



# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“ANÁLISIS GEOTÉCNICO Y MODELAMIENTO  
NUMÉRICO PARA EL DISEÑO DEL TALUD FINAL  
DE LA CANTERA SUSY III EN CAÑETE 2021”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Bach. Bryan Steve Gaona Saldaña

Bach. Flor Deliz Rodriguez Palacios

Asesor:

Ing. Daniel Alejandro Alva Huamán

Cajamarca - Perú

2021

## **DEDICATORIA**

La presente tesis la dedicamos principalmente a Dios y a nuestras familias, amigos y demás allegados, teniendo un lugar especial nuestros padres que han sido un pilar fundamental en nuestra formación académica como profesionales, por brindarnos toda la confianza, consejos, oportunidades, y los recursos para poder lograr nuestras metas, gracias a todos los mencionados por estar en los buenos y malos momentos brindándonos amor, comprensión y paciencia y por ultimo agradecer a nuestros verdaderos amigos con los que compartimos todos estos años juntos.

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradecer a Dios por darnos la vida y q guie a diario, con el fin de tomar buenas decisiones en el camino de la vida.

Agradecemos también a nuestros maestros quien nos ha brindado su tiempo y dedicación logrando que nos desempeñemos correctamente en nuestras metas orientadas a la carrera de Ingeniería de Minas.

Gracias a nuestras familias, amigos y demás allegados, teniendo un lugar especial nuestros padres, por estar en los buenos y malos momentos brindándonos amor, comprensión y paciencia y por último agradecer a nuestros verdaderos amigos con los que compartimos todos estos años juntos.

## Tabla de contenidos

DEDICATORIA .....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS .....	5
ÍNDICE DE FIGURAS.....	6
RESUMEN.....	7
ABSTRACT .....	9
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1 Realidad problemática .....	11
1.2 Formulación del problema.....	15
1.3 Objetivos .....	15
1.4 Hipótesis .....	16
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA.....	17
2.1 Tipo de investigación .....	17
2.2 Población .....	17
2.3 Muestra .....	17
2.4 Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos. ....	17
CAPÍTULO 3. RESULTADOS .....	20
3.1. Ubicación.....	20
CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES.....	79
4.1 Discusión .....	79
4.2 Conclusiones.....	80
REFERENCIAS.....	82
ANEXOS .....	84

## ÍNDICE DE TABLAS

Cuadro N°1.-	Coordenadas de las Concesión Minera “San Lorenzo 280” .....	20
Cuadro N°2.-	Ensayo de propiedades físicas .....	27
Cuadro N°3.-	Ensayo de corte directo. ....	28
Cuadro N°4.-	Estaciones de mapeo geomecánico.....	29
Cuadro N°5.-	Características geométricas de las labores.....	30
Cuadro N°6.-	Propiedades físicas y parámetros mecánicos de la roca .....	31
Cuadro N°7.-	Valoración de las estaciones de mapeo .....	32
Cuadro N°8.-	Sistema de discontinuidades estructurales.....	33
Cuadro N°9.-	Parámetros del criterio de clasificación.....	44
Cuadro N°10.-	Factores de seguridad para análisis de estabilidad - cuñas .....	69
Cuadro N°11.-	Propiedades de los materiales empleados en la cantera.....	69

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°1.-	Ubicación del proyecto.....	21
Figura N°2.-	Diagrama Estereográfico de concentración de polos .....	33
Figura N°3.-	Diagrama estereográfico de los planos de estructuras .....	34
Figura N°4.-	Diagrama estereográfico de los planos de estructuras - polos .....	35
Figura N°5.-	Análisis de interpretación por labores – Bocamina .....	35
Figura N°6.-	Diagrama de Rosettas de los planos de estructuras .....	36
<b>Figura N°7.-</b>	<b>Diagrama Estereográfico de concentración de polos .....</b>	<b>36</b>
Figura N°8.-	Diagrama estereográfico de los planos de estructuras .....	37
Figura N°9.-	Diagrama estereográfico de los planos de estructuras - polos .....	37
Figura N°10.-	Análisis de interpretación por discontinuidad – Veta.....	38
Figura N°11.-	Diagrama de Rosettas de los planos de estructuras .....	38
Figura N°12.-	Diagrama Estereográfico de concentración de polos.....	39
<b>Figura N°13.-</b>	<b>Diagrama estereográfico de los planos de estructuras .....</b>	<b>39</b>
Figura N°14.-	Diagrama estereográfico de los planos de estructuras - polos .....	40
Figura N°15.-	Diagrama de Rosettas de los planos de estructuras .....	40
Figura N°16.-	Modelo de análisis de estabilidad estático – zona sur-Este .....	45
Figura N°17.-	Modelo de análisis de estabilidad pseudoestático – zona sur-Este.....	49
Figura N°18.-	Modelo de análisis de estabilidad estático – zona Norte.....	53
Figura N°19.-	Modelo de análisis de estabilidad pseudoestático – zona Norte.....	57
Figura N°20.-	Modelo de análisis de estabilidad estático – zona Oeste.....	61
Figura N°21.-	Modelo de análisis de estabilidad estático – zona Oeste.....	65
Figura N°22.-	Análisis estático a largo plazo – Falla tipo rotacional – F.S. Global: 1.961 .....	73
Figura N°23.-	Análisis pseudoestático a largo plazo – Falla tipo rotacional – F.S. Global: 1.299 .	74
Figura N°24.-	Análisis estático a largo plazo – Falla tipo rotacional – F.S. Global: 1.530.....	75
Figura N°25.-	Análisis pseudoestático a largo plazo – Falla tipo rotacional – F.S. Global: 1.011 .	76
Figura N°26.-	Análisis estático a largo plazo – Falla tipo rotacional – F.S. Global: 1.695.....	77
Figura N°27.-	Análisis pseudoestático a largo plazo – Falla tipo rotacional – F.S. Global: 1.113 .	78

## RESUMEN

La presente tesis describe, analiza y estudia cada una de las etapas y/o pasos que se deben de llevar a cabo para hacer el diseño de una mina a tajo abierto, la determinación del límite final de un tajo abierto conlleva a la aplicación de diversas herramientas en las etapas de este proceso y el objetivo final como cualquier negocio es obtener la máxima rentabilidad.

Para el desarrollo del estudio se realizaron investigaciones geológicas – geomecánicas en campo, mapeo geomecánico, además se extrajeron muestras representativas de roca las cuales fueron enviadas y ensayadas en el laboratorio de mecánica de rocas de la Universidad Nacional de Ingeniería – Laboratorio de Mecánica de Rocas de la Facultad de Ingeniería Geológica Minera Metalúrgica, ubicado en la ciudad de Lima.

Se empleó varios criterios o sistemas de clasificación para caracterizar el macizo rocoso predominante en la zona del proyecto siendo el principal: Rock Mass Rating (RMR) de Z. T. Bieniawski en su versión de 1989.

La información geológica, hidrológica y geomecánica son de mucha importancia en todas las etapas de los proyectos; perfilado, estudio de pre-factibilidad, estudio de factibilidad, ingeniería, desarrollo del proyecto y en la propia extracción del mineral, dicha información se analizó y se creó diversos modelos donde se puede tener la información geológica, hidrológica, geotécnica, etc.

El diseño geométrico de la Mina está en función a varios factores como el tamaño del yacimiento, geología, ratio de minado, tamaño del equipo, etc. Los contornos propuestos en campo nos sirven de guía para poder hacer las fases de minado y el Tajo final del proyecto y los accesos.

Para hacer la secuencia de minado por bloques, usamos como guía las fases de minado, así las primeras fases que en general pueden tener poco desbroce son extraídas al inicio, mientras las fases siguientes se puede iniciar el desbroce, con la finalidad de tener siempre mineral disponible en toda la vida útil del proyecto, el objetivo de la secuencia de minado es proveer de manera constante el material económico (arcilla) a las diferentes empresas compradoras.

La cantera de arcilla Susy III es un proyecto en la que se cubican alrededor de 702,000 TM, y su permiso ambiental aprobado cuenta con una producción máxima de 130 TM/día haciendo una vida útil del proyecto de 15 años.

## ABSTRACT

This thesis describes, analyzes and studies each of the stages and / or steps that must be carried out to make the design of an open pit mine, the determination of the final limit of an open pit leads to the application of various tools in the stages of this process and the ultimate goal like any business is to obtain maximum profitability.

For the development of the study, geological investigations were carried out - geomechanics in the field, geomechanical mapping, in addition representative rock samples were extracted which were sent and tested in the rock mechanics laboratory of the National University of Engineering - Rock Mechanics Laboratory of the Faculty of Geological Mining and Metallurgical Engineering (located in the city of Lima).

Several criteria or classification systems were used to characterize the predominant rock mass in the project area, the main one being: Rock Mass Rating (RMR) by Z. T. Bieniawski in its 1989 version.

Geological, hydrological and geomechanical information are of great importance in all stages of the projects; profiling, pre-feasibility study, feasibility study, engineering, project development and in the mineral extraction itself, said information was analyzed and various models were created where geological, hydrological, geotechnical information, etc. can be obtained.

The geometric design of the Mine is a function of several factors such as the size of the deposit, geology, mining rate, size of the equipment, etc. The contours proposed in the field serve as a guide to be able to carry out the mining phases and the final pit of the project and the accesses.

To carry out the block mining sequence, we use the mining phases as a guide, so the first phases that in general may have little clearing are extracted at the beginning, while the

following phases can begin clearing, in order to always have mineral available throughout the useful life of the project, the objective of the mining sequence is to constantly supply the economic material (clay) to the different purchasing companies.

The Susy III clay quarry is a project in which around 702,000 MT are cubed, and its approved environmental permit has a maximum production of 130 MT / day making a useful life of the project of 15 years.

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Realidad problemática

El planeta tierra es mega diverso en riquezas minerales, tanto metálicos y no metálicos, que son aprovechados por el ser humano, aplicados en el desarrollo de infraestructura, tecnología, fuentes de energía y un sin número de usos que se les da a los minerales existentes.

En el Perú y el mundo, a los minerales metálicos y no metálicos, se les deben dar buena recuperación y tratamiento, por ello se debe aplicar las nuevas tecnologías y estudios necesarios para la extracción del mineral de forma adecuada sin perjudicar al ambiente que en la actualidad se ve afectado por diversas actividades humanas. Es por ello que, ante estos hechos, no solo velamos por la extracción y tratamiento de los minerales no metálicos, sino también por la seguridad del personal y maquinaria utilizados en diferentes áreas de procesos. Es importante tratar este mineral y darle la debida importancia para que el material extraído sea de la mejor calidad y sea empleado en infraestructuras u obras civiles que tengan un tiempo de vida útil a largo plazo.

Este tipo de explotación, se ha venido dando inicialmente de forma artesanal, hasta que el mundo se industrializó y tuvo un requerimiento de materiales pétreos, cada vez de mejor calidad obligando que las explotaciones mineras sean cada vez más tecnificadas. El crecimiento y desarrollo urbanístico ha impulsado y desembocado en un aumento significativo en la demanda de estos materiales usados como agregados fundamentalmente para el sector de la construcción. Con el pasar del tiempo el desarrollo urbano aumentó la necesidad de canteras, estas quedaron limitadas ya sea por la morfología del sector, caracterizado por ser un terreno accidentado y de fuertes pendientes o bien por la cercanía a los poblados o ciudades, ocasionando en muchas ocasiones el cese de operaciones. Consecuentemente las operaciones cesaron, pero los cerros ya explotados, quedaron

afectados en cuanto a su grado de estabilidad, debido a una explotación poco planificada en cuanto a diseño y cuasi selectiva, que afecta a las zonas urbanas aledañas.

Asimismo, estas explotaciones son fundamentales para el desarrollo de una ciudad y de un país en general, el consumo de estos agregados para el mercado tanto nacional como extranjero, siempre ha sido de alta importancia y significativa demanda, “en Guayaquil – Ecuador durante el 2014 el consumo de estos materiales fue de 6315 Kton, del cual se proyecta, un incremento en su consumo, fundamentada por el desarrollo urbanístico de la urbe, en 6441 Kton para el 2017” (*Montero & Alvear, 2015*).

Los estudios realizados en cuanto al análisis de estabilidad de taludes dentro de este tipo de operaciones mineras son pocas, lo cual conlleva a que los taludes colapsen ocasionando múltiples perjuicios a las compañías. Dentro de este aspecto, son varias las dificultades a las que las empresas mineras se enfrentan. Primero, la adecuada caracterización del macizo rocoso, en cuanto a sus propiedades físicas, representan un papel importante dentro del análisis en taludes rocosos, el cual es muy poco estudiado. Finalmente, la poca disposición a realizar gastos de personal y de tiempo para realizar este tipo de investigaciones influye significativamente para un mal diseño de explotación.

Se realizó un diseño de las laderas de Cachi, donde estabilizó la zona de estudio, que era afectado por deslizamientos en forma constante, planteó la tesis: Estabilización de laderas en la zona del deslizamiento de Cachi, ubicado en la parroquia y Cantón Pujilí, provincia de Cotopaxi. (*Analuja Veintimilla, 2019*).

Donde contempló que el diseño de los elementos que conforman una cantera son la base fundamental para generar seguridad a los trabajadores, equipos y operaciones mineras.

Diseño de estabilidad del talud del área minera renovación, código  
20000260, ubicado en el sector San José de Macají, parroquia Licán,

Cantón Riobamba, provincia de Chimborazo. (Cabezas Carrillo, 2019).

Su estudio se basa en la estabilización de un talud, se tiene en cuenta varios parámetros geotécnicos y de modelamiento para su diseño de estabilidad.

Diseño de explotación de las calizas existentes en el yacimiento Isimanchi. (Cuenca y Herrera, 2015).

Los autores señalan su diseño a cielo abierto, ya que se trata de un depósito calcáreo superficial del grupo canteras, que por su morfología corresponde al de tipo ladera, el cual se caracteriza por tener un diseño de bancos donde el estudio geotécnico y modelamiento tiene que ser constante y adecuada para una producción óptima y segura.

Como sostiene Bray (1974): “El macizo rocoso detrás de cada talud es único, no existen recetas normalizadas ni soluciones rutinarias que garanticen una respuesta correcta cada vez que sean aplicadas”.

Como manifiesta Carranza (2017) en su tesis: “tiene como objetivo realizar un análisis en la inestabilidad de taludes a través los métodos de cálculo, la cual concluye que el análisis de inestabilidad de los taludes mediante los métodos de cálculo desde el tramo del Km 13+200 hasta el Km 16+826, obtuvo que los taludes con una estabilidad muy alta son el 32.25 %, con inestabilidad alta son el 4.27%, de inestabilidad baja son el 1.95% y estables son el 61.54%.”

El autor Valeriano (2017) nos sustenta que: “Su estudio fue realizado en la cantera Espinal de la ciudad de Juliaca en el departamento de Puno, donde determinó los valores de seguridad que rigen la estabilidad o inestabilidad en un talud rocoso; factor de seguridad (FS) o reducción de la resistencia al corte (SRF) y la probabilidad de falla (PF), para lo cual

se han utilizado los métodos generales de análisis de estabilidad de taludes en roca; análisis cinemático y métodos numéricos.

Además, Loaysa (2016) en su investigación tuvo como objetivo: “determinar los factores del diseño del talud que se edificarán en suelos. Determinando que la geometría de los taludes no influye en la estabilidad, sino que está será relacionada por las características geotécnicas de materiales que se presentan.”

Así mismo, en esta labor podrían existir riesgos de licuefacción, por lo que contiene estratos de arena y al mismo tiempo se presencia de agua.

Por otro lado, Romero y Llacta (2016) en su investigación: “Riesgo a Deslizamiento en Taludes del Sistema Vial Lampa – Parihuanca, Huancayo, tiene como conclusión que los niveles de riesgo a un deslizamiento son más críticos en los dos taludes cuando están en épocas lluviosas con la aparición de sismos, para la zona de Huasapa el nivel riesgo es medio con un total de 33%. Para la zona del Valle Progreso existe un riesgo del 52% con un nivel de riesgo alto”.

En la actualidad, en Cajamarca, para la explotación de Yacimientos no Metálicos (Canteras de Agregados) no se cuenta con una adecuada evaluación de los macizos rocosos para el diseño de explotación y Estabilidad taludes, pudiendo originarse deslizamientos, derrumbes que pueden afectar a las viviendas, a los moradores, incluso a los suelos de las zonas aledañas a la explotación.

Lo cual luego de estos antecedentes llegamos al consenso de que el diseño de un talud es parte primordial tanto en el momento de producción, procesos y fundamental en la seguridad del personal y maquinaria, y con el adecuado manejo de este lograremos obtener un máximo optimización y recuperación del material.

El presente trabajo se espera realizar el diseño final de talud en una zona de la cantera, mediante la caracterización geotécnica del macizo, con el fin de garantizar en el corto plazo la seguridad tanto de la maquinaria, así como del personal que labora en las instalaciones de la cantera y en el largo plazo que sirva como referencia para estudios futuros relacionados a la estabilidad y diseño de taludes en otras áreas de producción dentro de la cantera.

## **1.2 Formulación del problema**

¿Cuál es el diseño del talud final, al realizar un análisis geotécnico aplicando un modelamiento numérico en la cantera SUSY III, Cañete 2021?

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Realizar un análisis geotécnico aplicando un modelamiento numérico para el diseño del talud final en la cantera a cielo abierto SUSY III, Cañete 2021.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar las características geológico-geotécnica del material que compone la cantera Susy III.
- Clasificar el macizo rocoso utilizando los métodos de valoración Rock Mass Rating (RMR) de Beniaowski e índice de resistencia geológica Geological Strength Index (GSI) de Hoek y Brown.
- Identificar las estructuras que podrían generar diferentes tipos de rotura
- Proponer el ángulo de bancos e inter rampas del talud de la cantera.

## **1.4 Hipótesis**

### **1.4.1. Hipótesis general**

Al realizar un análisis geotécnico, mediante un modelamiento numérico, se diseña el talud final que permite determinar el mejor ángulo de inclinación posible para que los bancos sean estables en la cantera SUSY III, Cañete 2021.

## **CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA**

### **2.1 Tipo de investigación**

El tipo de diseño de investigación utilizada es una investigación no experimental, ya que las variables no serán manipuladas.

Es Aplicada, ya que utiliza el conocimiento obtenido para solucionar un problema.

Es Correccional, porque se describe la relación entre las dos variables.

### **2.2 Población**

Macizos rocosos de la concesión minera “San Lorenzo”

### **2.3 Muestra**

Los macizos rocosos del proyecto Susy III.

### **2.4 Técnica e instrumentos de recolección y análisis de datos.**

Observación de Campo. En la técnica usada en la presente investigación se tendrá en cuenta los datos de campo y las observaciones, trabajos inéditos y tesis bibliográficas. Según Dulio Oseda (2008): “la observación es una técnica que consiste en observar atentamente el fenómeno, hecho o caso, tomar información y registrarla para un posterior análisis”. Los instrumentos usados en esta etapa serán los datos de campo (in-situ), obtenidos durante los trabajos de mapeo.

Trabajos de Laboratorio: Se realizarán ensayos de laboratorio, para determinar los diferentes parámetros o propiedades físicas y mecánicas de la roca, las propiedades de la roca intacta, propiedades de resistencia y las propiedades de la masa rocosa. Los medios utilizados serán las muestras recolectadas durante los trabajos de campo.

Análisis Computacional, con la utilización de software de la especialidad (Rockdata, Dips, Slide, Swedge, Minesight), se realizarán los trabajos de modelamiento geotécnico, se utilizará en esta etapa, la información recopilada durante las etapas anteriores.

En el aspecto técnico la primera parte de esta investigación comprenderá el estudio del aspecto geológico y geo-estructural, este estudio nos permitirá determinar las características geomecánicas de las diferentes discontinuidades, así como la determinación y evaluación del flujo de agua en el macizo.

## **2.5 Procedimiento**

El procedimiento a seguir en esta primera parte será, el de hacer un reconocimiento y levantamiento de la información de campo.

En la segunda parte se determinará en forma cualitativa y cuantitativa los diferentes parámetros físicos y mecánicos del macizo rocoso. El procedimiento a seguir será, la toma de muestras y posteriormente se realizará las pruebas de laboratorio.

En la tercera y última parte, se hará una evaluación de la estabilidad del talud final de la mina, aplicando el modelo numérico, para lo cual se realizará un análisis en elasticidad lineal y en plasticidad. Con lo cual, se determinará el ángulo del talud final de la mina en estudio.

Para determinar las características físico-mecánicas más representativas de la roca predominante (macizo rocoso) de la cantera “Susy III” se han empleado diversos métodos de investigación de campo.

Uno de los métodos utilizados se basa en la toma de datos estructurales (mapeo geomecánico) el cual permiten definir los dominios estructurales predominantes. Además

del trabajo de campo se extrajeron muestras de roca para llevar a cabo las pruebas de laboratorio y determinar los parámetros geomecánicos.

Para la ejecución del estudio se llevó a cabo un programa de investigaciones geomecánicas en campo, se realizó además la investigación correspondiente en el emplazamiento del proyecto, las cuales consistieron en trabajo de campo (mapeo geomecánico) así como la obtención de muestras de roca representativas al macizo rocoso de la cantera “SUSY III”.

Las investigaciones geomecánicas tienen como objetivo el conocer las propiedades geológicas – geomecánicas de los materiales que componen el macizo rocoso perteneciente al área de la cantera “Susy III”.

## CAPÍTULO 3. RESULTADOS

### 3.1. Ubicación

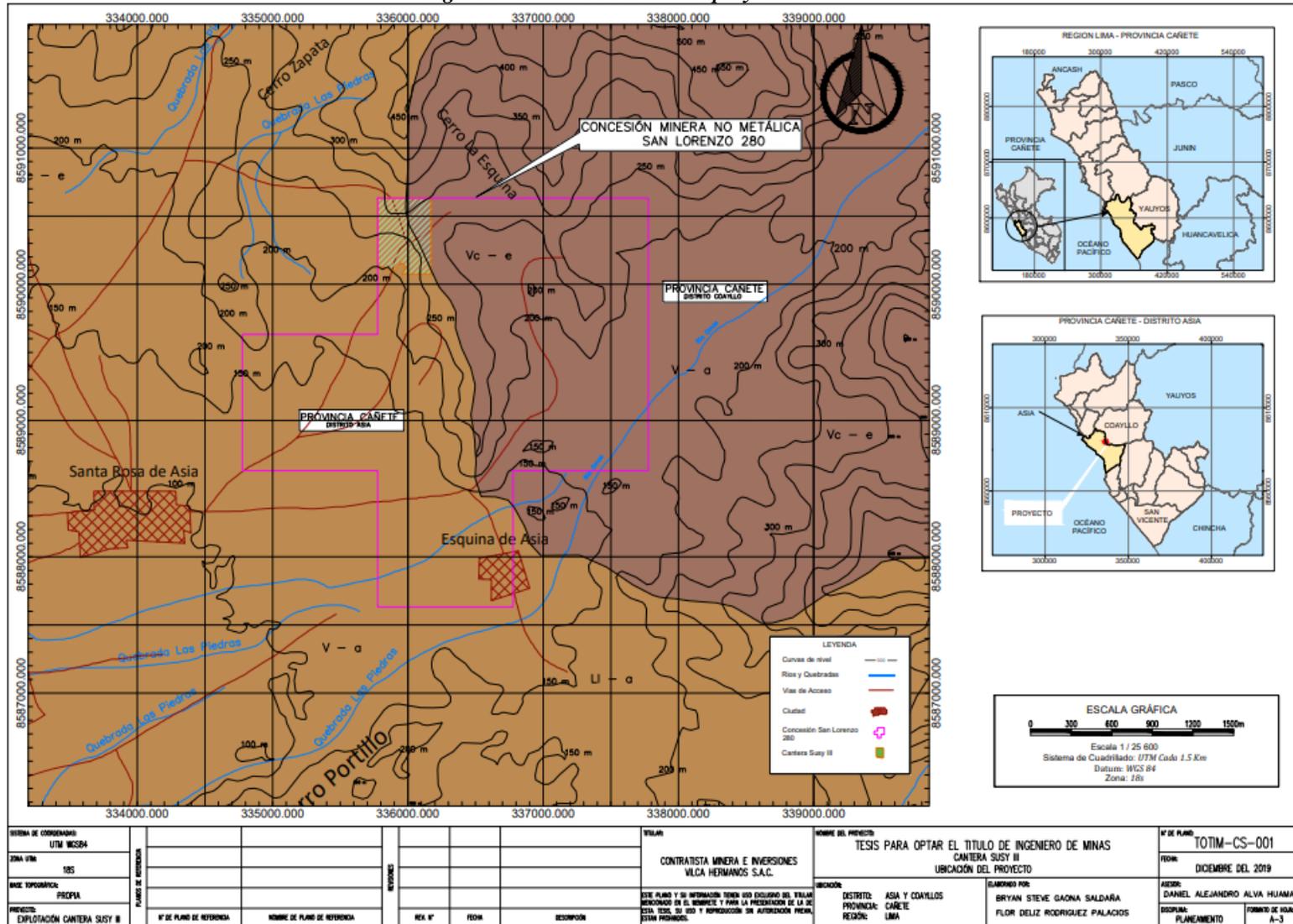
El Proyecto de Explotación “Cantera Susy III” se ubica en la Concesión Minera No Metálica “SAN LORENZO 280”, identificado con el código 010162698. La Concesión Minera No Metálica tiene una extensión de 600.00 hectáreas y se encuentra en su totalidad dentro de los distritos de Asia y Coayllo.

*Cuadro N°1.- Coordenadas de las Concesión Minera “San Lorenzo 280”*

Vértice	Coordenadas UTM PSAD56		Coordenadas UTM WGS84	
	Este	Norte	Este	Norte
V01	338000.00	8591000.00	337776.19	8590632.37
V02	338000.00	8589000.00	337776.19	8588632.35
V03	337000.00	8589000.00	336776.19	8588632.35
V04	337000.00	8588000.00	336776.19	8587632.34
V05	336000.00	8588000.00	335776.19	8587632.35
V06	336000.00	8589000.00	335776.19	8588632.36
V07	335000.00	8589000.00	334776.19	8588632.36
V08	335000.00	8590000.00	334776.19	8589632.37
V09	336000.00	8590000.00	335776.19	8589632.36
V10	336000.00	8591000.00	335776.18	8590632.37

Fuente: Ingemmet

Figura N°1.- Ubicación del proyecto



Fuente: Elaboración propia

## **3.2 Geología de la zona**

### **3.2.1. Geología del Proyecto**

El estudio del componente geológico constituye un elemento básico para la comprensión del funcionamiento del ecosistema terrestre, como se sabe el relieve es el soporte de la mayor parte de los demás componentes ambientales: suelos, flora, fauna, aguas superficiales, uso de la tierra y otros que dependen en gran medida de los caracteres del terreno, de sus procesos erosivos, de los tipos de rocas y estructuras en las que se emplazan.

#### **3.2.1.2. Geología regional**

El proyecto de explotación Cantera “Susy III” se localiza en el cuadrángulo de Mala (26-J) del mapa geológico que se puede ver y extraer en la página oficial del Geocatmin, en el cual se presenta rasgos fisiográficos de lomas, cerros testigos, valles y quebradas. A continuación, mencionaremos los diferentes grupos geológicos existentes en el área del proyecto.

##### **✓ Grupo Yura**

Se describe a la secuencia con predominio de lutitas grises y algunas intercalaciones de areniscas finas y ocasionalmente horizontes calcáreos y volcánicos, expuesta a manera de faja adyacente al Batolito Costanero en la zona costanera entre el valle de Mala y Asia; esta formación infrayace en forma transicional al Grupo Morro Solar, pero no se reconoce su base, por lo que su espesor se estima en 500 m.

Por infrayacer al Grupo Morro Solar del Valanginiano se considera que la deposición de esta secuencia sedimentaria está ubicada en el intervalo Berriasiano superior-Valanginiano. Esta edad es aproximada, puesto que no se han encontrado fósiles que

precisen su edad. Se correlaciona con el Grupo Goyllarisquizga que se distribuye en la zona de cuencas del flanco occidental andino.

✓ **Grupo Morro Solar**

Esta formación se separa en dos miembros:

- a) Miembro la Virgen: Consiste de 30 m. de lutitas gris oscuras con ocasionales nódulos calcáreos y caliza gris negruzca, sucedidas por una intercalación de areniscas y lutitas.
- b) Miembro la Herradura: Consiste en su base de areniscas gris claras y capas ocasionales de lutitas; hacia el techo se suceden lutitas negruzcas y abigarradas, intercaladas con horizontes de caliza en capas delgadas a medianas.

E. Bosc (1963) encontró en esta secuencia ammonites y lamelibranquios, entre los cuales identificó el ammonite Pfluckeria Pfluckeri Liss. Se estima un grosor de 60 m.

✓ **Formación Cañete**

Se ha registrado con este nombre; un conjunto litológico de conglomerados semiconsolidados con clastos redondeados y subredondeados de litología variada, en matriz areno-limosa y con algunos sedimentos areno-limosos.

Esta formación es continental y representa los conos de deyección aluvional más antiguos; en edad se le asigna al Pleistoceno.

### **3.2.1.3. Geología Local**

✓ **Limoarcillitas**

Se encontraron rocas sedimentarias representadas por limoarcillitas de grano fino matriz soportada de color gris, con intercalaciones paralelas de capas delegadas de areniscas

y calizas, presenta un rumbo de  $20^{\circ}$  -  $15^{\circ}$  NW y un buzamiento de  $25^{\circ}$  -  $30^{\circ}$ . Se correlaciona esta formación con el Grupo Yura.

