></i>		<i>0.15</i>	<i>0.40</i>	<i>0.70</i>	<i>0.85</i>	<i>1.00</i>

**Cuadro N° 2.11. Determinación del Factor de Ajuste  $F_2$**

<i>Determinación del factor de ajuste <math>F_2</math></i>						
<i>Caso</i>		<i>Muy favorable</i>	<i>Favorable</i>	<i>Regular</i>	<i>Desfavorable</i>	<i>Muy desfavorable</i>
<i>Planar</i>	$b_j$	$< 20^\circ$	$20^\circ - 30^\circ$	$30^\circ - 35^\circ$	$35^\circ - 45^\circ$	$> 45^\circ$
<i>Valores de <math>F_2</math></i>		<i>0.15</i>	<i>0.40</i>	<i>0.70</i>	<i>0.85</i>	<i>1.00</i>

Nota: Para el caso de falla por volteo, considerar  $F_2 = 1$

**Cuadro N° 2.12. Determinación del Factor de Ajuste  $F_3$** 

<b>Determinación del factor de ajuste <math>F_3</math></b>						
<i>Caso</i>		<i>Muy favorable</i>	<i>Favorable</i>	<i>Regular</i>	<i>Desfavorable</i>	<i>Muy desfavorable</i>
<i>Planar</i>	$b_j - b_s$	$> 10^\circ$	$10^\circ - 0^\circ$	$0^\circ$	$0^\circ - (-10^\circ)$	$< -10^\circ$
<i>Volteo</i>	$b_j + b_s$	$< 110^\circ$	$110^\circ - 120^\circ$	$> 120^\circ$	--	--
<i>Valores de <math>F_3</math></i>		0	-6	-25	-50	-60

El método empleado en la excavación del talud también es tenido en cuenta por esta clasificación mediante el factor  $F_4$ .

**Cuadro N° 2.13. Determinación del Factor de Ajuste  $F_4$** 

<b>Factor de Ajuste según el Método de Excavación <math>F_4</math></b>					
<b>Método</b>	<i>Talud Natural</i>	<i>Pre-Corte</i>	<i>Voladura controlada</i>	<i>Voladura regular</i>	<i>Voladura deficiente</i>
$F_4$	15	10	8	0	-8

Las rocas se agrupan en cinco clases dependiendo del valor del índice SMR designándolas como muy buenas, buenas, regulares, malas y muy malas.

**Cuadro N° 2.14. Calidad de la Roca según el SMR**

<b>CLASE</b>	<b>V</b>	<b>IV</b>	<b>III</b>	<b>II</b>	<b>I</b>
<i>ROCA</i>	<i>Muy mala</i>	<i>Mala</i>	<i>Regular</i>	<i>Buena</i>	<i>Muy Buena</i>
<i>SMR</i>	0 - 20	21 - 40	41 - 60	61 - 80	81 - 100
<i>Estabilidad</i>	<i>Totalmente inestable</i>	<i>Inestable</i>	<i>Parcialmente estable</i>	<i>Estable</i>	<i>Totalmente estable</i>
<i>Roturas</i>	<i>Grandes roturas por planos continuos o por masa</i>	<i>Juntas o grandes cuñas</i>	<i>Algunas juntas o muchas cuñas</i>	<i>Algunas cuñas</i>	<i>Ninguna</i>

### 2.7.5. Coeficiente de Permeabilidad

El coeficiente de permeabilidad de un suelo ( $k$ ), es el parámetro que mide la facilidad con la que el agua circula a través de éste. Fue enunciado por primera vez por Darcy (1856) y se mide en unidades de velocidad (m/s, m/día, cm/s) La permeabilidad dependerá de los siguientes factores:

- La granulometría, que es la distribución de los tamaños de las partículas que conforman el suelo, siendo el valor de  $k$  menor cuanto más pequeñas son las partículas del suelo.

- La densidad del suelo, ya que cuanto más denso el suelo menor será su volumen de espacios vacíos, y menor será también  $k$ .
- La forma y orientación de las partículas, ya que si las condiciones de sedimentación dan lugar a orientaciones preferenciales, la permeabilidad podrá variar sustancialmente en función de la dirección de flujo.

**Cuadro N° 2.15. Rango de valores del coeficiente de permeabilidad en suelos**

Tipo de Suelo	$k$ (cm/s)
Grava mal graduada (GP)	$\geq 1$
Grava uniforme (GP)	0.2 – 1
Grava bien graduada (GW)	0.05 – 0.3
Arena uniforme (SP)	$5 \times 10^{-3} - 0.2$
Arena bien graduada (SW)	$10^{-3} - 0.1$
Arena limosa (SM)	$10^{-3} - 5 \times 10^{-3}$
Arena arcillosa (SC)	$10^{-4} - 10^{-3}$
Limo de baja plasticidad (ML)	$5 \times 10^{-5} - 10^{-8}$
Arcilla de baja plasticidad (CL)	$10^{-5} - 10^{-8}$

### 2.7.6. Correlación del Ensayo de DPL con el SPT para la obtención de $\Phi$

Para realizar la correlación del DPL con el SPT se obtiene un promedio de los valores correspondientes a los últimos golpes del ensayo de DPL. El resultado se iguala con el número de golpes  $N$  del ensayo SPT.

El siguiente cuadro muestra la correlación entre rangos de valores del SPT y el ángulo de fricción interna ( $\phi$ ):

**Cuadro N° 2.16. Correlación entre el SPT y el ángulo de fricción interna de suelos granulares**

N(SPT)	Compacidad	$\phi$ (°)
0 – 4	Muy suelta	28
4 – 10	Suelta	28 – 30
10 – 30	Moderadamente densa	30 – 36
30 – 50	Densa	36 – 41
> 50	Muy densa	> 41

Para determinar el ángulo de fricción interna ( $\phi$ ) a partir del número de golpes N del SPT, se aplica la siguiente fórmula:

$$\phi = \sqrt{20 \times N} + 15$$

## 2.8. CRITERIOS PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES

En una obra como la construcción de una carretera, donde se ejecutan excavaciones importantes, es necesario proyectar taludes de corte. El modelamiento de los taludes es parte de la práctica de la Geotecnia, teniendo como finalidad analizar las condiciones de estabilidad de los taludes naturales y la seguridad y funcionalidad del diseño en los taludes artificiales.

Los taludes deben ser diseñados adecuadamente de tal manera que se garantice su estabilidad. Por lo tanto, el problema consiste básicamente en analizar la estabilidad, para la cual se deben determinar los mecanismos potenciales de falla, la susceptibilidad de los taludes a diferentes mecanismos de activación, comparar la efectividad de las diferentes alternativas de estabilización y su efecto sobre la estabilidad del talud, y realizar un diseño óptimo en términos de seguridad, confiabilidad y economía.

Los taludes de carreteras en el Perú son clasificados y excavados de acuerdo con las Especificaciones Técnicas EG-2013 del Manual de Carreteras del MTC, Inciso 202.05b, según la cual se tienen tres tipos de materiales para la excavación clasificada:

### 1. Excavación en roca fija

Comprende la excavación de masas de rocas mediana o fuertemente litificadas que, debido a su cementación y compactación, requieren el empleo sistemático de explosivos.

Para iniciar los trabajos de Perforación y Voladuras de rocas se deberá presentar en primer lugar un Procedimiento Ejecutivo con carácter de obligatoriedad para ser aprobado por la supervisión, en el cual debe establecer los criterios de voladuras, las mallas de perforación; las cargas respectivas, los tipos de explosivos, los equipos a utilizar, etc.

Considerando que se cumpla con los requerimientos ofrecidos en la propuesta técnico económica del Contratista para realizar esta partida de voladura en roca. Este procedimiento deberá estar en concordancia con el Estudio Geológico y Geotécnico que forma parte del Estudio Definitivo.

## 2. Excavación en roca fracturada (suelta)

Comprende la excavación de masas de roca fracturada cuyo grado de cementación requiere el uso de maquinaria con accesorios auxiliares (rippers u otros) y explosivos, de ser el caso, explosivos en pequeña magnitud.

Comprende, también, la excavación, remoción y/o fragmentación de bloques con volumen individual mayor de un metro cúbico ( $1 \text{ m}^3$ ), procedentes de macizos alterados o de masas transportadas por acción natural y que para su fragmentación requieran el uso de explosivos.

## 3. Excavación en material suelto

Comprende la excavación de materiales no considerados en los numerales (1) y (2) de esta Subsección (excavación en roca fija y fracturada o blanda), cuya remoción sólo requiere el empleo de maquinaria y/o mano de obra.

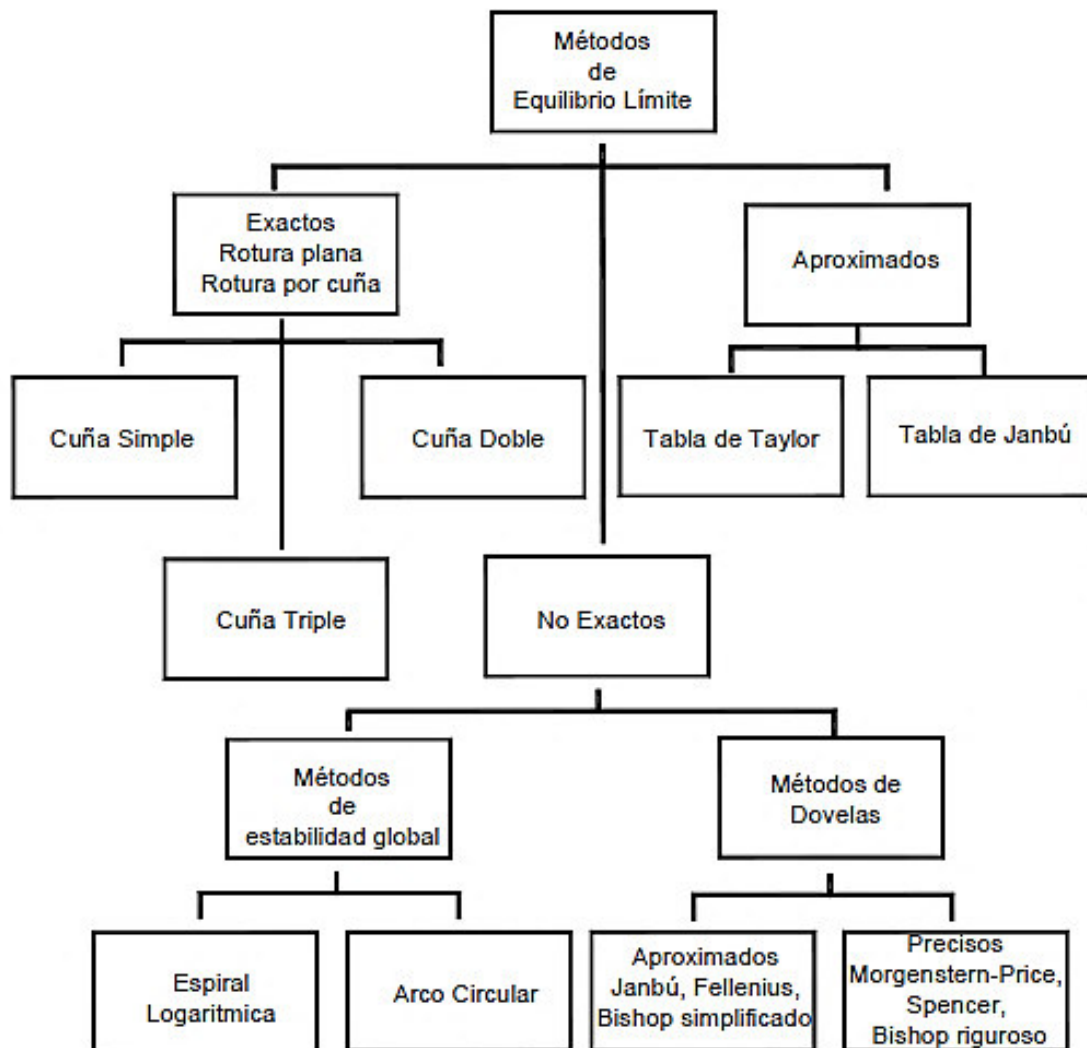
La inclinación de los taludes se asigna de acuerdo con los porcentajes de roca fija, roca suelta y material suelto que los conforman, como se indica en el Cuadro N° 2.17.

**Cuadro N° 2.17. Asignación de Taludes por tipo de material**

CLASE DE TERRENO	TALUD (H:V)		
	V ≤ 5m	5m <V ≤ 10m	V > 10m
Roca fija	1:10	1:10*	**
Roca suelta	1:4 – 1:6	1:2 – 1:4*	**
Conglomerados cementados	1:4	*	**
Suelos consolidados compactos	1:4	*	**
Conglomerados comunes	1:3	*	**
Tierra Compacta	1:1 – 1:2	*	**
Tierra suelta	1:1	*	**
Arenas sueltas	2:1	*	**
Zonas blandas con abundante arcilla o zonas humedecidas por filtraciones	Hasta 2:1		
*Requiere banquetta o análisis de estabilidad ** Requiere análisis de estabilidad			

**Fuente: Manual de Carreteras del MTC 2013. Cap. IV – Suelos. Cuadro 4.12**

Para el análisis de estabilidad de taludes existen diversos métodos de cálculo. En el Gráfico. N° 2.1 se muestra la clasificación de estos métodos, y en el Cuadro N° 2.18 se indica las características de los principales métodos de análisis de estabilidad de taludes.



**Gráfico N° 2.1. Métodos de Análisis de Estabilidad de Taludes**

**Cuadro N° 2.18. Características de los principales métodos de Análisis de Estabilidad de Taludes**

<b>Método</b>	<b>Superficies de Falla</b>	<b>Equilibrio</b>	<b>Características</b>
Talud infinito	Rectas	Fuerzas	Bloque delgado con nivel freático, falla paralela a la superficie.
Bloques o cuñas	Cuñas con tramos rectos	Fuerzas	Cuñas simples, dobles o triples, analizando las fuerzas que actúan sobre cada cuña.
Espiral logarítmica (Frohlich, 1953)	Espiral logarítmica	Fuerzas y momentos	Superficie de falla en espiral logarítmica. El radio de la espiral varía con el ángulo de rotación.
Arco circular, (Fellenius, 1922)	Circulares	Momentos	Círculo de falla, el cual es analizado como un solo bloque. Se requiere que el suelo sea cohesivo ( $\phi = 0$ ).
Ordinario o de Fellenius (Fellenius 1927)	Circulares	Fuerzas	No tiene en cuenta las fuerzas entre dovelas.
Bishop simplificado (Bishop 1955)	Circulares	Momentos	Asume que todas las fuerzas de cortante, entre dovelas, son cero.
Janbú Simplificado (Janbú 1968)	Cualquier forma	Fuerzas	Asume que no hay fuerza de cortante entre dovelas.
Sueco Modificado. U.S. Army Corps of Engineers (1970)	Cualquier forma	Fuerzas	Las fuerzas entre dovelas tienen la misma dirección que la superficie del terreno.
Lowe y Karafiath (1960)	Cualquier forma	Fuerzas	Las fuerzas entre dovelas están inclinadas en un ángulo igual al promedio de la superficie del terreno y las bases de las dovelas.
Spencer (1967)	Cualquier forma	Momentos y fuerzas	La inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada tajada, pero son desconocidas.
Morgenstern y Price (1965)	Cualquier forma	Momentos y fuerzas	Las fuerzas entre dovelas, se asume, que varían de acuerdo con una función arbitraria.
Sarma (1973)	Cualquier forma	Momentos y fuerzas	Utiliza el método de las dovelas en el cálculo de la magnitud de un coeficiente sísmico requerido para producir la falla.

### 2.8.1. Método de Cálculo de Taludes por Equilibrio Límite

Es el método más empleado en la práctica para el cálculo de estabilidad de taludes y se basa fundamentalmente en una consideración de equilibrio plástico límite. Un análisis de límite de equilibrio permite obtener un factor de seguridad o a través de un análisis regresivo, obtener los valores de la resistencia al cortante en el momento de la falla.

La mayoría de los métodos de equilibrio límite (MEL) tienen en común la comparación de los momentos o fuerzas resistentes y actuantes sobre una determinada superficie de falla. Las variaciones principales

entre los diversos métodos radican en el tipo de superficie de falla y la forma cómo actúan internamente las fuerzas sobre esta misma superficie. Una vez que se han determinado las propiedades de los materiales que conforman el talud como la resistencia al cortante, presiones de poros u otras propiedades geotécnicas como la cohesión, el ángulo de fricción interna y el peso unitario, se puede proceder a calcular el factor de seguridad del talud.

### 2.8.1.1. Factor de Seguridad en Taludes

Es el factor de amenaza calculado para que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña. Se define como la relación entre la fuerza total disponible para resistir el deslizamiento y la fuerza total que tiende a inducir el deslizamiento; es decir:

$$FS = \frac{\text{Fuerza Resistente}}{\text{Fuerza Actuante}}$$

En las superficies circulares donde existe un centro de giro y momentos resistentes y actuantes:

$$FS = \frac{\text{Momento resistente disponible}}{\text{Momento actuante}}$$

La condición de equilibrio límite existe cuando el FS es igual a 1. Cuando el talud es estable, las fuerzas resistentes serán mayores que las fuerzas actuantes y cuando el talud es inestable ocurrirá el caso contrario. Por lo tanto el FS es un índice que define la estabilidad o inestabilidad de un talud.

### 2.8.1.2. Método de Cálculo de Taludes por Dovelas

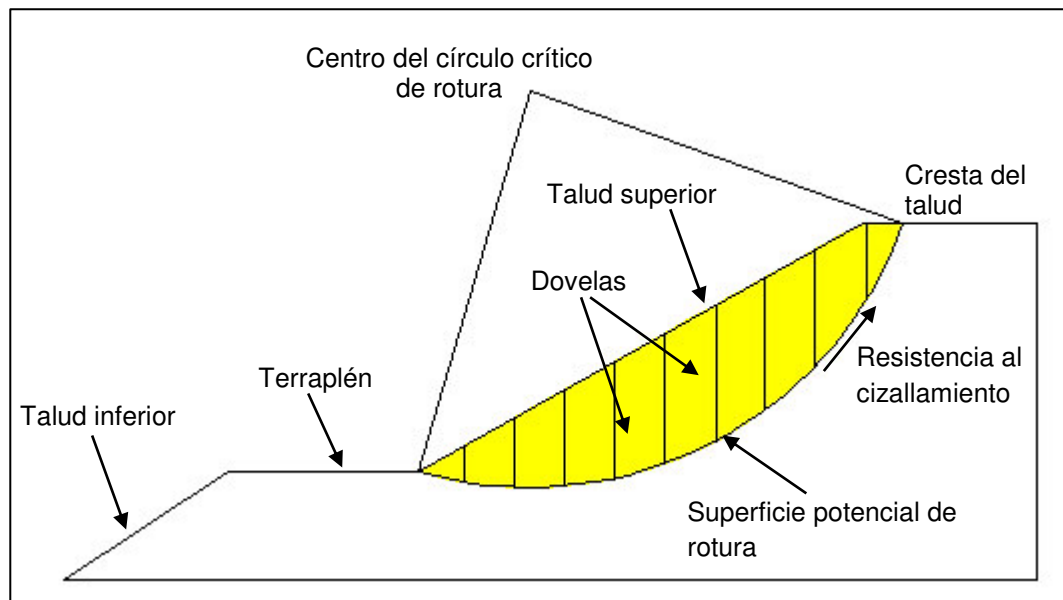
Los métodos de dovelas analizan la estabilidad del talud en una sección transversal del mismo, ya que considera el cálculo en dos dimensiones. La zona de terreno potencialmente deslizante se divide en un número de dovelas (tajadas o fajas verticales), estudiándose el equilibrio de cada una de ellas. El número de tajadas depende de la geometría del talud y de la precisión requerida para el análisis. Entre mayor sea el número de tajadas, se supone que los resultados serán más precisos.

El uso extendido que tienen actualmente los métodos de dovelas se debe a que se pueden aplicar a una gran variedad de problemas con



un grado razonable de exactitud. Permiten considerar la acción de presiones intersticiales, la existencia de empujes actuando sobre el talud, la existencia de diferentes características y, en muchos casos, son aplicables a superficies de rotura de cualquier forma.

Entre los diversos métodos que utilizan dovelas existen diferencias principalmente en lo referente a las fuerzas que actúan sobre las paredes laterales de estas fajas. En tal sentido, existen métodos aproximados como el método ordinario o de Fellenius, que no tiene en cuenta las fuerzas entre tajadas; los métodos simplificados de Bishop y de Janbu, que suponen que las fuerzas laterales entre dovelas son horizontales. Otros métodos de cálculo por dovelas son los métodos precisos, como los de Morgenstern-Price y Spencer, que utilizan una función para calcular las fuerzas entre dovelas.



**Figura N° 2.6. División de la masa deslizante en dovelas**

**Cuadro N° 2.19. Forma de calcular el factor de seguridad de cada método**

<b>MÉTODO</b>	<b>Equilibrio de Fuerzas Verticales</b>	<b>Equilibrio de Fuerzas Horizontales</b>	<b>Equilibrio de Momentos</b>
Ordinario o de Fellenius	SI	NO	SI
Simplificado de Bishop	SI	NO	SI
Simplificado de Jambu	SI	SI	NO
Jambu riguroso	SI	SI	**
Spencer	SI	SI	SI
Morgenstern-Price	SI	SI	SI

\*\*El equilibrio de momentos es utilizado para calcular las fuerzas entre dovelas

### 2.8.1.3. Método de Bishop simplificado

Bishop (1955) presentó un método utilizando dovelas (rebanadas) y teniendo en cuenta el efecto de las fuerzas entre estas. Bishop asume que las fuerzas entre dovelas son horizontales es decir, que no tiene en cuenta las fuerzas de cortante. La solución rigurosa de Bishop es muy compleja y por esta razón, se utiliza una versión simplificada de su método, de acuerdo con la expresión:

$$F.S. = \frac{\sum \left[ \frac{c' \Delta l \cos \alpha + (W' - u \Delta l \cos \alpha) \tan \phi'}{\cos \alpha + (\sin \alpha \tan \phi') / FS} \right]}{\sum W \sin \alpha}$$

Donde:

$\Delta l$  = longitud de arco de la base de la dovela

$W$  = Peso de cada dovela

$C'$ ,  $\phi$  = Parámetros de resistencia del suelo (cohesión, ángulo de fricción interna)

$u$  = Presión de poros en la base de cada dovela

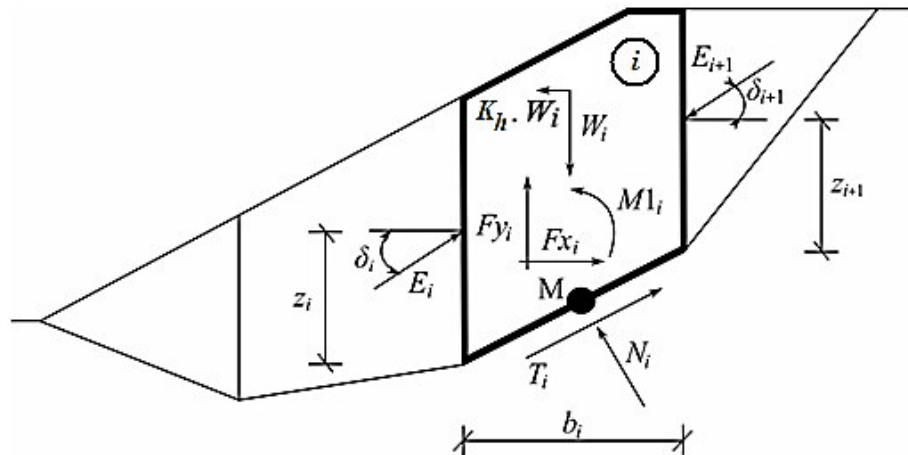
$\alpha$  = Ángulo del radio y la vertical en cada dovela.

El método simplificado de Bishop es uno de los métodos más utilizados actualmente para el cálculo del factor de seguridad de los taludes. Existen métodos de mayor precisión que el método de Bishop; sin embargo, las diferencias de los factores de seguridad calculados, no son muy grandes. La principal restricción del método de Bishop simplificado es que solamente considera las superficies de rotura circulares.

### 2.8.1.4. Método de Spencer

El método de Spencer (1967) se basa en el supuesto de que las fuerzas entre dovelas son paralelas las unas con las otras, o sea, que tienen el mismo ángulo de inclinación. La inclinación específica de estas fuerzas entre dovelas es desconocida y se calcula como una de las incógnitas en la solución de las ecuaciones de equilibrio.

Este método satisface todas las condiciones de equilibrio, tanto de fuerzas como de momentos con la resolución de 3 incógnitas N. Es aplicable tanto para roturas circulares como no circulares.



**Figura N° 2.7. Diagrama de Fuerzas de la Dovela. Método de Spencer**

$W_i$  – peso de la dovela, incluyendo la influencia del coeficiente sísmico vertical  $K_v$

$K_h * W_i$  – Fuerza de inercia horizontal representando el efecto de un sismo,  $K_h$  es el factor de la aceleración sísmica horizontal

$N_i$  – Fuerza normal a la superficie de deslizamiento

$T_i$  – Fuerza tangencial a la superficie de deslizamiento

$E_i, E_{i+1}$  – Fuerzas ejercidas por las dovelas contiguas, inclinadas respecto a la horizontal con un ángulo  $\delta$

$F_{x_i}, F_{y_i}$  – Otras fuerzas horizontales y verticales actuando en el bloque

$M_{1_i}$  - momento de fuerzas  $F_{x_i}, F_{y_i}$  girando sobre el punto M, que es el centro del segmento i-ésimo de la superficie de deslizamiento

$U_i$  – Presión de poros resultante en el segmento i-ésimo de la superficie de deslizamiento

La solución adopta las siguientes fórmulas:

(1) Relación entre los el valor efectivo y total de la fuerza normal actuante sobre la superficie de deslizamiento:

$$N_i = N'_i + U_i$$

- (2) Ecuación correspondiente a la condición de Mohr-Coulomb representando la relación entre las fuerzas normales y tangenciales en un segmento dado de la superficie de deslizamiento:

$$T_i = (N_i - U_i) \tan \varphi_i + c_i \frac{b_i}{\cos \alpha_i} = N'_i \tan \varphi_i + c_i \frac{b_i}{\cos \alpha_i}$$

- (3) Ecuación de equilibrio de fuerzas en la dirección normal al segmento i-ésimo de la superficie de deslizamiento:

$$N'_i + U_i - W_i \cos \alpha_i + k_r W_i \sin \alpha_i + Fy_i \cos \alpha_i - Fx_i \sin \alpha_i + E_{i+1} \sin(\alpha_i - \delta_{i+1}) - E_i \sin(\alpha_i - \delta_i) = 0$$

- (4) Ecuación de equilibrio a lo largo del segmento i-ésimo de la superficie de deslizamiento. SF es el factor de seguridad, el cual es usado para simplificar los parámetros del suelo:

$$N'_i \frac{\tan \varphi_i}{SF} + \frac{c_i}{SF} \frac{b_i}{\cos \alpha_i} - W_i \sin \alpha_i - k_r W_i \cos \alpha_i + Fy_i \sin \alpha_i + Fx_i \cos \alpha_i - E_{i+1} \cos(\alpha_i - \delta_{i+1}) + E_i \cos(\alpha_i - \delta_i) = 0$$

- (5) Ecuación de equilibrio de momentos sobre el punto M:

$$E_{i+1} \cos \delta_{i+1} \left( z_{i+1} - \frac{b_i}{2} \tan \alpha_i \right) - E_{i+1} \sin \delta_{i+1} \frac{b_i}{2} - E_i \cos \delta_i \left( z_i - \frac{b_i}{2} \tan \alpha_i \right) - E_i \sin \delta_i \frac{b_i}{2} + M1_i - k_r W_i (y_M - y_{gi}) = 0$$

- Modificando las ecuaciones (3) y (4) se obtiene la siguiente fórmula (6):

$$E_{i+1} = \frac{\left[ (W_i - Fy_i) \cos \alpha_i - (K_r W_i - Fx_i) \sin \alpha_i - U_i + E_i \sin(\alpha_i - \delta_i) \right] \frac{\tan \varphi_i}{SF} + \frac{c_i}{SF} \frac{b_i}{\cos \alpha_i} - (W_i - Fy_i) \sin \alpha_i - (K_r W_i - Fx_i) \cos \alpha_i + E_i \cos(\alpha_i - \delta_i)}{\sin(\alpha_i - \delta_{i+1}) \frac{\tan \varphi_i}{SF} + \cos(\alpha_i - \delta_{i+1})}$$

Esta fórmula permite calcular todas las fuerzas  $E_i$  actuantes entre los bloques para valores dados de  $\delta_i$  y el factor de seguridad (SF). Esta solución asume que en el origen de la superficie de deslizamiento el valor de E es conocido e igual a cero.

- De la ecuación (5) de equilibrio de momentos se obtiene la siguiente ecuación (7):

$$z_{i+1} = \frac{\frac{b_i}{2} \left[ E_{i+1} (\sin \delta_{i+1} - \cos \delta_{i+1} \tan \alpha_i) + E_i (\sin \delta_i - \cos \delta_i \tan \alpha_i) \right] + E_i z_i \cos \delta_i - M1_i + K_r W_i (y_M - y_{gi})}{E_{i+1} \cos \delta_{i+1}}$$

Esta fórmula permite calcular para un valor dado de  $\delta$  todos los brazos z de las fuerzas actuantes sobre los bloques, sabiendo el valor

sobre la izquierda del origen de la superficie de deslizamiento, donde  $z_1 = 0$ .

El factor de seguridad SF se determina empleando el siguiente proceso iterativo:

- El valor inicial de  $\delta$  es cero.
- El factor de seguridad SF para un valor dado de  $\delta$  se obtiene de la ecuación (6), mientras se asuma que el valor de  $E_{n+1} = 0$  al final de la superficie de deslizamiento.
- El valor de  $\delta$  es obtenido de la ecuación (7) usando los valores de E determinados en el paso anterior con el requerimiento de hacer el momento en el último bloque igual a cero. La Ecuación (7) no provee el valor de  $z_{n+1}$  igual a cero. Para este valor se debe satisfacer la ecuación de equilibrio de momentos (5).
- Los pasos 2 y 3 son repetidos hasta que el valor de  $\delta$  no cambie.

El método de Spencer se considera muy preciso y se puede aplicar a casi todo tipo de geometría de taludes y perfiles de suelo. Además, constituye un procedimiento más completo y sencillo para el cálculo del factor de seguridad.

### 2.8.2. Análisis Retrospectivo

El análisis retrospectivo (Back Analysis) es usado comúnmente en la ingeniería geotécnica para estimar la resistencia in situ del suelo. Esta resistencia se representa generalmente por los parámetros de resistencia del criterio de rotura de Mohr-Coulomb, cohesión  $c$  y ángulo de fricción interna  $\phi$ . El análisis retrospectivo de fallas de taludes es un método efectivo que incorpora importantes factores que muchas veces no son bien representados en ensayos de laboratorio, tales como la estructura del suelo, la no homogeneidad, influencia de las fisuras en la resistencia al corte y el efecto de los planos de debilidad dentro de la masa de suelo.

El análisis retrospectivo asume un factor de seguridad igual a la unidad y considera la geometría original en el momento de la falla. Luego se estima la resistencia al corte del suelo que fue movilizada en la falla consistente con un modelo 2D realizado con un método seleccionado (Morgenstern-Price, Spencer, Janbu, Bishop, etc.) para un FS=1.

## 2.9. GLOSARIO DE TÉRMINOS

**TALUD**: Superficie inclinada respecto a la horizontal que posee una pendiente que ha sido modificada natural o artificialmente.

**LADERA**: Es una superficie que posee una pendiente o cambios de altura significativa, formada naturalmente por procesos geodinámicos.

**PLATAFORMA**: Superficie horizontal construida sobre el terreno natural, en el cual se ejecutan trabajos de corte y relleno, siendo la base de sustentación de la carretera.

**PLAZOLETA**: Explanación que se ejecuta hacia el talud interior consistente de una superficie de 3m de ancho que sirve como paradero, para adelantamiento y/o vuelta de los vehículos.

**SUBRASANTE**: Superficie de la carretera terminada a nivel de movimiento de tierras (corte o relleno), sobre la cual se coloca la sub-base.

**RASANTE**: Nivel terminado de la superficie de rodadura.

**CANTERA**: Terreno del que se extrae roca, fragmentos rocosos y suelos como materia prima para materiales de construcción (concreto, asfalto, material granular para sub-base y base, roca para muros de gaviones, etc) o para su aplicación en rellenos (terraplenes y pedraplenes).

**DME**: Depósito de materiales excedentes. Botadero de materiales inutilizables, producto de las excavaciones, los cuales se depositan en capas sucesivas compactadas, dispuestos generalmente en banquetas con una inclinación de taludes adecuada que garantice su estabilidad.

**TERRAPLÉN**: Suelo con el que se rellena un terreno para levantar su nivel y obtener un plano de apoyo adecuado para las capas suprayacentes de la carretera. El talud de un terraplén de acuerdo con las especificaciones técnicas tiene una inclinación de 1.5:1 (H:V) equivalente a 33.7°.

En los terraplenes se distinguirán tres partes o zonas constitutivas:

- **Base**: parte del terraplén que está por debajo de la superficie original del terreno que ha sido variada por el retiro de material inadecuado. Los materiales que la conforman deben tener un tamaño máximo de

15 cm, deben tener porcentaje de fragmentos de roca > 7.62 cm menor del 30% y un Índice de Plasticidad menor al 11%

- **Cuerpo:** parte del terraplén comprendida entre la base y la corona. Tamaño máximo de materiales: 10 cm, porcentaje de fragmentos de roca > 7.62 cm menor del 20% y un IP < 11%.
- **Corona:** parte superior del terraplén comprendida entre el nivel superior del cuerpo y el nivel de subrasante, construida con un espesor de 30 cm. Tamaño máximo de materiales: 7.5 cm, IP < 10%.

Además deberán satisfacer los siguientes requisitos de calidad:

- Desgaste de los Ángeles: 60% máx. (MTC E 207)
- Tipo de Material: A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-6 y A-3

**PEDRAPLÉN:** Relleno conformado por material resistente y permeable con alto ángulo de fricción interna, es decir, por bloques rocosos de diferentes tamaños que cumplan las condiciones granulométricas y de desgaste por abrasión indicados en las especificaciones técnicas:

- El tamaño máximo no deberá ser superior a los 2/3 del espesor de la capa compactada. La Base y el Cuerpo, éstos deben ser construidos en 3 capas sucesivas, de piedra en la parte inferior, de grava en la parte intermedia y de arena gruesa y grava fina en la parte superior. Los espesores mínimos de dichas capas serán: 0,60, 0,25 y 0,15 m, respectivamente.
- El material por utilizar en la construcción del pedraplén no podrá presentar un desgaste mayor del 30%.

**MAMPOSTERÍA:** Estructuras de diversos tipos, de piedra labrada, ladrillo u otros materiales, generalmente asentados con mortero de cemento. Comprende estructuras de mampostería de piedra y de las partes de mampostería de piedra en estructuras mixtas como muros, pilares de alcantarillas de cajón de piedra, alcantarillas de arco, etc.

**MURO DE GAVIONES:** Un gavión consiste de una caja prismática de forma rectangular con un enmallado metálico, la cual se rellena con fragmentos de roca seleccionada. Se fabrican con mallas de triple torsión de alambre de acero, al que se le da tres capas de galvanizado. Las aristas de los gaviones se refuerzan también con alambre, los cuales también se utilizan para el amarre de las piezas. Cada caja tiene un

ancho de 1m, largo que varía de 1,5 a 5m, y una altura de 0,5 ó 1m. Los muros de gaviones son estructuras de contención flexibles que se reacomodan por la aplicación de esfuerzos en diferentes direcciones.

**MURO DE CONCRETO ARMADO:** Estructura de contención o de defensa ribereña constituida por una mezcla de concreto reforzado ( $210 \text{ kg/cm}^2 < > 280 \text{ kg/cm}^2$ ) dispuesta sobre un esqueleto de acero que le da mayor rigidez a la estructura.

**MURO DE CONCRETO CICLÓPEO:** Estructura de contención que se compone de concreto simple Clase F ( $f'c = 140 \text{ kg/cm}^2$ ) y agregado ciclópeo en proporción del 30% del volumen total. El agregado ciclópeo consiste de roca triturada o de canto rodado de buena calidad, preferiblemente angular y de forma cúbica.

**MURO DE SUELO REFORZADO:** Sistema de contención obtenido por la construcción de un muro donde cada elemento que compone su pared externa está anclado en su parte posterior por paños de red de malla hexagonal a doble torsión, empotradas en el terreno que formará el suelo reforzado. La malla usada para los refuerzos trabaja debido a la fricción y el trabamiento mecánico de las partículas del suelo.

**GEOTEXTIL:** Consiste de mallas de fibras sintéticas de polipropileno y poliéster, que se utilizan con la finalidad de evitar posibles erosiones, cumplir funciones de drenaje y separar tierras de diferente granulometría estabilizando el terreno.

**CUNETA:** Es un canal que puede ser de forma triangular, trapezoidal o circular, el cual es recubierto con concreto para evitar filtraciones y facilitar el escurrimiento de las aguas. Cada tramo de cuneta está separado por juntas, las cuales son selladas con material asfáltico o premoldeado.

**ALCANTARILLA:** Estructura de drenaje transversal a la vía que permite el control y conducción del escurrimiento superficial que fluye de las cunetas y de los cauces naturales de las quebradas adyacentes. Las alcantarillas pueden ser de tipo tubería metálica corrugada (TMC, con diámetros de 36", 48" y tipo arco) o tipo marco de concreto armado (MC, con sección cuadrada o rectangular formadas por cuatro placas de concreto armado unidas en forma monolítica).



**BADÉN**: Depresión en la superficie recubierta de concreto que permite dar pase a los flujos de lodo (huaycos), flujos de materiales sólidos y/o cauces líquidos en temporada de precipitaciones pluviales.

**PONTÓN**: Obra de paso de menor tamaño que un puente, que sirve para cruzar grandes depresiones como el cauce de un río o una quebrada. Tiene una luz de entre 3 a 10 m.

**SUB-BASE GRANULAR**: Capa anticontaminante consistente de material granular obtenido de forma natural o procesado que se aplica sobre la subrasante con un espesor de 17.5 cm, que debe cumplir con los siguientes requerimientos: desgaste por abrasión de Los Ángeles máximo de 50%, CBR mínimo de 40%, Límite Líquido máximo de 25%, IP máx de 4%, equivalente de arena mínimo de 35%, contenido de sales solubles máximo de 1% y porcentaje de partículas chatas y alargadas máximo de 20%.

**BASE GRANULAR**: Capa anticontaminante consistente de material granular obtenido de forma natural o procesado que se aplica sobre la sub-base con un espesor de 15 cm. Los agregados finos deben cumplir con los siguientes requerimientos: IP (NP), equivalente de arena de 70%, contenido máximo de sales solubles totales de 0.5%, durabilidad de 18%, Índice de Durabilidad mínimo de 35%, adherencia >4% y absorción de 0.5% máximo. Los agregados gruesos deben cumplir con las siguientes condiciones: desgaste por abrasión de Los Ángeles máximo de 35%, Índice de Durabilidad mínimo de 35%, durabilidad de 15% como máximo, porcentaje de partículas chatas y alargadas máximo de 10%, contenido máximo de sales solubles totales de 0.5%, absorción de 1% máximo, y adherencia > 95%.

**IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA**: Consiste en la aplicación de una mezcla de emulsión asfáltica y/o asfalto líquido sobre la superficie de una base debidamente preparada, con la finalidad de recibir una capa de pavimento asfáltico o de impermeabilizar y evitar la disgregación de la base construida. Incluye la aplicación de arena cuando sea requerido.

**CARPETA ASFÁLTICA**: Mezcla asfáltica en caliente dispuesta en una o más capas sobre una superficie imprimada consistente de agregados gruesos y finos, polvo mineral, cemento asfáltico, mejoradores de adherencia, etc. Tiene un espesor de 10 cm.

**SARDINEL O BORDILLO:** Es un escalón de 5 o 10 cm que delimita el borde de la vía transitada por vehículos con la acera transitada por los peatones. Está constituido por mezcla de cemento Portland y tiene una resistencia a la compresión de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .

**GIBAS O RESALTOS:** Son elementos de concreto armado de 3.70 m de ancho, 0.15 m de alto, con una longitud que comprende todo el ancho de la calzada, incluyendo las bermas. Su uso se contempla en los ingresos a poblados.

**BARRERAS DE SEGURIDAD VIAL:** Estructuras metálicas flexibles, semirrígidas y rígidas, como elementos de seguridad vial, con la finalidad de contener y redireccionar el vehículo, y así mitigar los daños y lesiones a los usuarios de la vía.

**GUARDAVÍAS METÁLICOS:** Estructuras metálicas que, por lo general, se colocan en los bordes de las bermas, separadores centrales y otros lugares de la vía, con fines de señalización y contención donde predomina el tránsito de vehículos livianos.

**PANELES:** Están constituidos por la señal propiamente dicha, planchas metálicas de fierro galvanizado, de aluminio o de resina poliéster reforzado con fibra de vidrio y marcos de soporte, los cuales son del mismo tipo de material y de una sola pieza para las señales preventivas y reglamentarias.

**SEÑALES PREVENTIVAS Y REGLAMENTARIAS:** Dispositivos de control vertical permanente, con la finalidad de advertir al usuario sobre ciertas condiciones de la vía que impliquen peligro y requieran precaución, y de indicar al usuario las limitaciones y/o restricciones que gobiernan la vía. Tienen una conformación similar a los paneles, con postes o estructuras de soporte y material retroreflectivo.

**POSTES DELINEADORES:** dispositivos de señalización vertical que tienen por finalidad remarcar o delinear segmentos de la carretera que por su peligrosidad o condiciones de diseño o visibilidad requieran ser resaltados. Tienen material retroreflectivo.

**SUELO RESIDUAL:** Suelo formado por la alteración de la roca in situ sin haber sufrido transporte. Debido al proceso de meteorización que experimentó la roca, ya no aparecen sus características físicas primigenias.

**DEPÓSITO COLUVIAL**: Es una acumulación de materiales transportados, depositados lejos de su lecho original o roca preexistente por acción de la fuerza de gravedad. Casi siempre están acumulados al pie de las laderas.

**DEPÓSITO ALUVIAL**: Es una acumulación de materiales detríticos transportados y depositados lejos de su ubicación original por acción de un flujo de agua.

**GRIETAS TENSIONALES**: Grietas que se forman debido a las fuerzas tensionales que actúan durante la deformación en la corona de los taludes. Las grietas tensionales indican la formación de planos de rotura y posibles deslizamientos a futuro.

**DESLIZAMIENTO**: Es un movimiento de masas de suelo o roca pendiente abajo a través de superficies de rotura, en los que se preserva a grandes rasgos la forma de la masa desplazada.

**DERRUMBE**: Es un movimiento de caída de bloques rocosos y/o suelos debido a una pérdida en la resistencia al esfuerzo cortante. Es frecuente en zonas escarpadas y no está definido por una superficie de rotura regular.

**ASENTAMIENTO**: Es un movimiento relativamente lento de componente vertical que afecta generalmente a suelos, y se produce debido a cambios tensionales inducidos en el terreno.

**REPTACIÓN DE SUELOS**: Es el corrimiento lento que se da en las capas superficiales de laderas conformadas principalmente por suelo arcilloso favorecido por las infiltraciones de aguas superficiales que influyen en el aumento del peso del material y actúan como lubricante.

**NIVEL FREÁTICO**: Es la distancia a la que se encuentra el agua desde la superficie del terreno, profundidad a la que, generalmente, la presión del agua es igual a la presión atmosférica.

**CALICATA**: Es una técnica de prospección que consiste en la excavación de suelos granulares y finos para examinar visualmente de manera directa su conformación y perfil estratigráfico, las condiciones del nivel freático, interfaces suelo – roca, discontinuidades y superficies de rotura.

**ENSAYO DPL (Norma DIN 4096)**: Es un ensayo de penetración ligera utilizado para determinar parámetros de resistencia al corte y capacidad portante en suelos. Consiste en introducir al suelo una varilla de acero, cuya punta presenta un cono metálico con 60° de inclinación, mediante la aplicación de golpes de un martillo de 10 kg que se deja caer desde una altura de 0.50m. Se debe contar el número de golpes necesario para introducir la punta 10 cm, obteniéndose un registro de golpeo a lo largo de la profundidad del ensayo en intervalos de 10cm.

**ENSAYO DE CONO DE ARENA (Norma ASTM-D-1556, MTC E-117)**: Es un método que se utiliza para determinar in situ la densidad natural de los suelos cuyo tamaño máximo de partículas sea menor o igual a 50mm (2"). Se obtiene la densidad del suelo trabajando con el volumen excavado (volumen constante), tomando como datos la densidad y masa de la arena, así como la masa del suelo.

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (Norma ASTM-D-422)**: Es la determinación de los tamaños de las partículas de una cantidad de muestra de suelo que se hace pasar por mallas o tamices. En los suelos granulares, el ensayo da una idea de su permeabilidad y de su comportamiento.

**LÍMITES DE ATTERBERG (Norma ASTM-D-4318)**: Se basa en el concepto de que los suelos finos pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo del contenido de agua, ya sea éste sólido, semisólido, plástico, semilíquido o líquido.

El contenido de agua con que se produce el cambio de estado varía de un suelo a otro y en mecánica de suelos interesa fundamentalmente conocer el rango de humedades, para el cual el suelo presenta un comportamiento plástico; es decir, la propiedad que presentan los suelos hasta cierto límite sin romperse.

Los límites de Atterberg son los siguientes:

**Límite Líquido**: Es el contenido de humedad por debajo del cual el suelo se comporta como un material plástico. A este nivel de contenido de humedad el suelo está a punto de cambiar su comportamiento al de un fluido viscoso.

**Límite Plástico**: Es el contenido de humedad por debajo del cual se puede considerar al suelo como material no plástico.

La diferencia entre estos dos límites da el valor del Índice de Plasticidad:

$$IP = LL - LP$$

**ENSAYO DE PÉRDIDA POR IGNICIÓN (Norma MTC E-118, AASHTO T-267)**: Se basa en determinar la pérdida de peso de una muestra de suelo al someterla a una temperatura de 430° C al horno durante 24 horas, con la que se logra una completa oxidación de la materia orgánica. Por lo tanto este método permite determinar el contenido total de materia orgánica del suelo, incluyendo las formas condensadas, humus, humatos y residuos orgánicos poco alterados.

**PESO UNITARIO**: Es la relación entre el peso de un material respecto a una unidad de volumen del mismo. Es el producto de la densidad del material por la aceleración de la gravedad.

**REFRACCIÓN SÍSMICA**: Método sísmico aplicado en el estudio del subsuelo, para la determinación de las condiciones (alteración, meteorización, fracturamiento) y competencia de los materiales, así como para la detección de discontinuidades. Este método mide el tiempo de propagación de las ondas sísmicas y las llegadas de éstas a los geófonos, que registran el tiempo de llegada, dispuestos en superficie en línea recta, a distancias conocidas, formando lo que se conoce como tendido sísmico o línea de refracción.

**RECONFORMACIÓN DEL TERRENO**: Es una técnica de remediación utilizada para garantizar la estabilidad de taludes y laderas especialmente en carreteras. Consiste en la remoción de suelos de la parte alta del talud, ejecución de cortes con banquetas y tendido de taludes para aliviar la carga y/o eliminar los agrietamientos existentes mediante trabajos con excavadoras y tractores, además de proteger la superficie del terreno para prevenir la erosión y desestabilización por agentes como la escorrentía e infiltración de aguas superficiales.

**SELLADO DE GRIETAS**: Es una técnica preventiva que consiste en rellenar las grietas formadas en suelos o en rocas con el mismo suelo in situ o un suelo arcilloso externo de buena cohesión. En otras situaciones, se utiliza un material sellante conformado por una mezcla de arena con cemento, o arcilla con cemento, o asfalto dependiendo del tipo de suelo donde aparecieron las grietas.

**PLAZOLETA DE RECEPCIÓN**: Explanación que se ejecuta hacia el talud interior consistente de una superficie cuya función es la de recibir los

materiales provenientes de fenómenos de geodinámica externa en el talud como derrumbes, deslizamientos y reptación de suelos con la finalidad de que estos no lleguen a la plataforma, obstruyendo el tránsito vehicular. En una plazoleta de recepción se realizan trabajos de mantenimiento y limpieza de los materiales posterior a la ocurrencia de los fenómenos.

**CUNETAS DE CORONACIÓN:** Las cunetas o zanjas de coronación son canales pequeños que se utilizan en combinación con sumideros y alcantarillas, construidos con la función de desviar el agua que se escurre sobre la superficie y consecuentemente evitar la erosión del terreno. Es importante que estos trabajos se complementen con la siembra de especies nativas a ambos lados de la cuneta para evitar que el agua produzca erosión bajo la cuneta.

**SUBDRENES:** Estructuras de drenaje de aguas subterráneas que tienen como objetivo disminuir las presiones de poros o impedir que éstas aumenten. A menor presión de poros la resistencia del suelo es mayor. Entre los principales tipos de obras de subdrenaje se tienen las cortinas impermeables subterráneas, subdrenes de zanja, subdrenes de penetración, colchones de drenaje, drenes verticales de alivio, galerías de drenaje y drenes de pantalla.

**Drenes de Penetración o Drenes Horizontales:** Consisten de tuberías perforadas colocadas a través de una masa de suelo mediante una perforación profunda subhorizontal o ligeramente inclinada, con la cual se busca abatir el nivel freático hasta donde se incremente la estabilidad del talud al valor deseado.

### 3. HIPÓTESIS Y VARIABLES

#### 3.1. HIPÓTESIS GENERAL

La reconfiguración de los taludes y el control de las filtraciones de agua serían las soluciones que garantizarán la estabilidad de los taludes de la carretera Canta – Huayllay en los sectores con problemas de ocurrencia de fenómenos de geodinámica externa de riesgo medio a elevado entre las progresivas del km 102 al km 110.

### **3.2.HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

- La reconformación de taludes, el sellado de grietas y la colocación de cunetas de coronación mejorarían la estabilidad del talud en el sector del km 102+780 al Km 103+020 de la carretera Canta – Huayllay.
- El control de las filtraciones de agua y la adopción de banquetas garantizarían la estabilidad del talud en el sector del km 104+920 al km 105+010 de la carretera Canta – Huayllay.
- La inclinación de taludes y la adopción de banquetas mejorarían la estabilidad del talud en el sector del km 109+500 al Km 109+580 de la carretera Canta – Huayllay.

### **3.3.IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES**

La variable independiente será la estabilidad de los taludes a través de soluciones geotécnicas que garanticen un factor de seguridad adecuado, y por ende, la transitabilidad de la vía. Este factor de seguridad será calculado a partir de los parámetros geotécnicos de los materiales que conforman los taludes

La variable dependiente es la carretera Canta-Huayllay entre las progresivas del Km 102 al Km 110, en los sectores con problemas de ocurrencia de fenómenos de geodinámica externa de riesgo medio a elevado en la provincia de Canta.

## **4. METODOLOGÍA Y DISEÑO DEL ESTUDIO**

El Método y Diseño de la Investigación es del tipo experimental, el cual se realizó siguiendo un programa de trabajo consistente en la recopilación de información, evaluaciones de campo, ensayos de laboratorio y trabajo de gabinete.

