



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

**Universidad del Perú. Decana de América**

Dirección General de Estudios de Posgrado  
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y  
Geográfica  
Unidad de Posgrado

**Modelo geológico-geotécnico para definir excavación de  
laderas por banqueo en rocas sedimentarias para obras  
viales. Construcción de la carretera Kimbiri-Kepashiato,  
tramo Cielo Punku Quebrada Honda (km 1+000 al km  
5+000)**

**TESIS**

Para optar el Grado Académico de Magíster en Geología con  
mención en Geotecnia

**AUTOR**

Fausto JOYO CANCHO

**ASESOR**

Victor Abel TOLENTINO YPARRAGUIRRE

Lima, Perú

2019



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

---

Joyo, F. (2019). *Modelo geológico-geotécnico para definir excavación de laderas por banqueo en rocas sedimentarias para obras viales. Construcción de la carretera Kimbiri-Kepashiato, tramo Cielo Punku Quebrada Honda (km 1+000 al km 5+000)*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica / Unidad de Posgrado]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

---



# UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú, Decana de América

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA

UNIDAD DE POSGRADO



## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

SUSTENTACIÓN PÚBLICA

En la Universidad Nacional Mayor de San Marcos-Lima, a los dieciséis días del mes de marzo del 2019, siendo las 10:00 horas, se reúnen los suscritos miembros del JURADO EXAMINADOR DE TESIS, nombrado mediante Dictamen N.º 123/UPG-FIGMMG/2019 del 12 de febrero del 2019, con la finalidad de evaluar la sustentación oral de la siguiente tesis:

### TITULO

**«MODELO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA DEFINIR EXCAVACIÓN DE LADERAS POR BANQUEO EN ROCAS SEDIMENTARIAS PARA OBRAS VIALES. CONSTRUCCIÓN DE LA CARRETERA KIMBIRI-KEPASHIATO, TRAMO CIELO PUNKU-QUEBRADA HONDA (KM 1+000 AL KM 5+000)»**

Que, presenta el Bach. **FAUSTO JOYO CANCHO**, para optar el **GRADO ACADÉMICO DE MAGISTER EN GEOLOGÍA CON MENCIÓN EN GEOTÉCNIA**.

El secretario del Jurado Examinador de la Tesis, analiza el expediente N.º 02056-FIGMMG-2013 del 12 de marzo del 2013, en el marco legal y Estatutario de la Ley Universitaria, acreditando que tiene todos los documentos y cumplió con las etapas del trámite según el «Reglamento de los Estudios de Maestría y Doctorado».

Luego de la Sustentación de la Tesis, los miembros del Jurado Examinador procedieron a aplicar la escala descrita en el Art. 61 del precitado Reglamento, correspondiéndole al graduando la siguiente calificación:

*Buena (15)*

Habiendo sido aprobada la sustentación de la Tesis, el Presidente recomienda a la Facultad se le otorgue el **GRADO ACADÉMICO DE MAGISTER EN GEOLOGÍA CON MENCIÓN EN GEOTÉCNIA** al Bach. **FAUSTO JOYO CANCHO**.

Siendo las 11:00 horas, se dio por concluido al acto académico

MG. ENRIQUE GUADALUPE GÓMEZ  
Presidente

MG. JAVIER AUGUSTO SOTO GÓMEZ  
Secretario

MG. JORGE ESCALANTE CONTRERAS  
Miembro

MG. LLOYD WILLIAMS SOLORZANO POMA  
Miembro

MG. VÍCTOR ABEL TOLENTINO YPARRAGUIRRE  
Asesor



**UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS**  
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA



**UNIDAD DE POSGRADO**

«Año de la Consolidación del Mar de Grau»  
DICTAMEN UNIDAD DE POSGRADO  
Nº 200/UPG-FIGMMG-2016

C.U., 12 de abril del 2016

Se procede a tramitar el siguiente asunto:	Comité Directivo: UPG-FIGMMG
<b>ASUNTO:</b> INSCRIPCIÓN DEL PROYECTO TESIS DE MAESTRÍA TITULADO: «MODELO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO PARA DEFINIR EXCAVACIÓN DE LADERAS POR BANQUEO EN ROCAS SEDIMENTARIAS PARA OBRAS VIALES. CONSTRUCCIÓN DE LA CARRETERA KIMBIRI – KEPASHIATO, TRAMO CIELO PUNKU – QUEBRADA HONDA (KM 1 + 000 AL KM 5 + 000).»	
<b>RECURRENTE:</b> Bachiller FAUSTO JOYO CANCHO, con código de matrícula Nº 10167020.	
<b>EXPEDIENTE Nº</b> 02056/FIGMMG/2013 del 12 de marzo del 2013.	

**ANTECEDENTES:**

Que, el recurrente ha cumplido con los Arts. 3, 4 y 5 de las Directivas para el Procedimiento de la Elaboración de la Tesis para la Obtención del grado de Magister o Doctor aprobado con Resolución Directoral Nº 080 del 14 de mayo del 2010, aperturando el expediente Nº 02056/FIGMMG/2013 del 12 de marzo del 2013, en concordancia al Reglamento General de estudios de Posgrado, aprobado con resolución Rectoral Nº 03010-R-2009.

Que, el comité ha revisado el Proyecto de Tesis, verificando que está conforme a las nuevas normas universitarias vigentes y cumple con los requisitos de originalidad, sentido crítico y contribución, asimismo cuenta con el visto bueno del **ASESOR METODOLÓGICO MG. ENRIQUE GUADALUPE GÓMEZ**.

De conformidad con lo establecido del Estatuto de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, sobre Maestría y Doctorado otorga a la Directora de la Unidad de Posgrado

**SE DICTAMINA:**

1. Aprobar la Inscripción del PROYECTO DE TESIS DE MAESTRÍA TITULADO: «MODELO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO PARA DEFINIR EXCAVACIÓN DE LADERAS POR BANQUEO EN ROCAS SEDIMENTARIAS PARA OBRAS VIALES. CONSTRUCCIÓN DE LA CARRETERA KIMBIRI – KEPASHIATO, TRAMO CIELO PUNKU – QUEBRADA HONDA (KM 1 + 000 AL KM 5 + 000).», presentado por el Bachiller FAUSTO JOYO CANCHO, para optar el GRADO DE MAGISTER en GEOLOGÍA con mención en GEOTECNIA.
2. Elévese el presente Dictamen al Decanato de la Facultad de Ingeniería, Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, para su conocimiento y trámite pertinentes.

Regístrese, comuníquese y archívese.



**DRA. SILVIA DEL PILAR IGLESIAS LEÓN**  
Directora de la Unidad de Postgrado  
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA, METALURGICA Y GEOGRAFICA

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mi  
querida Esposa y a mis  
seis hijos

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

A todos los Señores Catedráticos que me enseñaron en los estudios de Post Grado de Maestría en Geotecnia en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

A la Municipalidad Distrital de Kimbiri en convenio con la Municipalidad Distrital de Echarate y a su personal directivo que me brindó la oportunidad de trabajar en ella.

A los Ing<sup>os</sup>. Víctor Tolentino Iparraguirre, Asesor de tesis, Enrique Guadalupe Gómez Asesor Metodológico ,por su valiosa guía y asesoramiento a la realización de la misma.

Gracias a todas las personas que ayudaron directa e indirectamente en la realización de este proyecto.

## ÍNDICE

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>3</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>4</b>
<b>LISTA DE TABLAS .....</b>	<b>7</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>8</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>12</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>13</b>
<b>Capítulo 1 .....</b>	<b>15</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>15</b>
1.1. Situación problemática .....	15
1.2. Formulación del problema.....	16
1.1.1. Problema principal .....	16
1.1.2. Problema secundario .....	16
1.3. Justificación.....	16
1.4. Objetivos.....	17
1.4.1. Objetivo General.....	17
1.4.2. Objetivo Específico .....	17
1.4.3. Hipótesis principal .....	18
1.4.4. Variables.....	18
<b>Capítulo 2.....</b>	<b>19</b>
<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>19</b>
2.1. Unidad de Investigación .....	19
2.2. Antecedentes de Investigación .....	19
2.2.1. A nivel Nacional .....	19
2.2.2. A nivel Internacional .....	24
2.3. Bases teóricas .....	28
2.3.1. Estructura de las Rocas .....	28
2.3.2. Rocas Sedimentarias .....	28
2.3.3. Clasificación de las rocas sedimentarias .....	29
2.3.4. Taludes .....	31
2.3.5. Deslizamientos .....	32
2.3.6. Modelo Geológico-Geotécnico.....	32
2.3.7. Laderas por Banqueo.....	32
2.3.8. Obras Viales.....	33
2.3.9. Factores Influyentes en la estabilidad .....	33
<b>Capítulo 3 .....</b>	<b>34</b>
<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>34</b>
3.1. Tipo y Diseño de Investigación .....	34
3.1.1. Tipo de Investigación .....	34

3.1.2. Nivel de la Investigación .....	34
3.1.3. Diseño .....	34
3.2. Técnicas de excavación de laderas por banqueo .....	35
3.2.1 Tipos de perforación y voladura realizadas .....	35
3.2.2 Voladura .....	37
3.3. Perfilado y limpieza de escombros .....	39
3.4. Criterios de aceptabilidad .....	40
3.4.1. Norma Peruana de Carreteras .....	40
<b>Capítulo 4 .....</b>	<b>42</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>42</b>
4.1. Metodología del Análisis de Estabilidad Física de Taludes .....	42
4.2. Presentación de Resultados .....	42
4.3. Pruebas de hipótesis .....	48
4.3.1. Interpretación de las figuras de análisis de estabilidad de taludes en las progresivas (km 1+380, km 3+280). .....	48
4.3.2 Esquema de datos empleados en la elaboración del Modelo .....	78
4.4. Discusión .....	79
CONCLUSIONES .....	80
RECOMENDACIONES .....	82
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	83
ANEXOS .....	85
ANEXO N° 01: ENSAYOS DE CORTE DIRECTO .....	86
ANEXO N° 02: SOFTWARE DE PERFORACIÓN Y VOLADURA .....	94
ANEXO N° 03: MAPA DE ZONIFICACIÓN .....	101
ANEXO N° 04: MATRIZ DE CONSISTENCIA .....	102
ANEXO N° 05: PLANOS .....	103

## LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1: Rocas Sedimentarias. Fuente. (Rivera, 2005).</i> .....	30
<i>Tabla 2: Resumen de Parámetros de Resistencia del Macizo Rocosó No Disturbado Fuente: Software RocData v 4.0 (Rocscience, 2006)</i> .....	44
<i>Tabla 3: Resumen de Parametros de Resistencia del Macizo Rocosó Disturbado. Fuente: Software RocData v 4.0 (Rocscience, 2006)</i> .....	45
<i>Tabla 4: Resumen de Parámetros de Resistencia Para Análisis de Estabilidad Fuente: Software RocData v 4.0 (Rocscience, 2006)</i> .....	46
<i>Tabla 5: Resumen de Factores de Seguridad (FS) para Fallas Críticas Circulares - Macizo Disturbado. Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006)</i> .....	47
<i>Tabla 6: Resumen de Factores de Seguridad (FS) para Fallas Críticas Circulares - Macizo No Disturbado .Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006)</i> .....	47
<i>Tabla 7: Criterios de Estabilidad. Fuente. (Hoek y Brown, 1997)</i> .....	78

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1: Ubicación del proyecto. Fuente: PROVIAS NACIONAL –MTC.....</i>	20
<i>Figura 2: Las Vegas. Fuente: PROVIAS NACIONAL –MTC.....</i>	21
<i>Figura 3: El Huanuqueño. Fuente: PROVIAS NACIONAL –MTC.....</i>	21
<i>Figura 4: Aguaytía. Fuente: PROVIAS NACIONAL –MTC.....</i>	22
<i>Figura 5: Talud inestable Tramo carretera Mazamari-Puerto Ocopa. Fuente: propia.....</i>	23
<i>Figura 6: Falla de talud, Guadalquivir. Fuente: Diario Navarra-España.....</i>	26
<i>Figura 7: Talud Inestable. Fuente: Deslizamiento, Antioquía-Colombia.....</i>	26
<i>Figura 8: Deslizamiento, Fuente: Tantará-Cerro Sanco.....</i>	27
<i>Figura 9: Talud Inestable. Fuente: Barichara, Guane-Colombia.....</i>	27
<i>Figura 10: El material desprendido, Chile. Fuente: Gentileza Vialidad Nacional... 28</i>	
<i>Figura 11: Procesos de formación de las rocas sedimentarias. Fuente. (Rivera, 2005). .....</i>	29
<i>Figura 12: Rocas o sedimentos clásticos. Fuente. Propia.....</i>	31
<i>Figura 13: Talud inicial y talud actual. Fuente. Propia .....</i>	35
<i>Figura 14: Perforación manual con martillos neumáticos en la progresiva km 3+280 en la cresta del talud roca limolita. Fuente. Propia.....</i>	36
<i>Figura 15: Perforación mecanizada en la progresiva km 1+380, con compresora neumática 750 pcm, roca arenisca. Fuente. Propia .....</i>	37
<i>Figura 16: Diseño de voladura. Fuente. Propia.....</i>	38
<i>Figura 17: Malla de perforación. Fuente. Propia.....</i>	39
<i>Figura 18: Limpieza de material con fragmentacion apropiada despues de la voladura, con factor de carga 0.3 kg/m3, en la progresiva km 1+380 (doble banqueo de talud) roca limolita y arenisca. Fuente. Propia.....</i>	40
<i>Figura 19: Análisis de estabilidad de talud con perfil natural macizo rocoso disturbado-etapa construcción, condición estática, ubicado en la progresiva km 1+380. Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006).....</i>	54
<i>Figura 20: Análisis de estabilidad de talud con perfil natural macizo rocoso</i>	

<i>disturbado-etapa construcción, condición pseudo-estática, ubicado en la progresiva km 1+380. Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006) .....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 21: Análisis de estabilidad de talud con perfil natural macizo rocoso</i>	
<i>disturbado-etapa construcción, condición estática, ubicado en la progresiva km 3+280. Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006) .....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 22: Análisis de estabilidad de talud con perfil natural macizo rocoso</i>	
<i>disturbado-etapa construcción, condición Pseudo-estática, ubicado en la progresiva km 3+280. Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006) .....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 23: Análisis de estabilidad de talud con banco simple macizo rocoso</i>	
<i>disturbado-etapa construcción, condición estática, ubicado en la progresiva km 1+380. Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006) .....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 24: Análisis de estabilidad de talud con banco simple, macizo rocoso</i>	
<i>disturbado-etapa construcción, condición Pseudo-estática, ubicado en la progresiva km 1+380. Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006) .....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 25: Análisis de estabilidad de talud con banco simple, macizo rocoso</i>	
<i>disturbado-etapa construcción, condición estática, ubicado en la progresiva km 3+280. Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006) .....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 26: Análisis de estabilidad de talud con banco simple, macizo rocoso</i>	
<i>disturbado-etapa construcción, condición Pseudo-estática, ubicado en la progresiva km 3+280. Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006) .....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 27: Análisis de estabilidad de talud con banco doble, macizo rocoso</i>	
<i>disturbado-etapa construcción, condición estática, ubicado en la progresiva km 1+380. Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006) .....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 28: Análisis de estabilidad de talud con banco doble, macizo rocoso</i>	
<i>disturbado-etapa construcción, condición Pseudo estática, ubicado en la progresiva km 1+380. Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006) .....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 29: Análisis de estabilidad de talud con banco doble, macizo rocoso</i>	
<i>disturbado-etapa construcción, condición estática, ubicado en la progresiva km 3+280. Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006) .....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 30: Análisis de estabilidad de talud con banco doble, macizo rocoso</i>	
<i>disturbado-etapa construcción, condición Pseudo-estática, ubicado en la progresiva km 3+280. Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006) .....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 31: Análisis de estabilidad de talud con perfil natural, macizo rocoso no</i>	
<i>disturbado-etapa operación, condición estática, ubicado en la progresiva km 1+380.</i>	

<i>Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006).....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 32: Análisis de estabilidad de talud con perfil natural, macizo rocoso no disturbado-etapa operación, condición Pseudo-estática, ubicado en la progresiva km 1+380. Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006).....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 33: Análisis de estabilidad de talud con perfil natural, macizo rocoso no disturbado-etapa operación, condición estática, ubicado en la progresiva km 3+280. Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006).....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 34: Análisis de estabilidad de talud con perfil natural, macizo rocoso no disturbado-etapa operación, condición Pseudo-estática, ubicado en la progresiva km 3+280. Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006).....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 35: Análisis de estabilidad de talud con banco simple, macizo rocoso no disturbado-etapa operación, condición estática, ubicado en la progresiva km 1+380. Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006).....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 36: Análisis de estabilidad de talud con perfil natural, macizo rocoso no disturbado-etapa operación, condición Pseudo-estática, ubicado en la progresiva km 1+380. Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006).....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 37: Análisis de estabilidad de talud con banco simple, macizo rocoso no disturbado-etapa operación, condición estática, ubicado en la progresiva km 3+280. Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006).....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 38: Análisis de estabilidad de talud con banco simple, macizo rocoso no disturbado-etapa operación, condición Pseudo-estática, ubicado en la progresiva Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006).....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 39: Análisis de estabilidad de talud con banco doble, macizo rocoso no disturbado-etapa operación, condición estática, ubicado en la progresiva km 1+380. Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006).....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 40: Análisis de estabilidad de talud con banco doble, macizo rocoso no disturbado-etapa operación, condición Pseudo-estática, ubicado en la progresiva Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006).....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 41: Análisis de estabilidad de talud con banco doble, macizo rocoso no disturbado-etapa operación, condición estática, ubicado en la progresiva km 3+280. Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006).....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 42: Análisis de estabilidad de talud con banco doble, macizo rocoso no disturbado-etapa operación, condición Pseudo-estática, ubicado en la progresiva km 3+280. Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006).....</i>	<i>77</i>

<i>Figura 43: esquematización de Modelo. Fuente propia.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 44: Resultado de compresión simple (M1) Arenisca – Km 1+380 .Fuente: Laboratorio de mecánica de rocas UNSCH .....</i>	<i>86</i>
<i>Figura 45: Propiedades físicas de la roca (M1) Arenisca – km 1+380 .Fuente: Laboratorio de mecánica de rocas UNSCH .....</i>	<i>87</i>
<i>Figura 46: Ensayo de corte directo (M-1) Arenisca - km 1+380 .Fuente: Laboratorio de mecánica de rocas UNSCH.....</i>	<i>88</i>
<i>Figura 47: Ensayo de corte directo (M-1) Arenisca - km 1+380 .Fuente: Laboratorio de mecánica de rocas UNSCH.....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 48: Ensayo de compresión simple (M-2) Limolita - km 3+280 .Fuente: Laboratorio de mecánica de rocas UNSCH .....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 49: Propiedades físicas de la roca (M-2) Limolita - km 3+280 .Fuente: Laboratorio de mecánica de rocas UNSCH .....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 50: Ensayo de corte directo (M-2) Limolita - km 3+280 .Fuente: Laboratorio de mecánica de rocas UNSCH.....</i>	<i>92</i>
<i>Figura 51: Ensayo de corte directo (M-2) Limolita - km 3+280 .Fuente: Laboratorio de mecánica de rocas UNSCH.....</i>	<i>93</i>

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación, en la construcción de la Carretera Kimbiri-Kepashiato, tramo Cielo Punku-Quebrada Honda (km 1+000 al km 5+000), se encuentran zonas totalmente inestables, con presencia de rocas sedimentarias (Arenisca y Limolita), ubicadas en las progresivas km 1+380 y km 3+280 respectivamente. Para lo cual se tuvo que realizar un estudio geotécnico detallado, trabajos de campo (calicatas) y los respectivos Ensayos de Laboratorio, con aplicación de los softwares RocData v 4.0 y Slide en su versión 6.0, fijando condiciones geotécnicas estables, y los principales resultados son:

Valores del Ensayo de Corte Directo para la Arenisca su Cohesión = 0.93 kg/cm<sup>2</sup>, fricción = 23.4° y para la Limolita, su Cohesión = 0.61 kg/cm<sup>2</sup>, fricción = 21.2°. Cabe resaltar que, estos valores de Cohesión y fricción, corresponden a una superficie de discontinuidad. Con la aplicación del Software RocData v 4.0, se obtuvieron los valores de Resistencia equivalentes de Cohesión y Fricción, Arenisca Disturbado 299.5 KPa, 57.3° y Limolita 47.5 KPa, 34.5° y Arenisca No Disturbado 416.3 KPa, 63.7° y limolita 59.7 KPa, 45.9° respectivamente, utilizados en los cálculos de Factor de Seguridad (modelamiento numérico).

Para los trabajos de voladura de rocas se tomaron en cuenta el Índice RMR (Bienawski, 1989). Arenisca = 50 y Limolita = 40, los cuales se encuentran dentro de la clase de roca III, macizo de regular calidad.

Se ha realizado el Análisis de Estabilidad y el cálculo de Factor de Seguridad, como se muestra en la tabla N° 7, donde los resultados del Factor de seguridad (FS) con valores altos, cumplen con los criterios de estabilidad FS mín. Estático  $\geq 1.40$  y FS mín. (Pseudo)  $\geq 1.10$  que es la condición actual en la que se encuentra el talud, sin perturbaciones de voladura.

Las dos unidades litológicas (Arenisca y Limolita), junto con las propiedades asignadas a cada una de ellas, conforman el Modelo Geológico-Geotécnico, resulta

fundamental y ser aplicado para la planificación y diseño de campañas de investigación, previa a la ejecución de obras viales.

**Palabras claves:** Infraestructura vial, laderas por banqueo, rocas sedimentarias, taludes, modelo geológico-geotécnico.

## SUMMARY

The present work of investigation, in the construction of the Kimbiri-Kepashiato Road, stretch Sky Punku-Quebrada Honda (km 1 + 000 to km 5 + 000), are totally unstable zones, with presence of sedimentary rocks (Sandstone and Limolite) , located in the km 1 + 380 and km 3 + 280 respectively. For which a detailed geotechnical study had to be carried out, field works (test pits) and the respective Laboratory Tests, with application of the software RocData v 4.0 and Slide in its version 6.0, setting stable geotechnical conditions, and the main results are :

Values of the Direct Cut Test for the Sandstone its Cohesion = 0.93 kg / cm<sup>2</sup>, friction = 23.4° and for the Limolite, it's Cohesion = 0.61 kg / cm<sup>2</sup>, friction = 21.2°. It should be noted that, these values of Cohesion and friction, correspond to a discontinuity surface. With the application of Software RocData v 4.0, the equivalent values of Cohesion and Friction were obtained, Disturbed Sandstone 299.5 KPa, 57.3 ° and Limolite 47.5 KPa, 34.5 ° and Unperturbed Sandstone 416.3 KPa, 63.7° and silolite 59.7 KPa, 45.9 ° respectively, used in the calculations of the Safety Factor (numerical modeling).

For the rock blasting work, the RMR Index (Bienawski, 1989) was taken into account. Sandstone = 50 and Limolite = 40, which are within the rock class III, regular quality massif.

The Stability Analysis and the Safety Factor calculation have been carried out, as shown in Table N° 7, where the results of the Safety Factor (FS) with high values, meet the stability criteria  $FS_{min. Estatic} \geq 1.40$  and  $FS_{min. (Pseudo)} \geq 1.10$  which is the current condition in which the slope is located, with no blast disturbances.

The two lithological units (Arenisca and Limolita), together with the properties assigned to each of them, make up the Geological-Geotechnical Model, it is

fundamental and applied to the planning and design of research campaigns, prior to the execution of road works .

**Keywords:** Road infrastructure, hillside banking, sedimentary rocks, slopes, geological-geotechnical model.

## **Capítulo 1**

### **INTRODUCCIÓN**

Las Empresas ejecutoras de proyectos de infraestructura vial (carreteras), a menudo realizan en la construcción de carreteras la excavación de materiales de corte (Roca suelta, roca fija), sin cumplir las Normas y especificaciones de construcción de carreteras, dejando taludes sin banquetas con más de 15 – 20 m de altura.

Estos criterios son con frecuencia por el ahorro económico y mayores tiempos de ejecución.

El presente trabajo de Tesis “Modelo Geológico-Geotécnico para definir excavación de laderas por banqueo en rocas sedimentarias para obras viales”, es para plasmar bajo un sistema de explotación de banquetas de arriba hacia abajo a partir de 10-12 m. de altura del talud. Con el uso adecuado de un sistema de perforación y voladura de rocas, y el respectivo análisis de estabilidad de taludes tanto en construcción y operación, previamente con estudios geotécnicos, por lo que no dejará bloques inestables, colgados, fracturados, cuñas, etc., o cualquier tipo de inestabilidad que genere un riesgo físico de caída de bloques hacia la vía y que atente con la seguridad física de las personas y vehículos que por ella transitarán.

#### **1.1. Situación problemática**

En la construcción de carreteras, los taludes constituyen hoy una de las estructuras ingenieriles que exigen mayor cuidado. En la actualidad se tienen problemas con el desprendimiento y caída de bloques de roca, que quedan colgado en el talud después del disparo; por aplicación de un método de voladura no adecuado. Para este tipo de trabajos, se necesita de un modelo Geológico-Geotécnico que debe considerar parámetros como son: peso unitario del terreno, resistencia de la roca,

discontinuidades, factor de carga (explosivos), y propiedades físicas de la roca, etc., a fin de obtener taludes estables por banqueo, ya que en la actualidad estos trabajos se realizan empíricamente.

## **1.2. Formulación del problema.**

A partir de la importancia de uso público de las obras viales; en cuanto a la seguridad de los usuarios; y por lo dicho anteriormente nos permite formular las interrogantes de investigación, que a continuación haremos mención.

### **1.1.1. Problema principal**

- ¿Cómo se realizarán las excavaciones de laderas por banqueo en rocas sedimentarias, en la construcción de obras viales, aplicando un modelo Geológico-Geotécnico?

### **1.1.2. Problema secundario**

- ¿Cómo se realizarán las excavaciones de laderas por banqueo en rocas sedimentarias haciendo uso de explosivos, con diseños de taludes de acuerdo a las características geomecánicas del macizo rocoso, en el trazo de la carretera Kimbiri Kepashiato, tramo Cielo Punku - Quebrada Honda?
- ¿Cómo se realizarán las excavaciones de laderas por banqueo en rocas sedimentarias tomando en cuenta las vibraciones producidas por el uso de explosivos?
- ¿Cómo se realizarán las excavaciones de laderas por banqueo en rocas sedimentarias tomando en cuenta los aspectos climáticos de la zona?

## **1.3. Justificación**

Si aplicamos un modelo Geológico - Geotécnico, apuntan directamente a la durabilidad del talud, esto a su estabilidad a lo largo del tiempo. Es decir, deberá

pronosticarse un modelo geológico - geotécnico. .

La presente Tesis tiene una justificación práctica, por los siguientes aspectos:

**Técnico.-** Se realizarán un análisis de estabilidad de taludes en los dos tipos de rocas sedimentarias (Limolita, Arenisca), trazos de perforación, cálculo de carga adecuada para cada tipo de roca, de acuerdo a las características geomecánicas del macizo rocoso.

**Económico.-** Tendrá mayores costos, por el modelo del proceso constructivo.

**Seguridad.-** En los taludes excavados, no se deberá dejar bloques inestables, colgados, fracturados, cuñas.

**Clima.-** Estos trabajos se deben realizar en épocas de verano.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo General**

Definir un Modelo Geológico-Geotécnico, para la excavación de laderas por banqueo en rocas sedimentarias, en la construcción de obras viales.

### **1.4.2. Objetivo Específico**

- a. Evaluar los aspectos climáticos de la zona para la correcta realización de las excavaciones de laderas por banqueo en rocas sedimentarias.
- b. Diseñar las excavaciones de laderas por banqueo en rocas sedimentarias tomando en cuenta las vibraciones producidas por el uso de explosivos.
- c. Aplicar el uso de explosivos de acuerdo a las características geomecánicas del macizo rocoso con diseños de talud adecuados, en la realización de las excavaciones de laderas por banqueo en rocas sedimentarias que nos de una estabilidad física adecuada.
- d. Realizar análisis de estabilidad de taludes de los macizos (Arenisca,

Limolita).

### **1.4.3. Hipótesis principal**

Con el modelo Geológico - Geotécnico en la excavación de laderas por banqueo en rocas sedimentarias en obras viales se estaría garantizando la seguridad física en la vía para vehículos y personas, evitando una situación de inestabilidad.

### **1.4.4. Variables**

#### **- Independiente.**

Intervención geotécnica, parámetros de resistencia de rocas, factores geométricos del talud.

#### **- Dependiente.**

Factor de Seguridad, Factor de carga del explosivo.

## **Capítulo 2**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Unidad de Investigación**

El área del presente estudio “ Construcción de la Carretera Kimbiri-Kepashiato, tramo Cielo Punku - Quebrada Honda (km 1+000 al km 5+000) , se encuentra ubicado en la parte oeste del departamento de Cusco, provincia de La Convención, distrito de Echarati. La zona de estudio está comprendida entre las coordenadas UTM: 8584473 N y 662520 E en el punto de inicio del tramo, y las coordenadas 8584479 N y 665995 E del punto en la progresiva del Km: 5+000 aproximadamente.

Las unidades litológicas en estudio pertenecen a la formación geológica del Complejo Metamórfico del Precámbrico, grupo San José.

#### **2.2. Antecedentes de Investigación**

##### **2.2.1. A nivel Nacional**

En el ámbito nacional, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, a través del Proyecto Especial de Infraestructura de Transporte Nacional –PROVIAS NACIONAL–MTC, contrató los servicios del Consorcio CES-HIDROENERGÍA para desarrollar el Estudio Complementario de Estabilidad de Taludes y Adecuación del Expediente Técnico de la Carretera Tingo María –Aguaytía, tramo: Km. 15+200 –Km 51+ 551.

El proyecto atraviesa varias zonas geológicamente inestables entre las cuales se encuentran las de mayor relevancia que son los Sectores Críticos Las Vegas, El Huanuqueño y Aguaytía. Dentro de los alcances del presente estudio está contemplado evaluar desde el punto de vista técnico económico las alternativas de

solución propuestas para los tres sectores críticos.

**2.1.1.1. Ubicación.** El proyecto se ubica en los departamentos de Huánuco y Ucayali en la región central del territorio peruano. La carretera en estudio es un tramo de la vía que une las localidades de Tingo María y Aguaytía.



Figura 1: Ubicación del proyecto. Fuente: PROVIAS NACIONAL –MTC.

**La Carretera:** Inicio: Km. 15+200 (Después del Puente Pumahuasi) Final: Km. 51+551 (Después del Puente Chino)

- **Los Puntos Críticos:**

Las Vegas : Km. 22+800 al Km. 23+900

El Huanuqueño : Km. 46+867 al Km. 47+100

Aguaytía : Km. 50+340 al Km. 50+430

- **Sector crítico Las Vegas**

La zona inestable Las Vegas se caracteriza por la presencia de un material de alta susceptibilidad a la erosión por la acción de las aguas de escorrentía

superficial y profunda (Alva, Olazábal, Silva, García, 2006).

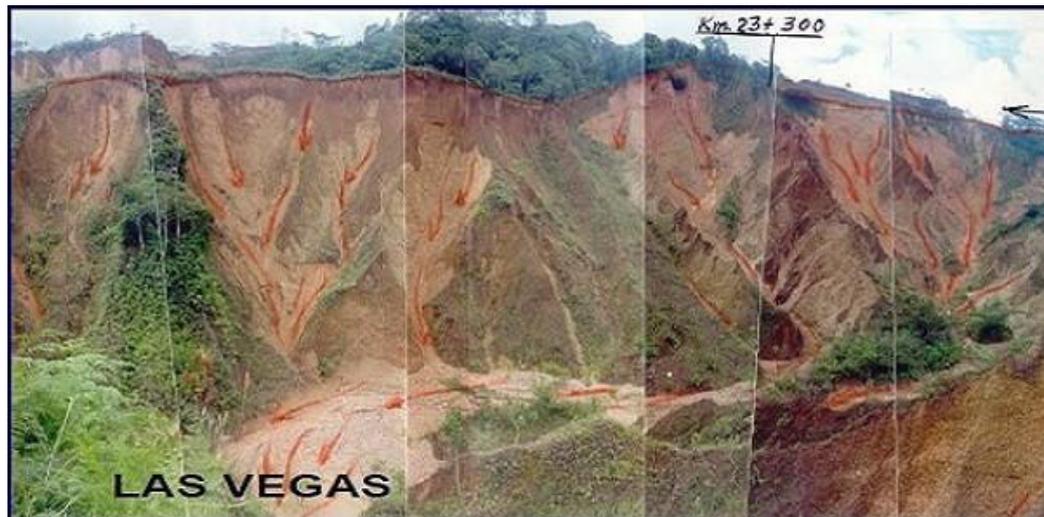


Figura 2: Las Vegas. Fuente: PROVIAS NACIONAL –MTC.