#### ✓ **Calizas Gris Oscuro**

Se encontraron rocas sedimentarias representadas por calizas color gris oscuro, su origen se da por procesos hídricos donde el carbonato de calcio se disuelve en aguas que contienen dióxido de carbono gaseoso disuelto, y se forma el bicarbonato de calcio y procesos biológicos donde gran parte de los organismos construyen su esqueleto mineral con el carbonato de calcio y al morir, sus restos minerales se conforman en sedimentos que dan origen a las piedras calizas.

Contiene a su vez intercalaciones de limoarcillita de textura pizarrosa, presenta un rumbo de NS y un buzamiento de  $10^{\circ}$  -  $20^{\circ}$ . Se correlaciona esta formación con el Grupo Morro Solar.

#### ✓ **Depósitos Aluviales**

Son acumulaciones constituidas por materiales de diversos fragmentos rocosos heterométricos y heterogéneos compuestos por arenas, cantos, bolos y todo lo materiales acumulados por las precipitaciones formando zonas de conos de deyección.

#### **3.2.1.4. Geodinámica**

La geodinámica abarca el estudio de los procesos y cambios físicos que ocurren constantemente sobre la superficie de la Tierra. Estas transformaciones son posibles debido a la intervención de agentes internos y externos que crean, forman, degradan y modelan la superficie terrestre.

El evento geodinámico predominante en el área del proyecto, son los movimientos de masa del tipo caída de rocas y sus características se describen a continuación.

✓ **Movimientos de masas**

Son movimientos que, por efecto de la gravedad, ladera abajo, trasladan laderas abajo, rocas, detritos o tierras (Cruden, 1991). Para proceder a la clasificación de los movimientos en masa, se hace uso de las tablas propuestas por Varnes (1958, 1978) y Hutchinson (1968, 1988). Estas tablas tienen en cuenta el tipo de movimiento y el tipo de material. En cuanto al primero, se considera 5 clases: caídas, volcamientos, deslizamientos, flujos y propagación lateral. Dentro de los materiales se consideran: rocas y suelos, estos últimos subdivididos en detritos y tierras. Se ha identificado el proceso de caída de rocas, siendo sus características las siguientes:

- Caída de Rocas: En este tipo de eventos, los clastos o fragmentos de rocas preexistentes se desprenden de una ladera, como resultado de procesos de erosión y meteorización, ya sea de origen natural o antrópico. En el área del proyecto esto se da en las zonas altas donde ya se aprecian taludes recubiertos por material aluvial y coluvial que por distintos agentes físico se produce desprendimientos de fragmentos de rocas con diámetros mayores a 2”.

### **3.2.3. Recursos hídricos**

#### **3.2.3.1. Cuenca de Omas**

El proyecto de Explotación Cantera Susy III se ubica sobre la parte baja de la cuenca del río Omas, en los distritos de Asia y Coayllo de la Provincia de Cañete, la cual pertenece al sistema hidrográfico de del Océano Pacífico.

#### **3.2.4. Peligro Sísmico**

El peligro sísmico representa la probabilidad de ocurrencia dentro de un período específico de tiempo y dentro de un área dada, un movimiento sísmico con una intensidad determinada.

Los estudios de peligro sísmico tienen como objetivo estimar el movimiento del terreno en un lugar determinado, o proporcionar una evaluación del tamaño del sismo en la zona en estudio.

El peligro sísmico describe los efectos provocados por movimientos sísmicos en el suelo de dicha zona. Tales como la aceleración, velocidad, desplazamiento del terreno o intensidad macro sísmica de la zona. Para evaluar estos efectos es necesario analizar los fenómenos que ocurren a partir de la emisión de las ondas sísmicas ocurridas en el foco mismo hasta que estas ondas sísmicas llegan a la zona de estudio.

##### **3.2.4.1. Investigaciones geotécnicas de campo**

Para determinar las características físico-mecánicas más representativas de la roca predominante (macizo rocoso) de la cantera “Susy III” se han empleado diversos métodos de investigación de campo.

Uno de los métodos utilizados se basa en la toma de datos estructurales (mapeo geomecánico) el cual permiten definir los dominios estructurales predominantes. Además del trabajo de campo se extrajeron muestras de roca para llevar a cabo las pruebas de laboratorio y determinar los parámetros geomecánicos.

### 3.5. Investigaciones y ensayos de laboratorio

Se realizaron ensayos de laboratorio, para determinar los diferentes parámetros o propiedades físicas y mecánicas de la roca.

#### 3.5.1. Ensayo de propiedades físicas

Tanto la densidad como el peso específico son propiedades que no dependen de la dirección de medida, esto es, son propiedades escalares.

Aunque se utilizan indistintamente, los términos de densidad y peso específico no son idénticos. La densidad es la relación entre la masa y el volumen de la sustancia, midiéndose en unidades de masa/unidades de volumen (e.g., g/cc). El peso específico es la relación numérica entre el peso de un cuerpo y el peso de igual volumen de agua a 4°C, esto es la relación entre las densidades del cuerpo y la del agua.

Esta propiedad es adimensional (no se expresa en términos de unidades determinadas) ya que es la relación entre dos cantidades con la misma dimensión. Dado que el volumen del agua varía con la temperatura, se toma como referencia la densidad del agua a 4°C.

*Cuadro N°2.- Ensayo de propiedades físicas*

Muestra	Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	Porosidad aparente (%)	Absorción (%)	Peso específico aparente (KN/m <sup>3</sup> )
DD-R-01	2.65	2.65	0.38	0.14	26.03
T-R-01	2.35	2.48	12.54	5.33	23.93

Fuente: Laboratorio de mecánica de rocas – UNI

#### 3.5.2. Ensayo de Corte directo

El ensayo de corte directo tiene como objetivo determinar la resistencia al corte de una discontinuidad expresada con el valor del ángulo de fricción residual ( $\phi_r$ ) en muestras de roca previamente fracturadas.

Este ensayo se puede aplicar en muestras de roca dura o blanda, y en muestras que contengan planos de falla o discontinuidades naturales o artificiales (interface concreto-roca). La determinación del esfuerzo cortante de una muestra de roca es importante en el diseño de estructuras tales como: taludes de roca, cimentaciones, túneles, labores subterráneas y otros.

*Cuadro N°3.- Ensayo de corte directo.*

Muestra	Cohesión (Mpa)	Ángulo de fricción (°)
DD-R-01	0.107	27.04
T-R-01	0.107	26.07

Fuente: Laboratorio de mecánica de rocas – UNI

Nota: Para un mayor detalle de los resultados de los ensayos de laboratorio puede verse en el *Anexo N. °2 Ensayos de Laboratorio.*

#### 4. Evaluación Geomecánica

##### 4.1. Caracterización geomecánica de la roca

Para caracterizar el macizo rocoso se ha utilizado el sistema de clasificación geomecánica RMR (Rock Mass Rating) desarrollado por **Bieniawski (1989)**: “el cual permite relacionar el índice RMR con parámetros de diseño y sostenimiento. Este sistema de clasificación considera 05 parámetros, relacionados con el valor del RQD, la resistencia de la roca intacta, el grado de meteorización, el grado de fracturamiento y la condición de las discontinuidades, asignando una valoración o un puntaje a cada uno de estos parámetros los cuales deben ser evaluadas siguiendo las recomendaciones del ISRM (International Society of Rock Mechanics). Estos puntajes son sumados para obtener la valoración de la calidad del macizo rocoso (RMR básico) y se expresa por medio de un índice de calidad denominado RMR (Rock Mass Rating) que varía de 0 a 100”.

Finalmente, se utiliza un sexto parámetro para ajustar la valoración del RMR básico, que valora la influencia de la orientación de las discontinuidades del macizo rocoso. Este parámetro es un número negativo que refleja en qué medida el rumbo y buzamiento de la

familia de discontinuidades más crítica, presente en el macizo rocoso, resulta favorable o desfavorable para la aplicación en el diseño de túneles, taludes o cimentaciones.

El valor ajustado del RMR es utilizado finalmente para describir la calidad del macizo rocoso en 5 clases, las cuales se describen en el siguiente.

Clase Macizo Rocos o	Descripción	RMR
<b>I</b>	<b>Macizo rocoso de excelente calidad</b>	<b>81-100</b>
<b>II</b>	<b>Macizo rocoso de buena calidad</b>	<b>61-80</b>
<b>III</b>	<b>Macizo rocoso de calidad regular</b>	<b>41-60</b>
<b>IV</b>	<b>Macizo rocoso de mala calidad</b>	<b>21-40</b>
<b>V</b>	<b>Macizo rocoso de muy mala calidad</b>	<b>0-21</b>

Fuente: <https://slideplayer.es/amp/3323313/>

#### 4.2. Investigación Geomecánica de Campo

Para llevar a cabo la caracterización del macizo rocoso se empleó información obtenida de las estaciones de mapeo ubicadas a lo largo de los afloramientos de masa rocosa (norte-oeste) de la cantera en total fueron 8 estaciones de mapeo cabe mencionar que el afloramiento rocoso no entra en el ciclo de planeamiento de la mina por lo cual se mantiene intacto.

*Cuadro N°4.- Estaciones de mapeo geomecánico*

N°	Estación de Mapeo	Coordenada UTM WGS84		
		Este	Norte	Cota
1	EMP-2019-001	336164	8590473	276
2	EMP-2019-002	336117	8590539	301
3	EMP-2019-003	336119	8590585	305
4	EMP-2019-004	336113	8590607	315
5	EMP-2019-005	336082	8590597	305
6	EMP-2019-006	336050	8590543	300
7	EMP-2019-007	336058	8590490	299
8	EMP-2019-008	336069	8590450	298

Fuente: Elaboración Propia

Nota: Para un mayor detalle de los resultados de los ensayos de laboratorio puede verse en el *Anexo N°3 Registro de mapeo geomecánico*.

## 5. Características de los bancos

Los taludes de los bancos están orientados hacia el **NW** y tienen una altura de 8 metros, el ángulo de los taludes varía entre los **70 a 75°** aproximadamente.

*Cuadro N°5.- Características geométricas de las labores*

Tipo	Ubicación	Dominio estructural	Dipdir
Talud natural	Sur-este	DE-01	80°
Talud natural	Norte	DE-02	88°
Talud natural	Oeste	DE-03	116°

Fuente: Elaboración Propia

## 6. Dominios estructurales

Para la aplicación racional de los diferentes métodos de cálculo de la mecánica de rocas, es necesario que la masa rocosa bajo estudio esté dividida en áreas de características estructurales y mecánicas similares, debido a que los criterios de diseño y el análisis de los resultados serán válidos solo dentro de masas rocosas que presenten propiedades físicas y mecánicas similares. Por ello, es práctica común sectorizar el área del proyecto en zonas geomecánicas o dominios estructurales. La zona de estudio ha sido clasificada en un dominio estructural predominante:

### ❖ Dominio Estructural DE -001

Conformado principalmente por limoarcillita, la roca presenta una resistencia media (**R2: 5.0-25 MPa**), tiene un RQD medio (**35-38**), las discontinuidades se encuentran en espaciamiento <25 (general) y tienen una persistencia de 3 a 10 m de longitud, con aperturas <1.0 mm, paredes ligeramente lisas, en su mayoría son limpias, la roca se encuentra ligeramente alterada y las condiciones de agua es seco.

### ❖ Dominio Estructural DE- 002

Conformado principalmente por limoarcillita, la roca presenta una resistencia media (**R2: 5.0 -25 MPa**), tiene un RQD bajo (**18 a 24**), las discontinuidades se encuentran espaciadas <0.6 (general) y tienen una persistencia de 3 a 10 m de longitud, las discontinuidades presentan una abertura entre 1.0-5.0 mm, sus paredes son lisas, limpias sin relleno, la roca se encuentra ligeramente alterada y las condiciones de agua es seco.

#### ❖ **Dominio Estructural DE -003**

Conformado principalmente por limoarcillita, la roca presenta una resistencia media (**R2: 5.0 -25 MPa**), tiene un RQD bajo (**20 a 15**), las discontinuidades se encuentran espaciadas <0.6 (general) y tienen una persistencia de 3 a 10 m de longitud, las discontinuidades están ligeramente abiertas (0.1 a 1.0 mm), las paredes son lisas, limpias sin relleno, la roca se encuentra ligeramente alterada y las condiciones de agua es seco.

### 7. Resistencia de la masa rocosa

Los parámetros correspondientes al criterio de falla de Hoek & Brown fueron obtenidos con los ensayos de corte directo realizadas a las muestras obtenidas en campo. Además de este ensayo se han realizado los ensayos de propiedades físicas.

Los valores de “m<sub>b</sub>” y “s” para el macizo rocoso fueron calculados mediante la aplicación del criterio de Hoek & Brown (1980), el módulo de deformación E (GPa), fue determinada aplicando el criterio de Serafim & Pereira (1983).

*Cuadro N°6.- Propiedades físicas y parámetros mecánicos de la roca*

N°	Propiedad	Parámetro		Criterio
1	Densidad	2.48	t/m <sup>3</sup>	Propiedad física
2	RCU	108.7	MPa	Propiedad mecánica
3	Ángulo de fricción	26.07	°	Hoek & Brown
4	Cohesión	0.107	MPa	Hoek & Brown
5	S	0.0123	-	Hoek & Brown
6	mi	20	-	Hoek & Brown
7	mb	4.155	-	Hoek & Brown

Fuente: Laboratorio de mecánica de rocas – UNI

## 8. Valoración de la masa rocosa

La información correspondiente a la clasificación geomecánica se presentan en el *Anexo 03 - Registro de Mapeo Geomecánico*, donde puede observarse toda la data geomecánica recopilada durante los trabajos realizados en campo. El valor de la clasificación rocosa R.M.R. (Rock Mass Rating de 1989) obtenida para la zona estudiada va *de 34 a 41*. En el siguiente cuadro se puede observar las valoraciones de la masa rocosa obtenida.

*Cuadro N°7.- Valoración de las estaciones de mapeo*

N° Estación de Mapeo	Coordenadas UTM WGS 84			Caracterización geomecánica		
	Este	Norte	Cota	RMR	GSI	Q
1 EMP-2019-001	336164	8590473	276	38	33	0.295
2 EMP-2019-002	336117	8590539	301	35	30	0.211
3 EMP-2019-003	336119	8590585	305	38	33	0.295
4 EMP-2019-004	336113	8590607	315	41	36	0.411
5 EMP-2019-005	336082	8590597	305	34	29	0.189
6 EMP-2019-006	336050	8590543	300	40	35	0.368
7 EMP-2019-007	336058	8590490	299	39	34	0.329
8 EMP-2019-008	336069	8590450	298	37	32	0.264

Fuente: Elaboración Propia

## 9. Análisis Cinemático de Discontinuidades

### 9.1. Distribución de discontinuidades

Para poder establecer las características del arreglo estructural del macizo rocoso, se ha procesado los datos de orientación de las discontinuidades mediante técnicas de representación estereográfica, utilizando para ello el programa *DIPS v.6.0*

A partir de los datos obtenidos durante el mapeo geomecánico y haciendo uso del programa DIPS se ha podido determinar el arreglo estructural de la masa rocosa.

En el siguiente cuadro se puede observar el compósito de las discontinuidades estructurales correspondientes a cada dominio estructural.

Cuadro N°8.- Sistema de discontinuidades estructurales

Descripción	Discontinuidades	Familia 01	familia 02	familia 03
Buz./Dir.Buz.	DE-001	27°/136	63°/32°	50°/75°
Buz./Dir.Buz.	DE-002	34°/122°	72°/78°	77°/130°
Buz./Dir.Buz.	DE-003	75°/285°	75°/142°	77°/190°

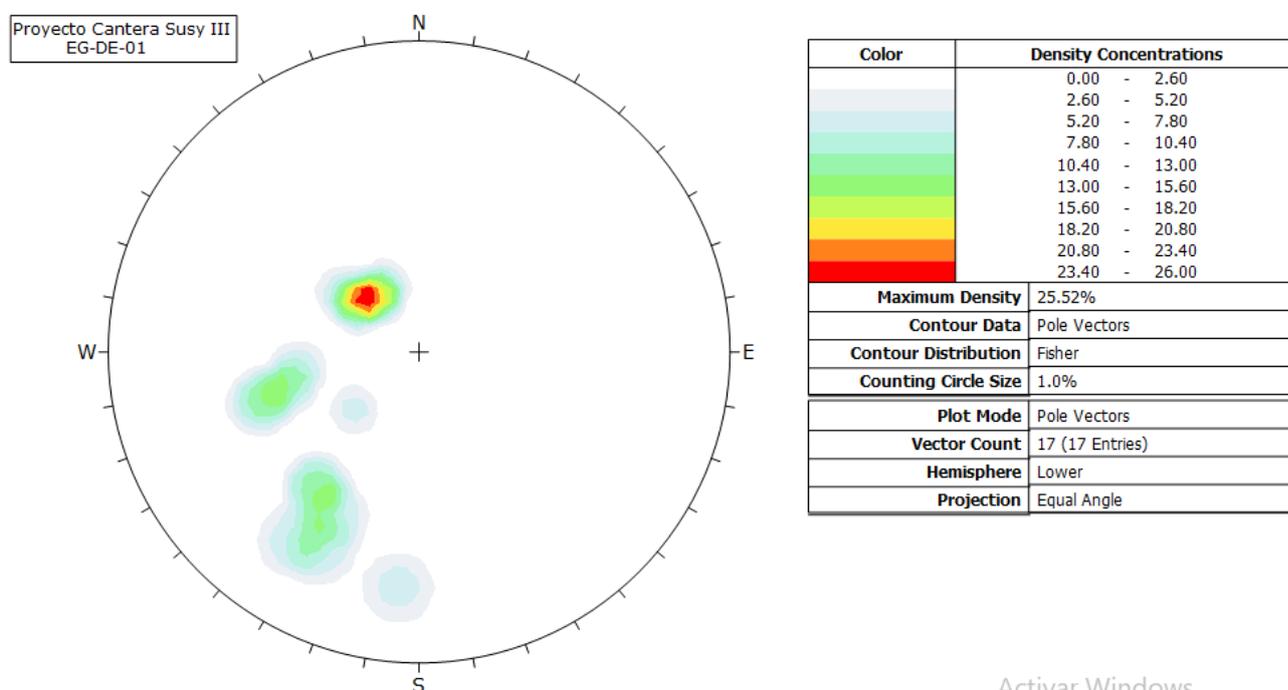
Fuente: Elaboración Propia

## 10. Análisis e interpretación de – Dominios estructural

Al hacer el análisis e interpretación de los sistemas de discontinuidades del mapeo realizado se observa que hay tres sistemas principales.

### ✓ Sistema de Discontinuidades Estructurales DE-001

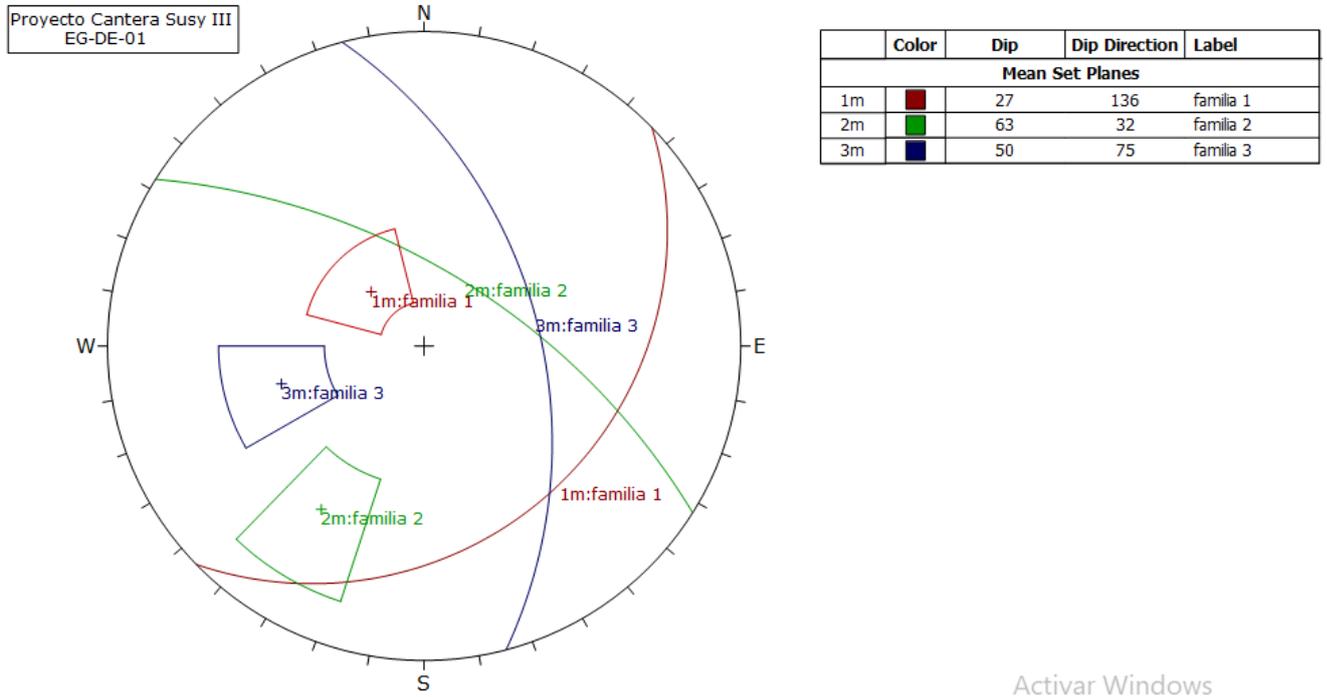
Figura N°2.- Diagrama Estereográfico de concentración de polos



Fuente: Elaboración Propia

Activar Windows

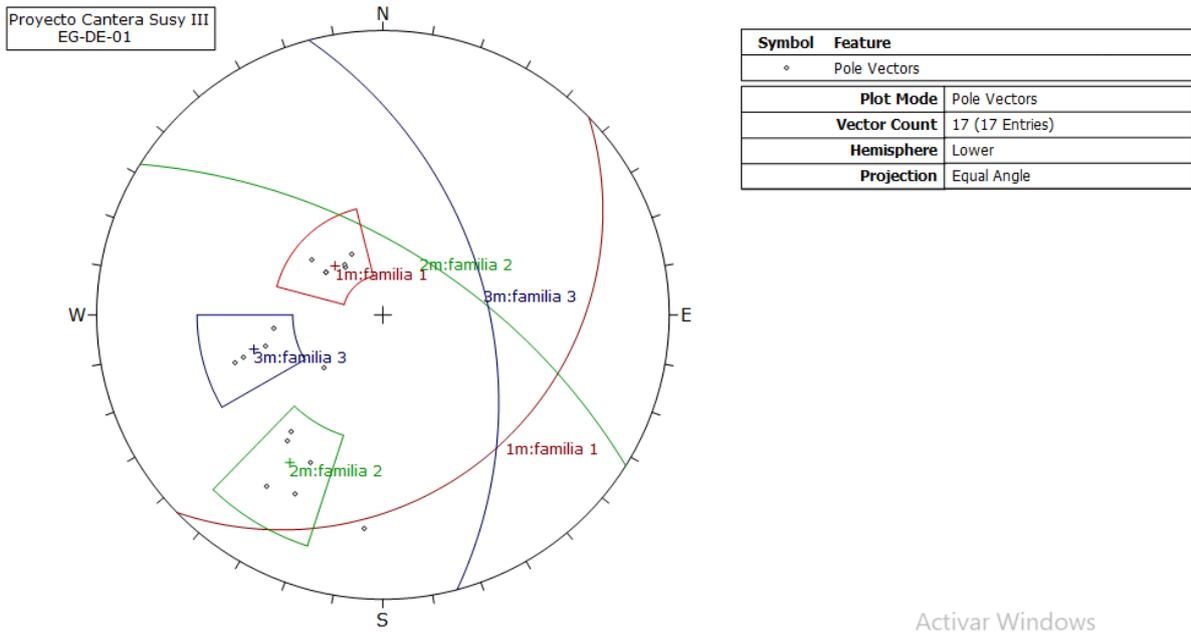
**Figura N°3.- Diagrama estereográfico de los planos de estructuras**



Fuente: Elaboración Propia

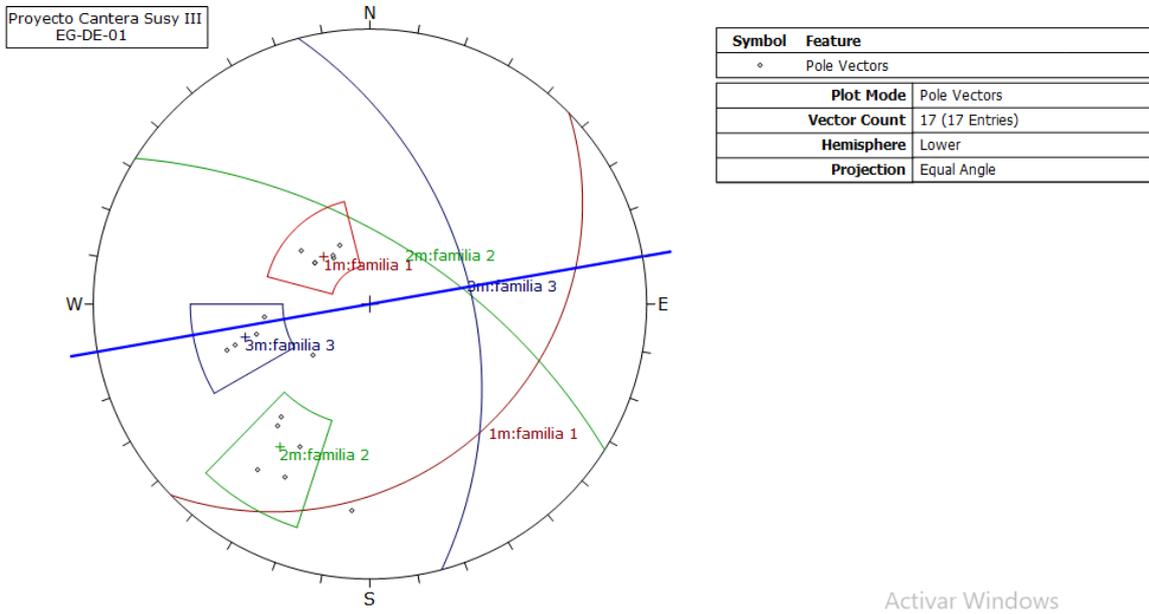
Activar Windows

**Figura N°4.- Diagrama estereográfico de los planos de estructuras - polos**



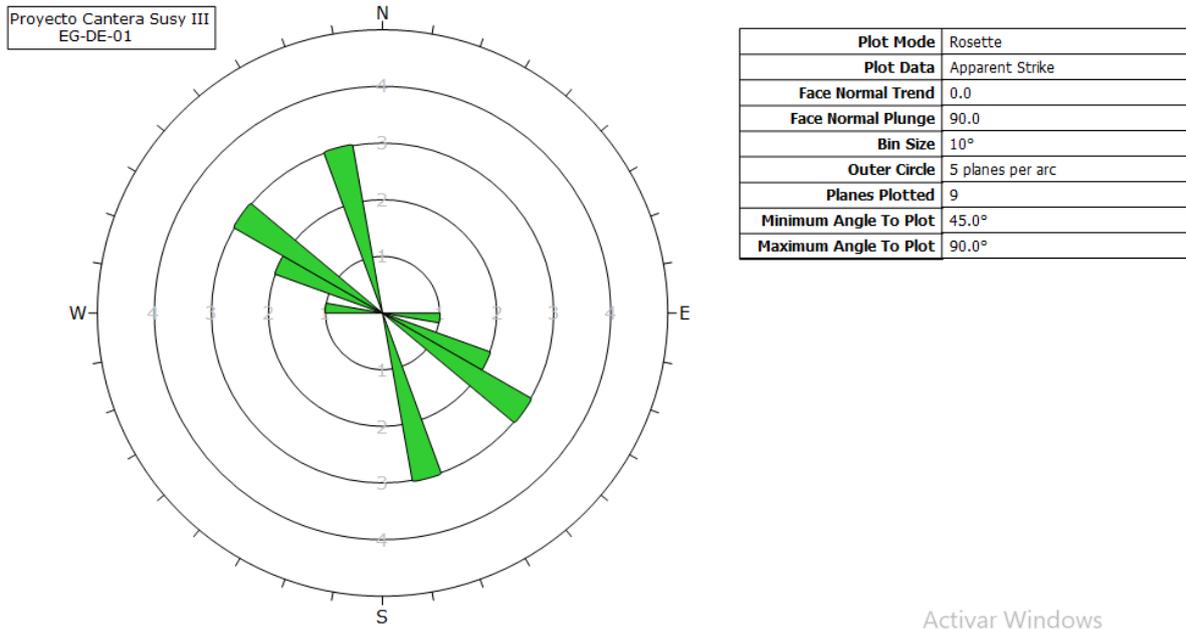
Fuente: Elaboración Propia

**Figura N°5.- Análisis de interpretación por labores – Bocamina**



Fuente: Elaboración Propia

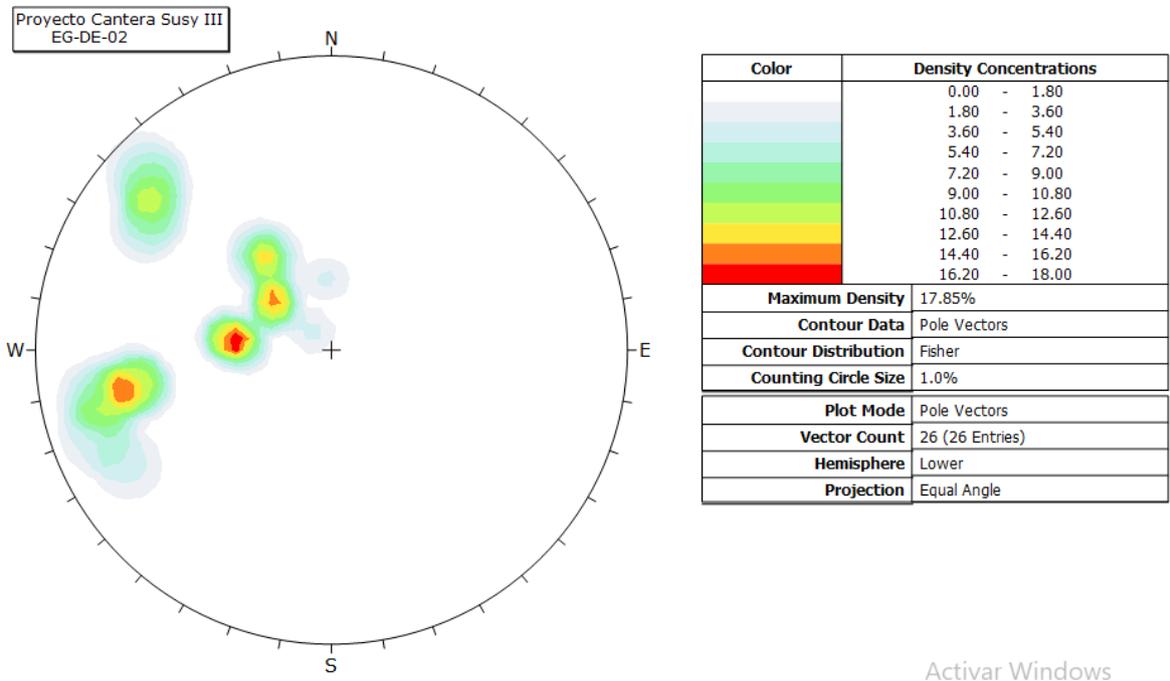
**Figura N°6.- Diagrama de Rosettas de los planos de estructuras**