### **4.1.RECOPILACIÓN DE LA INFORMACIÓN**

Para tener una idea general del área de estudio y de la región se procedió con la revisión de antecedentes técnicos y bases teóricas expuestas en el marco teórico, que sirven de sustento teórico y aplicativo para la realización del estudio:

- Mapas geológicos de los Cuadrángulos de Canta (23-j) y Ondores (23-k). Escala de 1/100,000
- Boletín 26 del INGEMMET: Geología de los Cuadrángulos de Barranca, Ambar, Oyón, Huacho, Huaral y Canta.
- Estudio Geológico Geotécnico del “Estudio Definitivo Para la Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lima – Canta – La Viuda – Unish, Tramo: Canta – Huayllay” a cargo de WINROD CONTRATISTAS S.A.C (empresa proyectista)
- INSTITUTO METROPOLITANO DE PLANIFICACIÓN (2014). Plan Integral de La Cuenca Chillón, Intercuencas La Pampilla, Ventanilla, Santa Rosa y Ancón y la Zona Marítima Costera Callao-Pasamayo. Plan de Ordenamiento Territorial Cuenca Chillón.
- Planos topográficos en planta y secciones transversales actualizadas de los sectores con problemas de taludes inestables de los primeros 10 km de la carretera Canta – Huayllay.
- Datos de sismos del NEIC (National Earthquake Information Center) en el pueblo de Canta.
- Recopilación de la bibliografía existente.

#### **4.2. TRABAJO DE CAMPO**

Segunda etapa del estudio, la cual implica la exploración geológica y geotécnica del terreno, utilizando métodos convencionales en el campo para efectuar el reconocimiento directo de las estructuras y tipos de afloramientos litológicos presentes a lo largo del sector materia de estudio con el fin de identificar los taludes inestables con ocurrencia de fenómenos de geodinámica externa de riesgo medio a elevado, determinando su influencia en la estabilidad y tránsito de la vía.

Esta etapa se apoya en la ubicación de taludes inestables, caracterización geológica de los mismos, toma de datos empíricos, ensayos in situ, toma de muestras para su análisis en laboratorio y vistas fotográficas de los taludes afectados por fenómenos de geodinámica externa.

Se tomaron muestras representativas en campo para determinar los tipos de suelos que exhiben los taludes mediante ensayos de laboratorio (Clasificación SUCS, límites de Atterberg) complementados con los registros de calicatas existentes del proyecto. Además, se realizaron ensayos in situ: DPL, para determinar la resistencia de los materiales y parámetros geotécnicos como la cohesión y ángulo de fricción interna, y Cono de Arena, para determinar la densidad natural de los suelos.



Para el análisis del macizo rocoso del km 102+780 se efectuaron las clasificaciones geomecánicas RMR – SMR y la determinación de parámetros como el índice de Resistencia Geológica (GSI) y la Resistencia a la Compresión Uniaxial (UCS).

*\*Cabe señalar que, por limitaciones en el presupuesto de la obra y al no estar contemplados en las especificaciones técnicas para carreteras, no se realizaron ensayos de corte directo ni de permeabilidad.*

#### 4.2.1. Geología Local

El sector materia del presente estudio, se inicia a la salida del distrito de Canta, estando el trazo de la carretera emplazado en las laderas de pendiente moderada donde se desarrolla la agricultura y en las quebradas juveniles de topografía escarpada donde aflora roca volcánica. En el fondo del valle discurre el río Chillón.



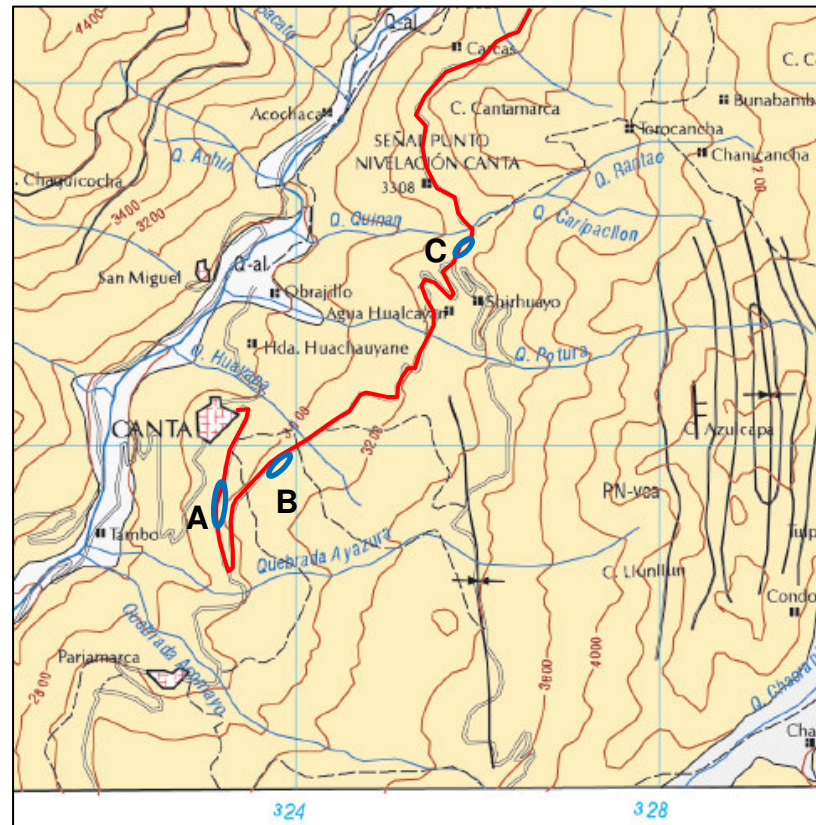
**Foto N° 4.1. Rocas volcánicas fracturadas y alteradas del Grupo Calipuy.**

A lo largo del sector, del km 102 al km 110, se encuentran rocas volcánicas del Grupo Calipuy, caracterizadas por presentar una secuencia muy potente de andesitas y tobas, con estructuras diversas en derrames lávicos y piroclastos. Estas rocas presentan diferentes grados de alteración y fracturamiento, algunas veces con la orientación de sus discontinuidades en sentido desfavorable a la vía, factores que influyen directamente en su calidad geotécnica.

Las rocas volcánicas están formando una serie de pliegues grandes y sencillos, con un ancho del orden de los 2 a 3 km y de 30 a 40 km de largo. Los anticlinales siguen a los sinclinales en una serie uniformemente ondulada de pliegues no fallados, los que gradualmente

se pliegan más hacia el Este (Cordillera Occidental), donde se sobreponen a las rocas sedimentarias plegadas del Cretáceo.

También se identifica material suelto de cobertura cuaternaria conformada principalmente por terrazas fluviales, depósitos aluviales, depósitos coluviales y suelos residuales, que exhiben una matriz arcillo arenosa, con presencia de clastos sub-angulosos y sub-redondeados de diferente granulometría.



**Figura N° 4.1. Trazo de la Carretera del Km 102 al Km 110 en el Cuadrángulo de Canta. A) Zona del Km 102+780, B) Zona del Km 104+920, C) Zona del Km 109+500**

- Ver **Anexos**: E. Planos. Plano N° 2: Mapa Geológico de la Carretera Canta – Huayllay del Km 102 al Km 110.

#### 4.2.1.1. Geología del Sector del Km 102+780 al Km 103+020:

- Roca volcánica (PN-vca): Consiste de roca volcánica lávica (andesita) dispuesta a manera de lajas, con un leve grado de metamorfismo. Ésta se encuentra a la base del talud.

- Depósito Coluvial (Q-co): Este material consiste de fragmentos heterométricos de roca volcánica de entre 20” a 50” de diámetro en una matriz fina con cierto grado de consolidación. Se encuentra suprayacente a la roca volcánica siguiendo un plano de contacto con un buzamiento de aproximadamente 30°W.
  - Depósito Coluvio-Aluvial (Q-co-al): Consiste de fragmentos rocosos de roca volcánica con un diámetro de entre 5” a 10” en una matriz fina con cierto contenido de material orgánico. Tiene un espesor de hasta 6m. Esta capa yace sobre el depósito coluvial.
- Ver vistas fotográficas en los **Anexos**: D. Fotografías. Km 102+780 – km 103+020

#### 4.2.1.2. Geología del Sector del Km 104+920 al Km 105+010:

- Roca volcánica (PN-vca): Consiste de roca volcánica muy alterada por efecto de la meteorización. Se encuentra a la base del talud.
  - Suelo Residual (Qr-rs): Suelo proveniente de la alteración gradual de la roca volcánica por efecto de la meteorización. Esta capa yace sobre la roca alterada.
- Ver vistas fotográficas en los **Anexos**: D. Fotografías. Km 104+920 – km 105+010

#### 4.2.1.3. Geología del Sector del Km 109+500 al Km 109+580:

Los materiales que conforman este talud son depósitos de suelos residuales (Qr-rs) provenientes de la alteración de las rocas volcánicas que yacen a profundidad debajo de los mismos (PN-vca).

- Ver vistas fotográficas en los **Anexos**: D. Fotografías. Km 109+500 – km 109+580

#### 4.2.2. Geodinámica Externa

Se identificaron los fenómenos de geodinámica externa que influyen en la inestabilidad de los taludes del Km 102 al Km 110.

#### 4.2.2.1. Derrumbes

Son movimientos de caída de bloques rocosos y/o suelos frecuentes en zonas escarpadas, los cuales no siguen una superficie de rotura regular. Se han identificado derrumbes de diferente envergadura en distintos trechos de la carretera.

En la zona de estudio se han registrado derrumbes en las siguientes progresivas: km 102+660 al km 102+730, km 102+770 al km 103+040, km 104+200 al km 104+300, km 106+930 al km 107+100, km 107+150 al km 107+230 y del km 107+830 al km 107+880.



Foto N° 4.2. Derrumbe Km 107+050

#### 4.2.2.2. Deslizamientos

Son movimientos de masas de suelo o roca pendiente abajo a través de superficies de rotura, pudiendo ser rotacionales o planares, en los que se preserva a grandes rasgos la forma de la masa desplazada.

En la zona de estudio se encuentran deslizamientos rotacionales entre las progresivas del km 102+770 al km 103+040, del km 104+710 al km 104+800, del km 104+910 al km 105+000, del km 105+160 al km 105+110, del km 105+440 al km 105+650, del km 106+760 al km 106+800, del km 107+770 al km 107+940, del km 108+930 al km 109+000, y del km 109+500 al km 109+620.



**Foto N° 4.3. Deslizamientos rotacionales paralelos Km 107+860**

#### **4.2.2.3. Reptación de Suelos**

Es un fenómeno que se caracteriza por un movimiento lento de los materiales móviles del suelo en la dirección de su pendiente. El movimiento se produce como resultado de la expansión y contracción, por saturación de la capa superficial del suelo.

Se encuentra problemas de reptación de suelos entre las progresivas del km 104+910 al km 105+100, del km 105+440 al km 105+650 y del km 108+400 al km 108+500.



**Foto N° 4.4. Reptación de suelos Km 108+450**

#### **4.2.2.4. Filtraciones de Agua**

Son afloramientos de aguas superficiales y/o subterráneas que aprovechan la porosidad de los materiales y las discontinuidades. Las filtraciones de agua afectan la estabilidad de los taludes produciendo saturación y erosión en los suelos.

En la zona de estudio se encuentran problemas ocasionados por las filtraciones de agua del km 102+770 al km 103+010, 104+920 al km

105+010, km 105+440 al km 105+650, km 106+760 al km 106+810, km 108+130 al km 107+870, km 108+930 al km 109+000 y del km 109+500 al km 109+620.



**Foto N° 4.5. Filtraciones de agua Km 105+520**

### **4.2.3. Trabajos Geotécnicos de Campo**

Los trabajos geotécnicos de campo en las zonas inestables del sector del km 102 al km 110 fueron realizados mediante:

- Calicatas
- Ensayos de Refracción Sísmica
- Ensayos DPL
- Ensayos de Cono de Arena

De estos trabajos, las calicatas y los ensayos de refracción sísmica fueron tomados del estudio del proyecto; mientras que los ensayos de DPL y el Cono de Arena sí fueron ejecutados en campo para fines del presente estudio.

#### **4.2.3.1. Calicatas**

Son excavaciones de profundidad pequeña a media que se realizan en los suelos para inspeccionar directamente propiedades como el tipo de suelo, perfil estratigráfico, nivel freático, obteniéndose información confiable y directa, especialmente en el muestreo de suelos de fundación.

Winrod Contratistas S.A.C., empresa encargada del estudio definitivo de la obra previa a su ejecución, ejecutó las excavaciones de calicatas a lo largo del tramo cada 250 m. En el cuadro N° 4.1 se muestra la lista de registros de calicatas.

**Cuadro N° 4.1. Resumen de los Registros de Calicatas**

PROGRESIVA (Km)	CALICATA	PROFUNDIDAD (m)
102+750	C-5	1.15
103+000	C-6	1.50
105+000	C-14	1.10
109+500	C-36	1.50

➤ Ver los registros de calicatas en los **Anexos: A. Trabajos Geotécnicos.**

#### 4.2.3.2. Ensayos de Refracción Sísmica

Son métodos geofísicos destinados a brindar nociones aproximadas del perfil del suelo a profundidad cuando no se han realizado excavaciones o sondeos. Entre las propiedades que se pueden determinar destacan los espesores de las capas de suelos o roca, y las características morfológicas de estos materiales, inferidas por el cambio de las velocidades de las ondas sísmicas en su paso de un medio a otro.

La empresa GEOPERSIS SRL (Geotecnia Perforaciones Sísmica) fue la encargada de realizar los ensayos de refracción sísmica, bajo las órdenes de Winrod Contratistas S.A.C.

En el cuadro N° 4.2 se muestra la lista de ensayos de refracción sísmica.

**Cuadro N° 4.2. Resumen de los resultados del Ensayo de Refracción Sísmica**

SECTOR	LINEA SISMICA	CODIGO	LONGITUD (m)
Km 3+000 – 3+100	Línea LS. 01	P: C-H-LS. 01	75.00
	Línea LS. 02	P: C-H-LS. 02	75.00
	Línea LS. 03	P: C-H-LS. 03	75.00
	Línea LS. 04	P: C-H-LS. 04	75.00
	Línea LS. 05	P: C-H-LS. 05	75.00
	Línea LS. 06	P: C-H-LS. 06	75.00
	Línea LS. 07	P: C-H-LS. 07	75.00
	Línea LS. 08	P: C-H-LS. 08	75.00
	Línea LS. 09	P: C-H-LS. 09	75.00

Para producir la onda sísmica se utilizó una comba de 25 libras.

- Ver líneas de refracción sísmicas en los **Anexos: A. Trabajos Geotécnicos.**

#### 4.2.3.3. Ensayos de DPL

Estos ensayos se realizaron en las zonas inestables para determinar parámetros de resistencia al corte y la capacidad portante del suelo.

En el cuadro N° 4.3 se muestra los resultados de los ensayos de DPL realizados en diferentes zonas inestables del sector del km 102 al km 110:

**Cuadro N°4.3. Resultados de los Ensayos de DPL**

Zona Inestable	Tipo de Material	Profundidad (cm)	N° de Golpes (N)
Km 102+780 – Km 103+020	Depósito Coluvial	10	2
		20	9
		30	14
	Depósito Coluvio – Aluvial	10	10
		20	10
		30	8
		40	9
		50	8
		60	7
		70	8
		80	7
		90	6
		100	6
		110	4
		120	4
		130	5
		140	5
150	6		
160	16		
Km 104+920 – Km 105+010	Suelo arcilloso	10	1
		20	1
		30	1
		40	2
		50	2
		60	1
		70	1
		80	1
		90	5
		100	4
		110	2



Zona Inestable	Tipo de Material	Profundidad (cm)	N° de Golpes (N)
Km 104+920 – Km 105+010	Suelo arcilloso	120	1
		130	1
		140	1
		150	1
		160	1
		170	1
		180	1
		190	1
		200	1
	Roca Alterada	10	1
		20	1
		30	1
		40	1
		50	1
		60	1
		70	2
		80	2
		90	3
		100	4
		110	3
Km 109+500 – Km 109+580	Suelo areno- arcilloso	120	3
		130	3
		140	6
		150	9
		160	7
		170	8
		180	5
		190	6
		200	8
		10	3
		20	4
		30	3
		40	3
		50	3
60	3		
70	3		
80	4		
90	9		
100	6		
110	7		
120	3		
130	4		
140	4		
150	4		
160	4		

Zona Inestable	Tipo de Material	Profundidad (cm)	N° de Golpes (N)
Km 109+500 – Km 109+580	Suelo areno- arcilloso	170	3
		180	6
		190	8
		200	8

- Ver ensayos de DPL en los **Anexos**: C. Ensayos In Situ y Evaluaciones de Campo.



Foto N° 4.6. Ensayo de Cono de Arena y DPL Km 102+770 – 103+040. Suelo Coluvial



Foto N° 4.7. Ensayo de DPL Km 104+920 – 105+010.



Foto N° 4.8. Ensayo de DPL Km 109+500 – 109+620.

#### 4.2.3.4. Ensayos de Cono de Arena

Estos ensayos se realizaron en los diferentes suelos que conforman las zonas inestables del sector del km 102 al km 110 para determinar su densidad natural, y así poder obtener el peso unitario.

En el cuadro N° 4.4 se muestra los resultados de los ensayos de Cono de Arena.

**Cuadro N° 4.4. Resultados de los Ensayos de Cono de Arena**

Zona Inestable	Tipo de Material	Densidad Natural (g/cm <sup>3</sup> )	Contenido de Humedad (%)
Km 102+780 – Km 103+020	Depósito Coluvial	1.847	2.9
	Depósito Coluvio – Aluvial	1.761	11.1
Km 104+920 – Km 105+010	Suelo arcilloso	1.706	8.3
	Roca Alterada	1.792	11.5
Km 109+500 – Km 109+620	Suelo areno-arcilloso	1.389	16.3

- Ver ensayos de Cono de Arena en los **Anexos: C. Ensayos In Situ y Evaluaciones de Campo.**



Foto N° 4.9. Ensayo de Cono de Arena y DPL Km 102+770 – 103+040. Suelo Coluvio-Aluvial



Foto N° 4.10. Ensayo de Cono de Arena Km 104+920 – 105+010.



Foto N° 4.11. Ensayo de Cono de Arena Km 109+500 – 109+620.

#### 4.2.3.5. Clasificación Geomecánica RMR – SMR

Para determinar la calidad del macizo rocoso del km 102+780 se realizaron observaciones en campo de las condiciones de las fracturas mediante la clasificación geomecánica RMR – SMR, dando como resultado los siguientes valores:

VALOR DE RMR		
<b>RMR Básico</b>	:	<b>51</b>
<b>RMR Ajustado</b>	:	<b>26</b>
<b>RMR89 (condiciones secas y muy favorables)</b>	:	<b>51</b>

VALOR DE SMR		
<b>SMR</b>	:	<b>44</b>
Descripción	:	Regular
Estabilidad	:	Parcialmente estable
Roturas	:	Algunas juntas o muchas cuñas
Tratamiento	:	Sistemático

La clasificación RMR – SMR se muestra con detalle en los **Anexos**.  
C. Ensayos In Situ y Evaluaciones de Campo.

#### 4.2.3.6. Resistencia a la Compresión Uniaxial (UCS)

La resistencia a la compresión uniaxial (UCS) de la roca del km 102+780 fue medida en campo mediante golpes del martillo geológico, de acuerdo a la siguiente tabla:

Resistencia Estimada en Campo	Descripción	Resistencia (MPa)
Se desintegra al golpe firme con la punta del martillo geológico. Puede ser escarbada con una cuchilla.	Muy blanda	1 – 5
Puede ser escarbada con dificultad por una cuchilla. Se puede indentar la punta del martillo geológico con un golpe firme.	Blanda	5 – 25
<b>Se rompe con un golpe firme del martillo geológico. No puede ser escarbada con una cuchilla.</b>	<b>Moderadamente dura</b>	<b>25 – 50</b>
Se rompe con más de un golpe del martillo geológico.	Dura	50 – 100
Se requieren muchos golpes del martillo geológico para romper la roca.	Muy dura	100 – 250
Los golpes del martillo geológico sólo obtienen esquirlas.	Extremadamente dura	>250

La roca se rompió con un solo golpe del martillo geológico, lo cual corresponde a una roca moderadamente dura, asignándosele un valor de resistencia de 30 MPa.

#### 4.2.3.7. Índice de Resistencia Geológica (GSI)

El Índice de Resistencia Geológica (GSI) se obtuvo en campo mediante la observación de las condiciones de las discontinuidades en el macizo rocoso. Se utilizó el siguiente cuadro:

ÍNDICE GEOLÓGICO DE RESISTENCIA GSI (geological strength index)		CONDICIÓN DEL FRENTE				
ESTRUCTURA		MUY BUENA (MB) Superficies muy rugosas sin allerrar	BUENA (B) Superficies rugosas ligeramente alteradas, con palmas de oxidación	MEDIA (M) Superficies suaves moderadamente allerradas	POBRE (P) Superficies de cizalla muy allerradas con rellenos compactos conteniendo fragmentos rocosos	MUY POBRE (MP) Superficies de cizalla muy allerradas con rellenos arcillosos
	<b>BLOQUES REGULARES (BR)</b> Macizo rocoso sin allerrar. Bloques en contacto de forma cúbica formados por tres familias de discontinuidades ortogonales, sin relleno.	80				
	<b>BLOQUES IRREGULARES (BI)</b> Macizo rocoso parcialmente alterado. Bloques en contacto de forma angular formados por cuatro o más familias de discontinuidades con rellenos con baja proporción de finos.	70	60			
	<b>BLOQUES Y CAPAS (BC)</b> Macizo alterado, plegado y fracturado con múltiples discontinuidades que forman bloques angulosos y con baja proporción de finos.		50	40		
	<b>FRACTURACIÓN INTENSA (FI)</b> Macizo rocoso muy fracturado formado por bloques angulosos y redondeados, con alto contenido de finos.			30	20	10

El macizo rocoso se encontró parcialmente alterado con bloques irregulares en contacto de forma angular y superficies de las discontinuidades suaves, moderadamente alteradas, lo que corresponde a un valor del GSI de 45.

### 4.3. ENSAYOS DE LABORATORIO

En el sector del km 102 al km 110 se realizaron ensayos de laboratorio obtenidos a partir de la toma de muestras representativas del terreno, para establecer las propiedades de los suelos que no pueden ser determinadas solamente mediante observaciones de campo.

Las muestras de suelos obtenidas en las investigaciones geotécnicas de campo, fueron procesadas en el Laboratorio de Suelos y Pavimentos de la empresa Cesel S.A.; habiéndose efectuado los ensayos de mecánica de suelos que se detallan en el Cuadro N° 4.5.

**Cuadro N° 4.5. Lista de Ensayos de Laboratorio Realizados**

TIPO DE ENSAYO	NORMA
Análisis Granulométrico por Tamizado	ASTM-D-422
Límite Líquido	ASTM-D-4318
Límite Plástico	ASTM-D-4318
Contenido de Materia Orgánica (Pérdida por Ignición)	MTC E-118, AASHTO T-267

➤ Ver **Anexos**. B. Ensayos de Laboratorio.

Los resultados de estos ensayos se detallan en el Cuadro N° 4.6.

### 4.4. TRABAJO DE GABINETE

En esta etapa de los trabajos, se estableció la recurrencia sísmica para el pueblo de Canta y se definieron las aceleraciones sísmicas horizontal y vertical a utilizar en los cálculos de estabilidad.

Se procesó la información obtenida en el campo tanto de ensayos in situ como de los resultados obtenidos de laboratorio para la determinación de los parámetros geotécnicos con los que se trabajaron: peso unitario, cohesión, ángulo de fricción interna, UCS, GSI y  $m_i$ . Para los casos de los taludes del km 104+920 y km 109+500, la determinación final de los parámetros geotécnicos fue sustentada en base a análisis retrospectivos (Back Analysis), al tenerse definida para ambos taludes las superficies de deslizamiento.

**Cuadro N° 4.6. Resumen de Ensayos de Laboratorio**

<b>OBRA:</b>	Supervisión del Mejoramiento, Rehabilitación y Conservación por Niveles de Servicio del Corredor Vial Lima-Canta-Huayllay-Dv. Cochamarca-Empalme PE 3N
<b>TRAMO:</b>	
<b>MATERIAL:</b>	

REGISTRO N° (1)	FECHA	PROGRESIVA		LADO	UBIC. Muestreo (Km)	Análisis Granulométrico (% que pasa)											L.L.	L.P.	I.P.	HUM. NAT.	CLASIFICACIÓN		Mat. Org.
		INICIO	FINAL			3"	2"	1½"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200					SUCS	AASHTO	
SYP-04-15/077	08/04/2015	Km. 102+730	Km. 102+920	Izq.	Km.102+825	100.0	94.2	84.9	75.4	68.6	58.9	52.7	42.6	34.6	21.9	14.3	29	21	8	11.1	GC	A-2-4 (0)	2.2
SYP-12-14/011	13/12/2014	Km. 102+920	Km. 103+000	Izq.	Km. 102+960	81.3	69.8	62.3	52.0	38.2	32.1	26.3	20.8	14.8	9.6	6.8	26	20	6	2.9	GP-GC	A-1-a (0)	-
SYP-12-14/010	06/12/2014	Km. 104+800	Km. 104+950	Izq.	Km. 104+925	100.0	100.0	100.0	100.0	98.7	97.6	95.7	91.0	83.1	67.0	53.4	39	28	11	8.3	ML	A-6 (4)	-
SYP-12-14/003	29/11/2014	Km. 104+930	Km. 105+000	Der.	Km. 104+965	100.0	100.0	97.1	91.4	88.1	82.8	78.3	67.1	55.2	34.7	21.3	26	20	6	11.5	SC-SM	A-1-b (0)	-
SYP-02-15/041	23/02/2015	Km. 109+550	Km. 109+650	Der.	Km. 109+600	100.0	100.0	98.7	95.2	93.1	87.8	83.3	72.0	62.7	50.0	38.3	33	22	11	16.3	SC	A-6 (1)	2.1

(1) Los registros geotécnicos corresponden a taludes de corte para la construcción de la carretera.



Finalmente, se aplicaron softwares geotécnicos en base a los parámetros geotécnicos para determinar el FS de cada sector y recomendar las soluciones adecuadas para cada caso.

#### 4.4.1. Ley de Recurrencia Sísmica en Canta

Se realizó un análisis estadístico en base a datos de sismos durante un periodo de 40 años (1973 - 2013) obtenidos del NEIC (National Earthquake Information Center) del US Geological Survey (ver Figura N° 4.2), ya que la información existente hasta el año 1963 es incompleta, al no contar con valores de magnitud de ondas mb y profundidad focal.

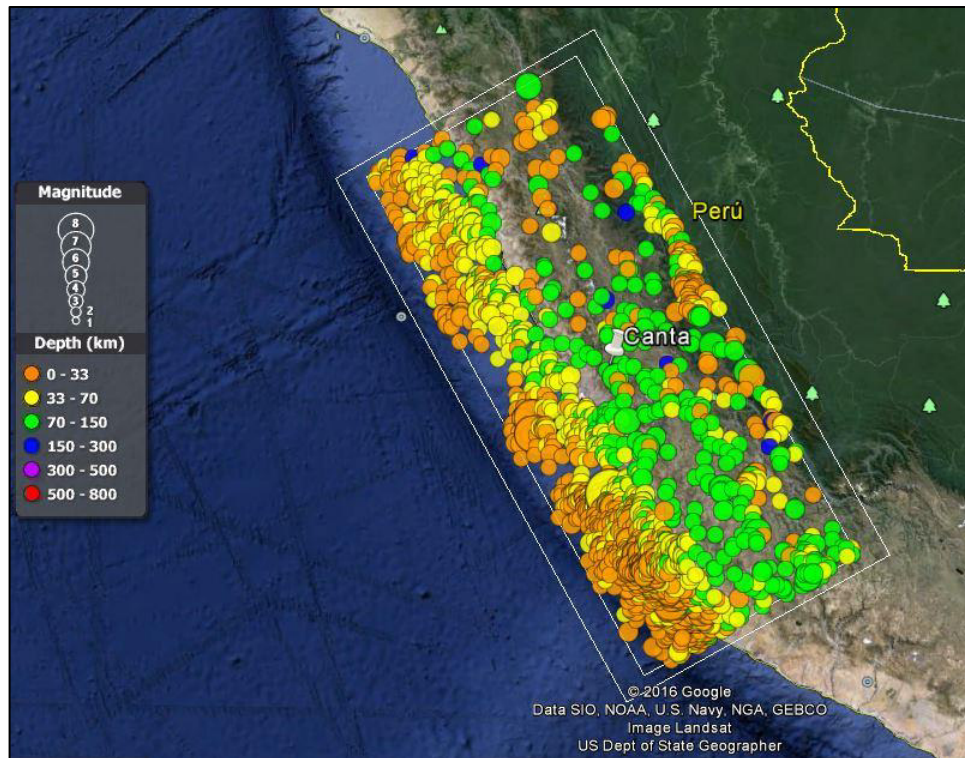
Para este estudio se trabajó con magnitudes mb, por lo que se convirtieron los valores de Ms usando la siguiente fórmula:

$$mb = 3.322 + 0.4214Ms$$

En la siguiente tabla se presenta un listado de 20 sismos que inciden en la región, registrando magnitudes mayores de 6 mb.

**Cuadro N° 4.7. Tabla de sismos con magnitudes mayores de 6 mb**

FECHA			COORDENADAS		PROFUNDIDAD	MAGNITUD	LUGAR DEL EPICENTRO
AÑO	MES	DIA	LATITUD	LONGITUD	km	mb	
2012	1	30	-14.168	-75.635	43	6	cerca de la costa del centro de Perú
2007	8	16	-14.282	-76.127	23.4	6	cerca de la costa del centro de Perú
1995	9	23	-10.68	-78.581	59.9	6	cerca de la costa del centro de Perú
1993	4	18	-11.652	-76.53	106.3	6	Perú central
1991	4	5	-14.23	-75.511	50	6	cerca de la costa del centro de Perú
1985	8	21	-9.159	-78.887	56.9	6	cerca de la costa del norte de Perú
1976	1	5	-13.288	-74.899	95	6	Perú central
1975	12	11	-11.556	-74.552	98	6	Perú central
1974	5	17	-11.173	-75.077	111	6	Perú central
2006	10	20	-13.457	-76.677	23	6.1	cerca de la costa del norte de Perú
1982	3	28	-12.69	-76.065	95	6.1	cerca de la costa del norte de Perú
1976	5	15	-11.637	-74.478	33	6.1	Perú central
2011	10	28	-14.438	-75.966	24	6.2	cerca de la costa del centro de Perú
1974	1	5	-12.299	-76.352	98	6.3	cerca de la costa del centro de Perú
1974	11	9	-12.5	-77.786	6	6.4	cerca de la costa del centro de Perú
1996	2	21	-9.593	-79.587	10	6.5	mar del norte de Perú
1974	10	3	-12.265	-77.795	13	6.5	cerca de la costa del centro de Perú
1996	11	12	-14.993	-75.675	33	6.6	cerca de la costa del centro de Perú
2007	8	15	-13.386	-76.603	39	6.7	cerca de la costa del centro de Perú



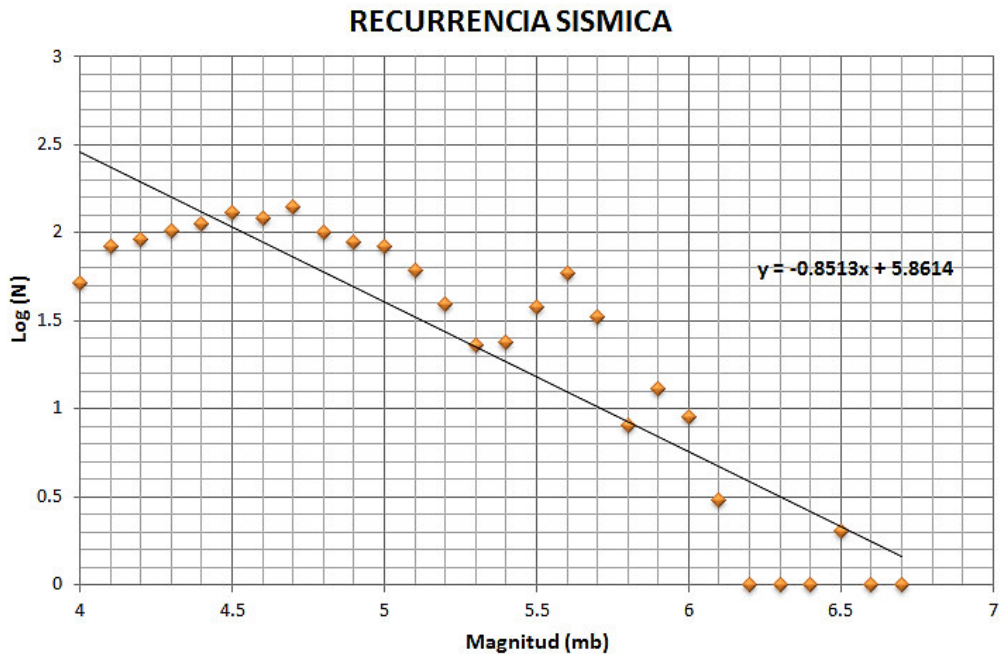
**Figura N° 4.2. Sismos registrados (1973-2013) en un área de 500km x 1000km teniendo como centro el pueblo de Canta. Fuente: NEIC, US Geological Survey**

Se registró un total de 1419 sismos con magnitudes mayores de 4mb que inciden en el pueblo de Canta durante el periodo de 1973 a 2013.

**Cuadro N° 4.8. Datos para el Gráfico de la Ley de Recurrencia**

Magnitud	Número (N)	Log (N)	Magnitud	Número (N)	Log (N)
4	52	1.716	5.4	24	1.380
4.1	83	1.919	5.5	38	1.580
4.2	91	1.959	5.6	59	1.771
4.3	102	2.009	5.7	33	1.519
4.4	112	2.049	5.8	8	0.903
4.5	129	2.111	5.9	13	1.114
4.6	120	2.079	6	9	0.954
4.7	141	2.149	6.1	3	0.477
4.8	101	2.004	6.2	1	0.000
4.9	88	1.944	6.3	1	0.000
5	83	1.919	6.4	1	0.000
5.1	61	1.785	6.5	2	0.301
5.2	39	1.591	6.6	1	0.000
5.3	23	1.362	6.7	1	0.000

En base a los datos de sismos obtenidos como la cantidad de sismos por magnitud, y después de hallar el logaritmo para cada uno según la fórmula de Recurrencia Sísmica de Richter, se realizó una gráfica de Magnitud (mb) vs Log(N). De acuerdo con la distribución de los puntos, se halló una ecuación para la línea de tendencia tal como indica el Gráfico N° 4.1:



**Gráfico N° 4.1. Ley de Recurrencia Sísmica de Cantá**

La ecuación de recurrencia sísmica obtenida es la siguiente:

$$\log N = 5.8614 - 0.8513mb$$

donde:

$N = n/t$ , frecuencia, número de sismos de magnitud mb por año, n: número de sismos, t: tiempo en años.

$a = 5.8614$ , factor de sismicidad

$b = 0.8513$ , condiciones tectónicas

mb = magnitud del sismo expresada en mb.

De una muestra de 1419 sismos con magnitudes mayores de 4 mb en el periodo de 1973 a 2013, se determinó que el 62.6% de los hipocentros de los sismos está a menos de 50 km de profundidad (superficiales), el 30.5% se encuentra entre 50 y 100 km de profundidad, el 6.2% está entre 100 y 150 km de profundidad y el 0.7% se halla entre 150 y 200 Km de profundidad. Según lo anterior, el 93.1% de los sismos tiene sus hipocentros a profundidades menores a 100Km, es decir, se trata de sismos superficiales e intermedios casi en su totalidad.

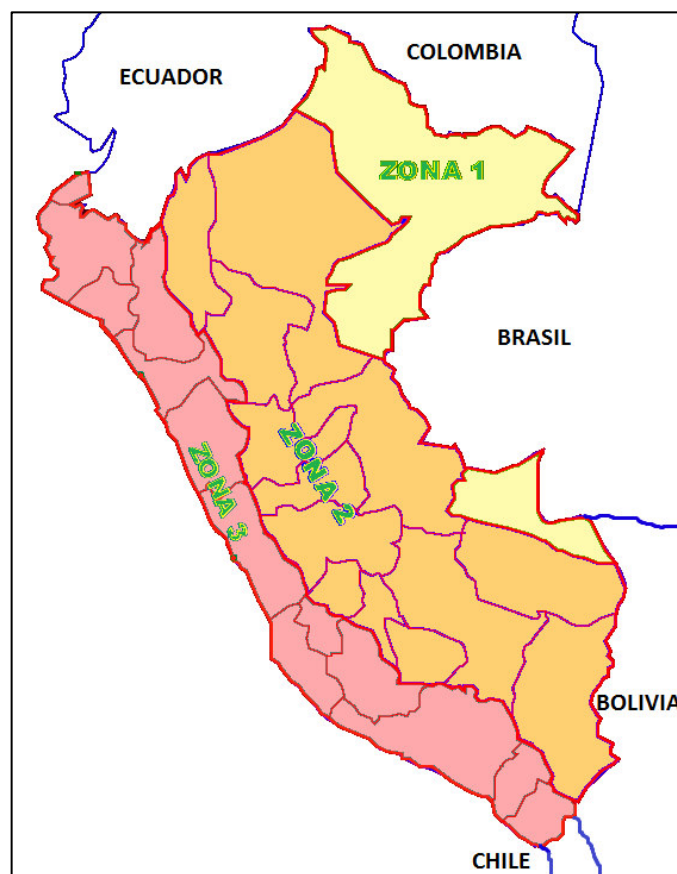
#### 4.4.2. Determinación de las Aceleraciones Sísmicas

Se consideró la Norma E.030 de Diseño Sismo-Resistente publicada por el Instituto de Construcción y Gerencia (ICG, 2000), en la que se divide el territorio nacional en tres zonas, como se muestra en la Figura N° 4.3. La zonificación propuesta se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de éstos con la distancia epicentral. (Ver **Anexos**. I. Norma E.030 de Diseño Sismo-Resistente).

A cada zona se le asigna un factor Z según se indica en el Cuadro N° 4.9. Este factor se interpreta como la aceleración máxima del terreno con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años.

**Cuadro N° 4.9. Factores de Zona**

ZONA	Z
3	0.40
2	0.30
1	0.15



**Figura N° 4.3. Representación de zonas sísmicas definidas en la norma técnica E-030 de diseño sismo-resistente sobre el mapa del Perú**

La carretera Canta – Huayllay está incluida entre las zonas N° 2 y N° 3. Sin embargo, el sector del km 0 al 10 se encuentra en la zona N° 3 por lo que el factor considerado sería de 0.40.

Para el presente trabajo se utilizará una aceleración horizontal efectiva (coeficiente sísmico) de 0.17g, que es el 50% de la aceleración máxima horizontal de 0.34g de acuerdo con el mapa de isoaceleraciones para un 10% de excedencia en 50 años (Ver Figura N° 2.3). Para la aceleración vertical se tomará un valor de 0.11g que representa los dos tercios de la aceleración horizontal efectiva.

#### 4.4.3. Constante de la Roca Intacta

Se consideró un valor para la Constante de la Roca Intacta ( $m_i$ ) del macizo rocoso del km 102+780 con el fin de poder determinar su estabilidad mediante el método de Hoek – Brown Generalizado.

Este valor fue estimado del siguiente cuadro:

**Cuadro N° 4.10. Valores de la Constante  $m_i$  de la Roca Intacta para distintos tipos de roca**

Tipo de Roca	Clase	Grupo	Textura			
			Gruesa	Media	Fina	Muy Fina
SEDIMENTARIAS	Clásticas		Conglomerado (22)	Arenisca 19	Limolita 9	Arcillolita 4
			←----- Grauwaca -----> (18)			
	No Clásticas	Orgánicas	←----- Creta -----> 7			
		Carbonatos	Brechas (20)	Caliza Esparítica (10)	Caliza Micrítica 8	
Químicas			Yeso 16	Anhidrita 13		
METAMORFICAS	No Foliadas		Mármol 9	Rocas Córneas (19)	Cuarcita 24	
	Levemente Foliadas		Migmatita (30)	Anfibolita 25 - 31	Milonitas (6)	
	Foliadas		Gneiss 33	Esquistos 4 - 8	Filitas (10)	Pizarras 9
IGNEAS	Intrusivas	Claras	Granito 33		Riolita (16)	Obsidiana (19)
			Granodiorita (30)		Dacita (17)	
	Oscuras	Diorita (28)		<b>Andesita 19</b>		
		Gabbro 27	Dolerita (19)	Basalto (17)		
		Norita 22				
	Extrusivas Piroclásticas		Aglomerados (20)	Brechas (18)	Tobas (15)	

El macizo rocoso del Km 102+780 consiste de andesita, por lo tanto se le ha asignado un valor de  $m_i = 19$ .

#### 4.4.4. CONDICIONES GEOTÉCNICAS DE LOS TALUDES

Las condiciones geotécnicas de los taludes han sido evaluadas en campo mediante ensayos in situ, y a través de los resultados obtenidos e interpretados a partir de los ensayos de laboratorio realizados.

##### 4.4.4.1. Talud del km 102+780 al km 103+020

De acuerdo con los resultados de las refracciones sísmicas del km 103+000 al km 103+100 (Ver **Anexos**. A. Trabajos Geotécnicos), se distinguen 3 capas. El material de cobertura tiene un espesor variable entre los 0.1 a 3.0 m, el material coluvial presenta entre 5.0 y 15.0 m de espesor, y la roca fracturada entre 15 a 29 m.

En la capa de suelo más superficial se generaron grietas tensionales que marcan planos de deslizamientos rotacionales paralelos, con saltos verticales que alcanzan aproximadamente 1m.

Los ensayos del laboratorio de mecánica de suelos realizados indican las siguientes propiedades:

Km 102+730 al Km 102+920	
Clasificación SUCS	GP – GC
Límite Líquido	26
Límite Plástico	20

Km 102+920 al Km 103+000	
Clasificación SUCS	GC
Límite Líquido	29
Límite Plástico	21

Teniendo en cuenta los resultados anteriores, las tablas de valores para la cohesión y ángulo de fricción interna, y los resultados obtenidos de los ensayos de DPL y Cono de Arena, se considera los siguientes parámetros geotécnicos para los dos tipos de suelos:

DEPÓSITO COLUVIAL (GP – GC)	
Densidad Natural ( $\gamma_n$ )	1.85 Tn/m <sup>3</sup>
Cohesión (C)	4 kPa
Angulo de Fricción Interna ( $\phi$ )	37°

DEPÓSITO COLUVIO – ALUVIAL (GC)	
Densidad Natural ( $\gamma_n$ )	1.76 Tn/m <sup>3</sup>
Cohesión (C)	6 kPa
Angulo de Fricción Interna ( $\phi$ )	32°

A continuación se presentan los parámetros de calidad que se determinaron para el macizo rocoso a la base del talud:

ROCA FRACTURADA	
RMR Básico	51
RMR Ajustado	26
SMR	44
Resistencia a la Compresión Uniaxial (UCS)	30 MPa
Índice de Resistencia Geológica (GSI)	45
Constante de Roca Intacta (mi)	19

De lo mostrado anteriormente, se considera que los movimientos geodinámicos del talud en esta zona son generados por los siguientes factores:

- Altura de los taludes de suelos arcillo gravosos.
- Filtraciones de agua hacia las paredes del talud.
- Orientación de las discontinuidades (planos de contacto) desfavorables a la vía.

#### 4.4.4.2. Talud del km 104+920 al km 105+010

El problema geodinámico que afecta a esta zona es la reptación de suelos superficiales de la ladera y la ocurrencia de deslizamientos rotacionales. Los taludes en esta zona tienen una altura máxima de 12m y en la ladera superior se pueden observar grietas tensionales. Los materiales que los conforman son dos:

- Roca Alterada (SC-SM)
- Suelo Limoso (ML)

Los ensayos del laboratorio de mecánica de suelos realizados indican las siguientes propiedades:

Km 104+900 al Km 104+950	
Clasificación SUCS	ML
Límite Líquido	39
Límite Plástico	28

Km 104+930 al Km 105+000	
Clasificación SUCS	SC-SM
Límite Líquido	26
Límite Plástico	20

Teniendo en cuenta los resultados anteriores y los resultados obtenidos de los ensayos de DPL y Cono de Arena, se considera los siguientes parámetros geotécnicos para los dos tipos de suelos:

ROCA ALTERADA (SC – SM)	
Densidad Natural ( $\gamma_n$ )	1.79 Tn/m <sup>3</sup>
Cohesión (C)	7 kPa
Angulo de Fricción Interna ( $\phi$ )	30°

SUELO LIMOSO (ML)	
Densidad Natural ( $\gamma_n$ )	1.71 Tn/m <sup>3</sup>
Cohesión (C)	8 kPa
Angulo de Fricción Interna ( $\phi$ )	20°

De lo expuesto anteriormente, los principales factores que desencadenan los movimientos geodinámicos en los taludes de esta zona son:

- Suelos limo-arenosos saturados por acción de las filtraciones de agua provenientes de los riegos de los terrenos de alfalfa en la ladera superior.
- Taludes de pendiente alta para estos tipos de materiales.

#### 4.4.4.3. Talud del km 109+500 al km 109+580

Los materiales de corte que conforman este sector son una secuencia de deslizamientos antiguos conformados por suelos areno-limosos. El talud tiene una altura promedio de 12 m. En la ladera superior a éste se presentan grietas escalonadas que marcan planos de deslizamiento rotacional que comprometen la estabilidad del talud, favorecidos por las filtraciones de agua existentes.

Los ensayos del laboratorio de mecánica de suelos realizados indican las siguientes propiedades:



Km 109+550 al Km 109+650	
Clasificación SUCS	SC
Límite Líquido	33
Límite Plástico	22

Teniendo en cuenta los resultados anteriores y los resultados obtenidos de los ensayos de DPL y Cono de Arena, se considera los siguientes parámetros geotécnicos para el suelo:

SUELO ARENO-ARCILLOSO (SC)	
Densidad Natural ( $\gamma_n$ )	1.4 Tn/m <sup>3</sup>
Cohesión (C)	7 kPa
Angulo de Fricción Interna ( $\phi$ )	28°

Los principales factores que generan los fenómenos geodinámicos en esta zona son:

- Filtraciones de agua en el terreno, las cuales producen la saturación de los suelos, y por lo consiguiente, aumento del peso de los materiales y pérdida de consistencia.
- Presencia de planos de deslizamientos escalonados antiguos temporalmente estabilizados, que al ser excavados se pueden reactivar.

#### 4.4.5. Análisis de Estabilidad de Taludes

Para ejecutar los análisis e interpretación de la estabilidad de los taludes del sector se procedió con una metodología de estudio sobre la base de modelos geotécnicos, en la cual intervienen los aspectos geológicos, los resultados de los ensayos de laboratorio y ensayos in situ para los diferentes materiales constituyentes de los taludes.

Se ha utilizado el programa Slide 6.0 de Rocscience, que efectúa el análisis de estabilidad de taludes por equilibrio límite, utilizando los modelos de Bishop simplificado y Spencer, para deslizamientos de forma circular. El programa genera una variedad de superficies de falla potencial, de las cuales selecciona aquella con el mínimo valor de factor de seguridad.

De manera complementaria se ha realizado un análisis retrospectivo (Back Analysis) en los taludes de los kms 104+920 y 109+500 para

determinar los parámetros de resistencia al corte de Mohr-Coulomb, cohesión  $c$  y ángulo de fricción interna  $\phi$ , ya que los resultados obtenidos a partir de ensayos de laboratorio y ensayos in situ muchas veces no son representativos debido a factores como la heterogeneidad del suelo. El análisis retrospectivo asume un factor de seguridad igual a 1 en la superficie de deslizamiento definida y toma en cuenta la geometría original del talud.

Para definir la estabilidad de los taludes, se ejecuta el análisis estático (sin carga sísmica), y el análisis en condición pseudo-estática, en el que se acepta un factor de seguridad mayor que 1. Para el caso del análisis pseudo-estático de taludes se ha considerado una aceleración horizontal de 0.17g y una aceleración vertical de 0.11g.

#### **4.4.5.1. Análisis de Estabilidad del Talud del km 102+780 al km 103+020**

En esta zona se presentan dos masas de suelo: grava arcillosa con arena (GC) que yace sobre grava pobremente gradada con arcilla (GP-GC). Estas masas se deslizan a través de una superficie de contacto suelo-roca, con una inclinación de 30° NW, generando grietas tensionales en la ladera superior.

El suelo de tipo GC tiene un espesor promedio del orden de los 3m, alcanzando un máximo de 6 m en la parte media del talud. Por otro lado, el depósito coluvial (GP-GC), que yace debajo de éste y sobre la superficie de contacto suelo-roca, tiene un espesor que oscila entre los 5 y 15 m. Estos depósitos no aplican cargas significativas que afecten la estabilidad de la base rocosa.

La roca fracturada a la base consiste de andesitas que presentan un bajo grado de metamorfismo, con una calidad geotécnica regular. Estas pueden exhibir pequeñas roturas y caídas de bloques esporádicas, no significativas en la estabilidad global del talud.

El estudio geológico – geotécnico del proyecto contemplaba la adopción de taludes de corte de 1:6 (H:V). Posteriormente, se produjeron derrumbes de roca y desprendimientos de bloques sueltos que implicaron grandes riesgos contra la seguridad de los transeúntes, además de generarse grietas tensionales en las laderas superiores. Esto conllevó a la ejecución de un nuevo corte de talud 1:1 (H:V), apropiado para materiales sueltos, luego de la liberación del terreno de cultivo de la ladera superior.

CLASIFICACIÓN	PROGRESIVAS		TIPO DE MATERIAL (%) VERIFICADO			TALUD
	INICIO	FINAL	ROCA FIJA (%)	ROCA SUELTA (%)	MATERIAL SUELTO (%)	
Proyecto	102+700	102+920	-	60	40	1:6
	102+920	103+040	-	80	20	1:6
Reclasificación	102+770	103+040	-	35	65	1:1

**Cuadro N° 4.11. Clasificación de materiales de corte Km 102+780 al Km 103+020**

Después de efectuadas las nuevas excavaciones en el talud, se realizó un monitoreo de las grietas tensionales presentes en la ladera superior, registrándose desplazamientos importantes en ésta y un plano de contacto entre el suelo y el basamento rocoso en la parte media del talud, el cual actuaba como superficie de deslizamiento.

Como medida correctiva se ejecutó un corte con banquetta de 3m de ancho con un talud de 1:1 (H:V) en la parte superior del talud y se efectuó la reconfiguración del terreno para eliminar las grietas, lo cual fue insuficiente, ya que estas volvieron a aparecer en el terreno y se registró un desplazamiento de 0.50 m del suelo sobre la superficie de contacto con la roca durante un periodo de 6 meses después de ejecutados los trabajos.

Se considera que los factores desestabilizantes son la presencia de agua que se infiltra a través de las grietas, especialmente durante las temporadas de precipitaciones pluviales, y la existencia de una superficie de contacto suelo-roca orientada hacia la plataforma, que actúa como plano de deslizamiento.