- **Sector crítico El Huanuqueño**

En este sector los cortes de los taludes de la carretera involucran rocas sedimentarias del Terciario pertenecientes al Grupo Huayabamba constituidas por arcillitas y limolitas de color marrón rojizo, las cuales debido a procesos continuos de humedecimiento y secado, se han alterado y meteorizado originando la formación de una capa de material residual. En la parte superior del corte existe material coluvial saturado, que eventualmente origina avenidas de flujos de lodo de gran volumen (Alva et al., 2006).

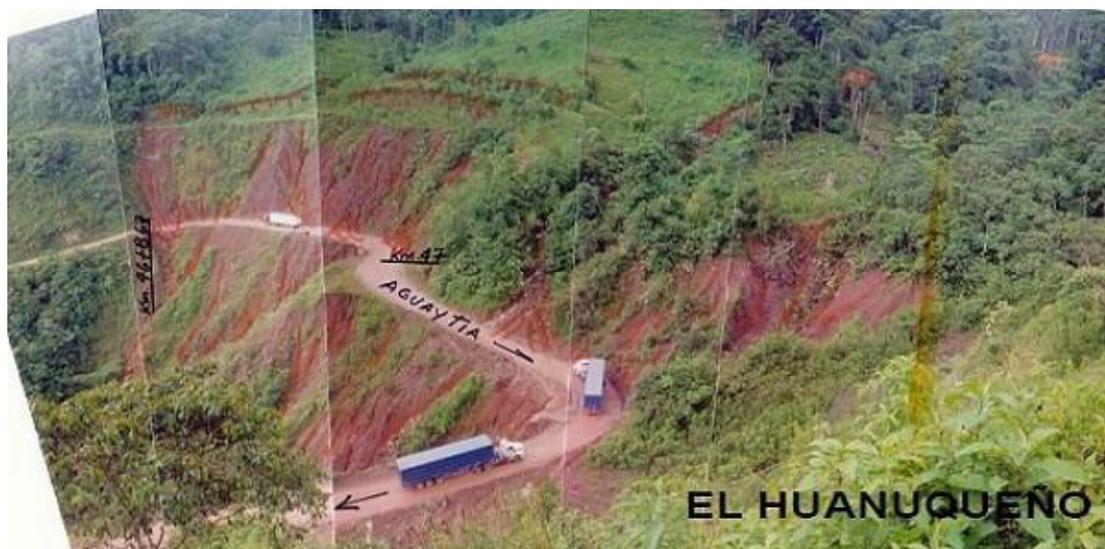


Figura 3: El Huanuqueño. Fuente: PROVIAS NACIONAL –MTC.

- **Sector crítico deslizamiento potencial**

En esta zona se presenta un deslizamiento de tipo rotacional cuyas primeras manifestaciones de su actividad geodinámica se iniciaron hace 4 años atrás, con desplazamientos lentos tipo reptación, acompañados de flujos de lodo, por ostentar características litológicas de naturaleza arcillosa en proceso de saturación. Sobre el cuerpo del deslizamiento discurre una quebrada de tipo torrencial con caudal moderado que contribuye de manera significativa a generar inestabilidad (Alva et al., 2006).



Figura 4: **Aguaytía**. Fuente: PROVIAS NACIONAL –MTC.



*Figura 5: Talud inestable Tramo carretera Mazamari-Puerto Ocopa. Fuente: propia.*

El Proyecto Tingomaría- Aguaytía, involucró rocas sedimentarias del Terciario pertenecientes al Grupo Huayabamba constituidas por arcillitas y limolitas de color marrón rojizo, las cuales debido a procesos continuos de humedecimiento y secado, se han alterado y meteorizado originando la formación de una capa de material residual.

Después de evaluar las alternativas planteadas por el Consorcio CES-Hidroenergía propuso las siguientes medidas de mitigación.

Realizar cortes con un talud 0.5H:1V, con banquetas de 5 m cada 10 m de altura y cunetas de drenaje al pie de cada talud. Para drenar la escorrentía superficial de los taludes de corte, se propone la construcción de cunetas triangulares en cada banqueta, las cuales serán revestidas con geomanta, gravilla y bitumen.

A nivel de la vía se mantiene el badén propuesto por el consorcio, se ha implementado un muro de concreto en el borde inferior de éste.

El drenaje de escorrentía superficial de la parte superior del talud se realizará mediante dos canales colectores revestidos con una geomanta y una capa gravilla.

Para disminuir el poder erosivo y de arrastre de las quebradas se plantea la construcción de diques de gaviones en el sector talud aguas arriba de la vía.

Para el control de la erosión del talud abajo de la carretera se propone la instalación de una geomanta para facilitar el proceso de revegetación con especies nativas de la zona.

Para el caso de inestabilidad de talud en el tramo de la carretera Mazamari-Puerto Ocopa, se propone realizar cortes con banquetas cada 15 m de altura y de esa forma dar mayor seguridad en la vía.

### **2.2.2. A nivel Internacional**

Los deslizamientos de laderas, desprendimientos de rocas y aludes de nieve son algunos de los procesos geológicos más comunes en la superficie de la Tierra. Forman parte del ciclo natural del terreno ya que la erosión y la gravedad actúan constantemente para transportar materiales de las zonas más altas hacia abajo.

- ***Características del terreno.*** Los lugares montañosos con pendientes fuertes son los que con más facilidad sufren deslizamientos, aunque en ocasiones pendientes de muy pocos grados son suficientes para originarlos si la roca está muy suelta o hay mucha agua en el subsuelo.
- ***Condiciones climáticas.*** En las regiones lluviosas suele haber espesores grandes de materiales alterados por la meteorización y el nivel freático suele estar alto, lo que en conjunto facilita mucho los deslizamientos. Las lluvias intensas son el principal factor desencadenante de deslizamientos en España.
- ***Macizos rocosos con fallas y fracturas.*** Tienen especial importancia en los desprendimientos. En España la mayoría de las caídas de rocas y otros materiales tiene lugar en lugares en los que el terreno tiene abundantes

fracturas y se ha ido produciendo erosión en la base de sus laderas. En estos lugares cuando llueve intensamente con facilidad se pueden producir desprendimientos.

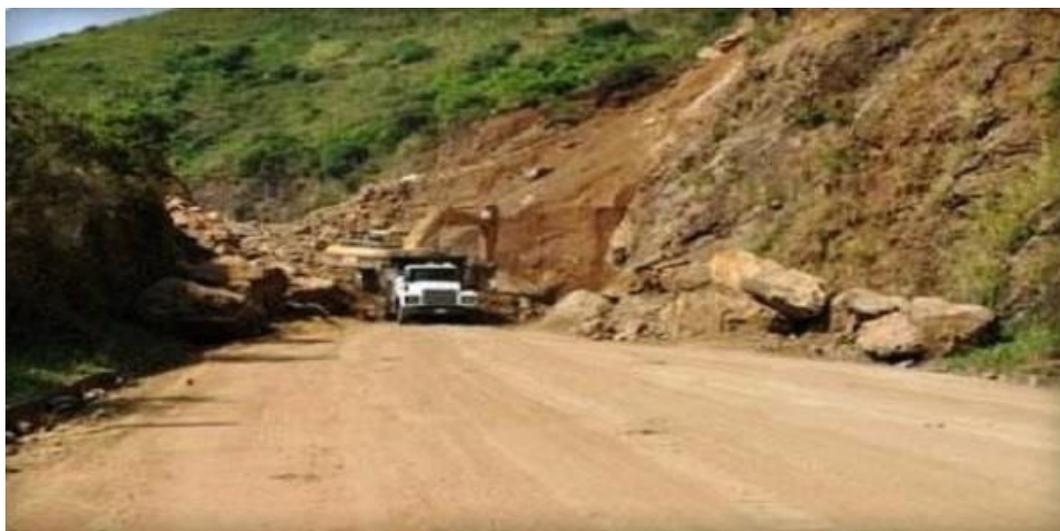
- **Erosión.** Los ríos, el mar u otros procesos van erosionando la base de las laderas y provocan gran cantidad de deslizamientos. En las costas españolas estos fenómenos son muy comunes y provocan el retroceso de los acantilados, sobre todo en las costas del Atlántico, en Canarias y en Baleares.
- **Expansividad de las arcillas.** Las arcillas tienen la propiedad de que al empaparse de agua aumentan su volumen. Esto supone que los terrenos arcillosos en climas en los que alternan periodos secos con otros húmedos se deforman y empujan taludes, rocas, carreteras, etc. provocando deslizamientos y desprendimientos.
- **Acciones antrópicas.** Los movimientos de tierras y excavaciones que se hacen para construir carreteras, ferrocarriles, edificaciones, presas, minas al aire libre, etc. rompen los perfiles de equilibrio de las laderas y facilitan desprendimientos y deslizamientos. Además normalmente se quitan los materiales que están en la base de la pendiente que es la zona más vulnerable y la que soporta mayores tensiones lo que obliga a fijar las laderas con costosos sistemas de sujeción y a estar continuamente rehaciendo las vías de comunicación en muchos lugares.

**2.1.2.1. Deslizamientos y desprendimientos en España.** La mayoría de las veces los movimientos de laderas no son muy espectaculares ni catastróficos, pero si son frecuentes y afectan a vías de comunicación y al transporte. Las pérdidas económicas anuales por estos fenómenos son de más de 30 000 millones de pesetas y todos los años entre 10 y 20 personas son víctimas de estos movimientos. En 1874 un gran desprendimiento mató a 100 personas en Azagra (Navarra), una población situada bajo una gran pared rocosa que ha sufrido varios desprendimientos importantes. Ejemplos de ciudades y pueblos construidos junto a farallones y paredes rocosas que sufren por estos procesos son frecuentes en la geografía española. Hay riesgo de deslizamientos y desprendimientos, prácticamente todo el territorio español. En algunos casos,

como en el valle del Guadalquivir, son frecuentes los deslizamientos pequeños pero que dañan las carreteras y las vías de comunicación. En las zonas montañosas, como los Pirineos, y las cordilleras Cantábrica, Bética e Ibérica, es donde se producen los movimientos mayores en los que se movilizan millones de metros cúbicos de materiales.



*Figura 6: Falla de talud, Guadalquivir. Fuente: Diario Navarra-España.*



*Figura 7: Talud Inestable. Fuente: Deslizamiento, Antioquía-Colombia.*



*Figura 9: Talud Inestable. Fuente: Barichara, Guane-Colombia.*



*Figura 8: Deslizamiento, Fuente: Tantará-Cerro Sanco*



*Figura 10: El material desprendido, Chile. Fuente: Gentileza Vialidad Nacional.*

### **2.3. Bases teóricas**

La importancia del estudio de las rocas, radica en que constituyen documentos geológicos que nos revelan el ambiente geológico en que se formaron y los procesos geológicos que la han afectado, es decir la historia de la tierra (Rivera, 2005).

#### **2.3.1. Estructura de las Rocas**

Se entiende por estructura de una roca el aspecto que presenta en la superficie, así como el conjunto de caracteres físicos como forma de presentación y disposición de los minerales, por ejemplo, mantos, estratos, derrames, disyunción esferoidal, disyunción columnar, diques, etc.

#### **2.3.2. Rocas Sedimentarias**

Todas las rocas que afloran sobre la superficie terrestre están expuestas a los ataques de los agentes meteóricos y a la acción de los organismos. Esto altera a las rocas preexistentes, lo que deja como resultado materiales residuales y fragmentos de rocas inconsolidadas, a los cuales se le conoce como sedimentos. Estos materiales en

forma de partículas sólidas, en suspensión y en solución se depositan en cuencas sedimentarias, a temperaturas y presiones ordinarias, y que, por los procesos de litificación y la diagénesis, que se efectúan en los fondos marinos, lagos, etc, se convierten en rocas endurecidas llamadas rocas sedimentarias. Por tanto los productos de la meteorización mecánica y química constituyen la materia prima para este tipo de roca (Rivera, 2005).

Los mayores procesos diagenéticos se pueden agrupar en cinco categorías oxidación-reducción, autigénesis, cementación, difusión y compactación. El proceso diagenético más importante es la cementación mediante el cual las rocas se convierten en rocas sedimentarias (Rivera, 2005).

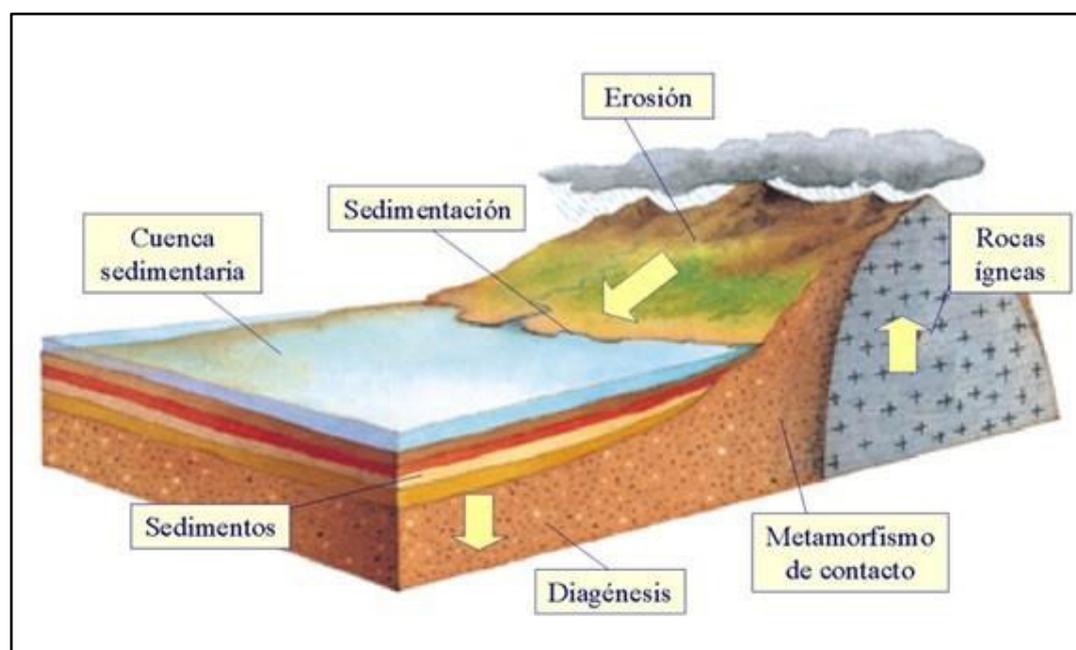


Figura 11: Procesos de formación de las rocas sedimentarias. Fuente. (Rivera, 2005).

### 2.3.3. Clasificación de las rocas sedimentarias

Las rocas sedimentarias se han clasificado atendiendo principalmente a su origen: Puede ser detríticas, químicas y bioquímicas. De acuerdo con su textura; pueden ser del tipo clástico y no clástico; se clasifican también por su composición o tamaño de grano.

Tabla 1: **Rocas Sedimentarias**. Fuente. (Rivera, 2005).

ORIGEN	TEXTURA	TAMAÑO DE GRANO O COMPOSICION	NOMBRE
Detrítico	clástico	Cantos, gravas	conglomerado
		Arena	Arenisca
		Limo	Limolita
		Arcilla	Lutita
Químico inorgánico	No clástico	Calcita	Caliza
		Dolomita	Dolomia
		Halita	Sal
		Yeso	Yeso
Bioquímico	clástico	Calcita	Caliza
	No clástico	Organismo	Carbón

El tamaño de una partícula puede describirse de acuerdo a la escala de Wentworth: Canto rodado más de 64mm, guijarro, de 4mm a 64mm, gránulo, de 2mm a 4mm, arena, de 1/16 mm a 2mm, limo de 1/256mm a 1/16mm y arcilla menos de 1/256mm.

- **Rocas Detríticas o Clásticas.** Están formadas por sedimentos resultantes de la desintegración o destrucción mecánica de las rocas preexistentes, que estuvieron situadas en diferentes lugares, habiendo sido transportadas hasta el lugar en la que se encuentran actualmente. Estos sedimentos pueden ser grava, cantos rodados, arenas y arcillas, que al ser litificados, dan lugar a los conglomerados, areniscas y lutitas.
- **Rocas No Clásticas.** Estas rocas son más difíciles de clasificar debido a que difieren en textura, composición y condiciones en su deposición (Rivera, 2005).



*Figura 12: Rocas o sedimentos clásticos. Fuente. Propia*

#### **2.3.4. Taludes**

Se entiende por talud a cualquier superficie inclinada respecto de la horizontal que hayan de adoptar permanentemente las estructuras de tierra. No hay duda que el talud constituye una estructura compleja de analizar debido a que en su estudio coinciden los problemas de mecánica de suelos y de mecánica de rocas, sin olvidar el papel básico que la geología aplicada desempeña en la formulación de cualquier criterio aceptable.

Cuando el talud se produce de forma natural, sin intervención humana se denomina ladera natural o simplemente ladera (De Matteis, 2003).

Las obras de infraestructura lineal (carreteras y ferrocarriles), canales, conducciones, explotaciones mineras, y en general cualquier construcción que requiera una superficie plana en una zona de pendiente, o alcanzar una profundidad determinada por debajo de la superficie, precisan la excavación de taludes.

Los taludes se construyen con la pendiente más elevada que permite la resistencia del terreno, manteniendo unas condiciones aceptables de estabilidad.

El diseño de taludes es uno de los aspectos importantes de la ingeniería civil pues está presente en la mayoría de las actividades constructivas. En general los taludes en ingeniería civil alcanzan alturas máximas de 40 a 50m y se proyectan para ser estables a largo plazo (Gonzales De Vallejo, 2006).

### **2.3.5. Deslizamientos**

Los deslizamientos son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daño en las propiedades por valor de decenas de billones de dólares cada año (Brabb, 1989). Sin embargo, muy pocas personas son conscientes de su importancia. El 90% de las pérdidas por deslizamientos son evitables si el problema se identifica con anterioridad y se toman medidas de prevención o control. Las zonas montañosas tropicales son muy susceptibles a sufrir problemas de deslizamientos de tierra debido a que generalmente, se reúnen cuatro de los elementos más importantes para su ocurrencia tales como son la topografía, sismicidad, meteorización y lluvias intensas.

Aplicados a los suelos y material superficial se refiere al movimiento lento hacia abajo de tipo plástico por pérdida de la estabilidad.

### **2.3.6. Modelo Geológico-Geotécnico**

El Modelo Geológico-Geotécnico, permite al Ingeniero comprender mejor las condiciones reinantes en un determinado lugar, además de identificar los principales problemas geotécnicos y hacer más realista la estimación de propiedades del suelo.

### **2.3.7. Laderas por Banqueo**

Métodos típicos para carreteras y autopistas, son los cortes que normalmente se efectúan de una sola vez, cuando la altura del corte se limita a 10 o 12 mts. y por etapas cuando es mayor.

### **2.3.8. Obras Viales**

Se considera como obras viales a las carreteras de toda categoría y a las férreas. En su construcción y mantenimiento es frecuente el uso de explosivos.

### **2.3.9. Factores Influyentes en la estabilidad**

La estabilidad de un talud está determinada por factores geométricos (altura e inclinación), factores geológicos (que condicionan la presencia de planos y zonas de debilidad y anisotropía en el talud), factores hidrogeológicos (presencia de agua) y factores geotécnico o relacionados con el comportamiento mecánico del terreno (resistencia y deformabilidad).

La combinación de los factores citados puede determinar la condición de rotura a lo largo de una o varias superficies, y que sea cinemáticamente posible el movimiento de un cierto volumen de masa de suelo o roca. La posibilidad de rotura y los mecanismos y modelos de inestabilidad de los taludes están controlados principalmente por factores geológicos y geométricos.

## **Capítulo 3**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y Diseño de Investigación**

La metodología para lograr los objetivos de esta investigación se atiende tomando en cuenta las características particulares del problema en estudio. Por consiguiente, se hará uso de herramientas de diseño para la obtención de diseños aceptables y que sean estables en el tiempo, permitiendo resolver el problema con la suficiente exactitud, complementándose con medios informáticos y softwares.

##### **3.1.1. Tipo de Investigación**

Esta enmarcado dentro de de la investigación denominada Investigación Aplicada, porque es objeto de la realidad concreta que se da en tiempo y espacio, es de interés social, tiene fundamento en la investigación básica.

##### **3.1.2. Nivel de la Investigación**

Se realiza la investigación para plantear propuestas para una realidad concreta, para conocer sus resultados y consecuencias, en este caso proponer un Modelo Geológico-Geotécnico que definirá las excavaciones en taludes para mejorar su estabilidad en obras de infraestructura vial.

##### **3.1.3. Diseño**

El diseño de la investigación empleado para desarrollar los objetivos planteados, se clasifica como investigación de campo, es descriptivo, exploratorio y explicativo.

## 3.2. Técnicas de excavación de laderas por banqueo

La excavación de laderas por banqueo, los taludes se realizará adecuadamente para no dañar su superficie final, evitando la descompresión y contrarrestando cualquier otra causa que pueda comprometer la estabilidad de la excavación final.

Se deberá considerar en los costos, la preparación y excavación de los accesos hacia las partes altas de los taludes donde se ubica las banquetas de perforación y voladura, así mismo el ancho del acceso que estaría de acuerdo al equipo a utilizar y que sería de donde empezará la excavación bajo el sistema de arriba hacia abajo, considerando previamente el angulo de los taludes.

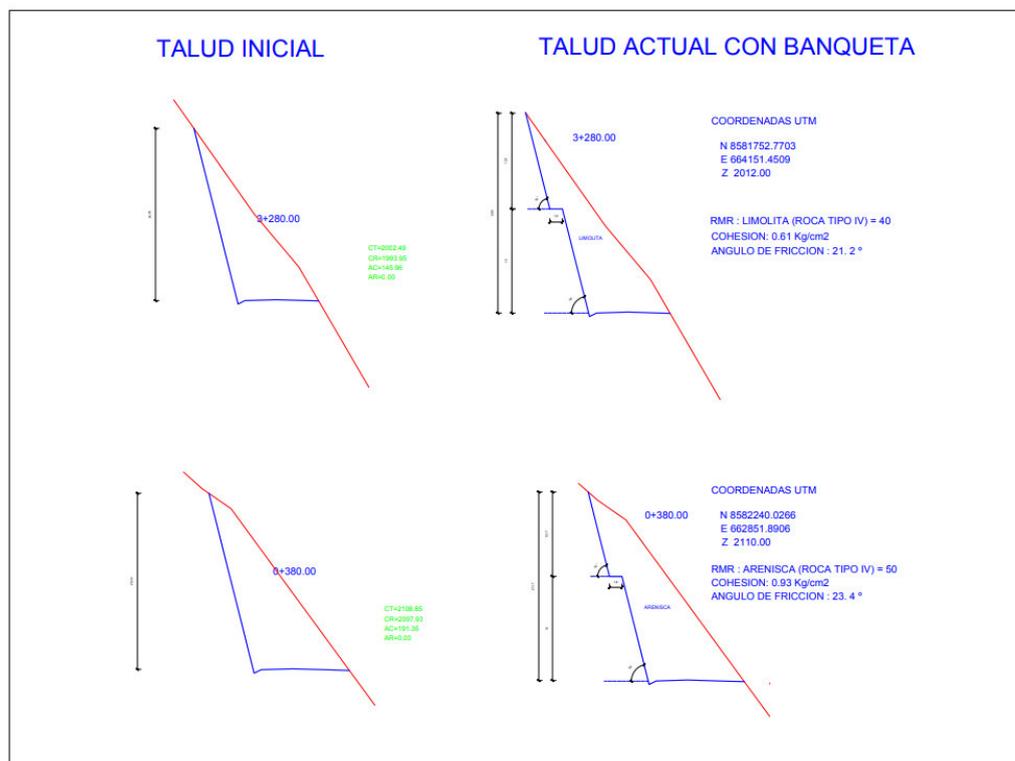


Figura 13: Talud inicial y talud actual. Fuente. Propia

### 3.2.1 Tipos de perforación y voladura realizadas

Se considera dos tipos: Perforación Manual y Mecanizado.

**3.2.1.1 Perforación manual.** Se realizarán en las partes altas de la sección

del corte de la ladera, hasta alcanzar una plataforma adecuada (trochado), respetando las normas del diseño de banquetas. Para ello se empleará Compresora portátil de 375 PCM ,02 martillos neumáticos RH-658 (Jack-Hammer), con sus respectivos accesorios (barrenos integrales hexagonales de 3, 5 y 8 pies de longitud respectivamente, mangueras de alta presión de 1 pulg. de diámetro, personal (02 perforistas y 02 ayudantes perforistas).



*Figura 14: Perforación manual con martillos neumáticos en la progresiva km 3+280 en la cresta del talud roca limolita. Fuente. Propia*

**3.2.1.2 Perforación Mecanizada.** Se empleó un track-drill Neumático con una compresora 750 PCM, en plataformas adecuadas, utilizando barras de perforación T-38 con sus respectivas brocas de 2.5 pulgadas de diámetro, personal (01 perforista y ayudante). Esta perforación se realizará hasta alcanzar la subrazante de la carretera con banquetas.



*Figura 15: Perforación mecanizada en la progresiva km 1+380, con compresora neumática 750 pcm, roca arenisca. Fuente. Propia*

### 3.2.2 Voladura

Los parámetros considerados para el diseño de voladura en la excavación de laderas con banquetas, son:

**3.2.2.1 Parámetros Invariables:** las características físicas de las rocas sedimentarias (Arenisca, Limolita), densidad, dureza, coeficientes de resistencia a deformación y rotura.

**3.2.2.2 Parámetros Controlables:**

- Geométricos: altura, ancho y largo del banco, talud, burden.
- De perforación: Diámetro y longitud del taladro, malla.
- De carga: Densidad, columna explosiva, longitud de taco.
- De tiempo: Tiempos de retardo entre taladros, secuencia de salida de los disparos.

Todos los parámetros Controlables o variables, en la práctica generalmente se

calculan con relaciones prácticas según Langefors.

**Ejemplo.**

Para la malla de perforación, el cálculo de Burden y Espaciamiento es el siguiente:

**Burden (B):** Usualmente se considera igual al diámetro del taladro en pulgadas expresado en metros.

1 pulg.  $\varnothing$  = 1 mt.

$B \text{ (m)} = \varnothing \text{ (pulg)}$

**Espaciamiento (E):** Es la distancia entre los taladros de una misma fila normalmente es igual al Burden para malla cuadrada, y de 1.3 (B) a 1.5 (B) para malla alterna o rectangular.

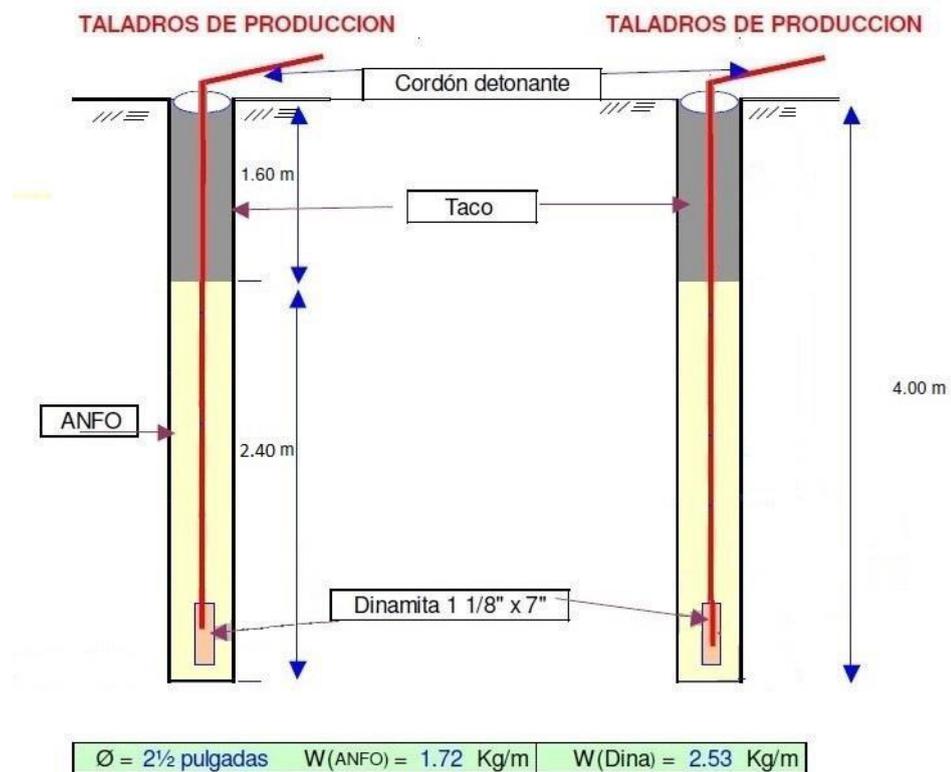


Figura 16: Diseño de voladura. Fuente. Propia.

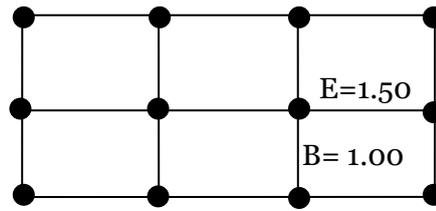


Figura 17: Malla de perforación. Fuente. Propia.

**Parámetros de Carga Promedio Utilizados para las 02 unidades litológicas (Arenisca y Limolita).**

Factor de Carga:= 0.4 kg/m<sup>3</sup>

Dinamita semigelatina= 65%

Diámet. Cart. = 1 1/8"

Long. Cart. =7"

Densidad del explosivo =1.16 gr/cm<sup>3</sup>

Densidad del Anfo =0.85 kg/m<sup>3</sup>

Peso del explosivo / talad = 5.08 kg/ tal

Cordón detonante = 0.90 mt/m<sup>3</sup>

Iniciador = 01 booster

Los resultados de estos parámetros se aplican en el Software de voladura y nos da los costos de perforación y voladura por \$/ M<sup>3</sup>. como se muestra en el Anexo 2.

### 3.3. Perfilado y limpieza de escombros

Para realizar estos trabajos después de la perforación y voladura de rocas, se emplean una excavadora Cat 320 sobre oruga y un tractor D7R, para perfilado de talud y remoción de escombros.



*Figura 18: Limpieza de material con fragmentación apropiada después de la voladura, con factor de carga 0.3 kg/m<sup>3</sup>, en la progresiva km 1+380 (doble banqueo de talud) roca limolita y arenisca. Fuente. Propia.*

### **3.4. Criterios de aceptabilidad**

#### **3.4.1. Norma Peruana de Carreteras.**

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones en su calidad de órgano rector a nivel nacional en materia de transporte y tránsito terrestre, es la autoridad competente para dictar las normas correspondientes a la gestión de la infraestructura vial y fiscalizar su cumplimiento. La Dirección General de Caminos y Ferrocarriles es el órgano de línea de ámbito nacional encargada de normar sobre la gestión de la infraestructura de caminos, puentes y ferrocarriles; así como de fiscalizar su cumplimiento. El Manual de “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” forma parte de los Manuales de Carreteras establecidos por el Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial aprobado por D.S. N° 034-2008-MTC y constituye uno de los documentos técnicos de carácter normativo, que rige a nivel nacional y es de cumplimiento obligatorio por los órganos responsables de la gestión de la infraestructura vial de los tres niveles de gobierno: Nacional,

Regional y Local. El Manual de “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” tiene por finalidad uniformizar las condiciones, requisitos, parámetros y procedimientos de las actividades relativas a las obras de infraestructura vial, con el propósito de estandarizar los procesos que conduzcan a obtener los mejores índices de calidad de la obra, que a su vez tienen por objeto prevenir y/o evitar las probables controversias que se generan en la administración de los contratos. El presente Manual de “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” básicamente constituye una actualización del Manual de Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras (EG-2000), y está organizado en capítulos y secciones que abarcan las diferentes actividades o partidas y materiales empleados en la ejecución de las obras viales.

En síntesis, el proceso de estudio en la fase del reconocimiento es una sucesión de ensayos, pruebas y aproximaciones, en las que se evalúan y ponderan las diversas alternativas, investigando y considerando todas las soluciones posibles. El conocimiento técnico, experiencia y buen criterio, ayudarán a encontrar la solución adecuada.

Las características geotécnicas de los materiales que pueden presentarse a lo largo del emplazamiento de una carretera son variadas, pudiendo experimentar cambios radicales entre sectores muy próximos. No es posible, por lo tanto, definir a priori un procedimiento de estudio de tipo general. En consecuencia, deberá ser el ingeniero especialista quien vaya definiendo, en las diversas etapas, los estudios específicos que deberán ejecutarse (MTC, 2018)

Los criterios utilizados para aceptar el grado de estabilidad de los taludes existentes, han sido considerados de acuerdo a los requerimientos del proyecto para este tipo de obras. Diferenciando los Criterios de Estabilidad de Factor de Seguridad para la condición Estática; y asimismo la Pseudo Estática; en la Tabla N°7 se presenta el listado de los criterios de rotura utilizados para el modelamiento.