Fuente: Elaboración Propia

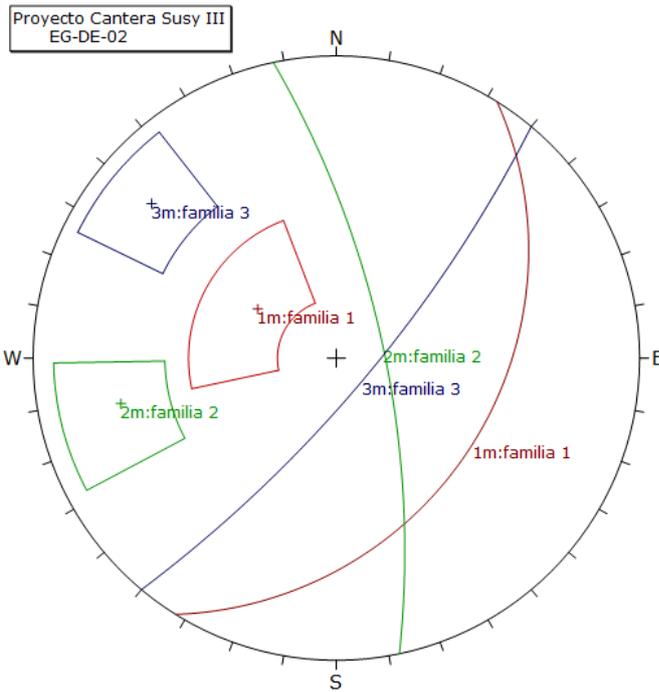
✓ **Sistema de Discontinuidades Estructurales DE-002**

**Figura N°7.- Diagrama Estereográfico de concentración de polos**



Fuente: Elaboración Propia

**Figura N°8.- Diagrama estereográfico de los planos de estructuras**

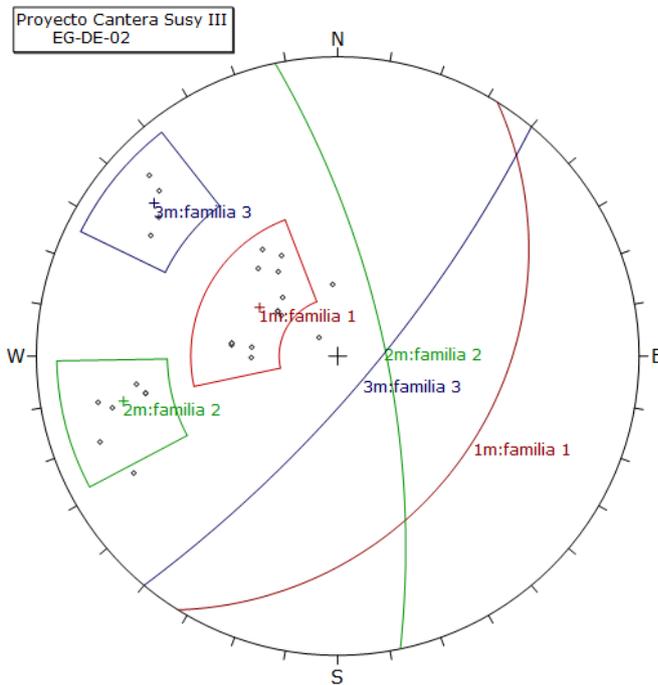


Color	Dip	Dip Direction	Label
<b>Mean Set Planes</b>			
1m	34	122	familia 1
2m	72	78	familia 2
3m	77	130	familia 3

Activar Windows

Fuente: Elaboración Propia

**Figura N°9.- Diagrama estereográfico de los planos de estructuras - polos**

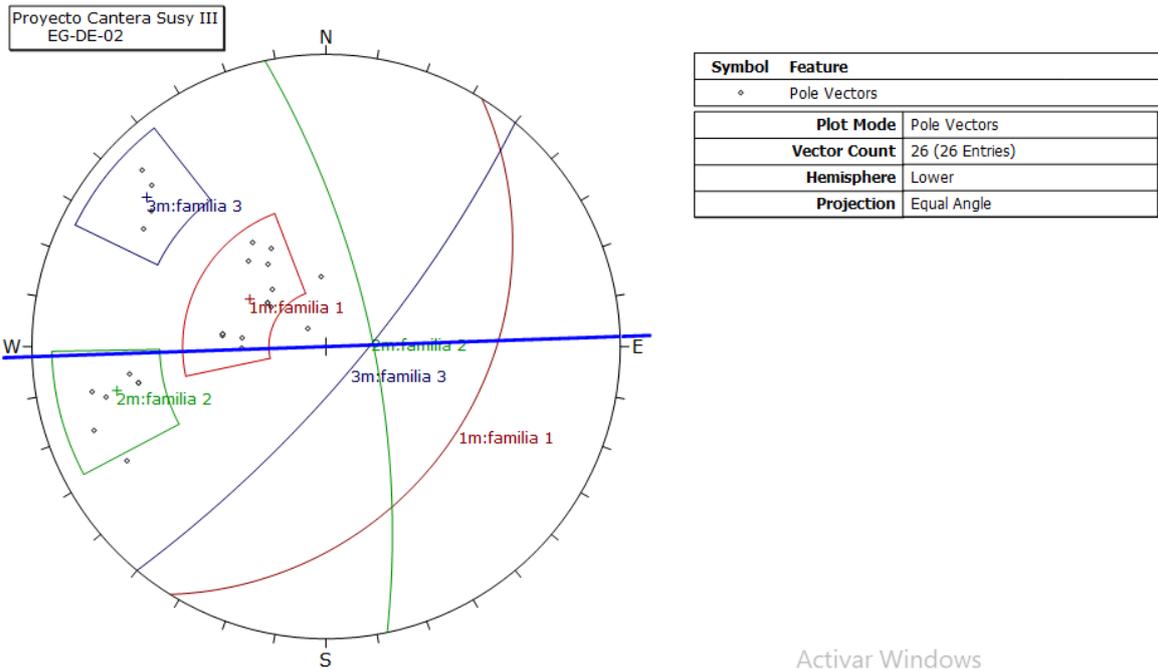


Symbol	Feature
◦	Pole Vectors
<b>Plot Mode</b>	Pole Vectors
<b>Vector Count</b>	26 (26 Entries)
<b>Hemisphere</b>	Lower
<b>Projection</b>	Equal Angle

Activar Windows

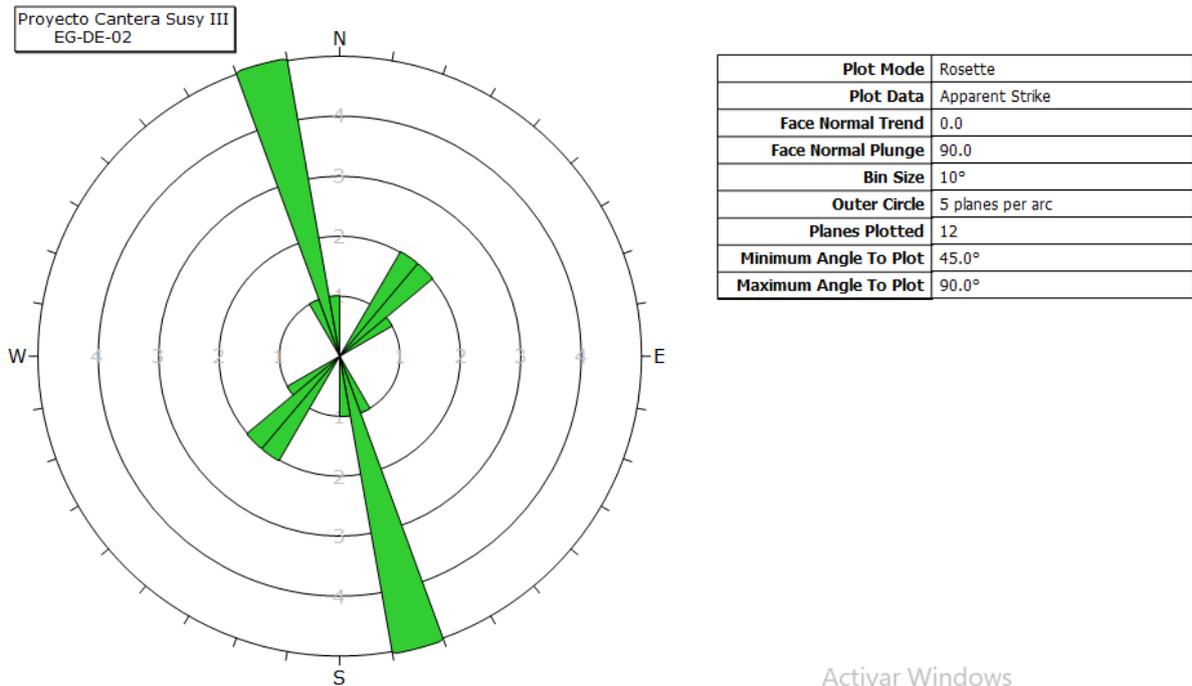
Fuente: Elaboración Propia

**Figura N°10.- Análisis de interpretación por discontinuidad – Veta**



Fuente: Elaboración Propia

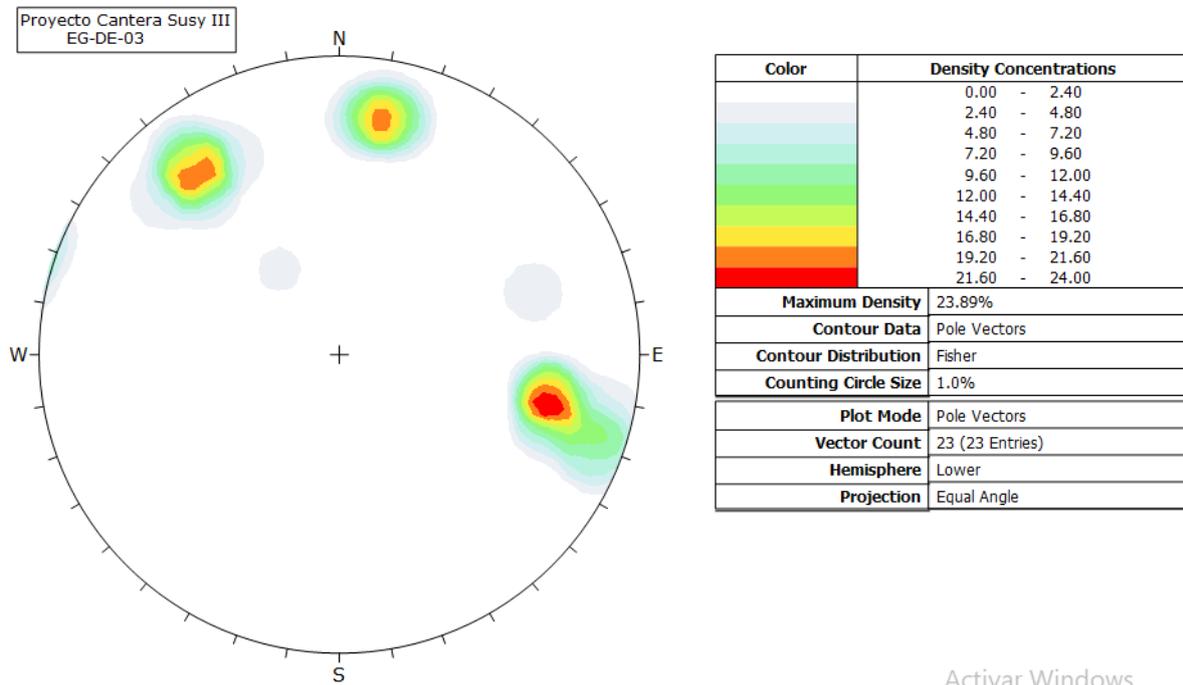
**Figura N°11.- Diagrama de Rosettas de los planos de estructuras**



Fuente: Elaboración Propia

✓ **Sistema de Discontinuidades Estructurales DE-003**

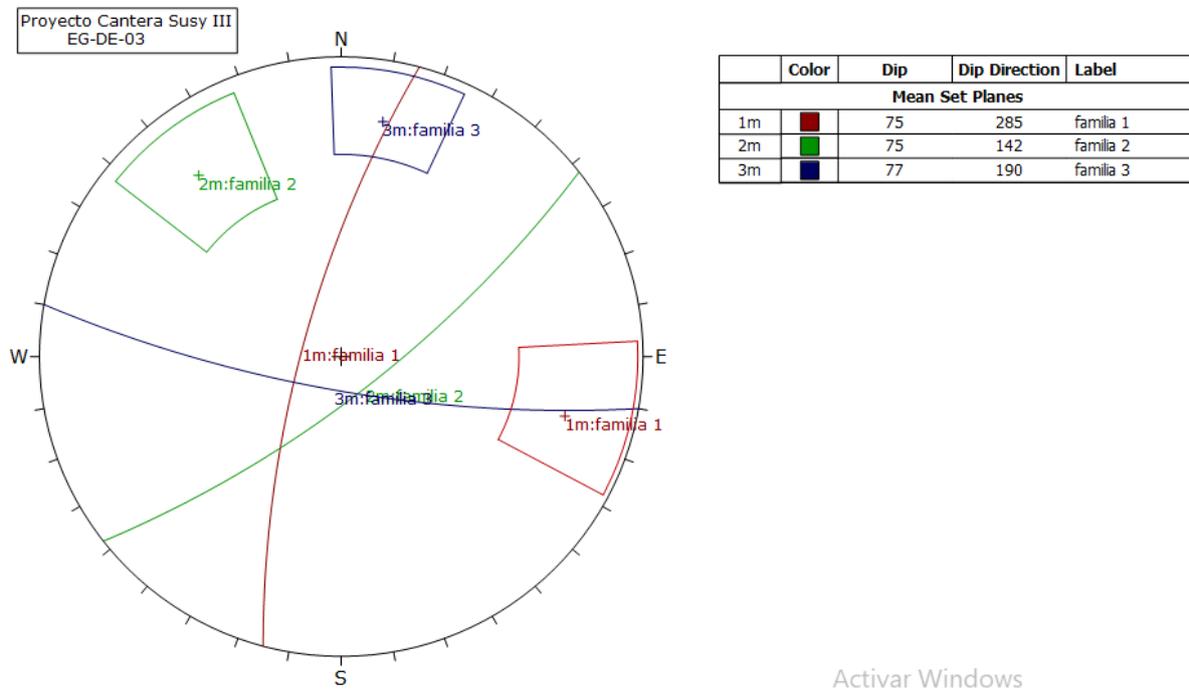
**Figura N°12.- Diagrama Estereográfico de concentración de polos**



Fuente: Elaboración Propia

Activar Windows

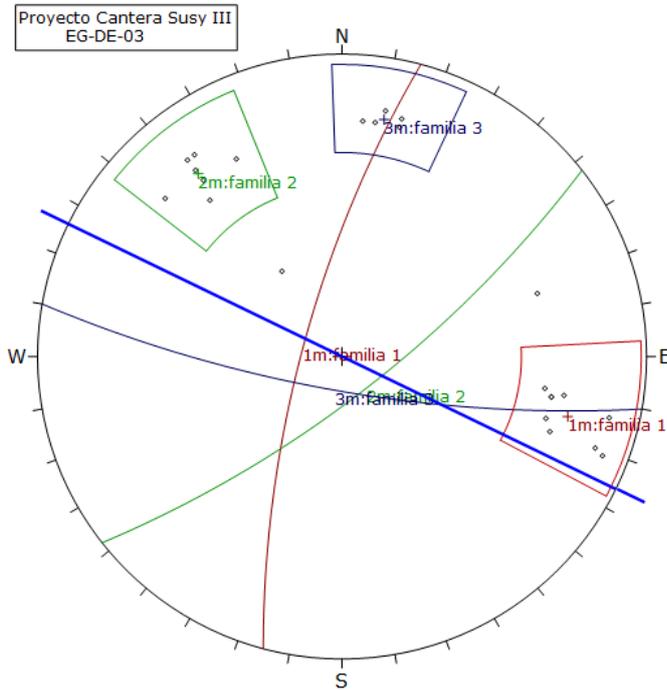
**Figura N°13.- Diagrama estereográfico de los planos de estructuras**



Fuente: Elaboración Propia

Activar Windows

**Figura N°14.- Diagrama estereográfico de los planos de estructuras - polos**

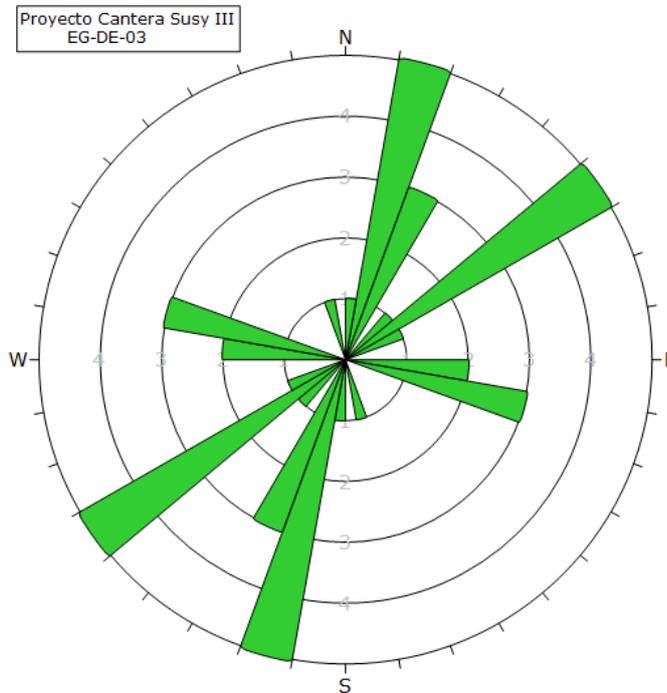


Symbol	Feature
◦	Pole Vectors
<b>Plot Mode</b>	Pole Vectors
<b>Vector Count</b>	23 (23 Entries)
<b>Hemisphere</b>	Lower
<b>Projection</b>	Equal Angle

Activar Windows

Fuente: Elaboración Propia

**Figura N°15.- Diagrama de Rosettas de los planos de estructuras**



<b>Plot Mode</b>	Rosette
<b>Plot Data</b>	Apparent Strike
<b>Face Normal Trend</b>	0.0
<b>Face Normal Plunge</b>	90.0
<b>Bin Size</b>	10°
<b>Outer Circle</b>	5 planes per arc
<b>Planes Plotted</b>	22
<b>Minimum Angle To Plot</b>	45.0°
<b>Maximum Angle To Plot</b>	90.0°

Activar Windows

Fuente: Elaboración Propia

## **11. Interpretación de resultados**

### **Análisis cinemático de discontinuidades – DE-001**

Se observa la formación de 3 principales familias de discontinuidades, las cuales combinadas con la orientación del talud y considerando el ángulo de fricción, se puede indicar que el principal tipo de falla presente es el por cuñas generado por la familia de estructuras 01 y 02, las cuales se mantendrán estable.

### **Análisis cinemático de discontinuidades – DE-002**

Se observa la formación de 3 principales familias de discontinuidades, las cuales combinadas con la orientación del talud y considerando el ángulo de fricción, se puede indicar que el principal tipo de falla presente es el de cuñas generado por las familias de estructuras 01 y 02, estas se mantendrán estable.

### **Análisis cinemático de discontinuidades – DE-003**

Se observa la formación de 3 principales familias de discontinuidades, las cuales combinadas con la orientación del talud y considerando el ángulo de fricción, se puede indicar que el principal tipo de falla presente es el de cuña generada por la familia de estructuras 01 y 03, estas se mantendrán estable.

## **12. Determinación del Talud Inter-rampas.**

En minería superficial los taludes de un tajo abierto tienen tres componentes: los bancos, el ángulo de talud inter rampa y el ángulo de talud general.

### **12.1. Gráfico definición de los principales componentes de un talud**

A su vez, los bancos están definidos por su altura, su ángulo de cara y el ancho de berma de seguridad. Estos tres componentes están relacionados entre sí con el ángulo de talud inter rampa, mediante la relación siguiente.

$$W = h_b (\cot \alpha_r - \cot \alpha_b)$$

$\alpha_r$  = Ángulo de Talud Interrampa

$\alpha_b$  = Ángulo de Cara de Banco

$h_b$  = Altura de Banco

$W$  = Ancho de Berma de Seguridad

Por otro lado, la dimensión del ancho de berma de seguridad depende sobre todo de la altura de banco. Se debe recordad que dicha berma tiene por finalidad el contener las rocas que podrían desprenderse desde la cresta de cualquier banco, evitando así que caigan o rueden hasta el fondo del tajo, donde podrían ocasionar daños al personal o al equipo.

La relación empírica más empleada para determinar el ancho de berma de seguridad se desprende de los criterios desarrollados por Ritchie (1963), modificados posteriormente por (Call & Savelly, 1990; Call, 1992), y se expresa mediante las relaciones:

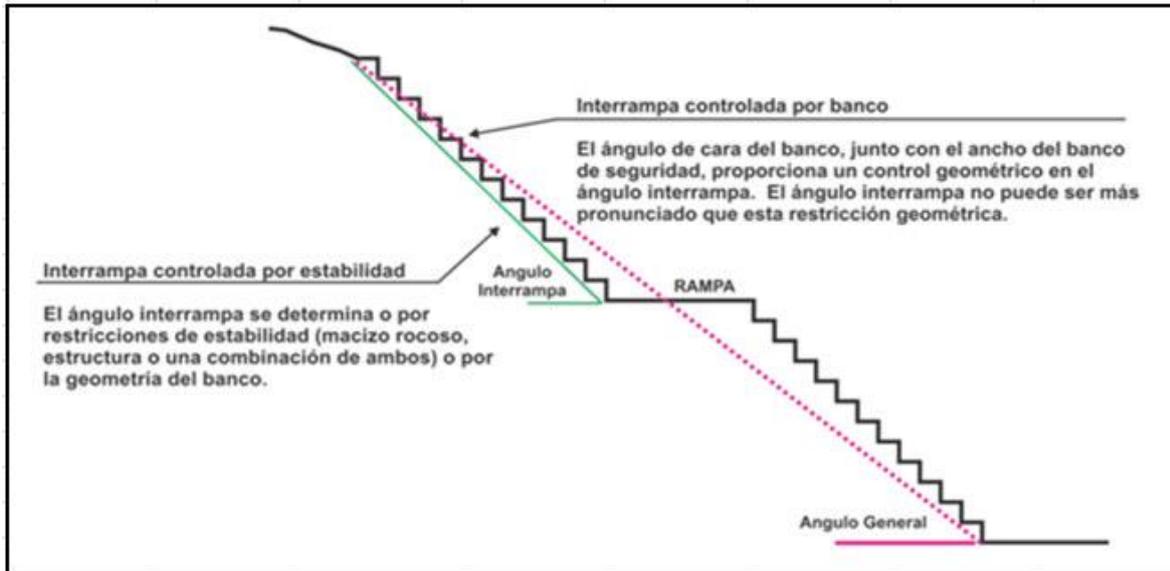
$W = 0.2 h_b + 2.0$ , para altura de bancos ( $h_b$ ) menores o iguales a 9.0 metros

$W = 0.2 h_b + 4.5$ , para altura de bancos ( $h_b$ ) Mayores a 9.0 metros

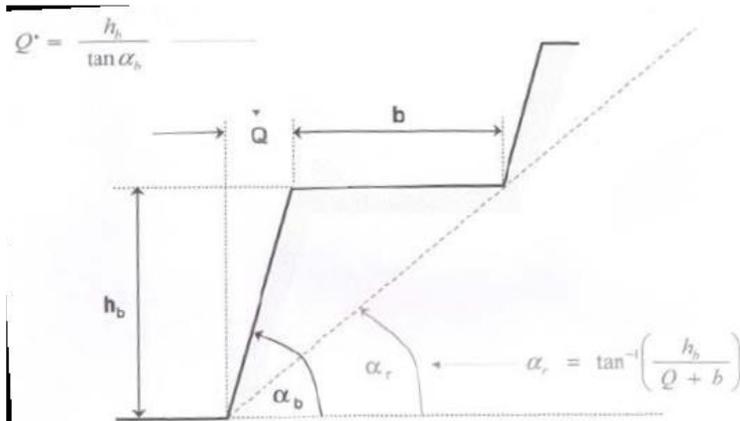
Aplicando el criterio indicado, para el presente estudio se determinó un ancho de berma de seguridad mínimo de 6.5 metros.

Controles del ángulo de talud Inter rampa. El ángulo de talud del banco, junto con el ancho del banco de seguridad, proporciona un control geométrico en el ángulo inter rampa. El ángulo inter rampa no puede ser más pronunciado que esta restricción geométrica.

El ángulo inter rampa se determina, por restricciones de estabilidad (macizo rocoso, estructura o una combinación de ambos) o por la geometría del banco.



**Gráfico controles del ángulo de talud Inter rampa**



**Geometría banco – berma**

Teniendo en consideración el mencionado criterio teórico, se procede a determinar el ángulo de talud inter-rampas.

Ángulo del Banco =	$\alpha_b =$	60 grados
Altura de Banco =	$h_b =$	8 metros
Ancho de Berma =	$W =$	4 – 10 metros
Ángulo de Talud Interrampa =	$\alpha_r =$	43 a 29 grados

### 13. Estabilidad estructuralmente controlada

Las discontinuidades estructurales constituyen planos de debilidad que al interceptarse podrían formar cuñas o bloques rocosos en la corona y/o hastiales de la excavación realizada, pudiendo presentar libertad para deslizarse, rotar o descolgarse. Es por ello que la estabilidad de las excavaciones estará condicionada por la presencia de estas cuñas o bloques

Con el fin de analizar las condiciones de estabilidad de las cuñas generadas por los sistemas principales de discontinuidades mapeadas se utilizó el programa Swedge de Rocscience Inc., para ello se ha considerado las secciones típicas de diseño.

#### 13.1. Modelo de análisis de estabilidad

Se ha considerado la orientación y talud de los bancos diseñados, así como las principales familias de discontinuidades formadas. Siendo las siguientes.