Mediante el criterio de Hoek y Brown se calculó en el software Slide 6.0, a partir de los datos obtenidos de GSI, UCS y  $m_i$ , los siguientes parámetros geotécnicos de la roca fracturada, que sirvieron para realizar el modelo de estabilidad:

ROCA FRACTURADA	
m	2.66486
s	0.00221808
a	0.508086

Se utilizó el criterio de rotura de Mohr – Coulomb para los dos tipos de suelo presentes en el terreno. Se trabajó con los siguientes parámetros:

DEPÓSITO COLUVIAL (GP – GC)	
Peso Unitario ( $\gamma$ )	18.12 Tn/m <sup>3</sup>
Cohesión (C)	4 kPa
Angulo de Fricción Interna ( $\phi$ )	37°

DEPÓSITO COLUVIO – ALUVIAL (GC)	
Peso Unitario ( $\gamma$ )	17.28 Tn/m <sup>3</sup>
Cohesión (C)	6 kPa
Angulo de Fricción Interna ( $\phi$ )	32°

En los **Anexos** (F. Secciones Transversales) se muestra la sección Km 102+800 que representa el modelo geotécnico del deslizamiento que afecta el talud superior de la plataforma, antes de aplicarse las medidas correctivas y después de establecidas. Los resultados del cálculo del factor de seguridad, para modelos estáticos y sísmicos (pseudo-estáticos), se presentan a continuación:

TALUD Km 1+300	ESTÁTICO	SÍSMICO
SIN MEDIDAS CORRECTIVAS	1.011	0.766
CON TRATAMIENTO	1.398	1.027

Los resultados demuestran la necesidad de aplicar las medidas correctivas para lograr la estabilidad de los taludes.

#### 4.4.5.2. Análisis de Estabilidad del Talud del km 104+920 al km 105+010

Entre estas progresivas se presentan taludes con dos tipos de materiales: roca volcánica alterada (arena limo-arcillosa con grava, SC-SM) a la base, sobre la que yace una capa superficial de limo arenoso de baja plasticidad (ML).

Esta zona sufrió reptación de suelos superficiales de la ladera y deslizamientos rotacionales a causa de las filtraciones de agua provenientes del riego por aspersion de los terrenos de cultivo de las laderas superiores.

En el estudio del proyecto se estableció un talud de 1:2 (H:V), el cual era inadecuado, ya que luego de realizarse las excavaciones en el talud, se produjo un deslizamiento rotacional. Posteriormente, se modificó el talud de 1:2 (H:V) a 1:1 (H:V). Sin embargo, después de realizado este cambio de talud se registraron nuevos deslizamientos y reptación de suelo superficial.

CLASIFICACIÓN	PROGRESIVAS		TIPO DE MATERIAL (%) VERIFICADO			TALUD
	INICIO	FINAL	ROCA FIJA (%)	ROCA SUELTA (%)	MATERIAL SUELTO (%)	
Proyecto	104+890	105+040	-	-	100	1:2
Reclasificación	104+910	105+010	-	-	100	1:1

**Cuadro N° 4.12. Clasificación de materiales de corte Km 104+920 al Km 105+010**

De acuerdo con los resultados referenciales obtenidos de ensayos indirectos (DPL), de densidad natural in situ, las observaciones de campo y ensayos de laboratorio, se definieron los siguientes parámetros geotécnicos para el cálculo del factor de seguridad según el criterio de rotura de Mohr-Coulomb:

ARENA LIMO-ARCILLOSA CON GRAVA (SC – SM)	
Peso Unitario ( $\gamma$ )	17.6 kN/m <sup>3</sup>
Cohesión (C)	7 kPa
Angulo de Fricción Interna ( $\phi$ )	30°

LIMO ARENOSO DE BAJA PLASTICIDAD (ML)	
Peso Unitario ( $\gamma_n$ )	16.7 kN/m <sup>3</sup>
Cohesión (C)	8 kPa
Angulo de Fricción Interna ( $\phi$ )	20°

Conociéndose el plano de deslizamiento en el talud de esta zona, se efectuó un análisis retrospectivo (**Ver Anexos. G. Back Analysis**) para determinar con mayor exactitud los parámetros geotécnicos de los materiales presentes. Los resultados se presentan a continuación:

Suelo	Peso Unitario ( $\gamma$ )	Cohesión (C)	Ángulo de Fricción Interna ( $\phi$ )
SC-SM	21.16 kN/m <sup>3</sup>	8 kPa	34°
ML	17.3 kN/m <sup>3</sup>	8.5 kPa	23°

A partir de estos parámetros se realizó el cálculo del factor de seguridad para modelos estáticos y sísmicos (pseudo-estáticos), los resultados se presentan a continuación:

TALUD Km 104+950	ESTÁTICO	SÍSMICO
CON TRATAMIENTO	1.428	1.126

De manera complementaria, se realizó un modelamiento de la influencia de las aguas subterráneas en la estabilidad del talud en este sector en el programa Slide 6.0. En los **Anexos** (H. Modelos de Estabilidad de Taludes) se muestran los modelos de estabilidad con la presión de poros sin obras de drenaje y después de incluidos los subdrenes horizontales, asignándose los siguientes valores de permeabilidad:

Material	Permeabilidad (K)
SC-SM	1e-004 m/s
ML	1e-005 m/s
Subdrenes	0.01 m/s

Una vez asignados los parámetros hidráulicos, se ejecutaron los cálculos del factor de seguridad para modelos sísmicos (pseudo-estáticos), sin obras de drenaje, y con obras de drenaje. Los resultados se presentan a continuación:

TALUD Km 3+450	SÍSMICO
SIN DRENAJE	0.772
CON SUBDRENES	1.016

#### 4.4.5.3. Análisis de Estabilidad del km 109+500 al km 109+580

Entre estas progresivas se presentan taludes con un solo tipo de material: Arena arcillosa con grava (SC). El terreno de esta zona está conformado por una serie de deslizamientos rotacionales antiguos temporalmente estabilizados.

El proyecto indicaba la ejecución de un corte cerrado con talud de 1:2 (H:V). Después de ejecutados los cortes, aparecieron grietas tensionales en la ladera superior al talud produciéndose

desplazamientos. Consecuentemente ocurrieron deslizamientos rotacionales en el talud.

La primera medida que se adoptó fue la de inclinar el talud de 1:2 (H:V) a 1:1 (H:V) entre las progresivas del km 109+500 al km 109+580, adecuado para taludes conformados por material suelto.

CLASIFICACIÓN	PROGRESIVAS		TIPO DE MATERIAL (%) VERIFICADO			TALUD
	INICIO	FINAL	ROCA FIJA (%)	ROCA SUELTA (%)	MATERIAL SUELTO (%)	
Proyecto	109+480	109+620	-	-	100	1:2
Reclasificación	109+500	109+580	-	-	100	1:1

**Cuadro N° 4.13. Clasificación de materiales de corte Km 109+500 al Km 109+580**

Se realizó un monitoreo de la estabilidad en este sector, notándose asentamientos en la plataforma del orden de los 2m entre el km 109+440 y el km 109+520, favorecidos por las filtraciones de agua existentes.

Al ser una zona inestable de riesgo elevado, se consideró la posibilidad de ejecutar una variante que atravesase terreno estable. Sin embargo, al no poder realizarse, se emitieron medidas paliativas con la finalidad de aliviar la carga y mitigar los deslizamientos en este sector.

Una de las medidas ya realizadas para aliviar la carga en esta zona fue la ejecución de una curva vertical cóncava entre las progresivas del Km 109+400 al Km 109+500 para disminuir la altura del relleno previsto en el proyecto de 6m a 1.5m.

De acuerdo con los resultados referenciales obtenidos de ensayos indirectos (DPL), de densidad natural in situ, las observaciones de campo y ensayos de laboratorio, se definieron los siguientes parámetros geotécnicos del suelo para el cálculo del factor de seguridad mediante el software Slide 6.0, según el criterio de rotura de Mohr-Coulomb:

ARENA ARCILLOSA CON GRAVA (SC)	
Peso Unitario ( $\gamma$ )	14 kN/m <sup>3</sup>
Cohesión (C)	7 kPa
Angulo de Fricción Interna ( $\varphi$ )	28°

Teniéndose definido el plano de deslizamiento en el talud de esta zona, se efectuó un análisis retrospectivo (**Ver Anexos. G. Back Analysis**), utilizando el método de Bishop simplificado, para determinar con mayor exactitud los parámetros geotécnicos del material que conforma el terreno y poder efectuar el cálculo del factor de seguridad para el modelo de estabilidad, en el que se incluyen las medidas propuestas.

Los nuevos valores de los parámetros geotécnicos se presentan a continuación:

Suelo	Peso Unitario ( $\gamma$ )	Cohesión (C)	Ángulo de Fricción Interna ( $\phi$ )
SC	14 kN/m <sup>3</sup>	7 kPa	33°

En los **Anexos** (F. Secciones Transversales) se muestra la sección Km 109+520 que representa el modelo de estabilidad del deslizamiento que afecta el talud superior de la plataforma. Los resultados del cálculo del factor de seguridad, para modelos estáticos y sísmicos (pseudo-estáticos), se presentan a continuación:

TALUD Km 8+020	ESTÁTICO	SÍSMICO
CON TRATAMIENTO	1.340	1.015



## 5. CONCLUSIONES

- Los problemas de inestabilidad de taludes en los sectores del km 102 al km 110 fueron ocasionados por la ejecución de cortes inadecuados para los materiales que conforman el terreno, las condiciones desfavorables de las discontinuidades, y la influencia de las filtraciones de agua hacia las laderas y taludes.
- Se demostró que la reconfiguración de taludes, el sellado de grietas y la colocación de cunetas de coronación en el sector del km 102+780 al Km 103+020 de la carretera Canta – Huayllay, mejorarán la estabilidad del talud, ya que de acuerdo con los análisis geológico-geotécnicos efectuados, presentan un factor de seguridad apropiado.
- Se determinó que el control de las filtraciones de agua y la adopción de banquetas garantizarán la estabilidad del talud en el sector del km 104+920 al km 105+010 de la carretera Canta – Huayllay.
- La inclinación del talud y la adopción de banquetas asegurará la estabilidad del talud en el sector del Km 109+500 al Km 109+580 de la carretera Canta – Huayllay.

## 6. RECOMENDACIONES

- Se sugiere al lector tener en cuenta que la estructura y redacción del presente trabajo pueden estar sujetas a errores u omisiones, por lo que se pide las disculpas del caso.
- Se recomienda a la empresa contratista y supervisión realizar un monitoreo continuo de los desplazamientos y generación de grietas tensionales que puedan ocurrir en las zonas de deslizamientos a través de controles topográficos, además se deberá realizar estudios complementarios de hidrología e hidrogeología para evaluar las zonas comprometidas con problemas de filtraciones de agua.
- Para la estabilidad del talud en el sector del Km 102+780 al Km 103+020 se recomienda la reconfiguración del terreno: Inclinación del talud de un valor de 1:1 (H:V, 45°) por un talud de 35°, con una banqueta de 3m de ancho, sobre la superficie de contacto roca-suelo. Asimismo, se sugiere realizar el sellado de grietas con suelo arcilloso de buena cohesión, colocar cunetas de coronación para el drenaje de las aguas superficiales y la revegetación del talud y ladera con especies nativas.

- En el sector del Km 104+920 al Km 105+010 se recomienda la reconformación de suelos superficiales, la ejecución de una plazoleta de recepción de 4m de ancho hacia el talud superior, inclinación del talud de 1:1 (H:V) con banquetta de 3m de ancho a 7m de altura, la colocación de cunetas de coronación para el drenaje de las aguas superficiales y la colocación de subdrenes horizontales: Tuberías perforadas de PVC de 8" de diámetro, envueltas en una manta geotextil, que haga las veces de filtro para evitar la obstrucción de espacios vacíos.
- Para la estabilidad del talud en el sector del Km 109+500 al Km 109+580 se recomienda la ejecución de una plazoleta de recepción de 3m de ancho hacia el talud superior, la construcción de una banquetta de 3m de ancho a 7m de altura con una inclinación del talud de 1:1 (H:V) y la colocación de cunetas de coronación.
- Se sugiere a las empresas proyectistas evitar en lo posible diseñar carreteras con zonas de rellenos muy altos si no se dispone de suficientes canteras o materiales aptos provenientes de los cortes de talud. También se les recomienda evaluar con mayor detalle los fenómenos de geodinámica externa y las condiciones de los macizos rocosos a lo largo del tramo, ya que muchas veces en el diseño de una carretera no se toma en cuenta la orientación de las discontinuidades de los mismos, generándose problemas de derrumbes, interrupciones del tránsito y retrasos durante la ejecución de la obra.
- Para estudios geológico – geotécnicos a futuro será necesario exigir al proyectista la realización de una clasificación de materiales de corte con un menor margen de error, sustentado con investigaciones de campo y fotografías, para que en obra no se incurra en tantas solicitudes de presupuesto adicional por mayores metrados en las partidas de Movimiento de Tierras, Excavación en Roca Fija y Remoción de Derrumbes.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVA H., J. “*Soluciones Geotécnicas en Estabilidad de Taludes*” (Disponible en [http://www.cismid.uni.edu.pe/labgeo30\\_p](http://www.cismid.uni.edu.pe/labgeo30_p))

ÁNGELES G., R. (1999) “*Estudio Geológico – Geotécnico Presa y Bocatoma Las Yuntas (IX Región de La Araucanía – Chile)*”. Tesis Ing. Geólogo, UNMSM, E.A.P. Ing. Geológica.

ARELLANO, R., BIELEFELDT, J. & CORREA, D., “*Análisis de taludes mediante ensayos y back análisis de fallas*”.

BIENIAWSKI, Z.T. (1989) “*Engineering Rock Mass Classifications*”. Wiley. Nueva York.

CASTILLO A., J. & ALVA H., J (1993) “*Peligro Sísmico en el Perú*”. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima.

COBBING, J. et al (1973) “*Geología de los Cuadrángulos de Barranca, Ambar, Oyón, Huacho, Huaral y Canta*”. Servicio de Geología y Minería. Bol 26.

DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES DEL MTC (2013) “*Manual de Carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013*”, Tomo I, Capítulo II: Movimiento de Tierras, Sección 202: Excavación para explanaciones.

GRANADOS L., A. (2006) “*Estabilización del Talud de la Costa Verde en la Zona del Distrito de Barranco*”. Tesis Ing. Civil, PUCP, Fac. Ciencias e Ingeniería.

GONZALEZ DE VALLEJO L. et al (2002) “*Ingeniería Geológica*”, Parte II Aplicaciones, Capítulo 9. Taludes, 9.5. Análisis de Estabilidad, págs. 447 – 456. Madrid.

HOEK, E. & BRAY, J.W. (1981) “*Rock Slope Engineering*”, Institution of Mining and Metallurgy, Londres

HOEK, E. & BROWN, E.T. (1980) “*Underground Excavations in Rock*”, pág. 527. Institution of Mining and Metallurgy, Londres

HOEK, E. & BROWN, E. T. (1988) "*The Hoek-Brown Failure Criterion*" - a 1988 update, Rock Engineering for Underground Excavations, págs. 31-38. Dept. Civil Engineering, University of Toronto.

INSTITUTO DE LA CONSTRUCCIÓN Y GERENCIA (2000) "*Manual de Ensayos de Materiales para Obras Viales*". Segunda Edición. Lima.

INSTITUTO DE LA CONSTRUCCIÓN Y GERENCIA (2006) "*Diseño Sismorresistente*", Capítulo II. Parámetros de Sitio.

INSTITUTO METROPOLITANO DE PLANIFICACIÓN (2014). "*Plan Integral de La Cuenca Chillón, Intercuencas La Pampilla, Ventanilla, Santa Rosa y Ancón y la Zona Marítima Costera Callao-Pasamayo*". Plan de Ordenamiento Territorial Cuenca Chillón. Capítulo IV: Diagnóstico de los Componentes Ecológicos Físicos.

NORMAS AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials (1998) Guide for Design of Pavement Structures. USA.

NORMAS ASTM, American Society for Testing and Materials (2000). Standards International. USA.

ROMANA, M, SERÓN, J. & MONTALAR, E. (2003) "*SMR Geomechanics classification: Application, experience and validation*", ISMR-2003-Technology roadmap for rock mechanics, South African Institute of Mining and Metallurgy

SPENCER, E. (1967) "*A method of analysis of the stability of embankments assuming parallel interslice forces*". Géotechnique.

SUAREZ D., J. (2009) "*Deslizamientos*", Tomo I: Análisis Geotécnico, Capítulo 7. Comportamiento Sísmico de los Taludes, págs. 272, 273, 298, 299. Barranquilla.

SUAREZ D., J. (2009) "*Deslizamientos*", Tomo II: Técnicas de Remediación, Barranquilla.

TOLENTINO Y., V. (2003) "*Solución a Problemas de Inestabilidad de Taludes Km 17 y 22 de la Carretera de Acceso Mina Antamina*". Tesis Msc. en Geotecnia, UNMSM, Unidad de Postgrado.


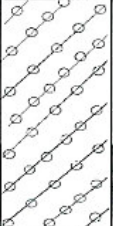

WINROD CONTRATISTAS S.A.C. (2012) "*Estudio Definitivo Para la Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lima – Canta – La Viuda – Unish, Tramo: Canta – Huayllay*", Vol. N° 01, Tomo 3: 3.1 Estudio Geológico Geotécnico.

# **ANEXOS:**

## **A. TRABAJOS GEOTÉCNICOS**



CALICATA : C-5  
 PROGRESIVA : 1 + 250 (Trocha Existente Km. 102+750)  
 LADO : IZQUIERDO

FECHA DE EXCAVACIÓN : 27/11/2008  
 PROFUNDIDAD TOTAL (m) : 1.15  
 PROF. NIVEL FREÁTICO (m) : NP

PROF. (m)	Nro. MUESTRA	SIMBOLO	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	CLASIFICACION		ENSAYOS IN SITU
				SUCS	ASSHTO	
0.10	M-1		Gravas sub-angulosas con material limo-arcilloso, 65% de grava menor a 2" color beige, humedad baja, plasticidad media, estado compacto	GP-GC	A-2-4 (0)	PERFIL
0.20						
0.30						
0.40						
0.50	M-2		Presenta fragmentos de roca fracturada, grava y arena limo-arcillosa, color gris, humedad baja, estado compacto, plasticidad media. Presencia de gravas sub-angulosas en 10 a 15%	GC	A-2-4 (0)	
0.60						
0.70						
0.80						
0.90						
1.00						
1.10			Roca fracturada			
1.15						
1.30						
1.40						
1.50						
1.60						
1.70						
1.80						
1.90						
2.00						


CALICATA : C-6  
 PROGRESIVA : 1 + 500 (Trocha Existente Km. 103+000)  
 LADO : DERECHO

FECHA DE EXCAVACIÓN : 27/11/2008  
 PROFUNDIDAD TOTAL (m) : 1.50  
 PROF. NIVEL FREÁTICO (m) : NP

PROF. (m)	Nro. MUESTRA	SIMBOLO	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	CLASIFICACION		ENSAYOS IN SITU
				SUCS	ASSHTO	
0.10	M-1		Arena y gravas con material limo-arcilloso, color amarillo claro, humedad baja, estado compacto, plasticidad media. Grava sub-angular menor de 2" en 15 a 20% y mayor a 3" en 10%.	SC	A-2-4 (0)	PERFIL
0.20						
0.30						
0.40						
0.50	M-2		Grava con material arcillo-limoso, color amarillo claro, humedad baja, plasticidad media, estado semi-compacto. Con gravas 60% menor a 2" y 10% mayor a 3". Presenta bolones 50 x 30 en el perfil.	GP-GC	A-2-6 (0)	
0.60						
0.70						
0.80						
0.90						
1.00						
1.10						
1.20						
1.30						
1.40						
1.50						
1.60						
1.70						
1.80						
1.90						
2.00						

CALICATA : C-14  
 PROGRESIVA : 3 + 500 (Trocha Existente Km. 105+000)  
 LADO : DERECHO


FECHA DE EXCAVACIÓN : 28/11/2008  
 PROFUNDIDAD TOTAL (m) : 1.10  
 PROF. NIVEL FREÁTICO (m) : 1.10

PROF. (m)	Nro. MUESTRA	SIMBOLO	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	CLASIFICACION		ENSAYOS IN SITU
				SUCS	ASSHTO	
0.10	M-1		Material granular arcilloso, con 50% de grava subangular menor a 2", color beige, plasticidad baja, humedad baja, estado compacto. Grava mayor de 3" de 10% a 15%..	GP-GC	A-2-4 (0)	PERFIL
0.20						
0.30						
0.40						
0.50						
0.60						
0.70						
0.80						
0.90						
1.00						
1.10						
1.20			Se encuentra nivel freático, no se continuo la excavación.			
1.30						
1.40						
1.50						
1.60						
1.70						
1.80						
1.90						
2.00						

\*Se encuentra nivel freático a una profundidad de 1.10 m.

CALICATA : C-36  
 PROGRESIVA : 8 + 000 (Trocha Existente Km. 109+500)  
 LADO : DERECHO

FECHA DE EXCAVACIÓN : 01/12/2008  
 PROFUNDIDAD TOTAL (m) : 1.50  
 PROF. NIVEL FREÁTICO (m) : NP

PROF. (m)	Nro. MUESTRA	SIMBOLO	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	CLASIFICACION		ENSAYOS IN SITU
				SUCS	ASSHTO	
0.10	M-1		Grava con material limo-arcilloso, NP, color beige claro, humedad baja, estado compacto. Gravas subangulosas menores de 2" en 40 a 50% y mayores de 3" en 15% a 20%.	GP-GM	A-1-a (0)	PERFIL
0.20						
0.30						
0.40						
0.50						
0.60						
0.70						
0.80						
0.90						
1.00						
1.10						
1.20						
1.30						
1.40						
1.50						
1.60						
1.70						
1.80						
1.90						
2.00						



**Línea de Refracción (L.S. – 01) – GEOPERSIS SRL (Geotecnia Perforaciones Sísmica)**

**Tramo: Canta Huayllay km 103+000 – km 103+100**

Línea Sísmica	Estratos	Vp (m/s)	Espesor (m)	Descripción
L.S. – 01	01	300.00	0.4 – 0.6	Material de cobertura conformado por depósitos de naturaleza aluvional, conformado por la fracción grava, arena, arcillo limosa de compacidad suelta a media.
	02	793.00	9.9 – 10.3	Estrato intermedio constituido por depósitos de naturaleza coluvio aluvial, conformado por la fracción grava, arena, arcillo limosa de compacidad media a moderada, o en su defecto suelos de naturaleza residual producto de la alteración de rocas volcánicas.
	03	1809.00	19.2 – 19.6	Capa inferior conformado por suelos de naturaleza residual producto de la alteración de rocas volcánicas de compacidad media, moderada a compacta, o en su defecto rocas volcánicas intensamente meteorizadas y fracturadas, lo cual es de mayor probabilidad.

**Línea de Refracción (L.S. – 02) – GEOPERSIS SRL (Geotecnia Perforaciones Sísmica)**

**Tramo: Canta Huayllay km 103+000 – km 103+100**

Línea Sísmica	Estratos	Vp (m/s)	Espesor (m)	Descripción
L.S. – 02	01	300.00	0.0 – 1.6	Material de cobertura conformado por depósitos de naturaleza aluvional, conformado por la fracción grava, arena, arcillo limosa de compacidad suelta a media.
	02	817.00	0.4 – 7.3	Estrato intermedio constituido por depósitos de naturaleza coluvio aluvial, conformado por la fracción grava, arena, arcillo limosa de compacidad media a moderada, o en su defecto suelos de naturaleza residual producto de la alteración de rocas volcánicas.
	03	1974.00	21.3 – 29.6	Capa inferior conformado por suelos de naturaleza residual producto de la alteración de rocas volcánicas de compacidad media, moderada a compacta, o en su defecto rocas volcánicas intensamente meteorizadas y fracturadas, lo cual es de mayor probabilidad.

**Línea de Refracción (L.S. – 03) – GEOPERSIS SRL (Geotecnia Perforaciones Sísmica)**

**Tramo: Canta Huayllay km 103+000 – km 103+100**

Línea Sísmica	Estratos	Vp (m/s)	Espesor (m)	Descripción
L.S. – 03	01	300.00	0.1 – 1.6	Material de cobertura conformado por depósitos de naturaleza aluvional, conformado por la fracción grava, arena, arcillo limosa de compacidad suelta a media.
	02	955.00	12.6 – 14.0	Estrato intermedio constituido por depósitos de naturaleza coluvio aluvial, conformado por la fracción grava, arena, arcillo limosa de compacidad media a moderada, o en su defecto suelos de naturaleza residual producto de la alteración de rocas volcánicas.
	03	1881.00	15.8 – 16.9	Capa inferior conformado por suelos de naturaleza residual producto de la alteración de rocas volcánicas de compacidad media, moderada a compacta, o en su defecto rocas volcánicas intensamente meteorizadas y fracturadas, lo cual es de mayor probabilidad.

**Línea de Refracción (L.S. – 04) – GEOPERSIS SRL (Geotecnia Perforaciones Sísmica)**

**Tramo: Canta Huayllay km 103+000 – km 103+100**

Línea Sísmica	Estratos	Vp (m/s)	Espesor (m)	Descripción
L.S. – 04	01	300.00	0.0 – 3.2	Material de cobertura conformado por depósitos de naturaleza aluvional, conformado por la fracción grava, arena, arcillo limosa de compacidad suelta a media.
	02	773.00	1.3 – 4.1	Estrato intermedio constituido por depósitos de naturaleza coluvio aluvial, conformado por la fracción grava, arena, arcillo limosa de compacidad media a moderada, o en su defecto suelos de naturaleza residual producto de la alteración de rocas volcánicas.
	03	2044.00	22.7 – 28.7	Capa inferior conformado por suelos de naturaleza residual producto de la alteración de rocas volcánicas de compacidad media, moderada a compacta, o en su defecto rocas volcánicas intensamente meteorizadas y fracturadas, lo cual es de mayor probabilidad.

**Línea de Refracción (L.S. – 05) – GEOPERSIS SRL (Geotecnia Perforaciones Sísmica)**

**Tramo: Canta Huayllay km 103+000 – km 103+100**

Línea Sísmica	Estratos	Vp (m/s)	Espesor (m)	Descripción
L.S. – 05	01	300.00	0.1 – 0.5	Material de cobertura conformado por depósitos de naturaleza aluvional, conformado por la fracción grava, arena, arcillo limosa de compacidad suelta a media.
	02	773.00	9.6 – 10.3	Estrato intermedio constituido por depósitos de naturaleza coluvio aluvial, conformado por la fracción grava, arena, arcillo limosa de compacidad media a moderada, o en su defecto suelos de naturaleza residual producto de la alteración de rocas volcánicas.
	03	2044.00	19.6 – 19.9	Capa inferior conformado por suelos de naturaleza residual producto de la alteración de rocas volcánicas de compacidad media, moderada a compacta, o en su defecto rocas volcánicas intensamente meteorizadas y fracturadas, lo cual es de mayor probabilidad.

**Línea de Refracción (L.S. – 06) – GEOPERSIS SRL (Geotecnia Perforaciones Sísmica)**

**Tramo: Canta Huayllay km 103+000 – km 103+100**

Línea Sísmica	Estratos	Vp (m/s)	Espesor (m)	Descripción
L.S. – 06	01	300.00	0.0 – 2.5	Material de cobertura conformado por depósitos de naturaleza aluvional, conformado por la fracción grava, arena, arcillo limosa de compacidad suelta a media.
	02	915.00	14.0 – 16.5	Estrato intermedio constituido por depósitos de naturaleza coluvio aluvial, conformado por la fracción grava, arena, arcillo limosa de compacidad media a moderada, o en su defecto suelos de naturaleza residual producto de la alteración de rocas volcánicas.
	03	2000.00	13.5 – 13.6	Capa inferior conformado por suelos de naturaleza residual producto de la alteración de rocas volcánicas de compacidad media, moderada a compacta, o en su defecto rocas volcánicas intensamente meteorizadas y fracturadas, lo cual es de mayor probabilidad.

**Línea de Refracción (L.S. – 07) – GEOPERSIS SRL (Geotecnia Perforaciones Sísmica)**

**Tramo: Canta Huayllay km 103+000 – km 103+100**

Línea Sísmica	Estratos	Vp (m/s)	Espesor (m)	Descripción
L.S. – 07	01	300.00	0.0 – 0.7	Material de cobertura conformado por depósitos de naturaleza aluvional, conformado por la fracción grava, arena, arcillo limosa de compacidad suelta a media.
	02	978.00	13.9 – 14.8	Estrato intermedio constituido por depósitos de naturaleza coluvio aluvial, conformado por la fracción grava, arena, arcillo limosa de compacidad media a moderada, o en su defecto suelos de naturaleza residual producto de la alteración de rocas volcánicas.
	03	2000.00	15.1 – 15.8	Capa inferior conformado por suelos de naturaleza residual producto de la alteración de rocas volcánicas de compacidad media, moderada a compacta, o en su defecto rocas volcánicas intensamente meteorizadas y fracturadas, lo cual es de mayor probabilidad.

**Línea de Refracción (L.S. – 08) – GEOPERSIS SRL (Geotecnia Perforaciones Sísmica)**

**Tramo: Canta Huayllay km 103+000 – km 103+100**

Línea Sísmica	Estratos	Vp (m/s)	Espesor (m)	Descripción
L.S. – 08	01	300.00	0.0 – 0.5	Material de cobertura conformado por depósitos de naturaleza aluvional, conformado por la fracción grava, arena, arcillo limosa de compacidad suelta a media.
	02	1039.00	13.1 – 13.6	Estrato intermedio constituido por depósitos de naturaleza coluvio aluvial, conformado por la fracción grava, arena, arcillo limosa de compacidad media a moderada, o en su defecto suelos de naturaleza residual producto de la alteración de rocas volcánicas.
	03	1972.00	16.3 – 16.7	Capa inferior conformado por suelos de naturaleza residual producto de la alteración de rocas volcánicas de compacidad media, moderada a compacta, o en su defecto rocas volcánicas intensamente meteorizadas y fracturadas, lo cual es de mayor probabilidad.

**Línea de Refracción (L.S. – 09) – GEOPERSIS SRL (Geotecnia Perforaciones Sísmica)**

**Tramo: Canta Huayllay km 103+000 – km 103+100**

Línea Sísmica	Estratos	Vp (m/s)	Espesor (m)	Descripción
L.S. – 08	01	300.00	0.0 – 0.6	Material de cobertura conformado por depósitos de naturaleza aluvional, conformado por la fracción grava, arena, arcillo limosa de compacidad suelta a media.
	02	1021.00	14.3 – 15.1	Estrato intermedio constituido por depósitos de naturaleza coluvio aluvial, conformado por la fracción grava, arena, arcillo limosa de compacidad media a moderada, o en su defecto suelos de naturaleza residual producto de la alteración de rocas volcánicas.
	03	2000.00	14.7 – 15.2	Capa inferior conformado por suelos de naturaleza residual producto de la alteración de rocas volcánicas de compacidad media, moderada a compacta, o en su defecto rocas volcánicas intensamente meteorizadas y fracturadas, lo cual es de mayor probabilidad.

## **B. ENSAYOS DE LABORATORIO**

### ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

(NORMA MTC E-107, E-108 AASHTO T-27, ASTM D422)

**OBRA** : Supervisión del Mejoramiento, Rehabilitación y Conservación por Niveles de Servicio del Corredor Vial  
Lima-Canta-Huayllay- Dv. Cochamarca- Empalme PE3N

**TRAMO** : Canta - Huayllay

**MATERIAL** : Corte de Talud

**UBICACIÓN** : Km. 102+730 – 102+920 Lado. Izq.

#### DATOS DE LA MUESTRA

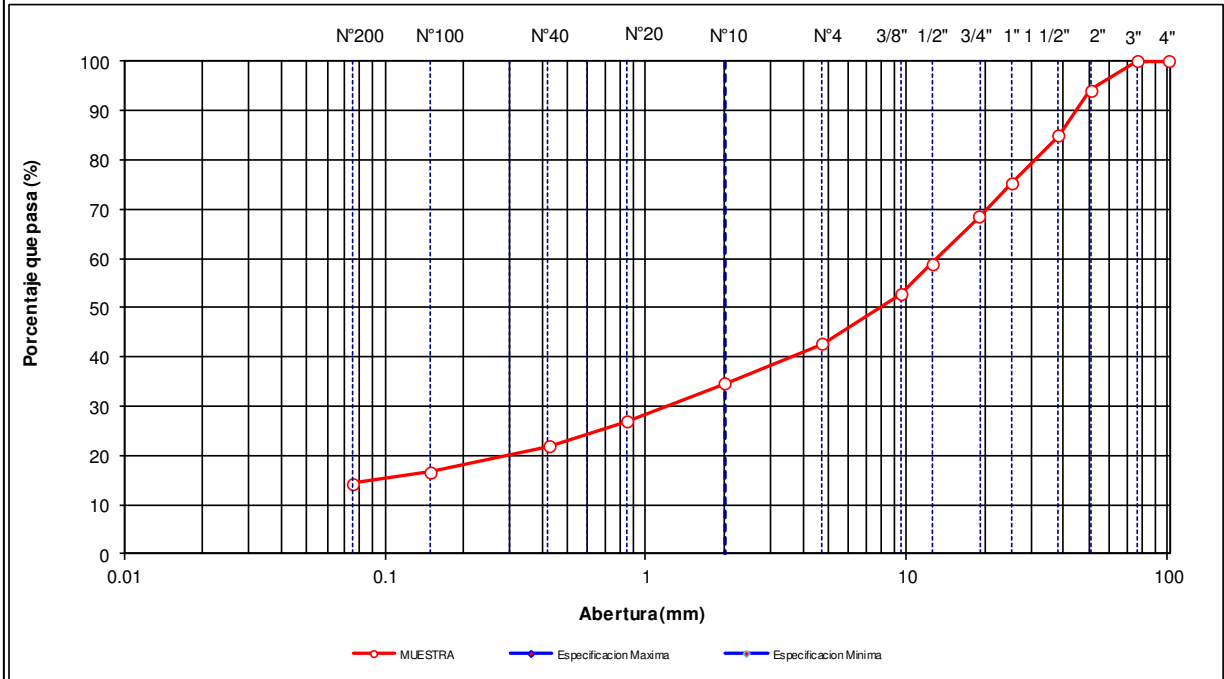
**AGREGADO** : - **TAMAÑO MAXIMO** : 3"

**MUESTREO** : km 102+825 **Peso inicial seco** : 12273.0 g

**PROF. (m)** : - **Peso lavado seco** : 12029.5 g

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
4"	101.600						Contenido de Humedad (%) : 11.1
3"	76.200				100.0		Límite Líquido (LL) : 29
2"	50.800	715	5.8	5.8	94.2		Límite Plástico (LP) : 21
1 1/2"	38.100	1138	9.3	15.1	84.9		Índice Plástico (IP) : 8
1"	25.400	1165	9.5	24.6	75.4		Clasificación (SUCS) : GC
3/4"	19.000	840	6.8	31.4	68.6		Clasificación (AASHTO) : A-2-4
1/2"	12.500	1185	9.7	41.1	58.9		Índice de Grupo : (0)
3/8"	9.500	764	6.2	47.3	52.7		Descripción ( AASHTO ) : BUENO
Nº 4	4.750	1237	10.1	57.4	42.6		Descripción ( SUCS ) : Grava arcillosa con arena
Nº 8	2.360						
Nº 10	2.000	137.1	8.0	65.4	34.6		
Nº 16	1.190						
Nº 20	0.840	132.2	7.7	73.2	26.8		
Nº 30	0.600						
Nº 40	0.425	84.8	5.0	78.1	21.9		<b>OBSERVACIONES :</b>
Nº 50	0.300						Bolonería > 3" : 0.0
Nº 80	0.177						Grava 3" - Nº 4 : 57.4
Nº 100	0.150	88.7	5.2	83.3	16.7		Arena Nº4 - Nº 200 : 28.3
Nº 200	0.075	40.6	2.4	85.7	14.3		Finos < Nº 200 : 14.3
< Nº 200	FONDO	243.5	14.3	100.0	0.0		

#### CURVA GRANULOMETRICA



**LIMITES DE CONSISTENCIA-PASA LA MALLA N°40**  
(NORMA MTC E-110, E-111, AASHTO T-89, T-90, ASTM D 4318)

**OBRA** : Supervisión del Mejoramiento, Rehabilitación y Conservación por Niveles de Servicio del Corredor Vial  
Lima-Canta-Huayllay- Dv. Cochamarca- Empalme PE3N

**TRAMO** : Canta - Huayllay

**MATERIAL** : Corte de Talud

**PROGRESIVA** : Km. 102+730 – 102+920 Lado. Izq.

**DATOS DE LA MUESTRA**

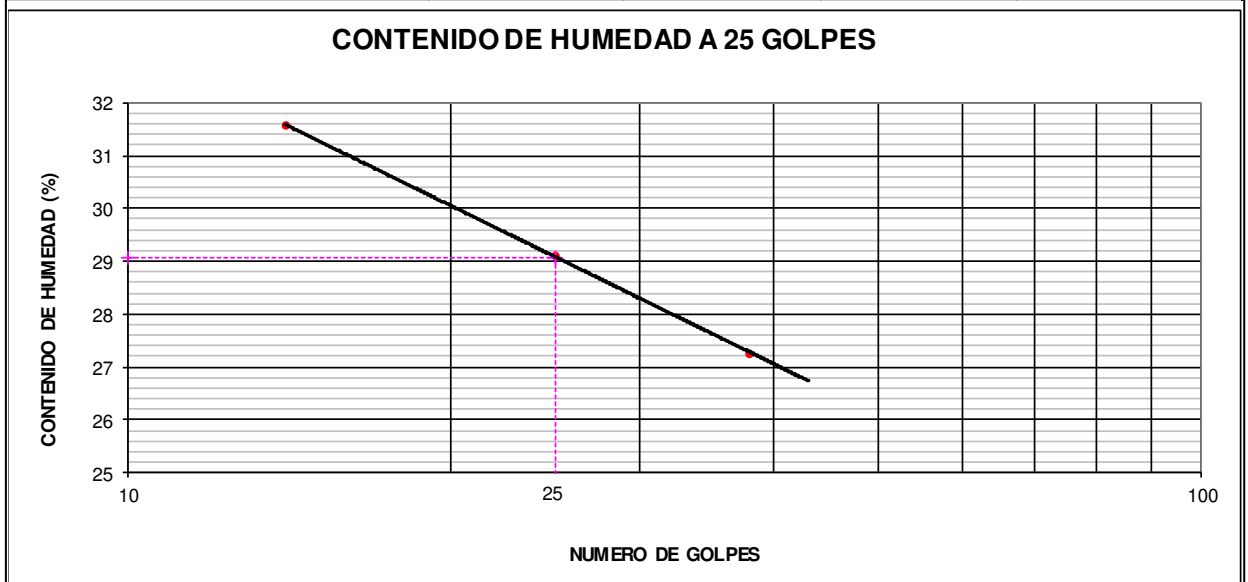
**AGREGADO** : - **TAMAÑO MAXIMO** : N° 40

**MUESTREO** : km 102+825

**PROF. (m)** : -

LIMITE LIQUIDO				
N° TARRO		21	22	23
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	37.67	37.41	37.11
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	32.05	32.14	32.22
PESO DE AGUA	(g)	5.62	5.27	4.89
PESO DEL TARRO	(g)	14.25	14.04	14.28
PESO DEL SUELO SECO	(g)	17.8	18.1	17.9
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	31.6	29.1	27.3
NUMERO DE GOLPES		14	25	38

LIMITE PLASTICO				
N° TARRO		24	25	
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	25.90	25.30	
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	23.90	23.39	
PESO DE AGUA	(g)	2.0	1.9	
PESO DEL TARRO	(g)	14.24	14.11	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	9.7	9.3	
CONTENIDO DE DE HUMEDAD	(%)	20.7	20.6	



CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO	29
LIMITE PLASTICO	21
INDICE DE PLASTICIDAD	8

OBSERVACIONES

<b>CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA (PERDIDA POR IGNICION)</b>					
(NORMA MTC E-118, AASHTO T-267)					
<b>LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS</b>					
<b>OBRA</b>		: Supervisión del Mejoramiento, Rehabilitación y Conservación por Niveles de Servicio del Corredor Vial Lima-Canta-Huayllay- Dv. Cochamarca- Empalme PE3N			
<b>TRAMO</b>		: Canta - Huayllay			
<b>MATERIAL</b>		: Corte de Talud			
<b>UBICACIÓN</b>		: Km. 102+730 - 102+920 Lado. Izq.			
<b>CALICATA</b> :-					
<b>MUESTRA</b> : Km 102+825		1	2	3	Promedio
Peso del plato y suelo seco, antes de ignición	g	58.16	58.11		
Peso del plato y suelo seco, después de ignición	g	57.24	57.18		
Peso de materia orgánica	g	0.92	0.93		
Peso del plato	g	14.21	14.19		
Peso del suelo seco neto	g	43.03	42.99		
Materia orgánica	%	2.14	2.16		2.15
<b>Observaciones:</b>					

### ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

(NORMA MTC E-107, E-108 AASHTO T-27, ASTM D422)

**OBRA** : Supervisión del Mejoramiento, Rehabilitación y Conservación por Niveles de Servicio del Corredor Vial  
Lima-Canta-Huayllay- Dv. Cochamarca- Empalme PE 3N

**TRAMO** : Canta - Huayllay

**MATERIAL** : Corte de Talud

**PROGRESIVA** : Km. 102+920 – 103+000

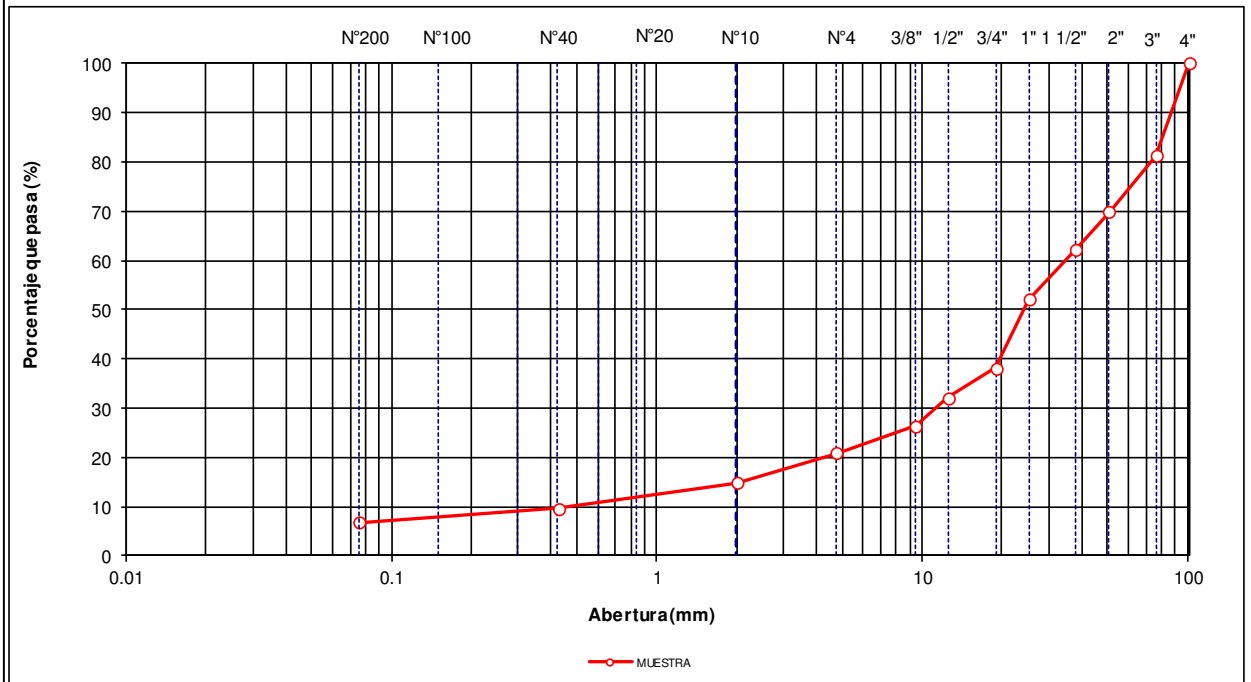
Lado: Izq

#### DATOS DE LA MUESTRA

**CALICATA** : - **TAMAÑO MAXIMO** : 4"  
**MUESTREO** : 102+960 **Peso inicial seco** : 8360.8 g  
**PROF. (m)** : - **Peso lavado seco** : 8092.7 g

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
4"	101.600				100.0		Contenido de Humedad (%) : 2.9
3"	76.200	1564	18.7	18.7	81.3		Límite Líquido (LL) : 26
2"	50.800	962	11.5	30.2	69.8		Límite Plástico (LP) : 20
1 1/2"	38.100	627	7.5	37.7	62.3		Índice Plástico (IP) : 6
1"	25.400	861	10.3	48.0	52.0		Clasificación (SUCS) : GP - GC
3/4"	19.000	1154	13.8	61.8	38.2		Clasificación (AASHTO) : A-1-a
1/2"	12.500	510	6.1	67.9	32.1		Índice de Grupo : (0)
3/8"	9.500	485	5.8	73.7	26.3		Descripción ( AASHTO ) : BUENO
Nº 4	4.750	460	5.5	79.2	20.8		Descripción ( SUCS ) : Grava pobremente gradada con arcilla
Nº 8	2.360						
Nº 10	2.000	236.5	6.0	85.2	14.8		
Nº 16	1.190						
Nº 20	0.840						
Nº 30	0.600						
Nº 40	0.425	204.9	5.2	90.4	9.6		<b>DESCRIPCIÓN :</b>
Nº 50	0.300						
Nº 80	0.177						Grava 3" - Nº 4 : 79.2
Nº 100	0.150						Arena Nº4 - Nº 200 : 14.0
Nº 200	0.075	110.5	2.8	93.2	6.8		Finos < Nº 200 : 6.8
< Nº 200	FONDO	268.1	6.8	100.0	0.0		

#### CURVA GRANULOMETRICA





**LIMITES DE CONSISTENCIA-PASA LA MALLA N°40**  
(NORMA MTC E-110, E-111, AASHTO T-89, T-90, ASTM D 4318)

**OBRA** : Supervisión del Mejoramiento, Rehabilitación y Conservación por Niveles de Servicio del Corredor Vial  
Lima-Canta-Huayllay- Dv. Cochamarca- Empalme PE3N  
**TRAMO** : Canta - Huayllay  
**MATERIAL** : Corte de Talud  
**PROGRESIVA** : Km. 102+920 – 103+000

**DATOS DE LA MUESTRA**

**CALICATA** : - **TAMAÑO MAXIMO** : N° 40  
**MUESTREO** : km 102+960  
**PROF. (m)** : -

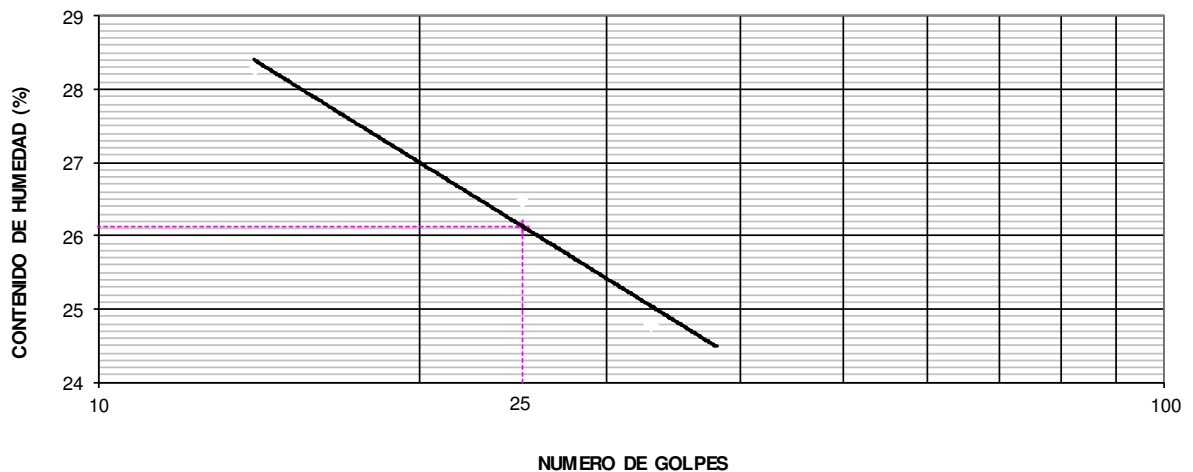
**LIMITE LIQUIDO**

N° TARRO		6	7	8
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	35.58	35.32	35.00
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	30.67	30.68	30.65
PESO DE AGUA	(g)	4.91	4.64	4.35
PESO DEL TARRO	(g)	13.31	13.16	13.11
PESO DEL SUELO SECO	(g)	17.4	17.5	17.5
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	28.3	26.5	24.8
NUMERO DE GOLPES		14	25	33

**LIMITE PLASTICO**

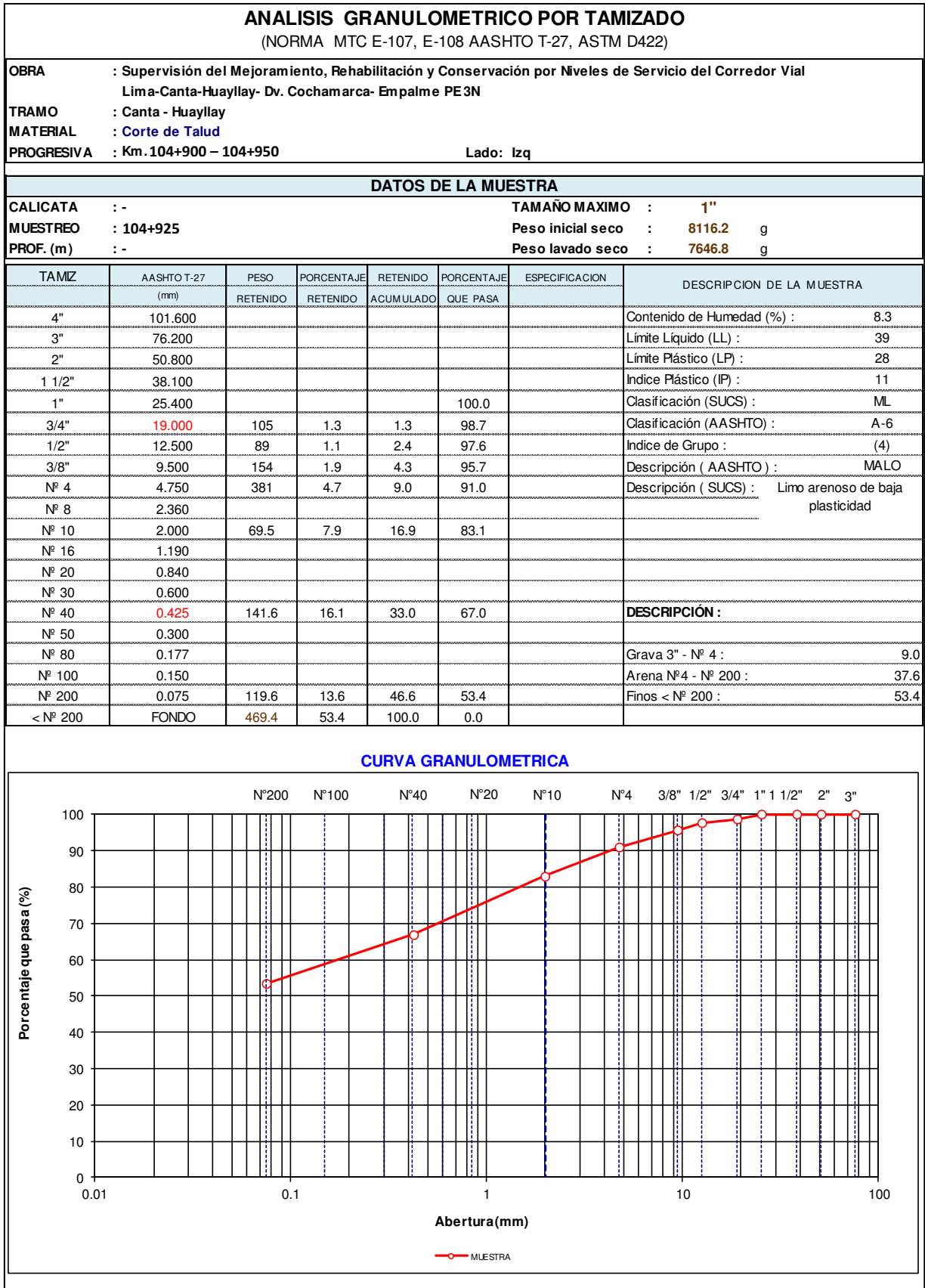
N° TARRO		9	10
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	21.54	21.65
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	20.09	20.18
PESO DE AGUA	(g)	1.5	1.5
PESO DEL TARRO	(g)	12.97	13.03
PESO DEL SUELO SECO	(g)	7.1	7.2
CONTENIDO DE DE HUMEDAD	(%)	20.4	20.6

**CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES**



CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO	26
LIMITE PLASTICO	20
INDICE DE PLASTICIDAD	6

OBSERVACIONES



<b>LIMITES DE CONSISTENCIA-PASA LA MALLA N°40</b> (NORMA MTC E-110, E-111, AASHTO T-89, T-90, ASTM D 4318)												
<b>OBRA</b> : Supervisión del Mejoramiento, Rehabilitación y Conservación por Niveles de Servicio del Corredor Vial Lima-Canta-Huayllay- Dv. Cochamarca- Empalme PE 3N												
<b>TRAMO</b> : Canta - Huayllay												
<b>MATERIAL</b> : Corte de Talud												
<b>PROGRESIVA</b> : Km. 104+900 – 104+950												
DATOS DE LA MUESTRA												
<b>CALICATA</b> :-		<b>TAMAÑO MAXIMO</b> : N° 40										
<b>MUESTREO</b> : km 104+925												
<b>PROF. (m)</b> :-												
LIMITE LIQUIDO												
N° TARRO		1	2	3								
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	38.23	36.40	36.48								
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	30.82	29.79	30.10								
PESO DE AGUA	(g)	7.41	6.61	6.38								
PESO DEL TARRO	(g)	12.97	12.88	13.17								
PESO DEL SUELO SECO	(g)	17.9	16.9	16.9								
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	41.5	39.1	37.7								
NUMERO DE GOLPES		16	25	35								
LIMITE PLASTICO												
N° TARRO		6	7									
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	22.49	22.24									
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	20.49	20.27									
PESO DE AGUA	(g)	2.0	2.0									
PESO DEL TARRO	(g)	13.31	13.16									
PESO DEL SUELO SECO	(g)	7.2	7.1									
CONTENIDO DE DE HUMEDAD	(%)	27.9	27.7									
CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>LIMITE LIQUIDO</td> <td style="text-align: center;">39</td> </tr> <tr> <td>LIMITE PLASTICO</td> <td style="text-align: center;">28</td> </tr> <tr> <td>INDICE DE PLASTICIDAD</td> <td style="text-align: center;">11</td> </tr> </tbody> </table>					CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA		LIMITE LIQUIDO	39	LIMITE PLASTICO	28	INDICE DE PLASTICIDAD	11
CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA												
LIMITE LIQUIDO	39											
LIMITE PLASTICO	28											
INDICE DE PLASTICIDAD	11											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">OBSERVACIONES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="height: 40px;"></td> </tr> </tbody> </table>					OBSERVACIONES							
OBSERVACIONES												

**ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO**  
(NORMA MTC E-107, E-108 AASHTO T-27, ASTM D422)

**OBRA** : Supervisión del Mejoramiento, Rehabilitación y Conservación por Niveles de Servicio del Corredor Vial  
Lima-Canta-Huayllay- Dv. Cochamarca- Empalme PE3N

**TRAMO** : Canta - Huayllay

**MATERIAL** : Corte de Talud

**PROGRESIVA** : Km. 104+930 – 105+000 Lado: Der

**DATOS DE LA MUESTRA**

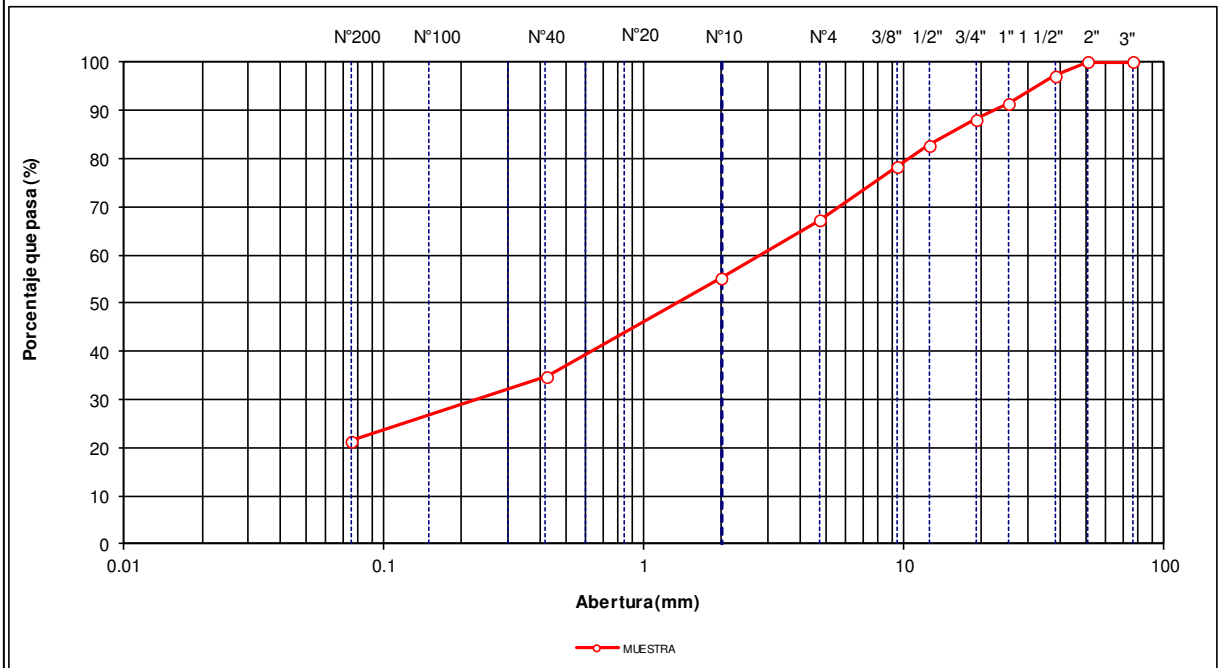
**CALICATA** : - **TAMAÑO MAXIMO** : 2"

**MUESTREO** : km 104+965 **Peso inicial seco** : 5733.0 g

**PROF. (m)** : - **Peso lavado seco** : 5471.1 g

TAMZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
4"	101.600						Contenido de Humedad (%) : 11.5
3"	76.200						Límite Líquido (LL) : 26
2"	50.800				100.0		Límite Plástico (LP) : 20
1 1/2"	38.100	165	2.9	2.9	97.1		Índice Plástico (IP) : 6
1"	25.400	328	5.7	8.6	91.4		Clasificación (SUCS) : SC - SM
3/4"	19.000	189	3.3	11.9	88.1		Clasificación (AASHTO) : A-1-b
1/2"	12.500	304	5.3	17.2	82.8		Índice de Grupo : (0)
3/8"	9.500	257	4.5	21.7	78.3		Descripción ( AASHTO ) : BUENO
Nº 4	4.750	640	11.2	32.9	67.1		Descripción ( SUCS ) : Arena limo arcillosa con grava
Nº 8	2.360						
Nº 10	2.000	147.1	12.0	44.8	55.2		
Nº 16	1.190						
Nº 20	0.840						
Nº 30	0.600						
Nº 40	0.425	251.2	20.5	65.3	34.7		<b>DESCRIPCIÓN :</b>
Nº 50	0.300						
Nº 80	0.177						Grava 3" - Nº 4 : 32.9
Nº 100	0.150						Arena Nº4 - Nº 200 : 45.8
Nº 200	0.075	164.0	13.4	78.7	21.3		Finos < Nº 200 : 21.3
< Nº 200	FONDO	261.9	21.3	100.0	0.0		

**CURVA GRANULOMETRICA**



<b>LIMITES DE CONSISTENCIA-PASA LA MALLA N°40</b> (NORMA MTC E-110, E-111, AASHTO T-89, T-90, ASTM D 4318)												
<b>OBRA</b> : Supervisión del Mejoramiento, Rehabilitación y Conservación por Niveles de Servicio del Corredor Vial Lima-Canta-Huayllay- Dv. Cochamarca- Empalme PE 3N												
<b>TRAMO</b> : Canta - Huayllay												
<b>MATERIAL</b> : Corte de Talud												
<b>PROGRESIVA</b> : Km. 104+930 – 105+000												
DATOS DE LA MUESTRA												
<b>CALICATA</b> :-		<b>TAMAÑO MAXIMO</b> : N° 40										
<b>MUESTREO</b> : km 104+965												
<b>PROF. (m)</b> :-												
LIMITE LIQUIDO												
N° TARRO		11	12	13								
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	32.91	32.78	33.21								
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	28.55	28.62	29.28								
PESO DE AGUA	(g)	4.36	4.16	3.93								
PESO DEL TARRO	(g)	12.94	12.79	13.34								
PESO DEL SUELO SECO	(g)	15.6	15.8	15.9								
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	27.9	26.3	24.7								
NUMERO DE GOLPES		15	24	35								
LIMITE PLASTICO												
N° TARRO		14	15									
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	22.44	22.67									
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	20.93	21.15									
PESO DE AGUA	(g)	1.5	1.5									
PESO DEL TARRO	(g)	13.32	13.45									
PESO DEL SUELO SECO	(g)	7.6	7.7									
CONTENIDO DE DE HUMEDAD	(%)	19.8	19.7									
CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>LIMITE LIQUIDO</td> <td style="text-align: center;">26</td> </tr> <tr> <td>LIMITE PLASTICO</td> <td style="text-align: center;">20</td> </tr> <tr> <td>INDICE DE PLASTICIDAD</td> <td style="text-align: center;">6</td> </tr> </tbody> </table>					CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA		LIMITE LIQUIDO	26	LIMITE PLASTICO	20	INDICE DE PLASTICIDAD	6
CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA												
LIMITE LIQUIDO	26											
LIMITE PLASTICO	20											
INDICE DE PLASTICIDAD	6											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">OBSERVACIONES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="height: 40px;"></td> </tr> </tbody> </table>					OBSERVACIONES							
OBSERVACIONES												

### ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

(NORMA MTC E-107, E-108 AASHTO T-27, ASTM D422)

**OBRA** : Supervisión del Mejoramiento, Rehabilitación y Conservación por Niveles de Servicio del Corredor Vial  
 Lima-Canta-Huayllay- Dv. Cochamarca- Empalme PE 3N

**TRAMO** : Canta - Huayllay

**MATERIAL** : Corte de Talud

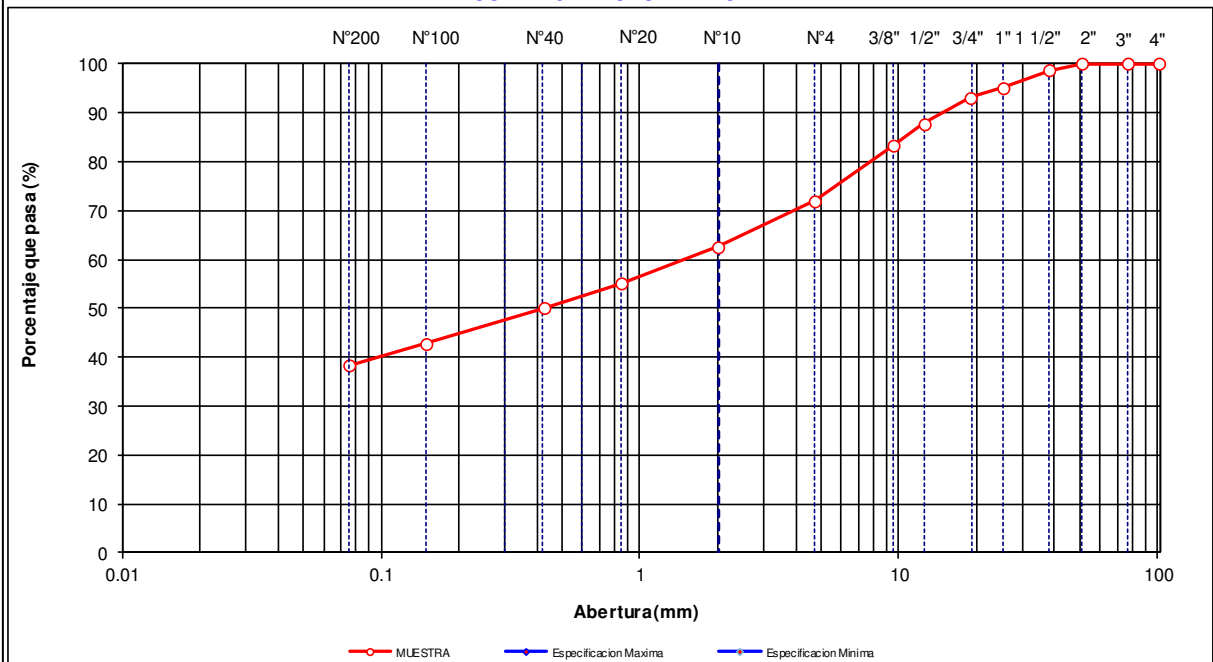
**UBICACIÓN** : Km. 109+550 – 109+650 Lado. Der.

#### DATOS DE LA MUESTRA

**AGREGADO** : - **TAMAÑO MAXIMO** : 2"   
**MUESTREO** : Km. 109+600 **Peso inicial seco** : 8196.4 g   
**PROF. (m)** : - **Peso lavado seco** : 7789.0 g

TAMZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
4"	101.600						Contenido de Humedad (%) : 16.3
3"	76.200						Límite Líquido (LL) : 33
2"	50.800				100.0		Límite Plástico (LP) : 22
1 1/2"	38.100	105	1.3	1.3	98.7		Índice Plástico (IP) : 11
1"	25.400	291	3.6	4.8	95.2		Clasificación (SUCS) : SC
3/4"	19.000	168	2.0	6.9	93.1		Clasificación (AASHTO) : A-6
1/2"	12.500	435	5.3	12.2	87.8		Índice de Grupo : (1)
3/8"	9.500	369	4.5	16.7	83.3		Descripción ( AASHTO ) : MALO
Nº 4	4.750	926	11.3	28.0	72.0		Descripción ( SUCS ) : Arena arcillosa con grava
Nº 8	2.360						
Nº 10	2.000	99.3	9.3	37.3	62.7		
Nº 16	1.190						
Nº 20	0.840	80.2	7.5	44.9	55.1		
Nº 30	0.600						
Nº 40	0.425	54.0	5.1	50.0	50.0		<b>OBSERVACIONES :</b>
Nº 50	0.300						Bolonería > 3" : 0.0
Nº 80	0.177						Grava 3" - Nº 4 : 28.0
Nº 100	0.150	76.3	7.2	57.1	42.9		Arena Nº4 - Nº 200 : 33.7
Nº 200	0.075	48.0	4.5	61.7	38.3		Finos < Nº 200 : 38.3
< Nº 200	FONDO	407.4	38.3	100.0	0.0		

#### CURVA GRANULOMETRICA



**LIMITES DE CONSISTENCIA-PASA LA MALLA N°40**  
(NORMA MTC E-110, E-111, AASHTO T-89, T-90, ASTM D 4318)

**OBRA** : Supervisión del Mejoramiento, Rehabilitación y Conservación por Niveles de Servicio del Corredor Vial  
Lima-Canta-Huayllay- Dv. Cochamarca- Empalme PE3N  
**TRAMO** : Canta - Huayllay  
**MATERIAL** : Corte de Talud  
**PROGRESIVA** : Km. 109+550 – 109+650      **Lado.**      **Der.**

**DATOS DE LA MUESTRA**

**AGREGADO** :-      **TAMAÑO MAXIMO** : N° 40  
**MUESTREO** : km 109+600  
**PROF. (m)** :-

**LIMITE LIQUIDO**

N° TARRO		5	19	17	
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	39.19	37.77	38.72	
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	32.71	31.91	32.91	
PESO DE AGUA	(g)	6.48	5.86	5.81	
PESO DEL TARRO	(g)	14.08	14.10	14.15	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	18.6	17.8	18.8	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	34.8	32.9	31.0	
NUMERO DE GOLPES		14	26	37	

**LIMITE PLASTICO**

N° TARRO		1	2		
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	24.50	24.15		
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	22.65	22.38		
PESO DE AGUA	(g)	1.9	1.8		
PESO DEL TARRO	(g)	14.21	14.20		
PESO DEL SUELO SECO	(g)	8.4	8.2		
CONTENIDO DE DE HUMEDAD	(%)	21.9	21.6		

**CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES**



**CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA**

<b>LIMITE LIQUIDO</b>	<b>33</b>
<b>LIMITE PLASTICO</b>	<b>22</b>
<b>INDICE DE PLASTICIDAD</b>	<b>11</b>

**OBSERVACIONES**

--

<b>CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA (PERDIDA POR IGNICION)</b> (NORMA MTC E-118, AASHTO T-267)					
<b>LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS</b>					
<b>OBRA</b>	: Supervisión del Mejoramiento, Rehabilitación y Conservación por Niveles de Servicio del Corredor Vial Lima-Canta-Huayllay- Dv. Cochamarca- Empalme PE 3N				
<b>TRAMO</b>	: Canta - Huayllay				
<b>MATERIAL</b>	: Corte de Talud				
<b>UBICACIÓN</b>	: Km. 109+550 - 109+650 Lado. Der.				
<b>CALICATA</b>	: -				
<b>MUESTRA</b>	: Km 109+600				
		1	2	3	Promedio
Peso del plato y suelo seco, antes de ignición	g	86.78	85.86		
Peso del plato y suelo seco, después de ignición	g	85.79	84.88		
Peso de materia orgánica	g	0.99	0.98		
Peso del plato	g	39.53	38.56		
Peso del suelo seco neto	g	46.26	46.32		
Materia orgánica	%	2.14	2.12		2.13
 <b>Observaciones:</b>					



## **C. ENSAYOS IN SITU Y EVALUACIONES DE CAMPO**

**VALORACION DEL MACIZO ROCOSO  
CLASIFICACION GEOMECANICA DE BIENIAWSKI**

CODIGO DEL PROYECTO : TP.145000 FECHA : Nov. 2015  
 PROYECTO : Supervisión del Mejoramiento, Rehabilitación y Conservación por Niveles de Servicio REALIZADO : CESC  
 del Corredor Vial Lima – Canta – Huayllay – Dv. Cochamarca – Empalme PE 3N REVISADO : NRR  
 UBICACIÓN : Km. 102+740 – 102+850

**DETERMINACION DEL VALOR DE RMR (ROCK MASS RATING)**

1.- RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA (Ensayo de Carga Puntual)							65.0 Mpa
Rango de valores	> 250	100 - 250	50 - 100	25 - 50	5 - 25	1 - 5	< 1
Puntaje	15	12	7	4	2	1	0
<b>Valoración :</b>							<b>7</b>

2.- VALOR DE RQD (Rock Quality Index)						49 %
Rango de valores	90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25	
Puntaje	20	17	13	8	3	
<b>Valoración :</b>						<b>8</b>

3.- ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES						0.02 m
Rango de valores	> 2	0.6 - 2	0.2 - 0.6	0.06 - 0.2	< 0.06	
Puntaje	20	15	10	8	5	
<b>Valoración :</b>						<b>5</b>

4.- CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES						1.5 m
<b>Persistencia de las discontinuidades</b>						
Rango de valores	< 1	1 - 3	3 - 10	10 - 20	> 20	
Puntaje	6	4	2	1	0	
<b>Valoración :</b>						<b>4</b>

Separación (apertura)						0.5 mm
Rango de valores	Ninguno	< 0.1	0.1 - 1.0	1 - 5	> 5	
Puntaje	6	5	4	1	0	
<b>Valoración :</b>						<b>4</b>

Rugosidad						SR
Condición	Muy rugosa VR	Rugosa R	Ligeramente rugosa SR	Lisa L	Superficie pulida SK	
Puntaje	6	5	3	1	0	
<b>Valoración :</b>						<b>3</b>

Relleno						0.5 mm
Rango de valores	Ninguno	Duro < 5	Duro > 5	Blando < 5	Blando > 5	
Puntaje	6	4	2	2	0	
<b>Marque con X el tipo de relleno : Blando : X Duro :</b>						<b>2</b>
<b>Valoración :</b>						<b>2</b>

Meteorización						MW
Condición	No Intemperizada UW	Ligeramente intemperizada SW	Moderadamente Intemperizada MW	Altamente Intemperizada HW	Completamente Intemperizada CW	
Puntaje	6	5	3	1	0	
<b>Valoración :</b>						<b>3</b>

5.- CONDICIONES GENERALES DEL AGUA SUBTERRANEA						CD
Condición	Completamente seca CD	Humeda DM	Mojada WT	Goteo DP	Flujo FW	
Puntaje	15	10	7	4	0	
<b>Valoración :</b>						<b>15</b>

6.- AJUSTE POR ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES						FR
Orientaciones del rumbo y buzamiento		Muy Favorable VF	Favorable FV	Regular FR	Desfavorable UF	Muy desfavorable VU
Puntaje según el tipo de trabajo	Túneles y minas (T)	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones (F)	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes (S)	0	-5	-25	-50	-60
<b>Indique el tipo de trabajo</b> S		<b>Valoración :</b>				<b>-25</b>

**VALOR DE RMR**

<b>RMR Básico</b>	<b>:</b>	<b>51</b>
<b>RMR Ajustado</b>	<b>:</b>	<b>26</b>
<b>RMR89 (condiciones secas y muy favorables)</b>	<b>:</b>	<b>51</b>

**ESTABILIDAD DE TALUDES ROCOSOS  
METODOLOGIA DEL SMR**

**CODIGO DEL PROYECTO :** TP.145000 **FECHA :** Nov. 2015  
**PROYECTO :** Supervisión del Mejoramiento, Rehabilitación y Conservación por Niveles de Servicio del Corredor Vial Lima – Canta – Huayllay – Dv. Cochamarca – Empalme PE 3N **REALIZADO :** CESC  
**UBICACIÓN :** Km.102+740 – 102+850 **REVISADO :** NRR

**DETERMINACION DEL VALOR DE SMR (SLOPE MASS RATING)**

$$SMR = RMR_{89} + F_1.F_2.F_3 + F_4$$

<b>1.- DATOS DE LA DISCONTINUIDAD</b>	
Dirección de buzamiento (a <sub>j</sub> ) :	280° Buzamiento (b <sub>j</sub> ) : 30°

<b>2.- DATOS DEL TALUD</b>	
Dirección de buzamiento (a <sub>s</sub> ) :	305° Buzamiento (b <sub>s</sub> ) : 45°

<b>3.- TIPO DE FALLA PREDOMINANTE - Planar ( P ) - Volteo ( V )</b>	<b>P</b>
---	----------

<b>4.- FACTORES POR AJUSTE DE JUNTAS</b>						
<b>Determinación de factor de ajuste F1</b>						
Caso		Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Planar	as - aj	> 30	30 - 20	20 - 10	10 - 5	< 5
Volteo	as - aj - 180					
Valores de F1		0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
		<b>Valor de F1 : 0.40</b>				
<b>Determinación de factor de ajuste F2</b>						
Caso		Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Planar	bj	< 20	20 - 30	30 - 35	35 - 45	> 45
Valores de F2		0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
Nota: Para el caso de falla por volteo considerar F2 = 1		<b>Valor de F2 : 0.70</b>				
<b>Determinación de factor de ajuste F3</b>						
Caso		Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Planar	bj - bs	> 10	10 - 0	0	0 -- (- 10)	< -10
Volteo	bj + bs	< 110	110 - 120	> 120	---	---
Valores de F3		0	-6	-25	-50	-60
		<b>Valor de F3 : -60</b>				

<b>5.- FACTOR DE AJUSTE SEGÚN EL METODO DE EXCAVACION</b>					
<b>Determinación de factor de ajuste F4</b>					
Método	Talud Natural NS	Pre-Corte PS	Voladura controlada SB	Voladura regular RB	Voladura deficiente DB
Valores de F4		15	10	8	0
		<b>Valor de F4 : 10</b>			

<b>VALOR DE SMR</b>	
<b>SMR</b>	<b>44</b>
Descripción	Regular
Estabilidad	Parcialmente estable
Roturas	Algunas juntas o muchas cuñas
Tratamiento	Sistemático

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS							
<b>OBRA:</b> Supervisión del Mejoramiento, Rehabilitación y Conservación por Niveles de Servicio del Corredor Vial Lima-Canta-Huayllay- Dv. Cochamarca- Empalme PE 3N							
<b>TRAMO:</b> Canta - Huayllay							
<b>UBICACIÓN:</b> 102+780 – 103+020			<b>PROFUNDIDAD TOTAL (m) :</b> 0.30 m				
<b>MÉTODO:</b> Penetración Dinámica Ligera			<b>PROF. NIVEL FREÁTICO (m) :</b>				
<b>FECHA:</b> 12/12/2015			<b>ENSAYO :</b> P-003				
PROF. (m)	DESCRIPCION DEL SUELO	CORRELACIONES			ENSAYOS DE PENETRACION DINAMICA LIGERA		S:ARENA CB:arcilla de baja plasticidad CM:arcilla de media plasticidad CA:arcilla de alta plasticidad
		N SPT	$\Phi$ (°)	c Kg/cm <sup>2</sup>	N <sub>DPL</sub> N° de golpes 10 cm		
0.50	Arena arcillosa con grava, de plasticidad media, con partículas de forma sunredondeada de color marrón, poco compacta, ligeramente saturada						
1.00							
1.50							
2.00							
2.50							
3.00							
3.50							
4.00							
<b>OBSERVACIONES :</b> _____							

DATOS	
prof.	Ndpl
0.1	2
0.2	9
0.3	14
0.4	
0.5	
0.6	
0.7	
0.8	
0.9	
1.0	
1.1	
1.2	
1.3	
1.4	
1.5	
1.6	
1.7	
1.8	
1.9	
2.0	
2.1	
2.2	
2.3	
2.4	
2.5	
2.6	
2.7	
2.8	
2.9	
3.0	
3.1	
3.2	
3.3	
3.4	
3.5	
3.6	
3.7	
3.8	
3.9	
4.0	

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS	
<b>OBRA:</b>	Supervisión del Mejoramiento, Rehabilitación y Conservación por Niveles de Servicio del Corredor Vial Lima-Canta-Huayllay- Dv. Cochamarca- Empalme PE 3N
<b>TRAMO:</b>	Canta - Huayllay
<b>UBICACIÓN:</b>	102+780 – 103+020
<b>MÉTODO:</b>	Penetración Dinámica Ligera
<b>FECHA:</b>	12/12/2015
	<b>PROFUNDIDAD TOTAL (m) : 1.60 m</b> <b>PROF. NIVEL FREÁTICO (m) :</b> <b>ENSAYO : P-002</b>

PROF. (m)	DESCRIPCION DEL SUELO	CORRELACIONES			ENSAYOS DE PENETRACION DINAMICA LIGERA	S: ARENA																																																																																																																					
		N SPT	$\Phi$ (°)	c Kg/cm <sup>2</sup>	N <sub>DPL</sub> N° de golpes 10 cm	CB: arcilla de baja plasticidad CM: arcilla de media plasticidad CA: arcilla de alta plasticidad																																																																																																																					
						<b>DATOS</b>																																																																																																																					
						<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>DEB./C/D/E</th> <th>prof.</th> <th>Ndpl</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td></td><td>0.1</td><td>12</td></tr> <tr><td></td><td>0.2</td><td>13</td></tr> <tr><td>s</td><td>0.3</td><td>13</td></tr> <tr><td></td><td>0.4</td><td>14</td></tr> <tr><td></td><td>0.5</td><td>14</td></tr> <tr><td>s</td><td>1.0</td><td>0.6</td></tr> <tr><td></td><td>0.7</td><td>8</td></tr> <tr><td>s</td><td>1.5</td><td>0.8</td></tr> <tr><td></td><td>0.9</td><td>6</td></tr> <tr><td></td><td>1.0</td><td>6</td></tr> <tr><td></td><td>2.0</td><td>1.1</td></tr> <tr><td></td><td>1.2</td><td>4</td></tr> <tr><td></td><td>2.5</td><td>1.3</td></tr> <tr><td></td><td>1.4</td><td>5</td></tr> <tr><td></td><td>1.5</td><td>6</td></tr> <tr><td></td><td>3.0</td><td>1.6</td></tr> <tr><td></td><td>1.7</td><td></td></tr> <tr><td></td><td>3.5</td><td>1.8</td></tr> <tr><td></td><td>1.9</td><td></td></tr> <tr><td></td><td>2.0</td><td></td></tr> <tr><td></td><td>4.0</td><td>2.1</td></tr> <tr><td></td><td>2.2</td><td></td></tr> <tr><td></td><td>4.5</td><td>2.3</td></tr> <tr><td></td><td>2.4</td><td></td></tr> <tr><td></td><td>5.0</td><td>2.6</td></tr> <tr><td></td><td>2.7</td><td></td></tr> <tr><td></td><td>5.5</td><td>2.8</td></tr> <tr><td></td><td>2.9</td><td></td></tr> <tr><td></td><td>6.0</td><td>3.1</td></tr> <tr><td></td><td>3.2</td><td></td></tr> <tr><td></td><td>6.5</td><td>3.3</td></tr> <tr><td></td><td>3.4</td><td></td></tr> <tr><td></td><td>7.0</td><td>3.5</td></tr> <tr><td></td><td>3.6</td><td></td></tr> <tr><td></td><td>3.7</td><td></td></tr> <tr><td></td><td>3.8</td><td></td></tr> <tr><td></td><td>3.9</td><td></td></tr> <tr><td></td><td>4.0</td><td></td></tr> </tbody> </table>	DEB./C/D/E	prof.	Ndpl		0.1	12		0.2	13	s	0.3	13		0.4	14		0.5	14	s	1.0	0.6		0.7	8	s	1.5	0.8		0.9	6		1.0	6		2.0	1.1		1.2	4		2.5	1.3		1.4	5		1.5	6		3.0	1.6		1.7			3.5	1.8		1.9			2.0			4.0	2.1		2.2			4.5	2.3		2.4			5.0	2.6		2.7			5.5	2.8		2.9			6.0	3.1		3.2			6.5	3.3		3.4			7.0	3.5		3.6			3.7			3.8			3.9			4.0	
DEB./C/D/E	prof.	Ndpl																																																																																																																									
	0.1	12																																																																																																																									
	0.2	13																																																																																																																									
s	0.3	13																																																																																																																									
	0.4	14																																																																																																																									
	0.5	14																																																																																																																									
s	1.0	0.6																																																																																																																									
	0.7	8																																																																																																																									
s	1.5	0.8																																																																																																																									
	0.9	6																																																																																																																									
	1.0	6																																																																																																																									
	2.0	1.1																																																																																																																									
	1.2	4																																																																																																																									
	2.5	1.3																																																																																																																									
	1.4	5																																																																																																																									
	1.5	6																																																																																																																									
	3.0	1.6																																																																																																																									
	1.7																																																																																																																										
	3.5	1.8																																																																																																																									
	1.9																																																																																																																										
	2.0																																																																																																																										
	4.0	2.1																																																																																																																									
	2.2																																																																																																																										
	4.5	2.3																																																																																																																									
	2.4																																																																																																																										
	5.0	2.6																																																																																																																									
	2.7																																																																																																																										
	5.5	2.8																																																																																																																									
	2.9																																																																																																																										
	6.0	3.1																																																																																																																									
	3.2																																																																																																																										
	6.5	3.3																																																																																																																									
	3.4																																																																																																																										
	7.0	3.5																																																																																																																									
	3.6																																																																																																																										
	3.7																																																																																																																										
	3.8																																																																																																																										
	3.9																																																																																																																										
	4.0																																																																																																																										
0.50		7	26.8	-	12																																																																																																																						
1.00		4	23.9	-	13																																																																																																																						
1.50		16	32.9	-	16																																																																																																																						
2.00																																																																																																																											
2.50																																																																																																																											
3.00																																																																																																																											
3.50																																																																																																																											
4.00																																																																																																																											

**OBSERVACIONES :** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS					
<b>OBRA:</b> Supervisión del Mejoramiento, Rehabilitación y Conservación por Niveles de Servicio del Corredor Vial Lima-Canta-Huayllay- Dv. Cochamarca- Empalme PE 3N					
<b>TRAMO:</b> Canta - Huayllay					
<b>UBICACIÓN:</b> 104+910 – 105+000			<b>PROFUNDIDAD TOTAL (m) :</b> 2.00 m		
<b>MÉTODO:</b> Penetración Dinámica Ligera			<b>PROF. NIVEL FREÁTICO (m) :</b>		
<b>FECHA:</b> 12/12/2015			<b>ENSAYO :</b> P-006		

PROF. (m)	DESCRIPCION DEL SUELO	CORRELACIONES			ENSAYOS DE PENETRACION	S:ARENA CB:arcilla de baja plastidad CM :arcilla de media plasticidad CA:arcilla de alta plasticidad																																																																																				
		N SPT	Φ (°)	c Kg/cm <sup>2</sup>	DINAMICA LIGERA N <sub>DPL</sub> = $\frac{\text{N}^\circ \text{ de golpes}}{10 \text{ cm}}$																																																																																					
0.50		1	19.5	-		<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">DATOS</th> </tr> <tr> <th style="width: 50%;">Prof.</th> <th style="width: 50%;">Ndpl</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.1</td><td>1</td></tr> <tr><td>0.2</td><td>1</td></tr> <tr><td>0.3</td><td>1</td></tr> <tr><td>0.4</td><td>2</td></tr> <tr><td>0.5</td><td>2</td></tr> <tr><td>0.6</td><td>1</td></tr> <tr><td>0.7</td><td>1</td></tr> <tr><td>0.8</td><td>1</td></tr> <tr><td>0.9</td><td>5</td></tr> <tr><td>1.0</td><td>4</td></tr> <tr><td>1.1</td><td>2</td></tr> <tr><td>1.2</td><td>1</td></tr> <tr><td>1.3</td><td>1</td></tr> <tr><td>1.4</td><td>1</td></tr> <tr><td>1.5</td><td>1</td></tr> <tr><td>1.6</td><td>1</td></tr> <tr><td>1.7</td><td>1</td></tr> <tr><td>1.8</td><td>1</td></tr> <tr><td>1.9</td><td>1</td></tr> <tr><td>2.0</td><td>1</td></tr> <tr><td>2.1</td><td></td></tr> <tr><td>2.2</td><td></td></tr> <tr><td>2.3</td><td></td></tr> <tr><td>2.4</td><td></td></tr> <tr><td>2.5</td><td></td></tr> <tr><td>2.6</td><td></td></tr> <tr><td>2.7</td><td></td></tr> <tr><td>2.8</td><td></td></tr> <tr><td>2.9</td><td></td></tr> <tr><td>3.0</td><td></td></tr> <tr><td>3.1</td><td></td></tr> <tr><td>3.2</td><td></td></tr> <tr><td>3.3</td><td></td></tr> <tr><td>3.4</td><td></td></tr> <tr><td>3.5</td><td></td></tr> <tr><td>3.6</td><td></td></tr> <tr><td>3.7</td><td></td></tr> <tr><td>3.8</td><td></td></tr> <tr><td>3.9</td><td></td></tr> <tr><td>4.0</td><td></td></tr> </tbody> </table>	DATOS		Prof.	Ndpl	0.1	1	0.2	1	0.3	1	0.4	2	0.5	2	0.6	1	0.7	1	0.8	1	0.9	5	1.0	4	1.1	2	1.2	1	1.3	1	1.4	1	1.5	1	1.6	1	1.7	1	1.8	1	1.9	1	2.0	1	2.1		2.2		2.3		2.4		2.5		2.6		2.7		2.8		2.9		3.0		3.1		3.2		3.3		3.4		3.5		3.6		3.7		3.8		3.9		4.0	
DATOS																																																																																										
Prof.	Ndpl																																																																																									
0.1	1																																																																																									
0.2	1																																																																																									
0.3	1																																																																																									
0.4	2																																																																																									
0.5	2																																																																																									
0.6	1																																																																																									
0.7	1																																																																																									
0.8	1																																																																																									
0.9	5																																																																																									
1.0	4																																																																																									
1.1	2																																																																																									
1.2	1																																																																																									
1.3	1																																																																																									
1.4	1																																																																																									
1.5	1																																																																																									
1.6	1																																																																																									
1.7	1																																																																																									
1.8	1																																																																																									
1.9	1																																																																																									
2.0	1																																																																																									
2.1																																																																																										
2.2																																																																																										
2.3																																																																																										
2.4																																																																																										
2.5																																																																																										
2.6																																																																																										
2.7																																																																																										
2.8																																																																																										
2.9																																																																																										
3.0																																																																																										
3.1																																																																																										
3.2																																																																																										
3.3																																																																																										
3.4																																																																																										
3.5																																																																																										
3.6																																																																																										
3.7																																																																																										
3.8																																																																																										
3.9																																																																																										
4.0																																																																																										
1.00		1	19.5	-																																																																																						
1.50		1	19.5	-																																																																																						
2.00		1	-	-																																																																																						
2.50																																																																																										
3.00																																																																																										
3.50																																																																																										
4.00																																																																																										

**OBSERVACIONES :** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS					
<b>OBRA:</b> Supervisión del Mejoramiento, Rehabilitación y Conservación por Niveles de Servicio del Corredor Vial Lima-Canta-Huayllay- Dv. Cochamarca- Empalme PE 3N					
<b>TRAMO:</b> Canta - Huayllay					
<b>UBICACIÓN:</b> 104+910 – 105+000			<b>PROFUNDIDAD TOTAL (m) :</b> 2.00 m		
<b>MÉTODO:</b> Penetración Dinámica Ligera			<b>PROF. NIVEL FREÁTICO (m) :</b>		
<b>FECHA:</b> 12/12/2015			<b>ENSAYO :</b> P-007		

PROF. (m)	DESCRIPCION DEL SUELO	CORRELACIONES			ENSAYOS DE PENETRACION DINAMICA LIGERA	S:ARENA CB:arcilla de baja plastidad CM :arcilla de media plasticidad CA :arcilla de alta plasticidad
		N SPT	Φ (°)	c Kg/cm <sup>2</sup>	N <sub>DPL</sub> = $\frac{\text{N}^\circ \text{ de golpes}}{10 \text{ cm}}$	
0.50		1	19.5	-	0.1	1
1.00		3	22.7	-	0.2	1
1.50		6	26.0	-	0.3	1
2.00		8	-	-	0.4	1
2.50					0.5	1
3.00					0.6	1
3.50					0.7	2
4.00					0.8	2
					0.9	3
					1.0	4
					1.1	3
					1.2	3
					1.3	4
					1.4	6
					1.5	9
					1.6	7
					1.7	8
					1.8	5
					1.9	6
					2.0	8
					2.1	
					2.2	
					2.3	
					2.4	
					2.5	
					2.6	
					2.7	
					2.8	
					2.9	
					3.0	
					3.1	
					3.2	
					3.3	
					3.4	
					3.5	
					3.6	
					3.7	
					3.8	
					3.9	
					4.0	

**OBSERVACIONES :** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS					
<b>OBRA:</b> Supervisión del Mejoramiento, Rehabilitación y Conservación por Niveles de Servicio del Corredor Vial Lima-Canta-Huayllay- Dv. Cochamarca- Empalme PE 3N					
<b>TRAMO:</b> Canta - Huayllay					
<b>UBICACIÓN:</b> 109+500 – 109+620			<b>PROFUNDIDAD TOTAL (m) :</b> 2.00 m		
<b>MÉTODO:</b> Penetración Dinámica Ligera			<b>PROF. NIVEL FREÁTICO (m) :</b>		
<b>FECHA:</b> 14/12/2015			<b>ENSAYO :</b> P-008		

PROF. (m)	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	CORRELACIONES			ENSAYOS DE PENETRACION DINAMICA LIGERA	S: ARENA CB: arcilla de baja plasticidad CM: arcilla de media plasticidad CA: arcilla de alta plasticidad																																																																																				
		N SPT	Φ (°)	c Kg/cm <sup>2</sup>	N <sub>DPL</sub> = $\frac{N^{\circ} \text{ de golpes}}{10 \text{ cm}}$																																																																																					
0.50		3	22.7	-	3	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">DATOS</th> </tr> <tr> <th style="width: 50%;">Prof.</th> <th style="width: 50%;">Ndpl</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.1</td><td>3</td></tr> <tr><td>0.2</td><td>4</td></tr> <tr><td>0.3</td><td>3</td></tr> <tr><td>0.4</td><td>3</td></tr> <tr><td>0.5</td><td>3</td></tr> <tr><td>0.6</td><td>3</td></tr> <tr><td>0.7</td><td>3</td></tr> <tr><td>0.8</td><td>4</td></tr> <tr><td>0.9</td><td>9</td></tr> <tr><td>1.0</td><td>6</td></tr> <tr><td>1.1</td><td>7</td></tr> <tr><td>1.2</td><td>3</td></tr> <tr><td>1.3</td><td>4</td></tr> <tr><td>1.4</td><td>4</td></tr> <tr><td>1.5</td><td>4</td></tr> <tr><td>1.6</td><td>4</td></tr> <tr><td>1.7</td><td>3</td></tr> <tr><td>1.8</td><td>6</td></tr> <tr><td>1.9</td><td>8</td></tr> <tr><td>2.0</td><td>8</td></tr> <tr><td>2.1</td><td></td></tr> <tr><td>2.2</td><td></td></tr> <tr><td>2.3</td><td></td></tr> <tr><td>2.4</td><td></td></tr> <tr><td>2.5</td><td></td></tr> <tr><td>2.6</td><td></td></tr> <tr><td>2.7</td><td></td></tr> <tr><td>2.8</td><td></td></tr> <tr><td>2.9</td><td></td></tr> <tr><td>3.0</td><td></td></tr> <tr><td>3.1</td><td></td></tr> <tr><td>3.2</td><td></td></tr> <tr><td>3.3</td><td></td></tr> <tr><td>3.4</td><td></td></tr> <tr><td>3.5</td><td></td></tr> <tr><td>3.6</td><td></td></tr> <tr><td>3.7</td><td></td></tr> <tr><td>3.8</td><td></td></tr> <tr><td>3.9</td><td></td></tr> <tr><td>4.0</td><td></td></tr> </tbody> </table>	DATOS		Prof.	Ndpl	0.1	3	0.2	4	0.3	3	0.4	3	0.5	3	0.6	3	0.7	3	0.8	4	0.9	9	1.0	6	1.1	7	1.2	3	1.3	4	1.4	4	1.5	4	1.6	4	1.7	3	1.8	6	1.9	8	2.0	8	2.1		2.2		2.3		2.4		2.5		2.6		2.7		2.8		2.9		3.0		3.1		3.2		3.3		3.4		3.5		3.6		3.7		3.8		3.9		4.0	
DATOS																																																																																										
Prof.	Ndpl																																																																																									
0.1	3																																																																																									
0.2	4																																																																																									
0.3	3																																																																																									
0.4	3																																																																																									
0.5	3																																																																																									
0.6	3																																																																																									
0.7	3																																																																																									
0.8	4																																																																																									
0.9	9																																																																																									
1.0	6																																																																																									
1.1	7																																																																																									
1.2	3																																																																																									
1.3	4																																																																																									
1.4	4																																																																																									
1.5	4																																																																																									
1.6	4																																																																																									
1.7	3																																																																																									
1.8	6																																																																																									
1.9	8																																																																																									
2.0	8																																																																																									
2.1																																																																																										
2.2																																																																																										
2.3																																																																																										
2.4																																																																																										
2.5																																																																																										
2.6																																																																																										
2.7																																																																																										
2.8																																																																																										
2.9																																																																																										
3.0																																																																																										
3.1																																																																																										
3.2																																																																																										
3.3																																																																																										
3.4																																																																																										
3.5																																																																																										
3.6																																																																																										
3.7																																																																																										
3.8																																																																																										
3.9																																																																																										
4.0																																																																																										
1.00		4	23.9	-	4																																																																																					
1.50		4	23.9	-	4																																																																																					
2.00		8	27.6	-	8																																																																																					
2.50																																																																																										
3.00																																																																																										
3.50																																																																																										
4.00																																																																																										

**OBSERVACIONES :** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_



## ENSAYO DE DENSIDAD DE CAMPO

(NORMA MTC E-117, AASHTO T-191)

<b>OBRA</b>	: Supervisión del Mejoramiento, Rehabilitación y Conservación por Niveles de Servicio del Corredor Vial		
	: Lima-Canta-Huayllay- Dv. Cochamarca- Empalme PE 3N		
<b>TRAMO</b>	: Canta - Huayllay		
<b>MATERIAL</b>	:		
<b>ESTRUCTURA</b>	:		
<b>PROGRESIVA</b>	: 102+780 – 103+020	Lado.	Izq.

### DENSIDAD HUMEDA

	Izq.	Izq.
<b>CARRIL</b>	Izq.	Izq.
<b>UBICACIÓN DEL ENSAYO</b>	1+280-1+520	1+280-1+520
<b>CAPA</b>	1º	2º
<b>Fecha del ensayo</b>	11/12/15	11/12/15
Peso del frasco + arena	g 6960	g 7163
Peso del frasco + arena que queda	g 1103	g 1766
Peso de arena empleada	g 5857	g 5397
Peso de arena en el cono	g 1520	g 1520
Peso de arena en la excavación	g 4337	g 3877
Densidad de la arena	g/cm <sup>3</sup> 1.390	g/cm <sup>3</sup> 1.390
Volumen del material extraído	cm <sup>3</sup> 3120	cm <sup>3</sup> 2789
Peso del recipiente + suelo + grava	g 5792	g 4942
Peso del recipiente	g 30	g 30
Peso del suelo + grava	g 5762	g 4912
Peso retenido en la malla 3/4"	g	g
Peso específico de la grava	gr/cm <sup>3</sup>	gr/cm <sup>3</sup>
Volumen de la grava	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>
Peso de finos	g 5762	g 4912
Volumen de finos	cm <sup>3</sup> 3120	cm <sup>3</sup> 2789
<b>Densidad Húmeda</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b> 1.847	<b>gr/cm<sup>3</sup></b> 1.761

**Observaciones:** \_\_\_\_\_

## ENSAYO DE DENSIDAD DE CAMPO

(NORMA MTC E-117, AASHTO T-191)

<b>OBRA</b>	: Supervisión del Mejoramiento, Rehabilitación y Conservación por Niveles de Servicio del Corredor Vial		
	: Lima-Canta-Huayllay- Dv. Cochamarca- Empalme PE 3N		
<b>TRAMO</b>	: Canta - Huayllay		
<b>MATERIAL</b>	:		
<b>ESTRUCTURA</b>	:		
<b>PROGRESIVA</b>	: 104+910 – 105+000	Lado.	Der.

### DENSIDAD HUMEDA

		Der.	Der.
<b>CARRIL</b>			
<b>UBICACIÓN DEL ENSAYO</b>		3+410-3+500	3+410-3+500
<b>CAPA</b>		1º	2º
Fecha del ensayo		12/12/15	12/12/15
Peso del frasco + arena	g	6996	6910
Peso del frasco + arena que queda	g	2114	1391
Peso de arena empleada	g	4882	5519
Peso de arena en el cono	g	1520	1520
Peso de arena en la excavación	g	3362	3999
Densidad de la arena	g/cm <sup>3</sup>	1.390	1.390
Volumen del material extraído	cm <sup>3</sup>	2419	2877
Peso del recipiente + suelo + grava	g	4157	5186
Peso del recipiente	g	30	30
Peso del suelo + grava	g	4127	5156
Peso retenido en la malla 3/4"	g		
Peso específico de la grava	gr/cm <sup>3</sup>		
Volumen de la grava	cm <sup>3</sup>		
Peso de finos	g	4127	5156
Volumen de finos	cm <sup>3</sup>	2419	2877
<b>Densidad Húmeda</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>	<b>1.706</b>	<b>1.792</b>

**Observaciones:** \_\_\_\_\_

## ENSAYO DE DENSIDAD DE CAMPO

(NORMA MTC E-117, AASHTO T-191)

<b>OBRA</b>	: Supervisión del Mejoramiento, Rehabilitación y Conservación por Niveles de Servicio del Corredor Vial		
	: Lima-Canta-Huayllay- Dv. Cochamarca- Empalme PE3N		
<b>TRAMO</b>	: Canta - Huayllay		
<b>MATERIAL</b>	:		
<b>ESTRUCTURA</b>	:		
<b>PROGRESIVA</b>	: 109+500 – 109+620	Lado.	Der.

### DENSIDAD HUMEDA

		Der.	
<b>CARRIL</b>			
<b>UBICACIÓN DEL ENSAYO</b>		8+000-8+120	
<b>CAPA</b>		1º	
Fecha del ensayo		12/12/15	
Peso del frasco + arena	g	7003	
Peso del frasco + arena que queda	g	2121	
Peso de arena empleada	g	4882	
Peso de arena en el cono	g	1520	
Peso de arena en la excavación	g	3362	
Densidad de la arena	g/cm <sup>3</sup>	1.390	
Volumen del material extraído	cm <sup>3</sup>	2419	
Peso del recipiente + suelo + grava	g	3390	
Peso del recipiente	g	30	
Peso del suelo + grava	g	3360	
Peso retenido en la malla 3/4"	g		
Peso específico de la grava	gr/cm <sup>3</sup>		
Volumen de la grava	cm <sup>3</sup>		
Peso de finos	g	3360	
Volumen de finos	cm <sup>3</sup>	2419	
<b>Densidad Húmeda</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>	<b>1.389</b>	

**Observaciones:** \_\_\_\_\_

## **D. FOTOGRAFIAS**

**Km 102+780 AL Km 103+020**



**Foto N° 1. Vista en perfil de un agrietamiento y desplazamiento en la ladera superior**



**Foto N° 2. Inicio de cortes en la parte superior del talud**



**Foto N° 3. Plano de contacto entre el depósito coluvial (arriba) y la roca (base)**



**Foto N° 4. Vista del agrietamiento y desplazamiento del terreno en la ladera superior**



**Foto N° 5. Talud después de ejecutado el corte de 1:1 (H:V)**



**Foto N° 6. Vista de los materiales conformantes del talud**



Foto N° 7. Toma desde arriba de la ladera con grietas tensionales escalonadas.