## Capítulo 4

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Metodología del Análisis de Estabilidad Física de Taludes

El análisis de estabilidad de taludes para el área del proyecto fue desarrollado utilizando el software *Slide* en su versión 6.0, perteneciente a la firma *Rocscience*, el cual permite al usuario calcular la estabilidad del talud por el método de equilibrio límite (LEM) para buscar la superficie potencial de falla, es decir, la superficie con menor valor de factor de seguridad.

Para el Método de Equilibrio Limite (LEM) se consideran superficies de fallas de tipo circular que atraviesen el material litológico (macizo rocoso), asumiendo las condiciones más desfavorable, a fin de ser lo convenientemente conservador en la obtención del Factor de Seguridad (FS). Se utilizó el método de Spencer para evaluar las potenciales superficies de falla. Este método cumple con el equilibrio de fuerzas y momentos total del talud, aplicable para cualquier geometría de falla.

El análisis de estabilidad de taludes por el método de Equilibrio Límite, se basan exclusivamente en las leyes de la estática para determinar el estado de equilibrio de una masa de terreno potencialmente inestable. No tienen en cuenta las deformaciones del terreno; y suponen que la resistencia al corte se moviliza total y simultáneamente a lo largo de toda la superficie de corte.

#### 4.2. Presentacion de Resultados

Para el cálculo del FS se ha decidido trabajar con los valores de resistencia al corte global del macizo rocoso a través de sus parámetros  $c$  y  $\phi$  equivalentes del criterio de falla de Mohr-Coulomb. Sin embargo, estos valores calculados a partir de la

linealización de la curva del criterio de falla de Hoek-Brown generalizada, puede llevar a sobreestimar los parámetros resistentes ( $c$  y  $\phi$ ) del macizo, tal como lo comenta (Hoek et al, 1997). Por consiguiente, con fines de ser conservadores en el cálculo se trabajará con los valores equivalentes de cohesión del macizo reducidos al 30% y 50% para su condición No Disturbada y Disturbada, respectivamente. El ángulo de fricción, por el contrario, permanecerá igual al estimado, ya que al considerar una altura del talud de  $H=30\text{m}$ , estamos dentro de los límites de adecuados de confinamiento. Cabe aclarar que los RMR de cada unidad litológica se obtuvo de las calicatas, por estar cubierto de mucha vegetación.

**Tabla 2: Resumen de Parámetros de Resistencia del Macizo Rocoso No Disturbado Fuente: Software RocData v 4.0 (Rocscience, 2006)**

Parámetros	Arenisca	Limolita
<b>Clasificación Geomecánica del MR para Aplicaciones de Taludes de Carretera</b>		
RMR	50 (-)	40 (-)
GSI	45 (-)	35 (-)
H	29 (m)	29 (m)
<b>Estimación de Parámetros No Disturbados del Macizo Rocoso (D = 0.00)</b>		
<u>Parámetros de la Roca Intacta</u>		
$\gamma$	24 (kN/m <sup>3</sup> )	17 (kN/m <sup>3</sup> )
$\sigma_{ci}$	257 (MPa)	30 (MPa)
$m_i$	14 (-)	7 (-)
<u>Parámetros de Hoek-Brown Gen.</u>		
$m_b$	1.964 (-)	0.687 (-)
$s$	0.0022 (-)	0.0007 (-)
$a$	0.508 (-)	0.516 (-)
$D$	0.00 (-)	0.00 (-)
<u>Parámetros del Macizo Rocoso</u>		
$\sigma_c$	11.52 (MPa)	0.72 (MPa)
$\sigma_t$	0.2903 (MPa)	0.0319 (MPa)
$\sigma_{cm}$	47.325 (MPa)	3.117 (MPa)
$E_m$	2.68 (GPa)	1.36 (GPa)
<u>Parámetros de Mohr-Coulomb Equiv.</u>		
$c$	1249 (kPa)	179 (kPa)
$\phi$	63.66 (°)	45.86 (°)

**SIMBOLOGÍA:**

- $\gamma$  : Peso Unitario de la Roca
- $\sigma_{ci}$  : Resistencia a la Compresión Uniaxial de la Roca
- $m_i$  : Constante Litológica de la RI del Criterio de Hoek-Brown Generalizado.
- $m_b$  : Constante Litológica del MR del Criterio de Hoek-Brown Generalizado.
- GSI : Índice de Resistencia Geológica (Hoek et al, 2005)
- $s$  : Índice de Diaclasamiento del Criterio de Hoek-Brown Generalizado.
- $D$  : Factor de Disturbancia del MR por Efectos de Voladura.
- RMR : Rock Mass Rating (Bieniawski, 1989)
- H : Altura Global del Talud a Analizar.
- $\sigma_c$  : Resistencia a la Compresión Uniaxial del MR.
- $\sigma_t$  : Resistencia a la Tracción del MR.
- $\sigma_{cm}$  : Resistencia a la Compresión Global Confinada del MR.
- $E_m$  : Módulo de Deformación del Macizo Rocoso (MR).
- $c$  : Cohesión Equivalente del Macizo Rocoso.
- $\phi$  : Ángulo de Fricción Equivalente del Macizo Rocoso.
- ( - ) : Parámetro Adimensional.

**Tabla 3: Resumen de Parámetros de Resistencia del Macizo Rocoso Disturbado. Fuente: Software RocData v 4.0 (Rocscience, 2006)**

Parámetros	Arenisca	Limolita
<b>Clasificación Geomecánica del MR para Aplicaciones de Taludes de Carretera</b>		
RMRb	50 (-)	40 (-)
GSI	45 (-)	35 (-)
H	29 (m)	29 (m)
<b>Estimación de Parámetros Disturbados del Macizo Rocoso (D = 0.75)</b>		
<u>Parámetros de la Roca Intacta</u>		
$\gamma$	24 (kN/m <sup>3</sup> )	17 (kN/m <sup>3</sup> )
$\sigma_{ci}$	257 (MPa)	30 (MPa)
$m_i$	14 (-)	7 (-)
<u>Parámetros de Hoek-Brown Gen.</u>		
$m_b$	0.604 (-)	(-)
$s$	0.0003 (-)	(-)
$a$	0.508 (-)	(-)
$D$	0.75 (-)	0.75 (-)
<u>Parámetros del Macizo Rocoso</u>		
$\sigma_c$	4.092 (MPa)	0.209 (MPa)
$\sigma_t$	0.1230 (MPa)	0.0116 (MPa)
$\sigma_{cm}$	25.763 (MPa)	1.504 (MPa)
$E_m$	0.87 (GPa)	0.51 (GPa)
<u>Parámetros de Mohr-Coulomb Equiv.</u>		
$c$	599 (kPa)	95 (kPa)
$\phi$	57.28 (°)	34.50 (°)

**SIMBOLOGÍA:**

- $\gamma$  : Peso Unitario de la Roca  
 $\sigma_{ci}$  : Resistencia a la Compresión Uniaxial de la Roca  
 $m_i$  : Constante Litológica de la RI del Criterio de Hoek-Brown Generalizado.  
 $m_b$  : Constante Litológica del MR del Criterio de Hoek-Brown Generalizado.  
GSI : Índice de Resistencia Geológica (Hoek et al, 2005)  
 $s$  : Índice de Diaclasamiento del Criterio de Hoek-Brown Generalizado.  
 $D$  : Factor de Disturbancia del MR por Efectos de Voladura.  
RMR : Rock Mass Rating (Bieniawski, 1989)  
 $H$  : Altura Global del Talud a Analizar.  
 $\sigma_c$  : Resistencia a la Compresión Uniaxial del MR.  
 $\sigma_t$  : Resistencia a la Tracción del MR.  
 $\sigma_{cm}$  : Resistencia a la Compresión Global Confinada del MR.  
 $E_m$  : Módulo de Deformación del Macizo Rocoso (MR).  
 $c$  : Cohesión Equivalente del Macizo Rocoso.  
 $\phi$  : Ángulo de Fricción Equivalente del Macizo Rocoso.  
(-) : Parámetro Adimensional.

**Tabla 4: Resumen de Parámetros de Resistencia Para Análisis de Estabilidad Fuente: Software RocData v 4.0 (Rocscience, 2006)**

Sección de Análisis	Litología	Peso Unitario $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Macizo No Disturbado		Macizo Disturbado	
			c (kPa)	$\phi$ (°)	c (kPa)	$\phi$ (°)
Km. 1 + 380	Arenisca	24.2	416.3	63.7	299.5	57.3
Km. 3 + 280	Limolita	17.3	59.7	45.9	47.5	34.5

Cabe mencionar que se ha discriminado el comportamiento del Macizo en su condición disturbada, esto es, estando expuesta continuamente a los efectos de la voladura durante la ejecución de los cortes y bancos; y así mismo, se tiene en cuenta su comportamiento en la condición no disturbada, que se daría en la etapa de operación de la estructura estando libre de cualquier perturbación por efectos de voladura.

En análisis de estabilidad ha sido corrido considerando los parámetros mostrados en la Tabla N° 4, tanto en su condición estática y pseudo-estática. Para esta última, las fuerzas sísmicas han sido simuladas a través de una sola fuerza de inercia calculada a partir de una fuerza horizontal equivalente al peso de una potencial masa deslizante multiplicada por el coeficiente sísmico. El valor del coeficiente sísmico horizontal utilizado en este estudio correspondió al 50% de la aceleración máxima esperada (PGA) para un 10% de Probabilidad de Excedencia en 50 años de operación de la estructura; lo que corresponde a un valor de aceleración producido por un sismo con un TR = 475 años. El valor del PGA (*Peak Ground Acceleration*) fue tomado en base a la zonificación sísmica regional del Perú, de la Norma Sismoresistente E.030 (2016).

Según el Mapa de Zonificación Sísmica E.030 (Anexo N°03) el área de estudio se encuentra dentro de la Zona 2, cuyo valor de Aceleración Máxima (%g) es de 0.25. Por lo que, el valor del Coeficiente Sísmico Horizontal, para los análisis de estabilidad pseudo-estáticos, correspondería a  $0.50 \times 0.25 = 0.125g$ .

En las Tablas N°05 y 06 se presentan los resultados de los análisis de estabilidad para

las secciones de análisis consideradas. Adicionalmente, se han ilustrado estos resultados en las Figuras de Estabilidad. Los resultados incluyen superficies de falla potenciales del tipo circular para la condición estática y pseudo – estática ( $CS=0.13$ )

**Tabla 5: Resumen de Factores de Seguridad (FS) para Fallas Críticas Circulares - Macizo Disturbado. Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006)**

Tipo de Perfil	Sección de Análisis	FS Estático	FS Pseudo-Estático	Figuras de Estabilidad
Perfil Natural	Km. 1 + 380	4.48	3.81	Fig.18.a & Fig. 19.a
	Km. 3 + 280	1.22	1.03	Fig.20.a & Fig. 21.a
Re-Perfilado con Banco Simple	Km. 1 + 380	5.00	3.54	Fig.22.a & Fig. 23.a
	Km. 3 + 280	1.07	0.90	Fig.24.a & Fig. 25.a
Re-Perfilado con Banco Doble	Km. 1 + 380	5.01	4.52	Fig.26.a & Fig. 27.a
	Km. 3 + 280	1.12	0.93	Fig.28.a & Fig. 29.a

**Tabla 6: Resumen de Factores de Seguridad (FS) para Fallas Críticas Circulares - Macizo No Disturbado. Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006)**

Tipo de Perfil	Sección de Análisis	FS Estático	FS Pseudo-Estático	Figuras de Estabilidad
Perfil Natural	Km. 1 + 380	6.05	5.22	Fig.30.b & Fig. 31.b
	Km. 3 + 280	1.71	1.45	Fig.32.b & Fig. 33.b
Re-Perfilado con Banco Simple	Km. 1 + 380	6.78	4.76	Fig.34.b & Fig. 35.b
	Km. 3 + 280	1.52	1.30	Fig.36.b & Fig. 37.b
Re-Perfilado con Banco Doble	Km. 1 + 380	6.78	6.07	Fig.38.b & Fig. 39.b
	Km. 3 + 280	1.55	1.31	Fig.40.b & Fig. 41.b

- Los Factores de seguridad reportados han sido calculados con el Método Riguroso de Spencer.
- El Talud de la Progresiva km. 1+380 corresponde predominantemente a una litología del MR del tipo Arenisca.
- El Talud de la Progresiva km. 3+280 corresponde predominantemente a una litología del MR del tipo Limolita.

- El Valor del Coeficiente Sísmico Horizontal ha sido tomado con el 50% de la Aceleración Pico según la Norma E 030.

Los resultados de Factores de Seguridad del macizo disturbado en su condición Estática y Pseudoestático ubicado en la progresiva Km 3+280, nos muestra en perfil natural valores de 1.22 - 1.03 .en banco simple valores de 1.07 - 0.90 , en banco doble valores de 1.12 – 0.93 respectivamente,no cumplen con los criterios de estabilidad, porque corresponde a un macizo rocoso de baja calidad geomecánica,mas aun cuando están sometidas a perturbaciones externas producto de las voladuras.Esta situación disturbada es solo temporal durante la construcción del talud, donde se tomó mas importancia y cuidado .

Los resultados de Factores de Seguridad del macizo no disturbado en su condición Estático y Pseudoestático , ubicados en la progresivas km 1+380 , en perfil natural nos muestra valores de 6.05-5.22 ,en banco simple 6.78-4.76 , en banco doble 6.78-6.07 respectivamente , y en la progresiva km 3+280 ,en perfil natural nos muestra valores de 1.71-1.45 , en banco simple 1.52-1.30 , en banco doble 1.55-1.31 respectivamente , son valores altos que cumplen con los criterios de estabilidad , FS mín. (Estático)  $\geq 1.40$  y FSmín. (Pseudo)  $\geq 1.10$ , que se observa en la tabla N° 6, y es la condición actual en la que se encuentra el talud, sin perturbaciones de voladura.

### **4.3. Pruebas de hipótesis**

El modelamiento computacional por Equilibrio Límite se realizó con el uso del software comercial Slide v.6.0 de la firma Rocscience.

#### **4.3.1. Interpretación de las figuras de análisis de estabilidad de taludes en las progresivas (km 1+380, km 3+280).**

##### **Figura 18**

Se muestra la superficie de falla circular crítica del talud de Arenisca Disturbada, ubicado en la progresiva km 1+380, cuyo Factor de Seguridad es de FS=4.48. Este valor ha sido calculado según el método de Spencer haciendo uso del software Slide versión 6.0 de la empresa Rocscience. Corresponde al talud con Perfil Natural para

la etapa de construcción del talud y en condición Estática (sin influencia sísmica).

### **Figura 19**

Se muestra la superficie de falla circular crítica del talud de Arenisca Disturbada, ubicado en la progresiva km 1+380, cuyo Factor de Seguridad es de  $FS=3.81$ . Este valor ha sido calculado según el método de Spencer haciendo uso del software Slide versión 6.0 de la empresa Rocscience. Corresponde al talud con Perfil Natural para la etapa de construcción del talud y en condición Pseudo- Estática (con influencia sísmica).

### **Figura 20**

Se muestra la superficie de falla circular crítica del talud de Limolita Disturbada, ubicado en la progresiva km 3+280, cuyo Factor de Seguridad es de  $FS=1.22$ . Este valor ha sido calculado según el método de Spencer haciendo uso del software Slide versión 6.0 de la empresa Rocscience. Corresponde al talud con Perfil Natural para la etapa de construcción del talud y en condición Estática (sin influencia sísmica).

### **Figura 21**

Se muestra la superficie de falla circular crítica del talud de Limolita Disturbada, ubicado en la progresiva km 3+280, cuyo Factor de Seguridad es de  $FS=1.03$ . Este valor ha sido calculado según el método de Spencer haciendo uso del software Slide versión 6.0 de la empresa Rocscience. Corresponde al talud con Perfil Natural para la etapa de construcción del talud y en condición Pseudo- Estática (con influencia sísmica).

### **Figura 22**

Se muestra la superficie de falla circular crítica del talud de Arenisca Disturbada, ubicado en la progresiva km 1+380, cuyo Factor de Seguridad es de  $FS=5.00$ . Este valor ha sido calculado según el método de Spencer haciendo uso del software Slide versión 6.0 de la empresa Rocscience. Corresponde al talud con Perfil Banco Simple para la etapa de construcción del talud y en condición Estática (sin influencia sísmica).

### **Figura 23**

Se muestra la superficie de falla circular crítica del talud de Arenisca Disturbada, ubicado en la progresiva km 1+380, cuyo Factor de Seguridad es de  $FS=3.54$ . Este

valor ha sido calculado según el método de Spencer haciendo uso del software Slide versión 6.0 de la empresa Rocscience. Corresponde al talud con Perfil Banco Simple para la etapa de construcción del talud y en condición Pseudo- Estática (con influencia sísmica).

#### **Figura 24**

Se muestra la superficie de falla circular crítica del talud de Limolita Disturbada, ubicado en la progresiva km 3+280, cuyo Factor de Seguridad es de  $FS=1.07$ . Este valor ha sido calculado según el método de Spencer haciendo uso del software Slide versión 6.0 de la empresa Rocscience. Corresponde al talud con Perfil Simple para la etapa de construcción del talud y en condición Estática (sin influencia sísmica).

#### **Figura 25**

Se muestra la superficie de falla circular crítica del talud de Limolita Disturbada, ubicado en la progresiva km 3+280, cuyo Factor de Seguridad es de  $FS=0.90$ . Este valor ha sido calculado según el método de Spencer haciendo uso del software Slide versión 6.0 de la empresa Rocscience. Corresponde al talud con Perfil Banco Simple para la etapa de construcción del talud y en condición Pseudo- Estática (con influencia sísmica).

#### **Figura 26**

Se muestra la superficie de falla circular crítica del talud de Arenisca Disturbada, ubicado en la progresiva km 1+380, cuyo Factor de Seguridad es de  $FS=5.01$ . Este valor ha sido calculado según el método de Spencer haciendo uso del software Slide versión 6.0 de la empresa Rocscience. Corresponde al talud con Perfil Banco Doble para la etapa de construcción del talud y en condición Estática (sin influencia sísmica).

#### **Figura 27**

Se muestra la superficie de falla circular crítica del talud de Arenisca Disturbada, ubicado en la progresiva km 1+380, cuyo Factor de Seguridad es de  $FS=4.52$ . Este valor ha sido calculado según el método de Spencer haciendo uso del software Slide versión 6.0 de la empresa Rocscience. Corresponde al talud con Perfil Banco Doble para la etapa de construcción del talud y en condición Pseudo- Estática (con influencia sísmica).

**Figura 28**

Se muestra la superficie de falla circular crítica del talud de Limolita Disturbada, ubicado en la progresiva km 3+280, cuyo Factor de Seguridad es de  $FS=1.12$ . Este valor ha sido calculado según el método de Spencer haciendo uso del software Slide versión 6.0 de la empresa Rocscience. Corresponde al talud con Perfil Banco Doble para la etapa de construcción del talud y en condición Estática (sin influencia sísmica).

**Figura 29**

Se muestra la superficie de falla circular crítica del talud de Limolita Disturbada, ubicado en la progresiva km 3+280, cuyo Factor de Seguridad es de  $FS=0.93$ . Este valor ha sido calculado según el método de Spencer haciendo uso del software Slide versión 6.0 de la empresa Rocscience. Corresponde al talud con Perfil Banco Doble para la etapa de construcción del talud y en condición Pseudo- Estática (con influencia sísmica).

**Figura 30**

Se muestra la superficie de falla circular crítica del talud de Arenisca No Disturbada, ubicado en la progresiva km 1+380, cuyo Factor de Seguridad es de  $FS=6.05$ . Este valor ha sido calculado según el método de Spencer haciendo uso del software Slide versión 6.0 de la empresa Rocscience. Corresponde al talud con Perfil Natural para la etapa de Operación del talud y en condición Estática (sin influencia sísmica).

**Figura 31**

Se muestra la superficie de falla circular crítica del talud de Arenisca No Disturbada, ubicado en la progresiva km 1+380, cuyo Factor de Seguridad es de  $FS=5.22$ . Este valor ha sido calculado según el método de Spencer haciendo uso del software Slide versión 6.0 de la empresa Rocscience. Corresponde al talud con Perfil Natural para la etapa de Operación del talud y en condición Pseudo- Estática (con influencia sísmica).

**Figura 32**

Se muestra la superficie de falla circular crítica del talud de Limolita No Disturbada, ubicado en la progresiva km 3+280, cuyo Factor de Seguridad es de  $FS=1.71$ . Este valor ha sido calculado según el método de Spencer haciendo uso del software Slide

versión 6.0 de la empresa Rocscience. Corresponde al talud con Perfil Natural para la etapa de Operación del talud y en condición Estática (sin influencia sísmica).

### **Figura 33**

Se muestra la superficie de falla circular crítica del talud de Limolita No Disturbada, ubicado en la progresiva km 3+280, cuyo Factor de Seguridad es de  $FS=1.45$ . Este valor ha sido calculado según el método de Spencer haciendo uso del software Slide versión 6.0 de la empresa Rocscience. Corresponde al talud con Perfil Natural para la etapa de Operación del talud y en condición Pseudo- Estática (con influencia sísmica).

### **Figura 34**

Se muestra la superficie de falla circular crítica del talud de Arenisca No Disturbada, ubicado en la progresiva km 1+380, cuyo Factor de Seguridad es de  $FS=6.78$ . Este valor ha sido calculado según el método de Spencer haciendo uso del software Slide versión 6.0 de la empresa Rocscience. Corresponde al talud con Perfil Banco Simple para la etapa de Operación del talud y en condición Estática (sin influencia sísmica).

### **Figura 35**

Se muestra la superficie de falla circular crítica del talud de Arenisca No Disturbada, ubicado en la progresiva km 1+380, cuyo Factor de Seguridad es de  $FS=4.76$ . Este valor ha sido calculado según el método de Spencer haciendo uso del software Slide versión 6.0 de la empresa Rocscience. Corresponde al talud con Perfil Banco Simple para la etapa de Operación del talud y en condición Pseudo- Estática (con influencia sísmica).

### **Figura 36**

Se muestra la superficie de falla circular crítica del talud de Limolita No Disturbada, ubicado en la progresiva km 3+280, cuyo Factor de Seguridad es de  $FS=1.52$ . Este valor ha sido calculado según el método de Spencer haciendo uso del software Slide versión 6.0 de la empresa Rocscience. Corresponde al talud con Perfil Banco Simple para la etapa de Operación del talud y en condición Estática (sin influencia sísmica).

### **Figura 37**

Se muestra la superficie de falla circular crítica del talud de Limolita No Disturbada, ubicado en la progresiva km 3+280, cuyo Factor de Seguridad es de  $FS=1.30$ . Este

valor ha sido calculado según el método de Spencer haciendo uso del software Slide versión 6.0 de la empresa Rocscience. Corresponde al talud con Perfil Banco Simple para la etapa de Operación del talud y en condición Pseudo- Estática (con influencia sísmica).

### **Figura 38**

Se muestra la superficie de falla circular crítica del talud de Arenisca No Disturbada, ubicado en la progresiva km 1+380, cuyo Factor de Seguridad es de  $FS=6.78$ . Este valor ha sido calculado según el método de Spencer haciendo uso del software Slide versión 6.0 de la empresa Rocscience. Corresponde al talud con Perfil Banco Doble para la etapa de Operación del talud y en condición Estática (sin influencia sísmica).

### **Figura 39**

Se muestra la superficie de falla circular crítica del talud de Arenisca No Disturbada, ubicado en la progresiva km 1+380, cuyo Factor de Seguridad es de  $FS=6.07$ . Este valor ha sido calculado según el método de Spencer haciendo uso del software Slide versión 6.0 de la empresa Rocscience. Corresponde al talud con Perfil Banco Doble para la etapa de Operación del talud y en condición Pseudo- Estática (con influencia sísmica).

### **Figura 40**

Se muestra la superficie de falla circular crítica del talud de Limolita No Disturbada, ubicado en la progresiva km 3+280, cuyo Factor de Seguridad es de  $FS=1.55$ . Este valor ha sido calculado según el método de Spencer haciendo uso del software Slide versión 6.0 de la empresa Rocscience. Corresponde al talud con Perfil Banco Doble para la etapa de Operación del talud y en condición Estática (sin influencia sísmica).

### **Figura 41**

Se muestra la superficie de falla circular crítica del talud de Limolita No Disturbada, ubicado en la progresiva km 3+280, cuyo Factor de Seguridad es de  $FS=1.31$ . Este valor ha sido calculado según el método de Spencer haciendo uso del software Slide versión 6.0 de la empresa Rocscience. Corresponde al talud con Perfil Banco Doble para la etapa de Operación del talud y en condición Pseudo- Estática (con influencia sísmica).

**ETAPA DE CONSTRUCCION**

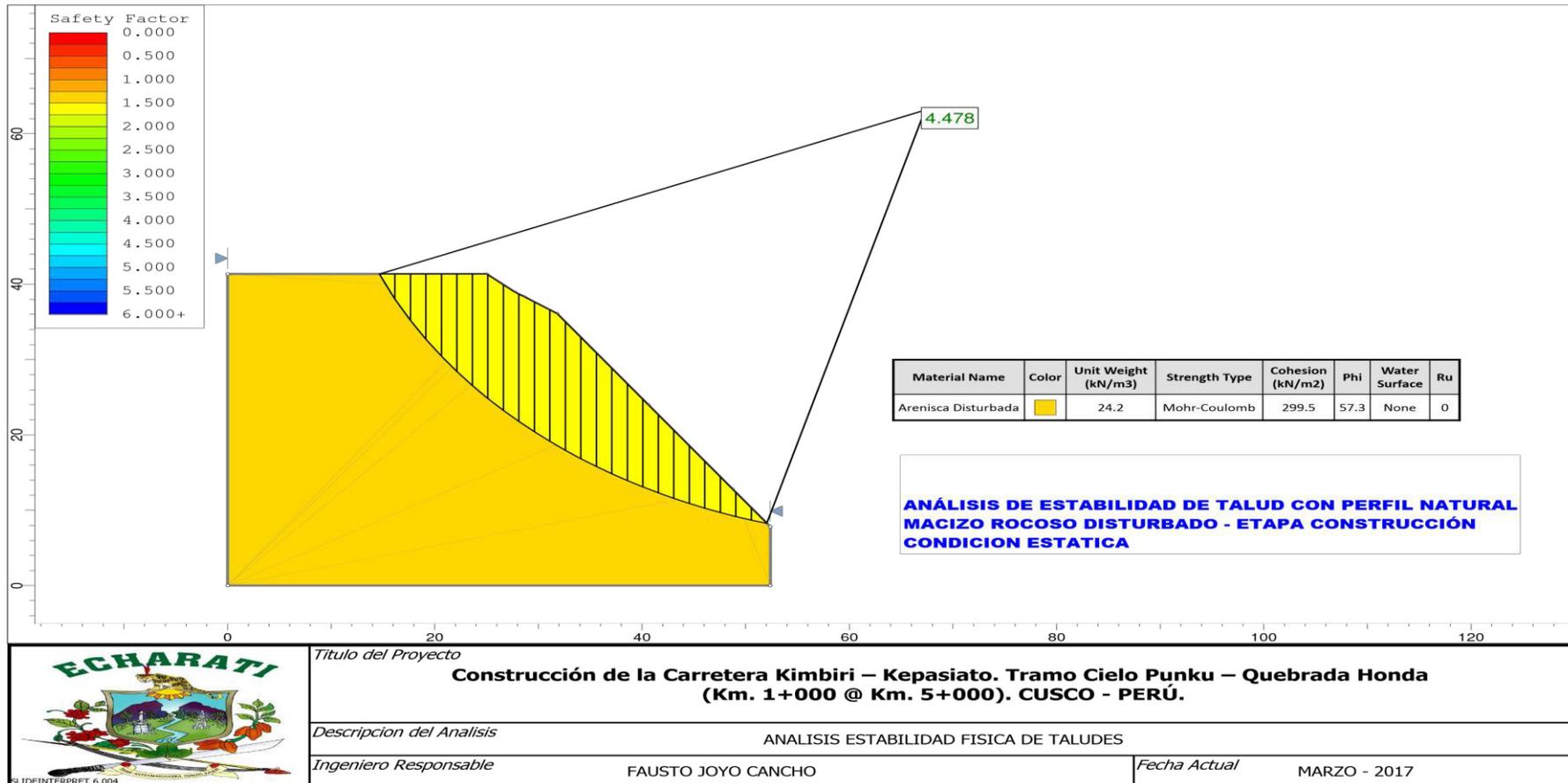


Figura 19: Análisis de estabilidad de talud con perfil natural macizo rocoso disturbado-etapa construcción, condición estática, ubicado en la progresiva km 1+380.  
 Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006)

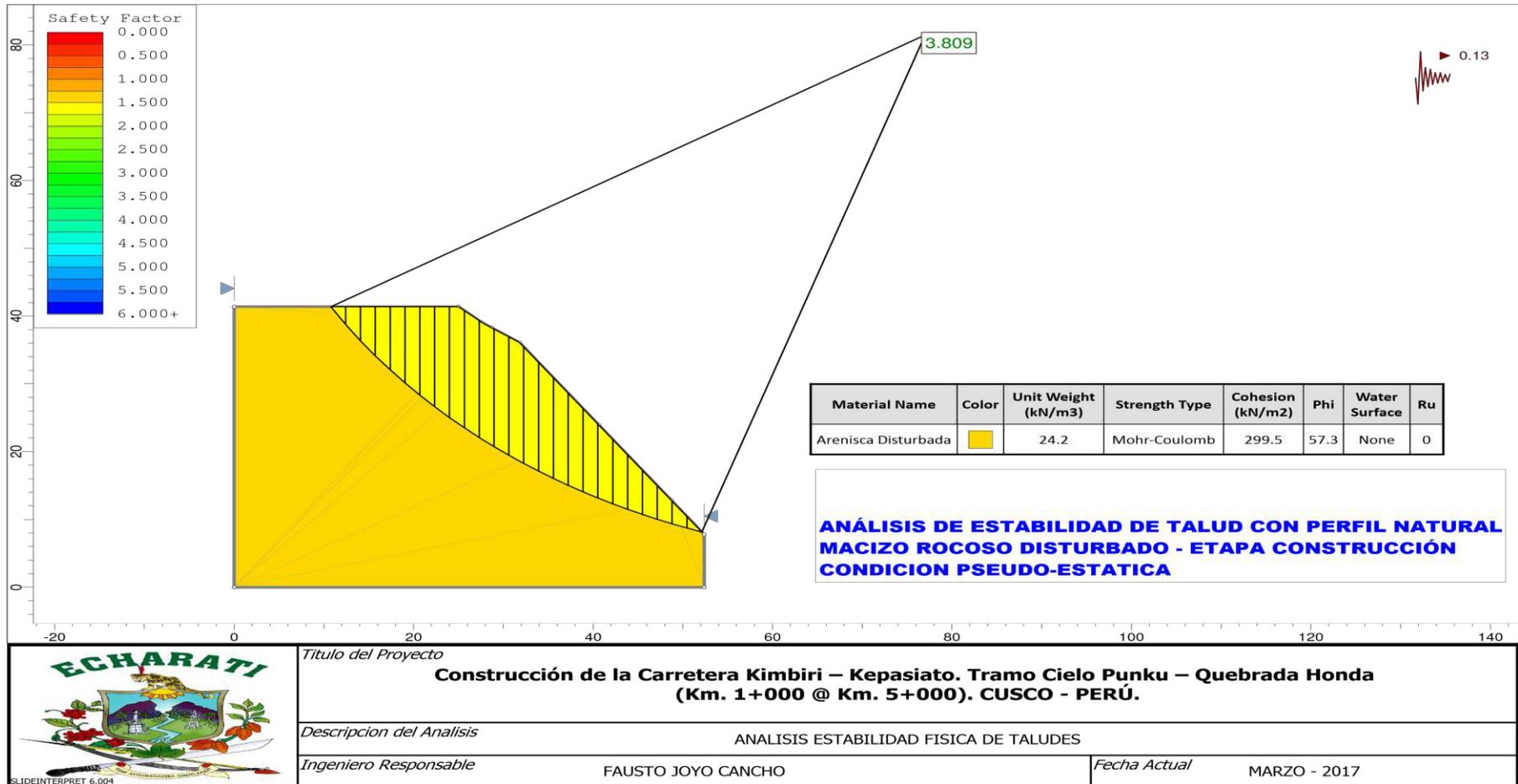


Figura 20: Análisis de estabilidad de talud con perfil natural macizo rocoso disturbado-etapa construcción, condición pseudo-estática, ubicado en la progresiva km 1+380. Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006)