*Cuadro N°9.- Parámetros del criterio de clasificación*

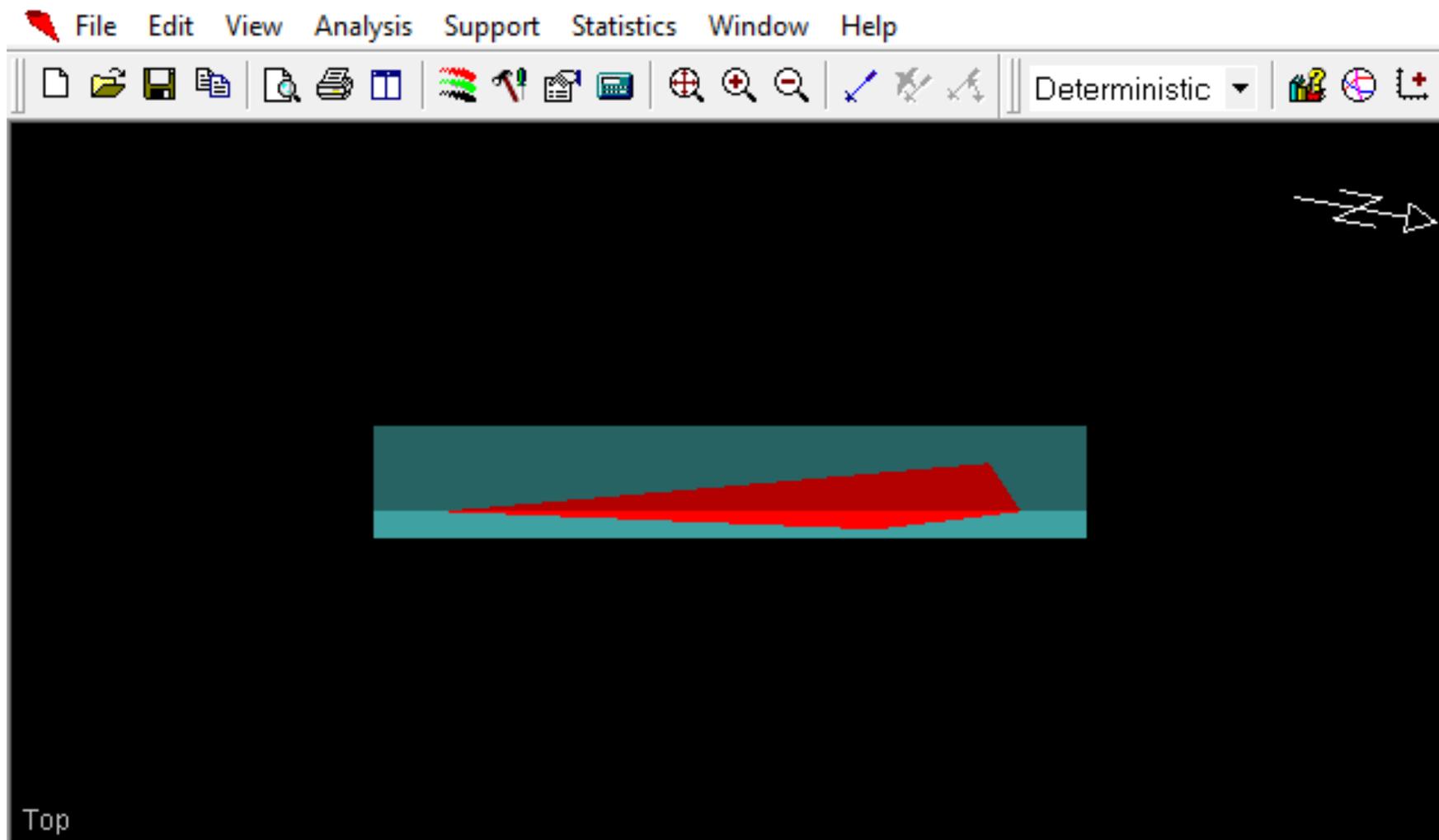
Zona - tajo	Tipo de falla	Dip	Dip.Dir.	Altura (m)	Familias de discontinuidades		
Sur-este	Cuña	60°	80°	8	27°/136	63°/32°	50°/75°
Norte	Cuña	60°	88°	8	34°/122°	72°/78°	77°/130°
Oeste	Cuña	60°	116°	8	75°/285°	75°/142°	77°/190°

Fuente: Elaboración Propia

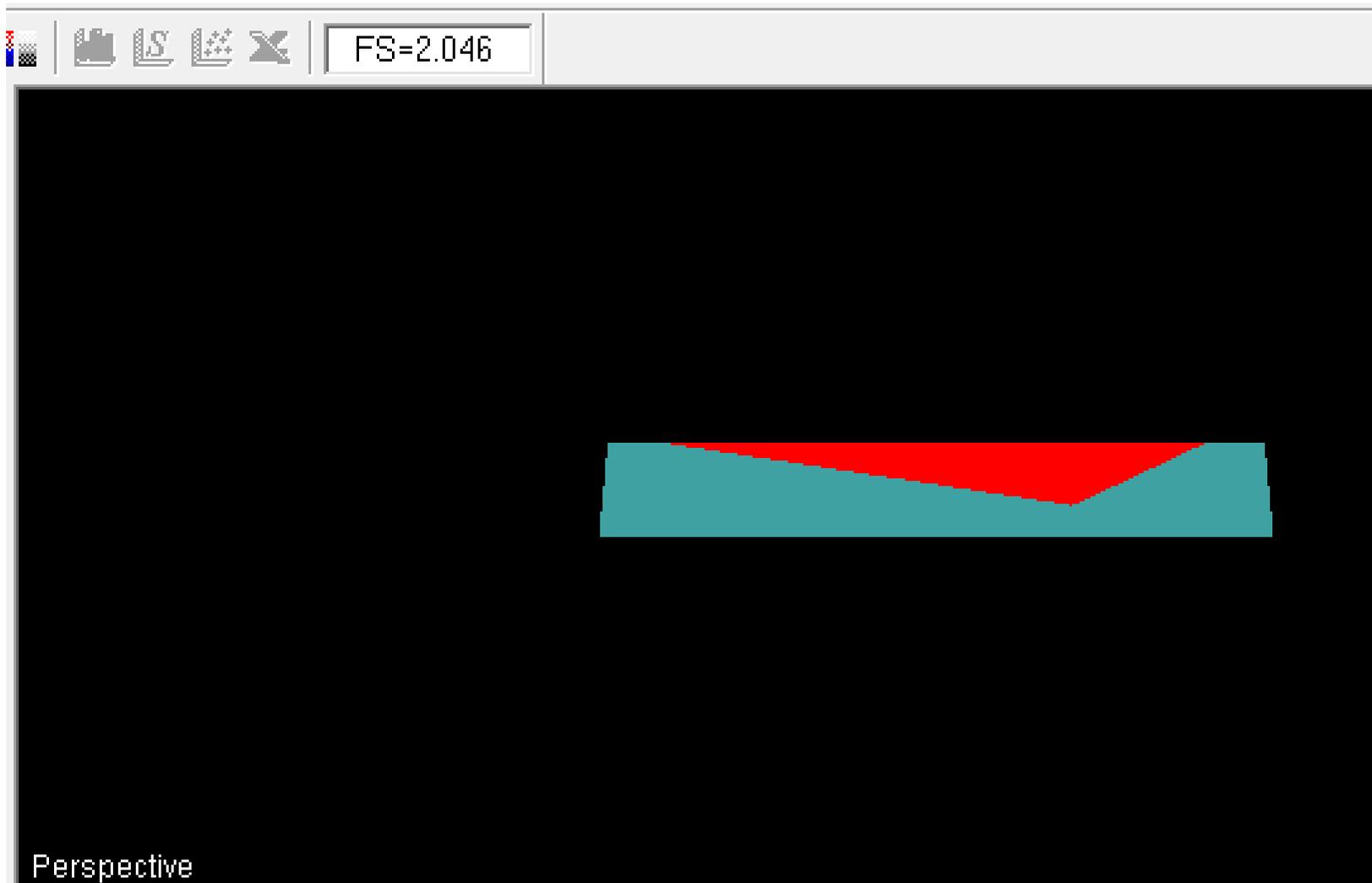
El modelo de análisis para las labores diseñadas se ha realizado considerando condiciones estáticas, pseudoestáticas, saturación y del tipo de roca, en todos los casos se ha determinado el factor de seguridad obtenido

#### Análisis de la zona sur –Este (DE-001)

*Figura N°16.- Modelo de análisis de estabilidad estático – zona sur-Este*



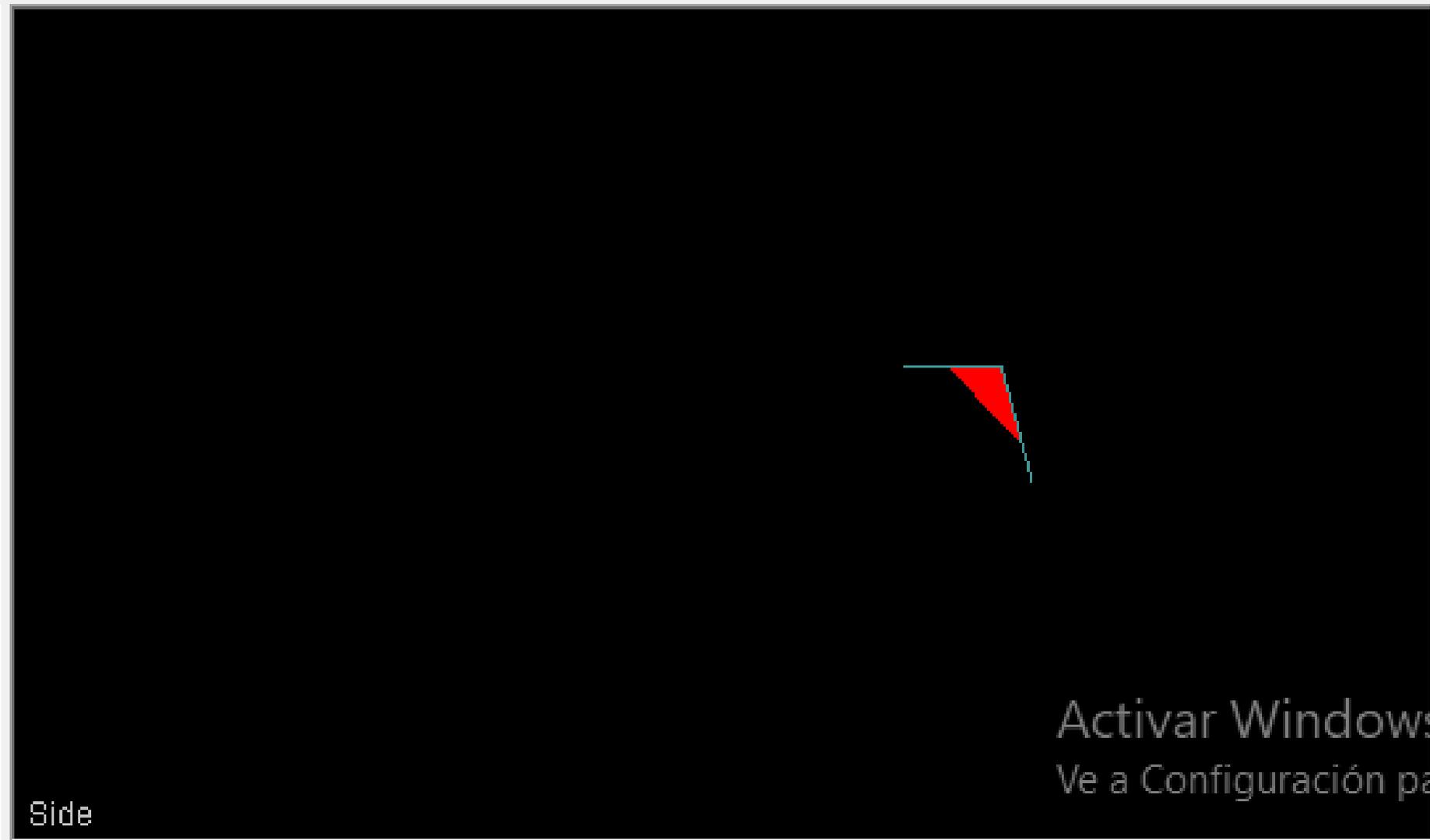
Fuente: Elaboración Propia



Fuente: Elaboración Propia

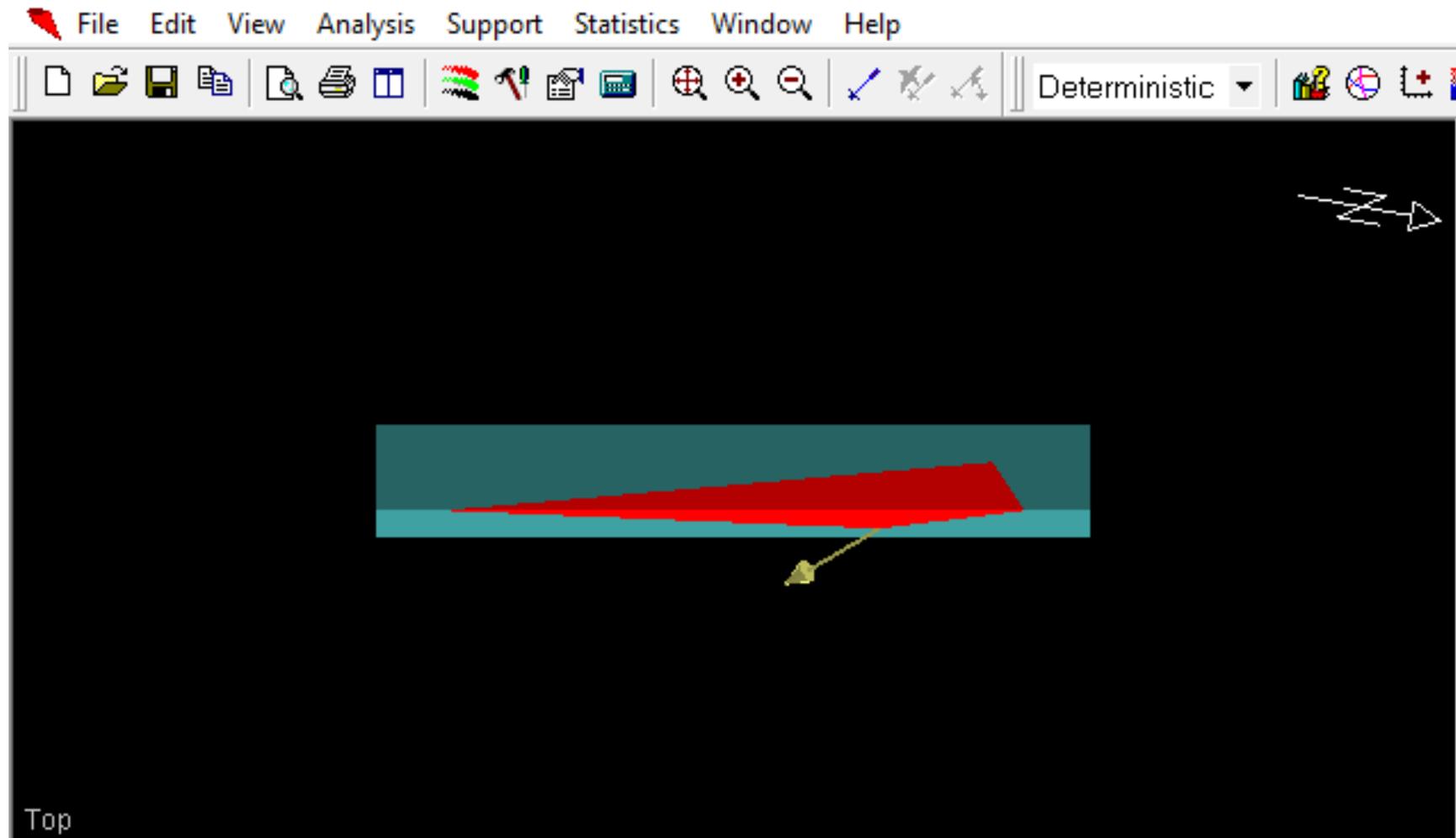


Fuente: Elaboración Propia

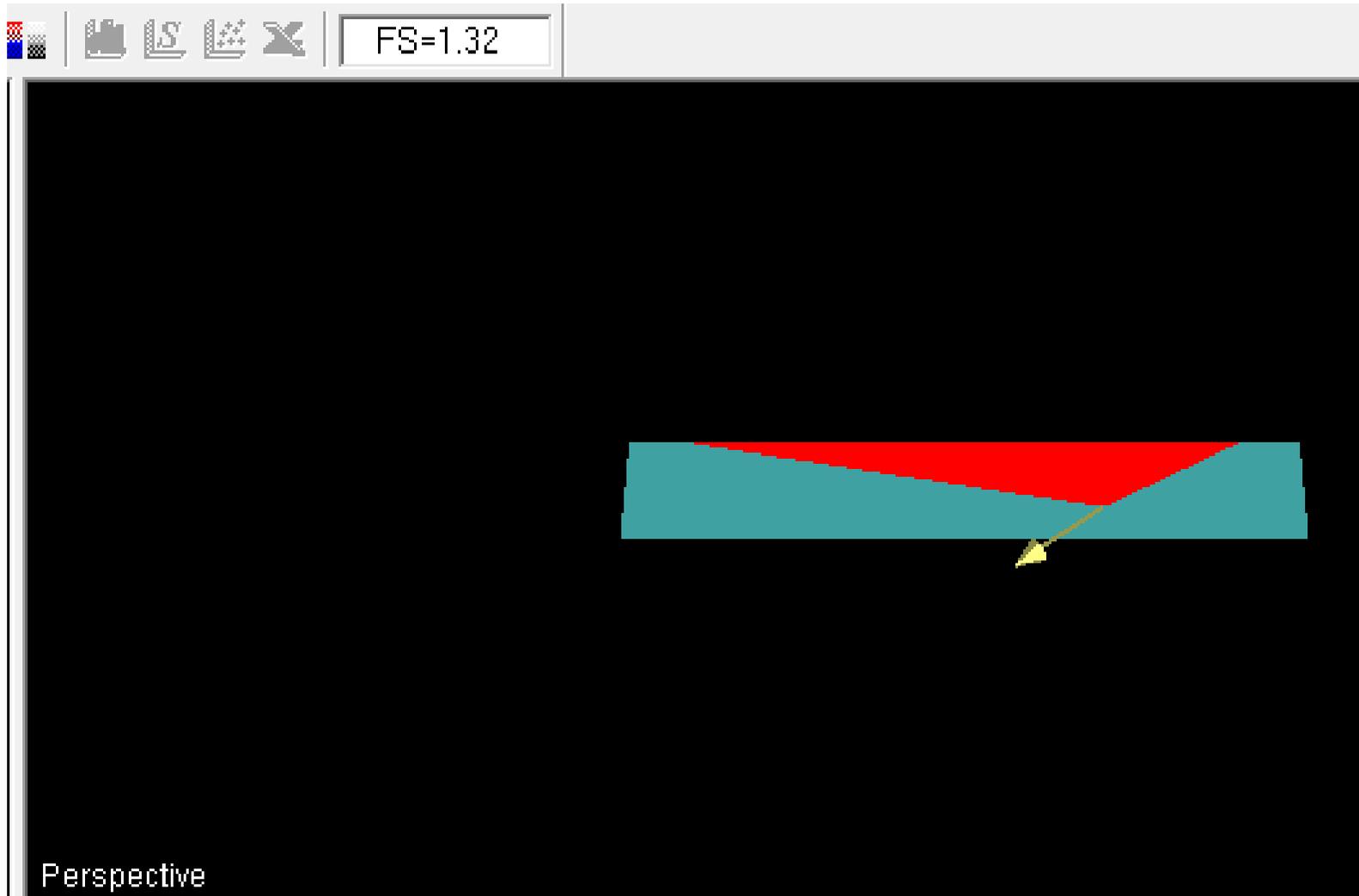


Fuente: Elaboración Propia

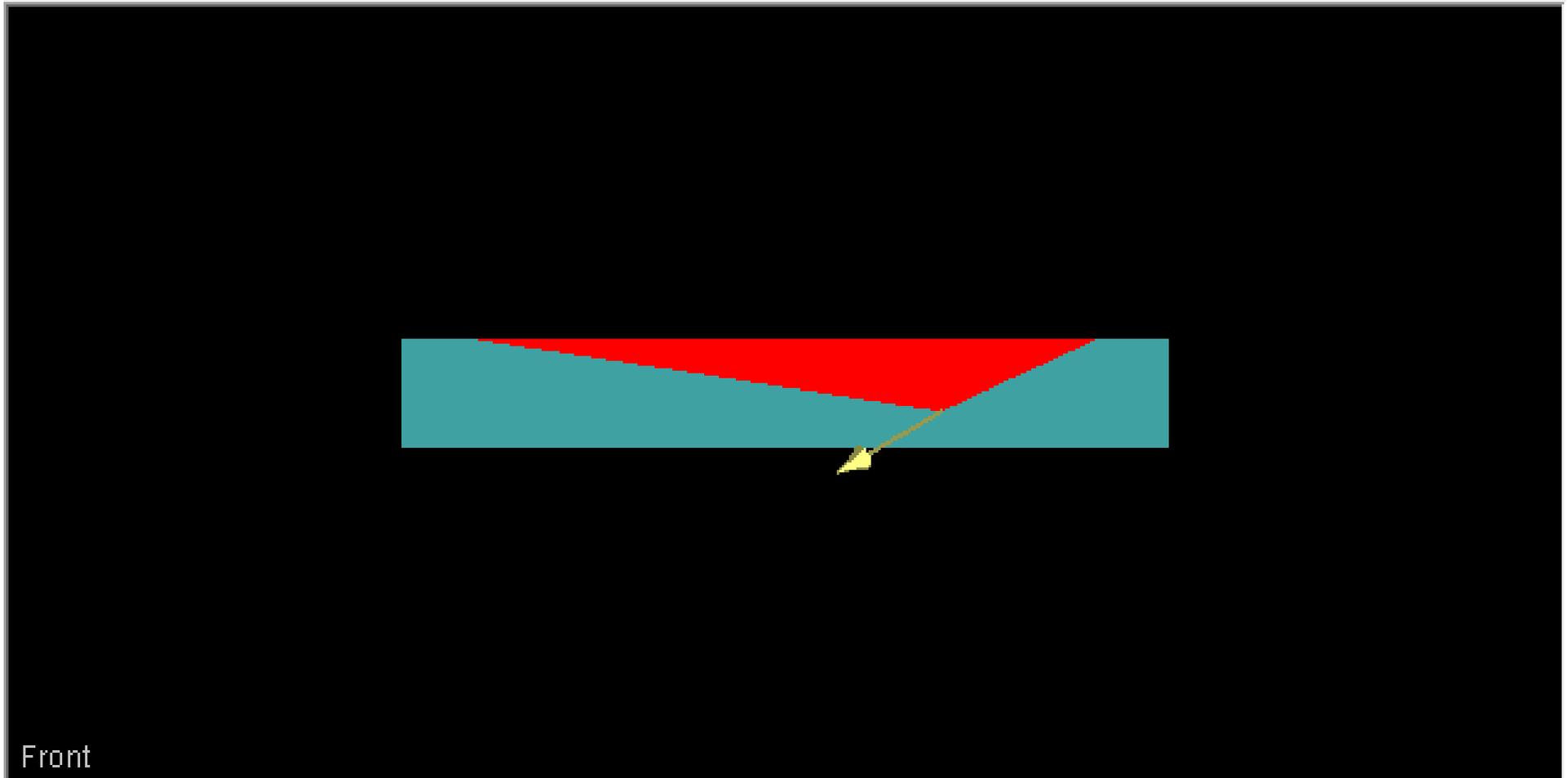
*Figura N°17.- Modelo de análisis de estabilidad pseudoestático – zona sur-Este*