Foto N° 8. Grietas tensionales producidas en la corona del talud (>30 cm de abertura)



**Km 104+920 AL Km 105+010**

**Foto N° 9. Inicio de cortes en el talud. Nótese la ocurrencia de deslizamientos.**



**Foto N° 10. Excavaciones en el talud**



**Foto N° 11. Deslizamientos y reptación de suelos superficiales en la ladera.**



**Foto N° 12. Vista lateral de los deslizamientos y reptación en la ladera.**



**Foto N° 13. Reptación de suelos. Vista de alfalfar regado por aspersión en la ladera superior.**



**Foto N° 14. Reptación de Suelos. Filtraciones de agua hacia las paredes del talud.**

**Km 109+500 AL Km 109+580**

**Foto N° 15. Pequeños deslizamientos después de ejecutada la excavación de talud (1:2, H:V)**



**Foto N° 16. Vista panorámica de la zona, nótese los planos de deslizamiento temporalmente estabilizados en el talud.**



**Foto N° 17. Agrietamientos en la ladera superior.**



**Foto N° 18. Vista panorámica del deslizamiento, véase el asentamiento de la plataforma.**

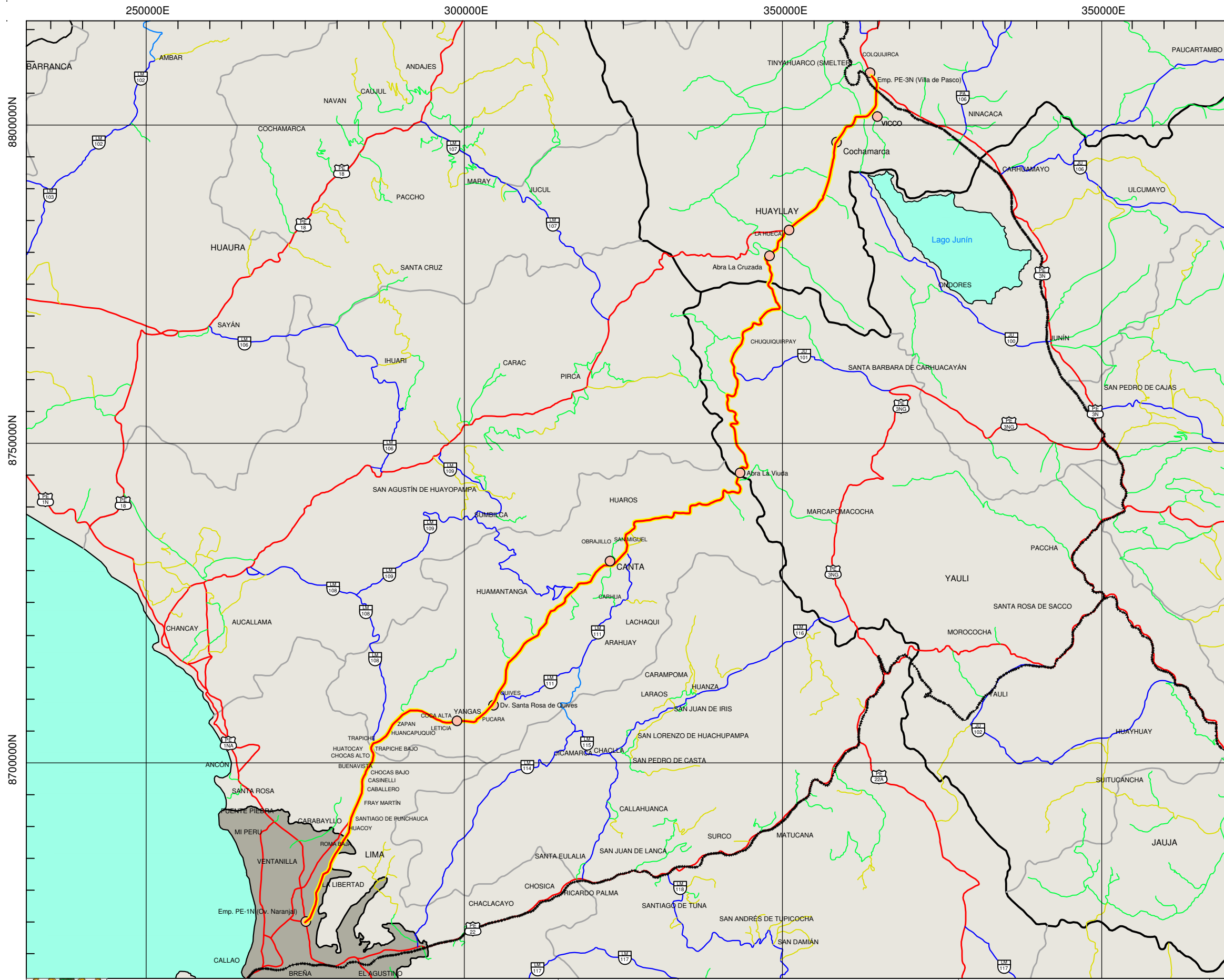


Foto N° 19. Vista del acceso a Cantamarca










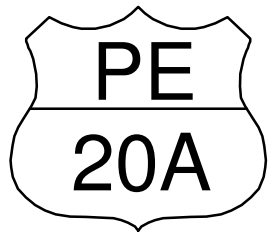
Foto N° 20. Vista de deslizamientos y agrietamientos desde la parte superior.

## **E. PLANOS**



**LEYENDA**

-  Red Vial Nacional  
— Existente
-  Red Vial Departamental  
— Existente  
— Proyecto
-  Red Vial Vecinal  
— Registrados  
— No registrados
-  Puntos de Trayectoria de Ruta
-  Ferrocarriles Públicos
-  Límite Departamental
-  Límite Provincial



**UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS**  
 FACULTAD DE ING. GEOLOG, MINERA, METALURG, Y GEOGRAF.  
 E.A.P. INGENIERIA GEOLOGICA

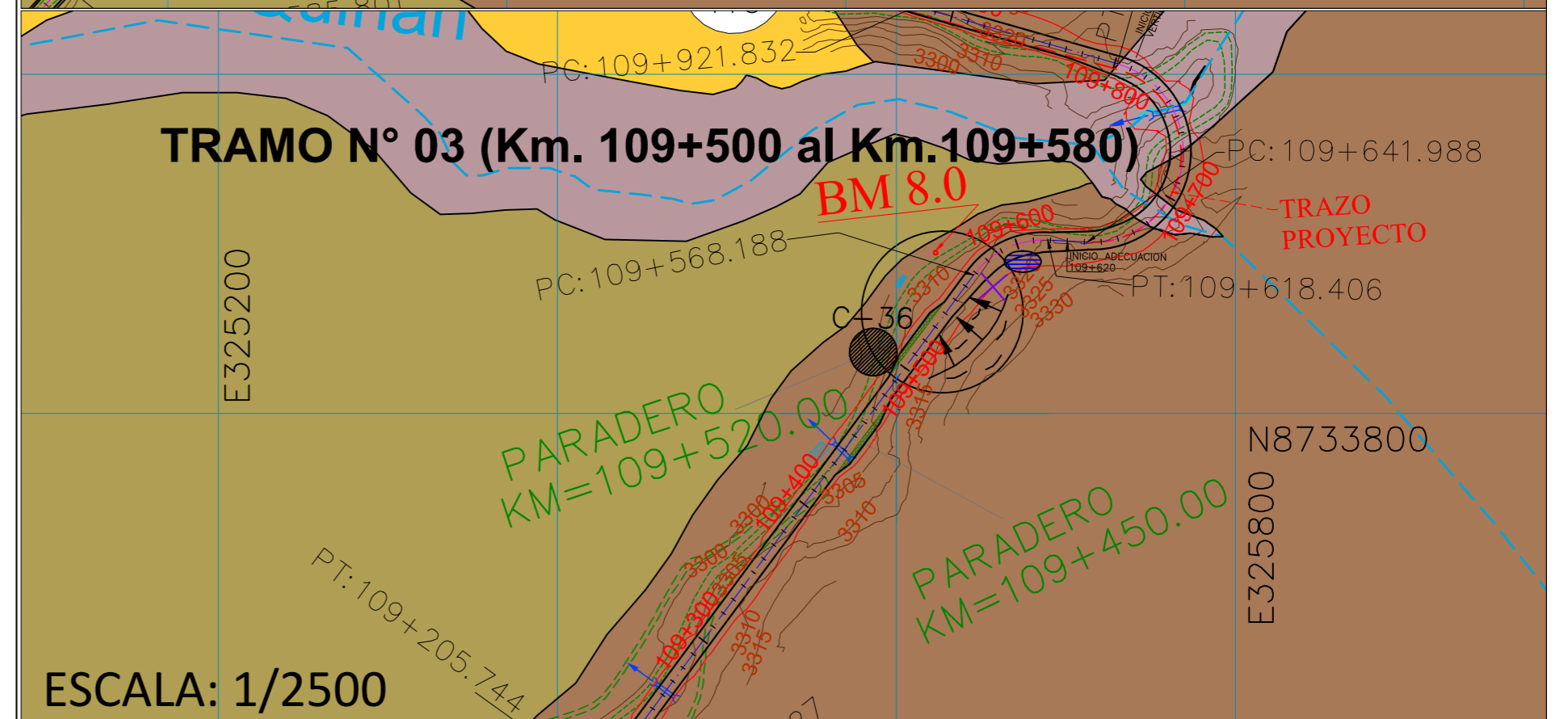
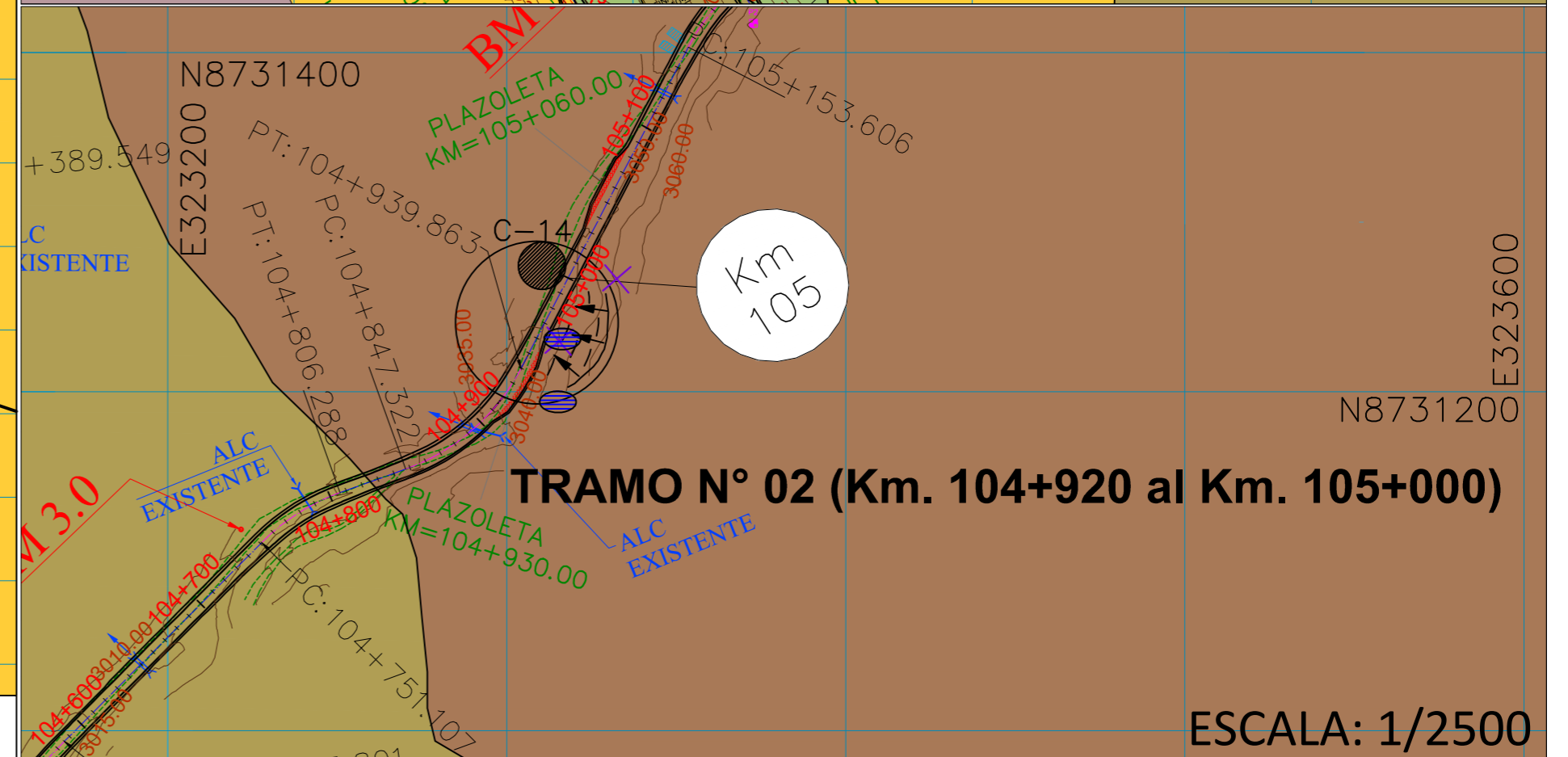
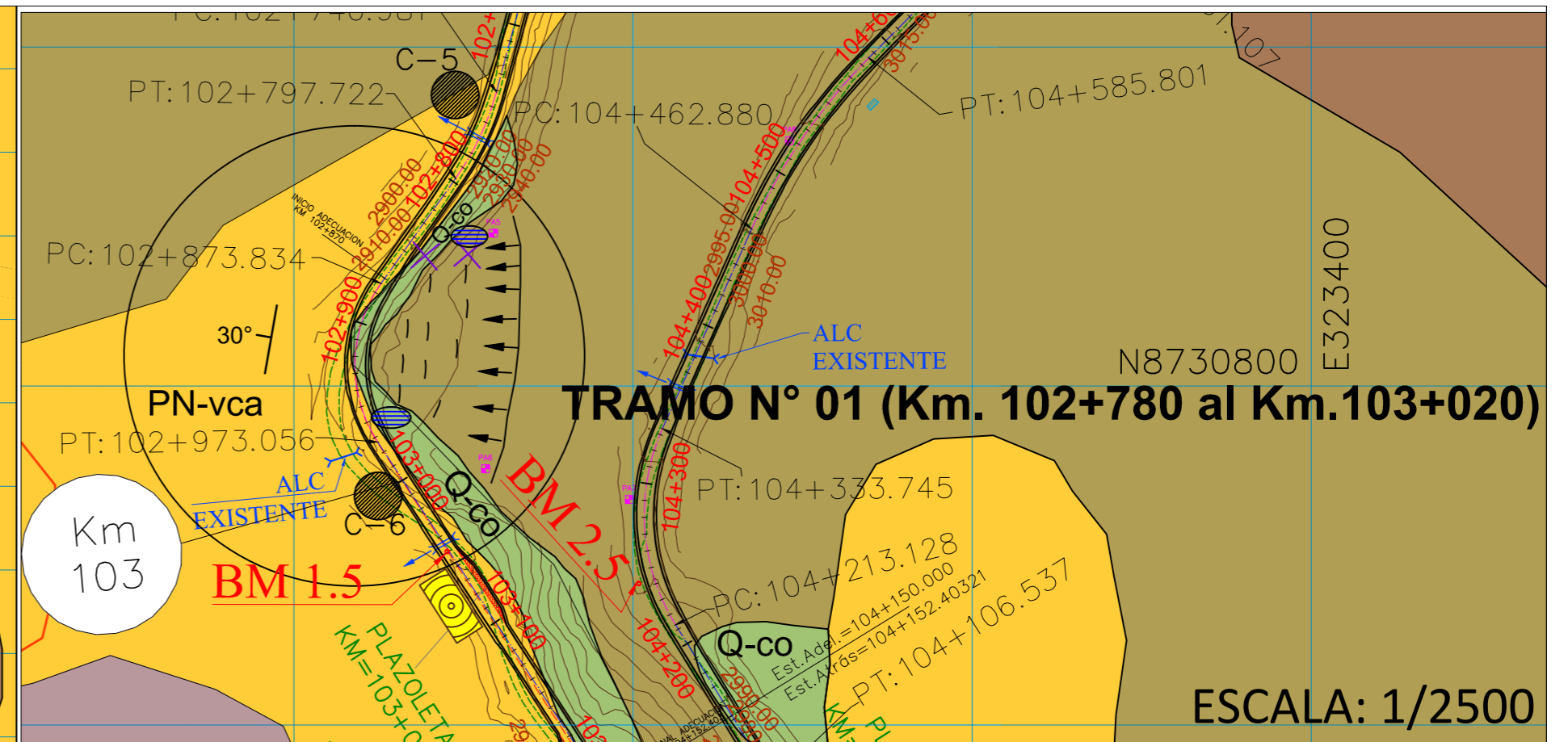
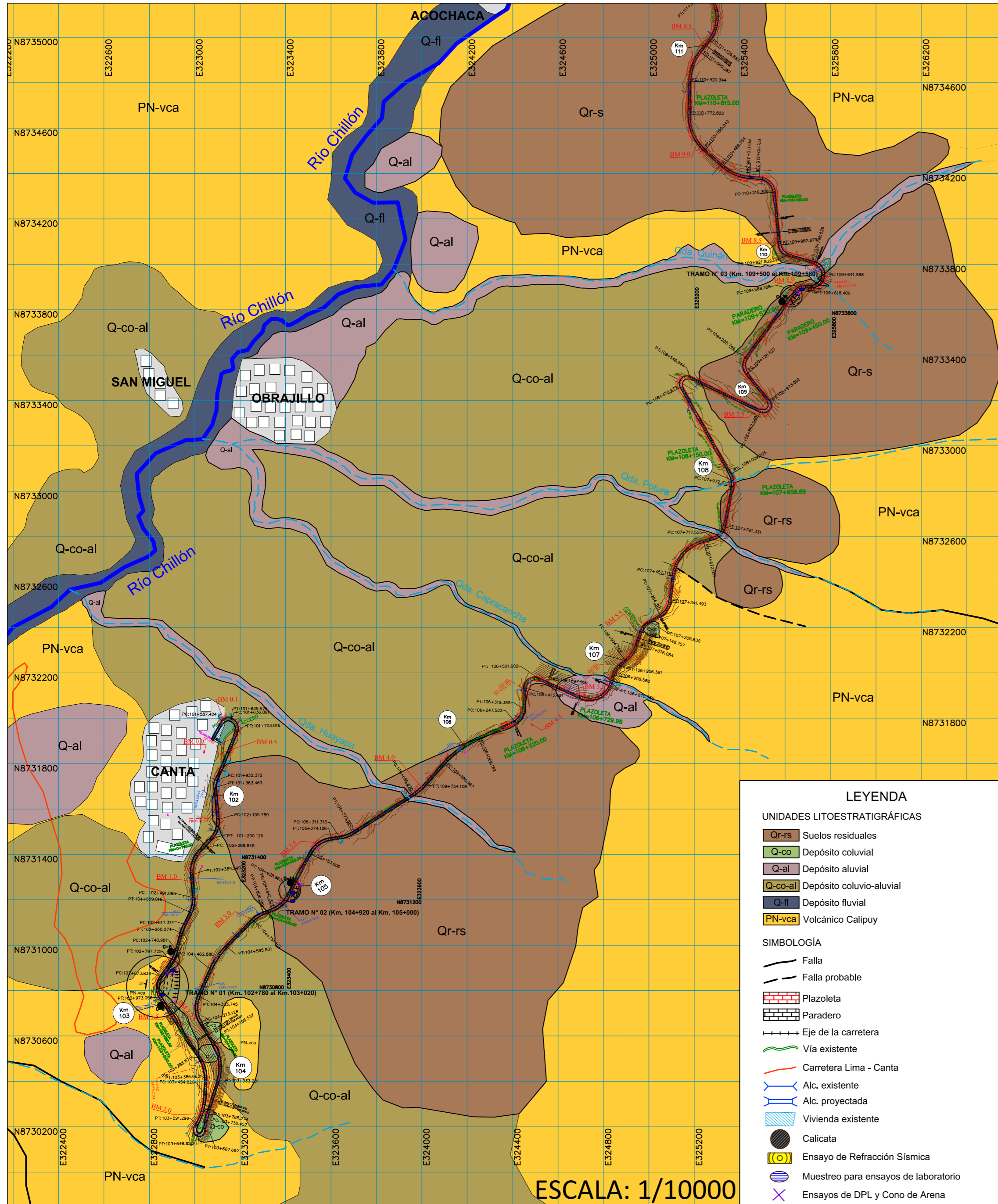
Tesis : **"SOLUCIONES PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA CARRETERA CANTA-HUAYLLAY ENTRE LAS PROGRESIVAS DEL KM 102 AL KM 110"**  
 Tesista : **CARLOS ENRIQUE SACKSCHEWSKI CHAPMAN**  
 Asesor : **ING. ROSENDO OLIMPIO ÁNGELES GIRÓN**

Obra: **"MEJORAMIENTO, REHABILITACIÓN Y CONSERVACION POR NIVELES DE SERVICIO DEL CORREDOR VIAL LIMA - CANTA - HUAYLLAY - DV. COCHAMARCA - EMPALME PE 3N"**

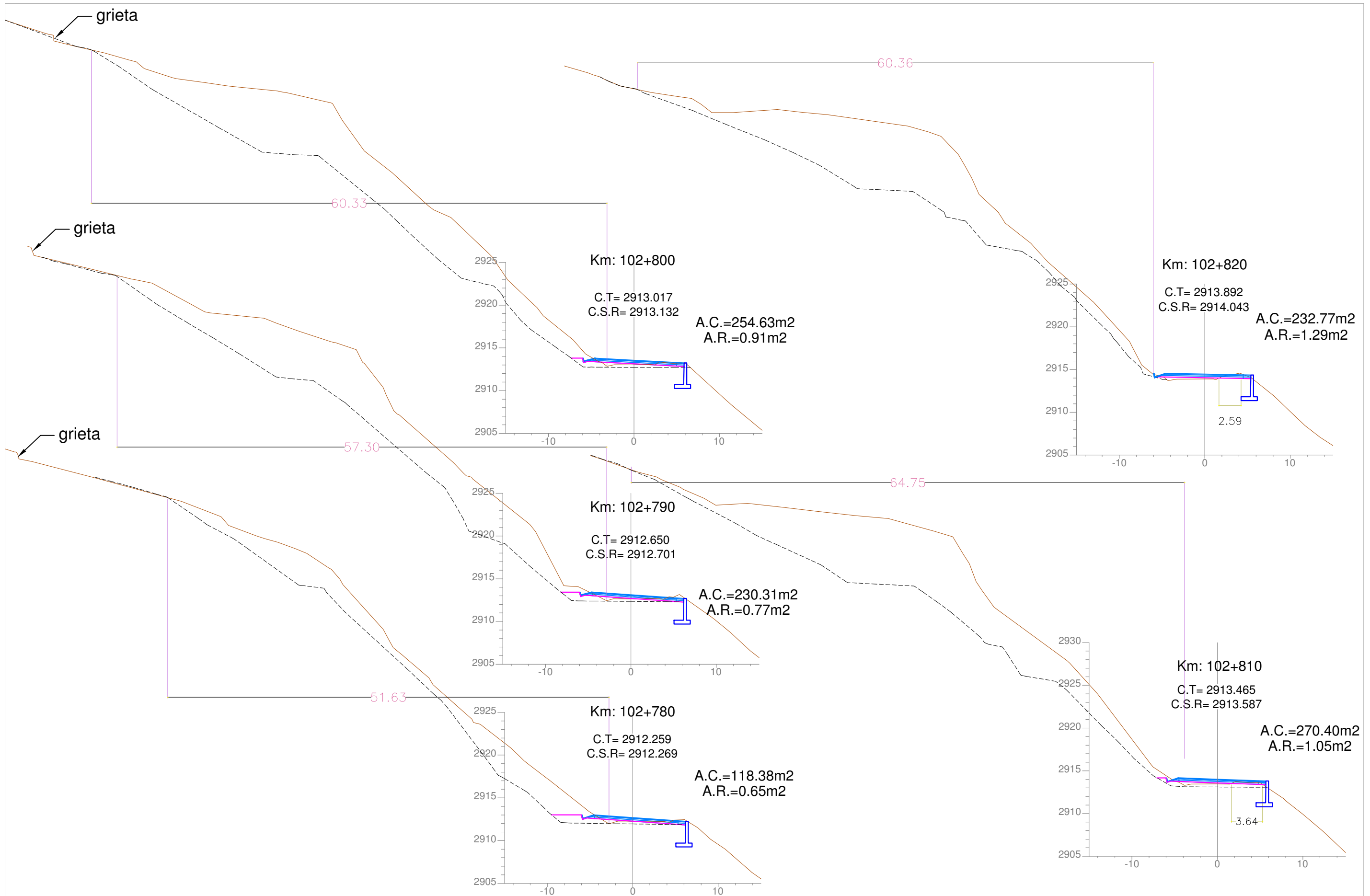
Plano: **MAPA DE UBICACIÓN DE LA RUTA PE-20A "VENCEDORES DEL SANGRAR"**

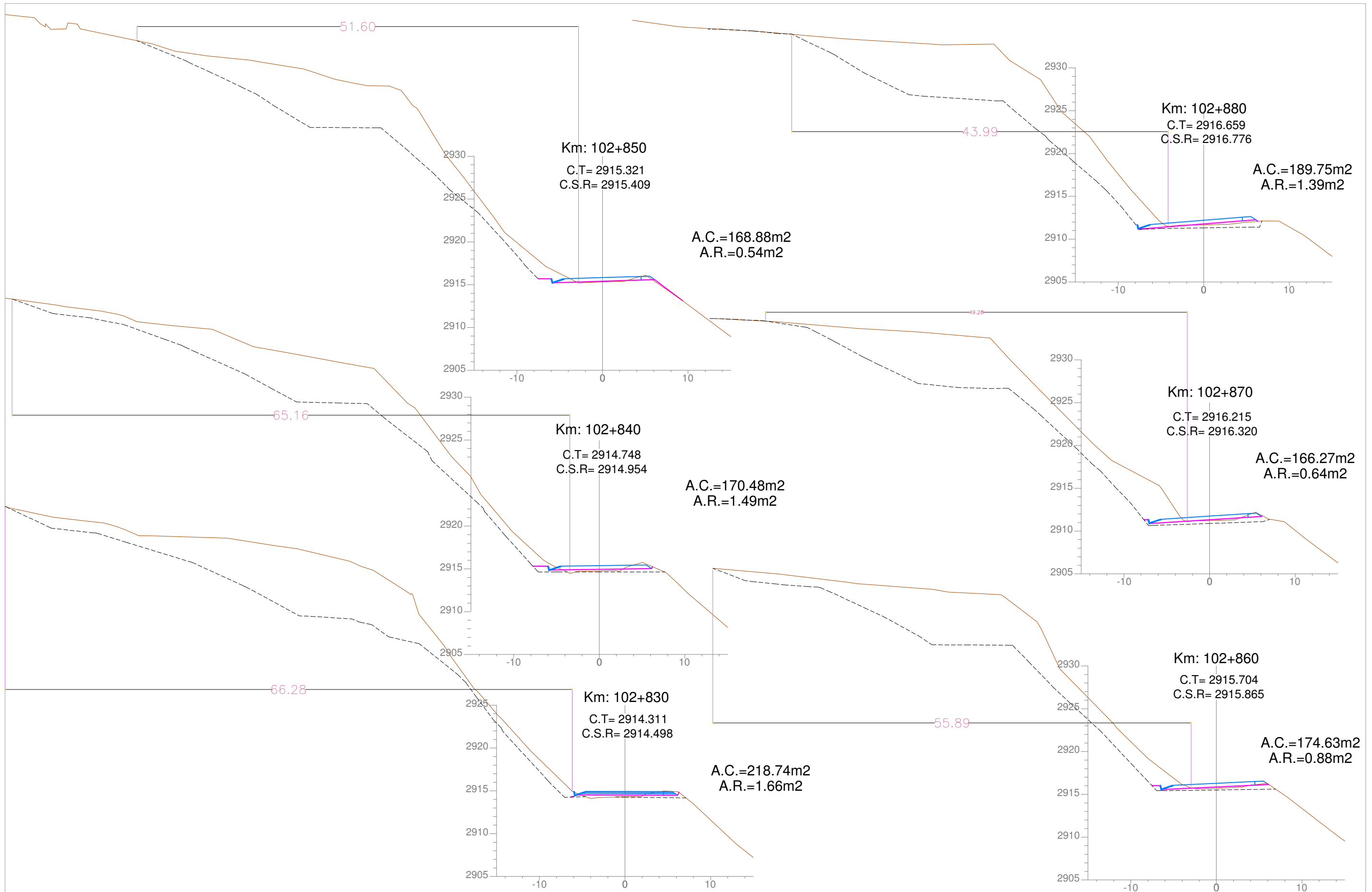
Escala: **PAPEL:A3 1/62500**  
 Fecha: **NOVIEMBRE\_2016**  
 N°PLANO: **1**  
 FUENTE: **MTC**

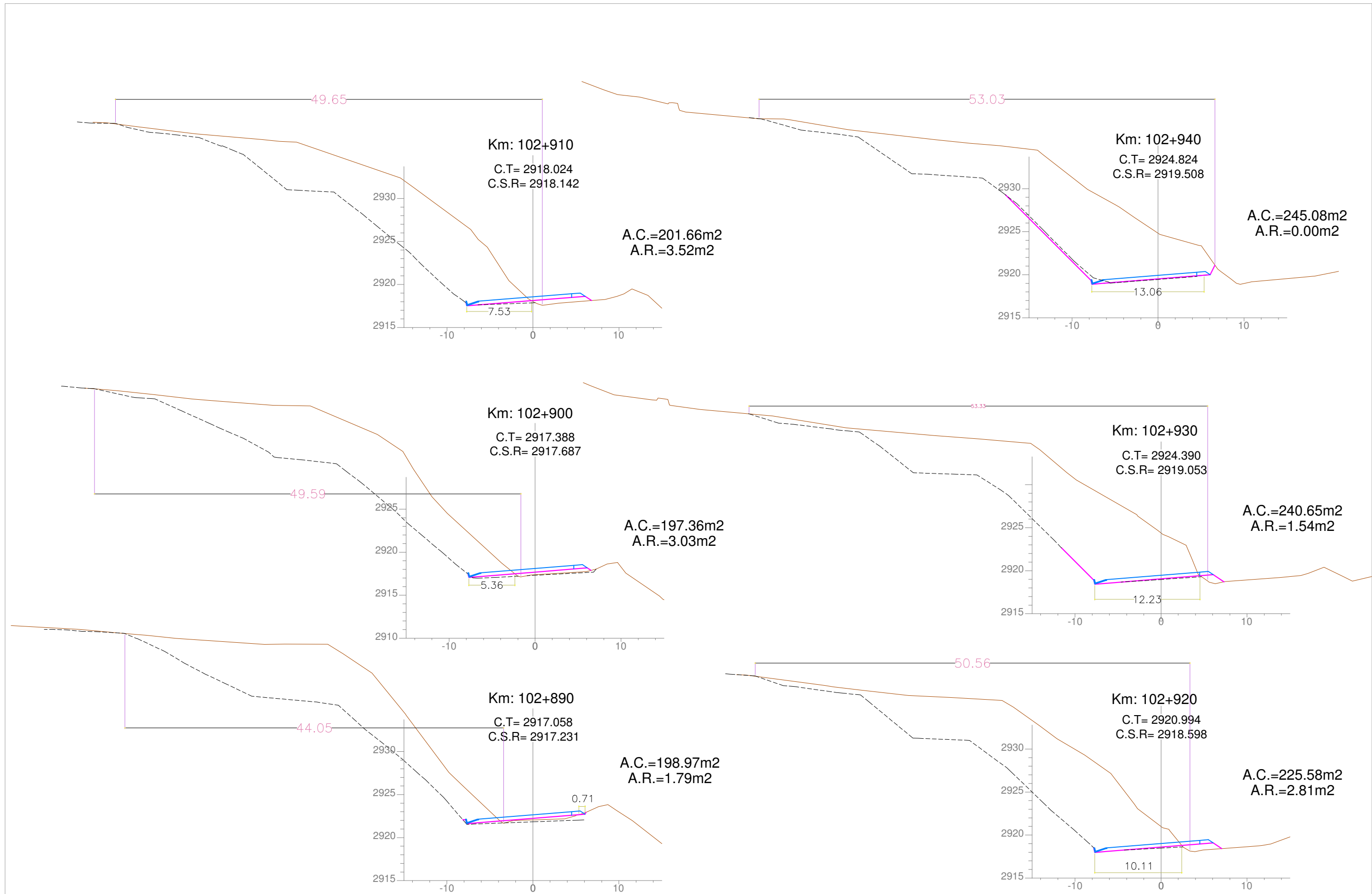


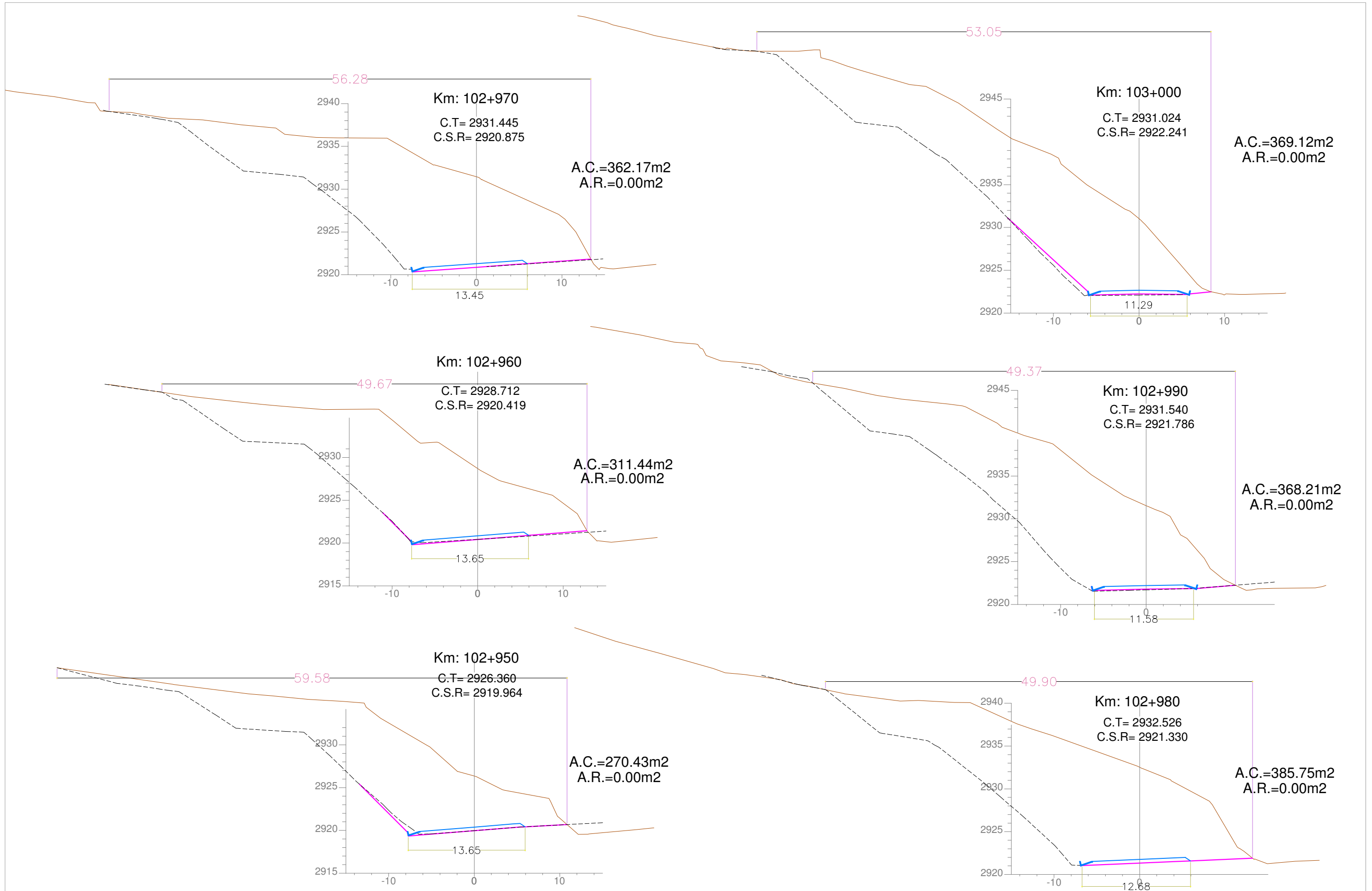


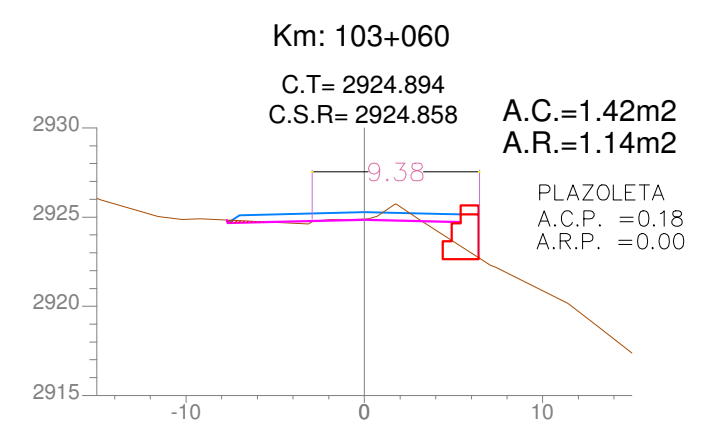
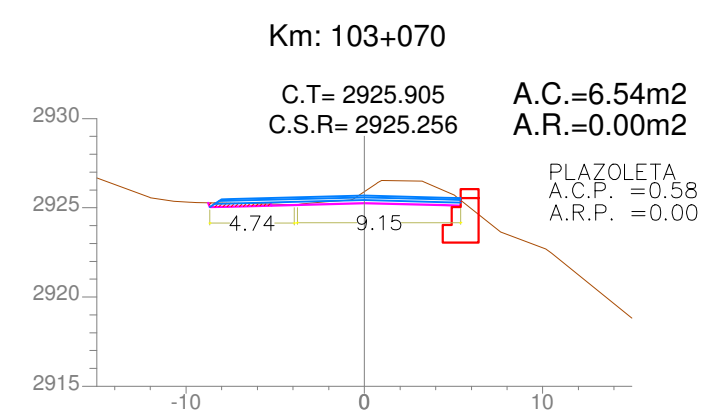
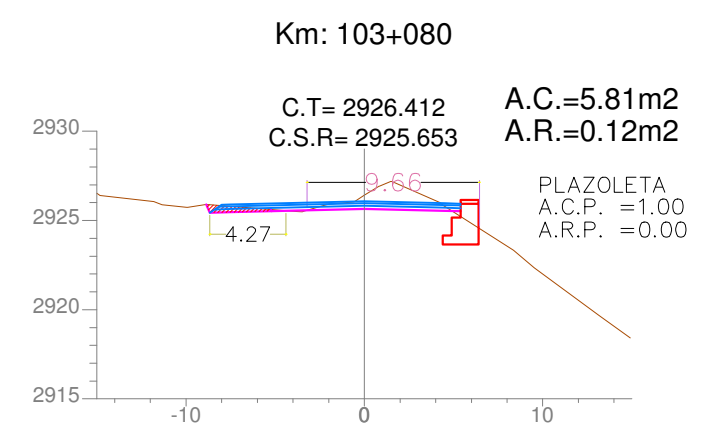
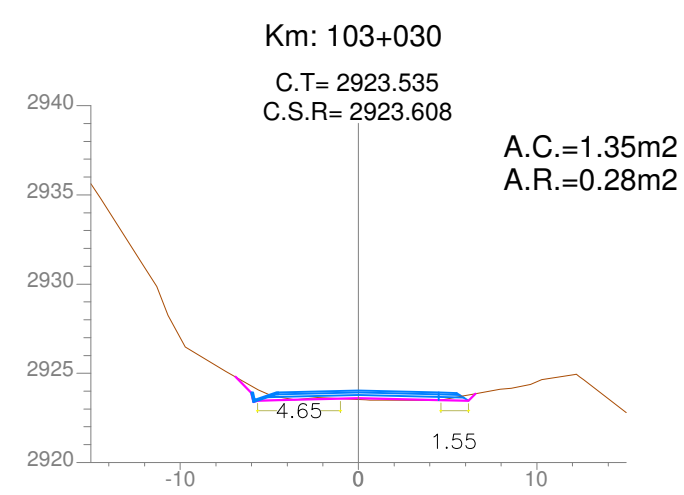
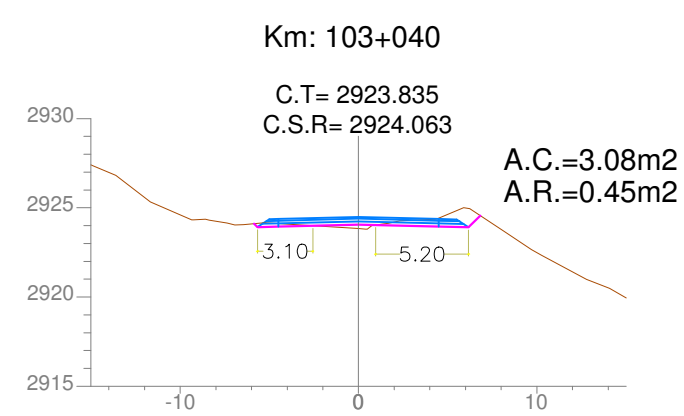
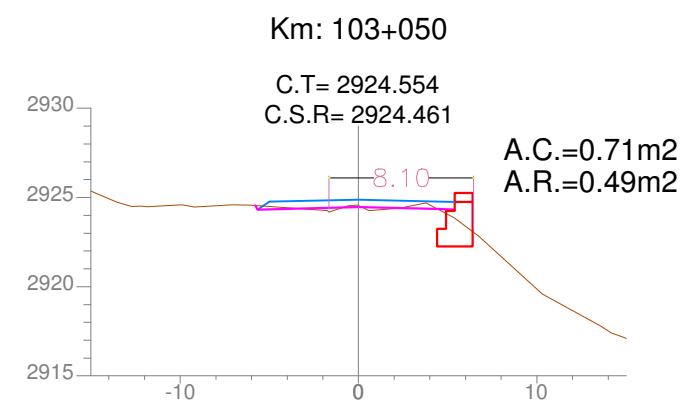
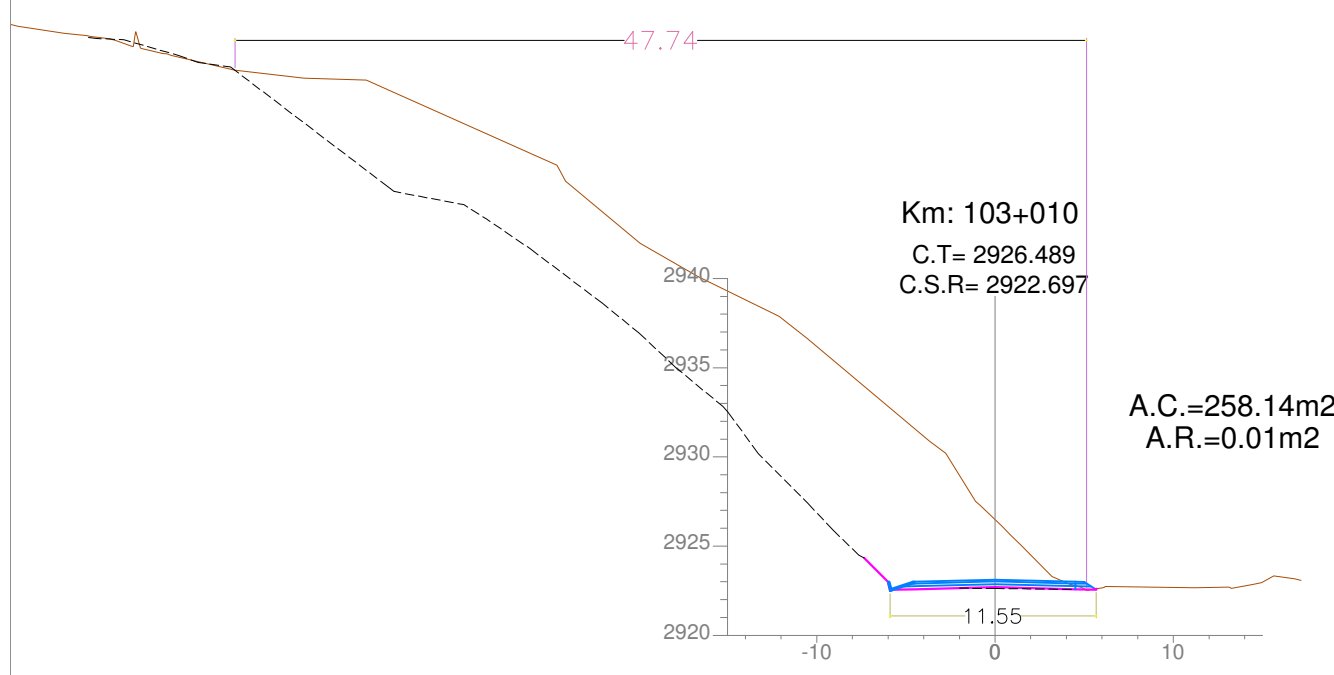
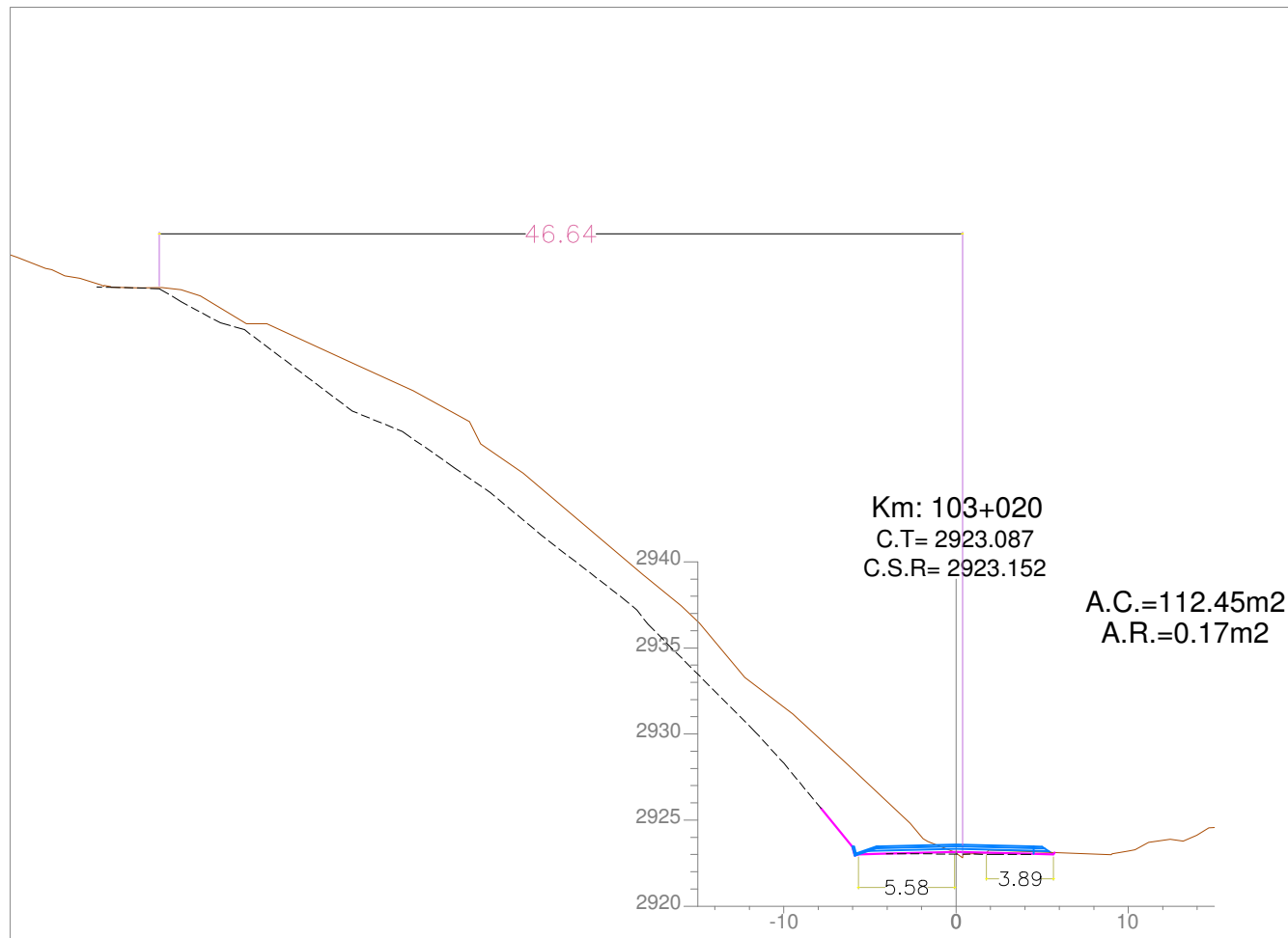
## **F. SECCIONES TRANSVERSALES**