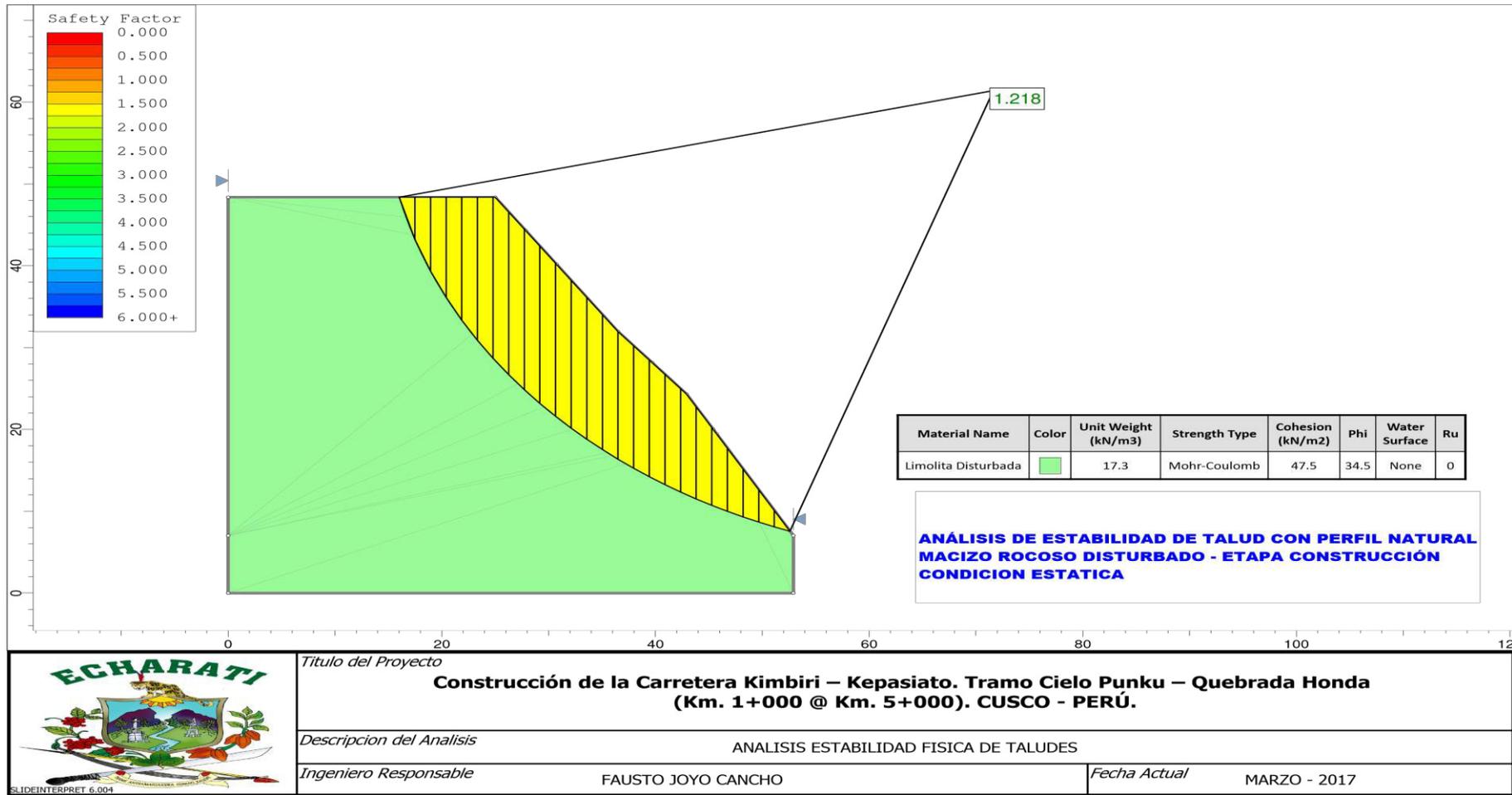
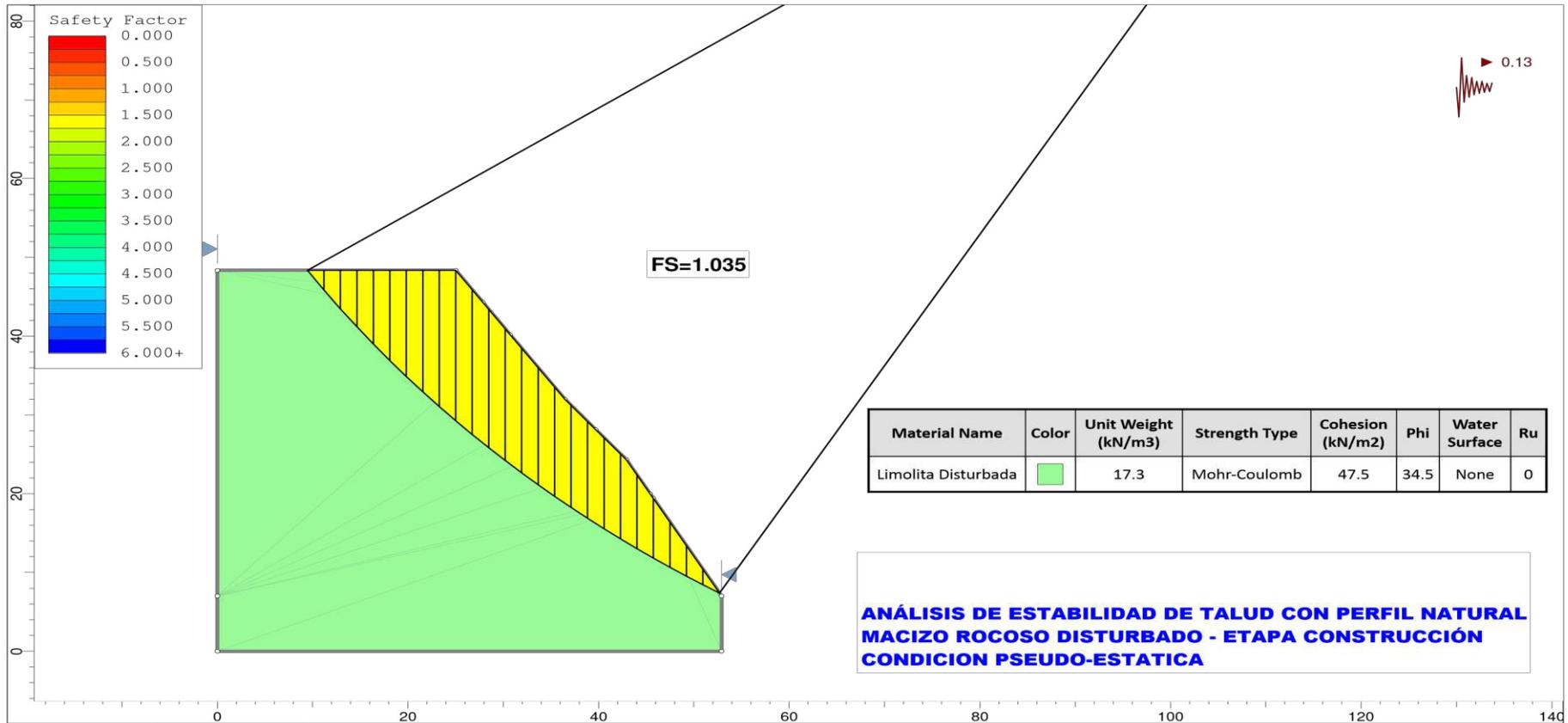


Figura 21: Análisis de estabilidad de talud con perfil natural macizo rocoso disturbado-etapa construcción, condición estática, ubicado en la progresiva km 3+280.  
 Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006)



	<b>Titulo del Proyecto</b> <b>Construcción de la Carretera Kimbiri – Kepasiato. Tramo Cielo Punku – Quebrada Honda (Km. 1+000 @ Km. 5+000). CUSCO - PERÚ.</b>	
	<b>Descripcion del Analisis</b> ANALISIS ESTABILIDAD FISICA DE TALUDES	
	<b>Ingeniero Responsable</b> FAUSTO JOYO CANCHO	<b>Fecha Actual</b> MARZO - 2017

Figura 22: Análisis de estabilidad de talud con perfil natural macizo rocoso disturbado-etapa construcción, condición Pseudo-estática, ubicado en la progresiva km 3+280. Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006)

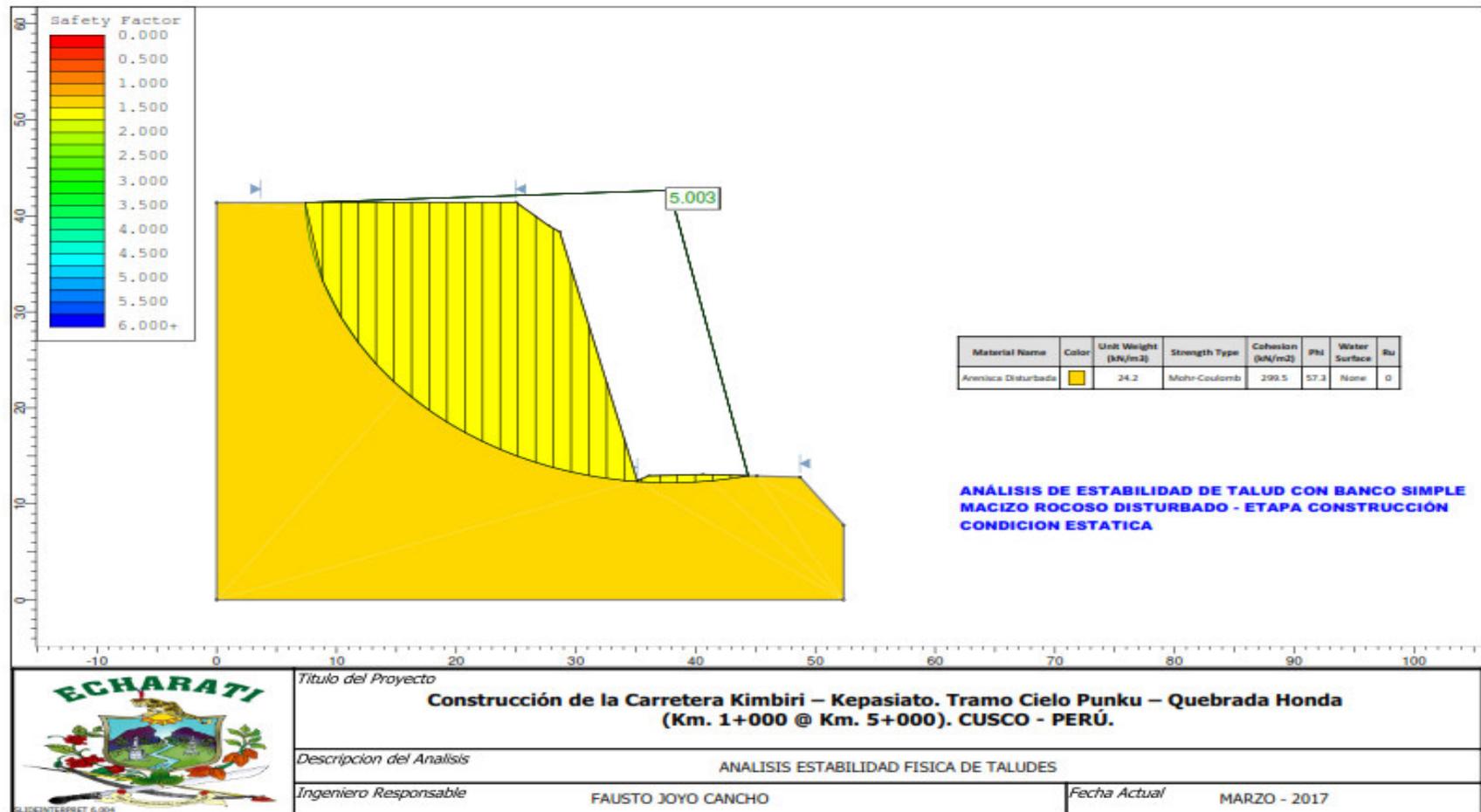


Figura 23: Análisis de estabilidad de talud con banco simple macizo rocoso disturbado-etapa construcción, condición estática, ubicado en la progresiva km 1+380. Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006)

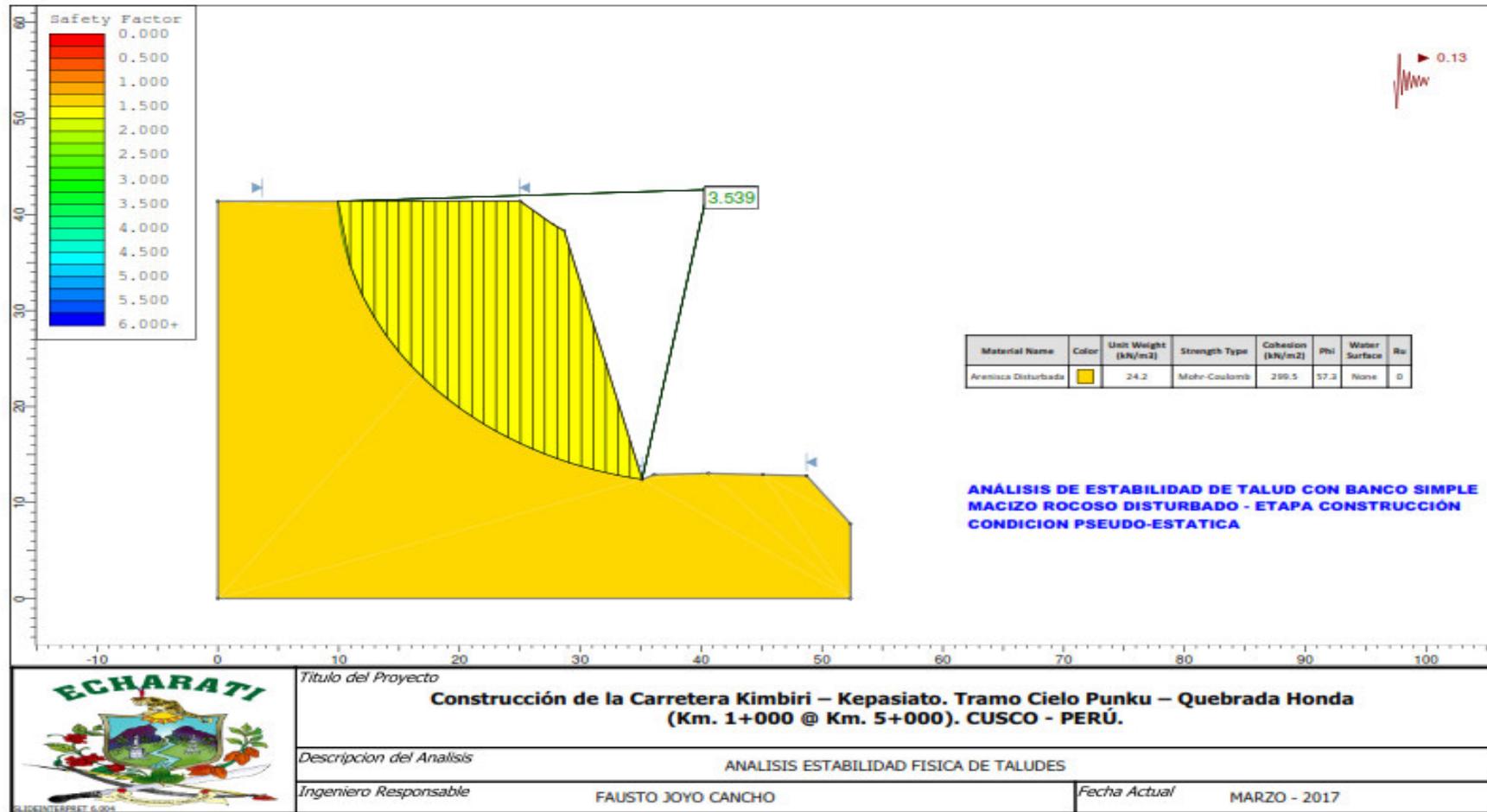


Figura 24: Análisis de estabilidad de talud con banco simple, macizo rocoso disturbado-etapa construcción, condición Pseudo-estática, ubicado en la progresiva km 1+380. Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006)

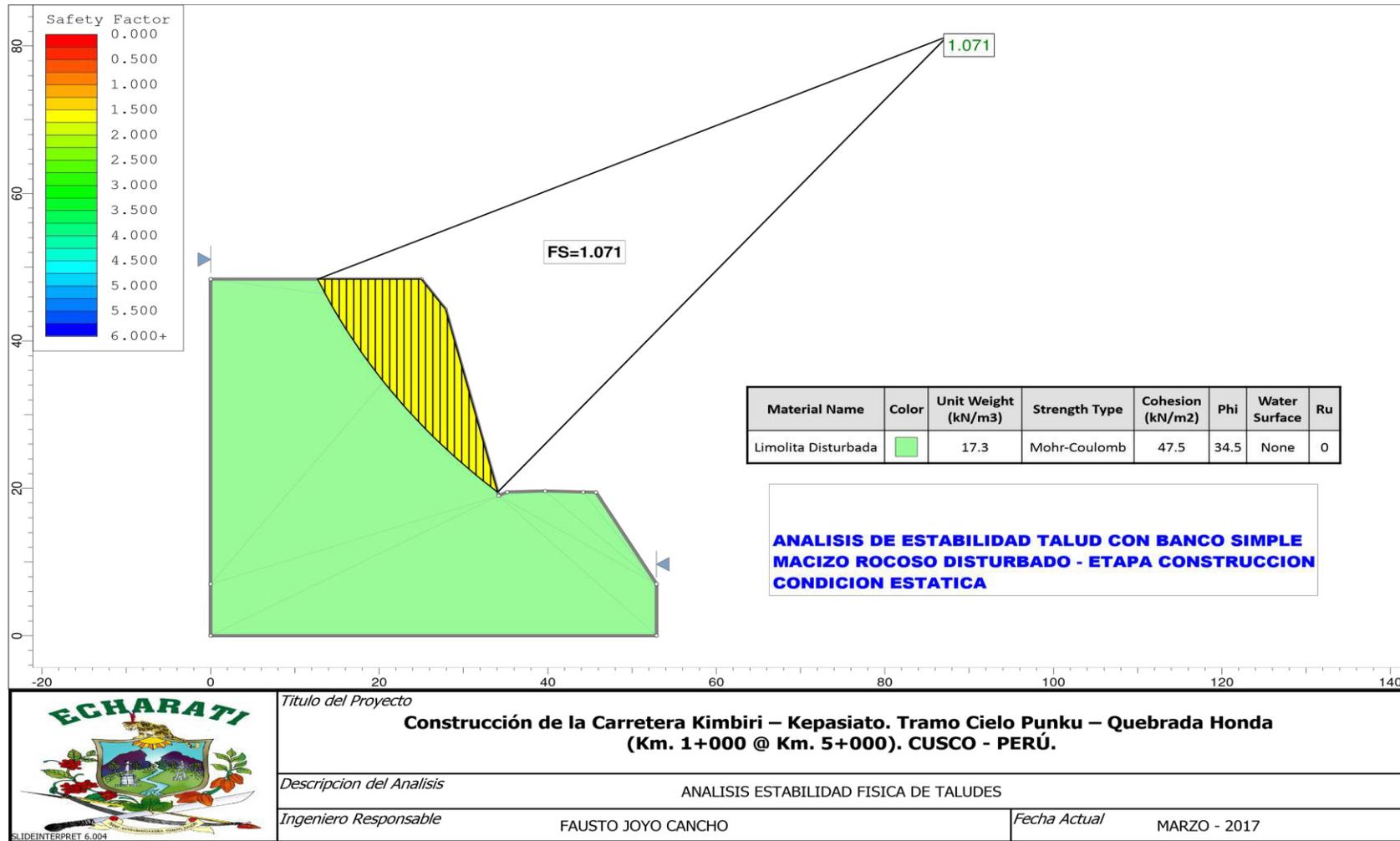


Figura 25: Análisis de estabilidad de talud con banco simple, macizo rocoso disturbado-etapa construcción, condición estática, ubicado en la progresiva km 3+280. Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006)

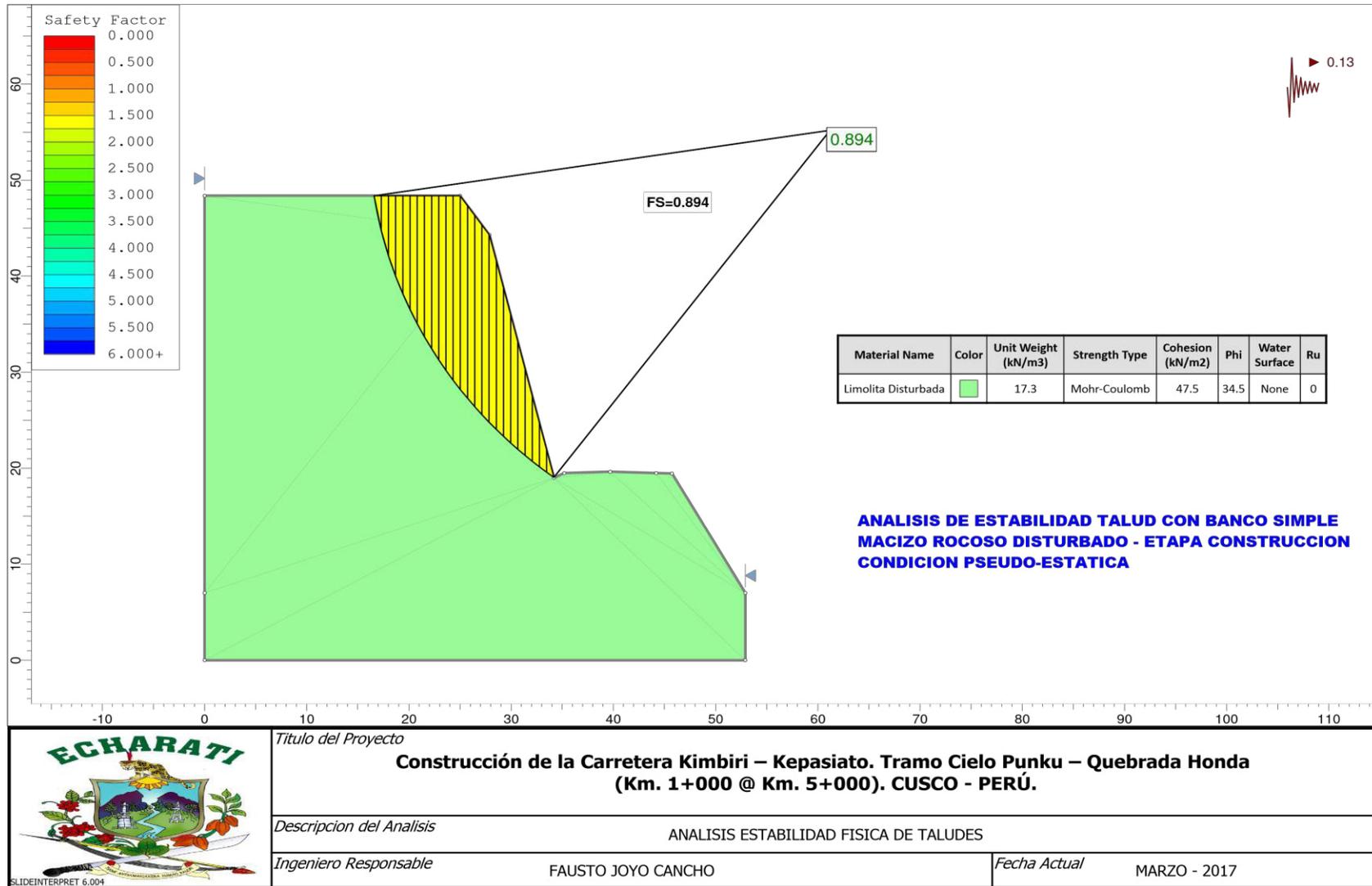


Figura 26: Análisis de estabilidad de talud con banco simple, macizo rocoso disturbado-etapa construcción, condición Pseudo-estática, ubicado en la progresiva km 3+280. Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006)

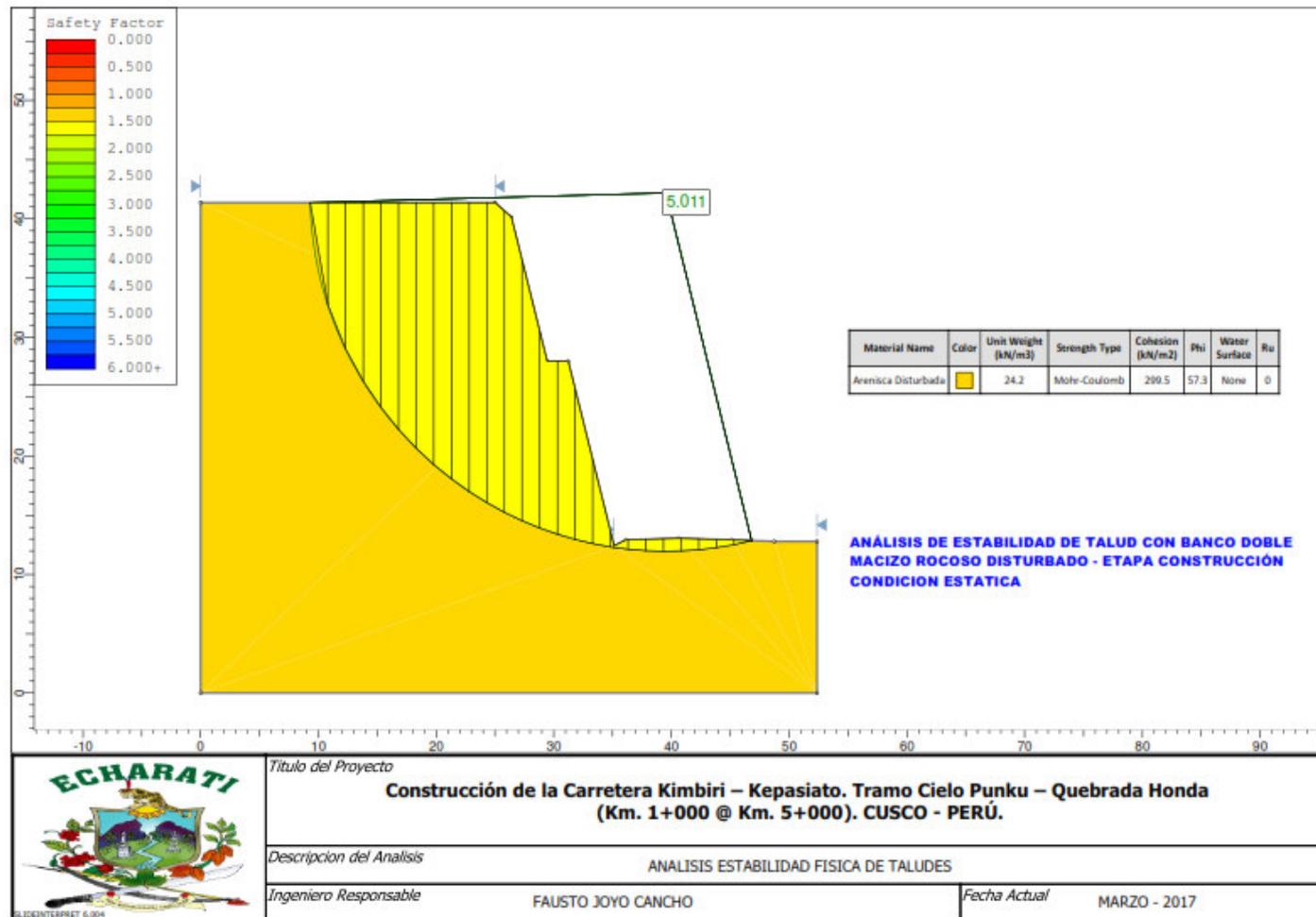


Figura 27: Análisis de estabilidad de talud con banco doble, macizo rocoso disturbado-etapa construcción, condición estática, ubicado en la progresiva km 1+380.  
 Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006)

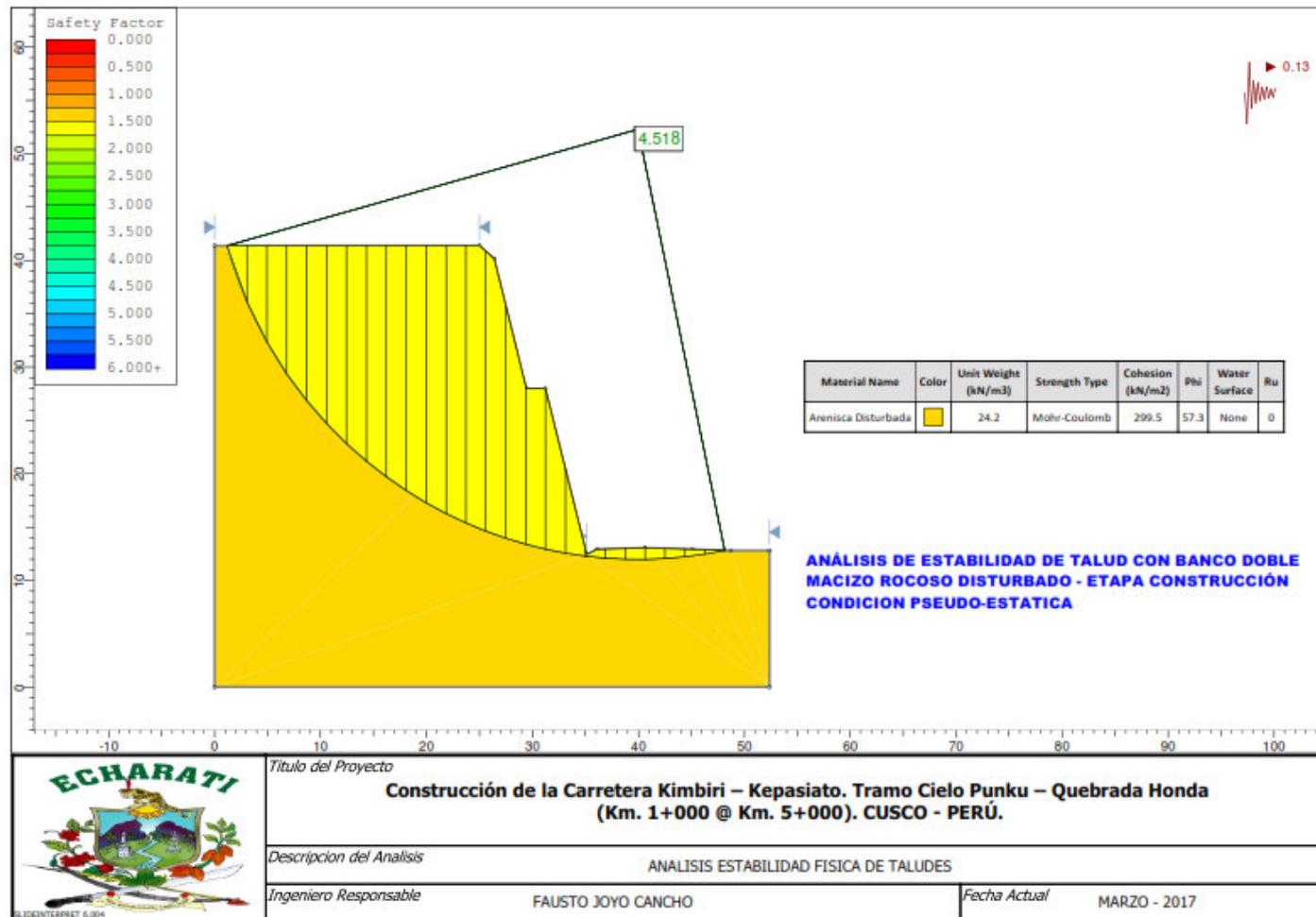


Figura 28: Análisis de estabilidad de talud con banco doble, macizo rocoso disturbado-etapa construcción, condición Pseudo estática, ubicado en la progresiva km 1+380. Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006)