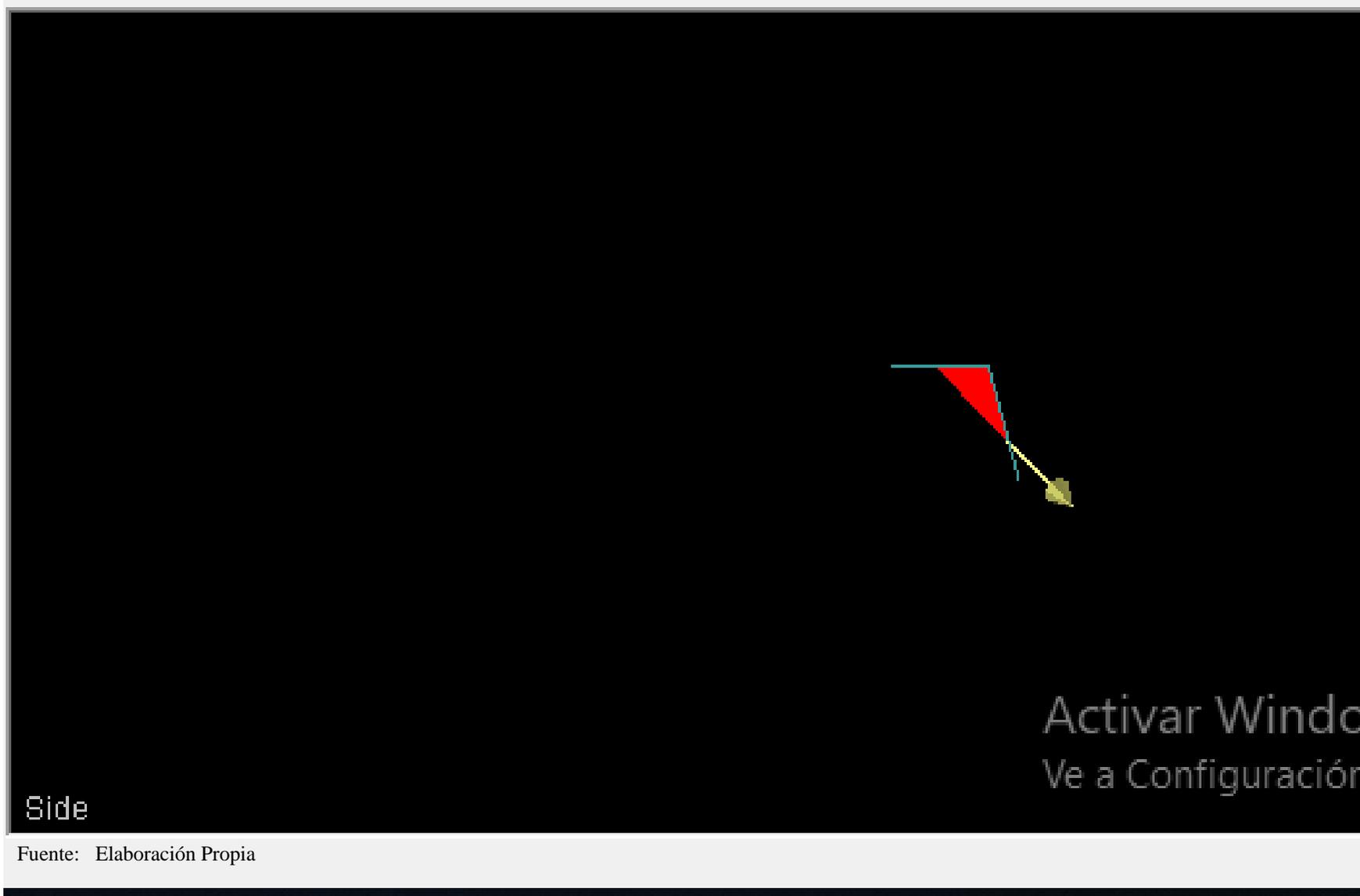
Fuente: Elaboración Propia



Fuente: Elaboración Propia

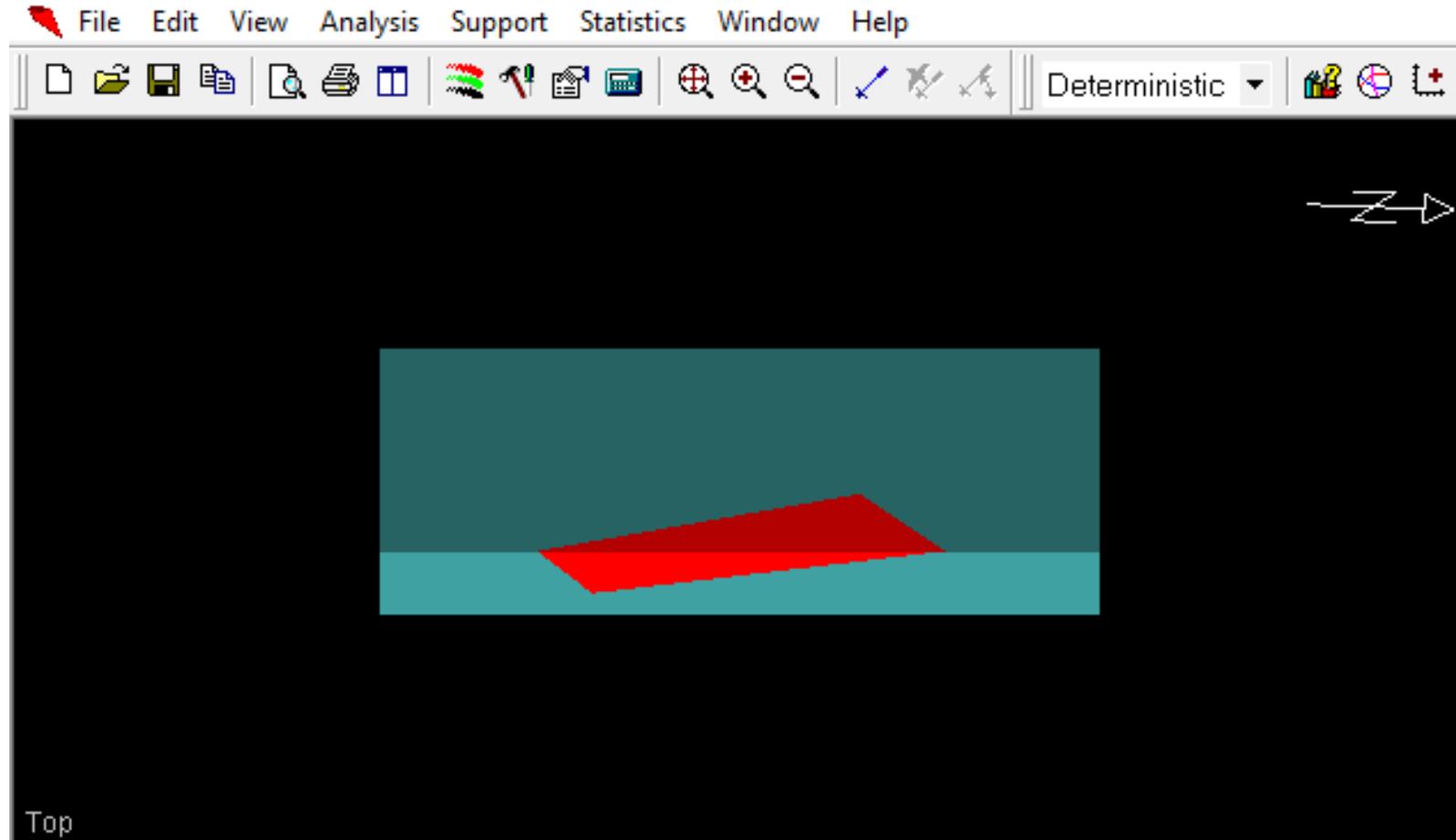


Fuente: Elaboración Propia

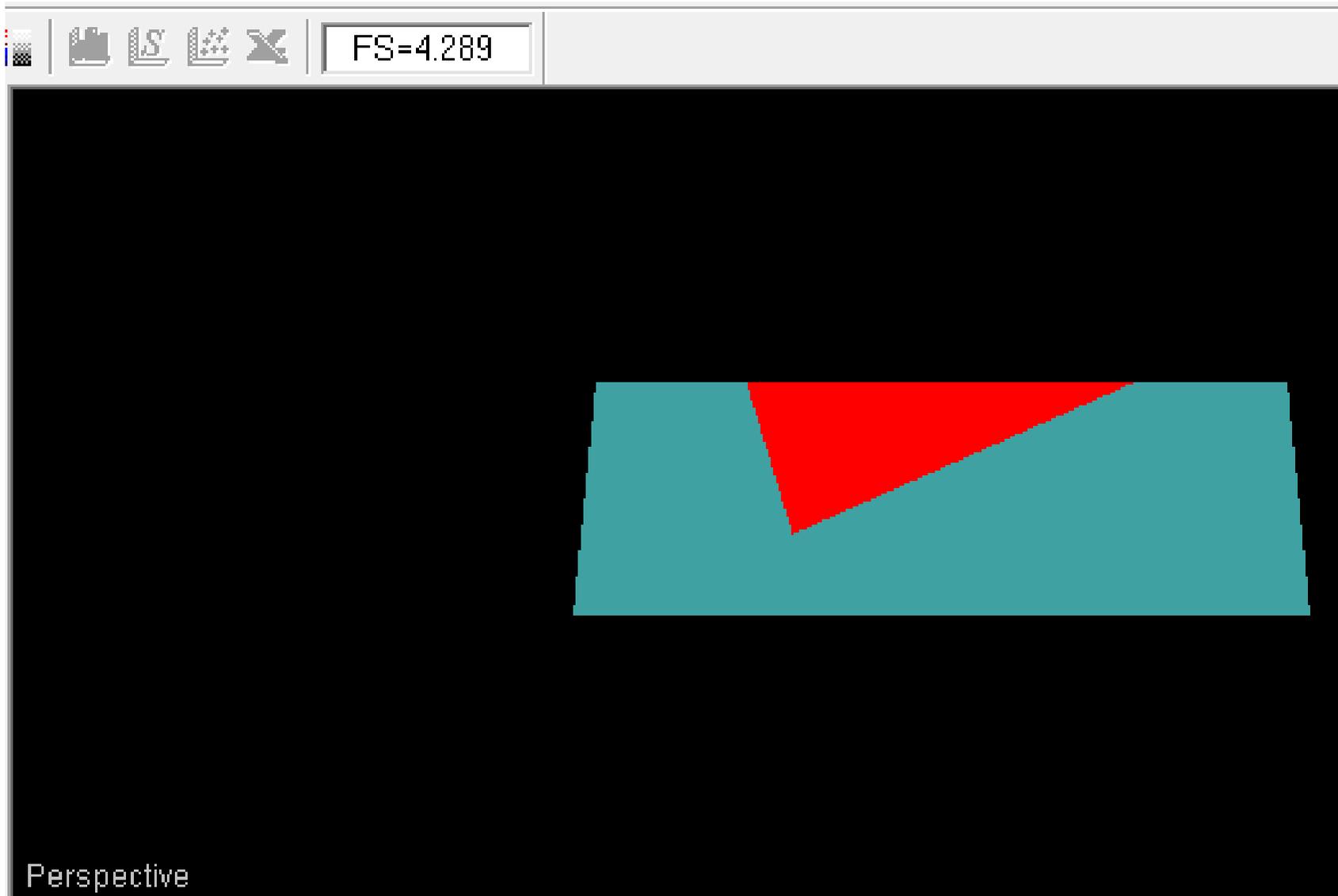


**Análisis de la zona Norte (DE-002)**

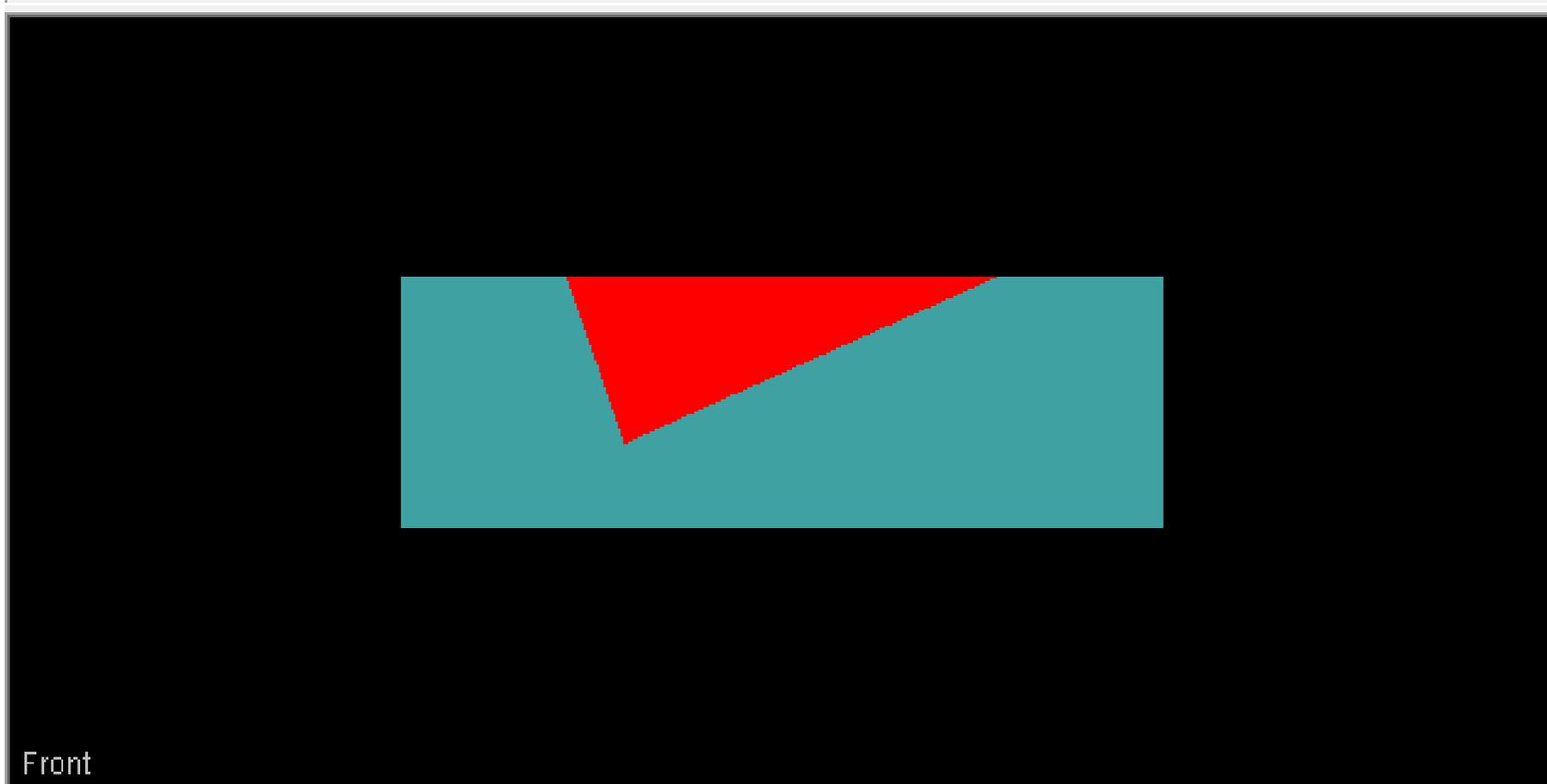
*Figura N°18.- Modelo de análisis de estabilidad estático – zona Norte*



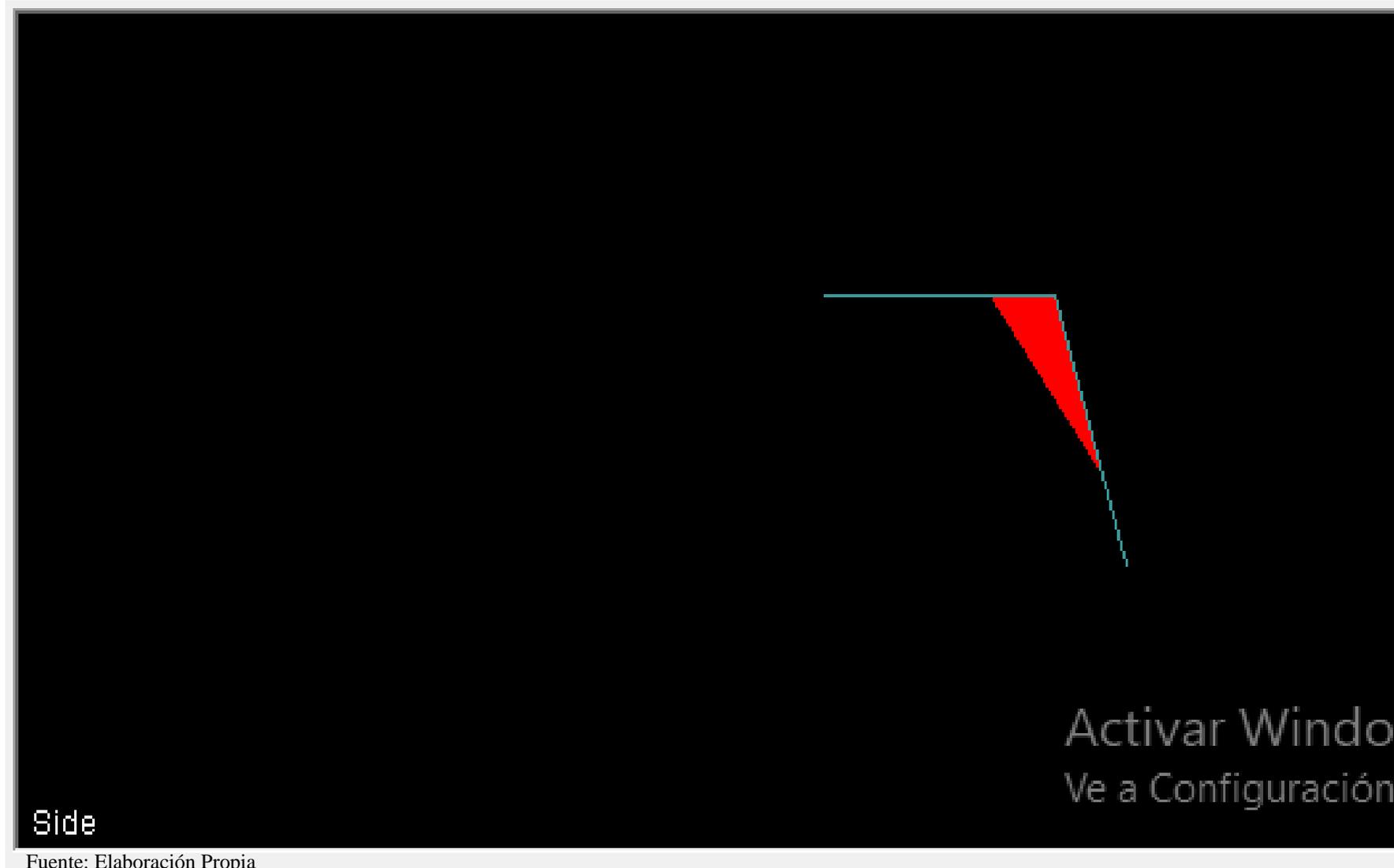
Fuente: Elaboración Propia



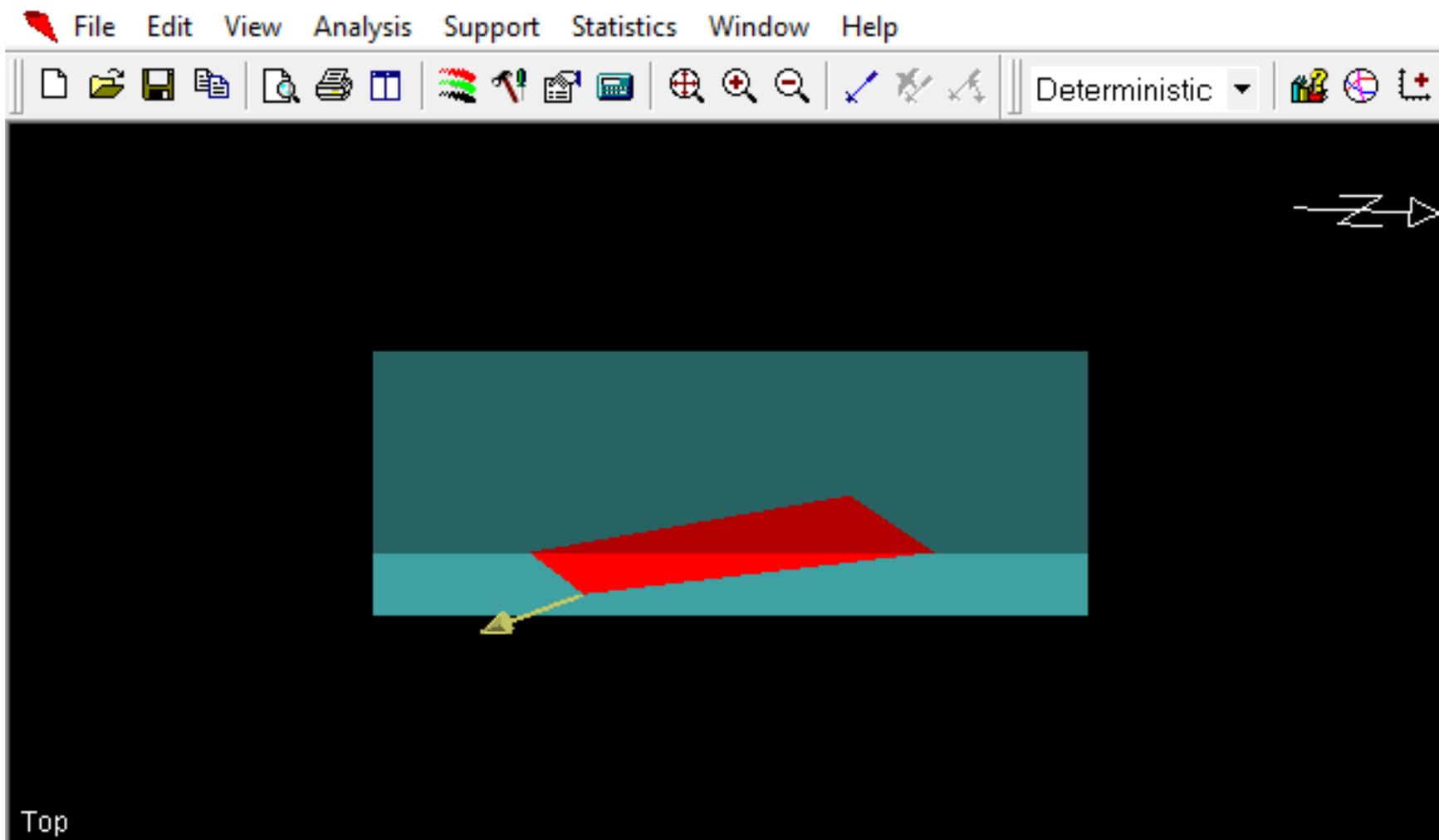
Fuente: Elaboración Propia



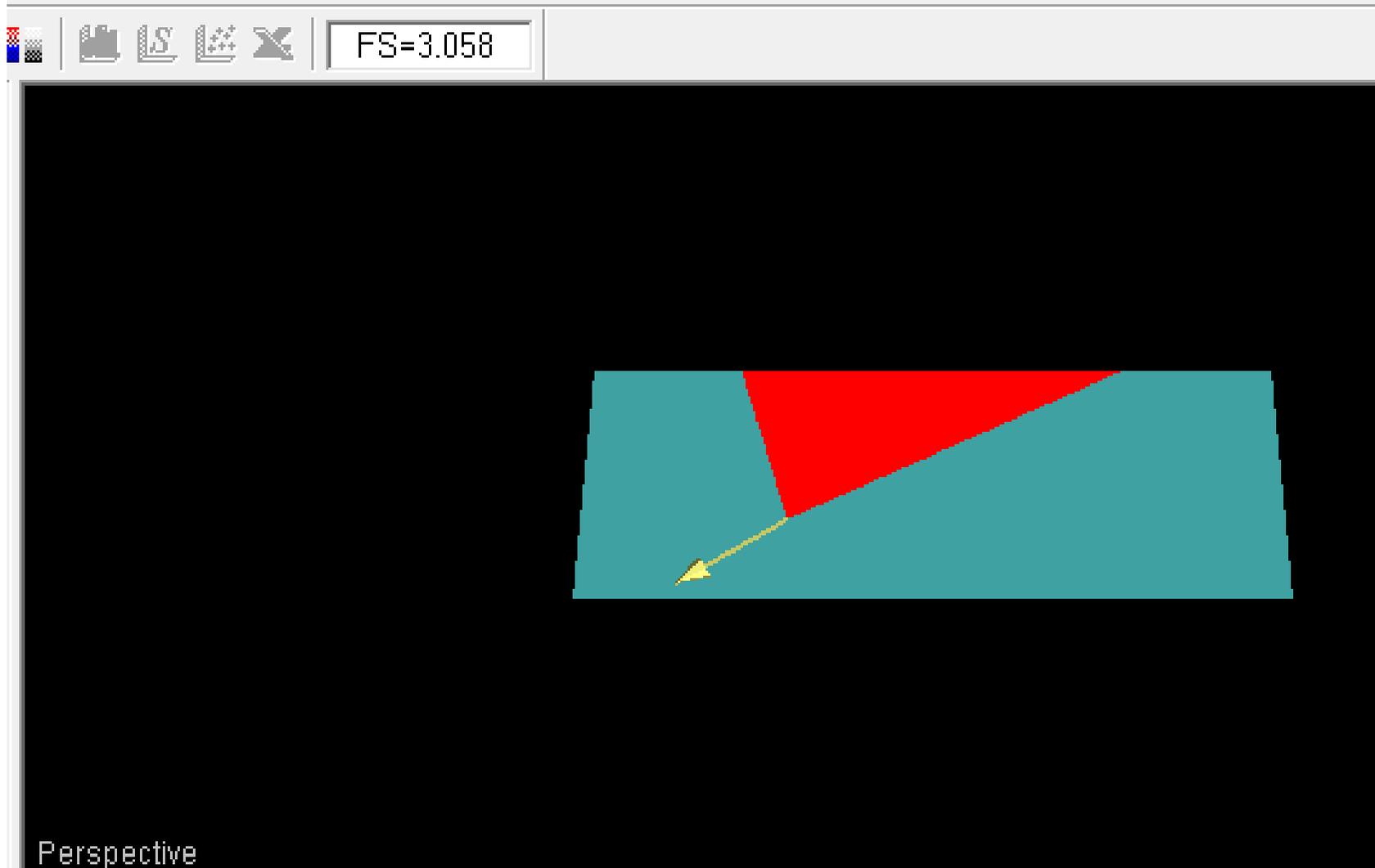
Fuente: Elaboración Propia



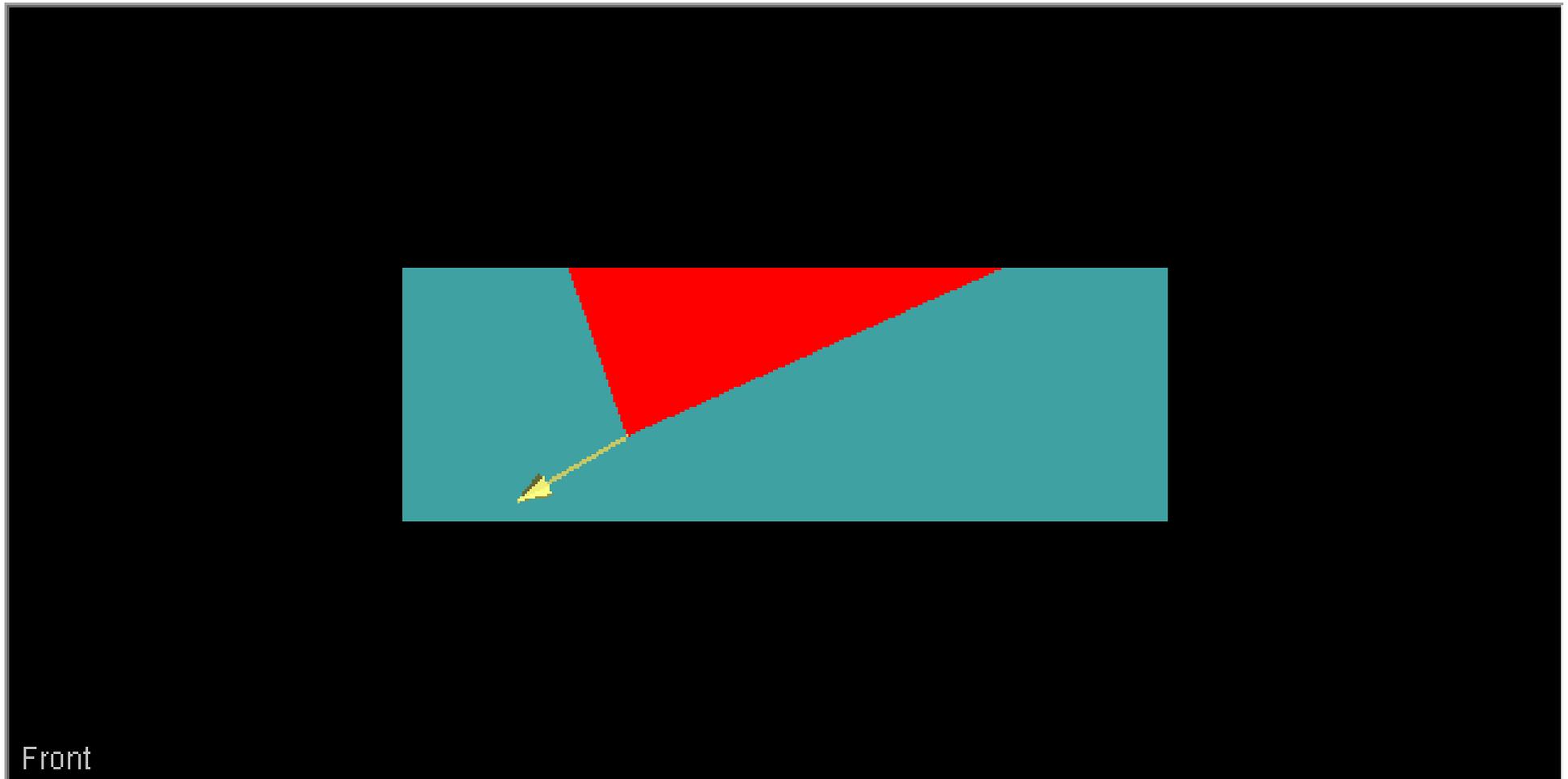
*Figura N°19.- Modelo de análisis de estabilidad pseudoestático – zona Norte*