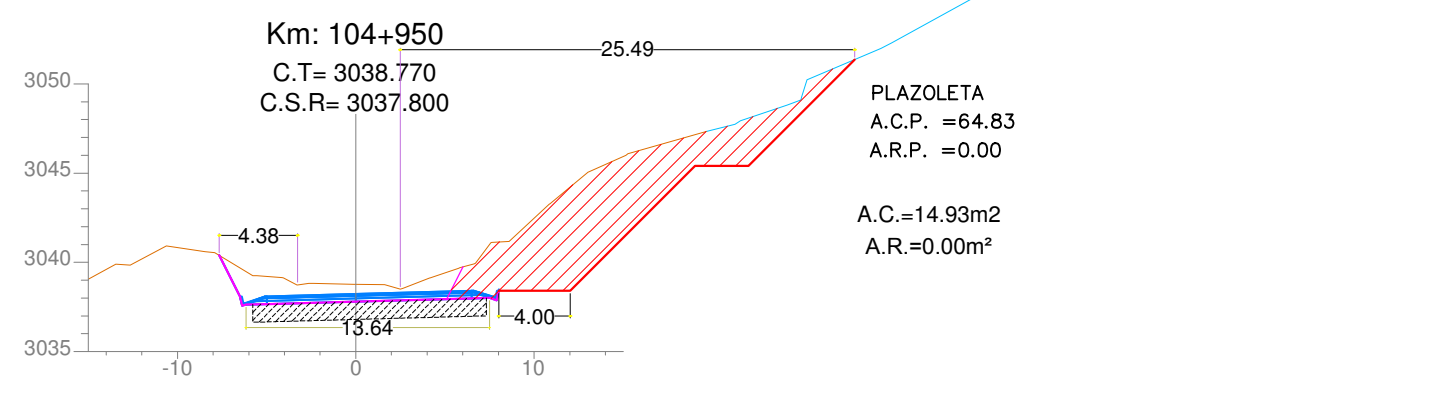
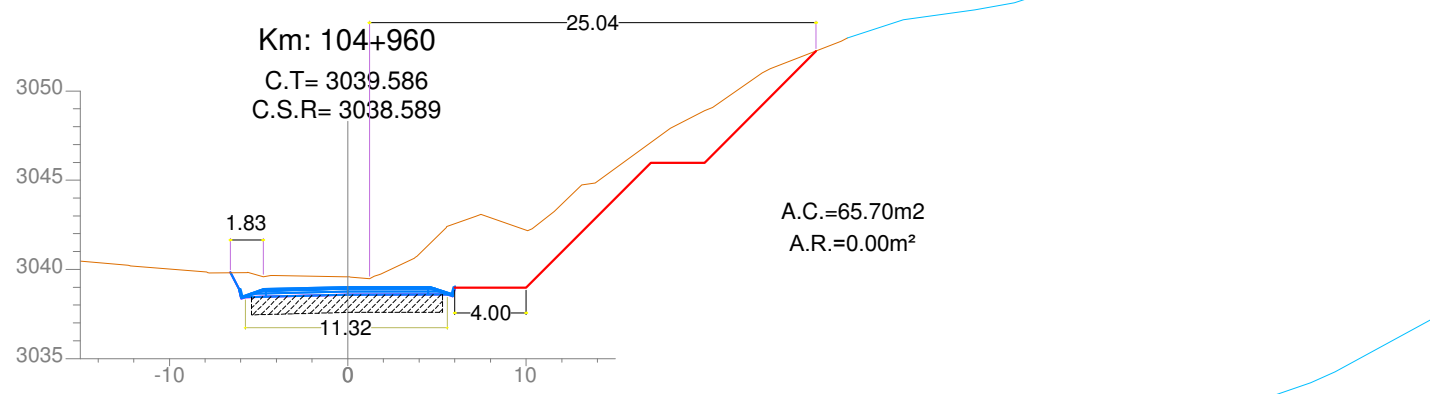
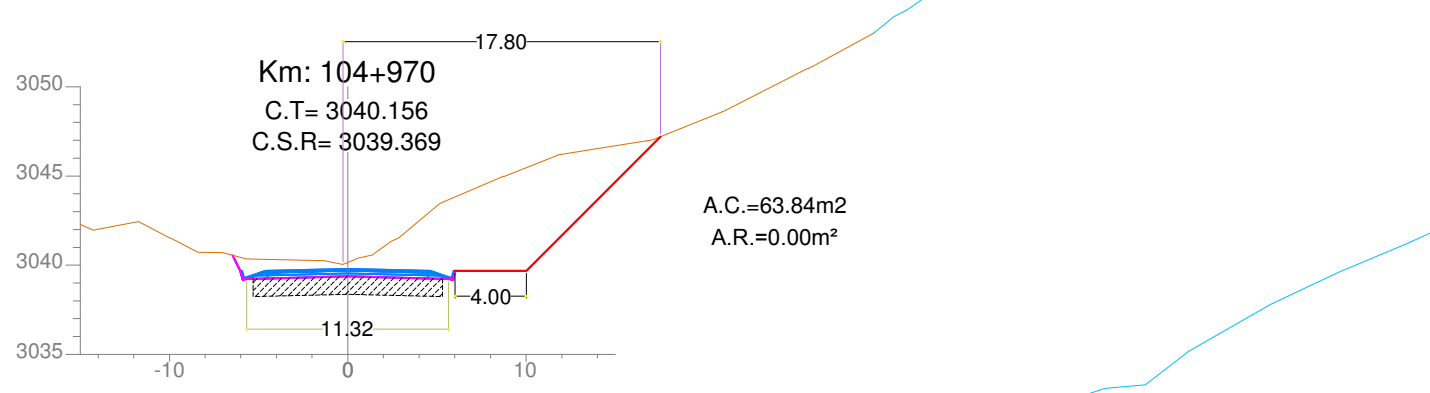
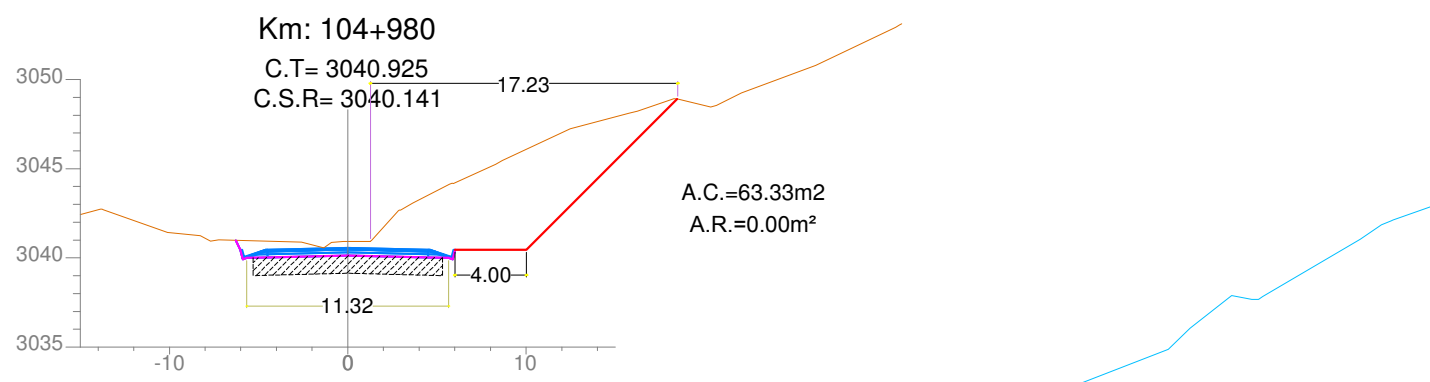
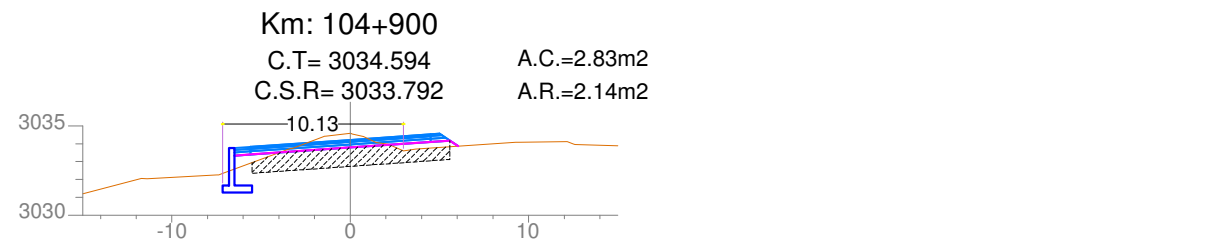
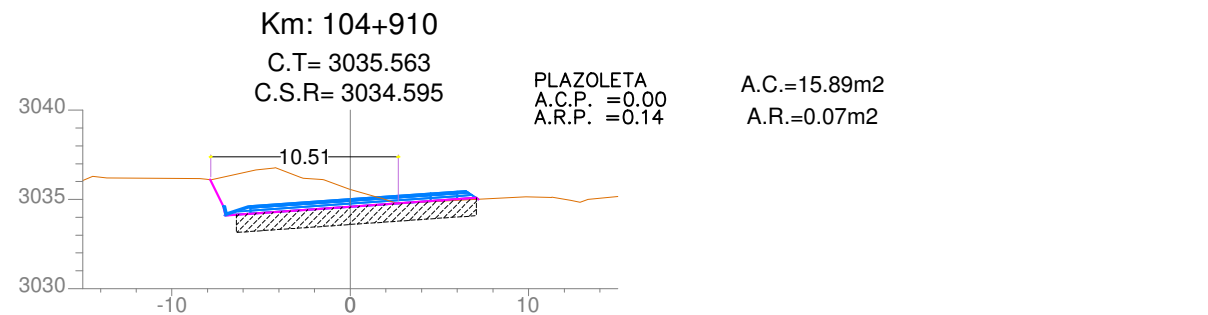
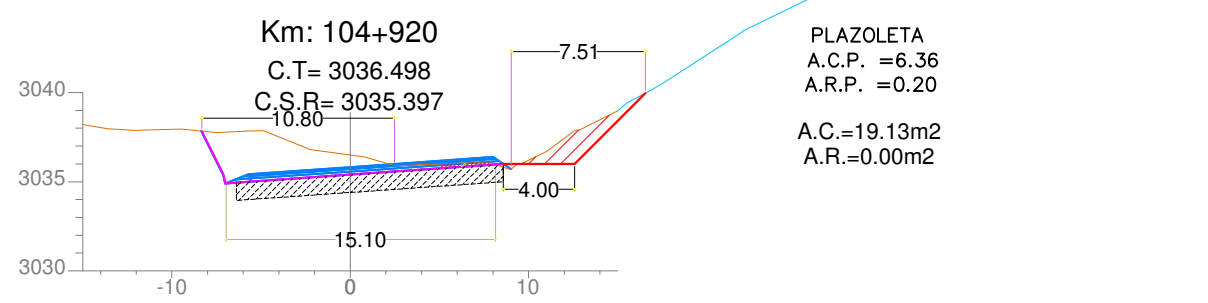
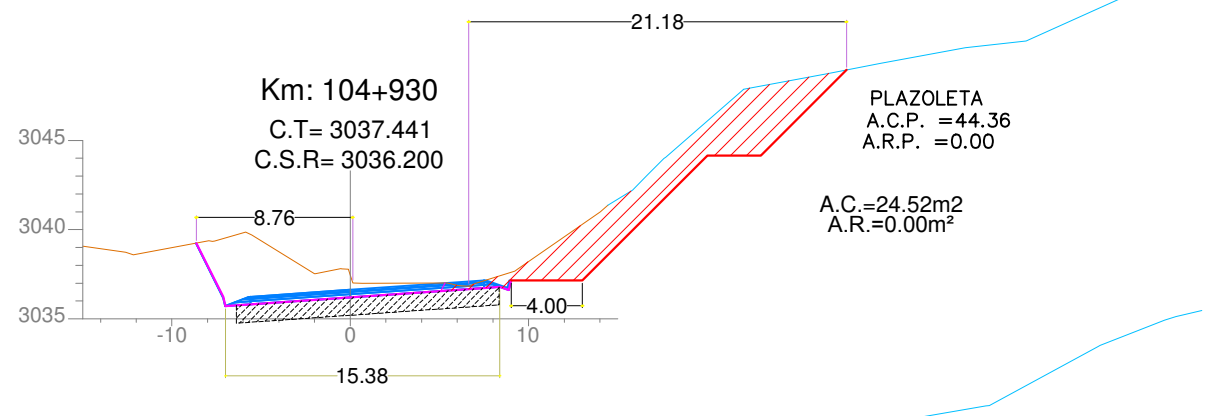
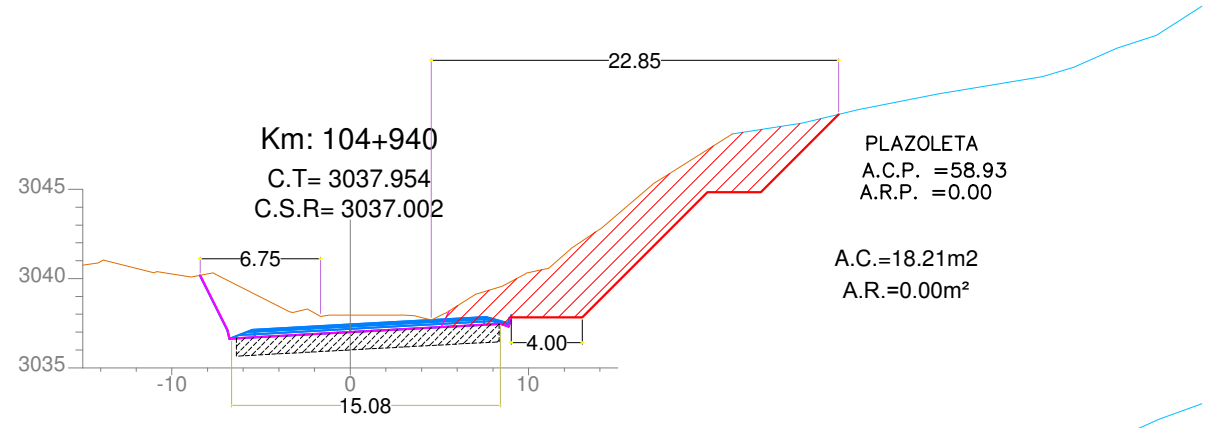




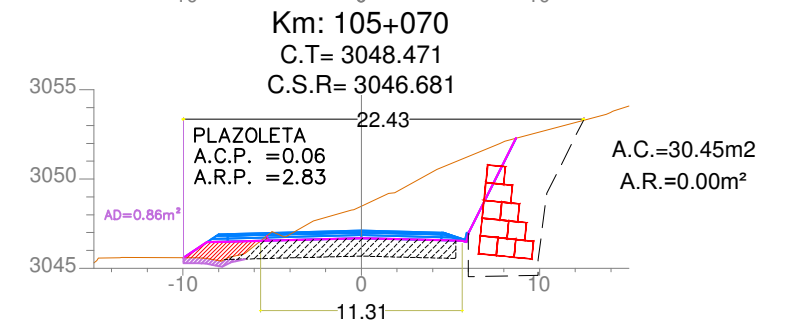
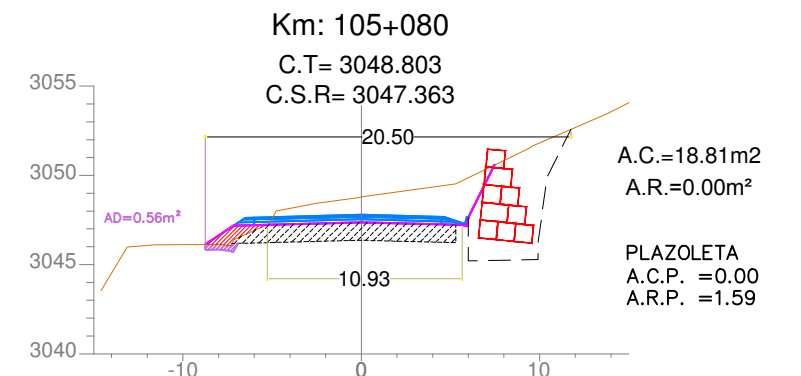
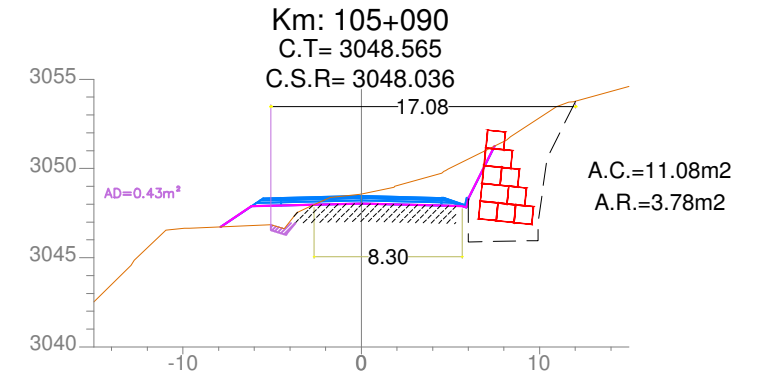
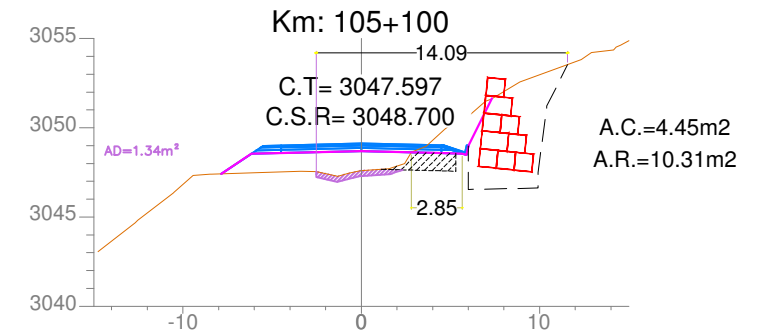
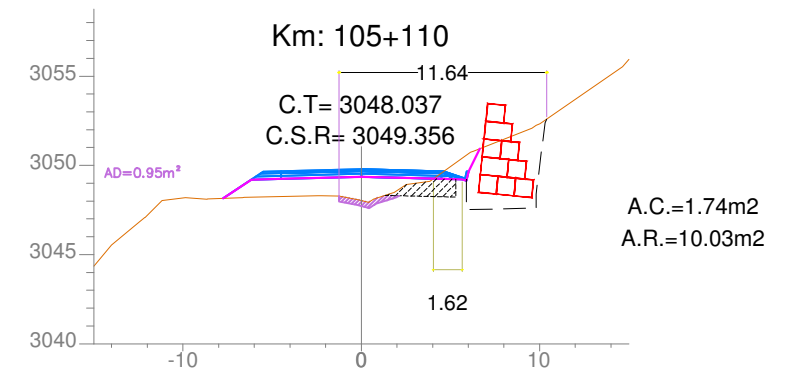
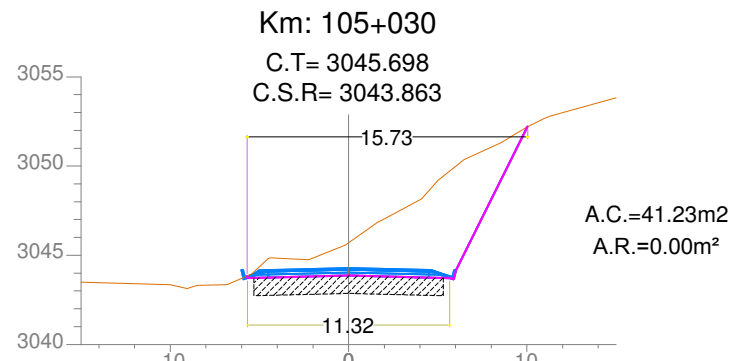
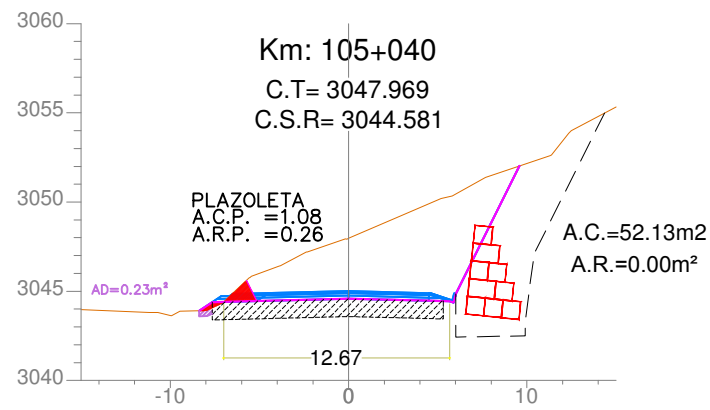
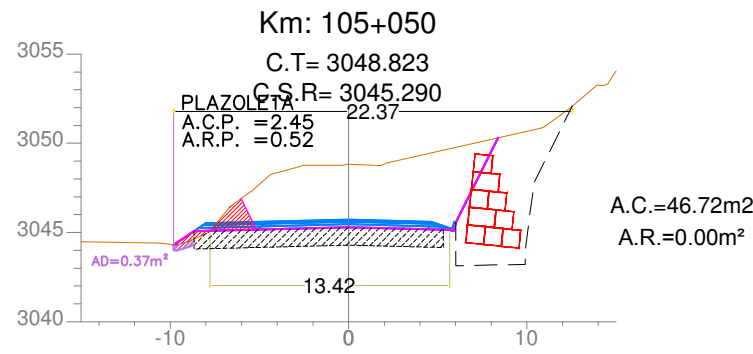
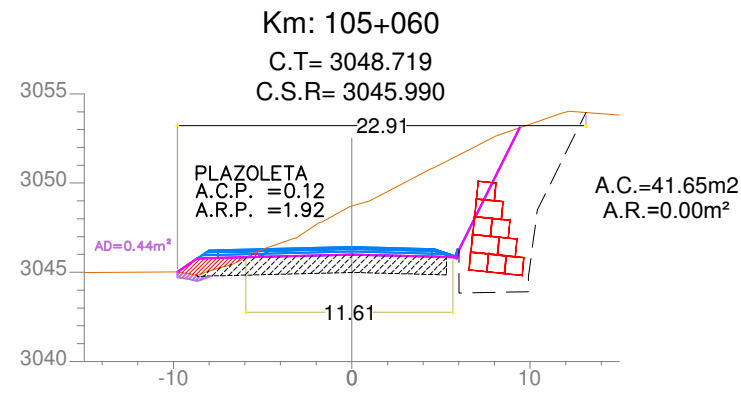
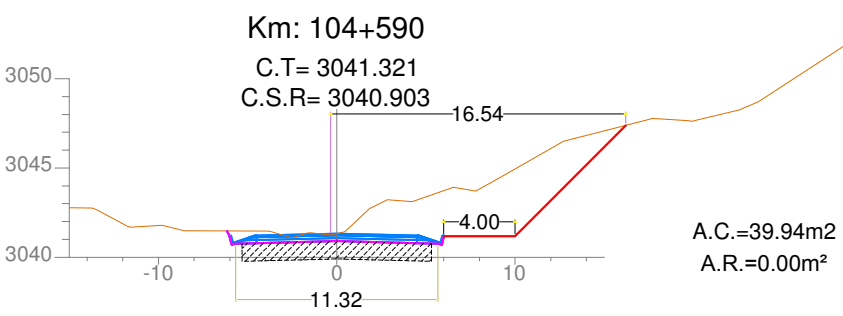
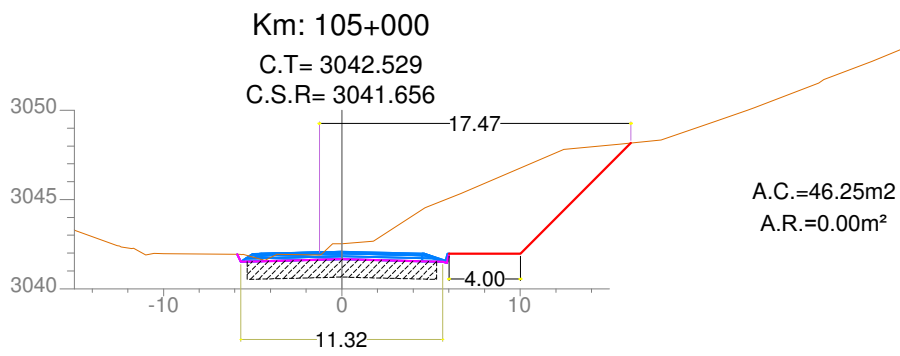
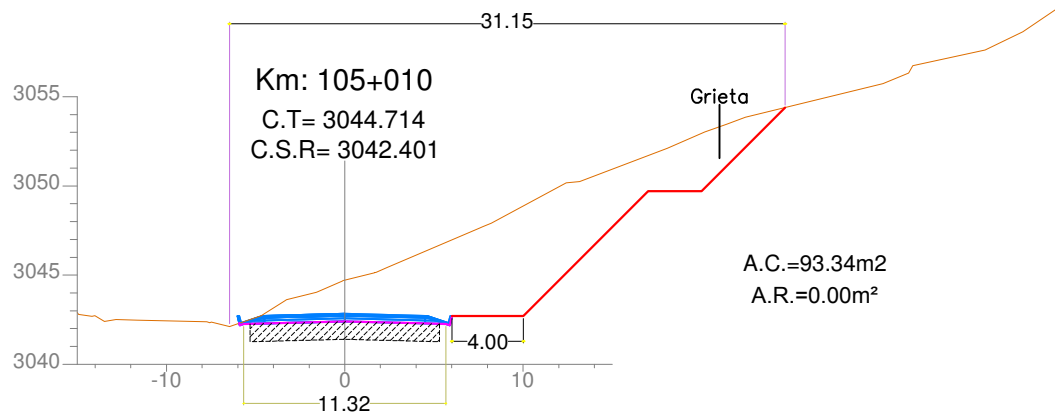
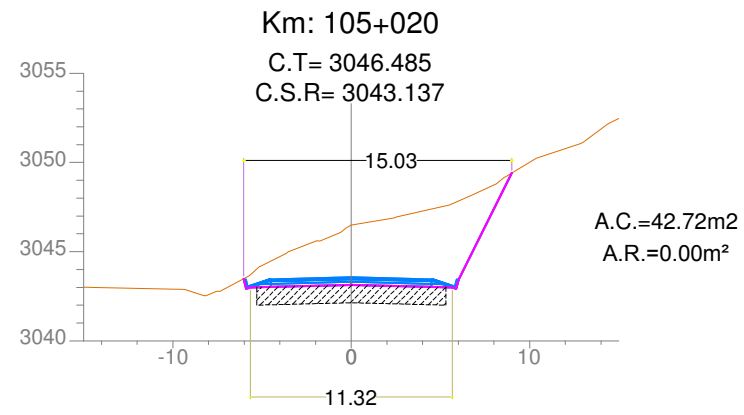


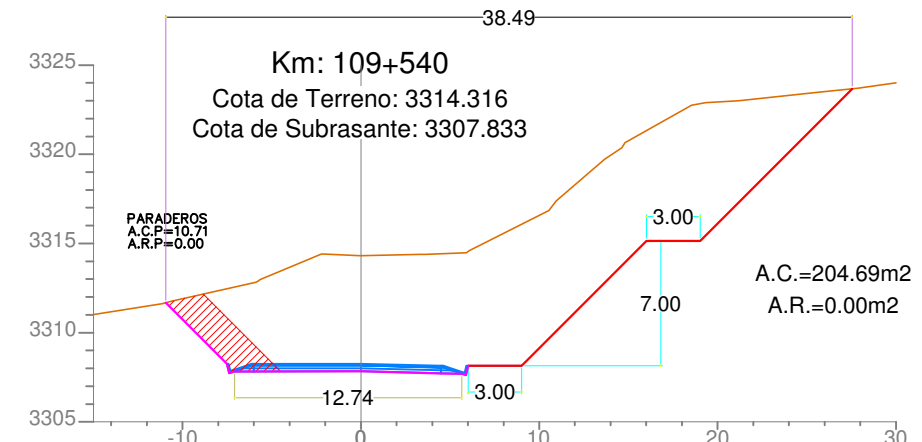
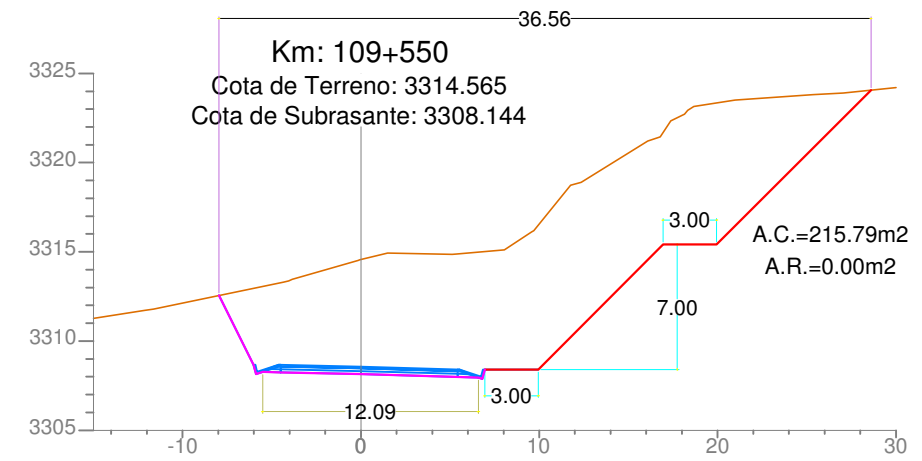
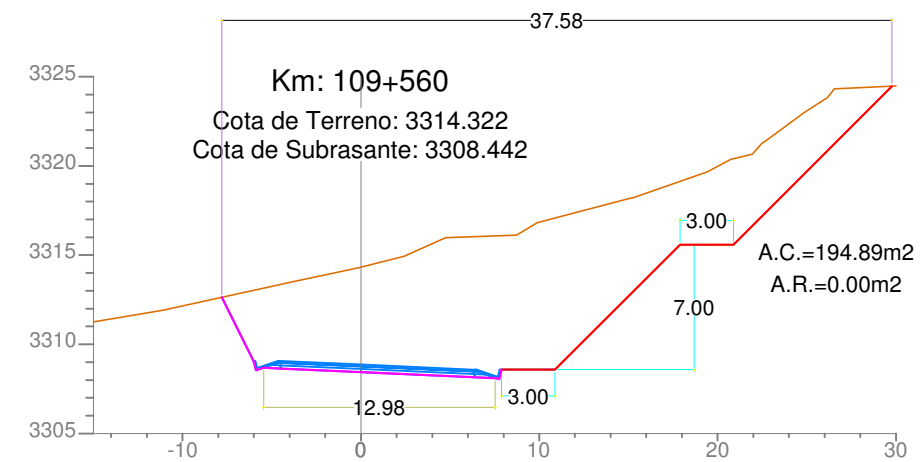
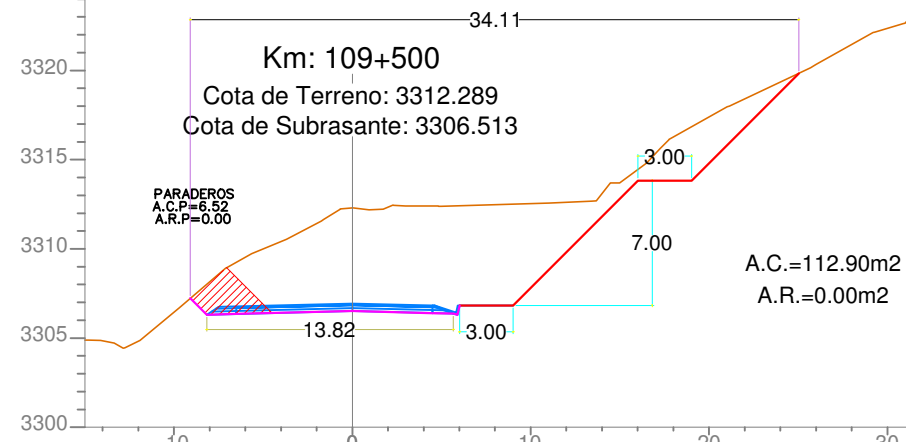
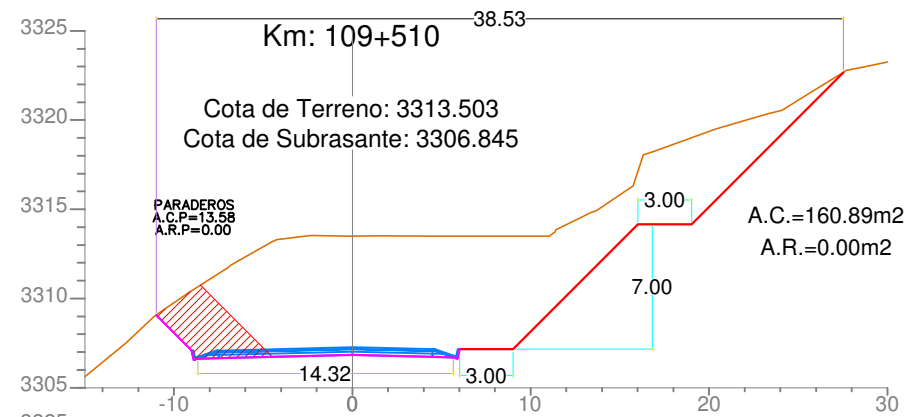
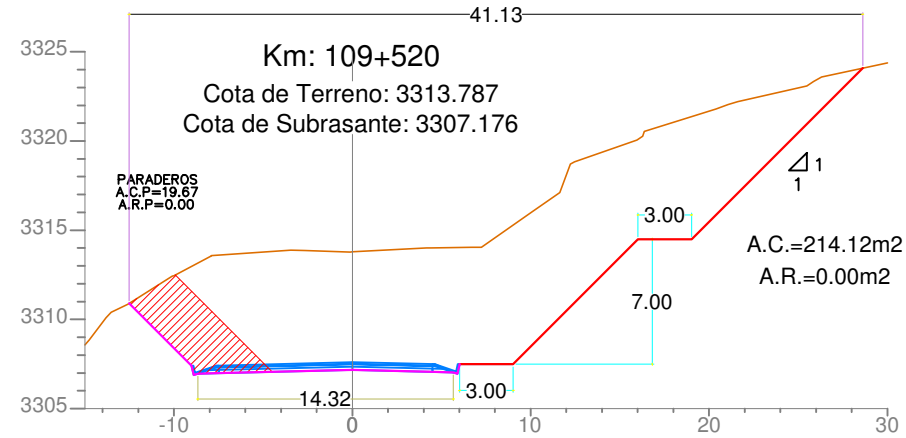
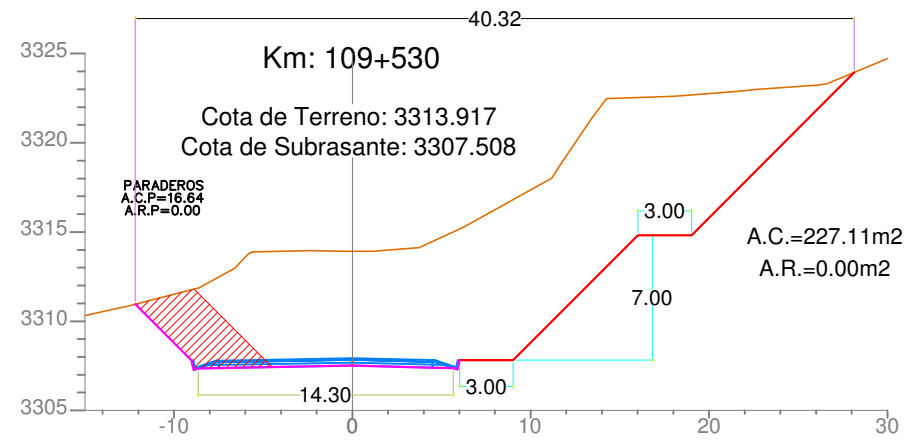


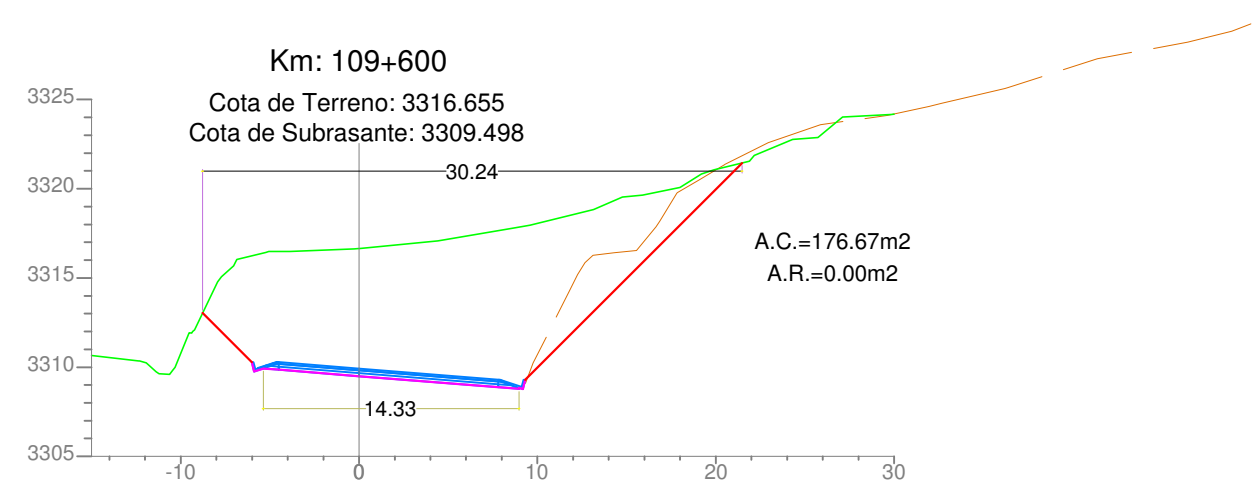
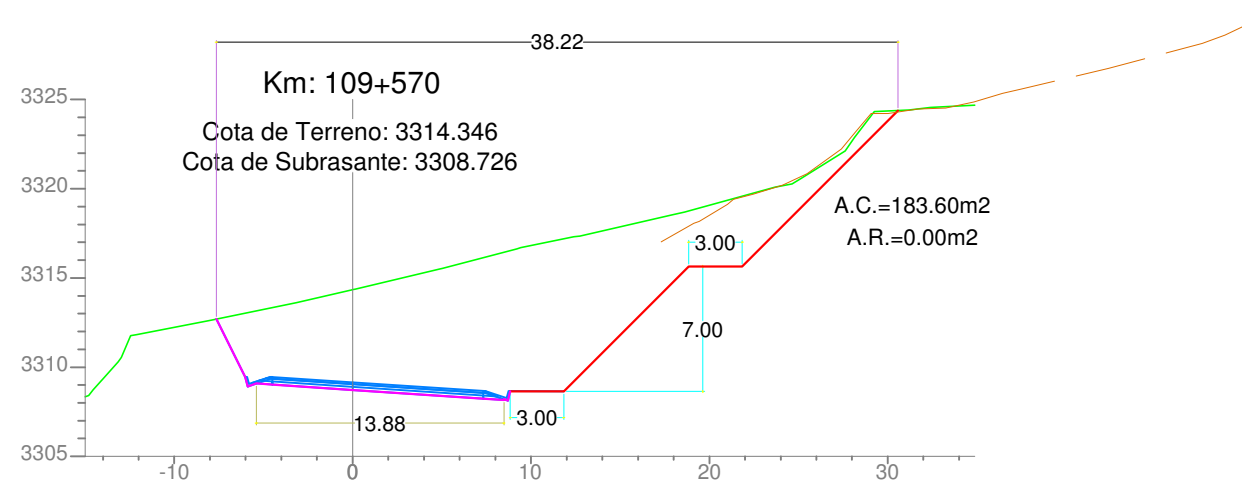
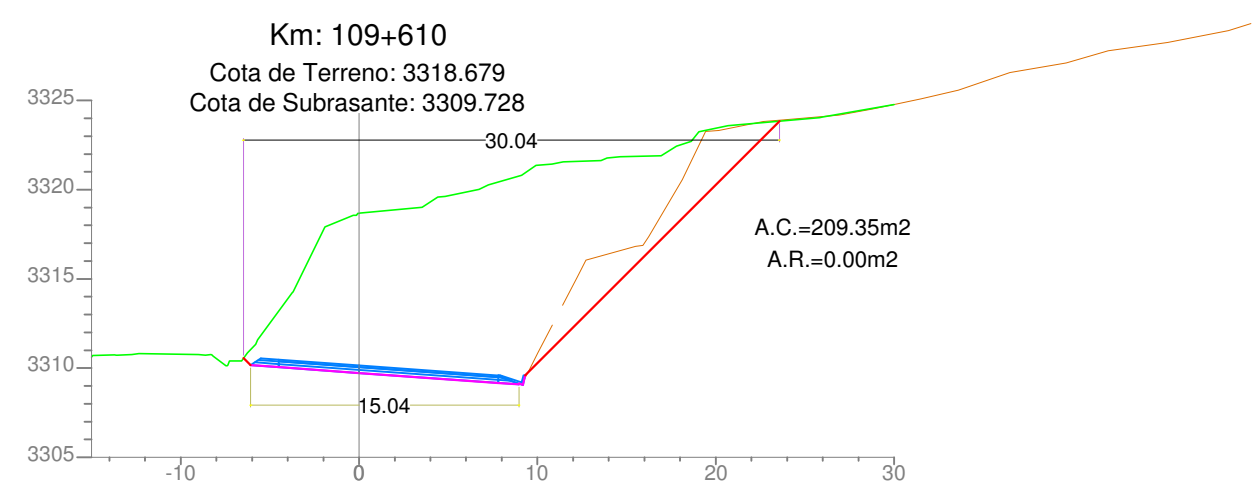
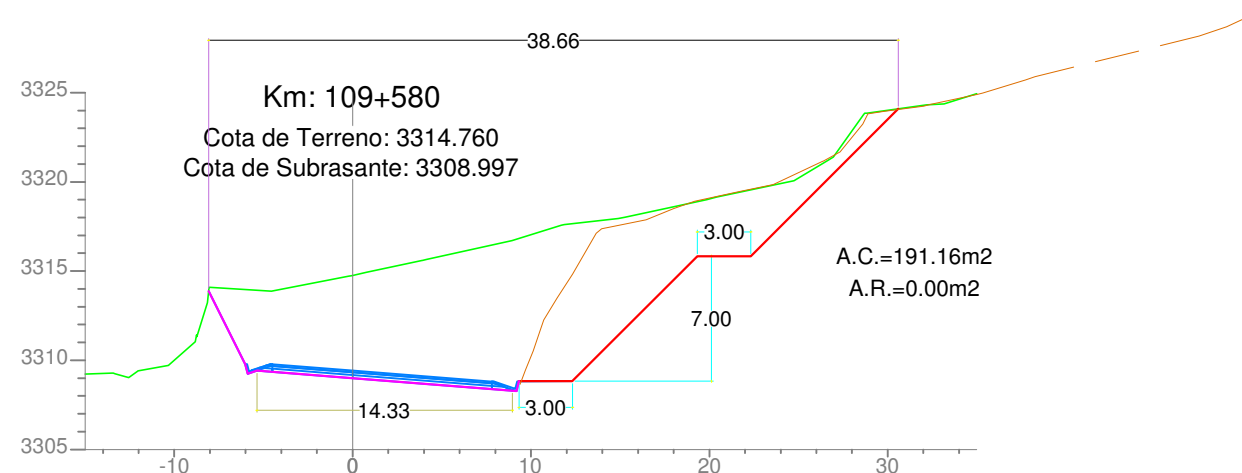
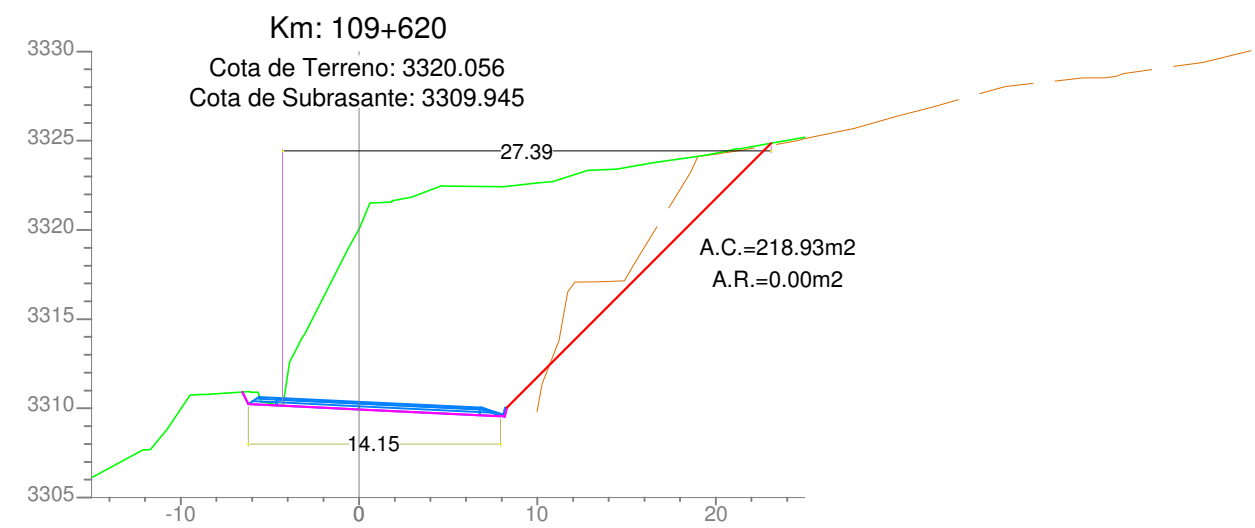
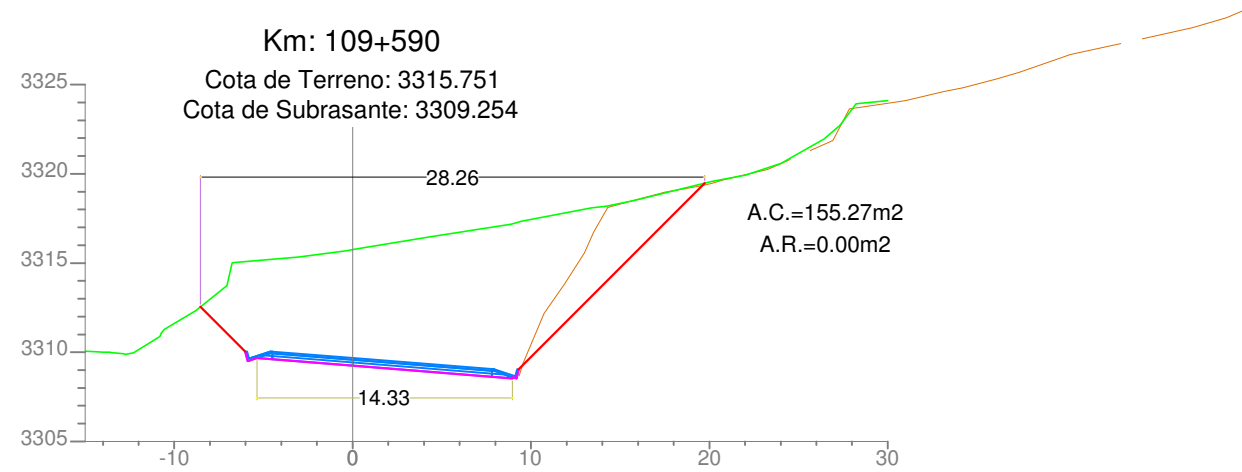












## **G. ANÁLISIS RETROSPECTIVOS (Back Analysis)**

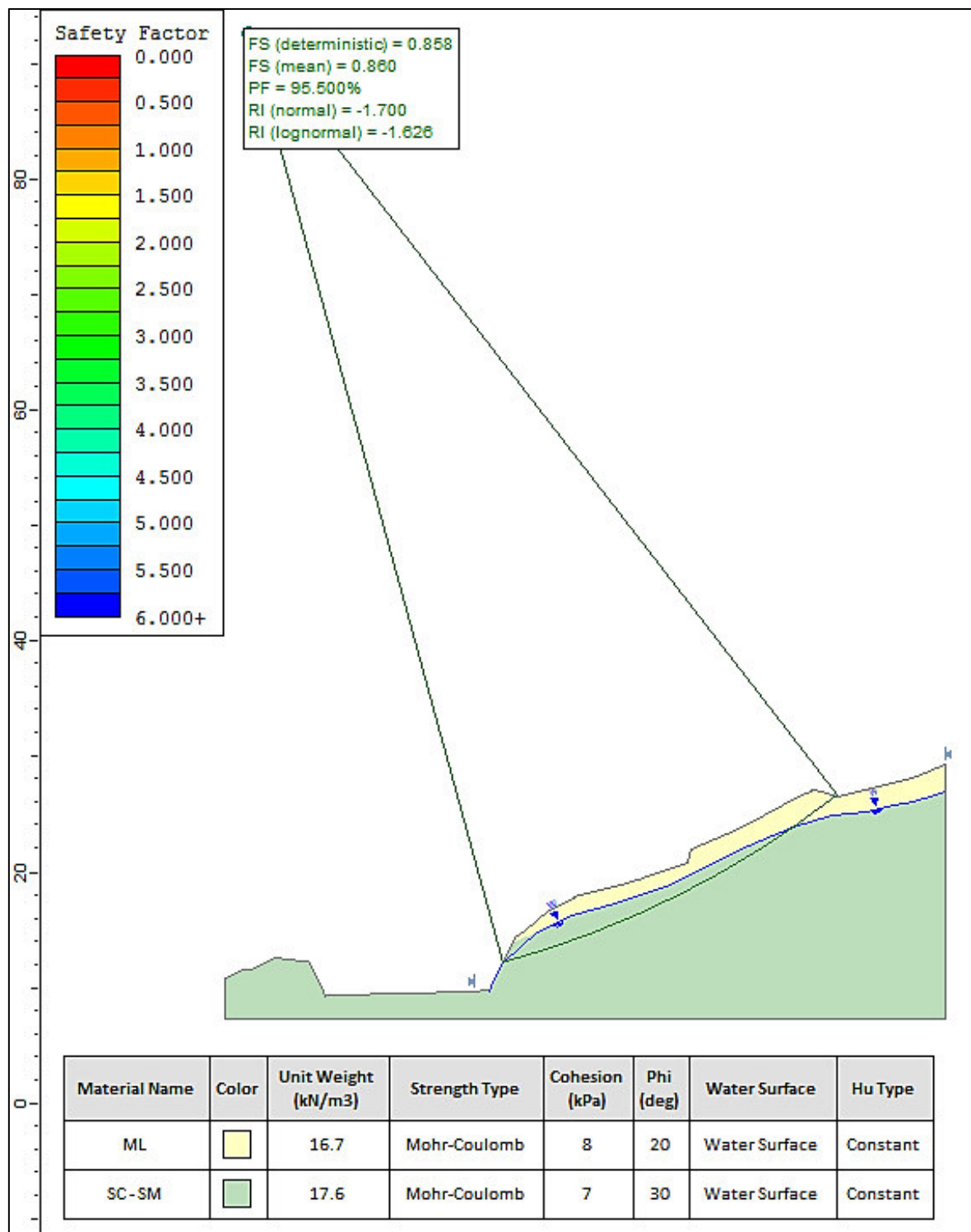


Figura N° 1: Análisis Retrospectivo de la Sección del Km 104+950. (SLIDE 6.0)

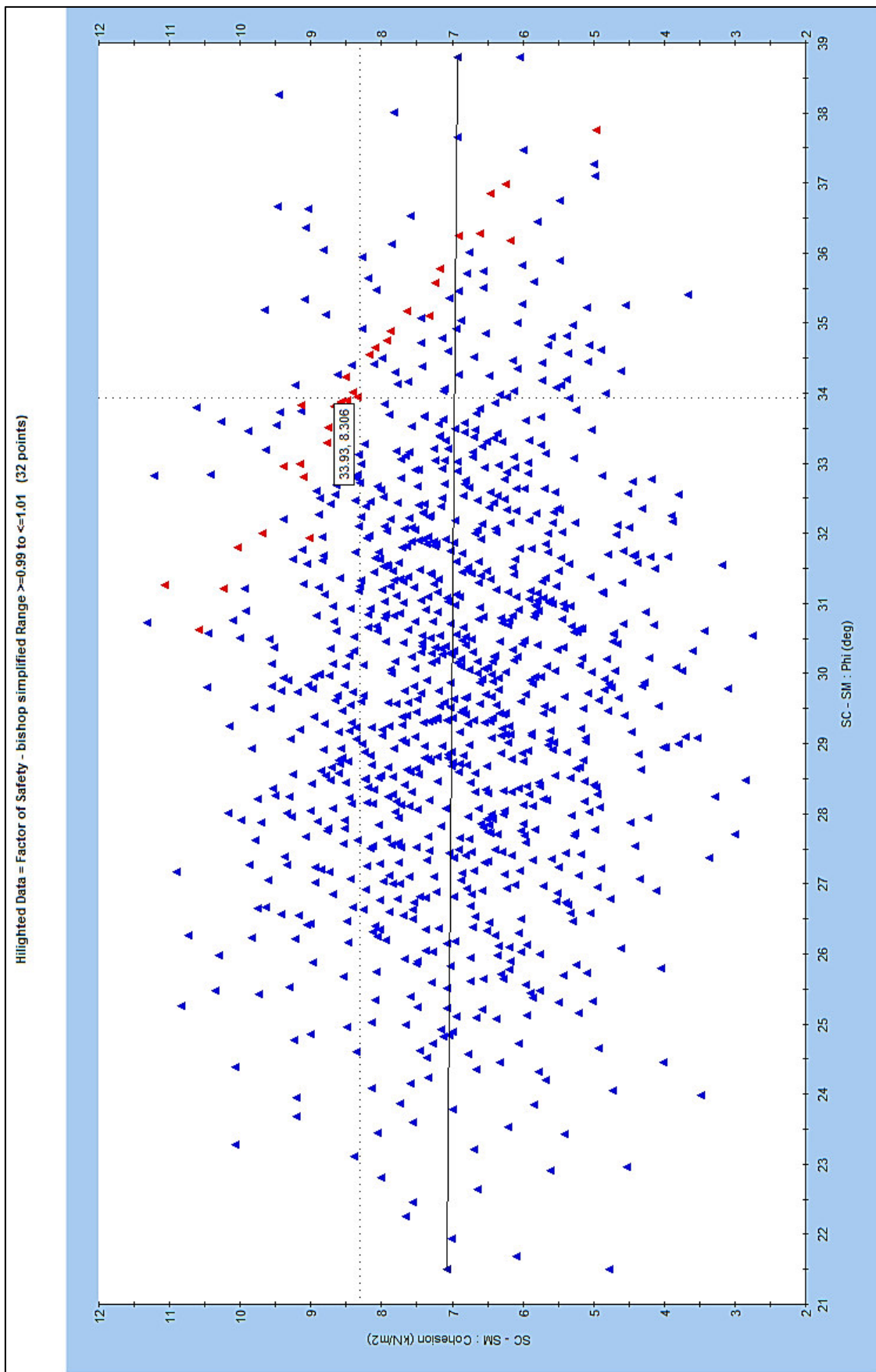


Figura N° 2: Valores de  $c$  y  $\phi$  para suelo de tipo SC-SM con un FS = 1. Km 104+950 (SLIDE 6.0)