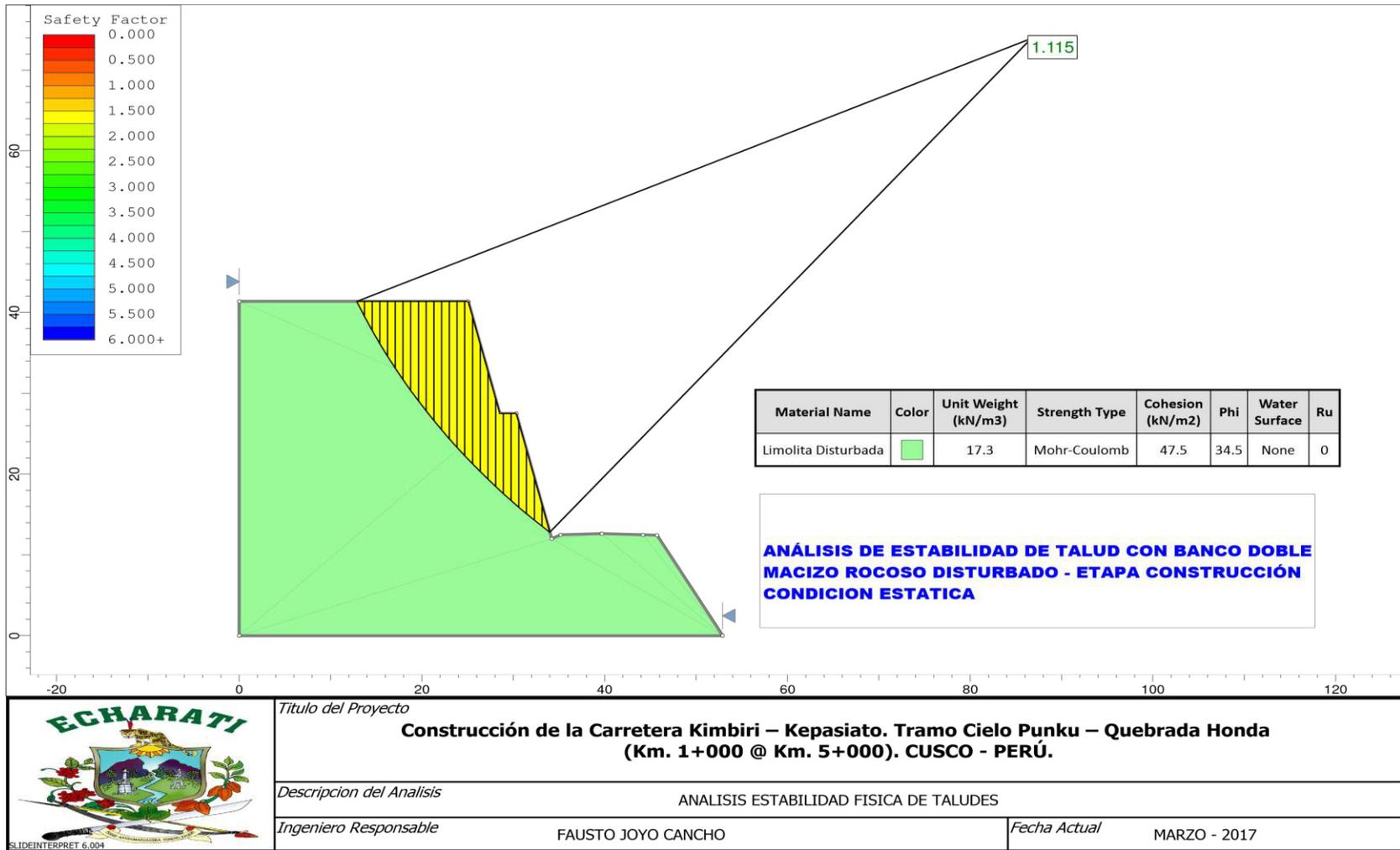


Figura 29: Análisis de estabilidad de talud con banco doble, macizo rocoso disturbado-etapa construcción, condición estática, ubicado en la progresiva km 3+280. Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006)

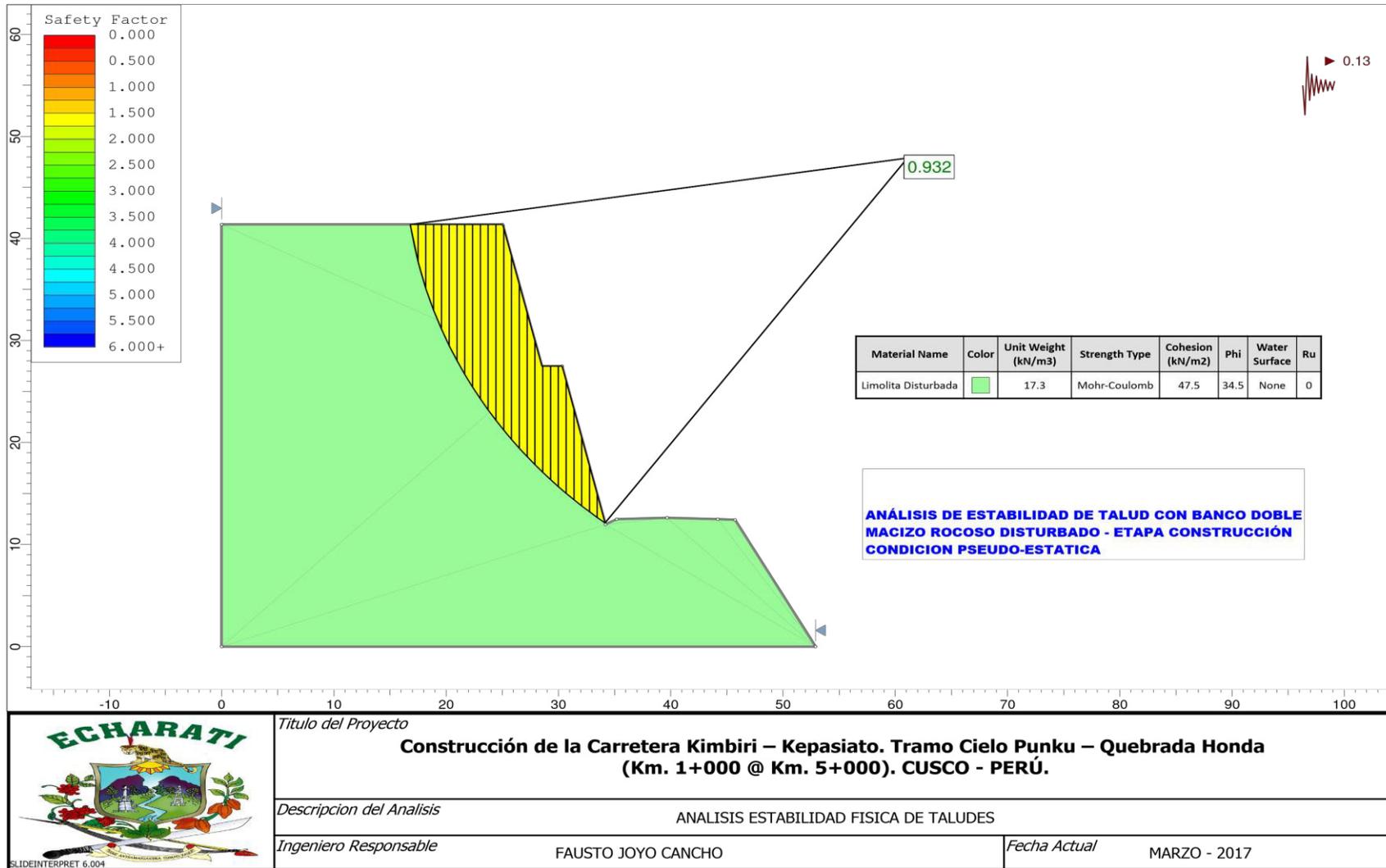


Figura 30: Análisis de estabilidad de talud con banco doble, macizo rocoso disturbado-etapa construcción, condición Pseudo-estática, ubicado en la progresiva km 3+280. Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006)

## ETAPA DE OPERACIÓN

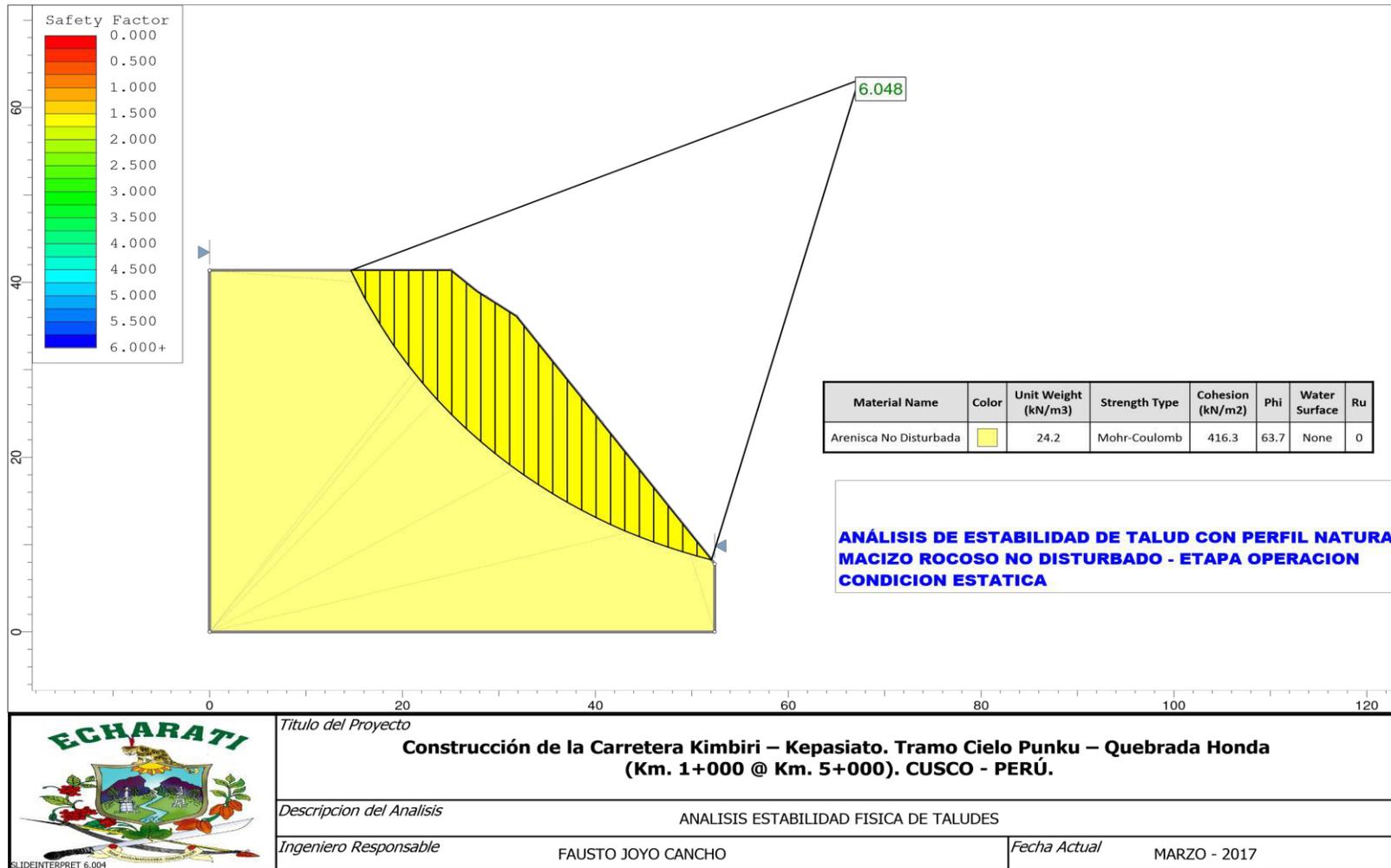


Figura 31: Análisis de estabilidad de talud con perfil natural, macizo rocoso no disturbado-etapa operación, condición estática, ubicado en la progresiva km 1+380. Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006)

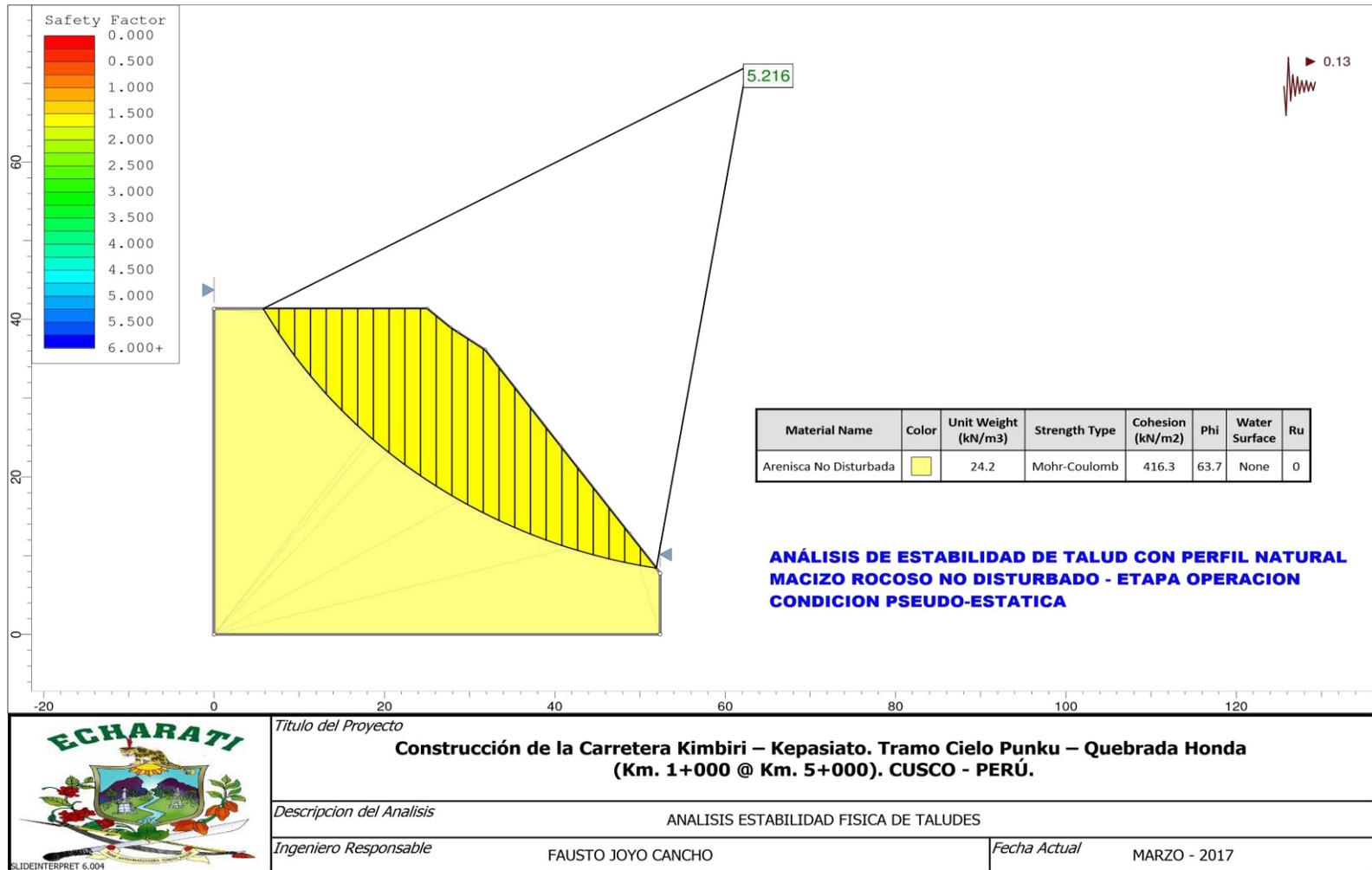


Figura 32: Análisis de estabilidad de talud con perfil natural, macizo rocoso no disturbado-etapa operación, condición Pseudo-estática, ubicado en la progresiva km 1+380. Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006)

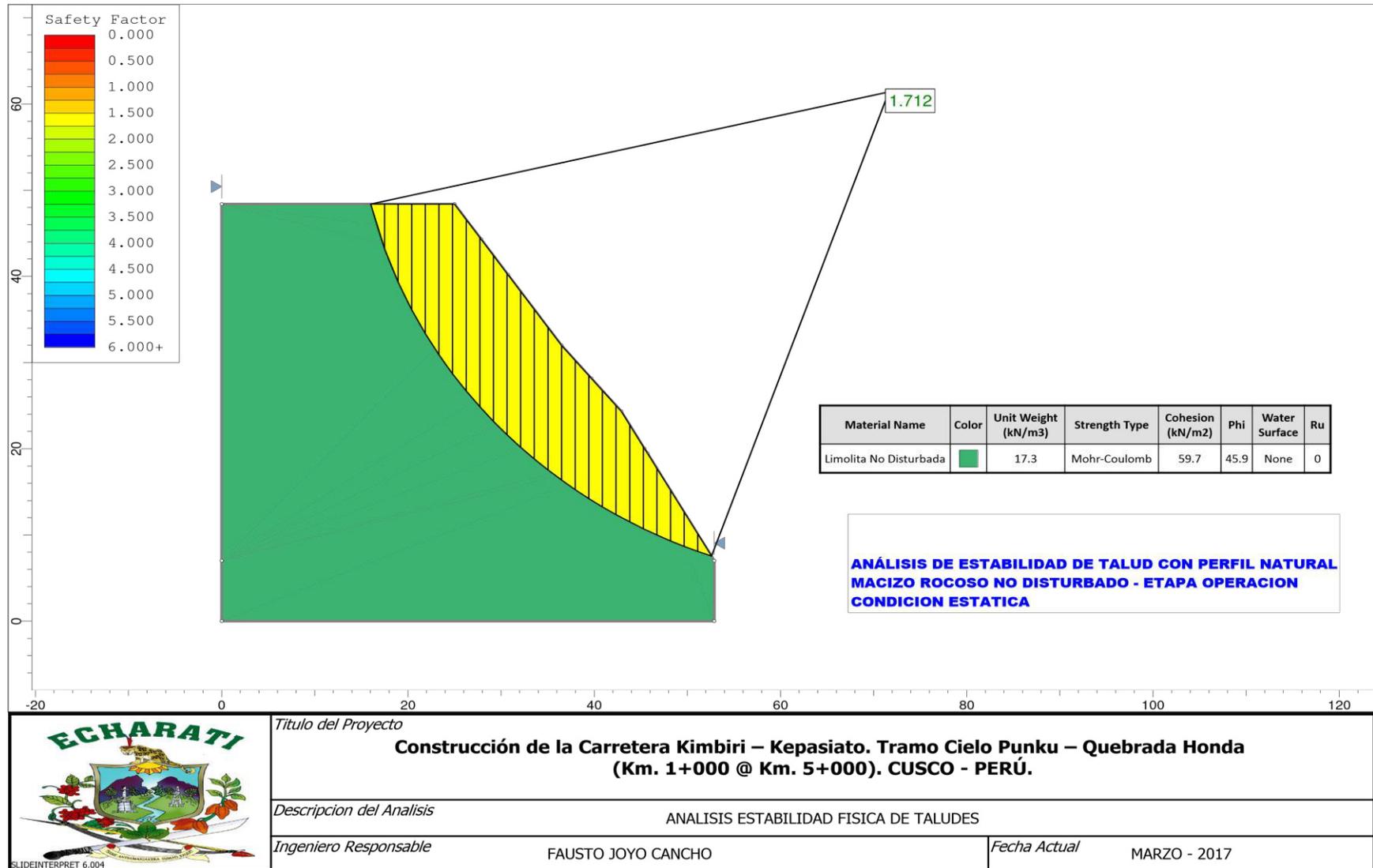


Figura 33: Análisis de estabilidad de talud con perfil natural, macizo rocoso no disturbado-etapa operación, condición estática, ubicado en la progresiva km 3+280. Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006)

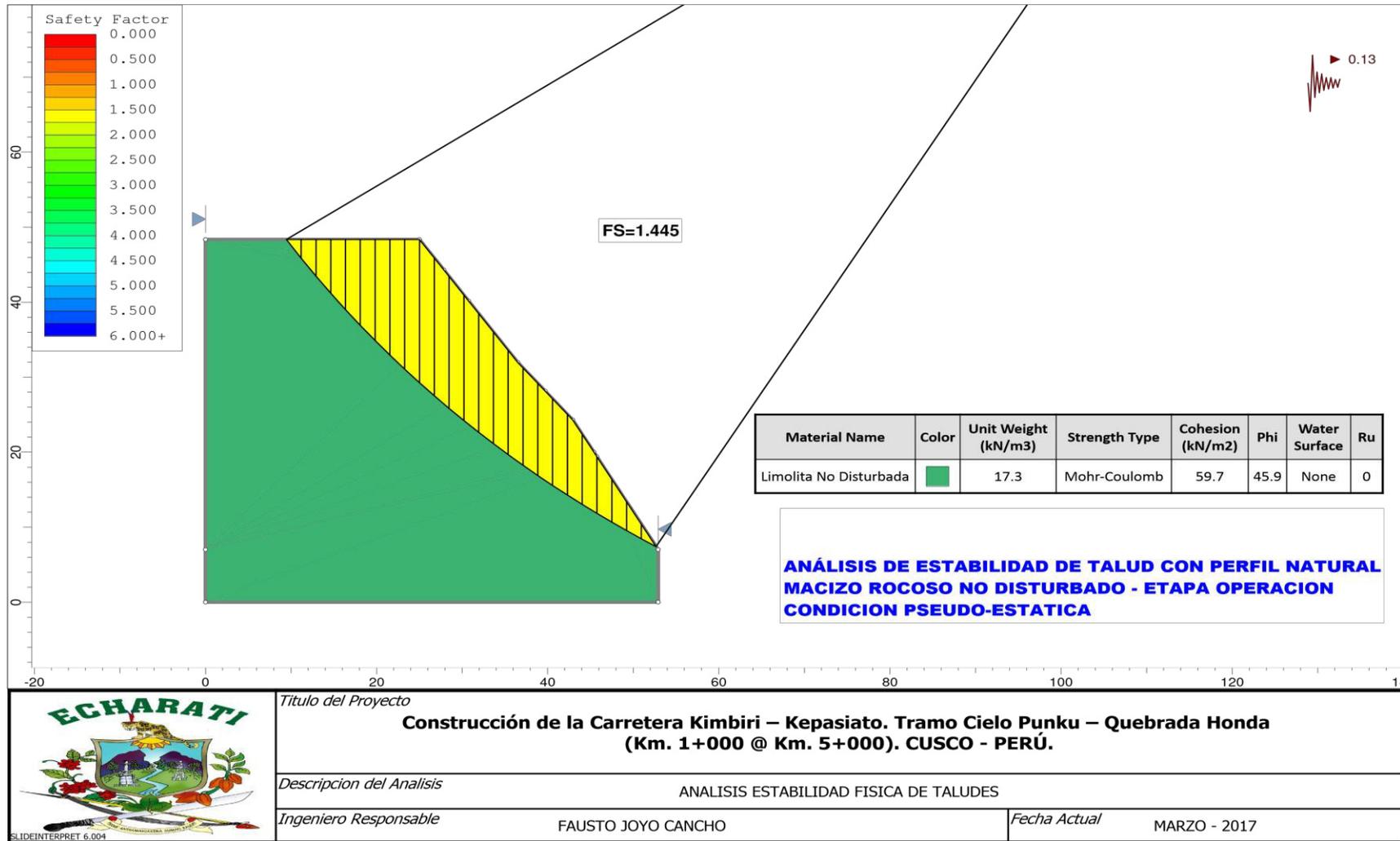


Figura 34: Análisis de estabilidad de talud con perfil natural, macizo rocoso no disturbado-etapa operación, condición Pseudo-estática, ubicado en la progresiva km 3+280. Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006)

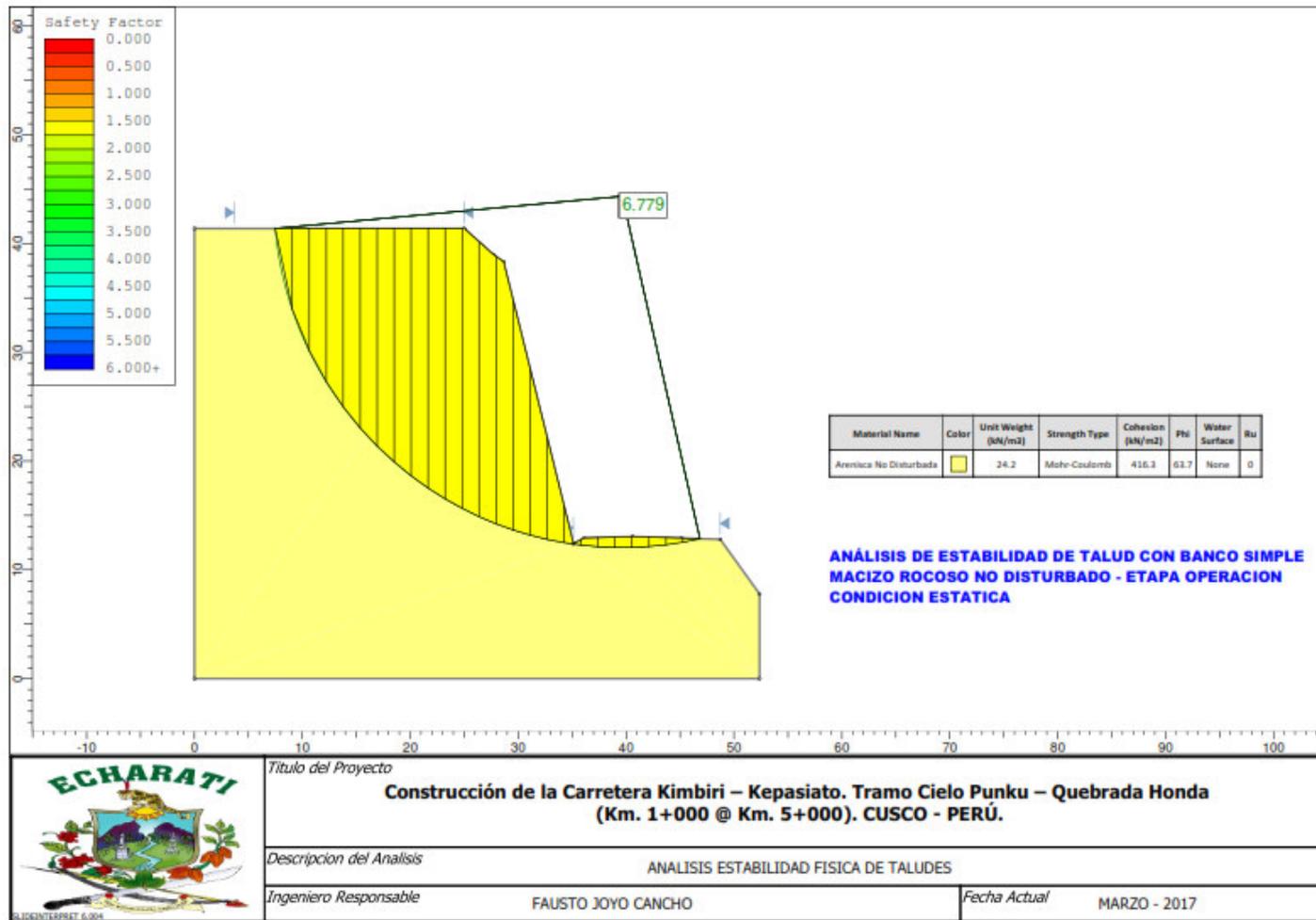


Figura 35: Análisis de estabilidad de talud con banco simple, macizo rocoso no disturbado-etapa operación, condición estática, ubicado en la progresiva km 1+380. Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006)

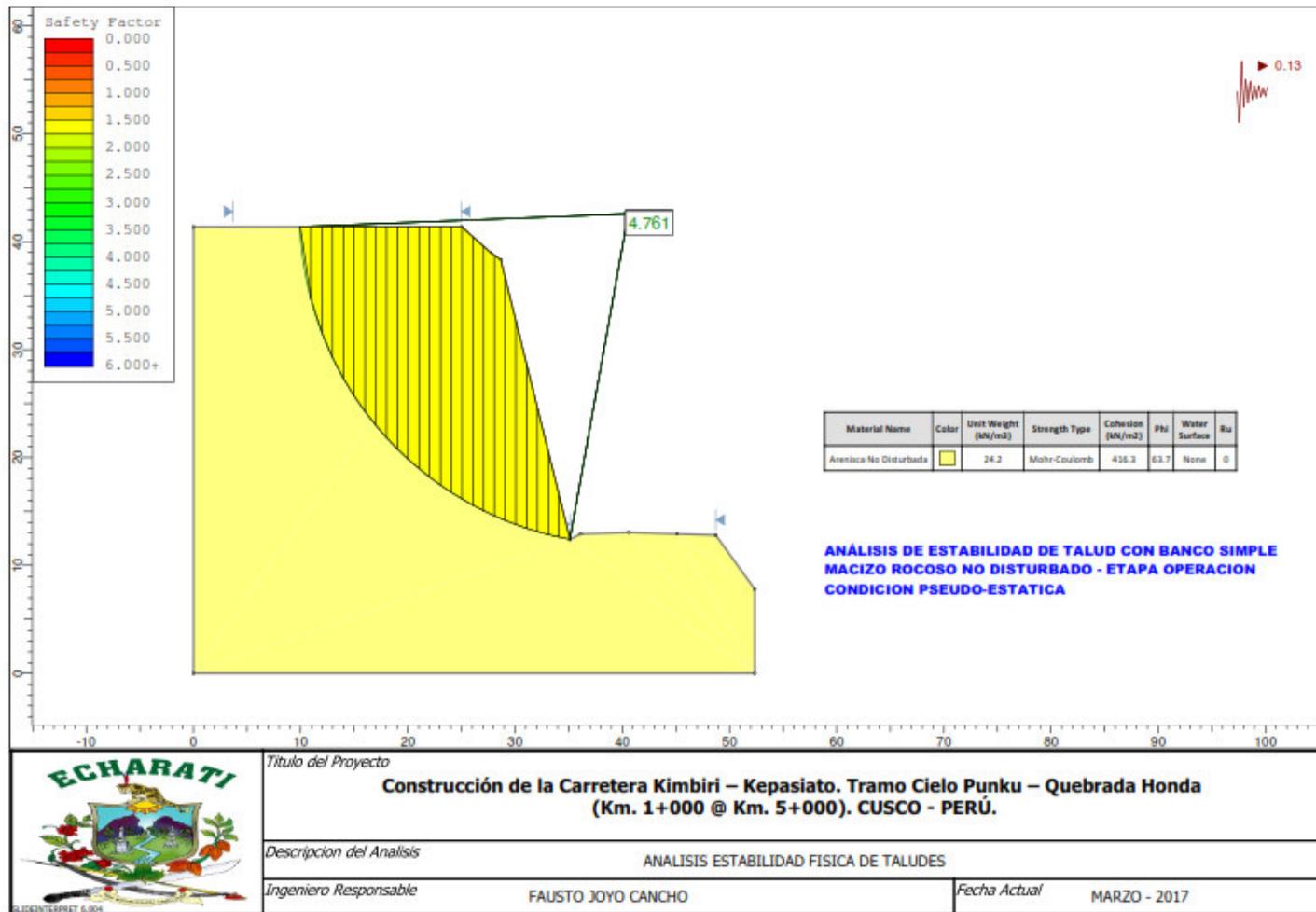


Figura 36: Análisis de estabilidad de talud con perfil natural, macizo rocoso no disturbado-etapa operación, condición Pseudo-estática, ubicado en la progresiva km 1+380. Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006)

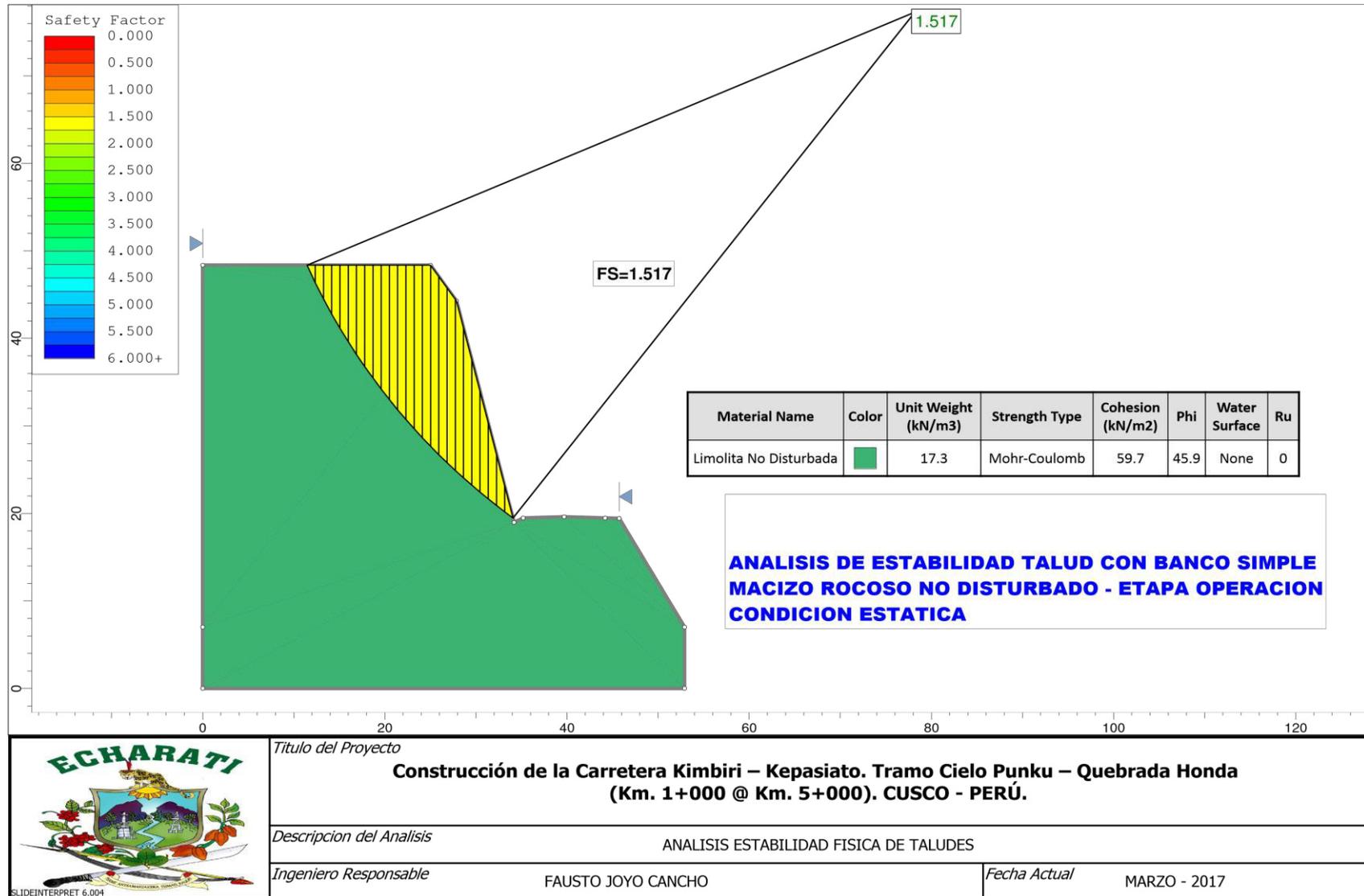


Figura 37: Análisis de estabilidad de talud con banco simple, macizo rocoso no disturbado-etapa operación, condición estática, ubicado en la progresiva km 3+280. Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006)