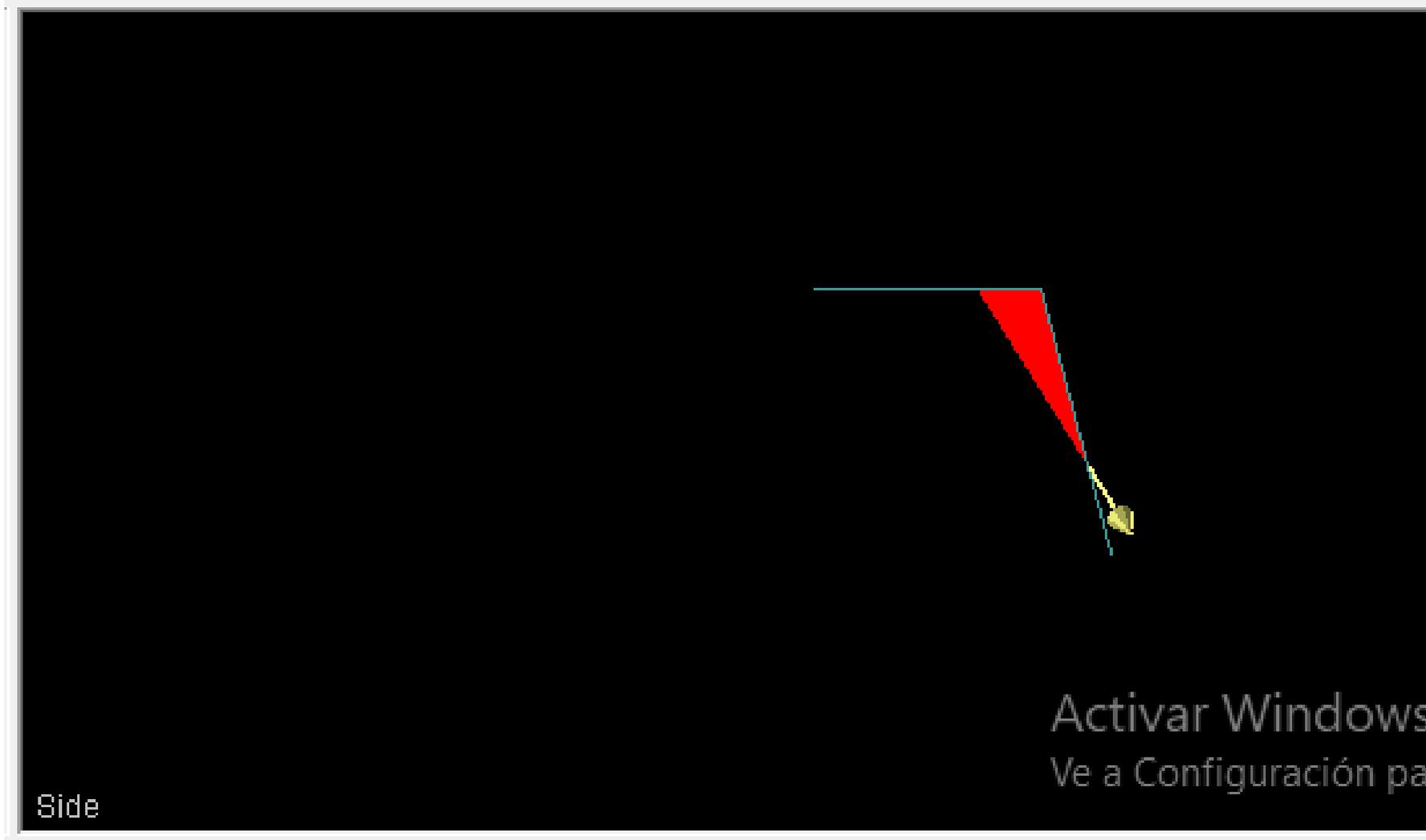
Fuente: Elaboración Propia



Fuente: Elaboración Propia



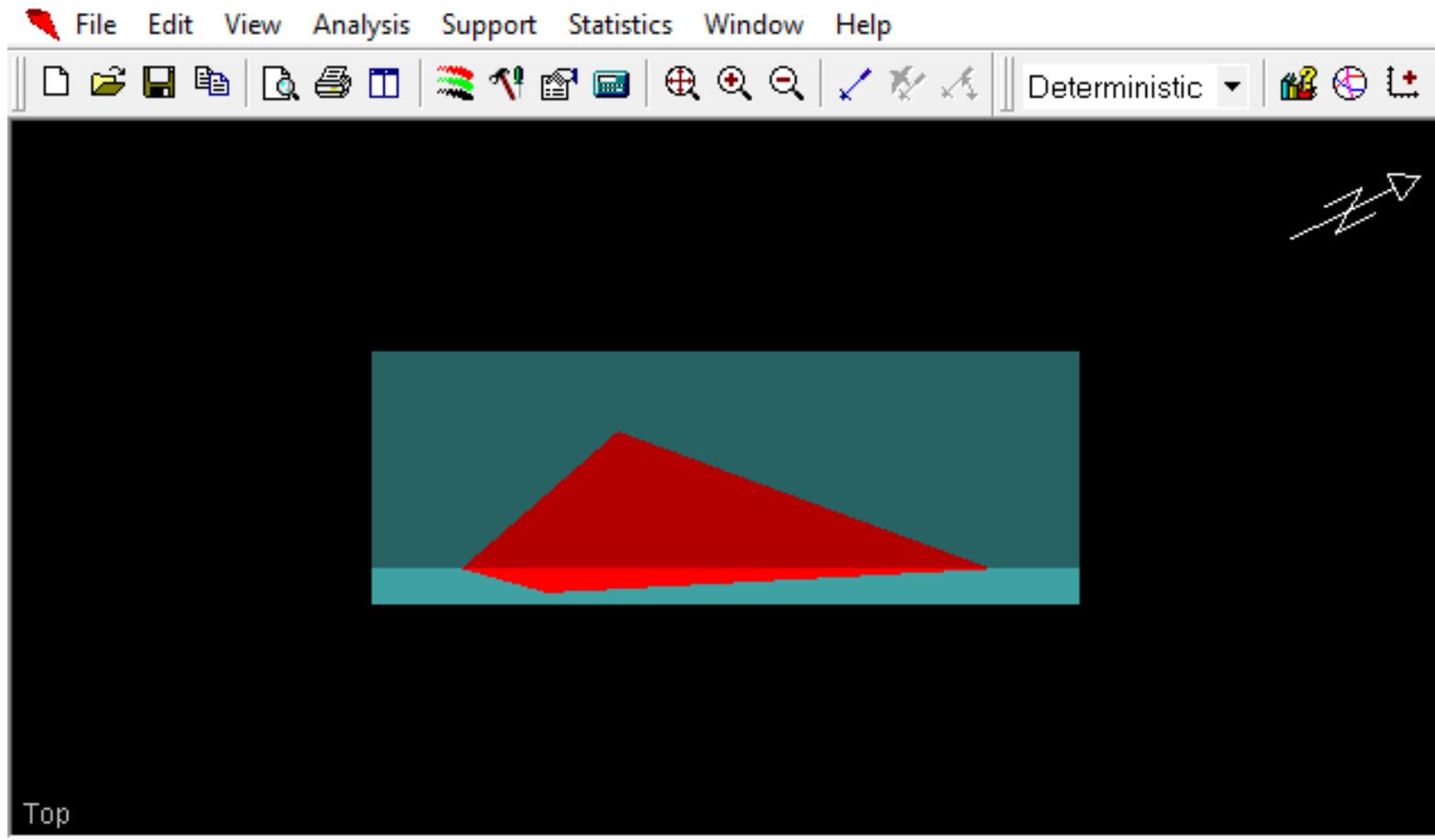
Fuente: Elaboración Propia



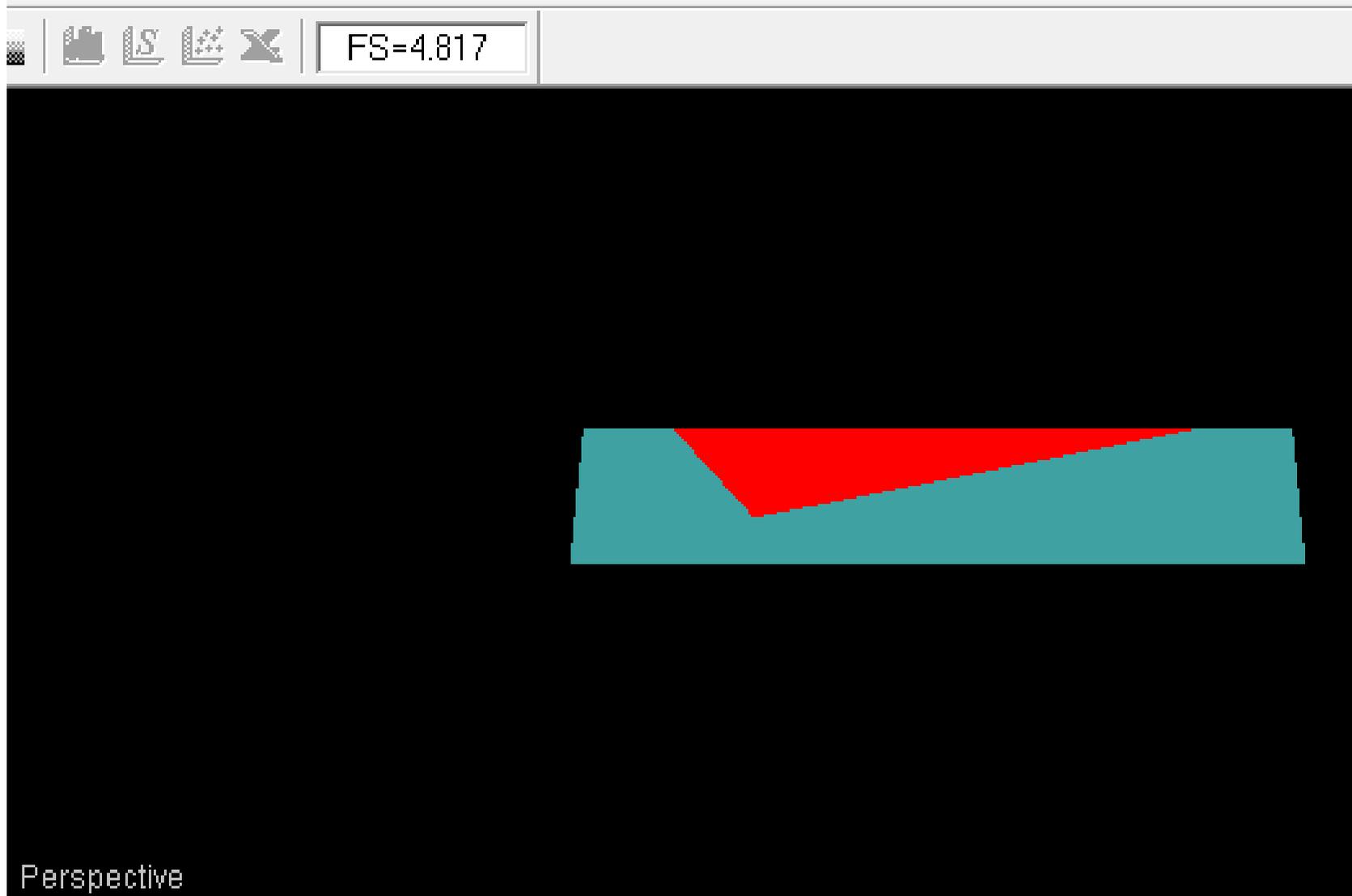
Fuente: Elaboración Propia

**Análisis de la zona Oeste (DE-003)**

*Figura N°20.- Modelo de análisis de estabilidad estático – zona Oeste*



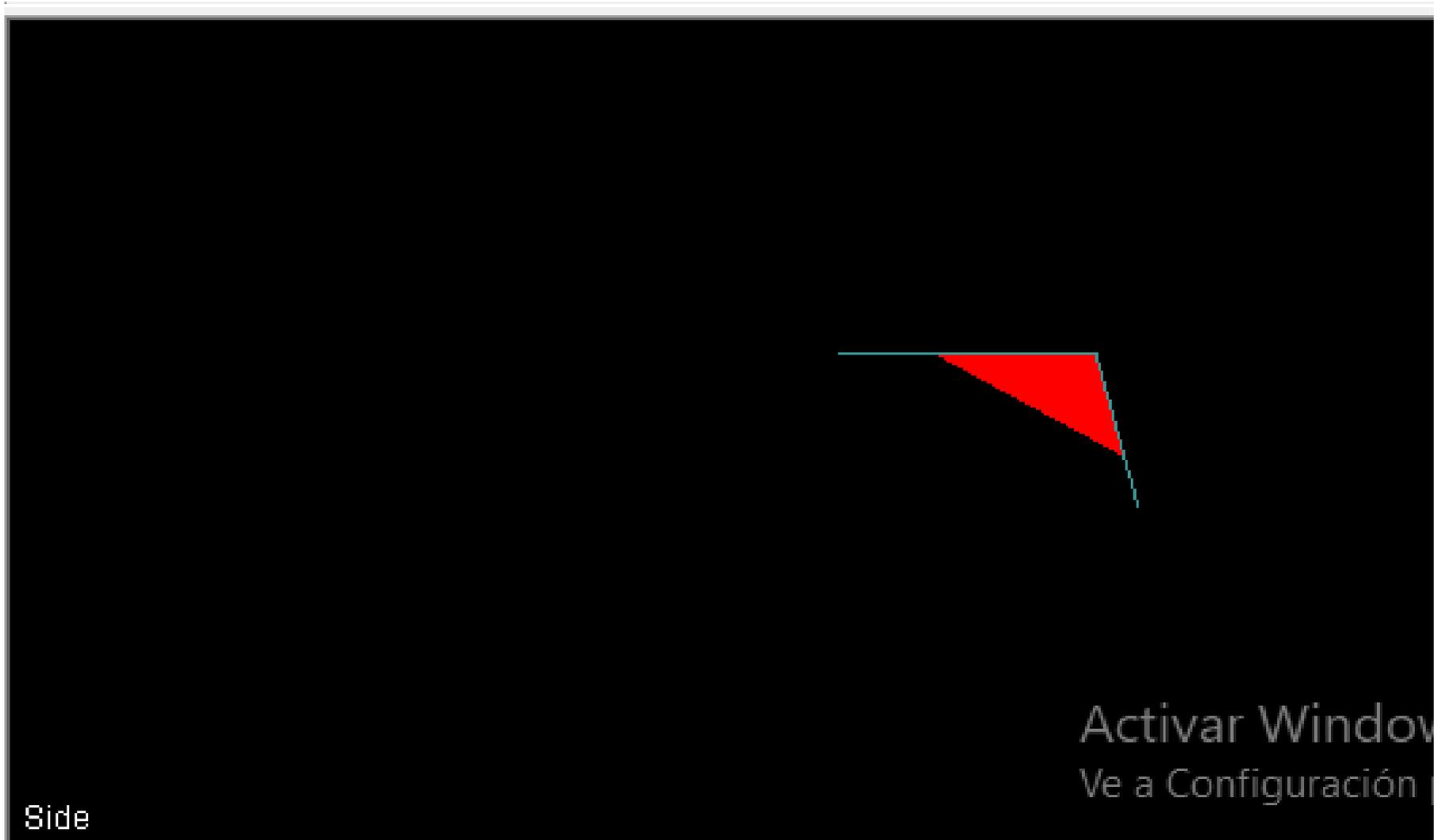
Fuente: Elaboración Propia



Fuente: Elaboración Propia

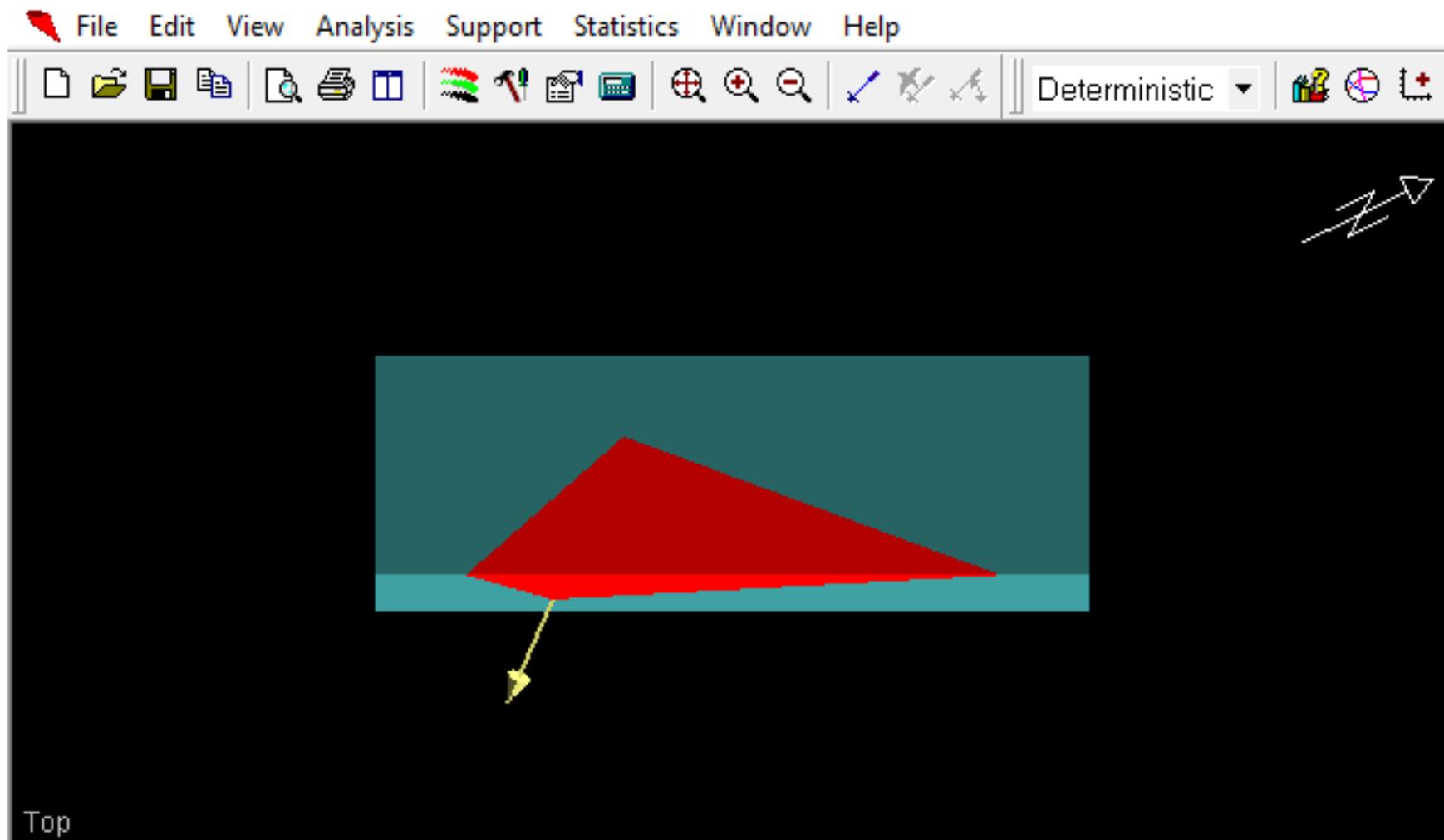


Fuente: Elaboración Propia

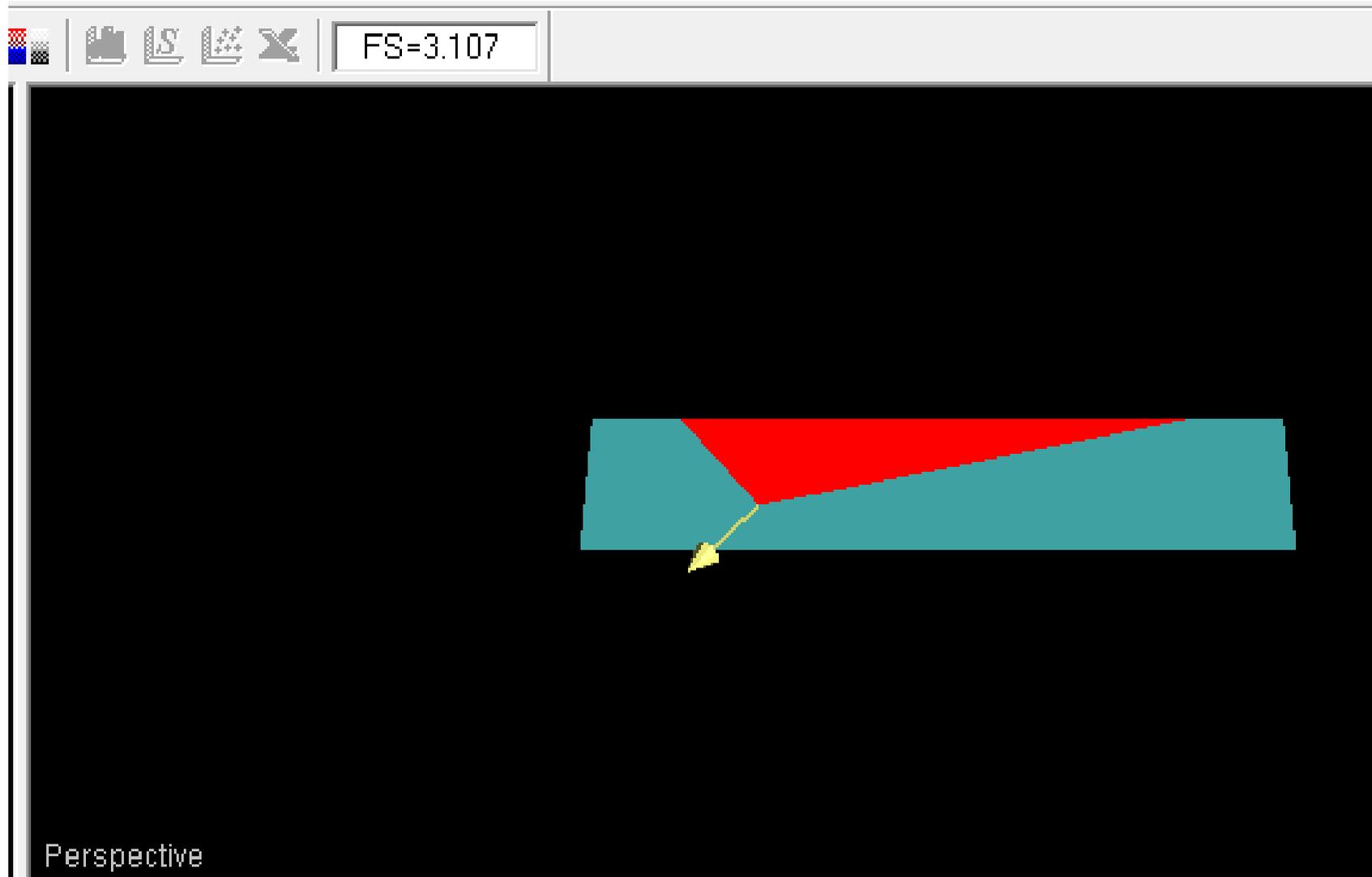


Fuente: Elaboración Propia

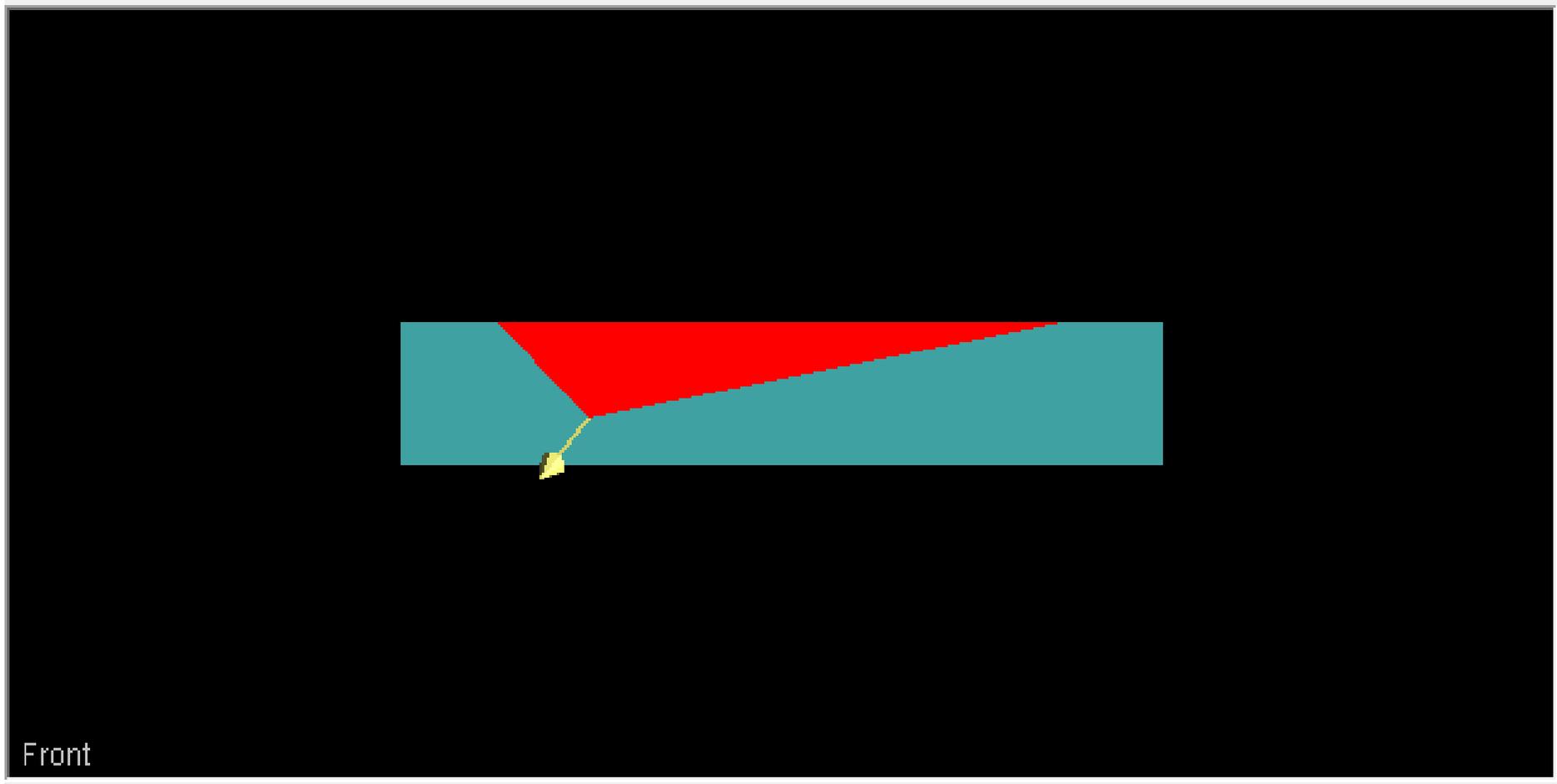
*Figura N°21.- Modelo de análisis de estabilidad estático – zona Oeste*



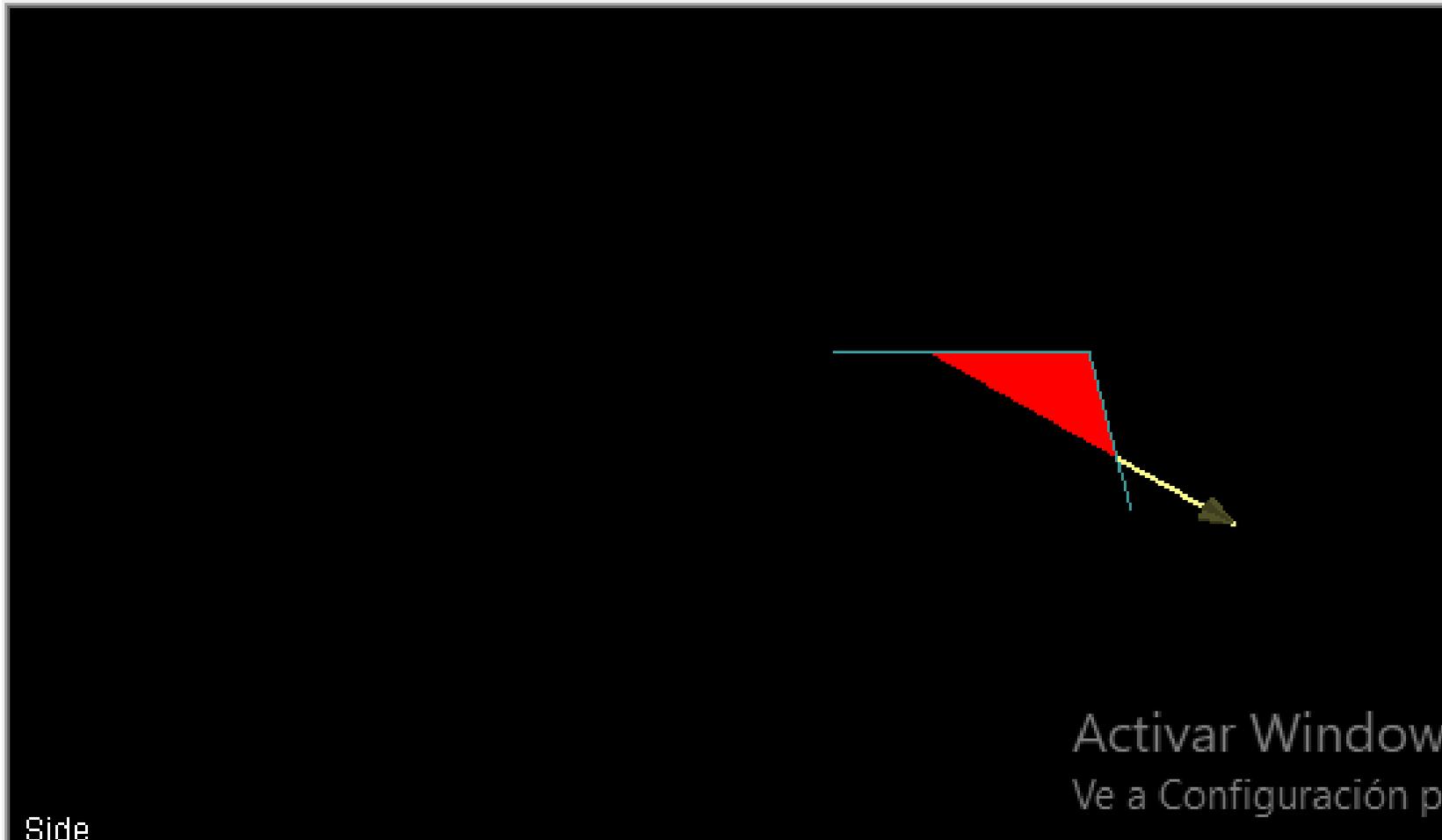
Fuente: Elaboración Propia



Fuente: Elaboración Propia



Fuente: Elaboración Propia



Fuente: Elaboración Propia

En todos los casos se observa la formación de cuñas locales las cuales en su totalidad se presentan estables. En el siguiente cuadro se presenta el reporte de estabilidad para las cuñas formadas en condiciones estáticas – secas y pseudoestáticas saturadas.

**Cuadro N°10.- Factores de seguridad para análisis de estabilidad - cuñas**

Zona - tajo	Tipo de falla	Estructura	Condiciones de análisis	
			Estático	Seudoestático
Zona Sur-Este	Cuña	DE-001	2.046	1.320
Zona Norte	Cuña	DE-002	4.269	3.058
Zona Oeste	Cuña	DE-003	4.817	3.107

Fuente: Elaboración Propia

#### 14. Análisis de Estabilidad

Para asegurar que el tajo cumple con los estándares nacionales se realizaron varios análisis de estabilidad, tomándose para ello la sección considerada como la más desfavorable, desde el punto de vista topográfico (sección crítica de diseño), habiéndose determinado factores de seguridad (FS) iguales o mayores a 1.5 para condiciones estáticas y 1.0 para condiciones pseudoestáticas.

Dado que el valor recomendado para un coeficiente adecuado pseudoestático varía aproximadamente de 1/2 a 2/3 veces el valor de la aceleración pico del terreno.

El análisis de estabilidad está basado en los resultados obtenidos de la investigación geotécnica realizados en campo y de ensayos de laboratorio de suelos practicados a muestras extraídas de la zona del proyecto.

Los parámetros de resistencia de los materiales empleados en el análisis de estabilidad se han obtenido de los resultados de la investigación geotécnica de campo desarrollada en el sector donde se ubica la cantera.

Los valores empleados en el análisis de estabilidad se muestran en el siguiente cuadro.

*Cuadro N°11.- Propiedades de los materiales empleados en la cantera*

Material	Cohesión(MPa)	Angulo de fricción (°)	Peso Unitario (KN/m3)
Limo-arcillita	0.107	26.07	23.93
Basamento rocoso	0.107	27.04	26.03

Fuente: Laboratorio de mecánica de rocas de la UNI

#### **14.1. Método de Cálculo**

##### Métodos 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. Suponen que la resistencia al corte se moviliza total y simultáneamente a lo largo de la superficie de corte.

Métodos exactos: La aplicación de las leyes de la estática proporciona una solución exacta del problema con la única salvedad de las simplificaciones propias de todos los métodos de equilibrio límite, esto solo es posible en casos de geometría sencilla, como modos de falla planar o en cuña.

Métodos no exactos: En la mayor parte de los casos la geometría de la superficie de rotura no permite obtener una solución exacta del problema mediante la única aplicación de las ecuaciones de la estática. El problema es hiperestático y ha de hacerse alguna simplificación o hipótesis previa que permita su resolución.

Se puede distinguir aquí entre los métodos que consideran el equilibrio global de la masa deslizando prácticamente en desuso y los métodos de dovelas que consideran a la masa deslizando dividida en una serie de fajas verticales.

Los métodos de dovelas consideran al problema bidimensional por lo que la estabilidad del talud se analiza en una sección transversal del mismo, la zona del terreno potencialmente deslizando se divide en una serie de fajas verticales estudiándose el equilibrio de cada una de las dovelas.

La gran utilización que tiene actualmente del método de dovelas se debe a que se pueden aplicar a una gran generalidad de problemas con un grado razonable de exactitud en la gran mayoría de casos, permite considerar la acción de presiones intersticiales, la existencia de cargas externas actuando sobre el talud, la existencia de materiales de diferentes características y en muchos casos son aplicables a superficie de rotura de cualquier forma.