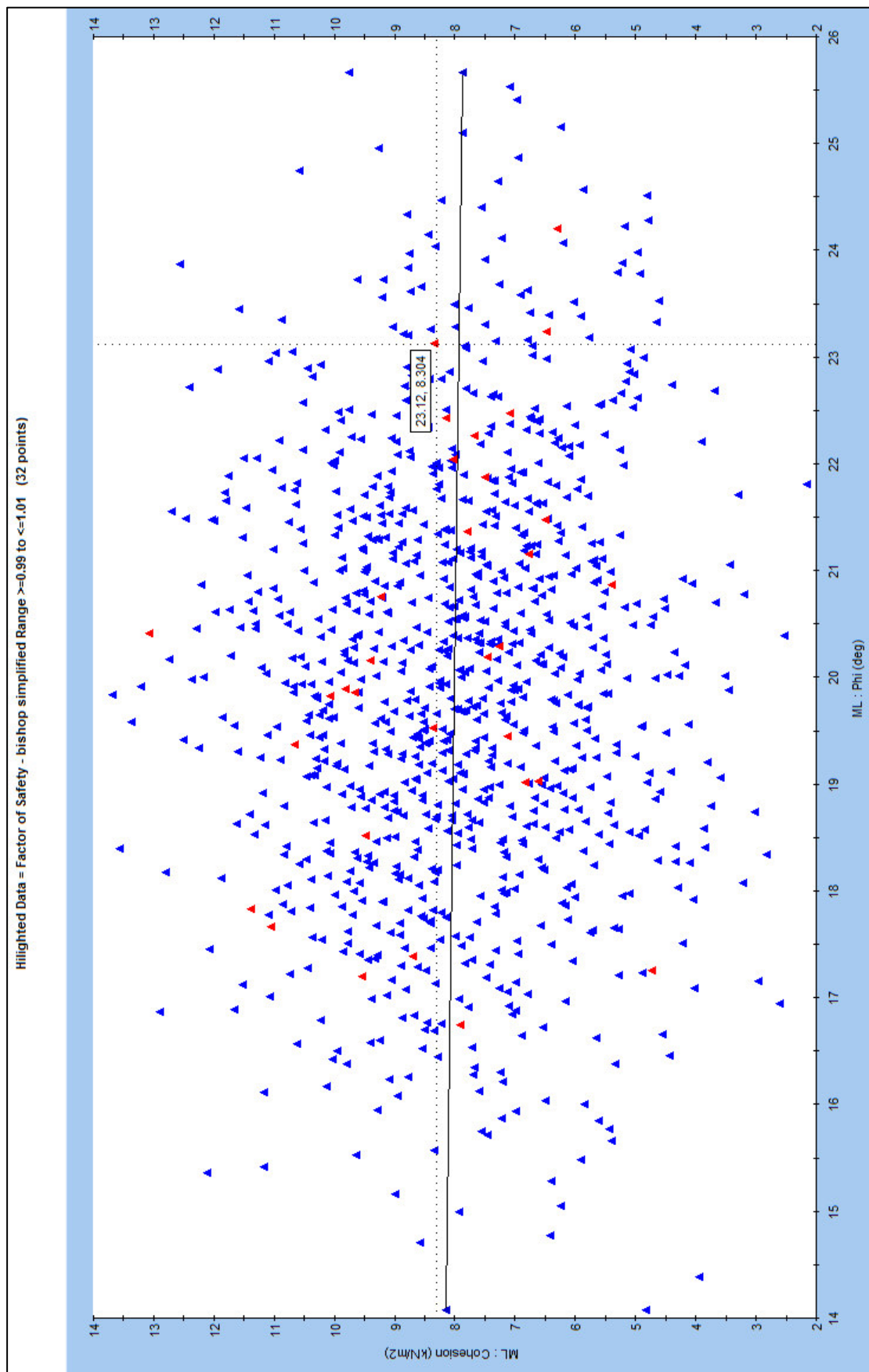


Figura N° 3: Valores de  $c$  y  $\phi$  para suelo de tipo ML con un FS = 1. Km 104+950 (SLIDE 6.0)

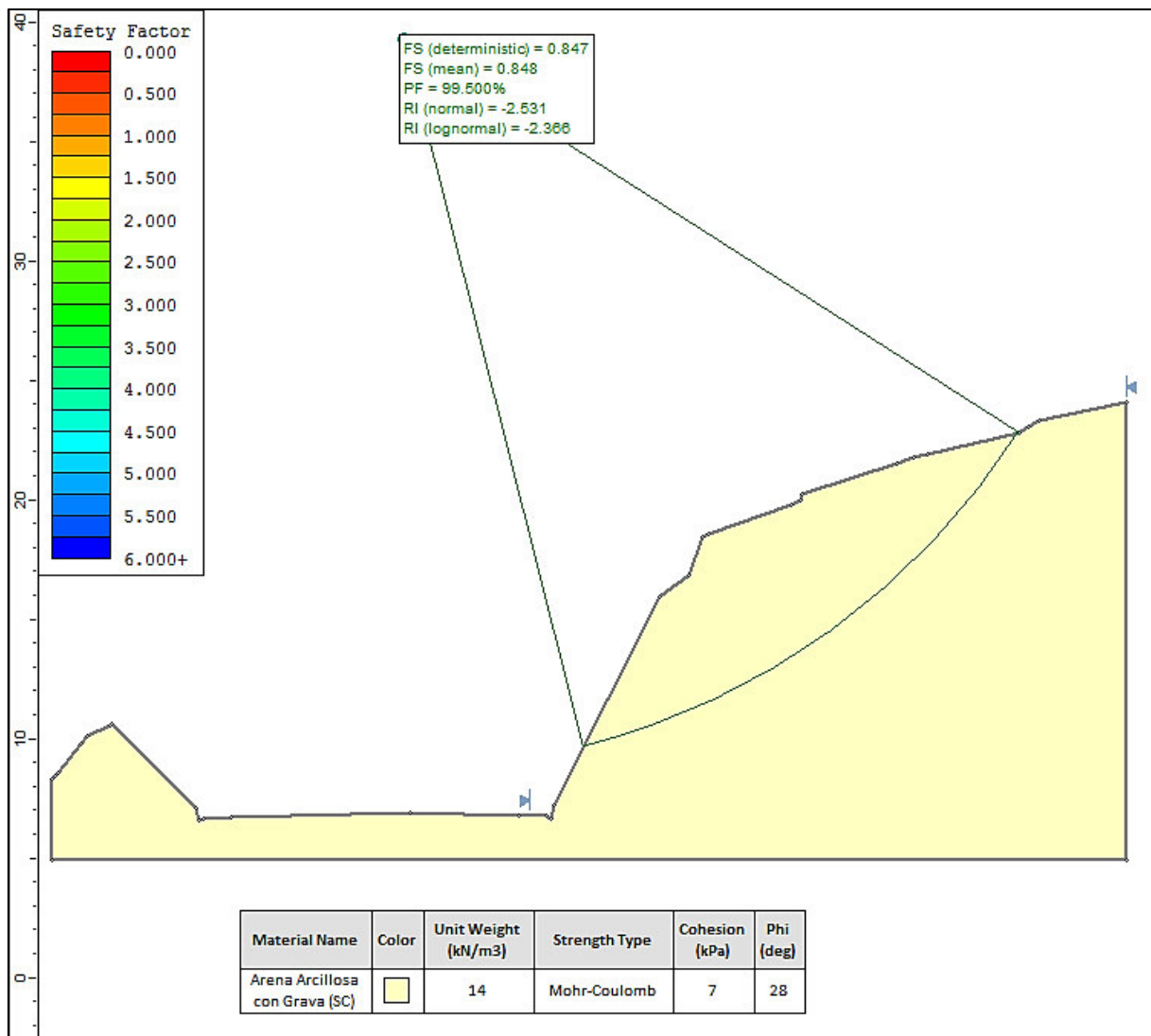


Figura N° 4: Análisis Retrospectivo de la Sección del Km 109+520. (SLIDE 6.0)



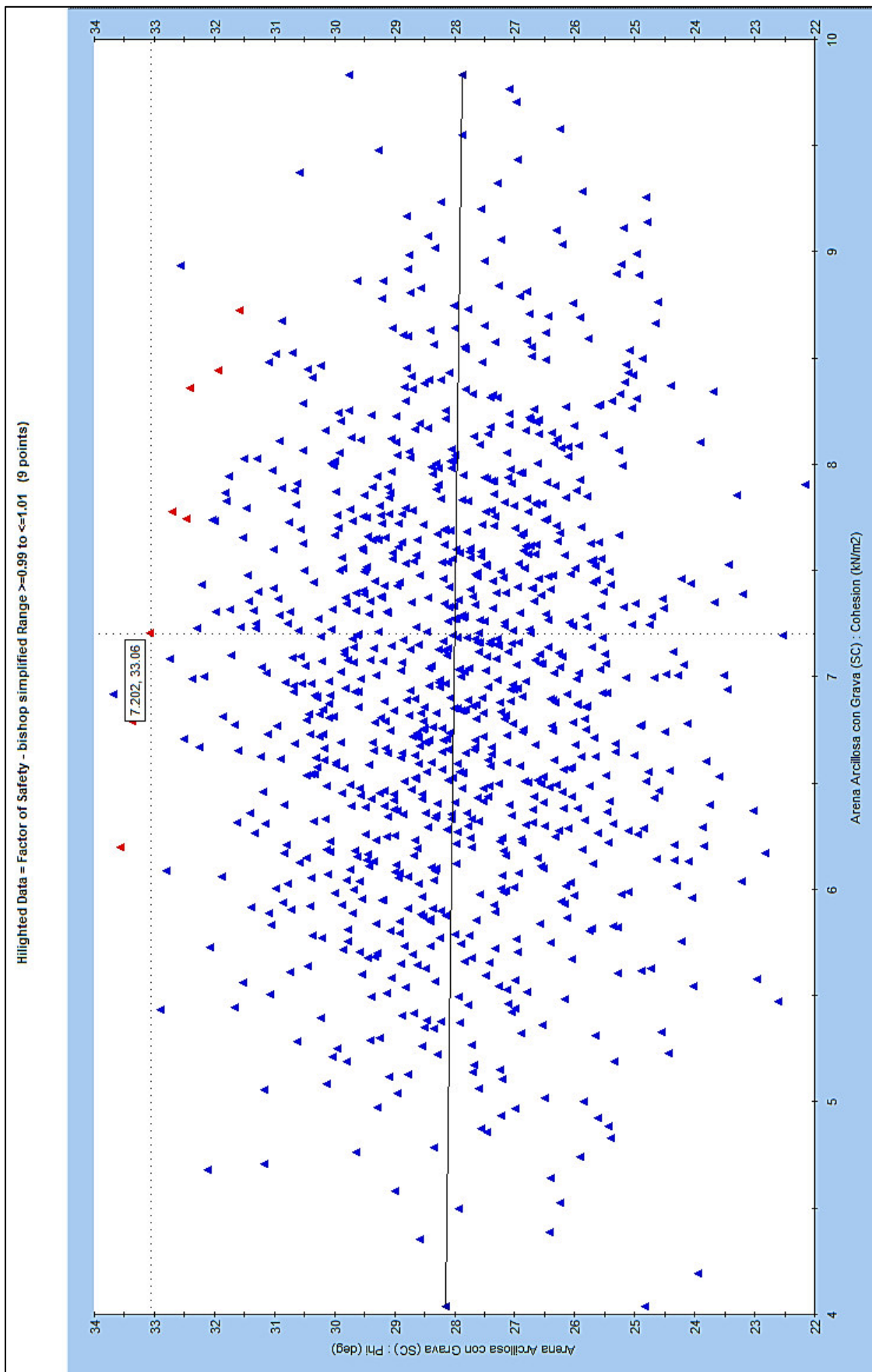


Figura N° 5: Valores de  $c$  y  $\phi$  para suelo de tipo SC con un FS = 1. Km 109+520 (SLIDE 6.0)

## **H. MODELOS DE ESTABILIDAD DE TALUDES**

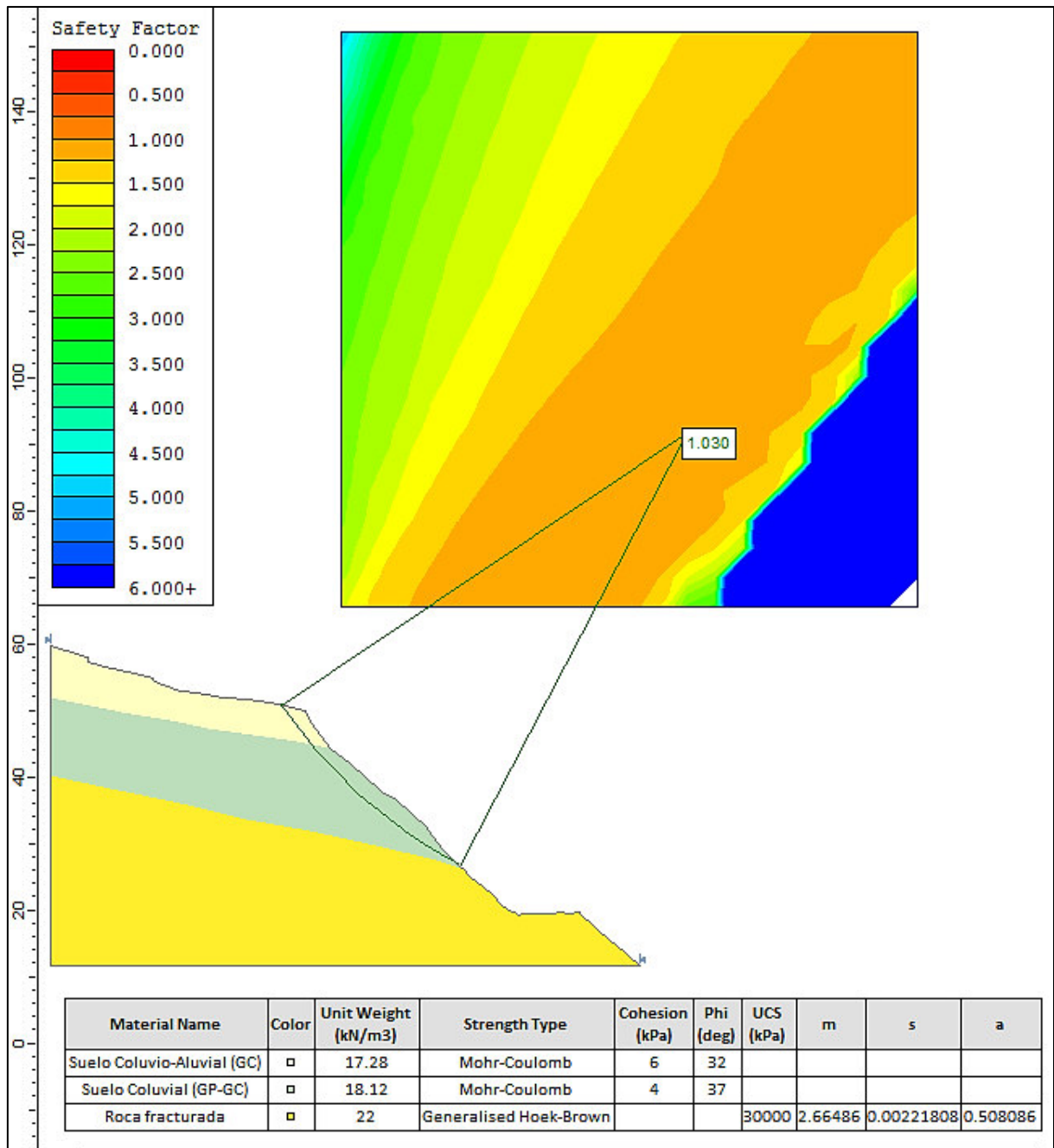


Figura N° 6: Modelo Estático del Terreno Natural Km 102+800 (SLIDE 6.0)

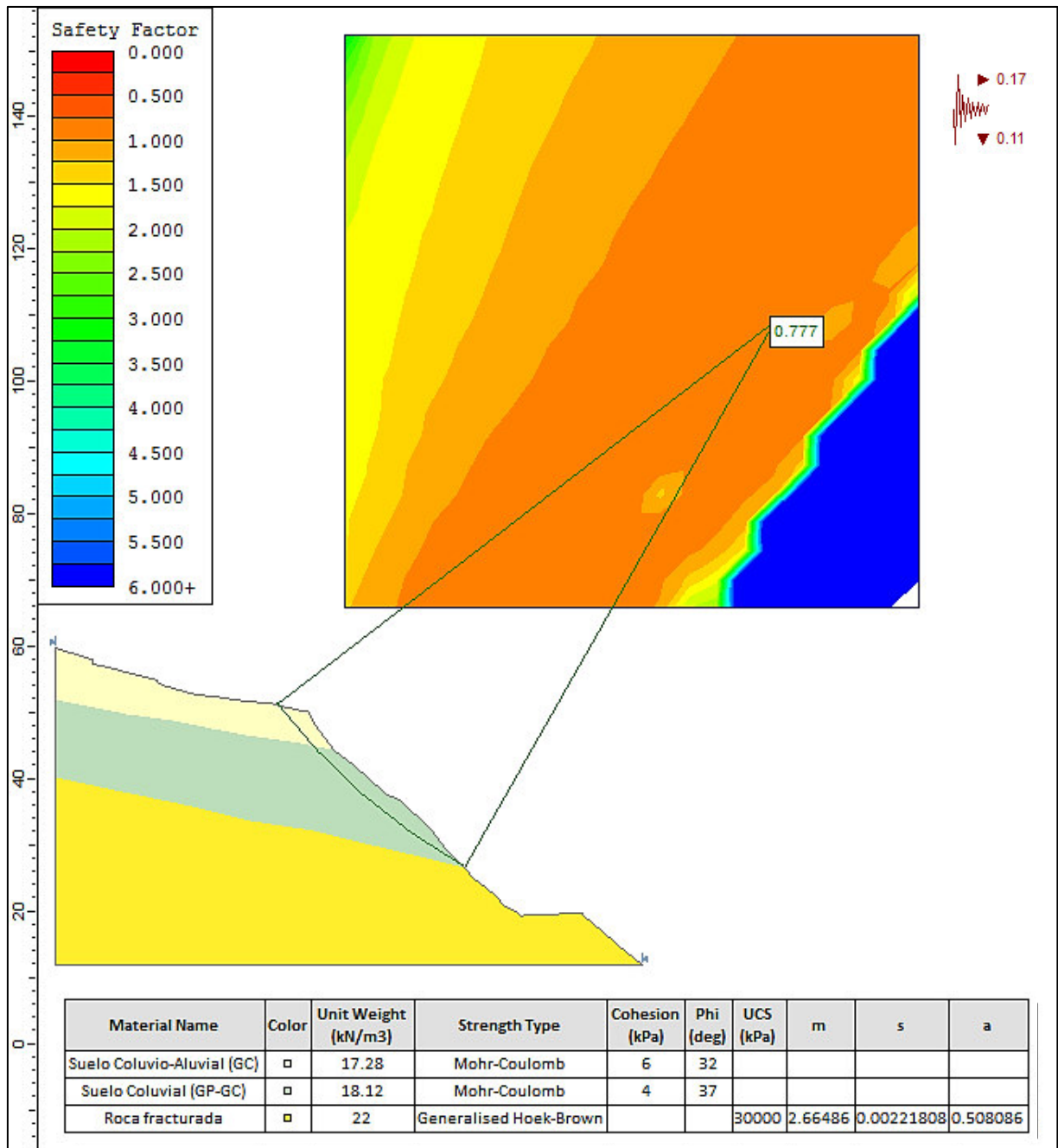
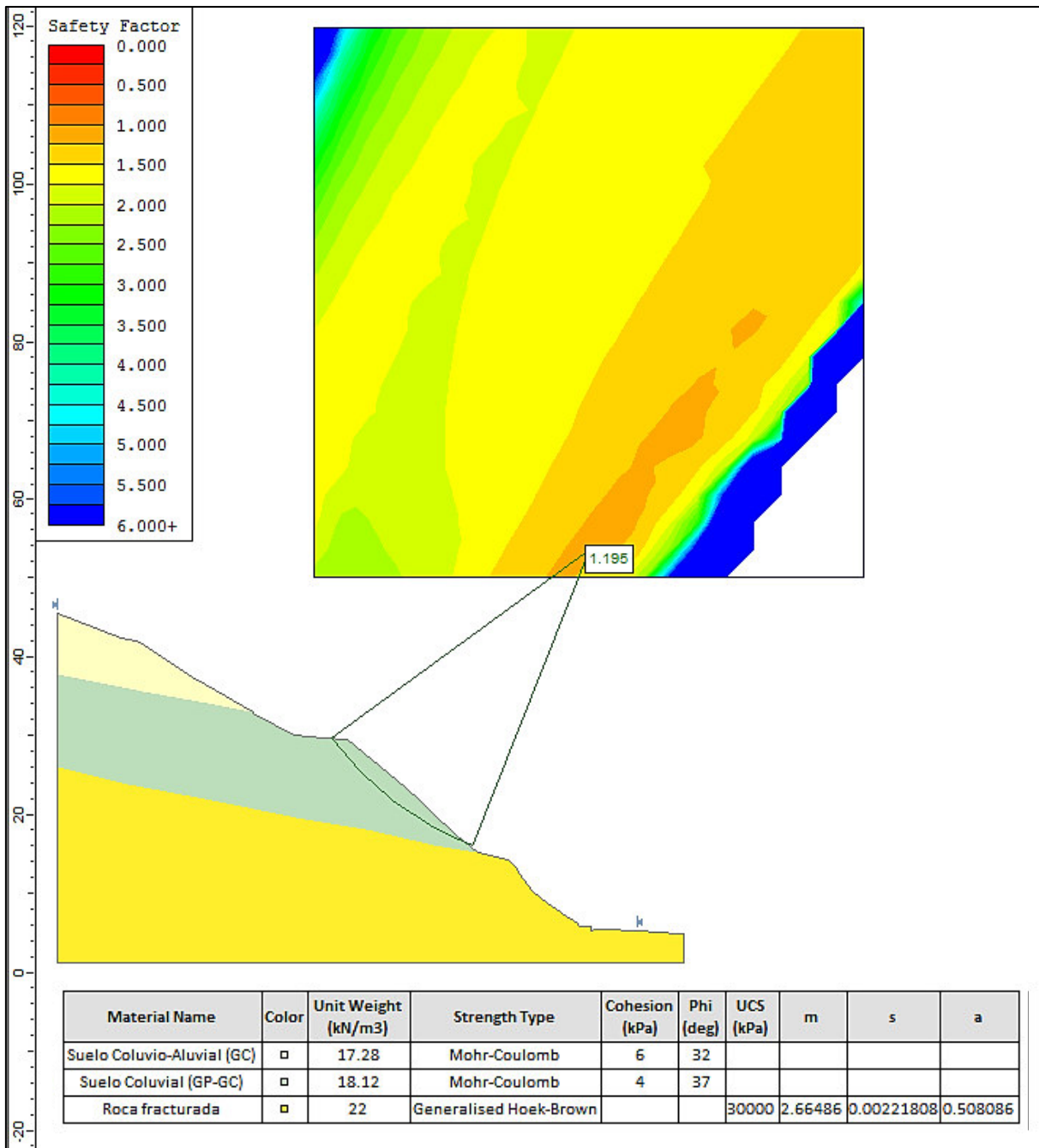
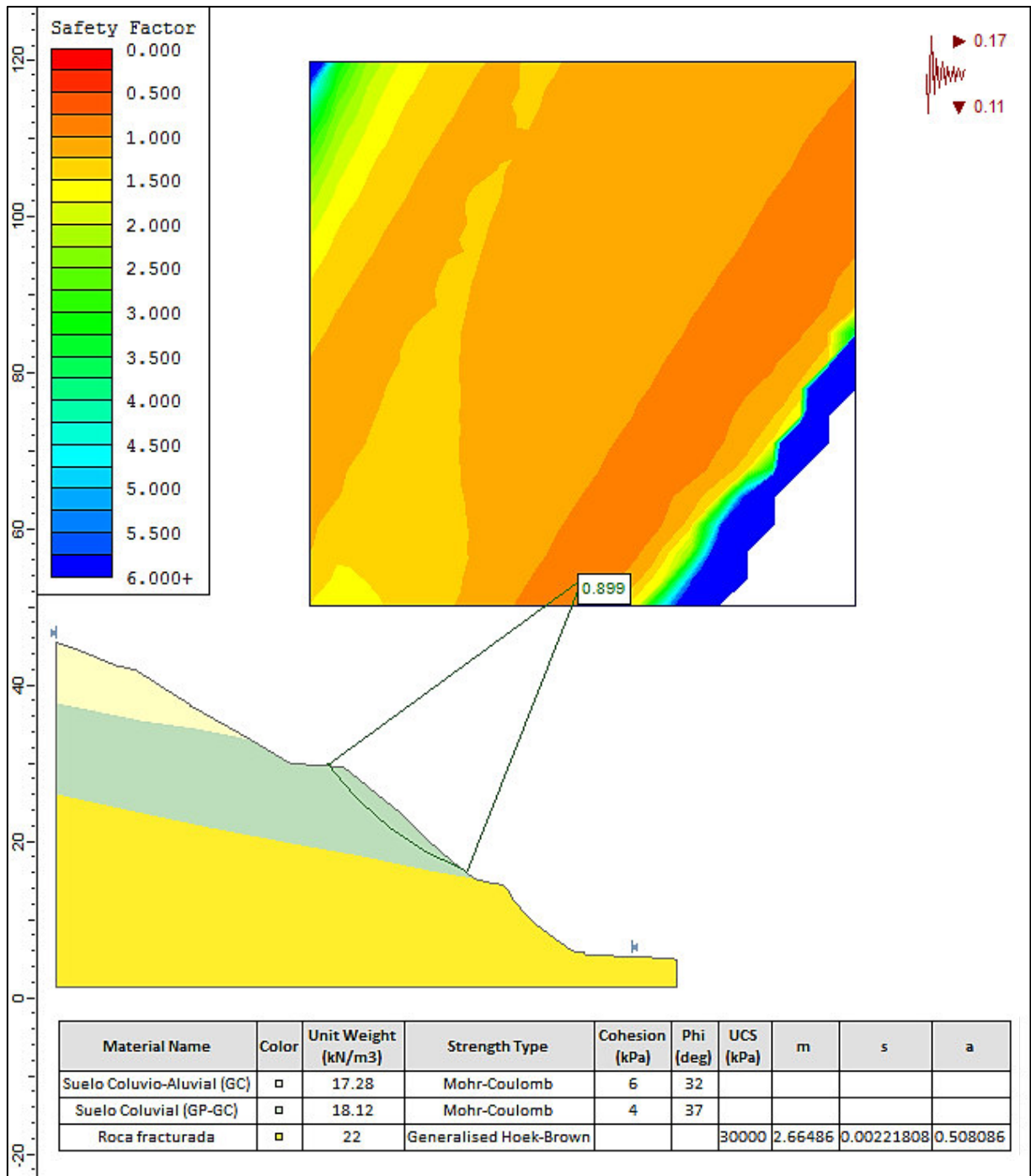


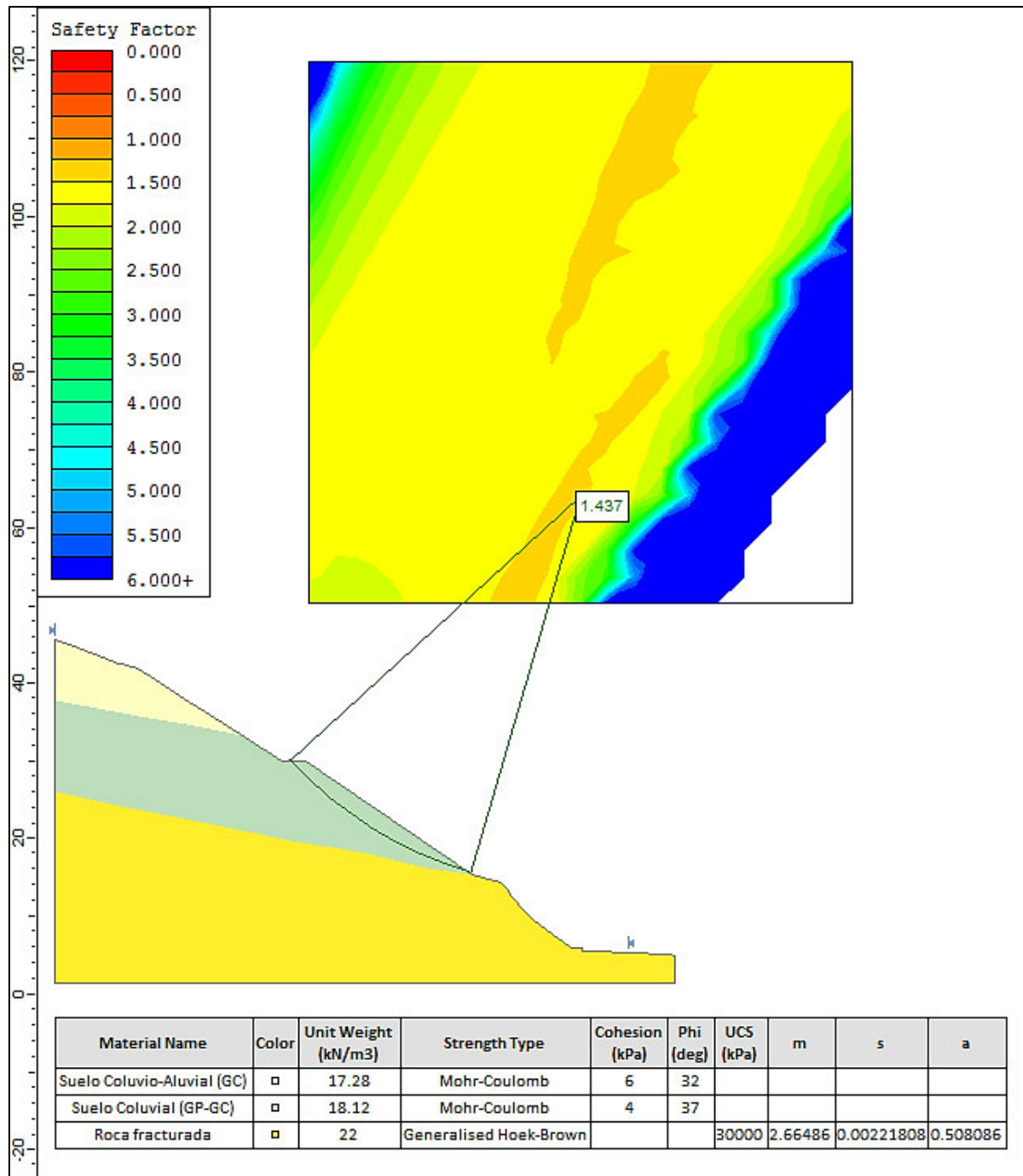
Figura N° 7: Modelo Pseudo-Estático del Terreno Natural Km 102+800 (SLIDE 6.0)



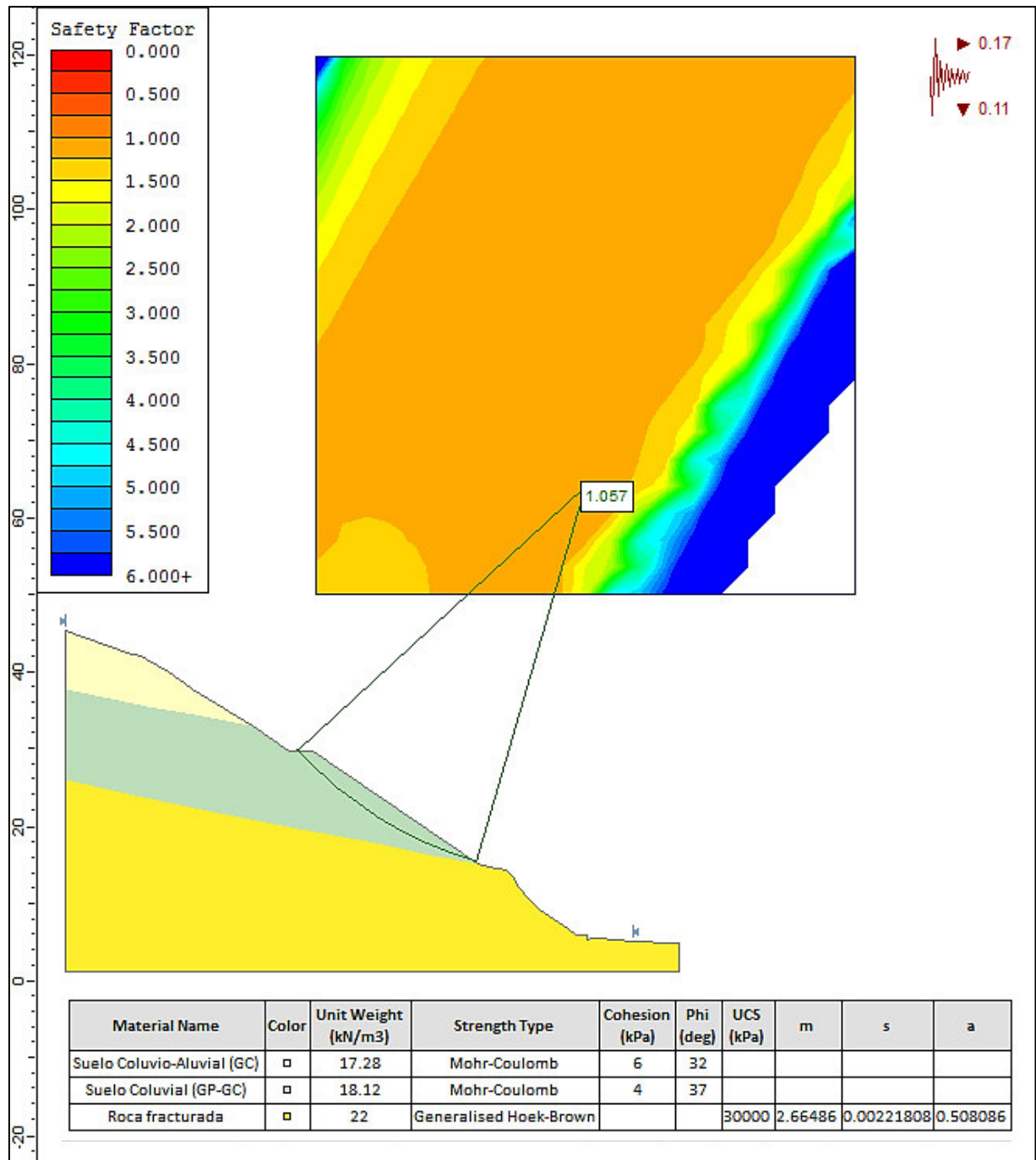
**Figura N° 8: Modelo Estático del Talud de 1:1 (H:V) con banqueta. Km 102+800 (SLIDE 6.0)**



**Figura N° 9: Modelo Pseudo-Estático del Talud de 1:1 (H:V) con banqueta. Km 102+800 (SLIDE 6.0)**



**Figura N° 10: Modelo Estático del Talud con las obras correctivas. Km 102+800 (SLIDE 6.0)**



**Figura N° 11: Modelo Pseudo-Estático del Talud con obras correctivas. Km 102+800 (SLIDE 6.0)**



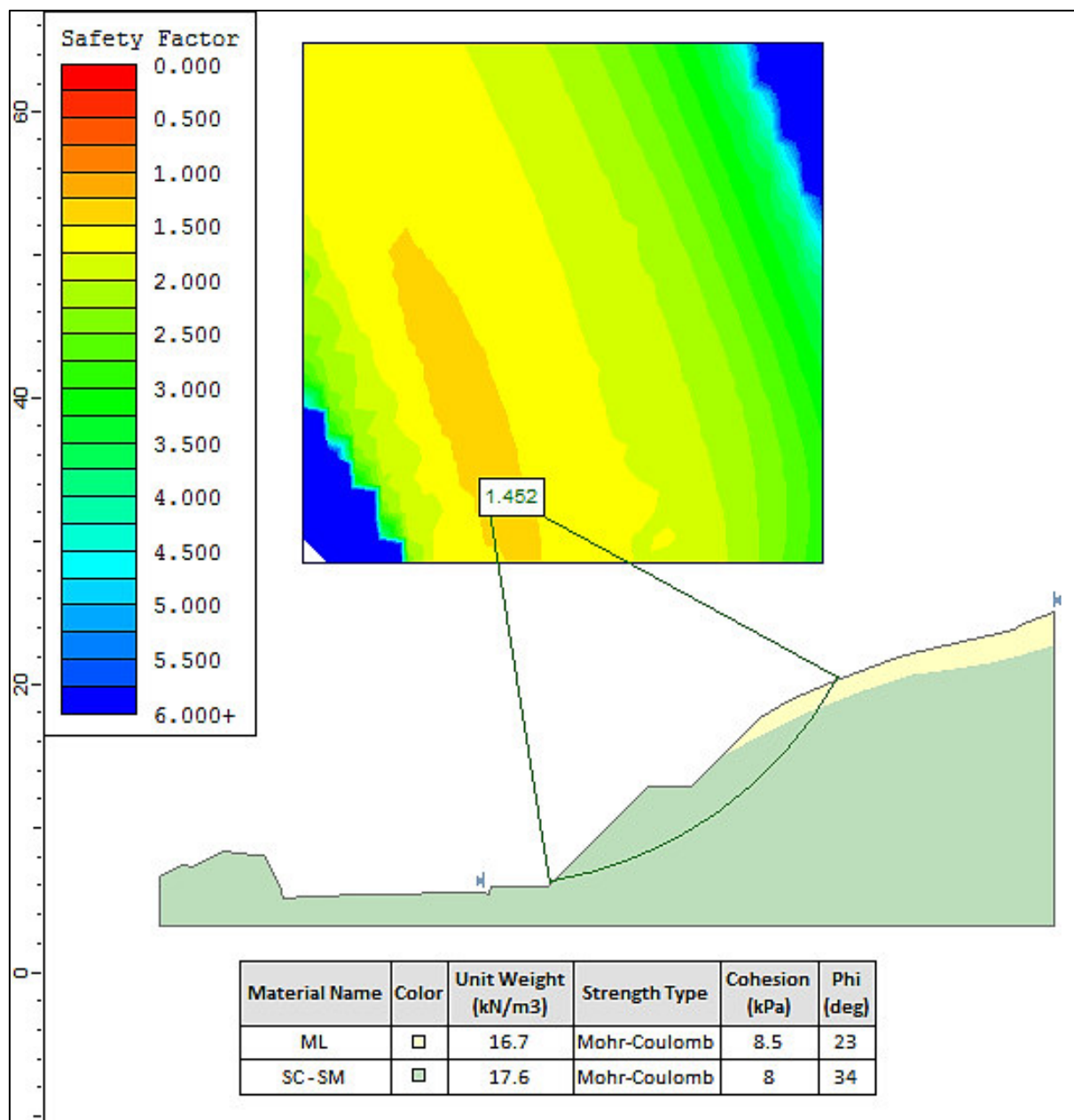
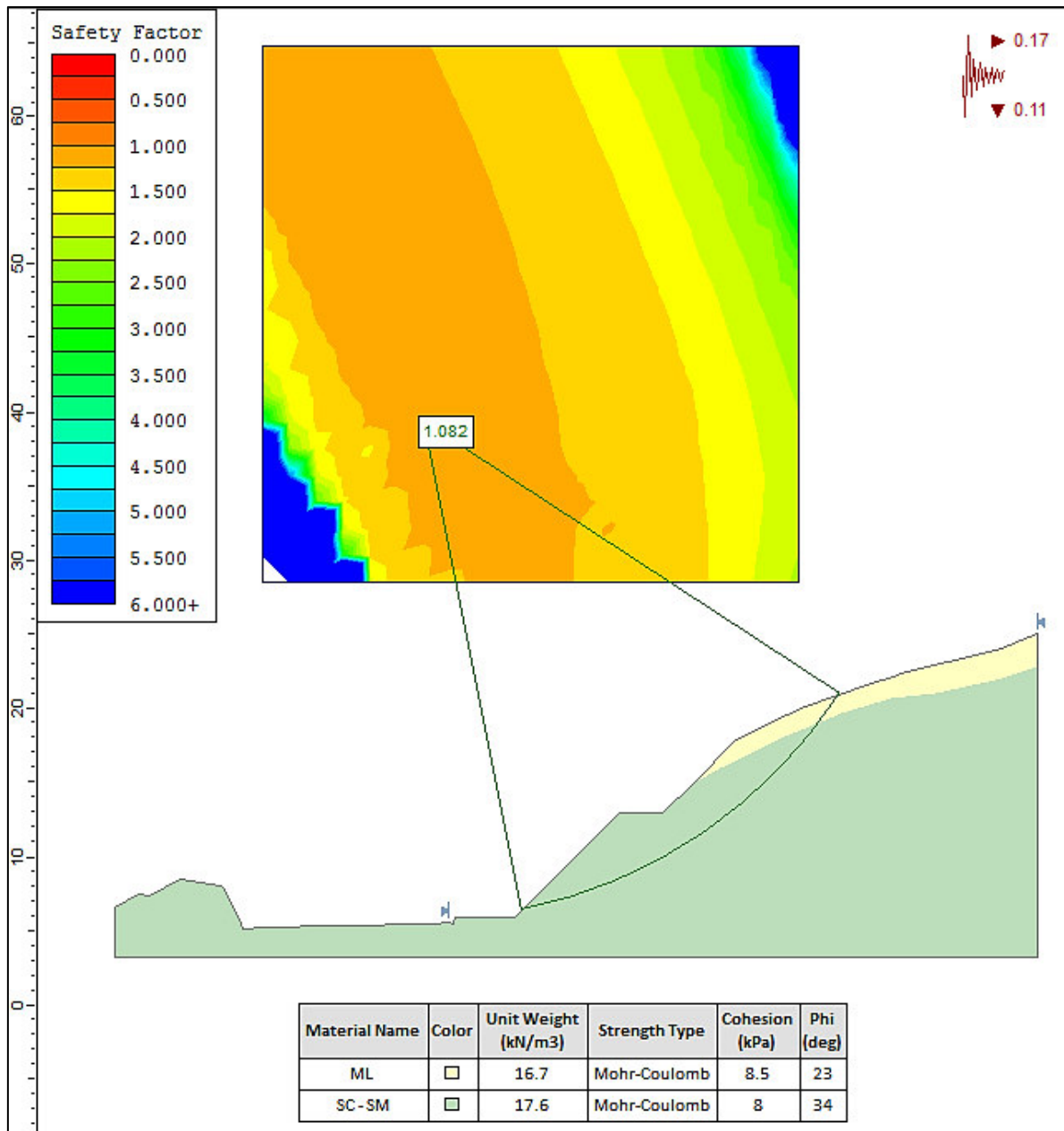


Figura N° 12: Modelo Estático del Talud con obras correctivas. Km 104+950 (SLIDE 6.0)



**Figura N° 13: Modelo Pseudo-Estático del Talud con obras correctivas. Km 104+950 (SLIDE 6.0)**

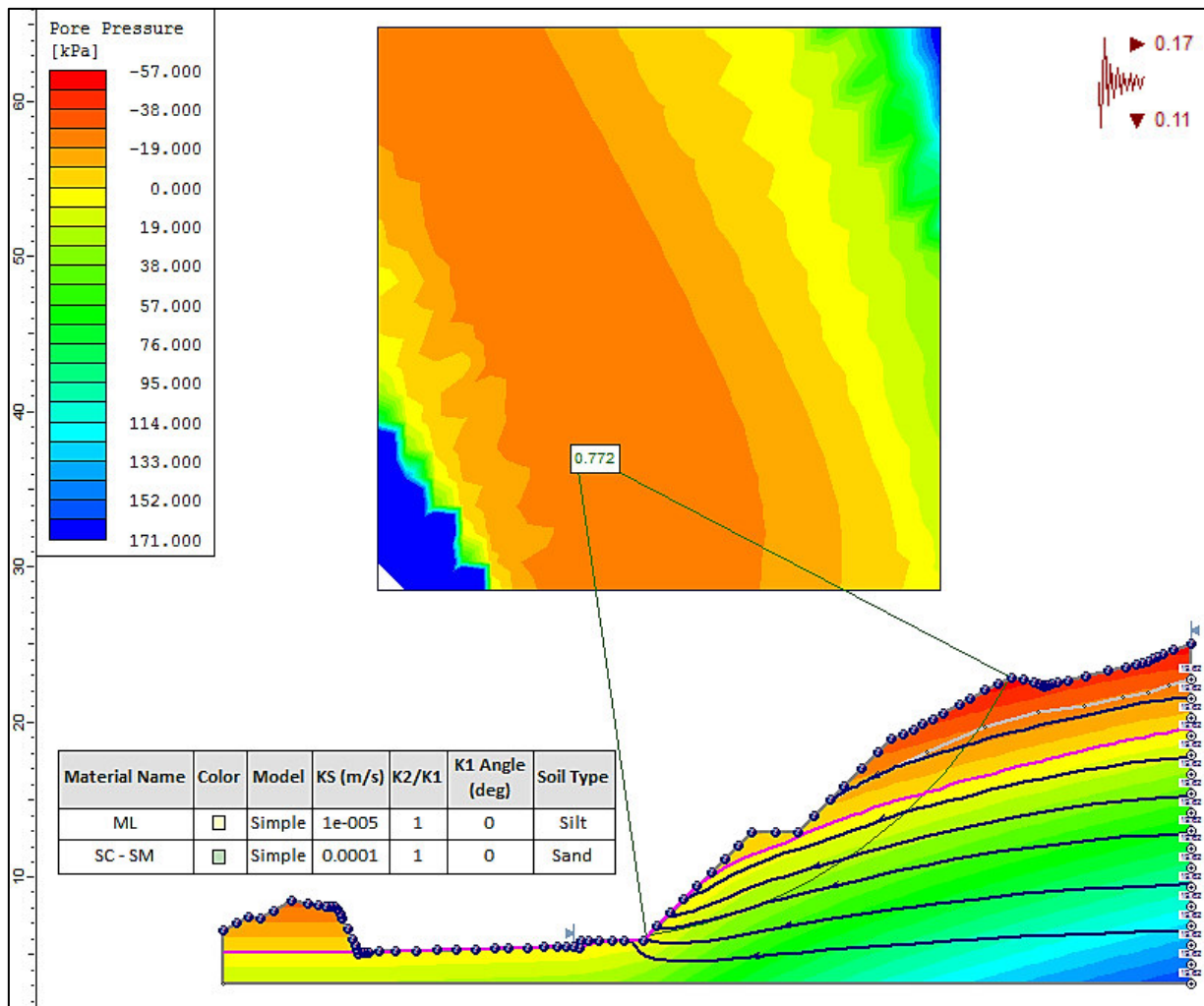


Figura N° 14: Modelo Pseudo-Estático del Talud tomando en consideración la infiltración de agua subterránea. Km 104+950. (SLIDE 6.0)

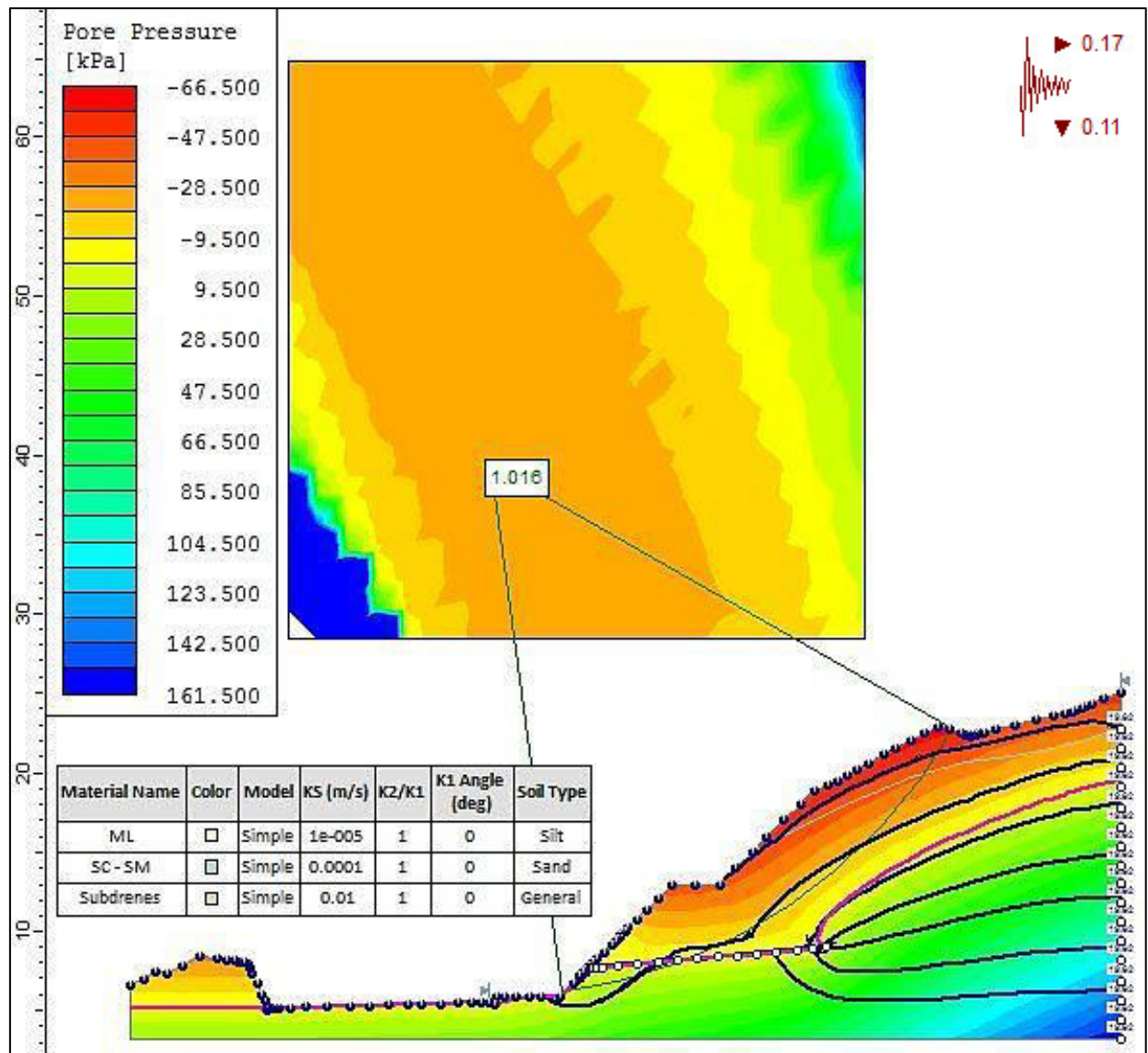
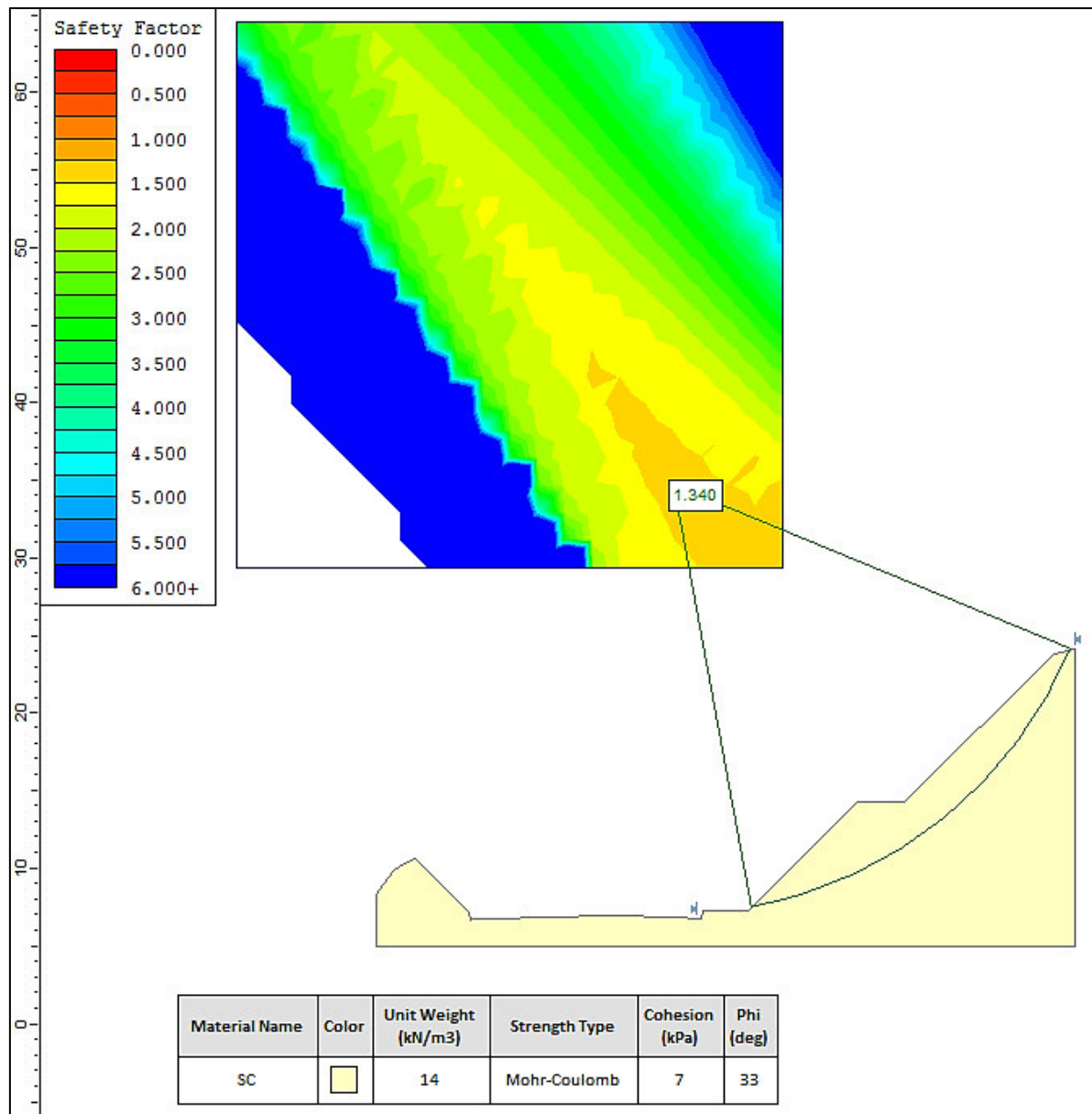