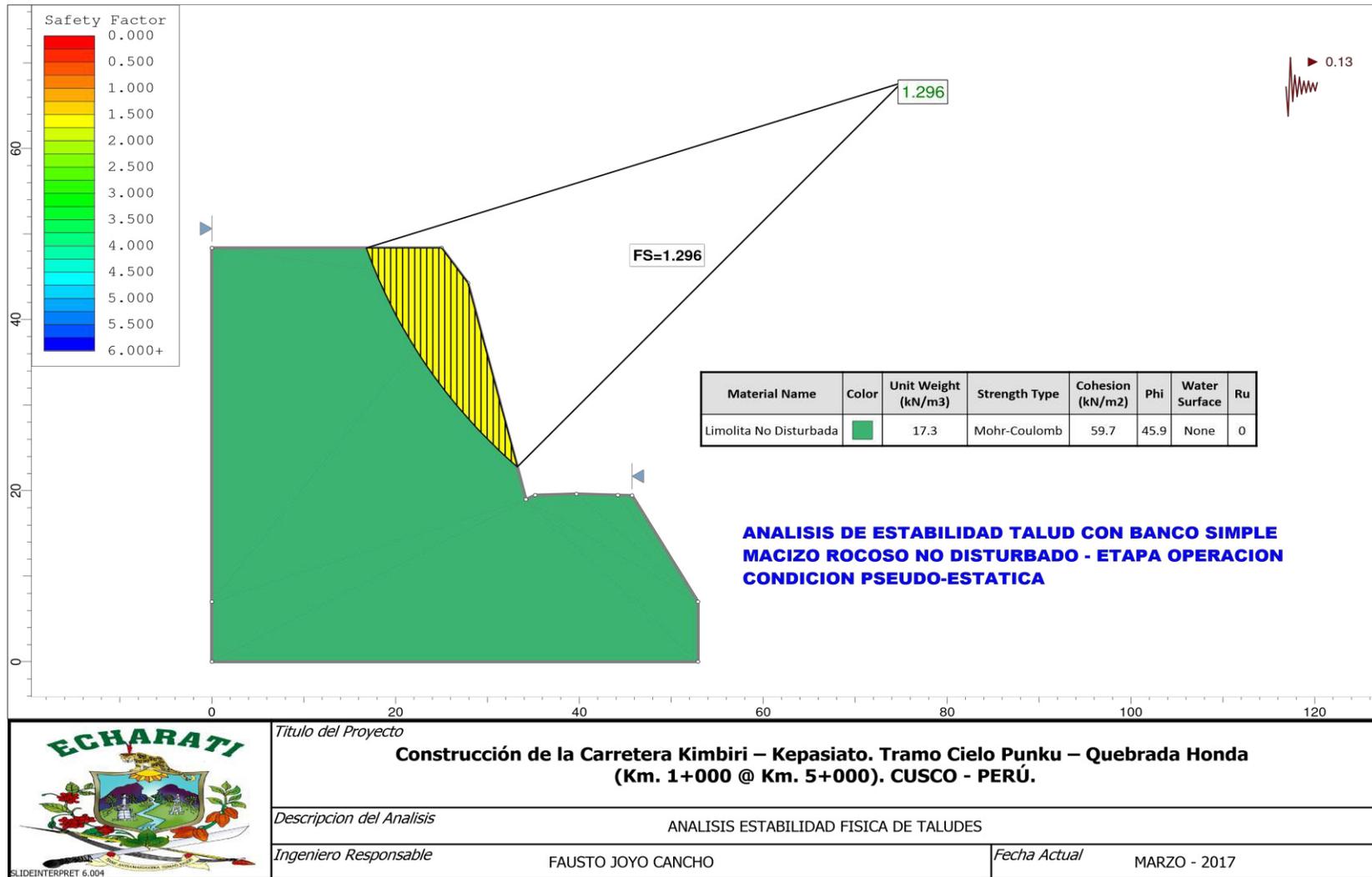


Figura 38: Análisis de estabilidad de talud con banco simple, macizo rocoso no disturbado-etapa operación, condición Pseudo-estática, ubicado en la progresiva  
 Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006)

km 3+280.

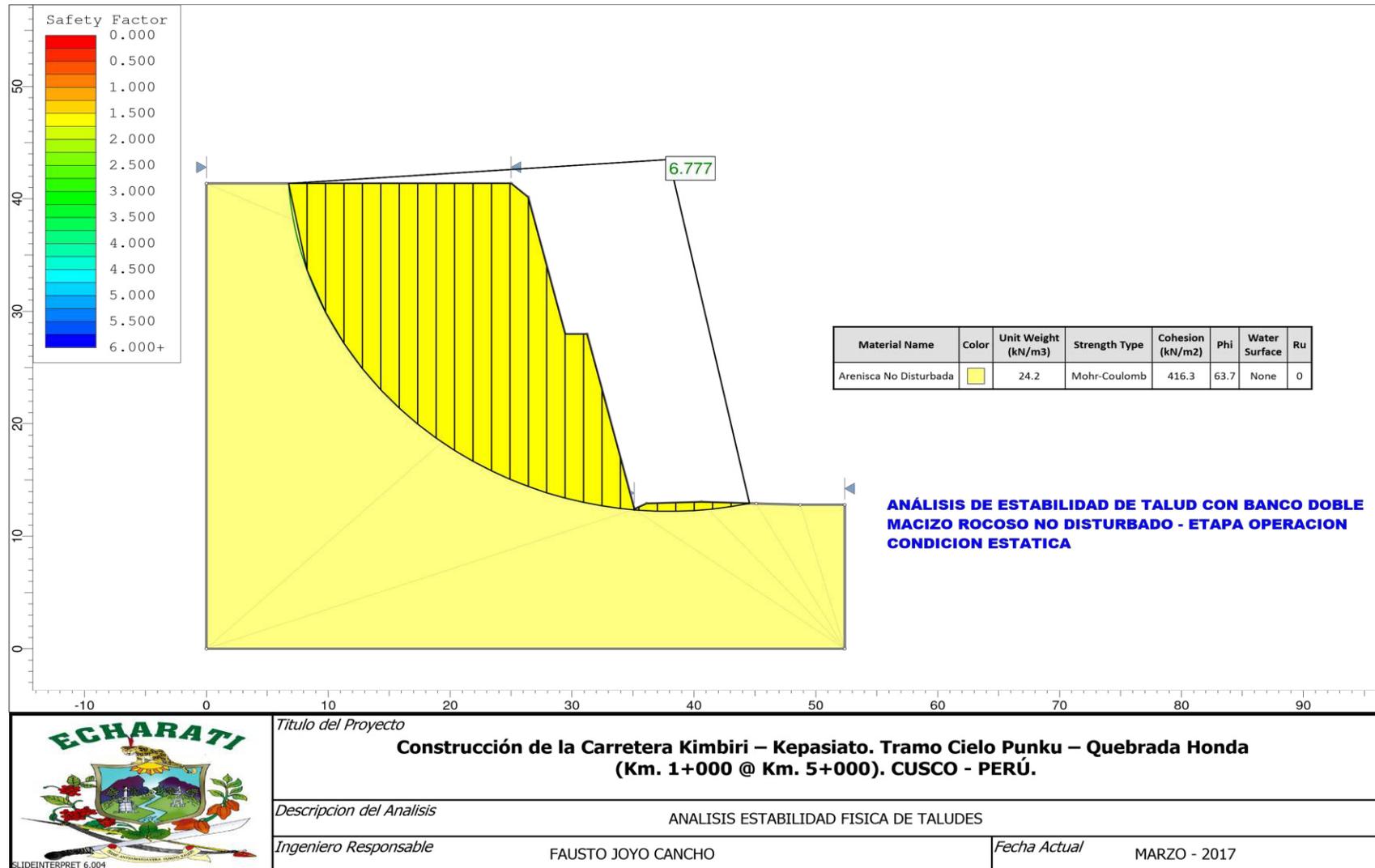


Figura 39: Análisis de estabilidad de talud con banco doble, macizo rocoso no disturbado-etapa operación, condición estática, ubicado en la progresiva km 1+380. Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006)

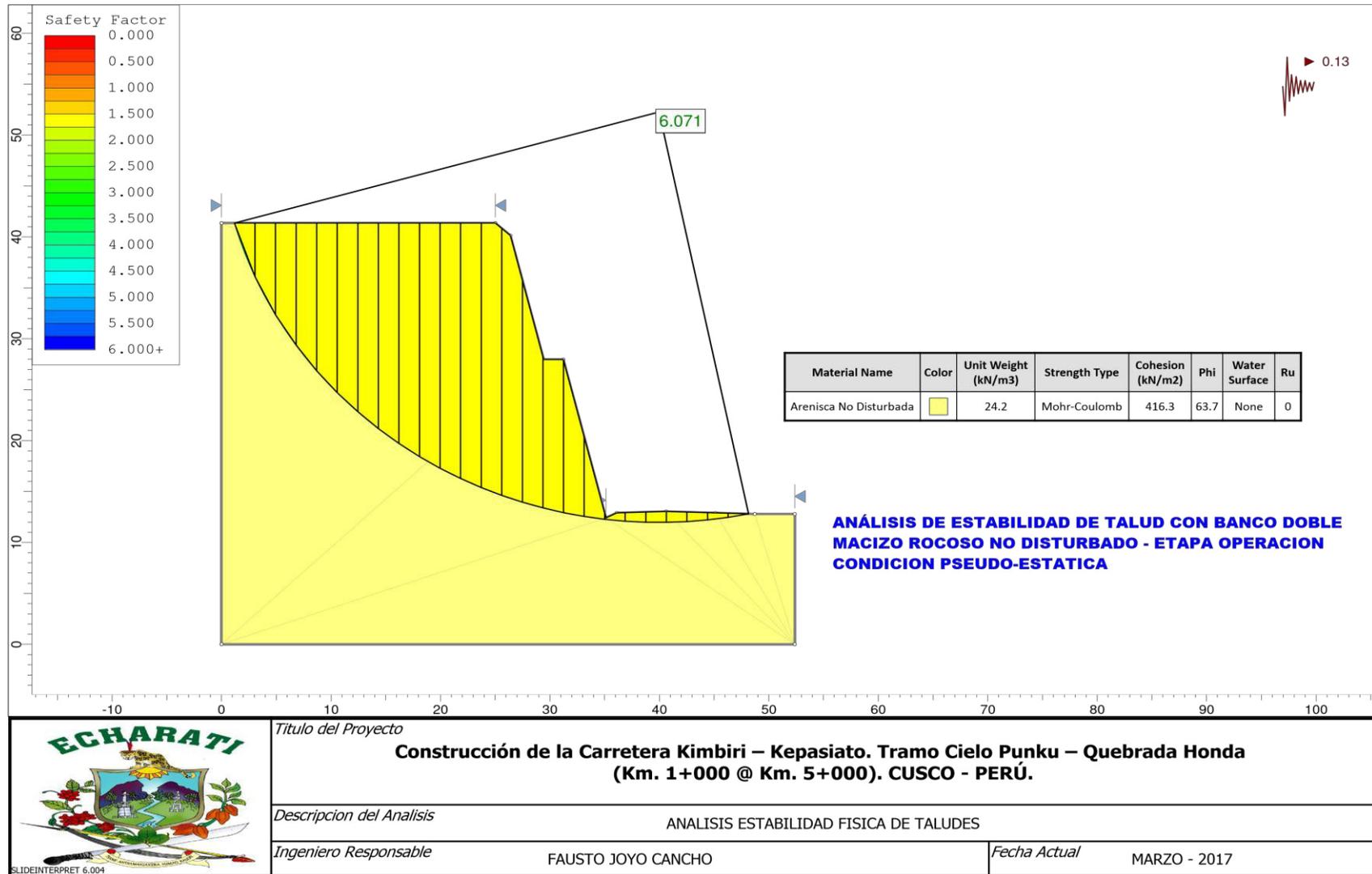


Figura 40: Análisis de estabilidad de talud con banco doble, macizo rocoso no disturbado-etapa operación, condición Pseudo-estática, ubicado en la progresiva  
 Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006)

km 1+380.

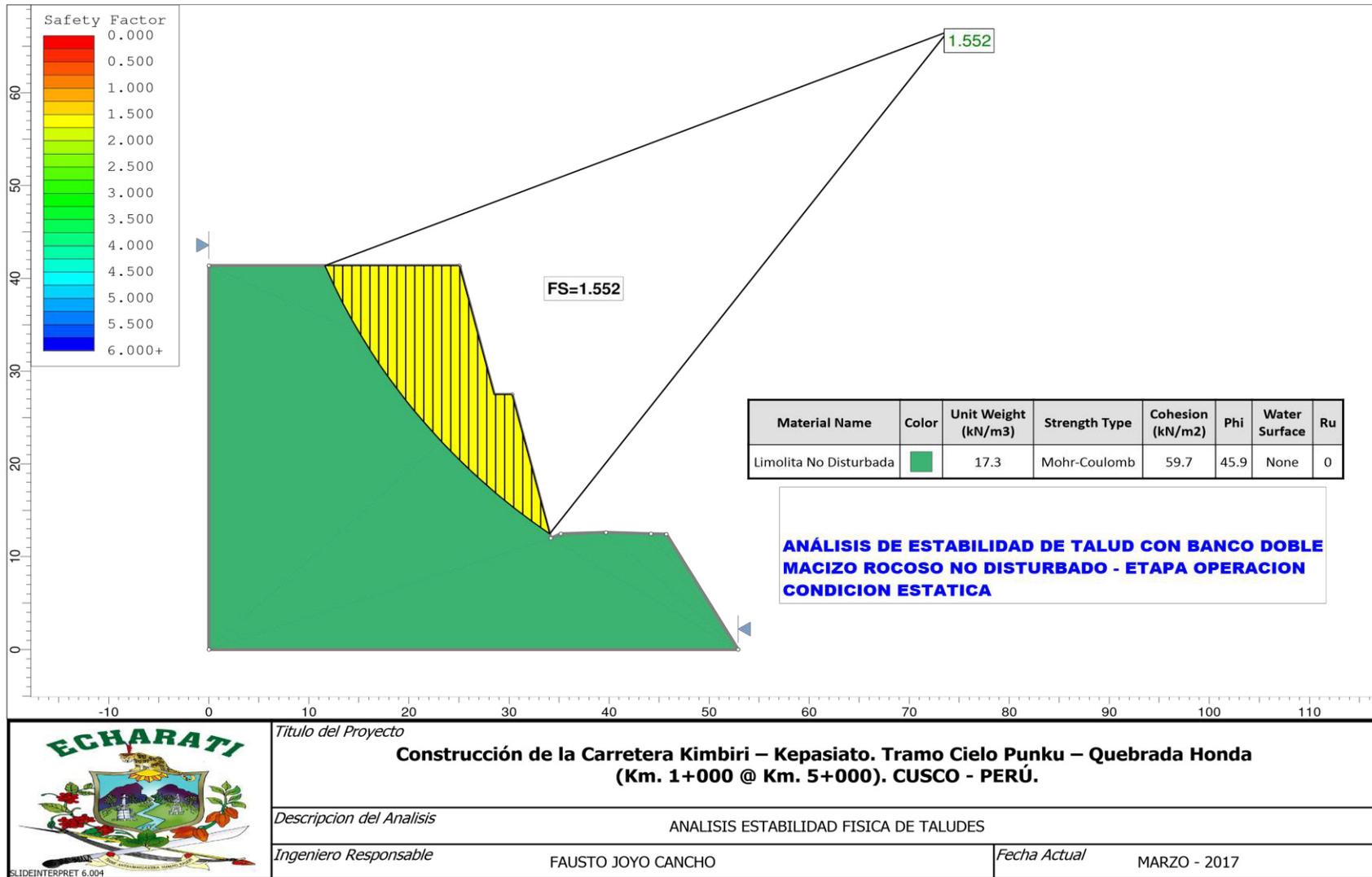


Figura 41: Análisis de estabilidad de talud con banco doble, macizo rocoso no disturbado-etapa operación, condición estática, ubicado en la progresiva km 3+280. Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006)

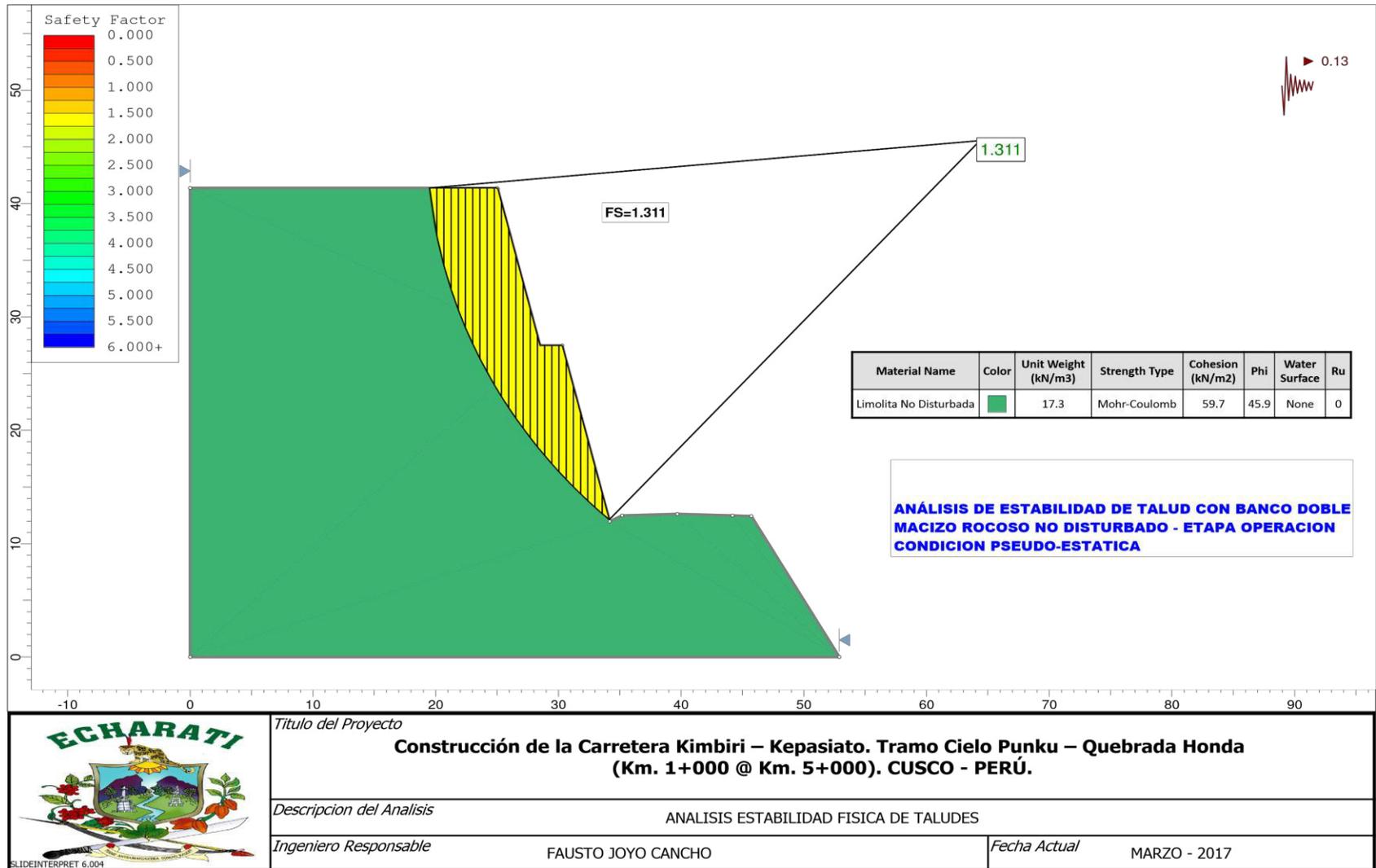


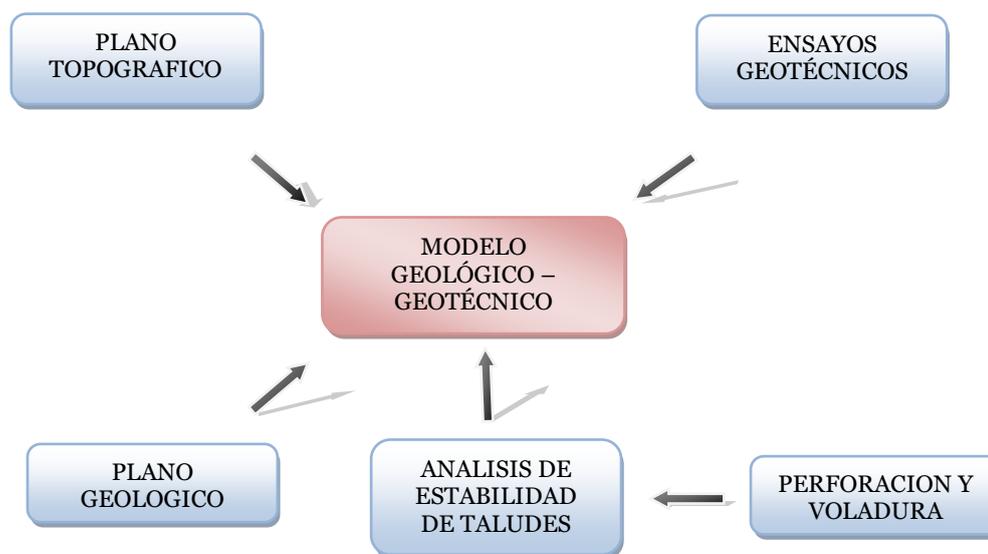
Figura 42: Análisis de estabilidad de talud con banco doble, macizo rocoso no disturbado-etapa operación, condición Pseudo-estática, ubicado en la progresiva km 3+280. Fuente: Software Slide v.6.0 (Rocscience, 2006)

Los resultados cumplen con la Norma Peruana de Carreteras, cuyos parámetros son:

**Tabla 7: Criterios de Estabilidad.** Fuente. (Hoek y Brown, 1997)

Condición	Descripción	Factor de Seguridad (FS) mínimo
Estática	Estable	$FS \geq 1.40$
	Inestable	$FS < 1.40$
Pseudo- Estática	Estable	$FS \geq 1.10$
	Inestable	$FS < 1.10$

#### 4.3.2 Esquema de datos empleados en la elaboración del Modelo.



**Figura 43: esquematización de Modelo.** Fuente propia.

Las dos unidades litológicas (Arenisca y Limolita), junto con las propiedades asignadas a cada una de ellas, conforman el Modelo Geológico-Geotécnico, que puede ser aplicado para la planificación y diseño de campañas de investigación, previa a la ejecución de obras viales.

#### **4.4. Discusión**

Generalmente en nuestro País, en la construcción de carreteras de tercera categoría o trochas carrozables, se tiene la deficiencia de no recolectar información técnica (toma de muestras, ensayos de laboratorio), el uso de procedimientos para la obtención de datos con propiedades del terreno (peso unitario, resistencia).con el fin de tener un ahorro, o que signifique mayor tiempo en la ejecución de la obra. Como ejemplo se puede indicar que en la construcción de la carretera Putis- Chuymacota, ubicado en la Región Ayacucho, ejecutado por la Municipalidad de Huanta, se realizan los trabajos de excavación de laderas empíricamente, sin tomar en cuenta los aspectos geotécnicos del terreno. En la Rehabilitación de la carretera Paucartambo- Pillcopata – Atalaya, ubicado en la Región Cuzco, supervisado por Provias Descentralizado, si realizan los estudios geotécnicos.

## CONCLUSIONES

- El clima de la zona de proyecto se caracteriza por las altas precipitaciones (1,800 mm a 2,200 mm/anuales); se presentan en los meses de diciembre a Abril, llegando a un rango de 500 a 750 mm/mensuales, las mínimas precipitaciones se presentan en los meses de Junio-Agosto ésta no baja de 80 mm/mensuales, por lo que estos meses son favorables para la correcta realización de las excavaciones de laderas por banqueo.
- Los trabajos de perforación y voladura de rocas, se realizó bajo el sistema de arriba hacia abajo por banqueo, utilizando maquinarias portátiles y mecanizadas para la perforación. La voladura es controlada con DECKS (tacos intermedios), para no dañar su superficie final del talud por las vibraciones producidas por el uso de explosivos. Los parámetros controlables (malla de perforación: Burden - Espaciamiento, diámetro, longitud de taladro, carga explosiva en los taladros etc. los cálculos se realizaron con relaciones prácticas según Langefors. Dichos parámetros se aplican en el Software de perforación y voladura de rocas, como se muestra en el anexo 02.
- Para el uso de explosivos en cada unidad litológica (arenisca, Limolita), se consideraron los valores del Índice de RMR BIENIAWSKI, como se muestra en la tabla N° 3.
- .Para la Arenisca RMR 50, para Limolita RMR 40, los cuales se encuentran dentro de la clase de roca III (RMR 40-60) macizo de regular calidad. Cabe señalar el factor de carga 0.36kg/m<sup>3</sup> con una densidad del explosivo dinamita semigelatina de 1.18gr/m<sup>3</sup>, y del Anfo densidad de 0.85 gr/m<sup>3</sup>.
- Cabe mencionar, que el presente modelo Geológico –geotécnico ,para la excavación de laderas por banqueo, será aplicable para las dos unidades Litológicas Arenisca y Limolita, que cumplan con los parámetros de Resistencia al corte de los macizos rocosos y el peso unitario, como se muestra en la tabla N°4.

- Se inicia el trabajo realizando un reconocimiento del tramo carretero, en base a la información disponible de carácter topográfico y geológico de la zona de interés
- Se ha realizado a verificación del trazo de la carretera Cielo Punku - Quebrada Honda, con una longitud de 4+000 Kilómetros.
- El trazo de interés se halla emplazado en una geografía montañosa de naturaleza abrupta, y cubierta de vegetación propia de la selva alta.
- Se realizaron calicatas exploratorias cada 500 metros con la intención de registrar los tipos de suelos, así como su posterior análisis en el laboratorio respectivo.
- Se ha realizado el mapeo geológico del trazo describiendo una litología, básicamente compuesta por los afloramientos de la Formación San José, constituido por rocas de tipo sedimentario, las mismas que por su naturaleza son muy friables y propensas a generar suelos de que encontramos englobados en un matriz limo arcilloso.
- Las Macizos Rocosos fueron evaluados primero en su condición Disturbada, tratando de representar la condición de construcción del talud, estando ésta sometida a perturbaciones externas producto de las voladuras realizadas para los cortes de los bancos. Esta situación, disturbada es solo temporal durante la construcción del talud. La otra condición analizada, corresponde a la del Macizo Roco No Disturbado, esta es la condición actual en la que se encuentra el talud, pues ya no se ve perturbada por efectos de la voladura. Claramente los FS de la condición No Disturbada, están por encima de los de la condición Disturbada, del mismo macizo.
- Los taludes fueron analizados en las condiciones estáticas y pseudo-estáticas. Para esta última se tomó como referencia los valores de aceleración máxima de la Norma Sismoresistente vigente E.030 (2016), estando la zona del proyecto dentro de la Zona 2, que le corresponde un valor máximo de 0.25g. Para el cálculo del FS pseudo-estático se como una fracción (50%) de dicha aceleración pico, por el que CS horizontal considerado en los cálculos fue de 0.13g.

## RECOMENDACIONES

- Como Criterio de Diseño se ha considerado  $FS_{min} (Estático) \geq 1.40$  &  $FS_{min} (Pseudo) \geq 1.10$ . Estos se consideran adecuadamente conservadores y aplicables para proyectos civiles tales como el presente, taludes de carretera.
- De los resultados del cálculo de estabilidad de taludes se tiene que los FS no cumplen los criterios mínimo de estabilidad para el Macizo Rocosó Disturbado. Esto sugiere que se tenga una voladura controlada para los cortes del talud y ejecución de los bancos afin de evitar una perturbación excesiva del MR. Además, considerar durante la perforación y voladura retardos entre disparos y reducir el burden según un diseño que asegure el perfilado adecuado de los bancos.
- Los resultados del análisis de estabilidad para la condición del Macizo Rocosó No Disturbado, que es el que se presenta en la actualidad y durante toda la operación de la estructura en servicio, muestran FS que cumplen con los criterios de estabilidad:  $FS (Estático) \geq 1.40$  &  $FS (Pseudo) \geq 1.10$ , respectivamente.
- Las secciones definidas para el análisis de estabilidad corresponden al de las progresivas Km. 1 + 380 (Arenisca) y Km. 3 + 280 (Limolita). El primero (Arenisca) corresponde a un macizo rocosó de mejor calidad geomecánica que el segundo (Limolita); y eso se ve reflejado en los FS más altos alcanzados por los taludes de arenisca que de limolita. Estos pueden ser optimizados con otros trabajos de investigación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Bienawski, Z. T. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*. New York: John Wiley y Sons.
- [2] Calderón, M. (2015). *Definición preliminar del modelo Geológico-Geotécnico del deslizamiento San Antonio de Pascua, Siquierres Limón*. San José, Costa Rica: Facultad de Ciencias - Escuela Centroamericana de Geología - Universidad de Costa Rica.
- [3] De Matteis, Á. F. (2003). *Geología y Geotecnia - Estabilidad de Taludes. Facultad de Cs. Exactas, Ingeniería y Agrimensura*. Rosario, Argentina: Universidad Nacional de Rosario.
- [4] EXSA. (2008). *Manual Práctico de Voladura* (4 ed.). Lima: EXSA.
- [5] Gonzáles de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., y Oteo, C. (2002). *Ingeniería geológica*. Madrid, España: Pearson Educación S.A.
- [6] Goodman, R. (1989). *Introduction to Rock Mechanics* (2 ed.). New York: John Wiley y Sons Ltd.
- [7] Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (6 ed.). México D.F.: McGraw-HILL / Interamericana Editores, S.A.
- [8] Hoek, E., y Brown, E. (1980). *Underground Excavations in Rock*. London: Instn Min. Metall.
- [9] Hoek, E., y Brown, E. (1997). Practical estimates of rock mass strength. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 34, 1165-1186.
- [10] Hoek, E., Marinos, V., y Marinos, P. (2005). *Characterisation and engineering properties of tectonically undisturbed but lithologically varied sedimentary rock masses*. *International journal of Rock Mechanics and Mining Science*.
- [11] Langefors, U., y Kihlstrom, B. (1968). *Técnica moderna de voladura de rocas* (1 ed.). Bilbao, España: Urmo.
- [12] Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2014). *Manual de Carreteras: Diseño Geométrico*. Lima, Perú: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

- [13] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2016). *Norma técnica E.030 "Diseño sísmoresistente"*. Lima: El Peruano.
- [14] Rivera, H. (2005). *Geología general. Universidad Nacional Mayor de San Marcos* (2 ed.). Lima, Perú.
- [15] Rocscience Inc. (2006). *Phase 2 Tutorial and software*. Toronto: Rocscience, Inc.  
Recuperado de <http://www.rocscience.com>
- [16] Suárez, J. (2005). *Deslizamientos - Análisis Geotécnico* (Vol. 1). Colombia: Geotecnología, S.A.S.