## **15. Condiciones de análisis**

Sobre la base de las propiedades de los materiales y la configuración de los taludes de la sección de análisis, se ha llevado a cabo el análisis de estabilidad usando el programa de computadora Slide versión 6.0 del paquete de Rocscience, el cual nos permite determinar los estados de equilibrio límite y tiene la capacidad de analizar cualquier tipo de falla que se le especifique mediante diferentes métodos de análisis; se ha empleado el método de Spencer debido a que considera fuerzas intercelas normales y cortantes que satisfacen tanto el equilibrio de fuerza como el equilibrio de momentos, consideraciones que no utilizan los métodos de Bishop y Janbu simplificados.

El análisis de estabilidad se ha realizado en base a esfuerzos efectivos para condiciones estáticas y para los cálculos de deformaciones simples se usó la condición pseudoestática

(sismo). Cuando se realizan análisis de estabilidad bajo condiciones pseudoestáticas, se considera que un factor de seguridad levemente superior a 1.0 es aceptable; sin embargo, factores de seguridad menores no representan, necesariamente, el colapso del talud que se analiza, sino que se producen deformaciones permanentes las cuales deben ser verificadas desde el punto de vista de tolerancia de las obras.

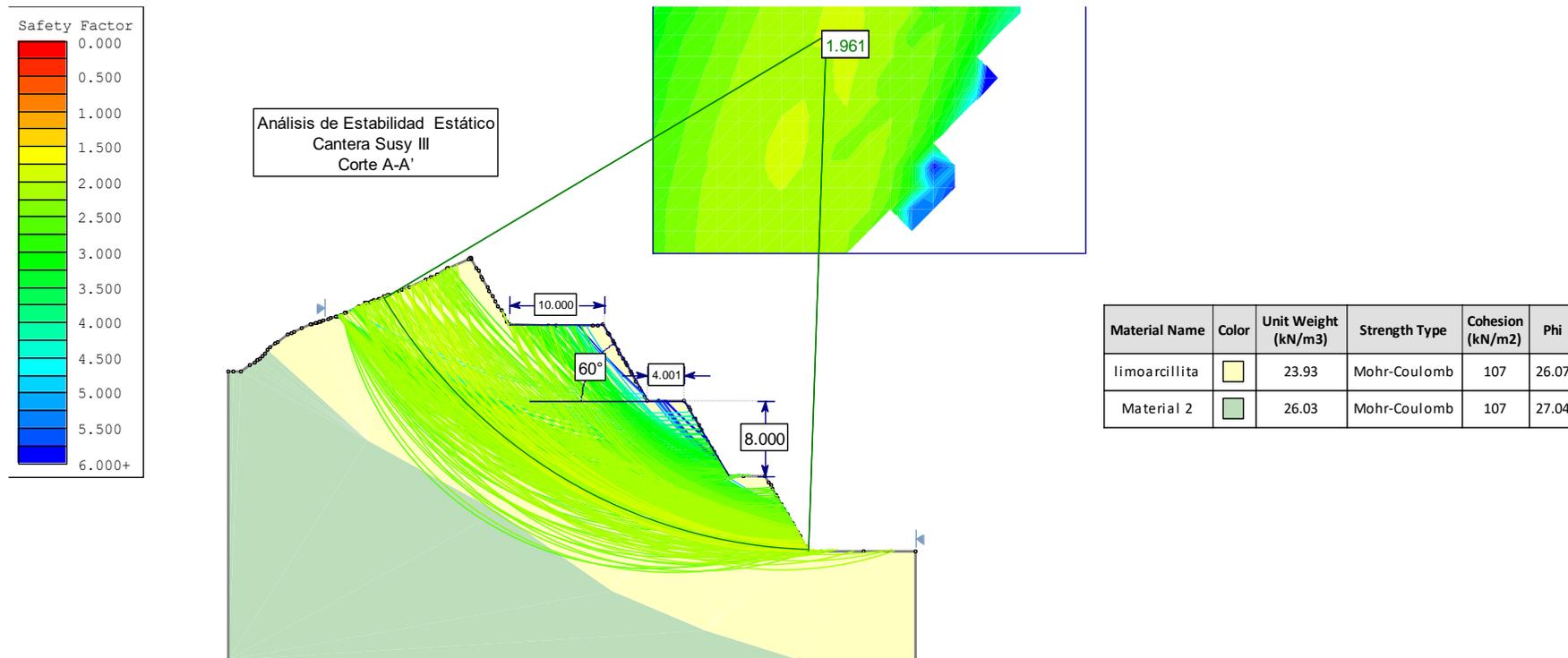
Es importante señalar que con frecuencia los análisis pseudoestáticos tienden a ser conservadores porque la fuerza sísmica horizontal aplicada a la superficie de falla es considerada como permanente y actuando en una sola dirección, cuando en realidad la carga dinámica debida a un sismo es pulsatoria por naturaleza y sólo actúa por un corto período de tiempo.

## **16. Análisis**

Los análisis para identificar las superficies de falla más críticas (factor de seguridad más bajo) se muestran en las siguientes imágenes:

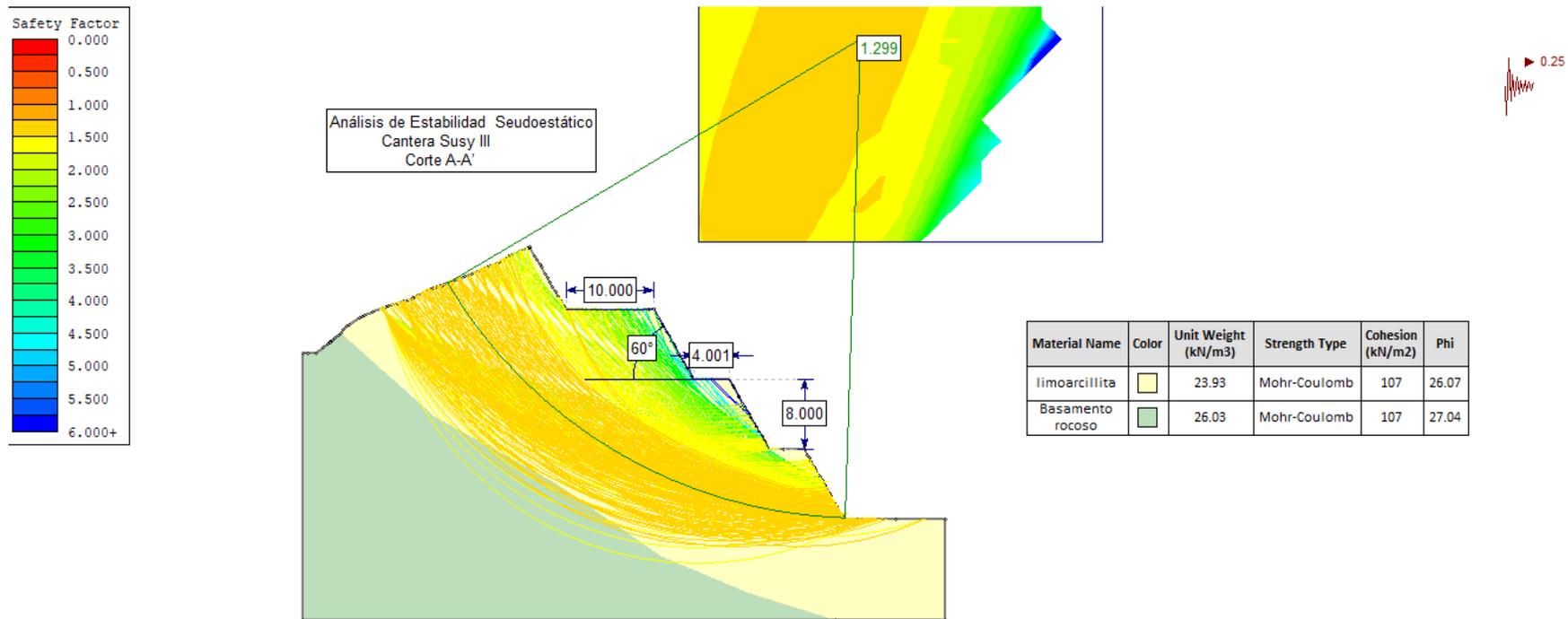
### Análisis de Estabilidad – Cantera Susy III– Corte A-A’

Figura N°22.- Análisis estático a largo plazo – Falla tipo rotacional – F.S. Global: 1.961



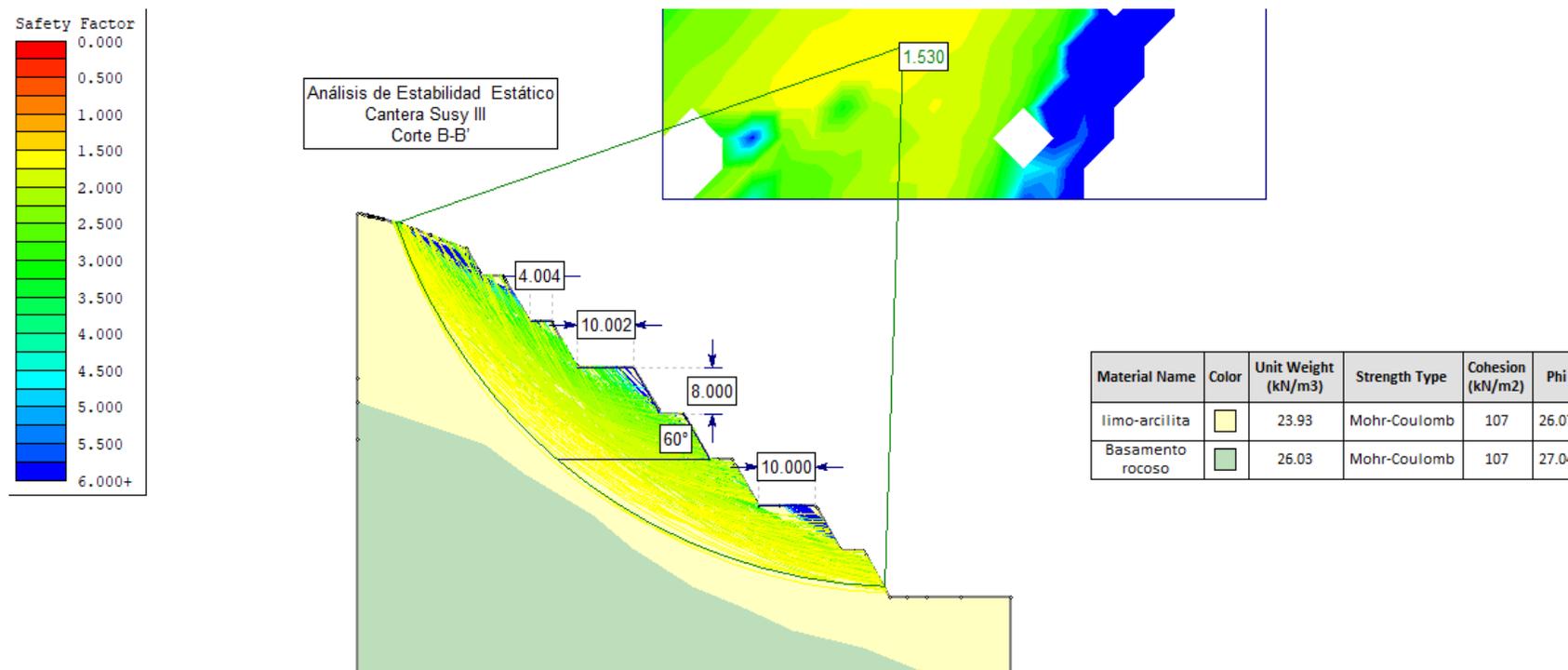
**Análisis de estabilidad Seudoestático - Cantera Susy III – Sección A-A’**

*Figura N°23.- Análisis seudoestático a largo plazo – Falla tipo rotacional – F.S. Global: 1.299*



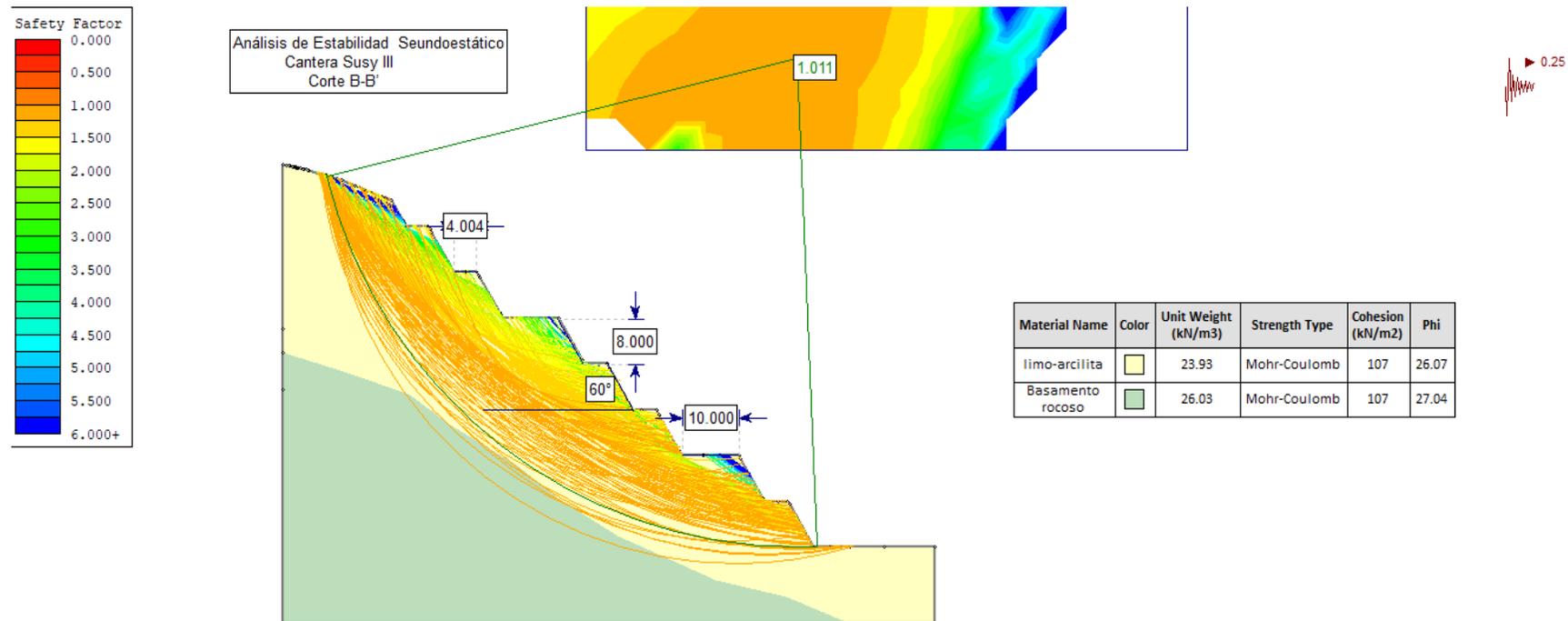
**Análisis de estabilidad - Cantera Susy III – B-B'**

*Figura N°24.- Análisis estático a largo plazo – Falla tipo rotacional – F.S. Global: 1.530*



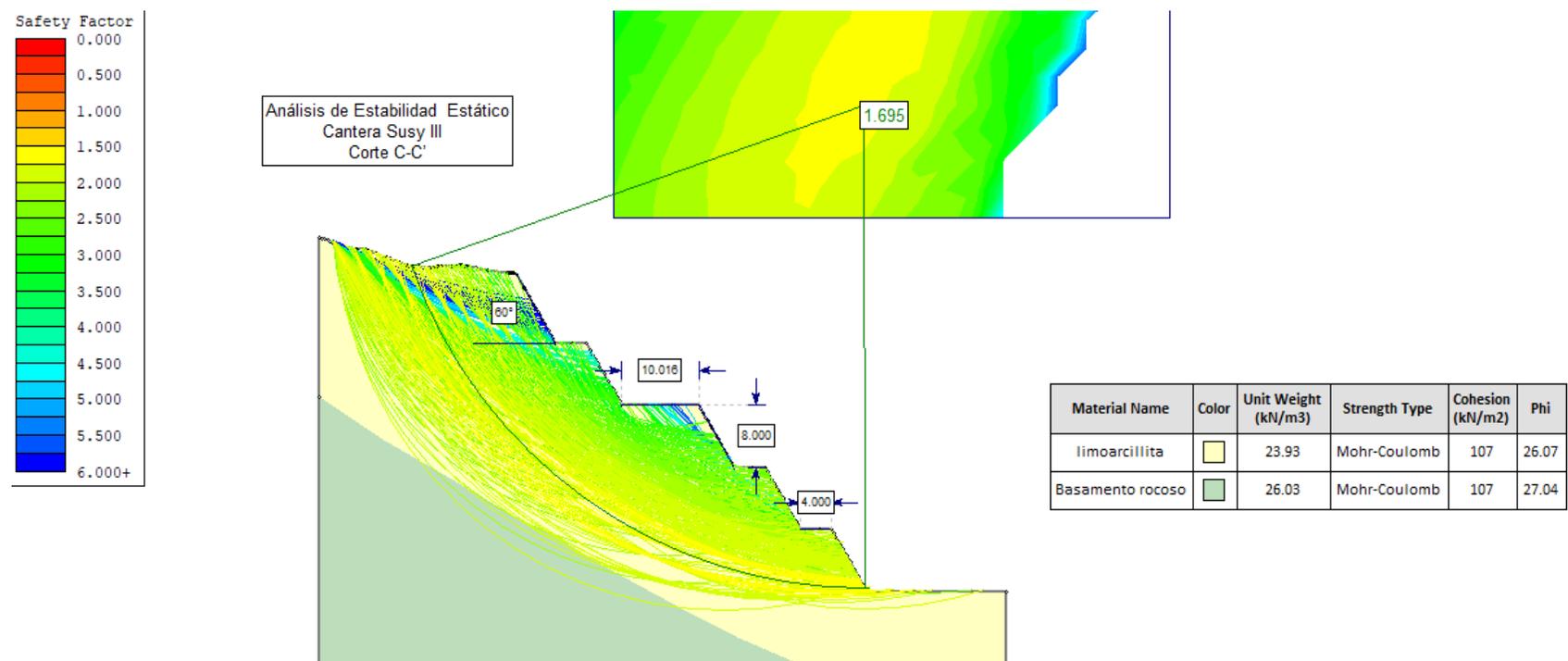
### Análisis de estabilidad - Cantera Susy III – Sección B-B'

Figura N°25.- Análisis seudoestático a largo plazo – Falla tipo rotacional – F.S. Global: 1.011



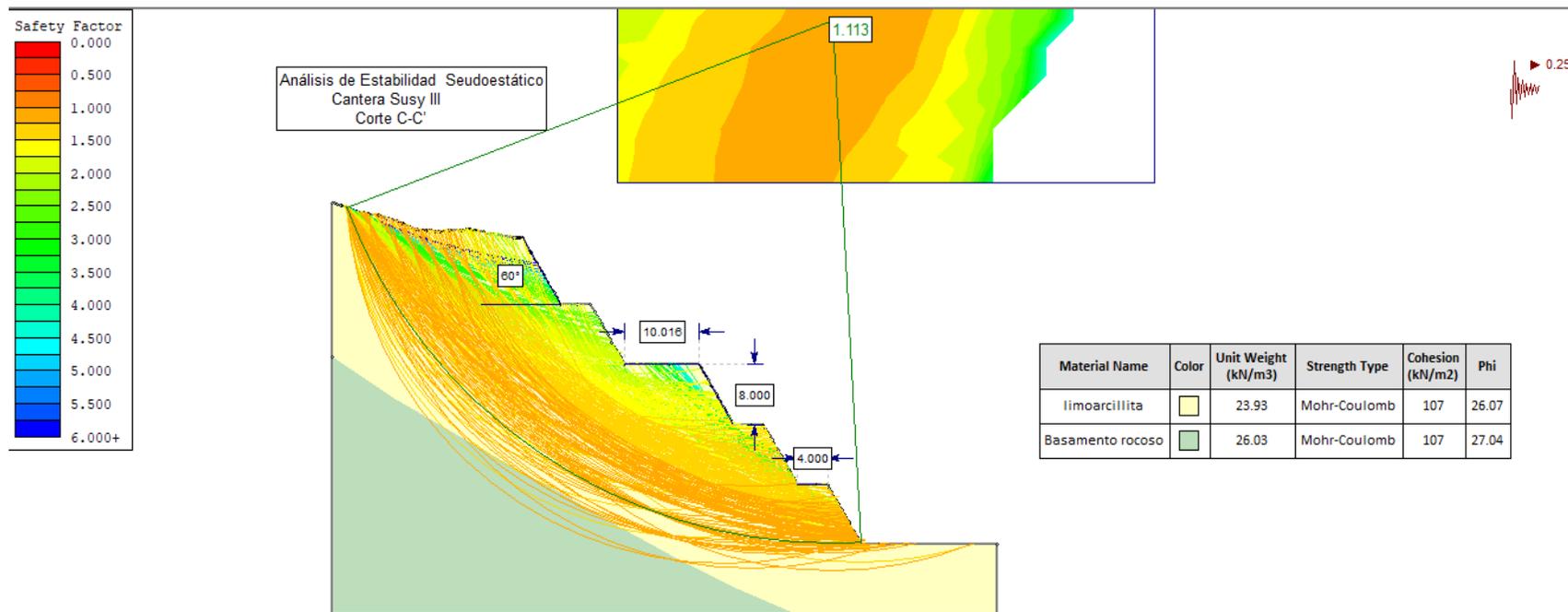
**Análisis de estabilidad - Cantera Susy III – C-C'**

*Figura N°26.- Análisis estático a largo plazo – Falla tipo rotacional – F.S. Global: 1.695*



**Análisis de estabilidad - Cantera Susy III – Sección C-C'**

*Figura N°27.- Análisis pseudoestático a largo plazo – Falla tipo rotacional – F.S. Global: 1.113*



## **CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES**

### **4.1 Discusión**

De los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación se puede establecer la siguiente discusión:

Durante el mapeo geomecánico y haciendo uso del programa DIPS, se ha analizado 3 tipos de discontinuidades estructurales las cuales poseen 3 familias cada una, estas indican la existencia de un tipo de falla por cuñas, generando una inestabilidad, teniendo una consideración limitante, el talud es óptimo desde el punto de vista de estabilidad cinemática, ya que se da al de banco un ángulo de  $60^\circ$ .

Sobre la base de las propiedades de los materiales y la configuración de los taludes de la sección de análisis, se ha llevado a cabo el análisis de estabilidad usando el programa de computadora Slide versión 6.0 del paquete de Rocscience, el cual nos permite determinar los estados de equilibrio límite y tiene la capacidad de analizar cualquier tipo de falla que se le especifique mediante diferentes métodos de análisis; se ha empleado el método de Spencer debido a que considera fuerzas interceldas normales y cortantes que satisfacen tanto el equilibrio de fuerza como el equilibrio de momentos, consideraciones que no utilizan los métodos de Bishop y Janbu simplificados.

Con el fin de analizar las condiciones de estabilidad de las cuñas generadas por los sistemas principales de discontinuidades mapeadas se utilizó el programa Swedge de Rocscience Inc., utilizando las orientaciones y talud de los bancos diseñados con una altura de banco de 8 metros, considerando condiciones estáticas, seudoestáticas, saturación y del tipo de roca, en todos los casos se ha determinado el factor de seguridad obtenido, encontramos cuñas locales que en su totalidad se presentan estables en condiciones estáticas – secas con un FS de 1.5

y pseudoestáticas saturadas con un FS de 1.0. Así mismo estos resultados confirman el estudio realizado por Valeriano (2017) que sustenta que los valores de seguridad que rigen la estabilidad o inestabilidad en un talud rocoso, factor de seguridad (FS) o reducción de la resistencia al corte (SRF) y la probabilidad de falla (PF); se han utilizado los métodos generales de análisis de estabilidad de taludes en roca.

La masa rocosa efectuada, utilizando el criterio de Bieniawski (1989). La calidad de la roca varía desde de 34 a 41, lo que determina que la clase del macizo rocoso es de mala a regular calidad con una estructura moderadamente trabada y una condición superficial regular.

Durante los últimos años, se han desarrollado nuevas técnicas, dichas técnicas actuales son de mucha importancia ya que sirven para realizar un diseño del tajo más óptimo, esto ha permitido que la modelización numérica se haya convertido en una herramienta de cálculo muy aplicada.

#### **4.2 . Conclusiones**

Del análisis geotécnico y modelamiento numérico para el diseño del talud final de la cantera de arcilla SUSY III, Cañete 2021 se concluye que:

El diseño del talud final para la cantera SUSY III, presentan condiciones de estabilidad satisfactorios, puesto que los factores de seguridad generan márgenes óptimos, adecuando los ángulos de los taludes de acuerdo a las características del macizo rocoso, incluso dichos factores de seguridad superan a los mínimos requeridos.

La presencia de rocas sedimentarias representadas por limoarcillitas y calizas grises oscuro, halladas mediante el estudio geológico- geotécnico a lo largo de las 8 estaciones de mapeo, presentan una resistencia media (**R2: 5.0-25 MPa**) con un RQD bajo a medio, encontrándose la roca ligeramente alterada y en condiciones de agua es seco.

Se ha empleado el método de Spencer debido a que considera fuerzas interceldas normales y cortantes que satisfacen tanto el equilibrio de fuerza como el equilibrio de momentos, consideraciones que no utilizan los métodos de Bishop y Janbu simplificados. Al realizar los estudios geotécnicos, con métodos numéricos, se diseñó el talud final que nos permitió determinar un ángulo  $39^\circ$ , siendo posible que los bancos sean estables en la cantera a cielo abierto SUSY III., de acuerdo a las secciones analizadas además de un ángulo de inter rampa de 42 a 29 grados.

## REFERENCIAS

- Armas, J. (2004). *Cartografía geológica estructural del valle de Huizachal, como base para el análisis de estabilidad del talud de la carretera*. Mexico. Rumbo Nuevo.
- Helal, H., Abdallah, T., & Baroudi, H. (1990). *Behavior of Ancient Cavities in Discontinuous Media: The Baboon Tomb Case Study, Saqqarah, Egypt*. In Proceedings of the International Symposium on Static and Dynamic Conservation in Rock Engineering, Royal Swazi, Swaziland, post published paper, AA Blakema, Rotterdam.
- Hoek, E., Carranza-Torres, C., & Corkum, B. (2002). *El criterio de rotura de Hoek-Brown*. Hoek-Brown failure criterion
- Cundall, P. A., & Hart, R. D. (1992). *Numerical modelling of discontinua*. Engineering computations.
- Hudson, J. A., & Harrison, J. P. (2000). *Engineering rock mechanics: an introduction to the principles*. Elsevier.
- Herrera, F. (2000). *Análisis de estabilidad de taludes*. Guía de cálculo de estabilidad de taludes.
- Hoek, E. (2006). *Practical Rock Engineering*. Rocscience Inc.
- Hurtado Gómez, J. E. (2002). *Introducción al análisis estructural por elementos finitos*. Ingeniería Civil.
- Hurts, F. (1993). *Analysis and design in rock mechanics*.
- Morales Cárdenas, M. O. (2009). *Caracterización geotécnica y determinación de ángulos de talud en yacimiento Franke*.
- Nunes, A. L. L., Jiménez, H. G., & Fontoura, S. A. (2016). *Análisis de la estabilidad de taludes mineros por métodos numéricos*. Revista brasilera de estabilidad de taludes en minería. Recuperado el, 20.
- Piguet, J. P. (1990). *La modélisation numérique en mécanique des roches*. Etat de l'Art. Actes dn séminaire sur la modélisation des Massifs Rocheux. Laboratoire de Mécanique des Terrains, Ecole des Mines de Nancy, INPL, Nancy.