Figura N° 15: Modelo Pseudo-Estático del Talud estabilizado con la colocación de un subdren horizontal. Km 104+950. (SLIDE 6.0)



**Figura N° 16: Modelo Estático del Talud con obras correctivas. Km 109+520 (SLIDE 6.0)**

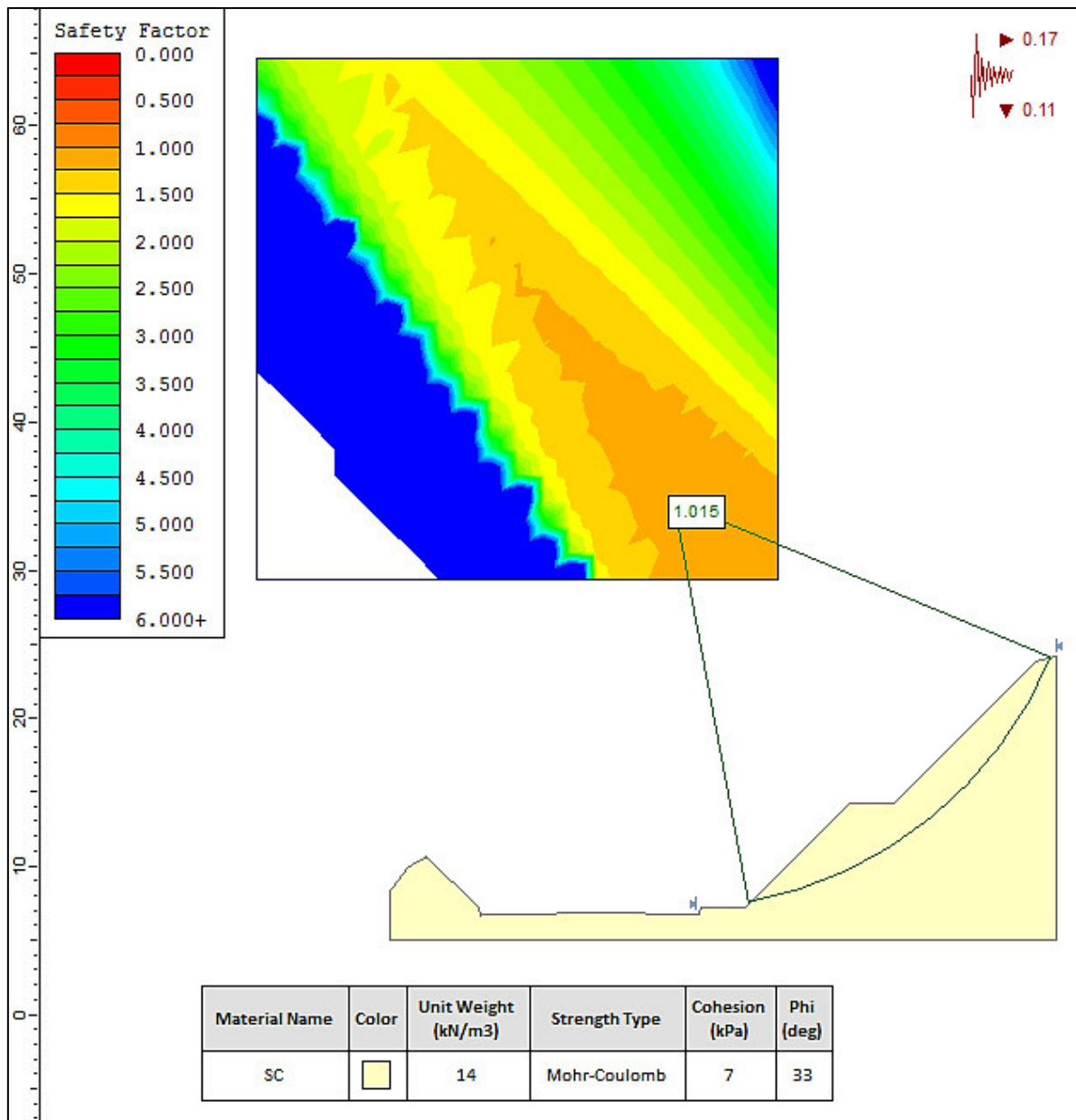


Figura N° 17: Modelo Estático del Talud con obras correctivas. Km 109+520  
(SLIDE 6.0)

# **I. NORMA E.030 DE DISEÑO SISMO-RESISTENTE**

**NORMA E.030****DISEÑO SISMORRESISTENTE****CAPÍTULO I  
GENERALIDADES****Artículo 1.- Nomenclatura**

Para efectos de la presente norma, se consideran las siguientes nomenclaturas:

- C Coeficiente de amplificación sísmica
- $C_r$  Coeficiente para estimar el periodo predominante de un edificio
- $D_i$  Desplazamiento elástico lateral del nivel «i» relativo al suelo
- e Excentricidad accidental
- $F_a$  Fuerza horizontal en la azotea
- $F_i$  Fuerza horizontal en el nivel «i»
- g Aceleración de la gravedad
- $h_i$  Altura del nivel «i» con relación al nivel del terreno
- $h_n$  Altura del entrepiso «i»
- $h_t$  Altura total de la edificación en metros
- $M_a$  Momento torsor accidental en el nivel «i»
- m Número de modos usados en la combinación modal
- n Número de pisos del edificio
- $N_i$  Sumatoria de los pesos sobre el nivel «i»
- P Peso total de la edificación
- $P_i$  Peso del nivel «i»
- R Coeficiente de reducción de solicitaciones sísmicas
- r Respuesta estructural máxima elástica esperada
- $r_i$  Respuestas elásticas correspondientes al modo «i»
- S Factor de suelo
- S Aceleración espectral
- $T^*$  Periodo fundamental de la estructura para el análisis estático o periodo de un modo en el análisis dinámico
- $T_p$  Periodo que define la plataforma del espectro para cada tipo de suelo.
- U Factor de uso e importancia
- V Fuerza cortante en la base de la estructura
- $V_i$  Fuerza cortante en el entrepiso «i»
- Z Factor de zona
- Q Coeficiente de estabilidad para efecto P-delta global
- $D_i$  Desplazamiento relativo del entrepiso «i»

**Artículo 2.- Alcances**

Esta Norma establece las condiciones mínimas para que las edificaciones diseñadas según sus requerimientos tengan un comportamiento sísmico acorde con los principios señalados en el Artículo 3º.

Se aplica al diseño de todas las edificaciones nuevas, a la evaluación y reforzamiento de las existentes y a la reparación de las que resultaren dañadas por la acción de los sismos.

Para el caso de estructuras especiales tales como reservorios, tanques, silos, puentes, torres de transmisión, muelles, estructuras hidráulicas, plantas nucleares y todas aquellas cuyo comportamiento difiera del de las edificaciones, se requieren consideraciones adicionales que complementen las exigencias aplicables de la presente Norma.

Además de lo indicado en esta Norma, se deberá tomar medidas de prevención contra los desastres que puedan producirse como consecuencia del movimiento sísmico: fuego, fuga de materiales peligrosos, deslizamiento masivo de tierras u otros.

**Artículo 3.- Filosofía y Principios del diseño sismorresistente**

La filosofía del diseño sismorresistente consiste en:

- a. Evitar pérdidas de vidas
- b. Asegurar la continuidad de los servicios básicos
- c. Minimizar los daños a la propiedad.

Se reconoce que dar protección completa frente a todos los sismos no es técnica ni económicamente factible para la mayoría de las estructuras. En concordancia con tal filosofía se establecen en esta Norma los siguientes principios para el diseño:

- a. La estructura no debería colapsar, ni causar daños graves a las personas debido a movimientos sísmicos severos que puedan ocurrir en el sitio.

- b. La estructura debería soportar movimientos sísmicos moderados, que puedan ocurrir en el sitio durante su vida de servicio, experimentando posibles daños dentro de límites aceptables.

**Artículo 4.- Presentación del Proyecto (Disposición transitoria)**

Los planos, memoria descriptiva y especificaciones técnicas del proyecto estructural, deberán llevar la firma de un ingeniero civil colegiado, quien será el único autorizado para aprobar cualquier modificación a los mismos.

Los planos del proyecto estructural deberán contener como mínimo la siguiente información:

- a. Sistema estructural sismorresistente
- b. Parámetros para definir la fuerza sísmica o el espectro de diseño.
- c. Desplazamiento máximo del último nivel y el máximo desplazamiento relativo de entrepiso.

Para su revisión y aprobación por la autoridad competente, los proyectos de edificaciones con más de 70 m de altura deberán estar respaldados con una memoria de datos y cálculos justificativos.

El empleo de materiales, sistemas estructurales y métodos constructivos diferentes a los indicados en esta Norma, deberán ser aprobados por la autoridad competente nombrada por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, y debe cumplir con lo establecido en este artículo y demostrar que la alternativa propuesta produce adecuados resultados de rigidez, resistencia sísmica y durabilidad.

**CAPÍTULO II  
PARÁMETROS DE SITIO****Artículo 5.- Zonificación**

El territorio nacional se considera dividido en tres zonas, como se muestra en la Figura N° 1. La zonificación propuesta se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de éstos con la distancia epicentral, así como en información neotectónica. En el Anexo N° 1 se indican las provincias que corresponden a cada zona.



FIGURA N° 1

A cada zona se asigna un factor Z según se indica en la Tabla N°1. Este factor se interpreta como la aceleración máxima del terreno con una probabilidad de 10 % de ser excedida en 50 años.



ZONA	Z
3	0,4
2	0,3
1	0,15

#### Artículo 6.- Condiciones Locales

##### 6.1. Microzonificación Sísmica y Estudios de Sitio

###### a. Microzonificación Sísmica

Son estudios multidisciplinarios, que investigan los efectos de sismos y fenómenos asociados como licuefacción de suelos, deslizamientos, tsunamis y otros, sobre el área de interés. Los estudios suministran información sobre la posible modificación de las acciones sísmicas por causa de las condiciones locales y otros fenómenos naturales, así como las limitaciones y exigencias que como consecuencia de los estudios se considere para el diseño, construcción de edificaciones y otras obras.

Será requisito la realización de los estudios de microzonificación en los siguientes casos:

- Áreas de expansión de ciudades.
- Complejos industriales o similares.
- Reconstrucción de áreas urbanas destruidas por sismos y fenómenos asociados.

Los resultados de estudios de microzonificación serán aprobados por la autoridad competente, que puede solicitar informaciones o justificaciones complementarias en caso lo considere necesario.

###### b. Estudios de Sitio

Son estudios similares a los de microzonificación, aunque no necesariamente en toda su extensión. Estos estudios están limitados al lugar del proyecto y suministran información sobre la posible modificación de las acciones sísmicas y otros fenómenos naturales por las condiciones locales. Su objetivo principal es determinar los parámetros de diseño.

No se considerarán parámetros de diseño inferiores a los indicados en esta Norma.

##### 6.2. Condiciones Geotécnicas

Para los efectos de esta Norma, los perfiles de suelo se clasifican tomando en cuenta las propiedades mecánicas del suelo, el espesor del estrato, el período fundamental de vibración y la velocidad de propagación de las ondas de corte. Los tipos de perfiles de suelos son cuatro:

###### a. Perfil tipo S<sub>1</sub>: Roca o suelos muy rígidos.

A este tipo corresponden las rocas y los suelos muy rígidos con velocidades de propagación de onda de corte similar a la de una roca, en los que el período fundamental para vibraciones de baja amplitud no excede de 0,25 s, incluyéndose los casos en los que se cimienta sobre:

- Roca sana o parcialmente alterada, con una resistencia a la compresión no confinada mayor o igual que 500 kPa (5 kg/cm<sup>2</sup>).
- Grava arenosa densa.
- Estrato de no más de 20 m de material cohesivo muy rígido, con una resistencia al corte en condiciones no drenadas superior a 100 kPa (1 kg/cm<sup>2</sup>), sobre roca u otro material con velocidad de onda de corte similar a la de una roca.
- Estrato de no más de 20 m de arena muy densa con N > 30, sobre roca u otro material con velocidad de onda de corte similar a la de una roca.

###### b. Perfil tipo S<sub>2</sub>: Suelos intermedios.

Se clasifican como de este tipo los sitios con características intermedias entre las indicadas para los perfiles S<sub>1</sub> y S<sub>3</sub>.

###### c. Perfil tipo S<sub>3</sub>: Suelos flexibles o con estratos de gran espesor.

Corresponden a este tipo los suelos flexibles o estratos de gran espesor en los que el período fundamental, para vibraciones de baja amplitud, es mayor que 0,6 s, incluyén-

dose los casos en los que el espesor del estrato de suelo excede los valores siguientes:

Suelos Cohesivos	Resistencia al Corte típica en condición no drenada (kPa)	Espesor del estrato (m) (*)
Blandos	< 25	20
Medianamente compactos	25 - 50	25
Compactos	50 - 100	40
Muy compactos	100 - 200	60
Suelos Granulares	Valores N típicos en ensayos de penetración estándar (SPT)	Espesor del estrato (m) (*)
Sueltos	4 - 10	40
Medianamente densos	10 - 30	45
Densos	Mayor que 30	100

(\*) Suelo con velocidad de onda de corte menor que el de una roca.

###### d. Perfil Tipo S<sub>4</sub>: Condiciones excepcionales.

A este tipo corresponden los suelos excepcionalmente flexibles y los sitios donde las condiciones geológicas y/o topográficas son particularmente desfavorables.

Deberá considerarse el tipo de perfil que mejor describa las condiciones locales, utilizándose los correspondientes valores de T<sub>s</sub> y del factor de amplificación del suelo S, dados en la Tabla N°2.

En los sitios donde las propiedades del suelo sean poco conocidas se podrán usar los valores correspondientes al perfil tipo S<sub>3</sub>. Sólo será necesario considerar un perfil tipo S<sub>4</sub> cuando los estudios geotécnicos así lo determinen.

Tabla N°2  
Parámetros del Suelo

Tipo	Descripción	T <sub>s</sub> (s)	S
S <sub>1</sub>	Roca o suelos muy rígidos	0,4	1,0
S <sub>2</sub>	Suelos intermedios	0,6	1,2
S <sub>3</sub>	Suelos flexibles o con estratos de gran espesor	0,9	1,4
S <sub>4</sub>	Condiciones excepcionales	*	*

(\*) Los valores de T<sub>s</sub> y S para este caso serán establecidos por el especialista, pero en ningún caso serán menores que los especificados para el perfil tipo S<sub>3</sub>.

#### Artículo 7.- Factor de Amplificación Sísmica

De acuerdo a las características de sitio, se define el factor de amplificación sísmica (C) por la siguiente expresión:

$$C = 2,5 \cdot \left( \frac{T_p}{T} \right) C \leq 2,5$$

T es el período según se define en el Artículo 17 (17.2) ó en el Artículo 18 (18.2 a)

Este coeficiente se interpreta como el factor de amplificación de la respuesta estructural respecto de la aceleración en el suelo.

### CAPÍTULO III REQUISITOS GENERALES

#### Artículo 8.- Aspectos Generales.

Toda edificación y cada una de sus partes serán diseñadas y construidas para resistir las solicitaciones sísmicas determinadas en la forma pre-escrita en esta Norma.

Deberá considerarse el posible efecto de los elementos no estructurales en el comportamiento sísmico de la estructura. El análisis, el detallado del refuerzo y anclaje deberá hacerse acorde con esta consideración.

Para estructuras regulares, el análisis podrá hacerse considerando que el total de la fuerza sísmica actúa independientemente en dos direcciones ortogonales. Para estructuras irregulares deberá suponerse que la acción sísmica ocurre en la dirección que resulte más desfavorable para el diseño de cada elemento o componente en estudio.

Se considera que la fuerza sísmica vertical actúa en los elementos simultáneamente con la fuerza sísmica horizontal y en el sentido más desfavorable para el análisis.

No es necesario considerar simultáneamente los efectos de sismo y viento.



Cuando sobre un sólo elemento de la estructura, muro o pórtico, actúa una fuerza de 30 % o más del total de la fuerza cortante horizontal en cualquier entrepiso, dicho elemento deberá diseñarse para el 125 % de dicha fuerza.

**Artículo 9.- Concepción Estructural Sismorresistente**

El comportamiento sísmico de las edificaciones mejora cuando se observan las siguientes condiciones:

- Simetría, tanto en la distribución de masas como en las rigideces.
- Peso mínimo, especialmente en los pisos altos.
- Selección y uso adecuado de los materiales de construcción.
- Resistencia adecuada.
- Continuidad en la estructura, tanto en planta como en elevación.
- Ductilidad.
- Deformación limitada.
- Inclusión de líneas sucesivas de resistencia.
- Consideración de las condiciones locales.
- Buena práctica constructiva e inspección estructural rigurosa.

**Artículo 10.- Categoría de las Edificaciones**

Cada estructura debe ser clasificada de acuerdo con las categorías indicadas en la Tabla N° 3. El coeficiente de uso e importancia (U), definido en la Tabla N° 3 se usará según la clasificación que se haga.

Tabla N° 3 CATEGORÍA DE LAS EDIFICACIONES		
CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	FACTOR U
A Edificaciones Esenciales	Edificaciones esenciales cuya función no debería interrumpirse inmediatamente después que ocurra un sismo, como hospitales, centrales de comunicaciones, cuarteles de bomberos y policía, subestaciones eléctricas, reservorios de agua. Centros educativos y edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre. También se incluyen edificaciones cuyo colapso puede representar un riesgo adicional, como grandes hornos, depósitos de materiales inflamables o tóxicos.	1,5
B Edificaciones Importantes	Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas como teatros, estadios, centros comerciales, establecimientos penitenciarios, o que guardan patrimonios valiosos como museos, bibliotecas y archivos especiales. También se considerarán depósitos de granos y otros almacenes importantes para el abastecimiento.	1,3
C Edificaciones Comunes	Edificaciones comunes, cuya falla ocasionaría pérdidas de cuantía intermedia como viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios, fugas de contaminantes, etc.	1,0
D Edificaciones Menores	Edificaciones cuyas fallas causan pérdidas de menor cuantía y normalmente la probabilidad de causar víctimas es baja, como cercos de menos de 1,50m de altura, depósitos temporales, pequeñas viviendas temporales y construcciones similares.	(*)

(\*) En estas edificaciones, a criterio del proyectista, se podrá omitir el análisis por fuerzas sísmicas, pero deberá proveerse de la resistencia y rigidez adecuadas para acciones laterales.

**Artículo 11.- Configuración Estructural**

Las estructuras deben ser clasificadas como regulares e irregulares con el fin de determinar el procedimiento adecuado de análisis y los valores apropiados del factor de reducción de fuerza sísmica (Tabla N° 6).

a. **Estructuras Regulares.** Son las que no tienen discontinuidades significativas horizontales o verticales en su configuración resistente a cargas laterales.

b. **Estructuras Irregulares.** Se definen como estructuras irregulares aquellas que presentan una o más de las características indicadas en la Tabla N° 4 o Tabla N° 5.

**Tabla N° 4  
IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ALTURA**

<b>Irregularidades de Rigidez – Piso blando</b> En cada dirección la suma de las áreas de las secciones transversales de los elementos verticales resistentes al corte en un entrepiso, columnas y muros, es menor que 85 % de la correspondiente suma para el entrepiso superior, o es menor que 90 % del promedio para los 3 pisos superiores. No es aplicable en sótanos. Para pisos de altura diferente multiplicar los valores anteriores por $(h_i/h_j)$ donde $h_i$ es altura diferente de piso y $h_j$ es la altura típica de piso.
<b>Irregularidad de Masa</b> Se considera que existe irregularidad de masa, cuando la masa de un piso es mayor que el 150% de la masa de un piso adyacente. No es aplicable en azoteas.
<b>Irregularidad Geométrica Vertical</b> La dimensión en planta de la estructura resistente a cargas laterales es mayor que 130% de la correspondiente dimensión en un piso adyacente. No es aplicable en azoteas ni en sótanos.
<b>Discontinuidad en los Sistemas Resistentes.</b> Desalineamiento de elementos verticales, tanto por un cambio de orientación, como por un desplazamiento de magnitud mayor que la dimensión del elemento.

**Tabla N° 5  
IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN PLANTA**

<b>Irregularidad Torsional</b> Se considerará sólo en edificios con diafragmas rígidos en los que el desplazamiento promedio de algún entrepiso exceda del 50% del máximo permisible indicado en la Tabla N° 8 del Artículo 15 (15.1). En cualquiera de las direcciones de análisis, el desplazamiento relativo máximo entre dos pisos consecutivos, en un extremo del edificio, es mayor que 1,3 veces el promedio de este desplazamiento relativo máximo con el desplazamiento relativo que simultáneamente se obtiene en el extremo opuesto.
<b>Esquinas Entrantes</b> La configuración en planta y el sistema resistente de la estructura, tienen esquinas entrantes, cuyas dimensiones en ambas direcciones, son mayores que el 20 % de la correspondiente dimensión total en planta.
<b>Discontinuidad del Diafragma</b> Diafragma con discontinuidades abruptas o variaciones en rigidez, incluyendo áreas abiertas mayores a 50% del área bruta del diafragma.

**Artículo 12.- Sistemas Estructurales**

Los sistemas estructurales se clasificarán según los materiales usados y el sistema de estructuración sismorresistente predominante en cada dirección tal como se indica en la Tabla N° 6.

Según la clasificación que se haga de una edificación se usará un coeficiente de reducción de fuerza sísmica (R). Para el diseño por resistencia última las fuerzas sísmicas internas deben combinarse con factores de carga unitarios. En caso contrario podrá usarse como (R) los valores establecidos en Tabla N° 6 previa multiplicación por el factor de carga de sismo correspondiente.

**Tabla N° 6  
SISTEMAS ESTRUCTURALES**

Sistema Estructural	Coefficiente de Reducción, R Para estructuras regulares (*) (**)
<b>Acero</b> Pórticos dúctiles con uniones resistentes a momentos.	9,5
Otras estructuras de acero: Arriostres Exoéncricos. Arriostres en Cruz.	6,5 6,0
<b>Concreto Armado</b> Pórticos <sup>(1)</sup> . Dual <sup>(2)</sup> . De muros estructurales <sup>(3)</sup> . Muros de ductilidad limitada <sup>(4)</sup> .	8 7 6 4
Albañilería Armada o Confinada <sup>(5)</sup> .	3
Madera (Por esfuerzos admisibles)	7

1. Por lo menos el 80% del cortante en la base actúa sobre las columnas de los pórticos que cumplan los requisitos de la NTE E.080 Concreto Armado. En caso se tengan muros estructurales, estos deberán diseñarse para resistir una fracción de la acción sísmica total de acuerdo con su rigidez.



2. Las acciones sísmicas son resistidas por una combinación de pórticos y muros estructurales. Los pórticos deberán ser diseñados para tomar por lo menos 25% del cortante en la base. Los muros estructurales serán diseñados para las fuerzas obtenidas del análisis según Artículo 18 (18.2)

3. Sistema en el que la resistencia sísmica está dada predominantemente por muros estructurales sobre los que actúa por lo menos el 80% del cortante en la base.

4. Edificación de baja altura con alta densidad de muros de ductilidad limitada.

5. Para diseño por esfuerzos admisibles el valor de R será 6

(\*) Estos coeficientes se aplicarán únicamente a estructuras en las que los elementos verticales y horizontales permitan la disipación de la energía manteniendo la estabilidad de la estructura. No se aplican a estructuras tipo péndulo invertido.

(\*\*) Para estructuras irregulares, los valores de R deben ser tomados como  $\frac{3}{4}$  de los anotados en la Tabla.

Para construcciones de tierra referirse a la NTE E.080 Adobe. Este tipo de construcciones no se recomienda en suelos  $S_1$ , ni se permite en suelos  $S_2$ .

#### Artículo 13.- Categoría, Sistema Estructural y Regularidad de las Edificaciones

De acuerdo a la categoría de una edificación y la zona donde se ubique, ésta deberá proyectarse observando las características de regularidad y empleando el sistema estructural que se indica en la Tabla N° 7.

Categoría de la Edificación.	Regularidad Estructural	Zona	Sistema Estructural
A (*)	Regular	3	Acero, Muros de Concreto Armado, Albañilería Armada o Confinada, Sistema Dual
		2 y 1	Acero, Muros de Concreto Armado, Albañilería Armada o Confinada, Sistema Dual, Madera
B	Regular o Irregular	3 y 2	Acero, Muros de Concreto Armado, Albañilería Armada o Confinada, Sistema Dual, Madera
		1	Cualquier sistema.
C	Regular o Irregular	3, 2 y 1	Cualquier sistema.

(\*) Para lograr los objetivos indicados en la Tabla N° 3, la edificación será especialmente estructurada para resistir sismos severos.

(\*\*) Para pequeñas construcciones rurales, como escuelas y postas médicas, se podrá usar materiales tradicionales siguiendo las recomendaciones de las normas correspondientes a dichos materiales.

#### Artículo 14.- Procedimientos de Análisis

14.1. Cualquier estructura puede ser diseñada usando los resultados de los análisis dinámicos referidos en el Artículo 18.

14.2. Las estructuras clasificadas como regulares según el artículo 10 de no más de 45 m de altura y las estructuras de muros portantes de no más de 15 m de altura, aún cuando sean irregulares, podrán analizarse mediante el procedimiento de fuerzas estáticas equivalentes del Artículo 17.

#### Artículo 15.- Desplazamientos Laterales

##### 15.1. Desplazamientos Laterales Permisibles

El máximo desplazamiento relativo de entrepiso, calculado según el Artículo 18 (18.4), no deberá exceder la fracción de la altura de entrepiso que se indica en la Tabla N° 8.

Material Predominante	(D / h <sub>e</sub> )
Concreto Armado	0,007
Acero	0,010
Albañilería	0,005
Madera	0,010

##### 15.2. Junta de Separación sísmica (s)

Toda estructura debe estar separada de las estructuras vecinas una distancia mínima s para evitar el contacto durante un movimiento sísmico.

Esta distancia mínima no será menor que los 2/3 de la suma de los desplazamientos máximos de los bloques adyacentes ni menor que:

$$s = 3 + 0,004 \cdot (h - 500) \quad (h \text{ y } s \text{ en centímetros})$$

$$s > 3 \text{ cm}$$

donde h es la altura medida desde el nivel del terreno natural hasta el nivel considerado para evaluar s.

El Edificio se retirará de los límites de propiedad adyacentes a otros lotes edificables, o con edificaciones, distancias no menores que 2/3 del desplazamiento máximo calculado según Artículo 18 (18.4) ni menores que s/2.

##### 15.3. Estabilidad del Edificio

Deberá considerarse el efecto de la excentricidad de la carga vertical producida por los desplazamientos laterales de la edificación, (efecto P-delta) según se establece en el Artículo 18 (18.5).

La estabilidad al volteo del conjunto se verificará según se indica en el Artículo 21.

### CAPÍTULO IV ANÁLISIS DE EDIFICIOS

#### Artículo 16.- Generalidades

##### 16.1. Solicitaciones Sísmicas y Análisis

En concordancia con los principios de diseño sismorresistente del Artículo 3, se acepta que las edificaciones tendrán incursiones inelásticas frente a sollicitaciones sísmicas severas. Por tanto las sollicitaciones sísmicas de diseño se consideran como una fracción de la sollicitación sísmica máxima elástica.

El análisis podrá desarrollarse usando las sollicitaciones sísmicas reducidas con un modelo de comportamiento elástico para la estructura.

##### 16.2. Modelos para Análisis de Edificios

El modelo para el análisis deberá considerar una distribución espacial de masas y rigidez que sean adecuadas para calcular los aspectos más significativos del comportamiento dinámico de la estructura.

Para edificios en los que se pueda razonablemente suponer que los sistemas de piso funcionan como diafragmas rígidos, se podrá usar un modelo con masas concentradas y tres grados de libertad por diafragma, asociados a dos componentes ortogonales de traslación horizontal y una rotación. En tal caso, las deformaciones de los elementos deberán compatibilizarse mediante la condición de diafragma rígido y la distribución en planta de las fuerzas horizontales deberá hacerse en función a las rigideces de los elementos resistentes.

Deberá verificarse que los diafragmas tengan la rigidez y resistencia suficientes para asegurar la distribución mencionada, en caso contrario, deberá tomarse en cuenta su flexibilidad para la distribución de las fuerzas sísmicas.

Para los pisos que no constituyan diafragmas rígidos, los elementos resistentes serán diseñados para las fuerzas horizontales que directamente les corresponde.

##### 16.3. Peso de la Edificación

El peso (P), se calculará adicionando a la carga permanente y total de la Edificación un porcentaje de la carga viva o sobrecarga que se determinará de la siguiente manera:

- En edificaciones de las categorías A y B, se tomará el 50% de la carga viva.
- En edificaciones de la categoría C, se tomará el 25% de la carga viva.
- En depósitos, el 80% del peso total que es posible almacenar.
- En azoteas y techos en general se tomará el 25% de la carga viva.
- En estructuras de tanques, silos y estructuras similares se considerará el 100% de la carga que puede contener.

##### 16.4. Desplazamientos Laterales

Los desplazamientos laterales se calcularán multiplicando por 0,75R los resultados obtenidos del análisis lineal y

elástico con las solicitaciones sísmicas reducidas. Para el cálculo de los desplazamientos laterales no se considerarán los valores mínimos de C/R indicados en el Artículo 17 (17.3) ni el cortante mínimo en la base especificado en el Artículo 18 (18.2 d).

#### 16.5. Efectos de Segundo Orden (P-Delta)

Los efectos de segundo orden deberán ser considerados cuando produzcan un incremento de más del 10 % en las fuerzas internas.

Para estimar la importancia de los efectos de segundo orden, podrá usarse para cada nivel el siguiente cociente como índice de estabilidad:

$$Q = \frac{N_i \cdot \Delta_i}{V_i \cdot h_{e_i} \cdot R}$$

Los efectos de segundo orden deberán ser tomados en cuenta cuando  $Q > 0,1$

#### 16.6. Solicitaciones Sísmicas Verticales

Estas solicitaciones se considerarán en el diseño de elementos verticales, en elementos post o pre tensados y en los voladizos o salientes de un edificio.

### Artículo 17.- Análisis Estático

#### 17.1. Generalidades

Este método representa las solicitaciones sísmicas mediante un conjunto de fuerzas horizontales actuando en cada nivel de la edificación.

Debe emplearse sólo para edificios sin irregularidades y de baja altura según se establece en el Artículo 14 (14.2).

#### 17.2. Período Fundamental

a. El período fundamental para cada dirección se estimará con la siguiente expresión:

$$T = \frac{h_e}{C_T}$$

donde :

$C_T = 35$  para edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada sean únicamente pórticos.

$C_T = 45$  para edificios de concreto armado cuyos elementos sismorresistentes sean pórticos y las cajas de ascensores y escaleras.

$C_T = 60$  para estructuras de mampostería y para todos los edificios de concreto armado cuyos elementos sismorresistentes sean fundamentalmente muros de corte.

b. También podrá usarse un procedimiento de análisis dinámico que considere las características de rigidez y distribución de masas en la estructura. Como una forma sencilla de este procedimiento puede usarse la siguiente expresión:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot D_i^2}{g \cdot \sum_{i=1}^n F_i \cdot D_i}}$$

Cuando el procedimiento dinámico no considere el efecto de los elementos no estructurales, el período fundamental deberá tomarse como el 0,85 del valor obtenido por este método.

#### 17.3. Fuerza Cortante en la Base

La fuerza cortante total en la base de la estructura, correspondiente a la dirección considerada, se determinará por la siguiente expresión:

$$V = \frac{ZUCS}{R} \cdot P$$

debiendo considerarse para C/R el siguiente valor mínimo:

$$\frac{C}{R} \geq 0,125$$

#### 17.4. Distribución de la Fuerza Sísmica en Altura

Si el período fundamental  $T$ , es mayor que 0,7 s, una parte de la fuerza cortante  $V$ , denominada  $F_a$ , deberá aplicarse como fuerza concentrada en la parte superior de la estructura. Esta fuerza  $F_a$  se determinará mediante la expresión:

$$F_a = 0,07 \cdot T \cdot V \leq 0,15 \cdot V$$

donde el período  $T$  en la expresión anterior será el mismo que el usado para la determinación de la fuerza cortante en la base.

El resto de la fuerza cortante, es decir  $(V - F_a)$  se distribuirá entre los distintos niveles, incluyendo el último, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$F_i = \frac{P_i \cdot h_i}{\sum_{j=1}^n P_j \cdot h_j} \cdot (V - F_a)$$

#### 17.5. Efectos de Torsión

Se supondrá que la fuerza en cada nivel ( $F_i$ ) actúa en el centro de masas del nivel respectivo y debe considerarse además el efecto de excentricidades accidentales como se indica a continuación.

Para cada dirección de análisis, la excentricidad accidental en cada nivel ( $e_i$ ), se considerará como 0,05 veces la dimensión del edificio en la dirección perpendicular a la de la acción de las fuerzas.

En cada nivel además de la fuerza actuante, se aplicará el momento accidental denominado  $M_t$  que se calcula como:

$$M_t = \pm F_i \cdot e_i$$

Se puede suponer que las condiciones más desfavorables se obtienen considerando las excentricidades accidentales con el mismo signo en todos los niveles. Se considerarán únicamente los incrementos de las fuerzas horizontales no así las disminuciones.

#### 17.6. Fuerzas Sísmicas Verticales

La fuerza sísmica vertical se considerará como una fracción del peso. Para las zonas 3 y 2 esta fracción será de 2/3  $Z$ . Para la zona 1 no será necesario considerar este efecto.

### Artículo 18.- Análisis Dinámico

#### 18.1. Alcances

El análisis dinámico de las edificaciones podrá realizarse mediante procedimientos de combinación espectral o por medio de análisis tiempo-historia.

Para edificaciones convencionales podrá usarse el procedimiento de combinación espectral; y para edificaciones especiales deberá usarse un análisis tiempo-historia.

#### 18.2. Análisis por combinación modal espectral .

##### a. Modos de Vibración

Los períodos naturales y modos de vibración podrán determinarse por un procedimiento de análisis que considere apropiadamente las características de rigidez y la distribución de las masas de la estructura.

##### b. Aceleración Espectral

Para cada una de las direcciones horizontales analizadas se utilizará un espectro inelástico de pseudo-aceleraciones definido por:

$$S_a = \frac{ZUCS}{R} \cdot g$$

Para el análisis en la dirección vertical podrá usarse un espectro con valores iguales a los 2/3 del espectro empleado para las direcciones horizontales.

**c. Criterios de Combinación**

Mediante los criterios de combinación que se indican, se podrá obtener la respuesta máxima esperada ( $r$ ) tanto para las fuerzas internas en los elementos componentes de la estructura, como para los parámetros globales del edificio como fuerza cortante en la base, cortantes de entrepiso, momentos de volteo, desplazamientos totales y relativos de entrepiso.

La respuesta máxima elástica esperada ( $r$ ) correspondiente al efecto conjunto de los diferentes modos de vibración empleados ( $r_i$ ) podrá determinarse usando la siguiente expresión.

$$r = 0,25 \cdot \sum_{i=1}^n |r_i| + 0,75 \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n r_i^2}$$

Alternativamente, la respuesta máxima podrá estimarse mediante la combinación cuadrática completa de los valores calculados para cada modo.

En cada dirección se considerarán aquellos modos de vibración cuya suma de masas efectivas sea por lo menos el 90% de la masa de la estructura, pero deberá tomarse en cuenta por lo menos los tres primeros modos predominantes en la dirección de análisis.

**c. Fuerza Cortante Mínima en la Base**

Para cada una de las direcciones consideradas en el análisis, la fuerza cortante en la base del edificio no podrá ser menor que el 80% del valor calculado según el Artículo 17 (17.3) para estructuras regulares, ni menor que el 90% para estructuras irregulares.

Si fuera necesario incrementar el cortante para cumplir los mínimos señalados, se deberán escalar proporcionalmente todos los otros resultados obtenidos, excepto los desplazamientos.

**e. Efectos de Torsión**

La incertidumbre en la localización de los centros de masa en cada nivel, se considerará mediante una excentricidad accidental perpendicular a la dirección del sismo igual a 0,05 veces la dimensión del edificio en la dirección perpendicular a la dirección de análisis. En cada caso deberá considerarse el signo más desfavorable.

**18.3. Análisis Tiempo-Historia**

El análisis tiempo historia se podrá realizar suponiendo comportamiento lineal y elástico y deberán utilizarse no menos de cinco registros de aceleraciones horizontales, correspondientes a sismos reales o artificiales. Estos registros deberán normalizarse de manera que la aceleración máxima corresponda al valor máximo esperado en el sitio.

Para edificaciones especialmente importantes el análisis dinámico tiempo-historia se efectuará considerando el comportamiento inelástico de los elementos de la estructura.

**CAPÍTULO V  
CIMENTACIONES****Artículo 19.- Generalidades**

Las suposiciones que se hagan para los apoyos de la estructura deberán ser concordantes con las características propias del suelo de cimentación.

El diseño de las cimentaciones deberá hacerse de manera compatible con la distribución de fuerzas obtenida del análisis de la estructura.

**Artículo 20.- Capacidad Portante**

En todo estudio de mecánica de suelos deberán considerarse los efectos de los sismos para la determinación de la capacidad portante del suelo de cimentación. En los sitios en que pueda producirse licuefacción del suelo, debe efectuarse una investigación geotécnica que evalúe esta posibilidad y determine la solución más adecuada.

Para el cálculo de las presiones admisibles sobre el suelo de cimentación bajo acciones sísmicas, se emplearán los factores de seguridad mínimos indicados en la NTE E.050 Suelos y Cimentaciones.

**Artículo 21.- Momento de Volteo**

Toda estructura y su cimentación deberán ser diseñadas para resistir el momento de volteo que produce un sismo. El factor de seguridad deberá ser mayor o igual que 1,5.

**Artículo 22.- Zapatas aisladas y cajones**

Para zapatas aisladas con o sin pilotes en suelos tipo  $S_3$  y  $S_4$  y para las zonas 3 y 2 se proveerá elementos de conexión, los que deben soportar en tracción o compresión, una fuerza horizontal mínima equivalente al 10% de la carga vertical que soporta la zapata.

Para el caso de pilotes y cajones deberá proveerse de vigas de conexión o deberá tenerse en cuenta los giros y deformaciones por efecto de la fuerza horizontal diseñando pilotes y zapatas para estas solicitaciones. Los pilotes tendrán una armadura en tracción equivalente por lo menos al 15% de la carga vertical que soportan.

**CAPÍTULO VI  
ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES, APÉNDICES Y EQUIPO****Artículo 23.- Generalidades**

- Se consideran como elementos no-estructurales, aquellos que estando o no conectados al sistema resistente a fuerzas horizontales, su aporte a la rigidez del sistema es despreciable.

- En el caso que los elementos no estructurales estén aislados del sistema estructural principal, estos deberán diseñarse para resistir una fuerza sísmica ( $V$ ) asociada a su peso ( $P$ ) tal como se indica a continuación.

$$V = Z \cdot U \cdot C_1 \cdot P$$

Los valores de  $U$  corresponden a los indicados en el Capítulo 3 y los valores de  $C_1$  se tomarán de la Tabla N°9.

**Tabla N° 9  
VALORES DE  $C_1$** 

- Elementos que al fallar puedan precipitarse fuera de la edificación en la cual la dirección de la fuerza es perpendicular a su plano.	1,3
- Elementos cuya falla entrañe peligro para personas u otras estructuras.	1,3
- Muros dentro de una edificación (dirección de la fuerza perpendicular a su plano).	0,9
- Cercos.	0,8
- Tanques, torres, letreros y chimeneas conectados a una parte del edificio considerando la fuerza en cualquier dirección.	0,9
- Pisos y techos que actúan como diafragmas con la dirección de la fuerza en su plano.	0,8

- Para elementos no estructurales que estén unidos al sistema estructural principal y deban acompañar la deformación de la misma, deberá asegurarse que en caso de falla, no causen daños personales.

- La conexión de equipos e instalaciones dentro de una edificación debe ser responsabilidad del especialista correspondiente. Cada especialista deberá garantizar que estos equipos e instalaciones no constituyan un riesgo durante un sismo y, de tratarse de instalaciones esenciales, deberá garantizar la continuación de su operatividad.

**CAPÍTULO VII  
EVALUACIÓN, REPARACIÓN Y REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS****Artículo 24.- Generalidades**

- Las estructuras dañadas por efectos del sismo deben ser evaluadas y reparadas de tal manera que se corrijan los posibles defectos estructurales que provocaron la falla y recuperen la capacidad de resistir un nuevo evento sísmico, acorde con los objetivos del diseño sismorresistente anotada en el Capítulo 1.

- Ocurrido el evento sísmico la estructura deberá ser evaluada por un ingeniero civil, quien deberá determinar si el estado de la edificación hace necesario el reforzamiento, reparación o demolición de la misma. El estudio deberá necesariamente considerar las características geotécnicas del sitio.

- La reparación deberá ser capaz de dotar a la estructura de una combinación adecuada de rigidez, resistencia y



ductilidad que garantice su buen comportamiento en eventos futuros.

- El proyecto de reparación o reforzamiento incluirá los detalles, procedimientos y sistemas constructivos a seguirse.

- Para la reparación y el reforzamiento sísmico de edificaciones existentes se podrá emplear otros criterios y procedimientos diferentes a los indicados en esta Norma, con la debida justificación y aprobación de la autoridad competente.

### CAPÍTULO VIII INSTRUMENTACIÓN

#### Artículo 25.- Registradores Acelerográficos

En todas las zonas sísmicas los proyectos de edificaciones con un área igual o mayor de 10,000 m<sup>2</sup>, deberán instrumentarse con un registrador acelerográfico triaxial.

Los registradores acelerográficos triaxiales deberán ser provistos por el propietario, con especificaciones técnicas aprobadas por el Instituto Geofísico del Perú.

#### Artículo 26.- Ubicación

Los instrumentos deberán colocarse en una habitación de por lo menos 4 m<sup>2</sup> ubicado en el nivel inferior del edificio teniendo en cuenta un acceso fácil para su mantenimiento; y una apropiada iluminación, ventilación, suministro de energía eléctrica, y seguridad física y deberá identificarse claramente en el plano de arquitectura.

#### Artículo 27.- Mantenimiento

El mantenimiento operativo, partes y componentes, material fungible y servicio de los instrumentos deberán ser provistos por los propietarios del edificio bajo control del Instituto Geofísico del Perú. La responsabilidad se mantendrá por 10 años.

#### Artículo 28.- Disponibilidad de Datos

Los acelerogramas registrados por los instrumentos, serán procesados por el Instituto Geofísico del Perú e integrados al Banco Nacional de Datos Geofísicos. Esta información es de dominio público y estará disponible a los usuarios a pedido.

#### Artículo 29.- Requisitos para la Finalización de Obra

Para obtener el certificado de finalización de obra, y bajo responsabilidad del funcionario competente, el propietario deberá presentar un certificado de instalación, expedido por el Instituto Geofísico del Perú y además un contrato de servicio de mantenimiento operativo de los instrumentos.

### ANEXO N° 1 ZONIFICACIÓN SÍSMICA

Las zonas sísmicas en que se divide el territorio peruano, para fines de esta Norma se muestran en la Figura 1 del Artículo 5.

A continuación se especifican las provincias de cada zona.

#### Zona 1

1. Departamento de Loreto. Provincias de Mariscal Ramón Castilla, Maynas y Requena.
2. Departamento de Ucayali. Provincia de Purús.
3. Departamento de Madre de Dios. Provincia de Tahuamanu.

#### Zona 2

1. Departamento de Loreto. Provincias de Loreto, Alto Amazonas y Ucayali.
2. Departamento de Amazonas. Todas las provincias.
3. Departamento de San Martín. Todas las provincias.
4. Departamento de Huánuco. Todas las provincias.
5. Departamento de Ucayali. Provincias de Coronel Portillo, Atalaya y Padre Abad.
6. Departamento de Pasco. Todas las provincias.
7. Departamento de Junín. Todas las provincias.
8. Departamento de Huancavelica. Provincias de Aobamba, Angaraes, Churcampa, Tayacaja y Huancavelica.
9. Departamento de Ayacucho. Provincias de Sucre, Huamanga, Huanta y Vilcashuaman.
10. Departamento de Apurímac. Todas las provincias.
11. Departamento de Cusco. Todas las provincias.

12. Departamento de Madre de Dios. Provincias de Tumbes y Manú.

13. Departamento de Puno. Todas las provincias.

#### Zona 3

1. Departamento de Tumbes. Todas las provincias.
2. Departamento de Piura. Todas las provincias.
3. Departamento de Cajamarca. Todas las provincias.
4. Departamento de Lambayeque. Todas las provincias.
5. Departamento de La Libertad. Todas las provincias.
6. Departamento de Ancash. Todas las provincias.
7. Departamento de Lima. Todas las provincias.
8. Provincia Constitucional del Callao.
9. Departamento de Ica. Todas las provincias.
10. Departamento de Huancavelica. Provincias de Castrovirreyna y Huaytará.
11. Departamento de Ayacucho. Provincias de Cangallo, Huanca Sancos, Lucanas, Víctor Fajardo, Parinacochas y Paucar del Sara Sara.
12. Departamento de Arequipa. Todas las provincias.
13. Departamento de Moquegua. Todas las provincias.
14. Departamento de Tacna. Todas las provincias.

### ANEXO N° 2

#### ESPECIFICACIONES NORMATIVAS PARA DISEÑO SISMORRESISTENTE EN EL CASO DE EDIFICACIONES DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA (EMDL)

##### 1. DEFINICIONES Y LIMITACIONES

1.1. Los EMDL se caracterizan por tener un sistema estructural donde la resistencia sísmica y de cargas de gravedad en las dos direcciones está dada por muros de concreto armado que no pueden desarrollar desplazamientos inelásticos importantes. En este sistema los muros son de espesores reducidos, se prescinde de extremos confinados y el refuerzo vertical se dispone en una sola hilera. Los sistemas de piso son losas macizas o aligeradas que cumplen la función de diafragma rígido.

El máximo número de pisos que se puede construir con este sistema es de 7.

1.2. Cuando se emplee este sistema en edificios de mayor altura, los pisos inferiores por debajo de los 6 últimos niveles, deberán estar necesariamente estructurados en base a muros de concreto armado con espesores mayores o iguales a 0,15m, que permitan confinar sus extremos con estribos. Para el análisis y diseño sísmico del edificio se deberá usar  $R = 4$  ó  $R = 4x \frac{3}{4}$  si el edificio fuera irregular.

##### 2. MODELO PARA ANÁLISIS DE LOS EMDL

2.1. Para lograr una aceptable representación de la rigidez del edificio y de la distribución de las solicitaciones internas, se deberá desarrollar un modelo que tome en cuenta la interacción entre muros de direcciones perpendiculares. Para tal efecto, será necesario compatibilizar las deformaciones verticales en las zonas comunes de los muros en ambas direcciones, tanto para solicitaciones sísmicas como para cargas de gravedad.

Como alternativa de análisis se puede emplear modelos pseudo tridimensionales de pórticos planos, considerando la contribución de los muros perpendiculares. La longitud de la aleta contribuyente a cada lado del alma deberá ser el menor valor entre el 10% de la altura total del muro y la mitad de la distancia al muro adyacente paralelo.

##### 3. DESPLAZAMIENTOS LATERALES PERMISIBLES

3.1. El máximo desplazamiento relativo de entrepiso (calculado según el artículo 16.4 de la NTE E.030 Diseño Sismorresistente), dividido entre la altura de entrepiso, no deberá exceder de 0,005.

3.2. Cuando para controlar los desplazamientos laterales se recurra a vigas de acoplamiento entre muros, éstas deben diseñarse para desarrollar comportamiento dúctil y deben tener un espesor mínimo de 0,15m.

##### 4. IRREGULARIDADES EN ALTURA Y REQUISITOS DE DISEÑO

4.1. Cuando el edificio tenga muros discontinuos, se deberá cumplir con las siguientes exigencias:

- a. Para evitar la existencia de un piso blando, en cualquier entrepiso, el área transversal de los muros en cada



dirección no podrá ser menor que el 90% del área correspondiente al entrepiso inmediato superior.

b. El 50% de los muros deberá ser continuo con un área mayor o igual al 50% del área total de los muros en la dirección considerada.

c. La resistencia y rigidez del entrepiso donde se produce la discontinuidad, así como los entrepisos inmediato superior e inmediato inferior deberán estar proporcionada exclusivamente por los muros que son continuos en todos los niveles.

d. El sistema de transferencia (parrilla, losa y elementos verticales de soporte) se deberá diseñar empleando un factor de reducción de fuerzas sísmicas (RST) igual al empleado en el edificio, R dividido entre 1,5, es decir,  $RST = R/1,5$ .

e. Excepcionalmente se permitirá densidades de muros continuos inferiores a la indicada en (b), sólo para los entrepisos de sótanos. En este caso se podrá recurrir a sistemas de transferencia en el nivel correspondiente al techo del sótano debiéndose desarrollar un diseño por capacidad, de acuerdo a lo indicado en el acápite 4.2 de la especificaciones normativas para concreto armado en el caso de EMDL, y satisfaciendo adicionalmente lo indicado en (d).

El proyectista deberá presentar una memoria y notas de cálculo incluyendo los detalles del diseño para el sistema de transferencia y de los principales muros con responsabilidad sísmica.