## **ANEXOS**

## ANEXO N° 01: ENSAYOS DE CORTE DIRECTO



LABORATORIO DE  
MECANICA DE ROCAS  
FIMGC - UNSCH

Av. Independencia s/n  
Teléf. (066) - 312510 Anexo 151  
Ayacucho - Perú

### RESULTADO DE COMPRESION SIMPLE LUMP TEST

SOLICITADO POR: Ing° Fausto Joyo Cancho  
PROYECTO: Construcción de la Carretera Kimbiri Kepasiato, Tramo Cielo Punku - Quebrada Honda (Km. 1+000 al Km. 5+000).

ESTRUCTURA:  
PROCEDENCIA: Lugar: Echarate MUESTRA: M-1  
Distrito: La Convención  
Provincia: Cusco  
Depto: Cusco

MUESTRA	CARGA APLICADA Kg	AREAS Cm <sup>2</sup>	AREA PROMEDIO Cm <sup>2</sup>	RESISTENCIA COMPRESION SIMPLE		OBSERVACIONES
				Kg/cm <sup>2</sup>	MPa	
M-1	589	$\frac{4.62}{6.39}$	5.51	106.99	10.49	Arenisca

FECHA: Enero del 2010

LABORATORIO DE MECANICA  
DE ROCAS  
FIMGC-UNSCH  
  
ING. GROVER RUBINA SALAZAR  
RESPONSABLE

Figura 44: Resultado de compresión simple (M1) Arenisca – Km 1+380 .Fuente: Laboratorio de mecánica de rocas UNSCH



LABORATORIO DE  
MECANICA DE ROCAS  
FIMGC- UNSCH

Av. Independencia s/n  
Telef. (066)-312510 Anexo 151  
Ayacucho-Perú

**PROPIEDADES FISICAS DE LA ROCA**

SOLICITADO POR: Ing° Fausto Juyo Cancho  
PROYECTO: Construcción de la Carretera Kimbiri - Kepasiato, Tramo Cielo Punku - Quebrada Honda (Km. 1+000 al Km. 5+000)

ESTRUCTURA:

PROCEDENCIA: Lugar: Echarate  
Distrito:

Provincia: La Convención  
Depto: Cusco

MUESTRA: M-1

MUESTRA	D cm.	L cm.	VOLUMEN cm <sup>3</sup>	PESO NATUR. gr.	PESO SECO gr.	PESO SATUR. gr.	DENSIDAD gr/cm <sup>3</sup>	ABSORCION %	POROSIDAD %	NOMBRE DE ROCA
M-1			28.40	70.30	70.10	71.80	2.47	2.43	5.28	Arenisca

FECHA: Enero del 2010

LABORATORIO DE MECANICA  
DE ROCAS  
FIMGC-UNSCH  
*Ing. Grover Rubina Salazar*  
ING. GROVER RUBINA SALAZAR  
RESPONSABLE

Figura 45: Propiedades físicas de la roca (M1) Arenisca – km 1+380 .Fuente: Laboratorio de mecánica de rocas UNSCH



LABORATORIO DE  
MECÁNICA DE ROCAS  
UNSCH - FIMGC

Av. Independencia s/n  
Telef.(066)-312510 Anexo 151  
Ayacucho Perú

### ENSAYO DE CORTE DIRECTO

SOLICITADO POR: Ing° Fausto Joyo Cancho  
PROYECTO: Construcción de la Carretera Kimbiri - Kepasiato, Tramo Cielo Punku - Quebrada Honda (Km. 1+000 al Km. 5+000)

PROCEDENCIA: Lugar:  
Distrito: Echarate  
Provincia: La Convención  
Depto: Cusco

MUESTRA: M-1

Km. 1+380

AREA: 19.402 m<sup>2</sup>

CARGA NORMAL (KN): 3.0	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 <sup>-2</sup> mm.
1.20	8
1.34	9
1.47	10

CARGA NORMAL (KN): 4.0	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 <sup>-2</sup> mm.
1.63	13
1.77	14
1.91	15

CARGA NORMAL (KN): 5.0	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 <sup>-2</sup> mm.
2.07	18
2.21	19
2.34	20

CARGA NORMAL (KN): 6.0	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 <sup>-2</sup> mm.
2.50	23
2.63	24
2.77	25

RESUMEN	
ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO DE CORTE
Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>
15.83	7.78
21.11	10.06
26.39	12.35
31.66	14.63

RESULTADOS	
COHESION	ANGULO FRICCION
Kg/cm <sup>2</sup>	Grados
0.93	23.4°

DESCRIPCION DE LA MUESTRA:  
La muestra de roca corresponde a una ARENISCA de color beige.  
La roca es compacto y de mediana dureza.

FECHA: Enero del 2010.

LABORATORIO DE MECANICA  
DE ROCAS  
FIMGC-UNSCH  
  
ING. GROVER RUBINA SALAZAR  
RESPONSABLE

Figura 46: Ensayo de corte directo (M-1) Arenisca - km 1+380 .Fuente: Laboratorio de mecánica de rocas UNSCH

**RESULTADOS ENSAYO CORTE DIRECTO**

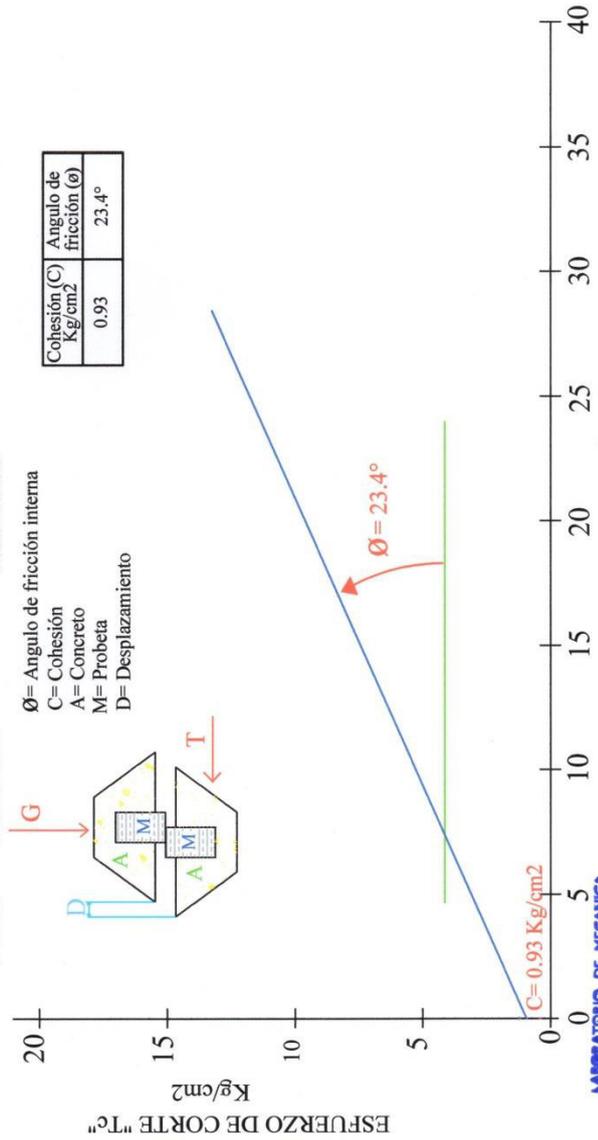
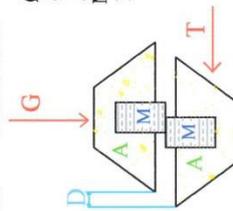
PROYECTO: Construcción de la Carretera Kimbiri Kepasiato, Tramo Cielo Punku - Quebrada Honda (Km. 1+000 al Km. 5+000)

UBICACION: Lugar: Roca. Arenisca  
 Distrito: Echarate  
 MUESTRA: M-1  
 FECHA: Enero del 2010

Provincia: La Convención  
 Departamento: Cusco

Cohesión (C) Kg/cm <sup>2</sup>	Angulo de fricción (θ)
0.93	23.4°

Ø = Angulo de fricción interna  
 C = Cohesión  
 A = Concreto  
 M = Probeta  
 D = Desplazamiento



LABORATORIO DE MECANICA DE ROCAS FMGC-UNSCH

*M. Gabriela Salazar*  
 ING. GROVER RUBIÑA SALAZAR RESPONSABLE

GRAFICO N° 1

Figura 47: Ensayo de corte directo (M-1) Arenisca - km 1+380 .Fuente: Laboratorio de mecánica de rocas UNSCH



LABORATORIO DE  
MECANICA DE ROCAS  
FIMGC - UNSCH

Av. Independencia s/n  
Teléf. (066) - 312510 Anexo 151  
Ayacucho - Perú

**RESULTADO DE COMPRESION SIMPLE  
LUMP TEST**

SOLICITADO POR: Ing° Fausto Joyo Cancho  
PROYECTO: Construcción de la Carretera Kimbiri Kepasiato, Tramo Cielo Punku - Quebrada Honda (Km. 1+000 al Km. 5+000).

ESTRUCTURA:  
PROCEDENCIA: Lugar: Echarate MUESTRA: M-2  
Distrito: La Convención  
Provincia: Cusco  
Depto: Cusco

MUESTRA	CARGA APLICADA Kg	AREAS Cm <sup>2</sup>	AREA PROMEDIO Cm <sup>2</sup>	RESISTENCIA COMPRESION SIMPLE		OBSERVACIONES
				Kg/cm <sup>2</sup>	MPa	
M-2	67	<u>4.38</u> 6.39	5.39	12.44	1.22	Limolita

FECHA: Enero del 2010

LABORATORIO DE MECANICA  
DE ROCAS  
FIMGC-UNSCH  
  
ING. GROVER RUBINA SALAZAR  
RESPONSABLE

**Figura 48: Ensayo de compresión simple (M-2) Limolita - km 3+280 .Fuente: Laboratorio de mecánica de rocas UNSCH**



LABORATORIO DE  
MECANICA DE ROCAS  
FIMGC - UNSCH

Av. Independencia s/ n  
Telef. (066) 312510 Anexo 151  
Ayacucho-Perú

**PROPIEDADES FISICAS DE LA ROCA**

SOLICITADO POR:  
Ing° Fausto Joyo Cancho

PROYECTO:  
Construcción de la Carretera Kimbiri - Kepasiato, Tramo Cielo Punku - Quebrada Honda (Km. 1+000 al Km. 5+000)

ESTRUCTURA:

PROCEDENCIA:  
Lugar: Echarate  
Distrito: Echarate

MUESTRA: M-2  
Provincia: La Convención  
Depto: Cusco

MUESTRA	D cm.	L cm.	VOLUMEN cm3	PESO NATUR. gr.	PESO SECO gr.	PESO SATUR. gr.	DENSIDAD gr/cm3	ABSORCION %	POROSIDAD %	NOMBRE DE ROCA
M-1			24.60	43.50	43.20	46.30	1.76	7.18	11.38	Limolita

FECHA: Enero del 2010

LABORATORIO DE MECANICA  
DE ROCAS  
FIMGC-UNSCH  
*[Signature]*  
ING. GUERRET RUBEN SALAZAR  
RESPONSABLE

Figura 49: Propiedades físicas de la roca (M-2) Limolita - km 3+280 .Fuente: Laboratorio de mecánica de rocas UNSCH



LABORATORIO DE  
MECÁNICA DE ROCAS  
UNSCH - FIMGC

Av. Independencia s/n  
Telef.(066)-312510 Anexo 151  
Ayacucho Perú

### ENSAYO DE CORTE DIRECTO

SOLICITADO POR: Ing<sup>o</sup> Fausto Joyo Cancho  
PROYECTO: Construcción de la Carretera Kimbiri - Kepasiato, Tramo Cielo Punku - Quebrada Honda (Km. 1+000 al Km. 5+000)

PROCEDENCIA: Lugar:  
Distrito: Echarate  
Provincia: La Convención  
Depto: Cusco

MUESTRA: M-2  
Km. 3+280

AREA: 19.402 m<sup>2</sup>

CARGA NORMAL (KN): 3.0	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 <sup>-2</sup> mm.
1.01	6
1.15	7
1.28	8

CARGA NORMAL (KN): 4.0	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 <sup>-2</sup> mm.
1.39	11
1.53	12
1.67	13

CARGA NORMAL (KN): 5.0	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 <sup>-2</sup> mm.
1.78	16
1.92	17
2.05	18

CARGA NORMAL (KN): 6.0	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 <sup>-2</sup> mm.
2.17	21
2.30	22
2.44	23

RESUMEN	
ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO DE CORTE
Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>
15.83	6.75
21.11	8.80
26.39	10.84
31.66	12.89

RESULTADOS	
COHESION	ANGULO FRICCION
Kg/cm <sup>2</sup>	Grados
0.61	21.2°

DESCRIPCION DE LA MUESTRA:  
La muestra de roca corresponde a una LIMOLITA de color beige.  
La roca es algo compacto y de baja dureza.

FECHA: Enero del 2010.

LABORATORIO DE MECÁNICA  
DE ROCAS  
FIMGC-UNSCH  
  
ING. GROVER RUBINA SALAZAR  
RESPONSABLE

Figura 50: Ensayo de corte directo (M-2) Limolita - km 3+280 .Fuente: Laboratorio de mecánica de rocas UNSCH

**RESULTADOS ENSAYO CORTE DIRECTO**

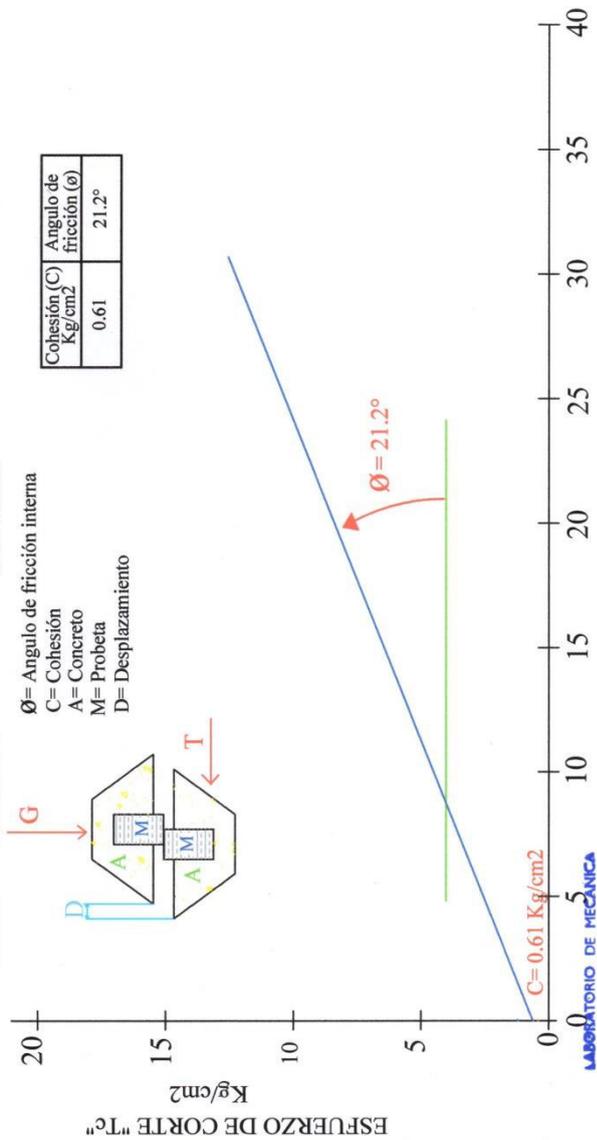
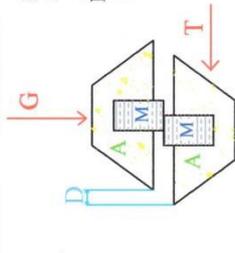
PROYECTO: Construcción de la Carretera Kimbiri Kepasiato, Tramo Cielo Punku - Quebrada Honda (Km. 1+000 al Km. 5+000)

UBICACION: Lugar: Provincia: La Convención  
 Distrito: Echarate Departamento: Cusco

MUESTRA: M-2 Roca: Limolita

FECHA: Enero del 2010

Cohesión (C) Kg/cm <sup>2</sup>	Angulo de fricción (φ)
0.61	21.2°



LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS  
 FIMGC-UNSCH  
 ING. RAFAEL RUBINA SALAZAR RESPONSABLE

ESFUERZO NORMAL "Gn", Kg/cm<sup>2</sup>

GRAFICO N° 1

Figura 51: Ensayo de corte directo (M-2) Limolita - km 3+280 .Fuente: Laboratorio de mecánica de rocas UNSCH

## ANEXO N° 02: SOFTWARE DE PERFORACIÓN Y VOLADURA

2	<b>1. DATOS GENERALES</b>			
3	Obra	Construcción Carretera Kimbiri-Kepashiato		
4	Fecha de Evaluación	01-nov-10		
5	Días Trabajados por Mes	25	Días / mes	
6	Jornada de Trabajo por Turno	8.00	Hr / turno	
7				
8		<b>CARRETERA Y ACCESOS</b>		
9	<b>2. PRODUCCION REQUERIDA</b>			
10	Producción Total Requerida	30,000		m³
11	Plazo de Ejecución	3		meses
12	Producción Mensual Requerida	10,000		m³/mes
13	Producción Diaria Requerida	300		m³/día
14	<b>3. PERFORACION DE PRODUCCION</b>			
15	<b>a) Producción Requerida por Alternativa</b>			
16	Alternativa Propuesta	"A"	"B"	"C"
17	Tipo de Equipo de Perforación	Trackdrill Hidráulico	Trackdrill Neumático	Martillo Manual
18	% Participación Producción Requerida	100%		
19	Producción Requerida por Alternativa	0	30,000	
20	Producción Requerida por Día	300	400	
21	N° Turnos / Día	1		Turnos/día
22	<b>b) Equipos de Perforación Primaria</b>			
23	Marca de Equipo de Perforación	Furukawa	Ingersoll Rand	Atlas Copco
24	Modelo de Equipo de Perforación	CR 6D	CM 351	RH 658
25	Consumo de Petróleo		7.00	gln/hr
26	Tipo de Compresora		Compresor a Portátil	Compresor a Portátil
27	Marca de Compresora		Ingersoll Rand	Ingersoll Rand
28	Modelo de Compresora		750 PCM	750 PCM
29	Consumo de Petróleo		7.00	gln/hr
30	<b>c) Parámetros de Perforación Primaria</b>			
31	Diámetro de Perforación	2 1/2		Pulg
32	Velocidad de Perforación			m/hr
33	% Eficiencia Operacional			
34	Fragmentación Máxima	24.00		Pulg
35	Tipo de Roca	arenisca		
36	Resistencia a la Compresión	10		Mpa
37	Grado de Abrasividad	Media		

Fuente: Minexpon

38	Peso Especifico del Material	2.50		TM/m³
39	Burden	2.00		m
40	Espaciamiento	2.00		m
41	Altura de Banco	3.00		m
42	Sobreperforación	0.30		m
43	Producción / Equipo-Turno	300.00		m³/turno
44	Producción / Equipo-Día	300.00		m³/equipo-día
45	N° Equipos Requeridos / Día	1.00		Equipos
46	<b>d) Equipos de Perforación Secundaria</b>			
47	Tipo de Martillo	Martillo Manual		
48	Marca de Martillo	Atlas Copco		
49	Modelo de Martillo	RH 658		
50	Tipo de Compresora	Compresora Portátil		
51	Marca de Compresora	Ingersoll Rand		
52	Modelo de Compresora	375 PCM		
53	Consumo de Petróleo	3.00		galn/hr
54	<b>e) Parámetros de Perforación Secundaria</b>			
55	% Sobrefragmentación			
56	Diámetro de Perforación	1 1/2		Pulg
57	Velocidad de Perforación	12.00		m/hr
58	Eficiencia de Operación			
59	Fragmentación Máxima	24.00		Pulg
60	Burden	1.00		m
61	Espaciamiento	1.00		m
62	Longitud de Perforación	1.00		m
63	N° Taladros por Turno	32	0	Tal/turno
64	Metros Perforados por Turno	96	0	m/turno
65	Producción / Martillo-Turno	0.00		m³/mart-turno
66	Producción Requerida por Turno	0.00	0.00	m³/turno
67	N° Martillos Requeridos por Turno	1.00		Martillos
8		<b>CARRETERA Y ACCESOS</b>		
68	<b>f) Vida Util de Accesorios de Perforación</b>			
69	Broca de Botones T38, de 2½" ø	1,500		m.p.
70	Broca de Botones T38, de 3" ø			m.p.
71	Barra de Extensión T38 Tipo MF, de 12 pies	5,000		m.p.
72	Adaptador de Culata T38	5,000		m.p.
73	Barreno Integral 1 1/4", de 4 pies	1,000		m.p.
74	Barreno Integral 1 1/4", de 6 pies	1,000		m.p.
75	Barreno Integral 1 1/4", de 8 pies	1,000		m.p.
76				
77		<b>RESULTADOS DE COSTOS DE PERFORACION Y VOLADURA</b>		
78	TIPO DE EQUIPOS DE PERFORACION	Trackdrill Hidráulic	Trackdrill Neumático	Martillo Manual
79	PRECIO UNITARIO POR m³	S/. 18.00	S/. 18.00	S/. 30.00
80	% PARTICIPACION EN PROYECTO	0%	100%	100%
81				
82		<b>RESUMEN COSTOS DE PERFORACION Y VOLADURA</b>		
83	<b>1) CON ROCKDRILL Y MARTILLO</b>	S/. 30.00		
84	<b>2) CON TRACKDRILL Y MARTILLO</b>	S/. 48.00		
85	<b>3) CON MARTILLO MANUAL</b>	S/. 30.00		

Fuente: Minexpon

1	<b>4. VOLADURA DE PRODUCCION</b>								
2	<b>4.1 CARRETERA Y ACCESOS</b>								
3	Equipo de perforación	Trackdrill Hidráulico							
4	Tipo de roca	arenisca							
5	Densidad de roca	2.50	ton/m <sup>3</sup>						
6	Fragmentación máxima	24.00	pulg						
7	Altura de banco	3.00	m						
8	Diámetro de perforación	2 1/2	pulg						
9	Tipo de explosivo	ANFO							
10	Densidad del explosivo	0.85	gr/cm <sup>3</sup>						
11	<b>Diseño de Malla Asumido:</b>								
12	Burden	2.00	m						
13	Espaciamiento	2.00	m						
14	Sobreperforación	0.30	m						
15	<b>Diseño de Carga:</b>								
16	Longitud total de taladro	3.30	m						
17	Sistema de carga	Continua							
18	% Longitud de carga	4/7							
19	Longitud total de carga	1.89	m						
20	Longitud total de atacado	1.41	m						
21	Volumen roto / taladro	12.00	m <sup>3</sup> /tal						
22	<b>Factor de Carga (columna de carga):</b>								
23	Tipo de explosivo	ANFO							
24	Densidad de explosivo	0.85	g/cm <sup>3</sup>						
25	Densidad lineal	2.69	Kg/m						
26	Peso explosivo / taladro	5.08	Kg/tal						
27	Factor de carga	0.42	Kg/m <sup>3</sup>						
28		0.17	Kg/ton						
29	<b>Iniciador:</b>								
30	N° decks (taco intermedio)	0							
31	N° iniciadores tipo booster / taladro	1							
32	Peso 1 Iniciador booster	1/3	lb						
33	Peso total iniciadores / taladro	0.1512	Kg/tal						
34	Factor de consumo	0.0126	Kg/m <sup>3</sup>						
35		0.0050	Kg/ton						

Fuente: Minexpon

36	<b>Cordón Detonante:</b>							
37	Cantidad amarre con iniciador	0.25	m/tal					
38	Cantidad longitud del taladro - Línea 1	3.30	m/tal					
39	Cantidad longitud del taladro - Línea 2	0.00	m/tal					
40	Cantidad amarre con línea superficie	0.20	m/tal					
41	Cantidad amarre taladro a taladro	2.00	m/tal					
42	Cantidad amarre fila a fila	2.00	m/tal					
43	Cantidad tramo para chispeo	1.00	m/tal					
44	<b>Cantidad total cordón / taladro</b>	<b>3.00</b>	<b>m/tal</b>					
45	<b>Factor de consumo</b>	<b>0.2500</b>	<b>m/m³</b>					
46		<b>0.1000</b>	<b>m/ton</b>					
47								
48	<b>4.2 CARRETERA Y ACCESOS</b>							
49	<b>Equipo de perforación</b>	<b>Martillo Manual</b>						
50	<b>Tipo de roca</b>	<b>Arenisca</b>						
51	<b>Densidad de roca</b>	<b>2.50</b>	gr/cm³					
52	<b>Fragmentación máxima</b>	<b>24.00</b>	pulg					
53	<b>Altura de banco</b>	<b>1.70</b>	m					
54	<b>Diámetro de perforación</b>	<b>1 1/2</b>	pulg					
55	<b>Burden</b>	<b>1.00</b>	m					
56	<b>Espaciamiento</b>	<b>1.00</b>	m					
57	<b>Sobreperforación</b>	<b>0.10</b>	m					
58	<b>Longitud de taladro</b>	<b>1.80</b>	m					
59	<b>Volumen roto / taladro</b>	<b>1.70</b>	<b>m³/tal</b>					

Fuente: Minexpon

60	<b>Factor de Carga (columna de carga):</b>							
61	<b>Tipo de explosivo</b>	<b>Dinamita semigelatina</b>						
62	<b>Diámetro del cartucho de dinamita</b>	<b>1 1/8</b>	pulg					
63	<b>Longitud del cartucho de dinamita</b>	<b>7.00</b>	pulg					
64	<b>Densidad del explosivo</b>	<b>1.16</b>	gr/cm³					
65	<b>Peso neto 1 caja de dinamita</b>	<b>25</b>	kg					
66	<b>N° cartuchos por caja de dinamita</b>	<b>204</b>	cart					
67	<b>Peso de 1 cartucho de dinamita</b>	<b>0.12</b>	kg/cart					
68	<b>Longitud total de taladro</b>	<b>1.80</b>	m					
69	<b>% Longitud de carga</b>	<b>1/2</b>						
70	<b>Longitud de carga</b>	<b>0.90</b>	m					
71	<b>Longitud de cartucho de dinamita</b>	<b>0.18</b>	m					
72	<b>N° cartuchos / taladro</b>	<b>5.06</b>	cart/tal					
73	<b>Peso explosivo / taladro</b>	<b>0.62</b>	kg/tal					
74	<b>Factor de carga</b>	<b>0.36</b>	Kg/m³					
75		<b>0.15</b>	Kg/ton					
76	<b>Cordón Detonante:</b>							
77	Cantidad amarre con iniciador	0.20	m/tal					
78	Cantidad amarre con superficie	0.15	m/tal					
79	Cantidad amarre taladro a taladro	1.00	m/tal					
80	Longitud de taladro	1.80	m/tal					
81	Cantidad total cordón / taladro	3.15	m/tal					
82	<b>Factor de consumo</b>	<b>1.8529</b>	<b>m/m³</b>					
83		<b>0.7412</b>	<b>m/ton</b>					

Fuente: Minexpon

DISEÑO DE PARAMETROS DE PERFORACION Y VOLADURA SECUNDARIA					
1					
2	<b>1. CARRETERA Y ACCESOS</b>				
3	Equipo de perforación	Trackdrill Hidráulico	Trackdrill Neumático		
4	Tipo de roca	arenisca			
5	Densidad de roca	2.50			gr/cm³
6	Fragmentación máxima	24.00			pulg
7	Producción de voladura primaria	0.00	300.00	m³/turno	
8	% Sobrefragmentación	0%			
9	Producción de voladura primaria	0.00	0.00	m³/turno	
10	Diámetro de perforación	1 1/2			pulg
11	Burden	1.00			m
12	Espaciamiento	1.00			m
13	Longitud de taladro	1.00			m
14	Volumen roto / taladro	1.00			m³/tal
15	N° total de taladros / turno	0	0	tal/turno	
16	<b>Factor de Carga (columna de carga):</b>				
17	Tipo de explosivo	Dinamita semigelatina 65%			
18	Diámetro del cartucho de dinamita	1 1/8			pulg
19	Longitud del cartucho de dinamita	7.00			pulg
20	Densidad del explosivo	1.16			gr/cm³
21	Peso neto 1 caja de dinamita	25			kg
22	N° cartuchos por caja de dinamita	204			cart
23	Peso de 1 cartucho de dinamita	0.12			kg/cart
24	Longitud total de taladro	1.00			m
25	% Longitud de carga	1/4			
26	Longitud de carga	0.25			m
27	Longitud de cartucho de dinamita	0.18			m
28	N° cartuchos / taladro	1.41			cart/tal
29	N° cartuchos / turno	0.00	0.00	cart/turno	
30	Peso de explosivo / turno	0.00	0.00	kg/turno	
31	Factor de carga	0.40	0.40	Kg/m³	
32		0.16	0.16	Kg/ton	
33	<b>Cordón Detonante:</b>				
34	Cantidad amarre con iniciador	0.20			m/tal
35	Cantidad amarre con superficie	0.15			m/tal
36	Cantidad amarre taladro a taladro	1.00			m/tal
37	Longitud de taladro	1.00			m/tal
38	Cantidad total cordón / taladro	2.35			m/tal
39	Cantidad total cordón / turno	250.00	250.00	m/turno	
40	Factor de consumo	0.9000	0.9000	m/m³	
41		0.3600	0.3600	m/ton	



Fuente: Minexpon

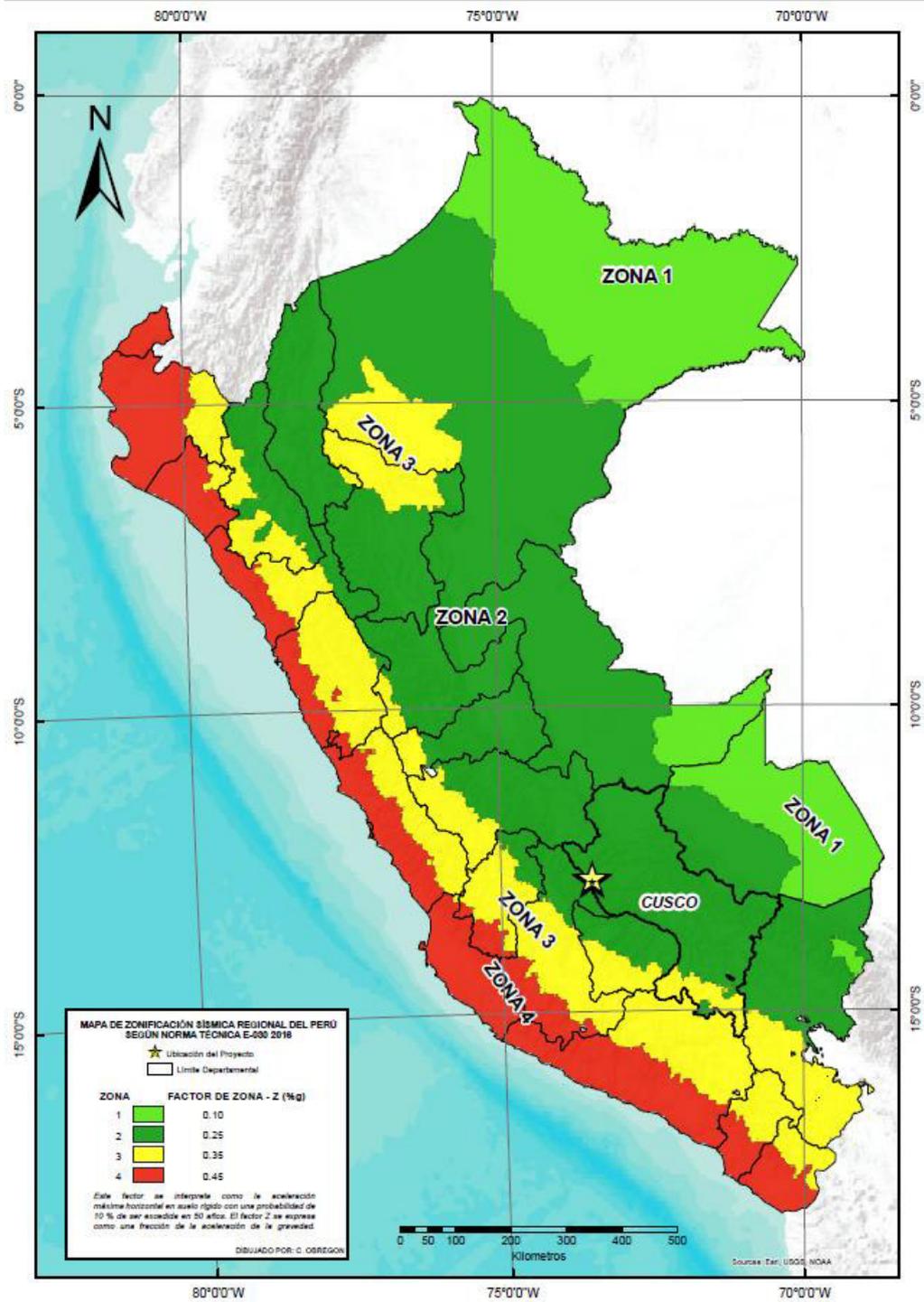
BASE DE DATOS ECONOMICA					
1					
2	<b>1. DATOS GENERALES</b>				
3	Fecha de Evaluación			Nov. 2010	
4	<b>Tipo de Cambio (Venta)</b>				
5	<b>2. COSTOS HORARIOS DE MANO DE OBRA</b>				
6	Supervisor de Turno			8.53	US\$ / H-H
7	Operario Trackdrill Hidráulico			7.77	US\$ / H-H
8	Operario Trackdrill Neumático			6.81	US\$ / H-H
9	Operario Perforista Manual / Compresorista			6.33	US\$ / H-H
10	Operario de Voladura			6.33	US\$ / H-H
11	Ayudante de Trackdrill / Perforista / Voladura			4.77	US\$ / H-H
12	<b>3. PRECIOS DE ACCESORIOS DE PERFORACION (Puestos en Obra)</b>				
13	Broca de Botones T38, de 2½" ø			200.00	US\$ / und
14	Broca de Botones T38, de 3" ø			250.00	US\$ / und
15	Broca de Botones T38, de 3½" ø			300.00	US\$ / und
16	Barra de Extensión T38 Tipo MF, de 12 pies			400.00	US\$ / und
17	Adaptador de Culata T38	0.00	ECM 590	450.00	US\$ / und
18	Adaptador de Culata T38	Furukawa	CR 6D	400.00	US\$ / und
19	Adaptador de Culata T38	0.00	CM 351	300.00	US\$ / und
20	Barreno Integral 1 1/4", de 4 pies			90.00	US\$ / und
21	Barreno Integral 1 1/4", de 6 pies			105.00	US\$ / und
22	Barreno Integral 1 1/4", de 8 pies			115.00	US\$ / und
23	<b>4. COSTOS HORARIOS DE EQUIPOS DE PERFORACION</b>				
24	<b>a) Trackdrill Hidráulico</b>		<b>ECM 590</b>		
25	Costo Equipo Alquilado (Poseción + Mantto.)			70.00	US\$ / Hr
26	Costo Equipo Propio (Poseción + Mantto.)				US\$ / Hr
27	<b>b) Trackdrill Hidráulico Furukawa</b>		<b>CR 6D</b>		
28	Costo Equipo Alquilado (Poseción + Mantto.)				US\$ / Hr
29	Costo Equipo Propio (Poseción + Mantto.)			65.00	US\$ / Hr
30	<b>c) Trackdrill Neumático</b>		<b>CM 351</b>		
31	Costo Equipo Alquilado (Poseción + Mantto.)			24.00	US\$ / Hr
32	Costo Equipo Propio (Poseción + Mantto.)				US\$ / Hr
33	<b>d) Compresora Portátil</b>		<b>750 PCM</b>		
34	Costo Equipo Alquilado (Poseción + Mantto.)			24.00	US\$ / Hr
35	Costo Equipo Propio (Poseción + Mantto.)				US\$ / Hr
36	<b>e) Compresora Portátil Ingersoll Rand</b>		<b>450 PCM</b>		
37	Costo Equipo Alquilado (Poseción + Mantto.)			18.00	US\$ / Hr
38	Costo Equipo Propio (Poseción + Mantto.)				US\$ / Hr

Fuente: Minexpon

39	<b>e) Compresora Portátil</b>	<b>375 PCM</b>		
40	Costo Equipo Alquilado (Poseción + Mantto.)		14.00	US\$ / Hr
41	Costo Equipo Propio (Poseción + Mantto.)			US\$ / Hr
42	<b>f) Martillo Manual</b>	<b>RH 658</b>		
43	Costo Equipo Alquilado (Poseción + Mantto.)			US\$ / Hr
44	Costo Equipo Propio (Poseción + Mantto.)		3.00	US\$ / Hr
45	<b>5. PRECIOS DE EXPLOSIVOS (Puestos en Obra)</b>			
46	Slurrex AP 80		1.2500	US\$ / kg
47	ANFO		1.0390	US\$ / kg
48	Iniciador Booster 1/3 lb		2.5500	US\$ / und
49	Dinamita Semigelatina 65%		2.7500	US\$ / kg
50	Cordon detonante 5 gr/m		0.1800	US\$ / m
51	Detonador No Eléctrico, 7.2 m		1.7000	US\$ / und
52	Guía de Seguridad		0.1400	US\$ / m
53	Fulminante N° 8		0.1600	US\$ / und
54	Retardo de Superficie		2.7000	US\$ / und
55	<b>6. COSTOS DE DIVERSOS RECURSOS</b>			
56	Combustible Diesel N° 2 (Puesto en Obra)		3.50	US\$ / gln
57	Alojamiento y Alimentación por cada Persona		15.00	US\$ / día
58				
59	<b>7. GASTOS GENERALES</b>			
60	Gastos Generales con Trackdrill Hidráulico		27.43%	
61	Gastos Generales con Trackdrill Neumático		44.54%	
62	<b>8. UTILIDAD</b>			
63			10.00%	
64	<b>NOTA: Todos los precios no incluyen el I.G.V.</b>			

Fuente: Minexpon

## ANEXO N° 03: MAPA DE ZONIFICACIÓN

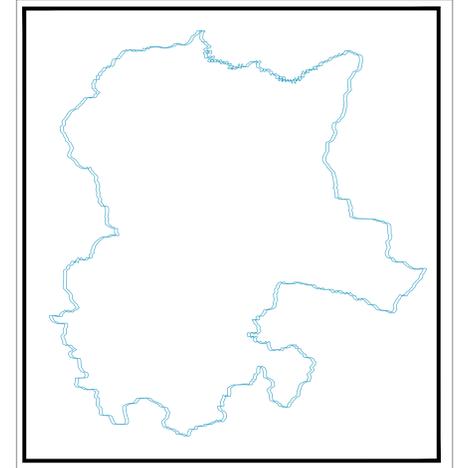
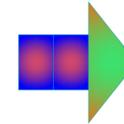
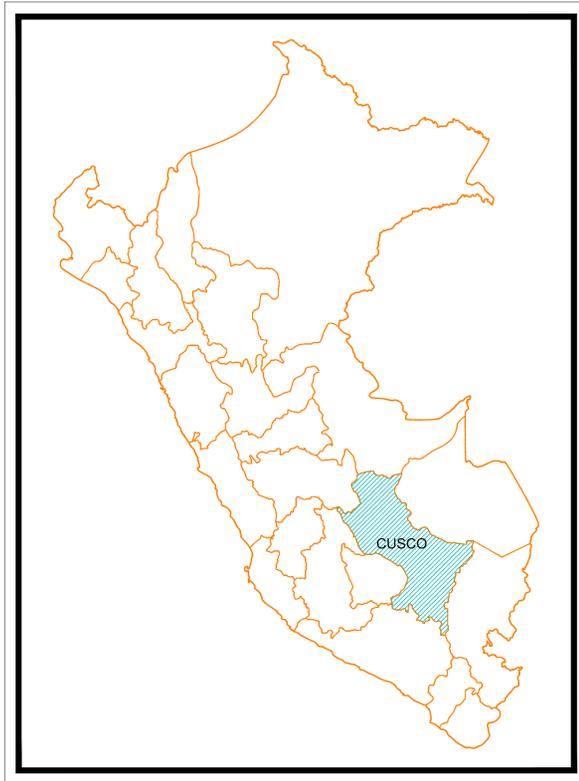


Fuente: C. Obregon

## ANEXO N° 04: MATRIZ DE CONSISTENCIA

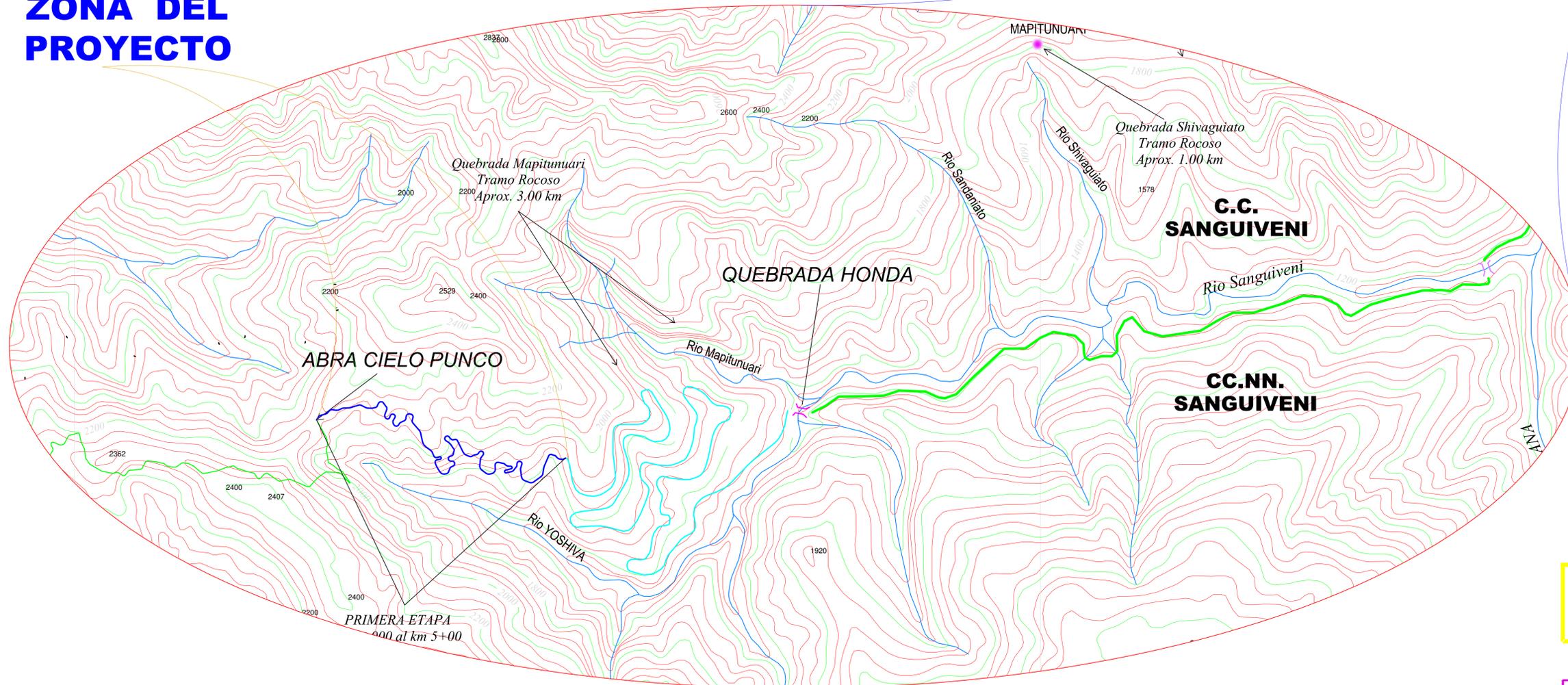
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES (V.I. y V.D)	OPERACION	METODOLOGÍA
<p style="text-align: center;"><b>Problema general</b></p> <p>¿Cómo se realizarán las excavaciones de laderas por banqueo en rocas sedimentarias en la construcción de obras viales, aplicando un modelo Geológico - Geotécnico?</p> <p style="text-align: center;"><b>Problemas específicos</b></p> <p>- ¿Cómo se realizarán las excavaciones de laderas por banqueo en rocas sedimentarias haciendo uso de explosivos de acuerdo a las características geomecánicas del macizo rocoso, motivo de estudio?</p> <p>- ¿Cómo se realizan las excavaciones de laderas por banqueo en rocas sedimentarias tomando en cuenta las vibraciones producidas por el uso de explosivos?</p> <p>- ¿Cómo se realizarán las excavaciones de laderas por banqueo en rocas sedimentarias tomando en cuenta los aspectos climáticos de la zona?</p>	<p style="text-align: center;"><b>Objetivo general</b></p> <p>Aplicar un modelo geológico geotécnico para definir la excavación en laderas por banqueo en rocas sedimentarias, en la construcción de obras viales para el diseño de taludes, en función de las características mecánicas de las rocas.</p> <p style="text-align: center;"><b>Objetivos específicos</b></p> <p>a.) Aplicar el uso de explosivos de acuerdo a las características geo mecánicas del macizo rocoso , en la realización de las excavaciones de laderas por banqueo en rocas sedimentarias</p> <p>b.) Diseñar las excavaciones de laderas por banqueo en rocas sedimentarias tomando en cuenta las vibraciones producidas por el uso de explosivos</p> <p>c.) Evaluar los aspectos climáticos de la zona para la correcta realización de las excavaciones de laderas por banqueo en rocas sedimentarias</p>	<p style="text-align: center;"><b>Hipótesis General</b></p> <p>Con el Modelo Geológico Geotécnico, en la excavación de laderas por banqueo en rocas sedimentarias, en obras de infraestructura vial, se estaría garantizando la seguridad física en la vía para vehículos y personas, evitando una dramática situación de inestabilidad.</p> <p style="text-align: center;"><b>Hipótesis específicas</b></p> <p>a.) Con el modelo geológico geotécnico se obtendrá factores para el diseño de perforación , así mismo factores de carga de explosivos para excavaciones de laderas por banqueo</p> <p>b.) A través de un diseño de voladura adecuado se podrá disminuir las vibraciones a fin de evitar daños en la estabilidad de taludes</p> <p>c.) Considerando los factores climáticos de la zona, se concluye que la realización de excavaciones de laderas se deben realizar en temporadas no lluviosas debido a la dificultad del trabajo.</p>	<p style="text-align: center;"><b>Variable Independiente</b></p> <p>- Intervención Geotécnica.</p> <p>- Parámetros de rocas</p> <p>- Factores geométricos.</p> <p style="text-align: center;"><b>Variable Dependiente</b></p> <p>- Factor de seguridad</p> <p>- Perforación y voladura</p>	<p>- Banqueo en laderas</p> <p>- cohesión</p> <p>- fricción</p> <p>-Altura</p> <p>-Inclinación</p> <p>-Ancho de plataforma</p> <p>- FS</p> <p>- Factor de carga del explosivo</p>	<p>La metodología para lograr los objetivos de esta investigación se atiende tomando en cuenta las características particulares del problema en estudio.</p> <p>Por consiguiente, se hará uso de herramientas de diseño para la obtención de diseños aceptables y que sean estables en el tiempo, permitiendo resolver el problema con la suficiente exactitud, complementándose con medios informáticos y softwares .</p> <p>Para lo cual hare uso del software " SLIDE en su versión 6.0 ", para poder verificar la estabilidad de taludes.</p> <p>Uso del software para perforación y voladura.</p> <p>- Tipo de Investigación: Investigación Aplicada</p> <p>- Nivel de investigación</p> <p>Se realiza la investigación para plantear propuestas para una realidad concreta, Para conocer sus resultados y consecuencias, en este caso proponer un Modelo geológico Geotécnico que definirá las excavaciones es taludes para mejorar su estabilidad en obras de infraestructura vial.</p> <p>- Diseño de investigación:</p> <p>El diseño de esta investigación constituye el plan general a fin de obtener respuestas a las interrogantes formuladas y comprobar la hipótesis de la investigación, aplicando estrategias básicas como : recolección de datos de Estudios, mediciones obtenidas a través de pruebas de laboratorio de esta manera generar información exacta e interpretable.</p>

**ANEXO N° 05: PLANOS**

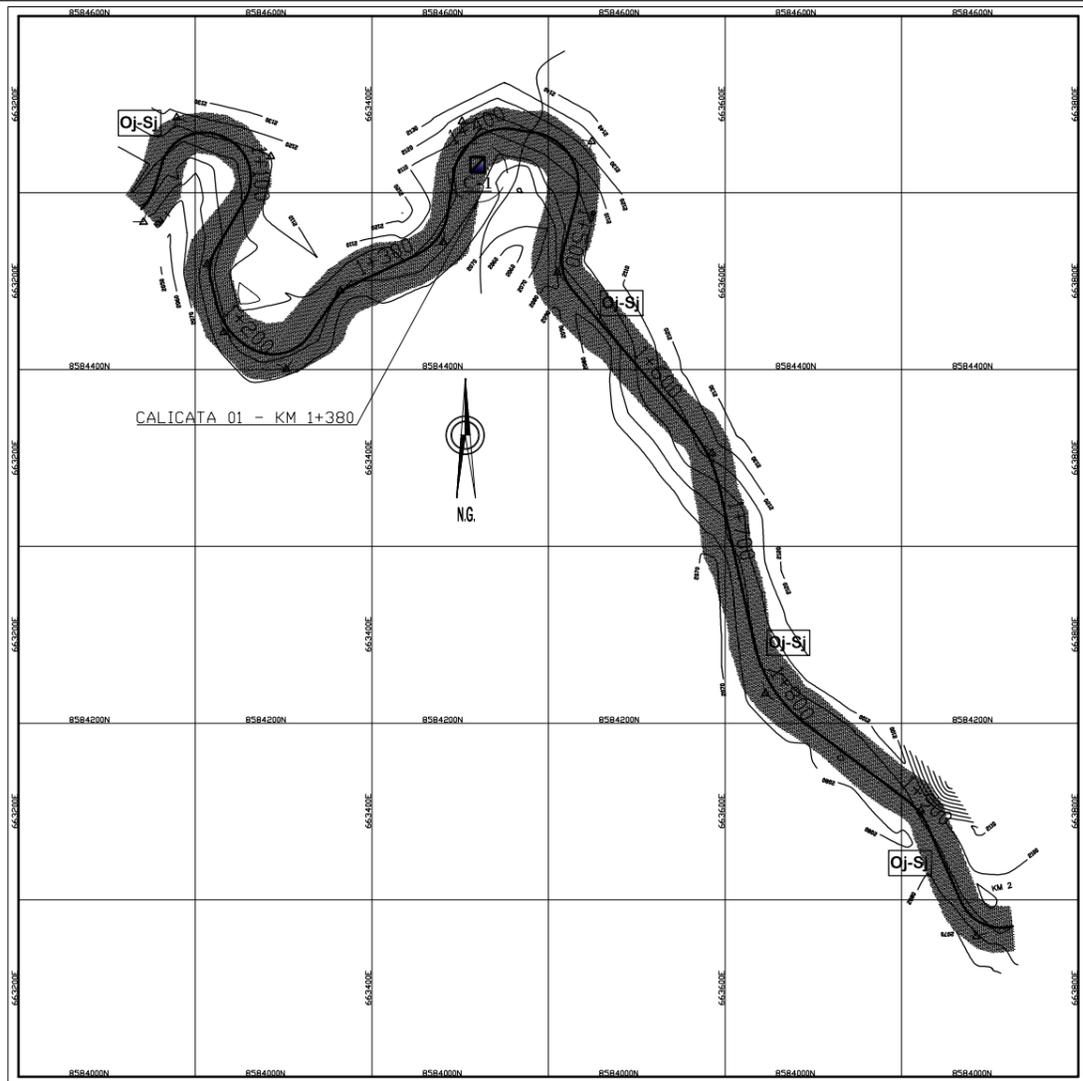


## UBICACION DEL PROYECTO

## ZONA DEL PROYECTO

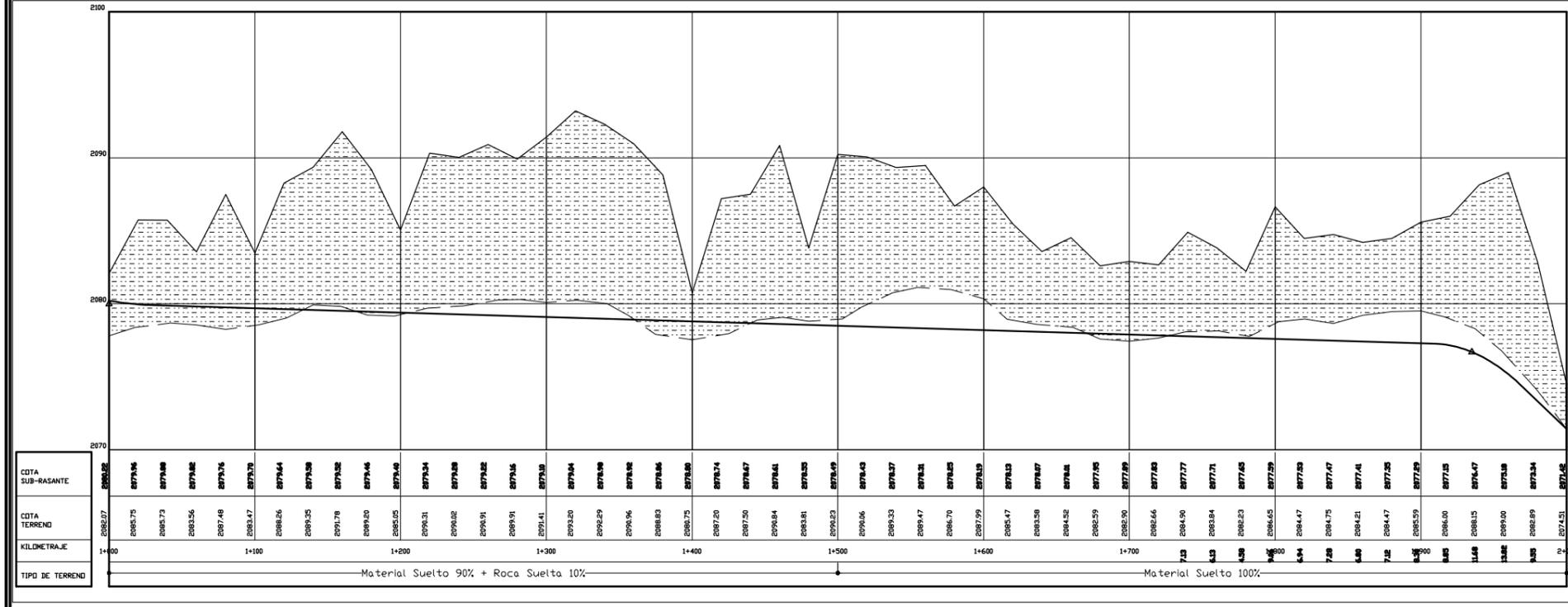


<b>MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE ECHARATI</b>			
PROYECTO: <b>CONSTRUCCION DE CARRETERA KIMBIRI - KEPASHATO, TRAMO CIELO PUNCO - QUEBRADA HONDA KM 0+000 @ 5+000, DISTRITO DE ECHARATI - LA CONVENCION - CUSCO</b>			
REVISADO:	UBICACION:	Dist. : ECHARATE	Prov. : LA CONVENCION
APROBADO:		Dpto. : CUSCO	
PLANO:	Mapa: CIELO PUNCO - QUEBRADA HONDA	ESCALA:	INDICADA
	FECHA: AGOSTO 2008	DIBUJO:	BAUTISTA, S.I.F.C.
<b>UBICACION DEL PROYECTO</b>		<b>PU 01</b>	



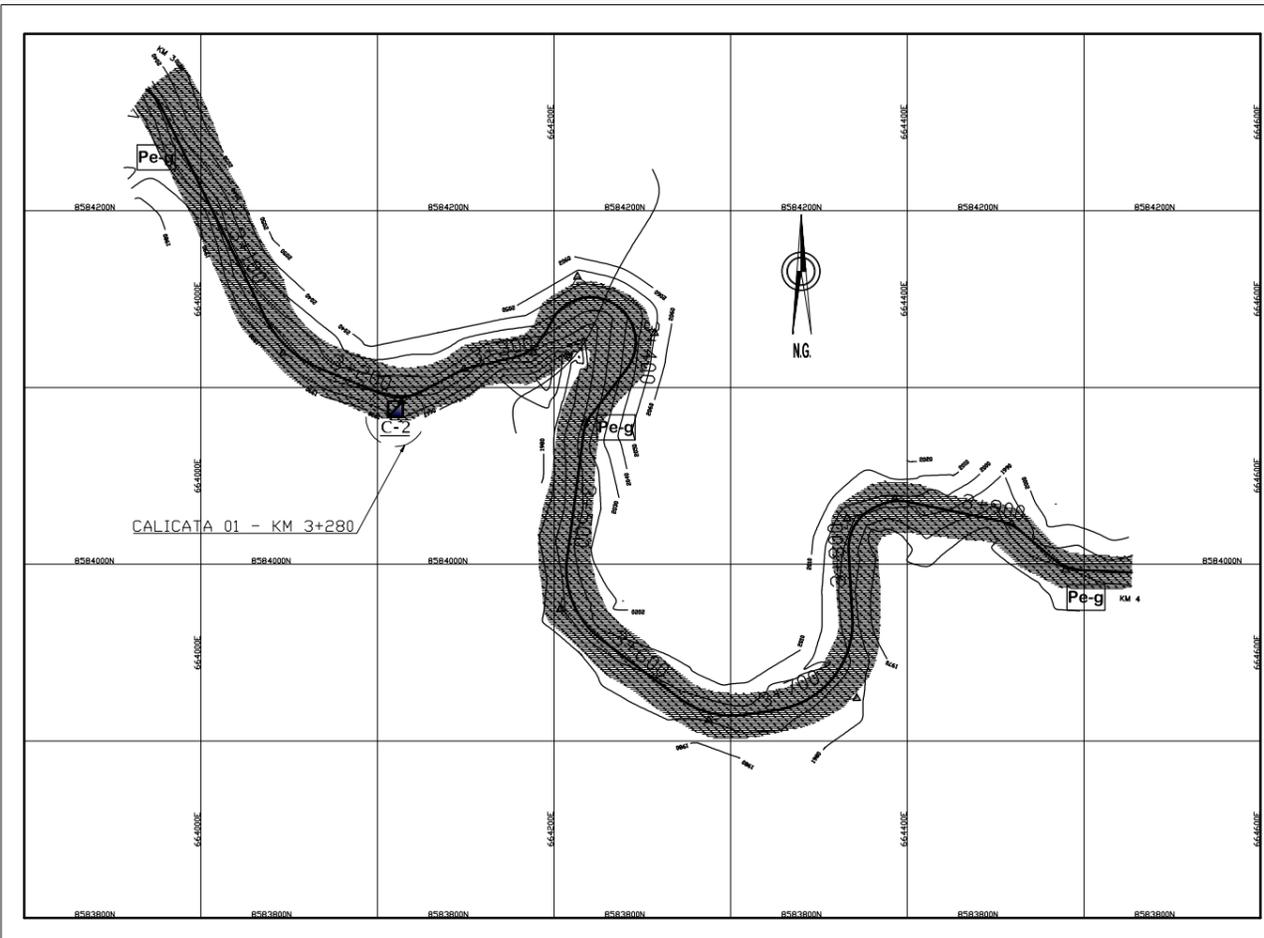
VISTA EN PLANTA KM - 2  
Esc: 1 / 4000

LEYENDA	
	<b>Oj-Sj</b> GRUPO SAN JOSÉ
	<b>Pe-g</b> GNEIS
	CONTACTO INFERIDO
	SUPERFICIE DE TERRENO
	ZONA DE CONTACTO
	CALICATA (C - x)



CORTE EN PERFIL KM - 2  
Esc: 1 / 4000

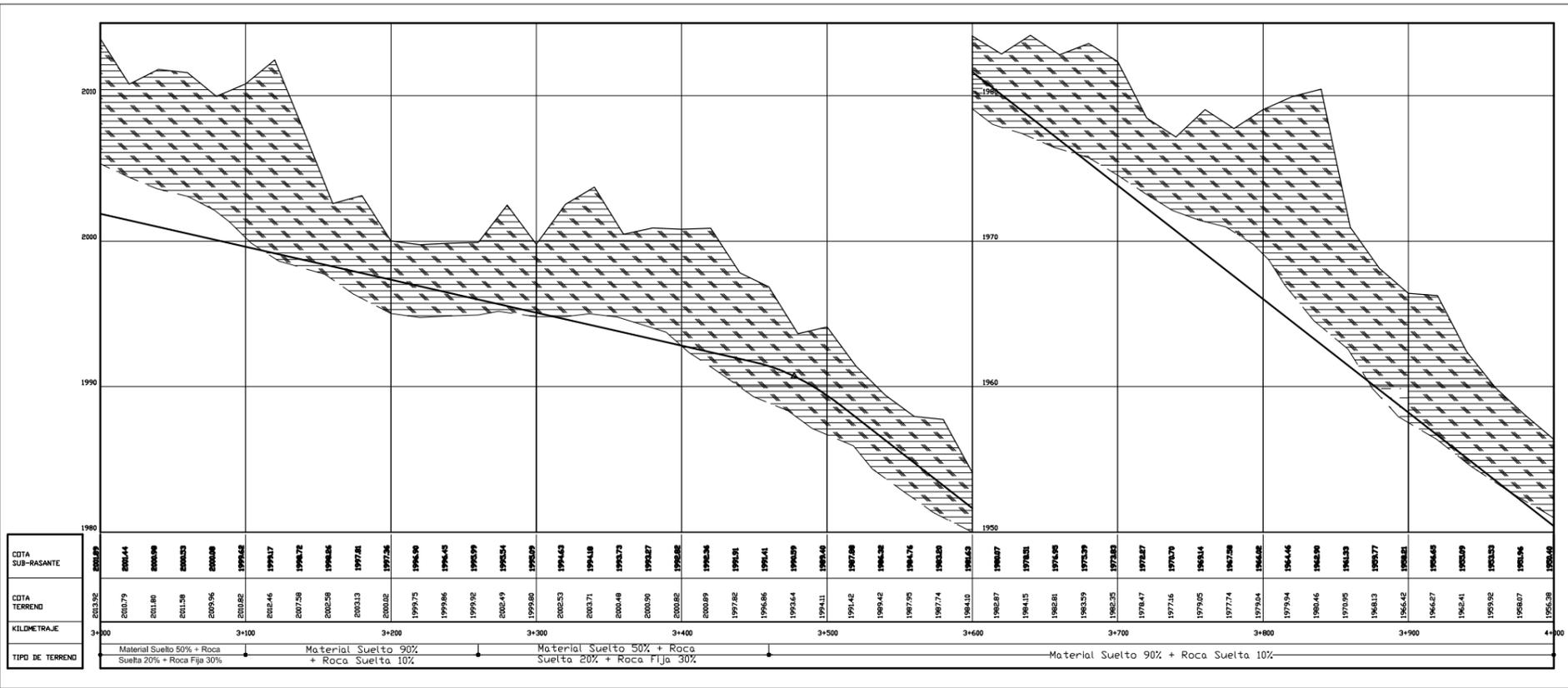
		<b>MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE ECHARATI</b>	
		PROYECTO: <b>CONSTRUCCION DE CARRETERA KIMBIRI - KEPASHIATO, TRAMO CIELO PUNCO - QUEBRADA HONDA KM 0+000 @ 5+000, DISTRITO DE ECHARATI - LA CONVENCION - CUSCO</b>	
REVISADO: APROBADO:	UBICACION: Dist. : ECHARATI    Prov. : LA CONVENCION Dpto. : CUSCO	Lugar: CIELO PUNCO - QUEBRADA HONDA FECHA: AGOSTO 2008	ESCALA: INDICADA DIBUJO: Bach, PJCM
<b>PLANO GEOLÓGICO</b> <b>KM 1.00 - KM 2.00</b>		LAMINA Nº: <b>PG 02</b>	
ESTUDIO GEOLÓGICO: Ing. EFMM			



VISTA EN PLANTA KM - 4  
Esc: 1 / 4000

**LEYENDA**

-  **Oj-Sj**  
GRUPO SAN JOSÉ
-  **Pe-g**  
GNEIS
-  CONTACTO INFERIDO
-  SUPERFICIE DE TERRENO
-  ZONA DE CONTACTO
-  CALICATA (C - x)



CORTE EN PERFIL KM - 4  
Esc: 1 / 4000

**MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE ECHARATI**

PROYECTO:  
**CONSTRUCCION DE CARRETERA KIMBIRI - KEPASHIATO, TRAMO CIELO PUNCO - QUEBRADA HONDA KM 0+000 @ 5+000, DISTRITO DE ECHARATI - LA CONVENCION - CUSCO**

URUBACHIN: Dist. : ECHARATI Prov. : LA CONVENCION Dpto. : CUSCO

Lugar: CIELO PUNCO - QUEBRADA HONDA ESCALA: INDICADA

FECHA: AGOSTO 2008 DIBUJO: Bach, PJCM

REVISADO: \_\_\_\_\_

APROBADO: \_\_\_\_\_

PLANO: **PLANO GEOLÓGICO**  
**KM 3.00 - KM 4.00**

LAMINA Nº: **PG 04**

ESTUDIO GEOLÓGICO: Ing. EFMM