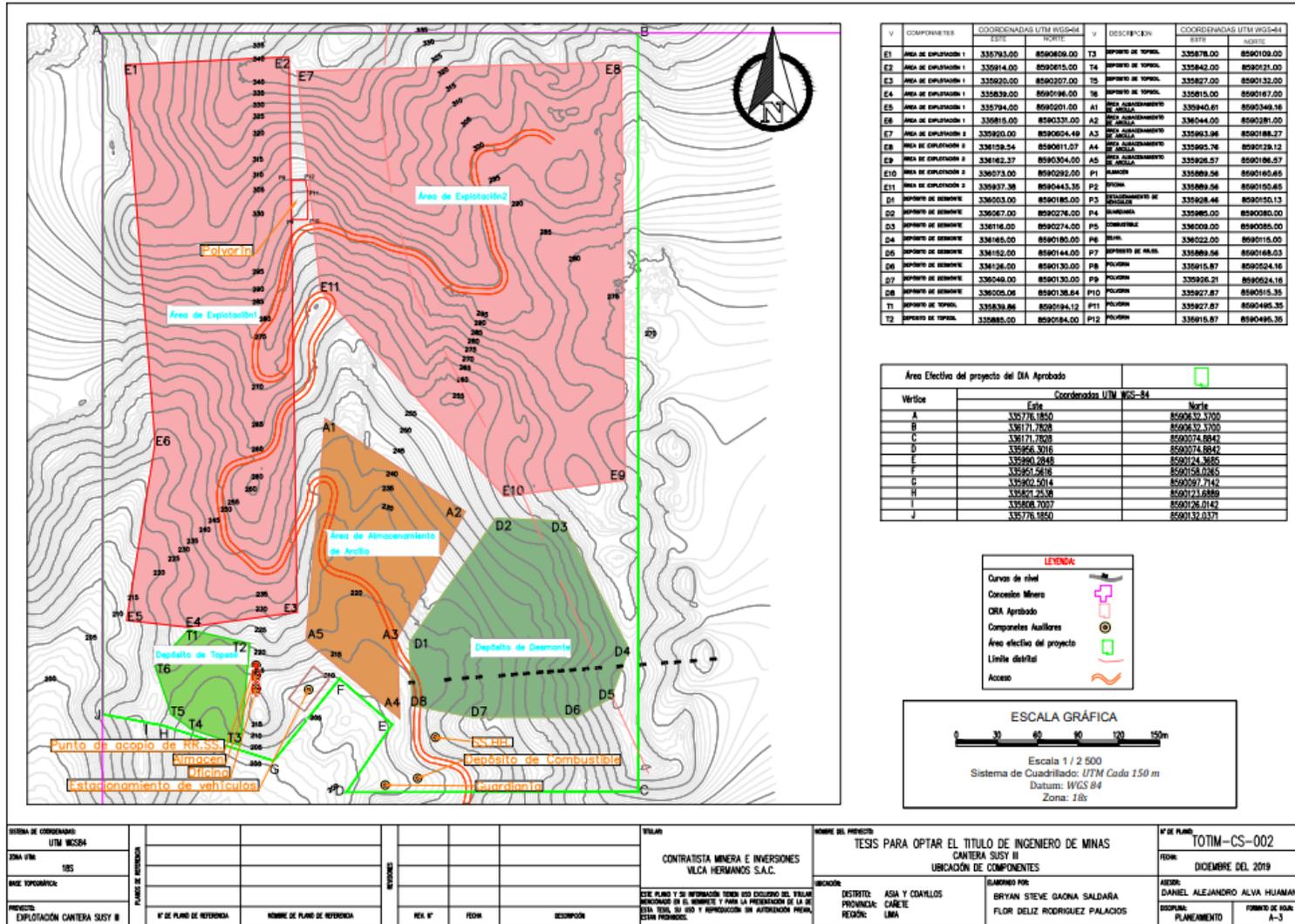
Rode, N. (1991). *Caractérisation et modélisation des massifs rocheux fracturés en blocs (Doctoral dissertation, Institut National Polytechnique de Lorraine)*. Thèse de Doctorat à INPL

Salas Palma, D. A. (2011). *Análisis de estabilidad del diseño del rajo del Proyecto Angostura*. Santander, Colombia.

# ANEXOS

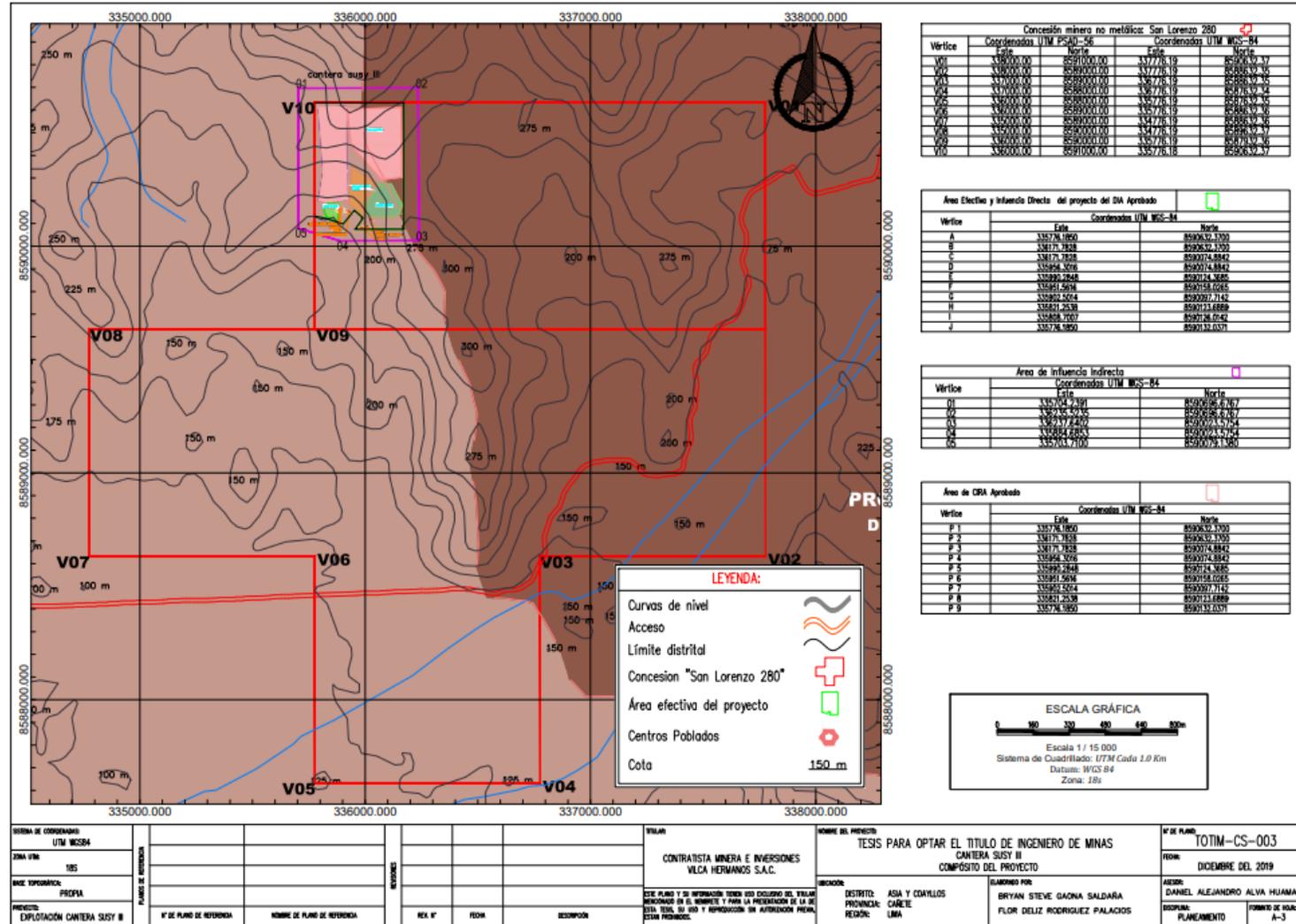
## **Anexo N°1: Planos del proyecto.**

Ubicación de componentes



Fuente: Elaboración Propia

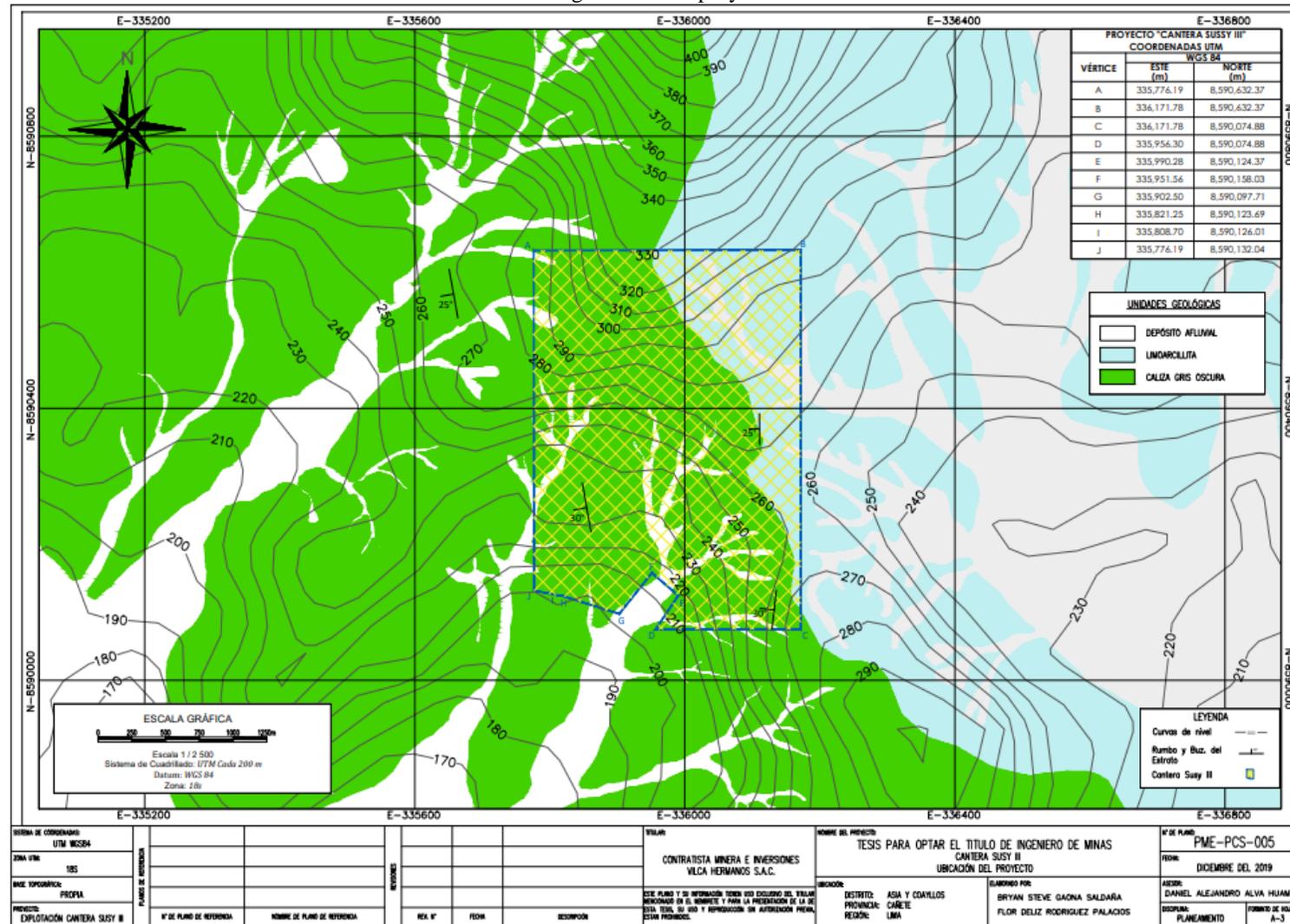
Plano compuesto del Proyecto



Fuente: Elaboración Propia

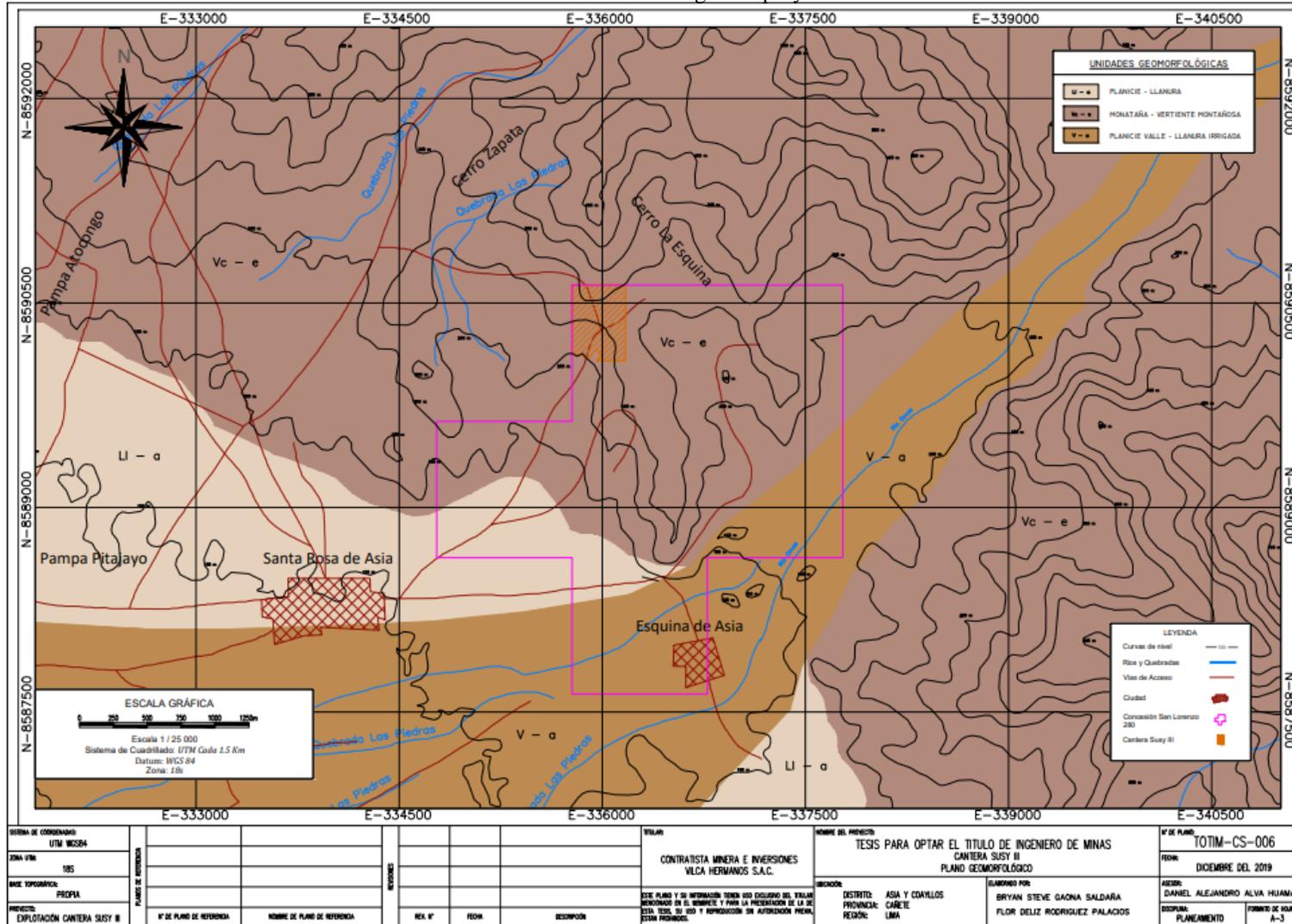


Geología Local del proyecto



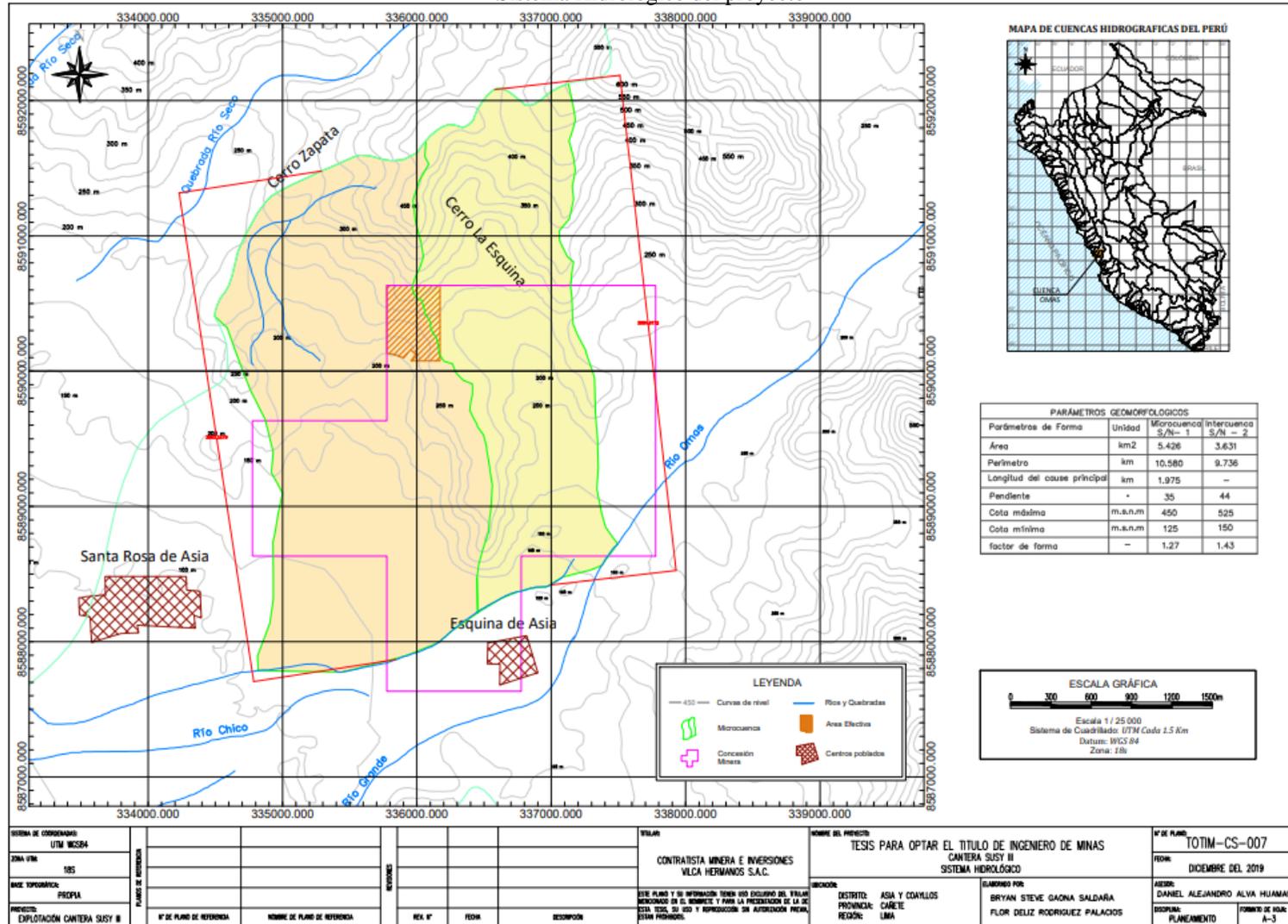
Fuente: Elaboración Propia

Geomorfología del proyecto



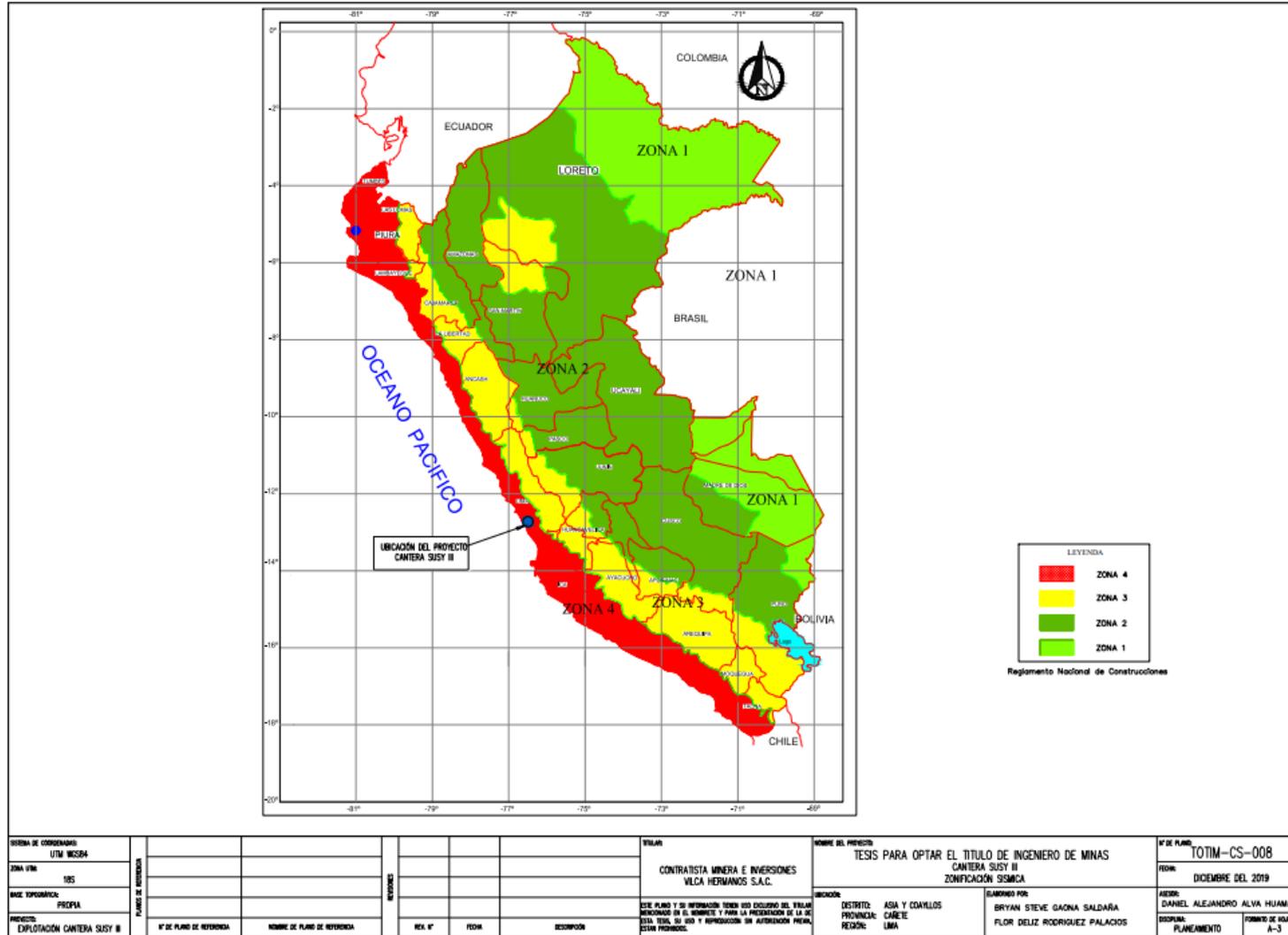
Fuente: Elaboración Propia

Sistema Hidrológico del proyecto



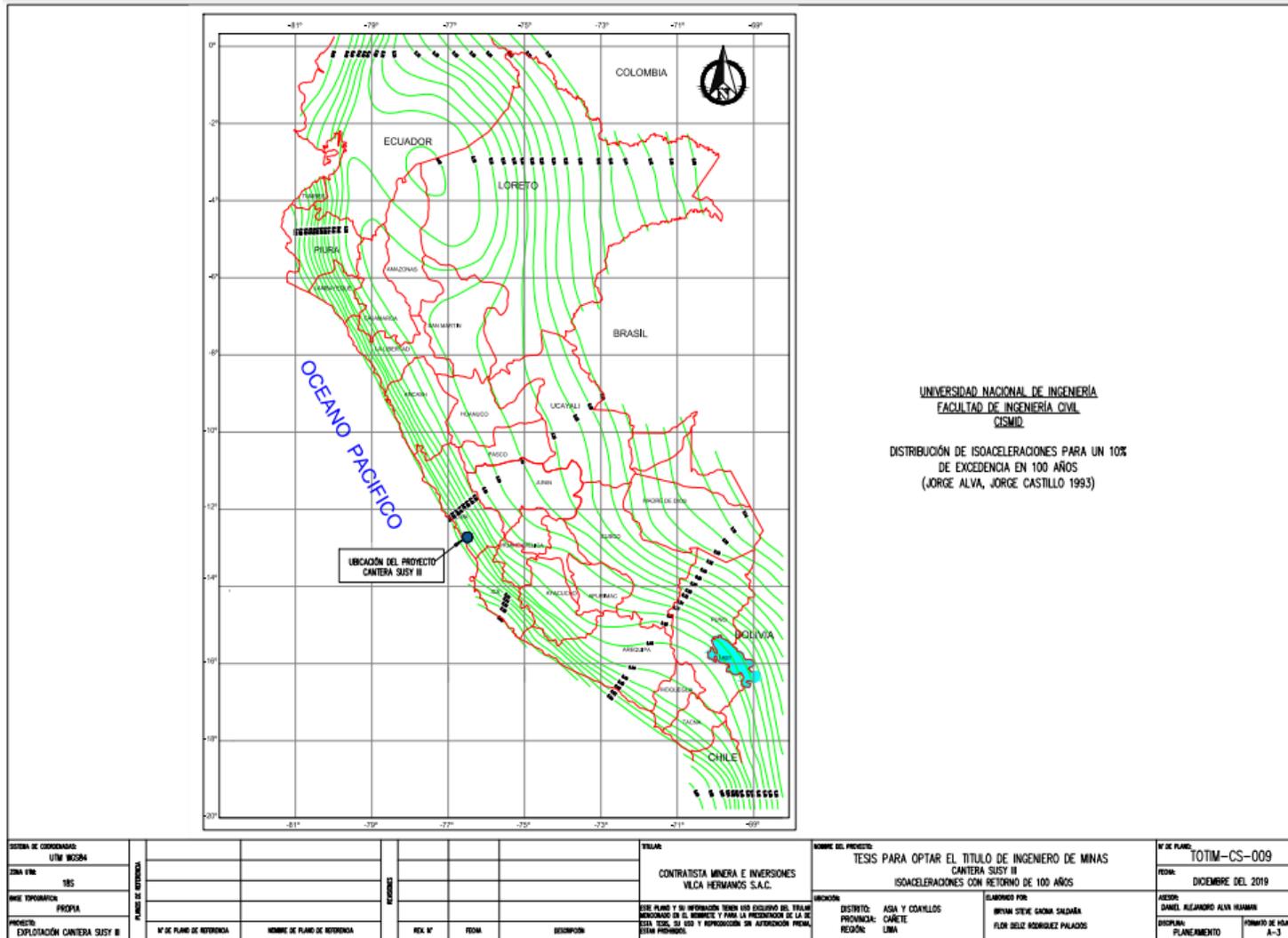
Fuente: Elaboración Propia

Zonificación Sísmica



Fuente: Elaboración Propia

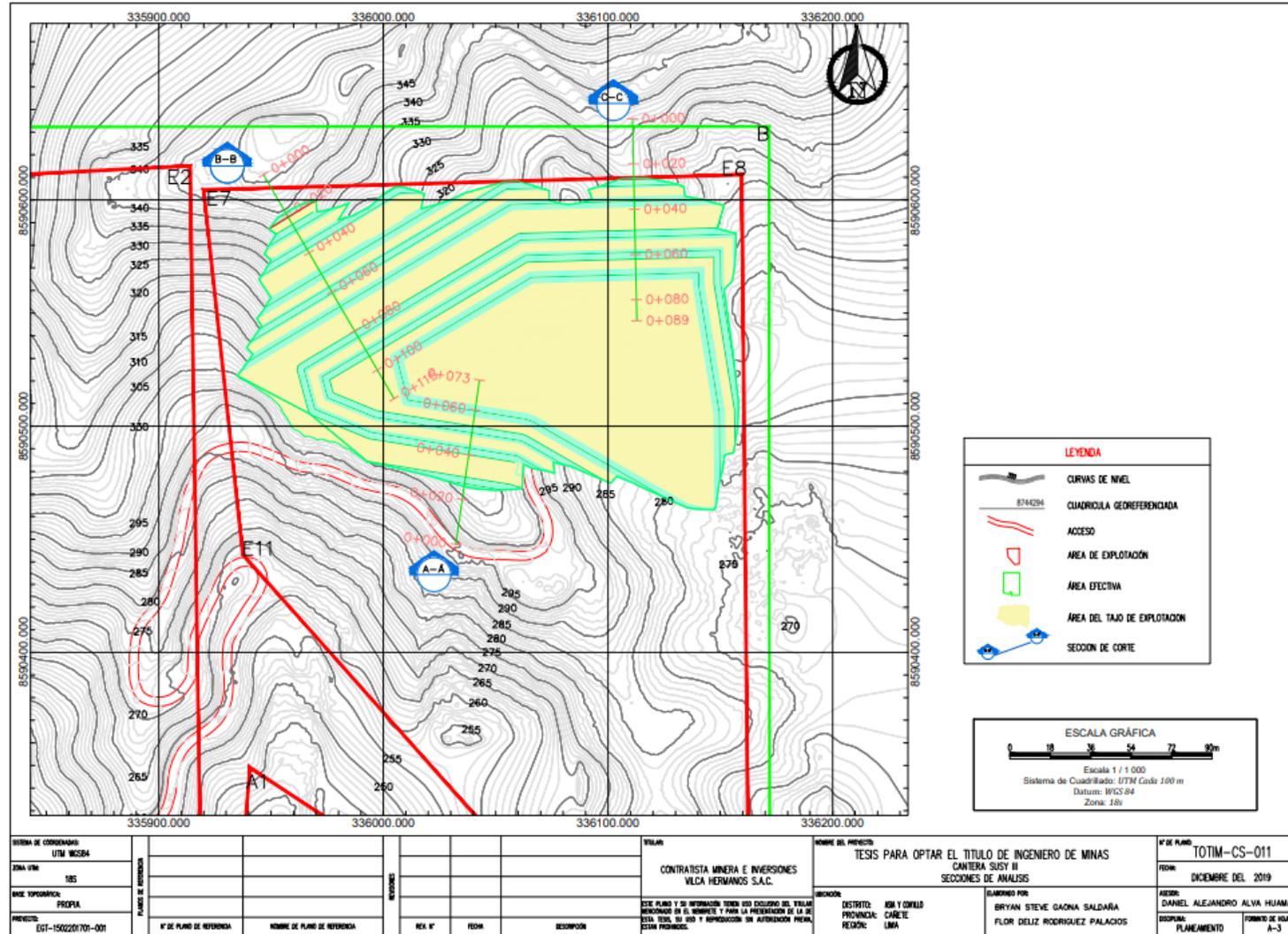
**Isoaceleraciones con retorno de 100 años**



Fuente: Elaboración Propia

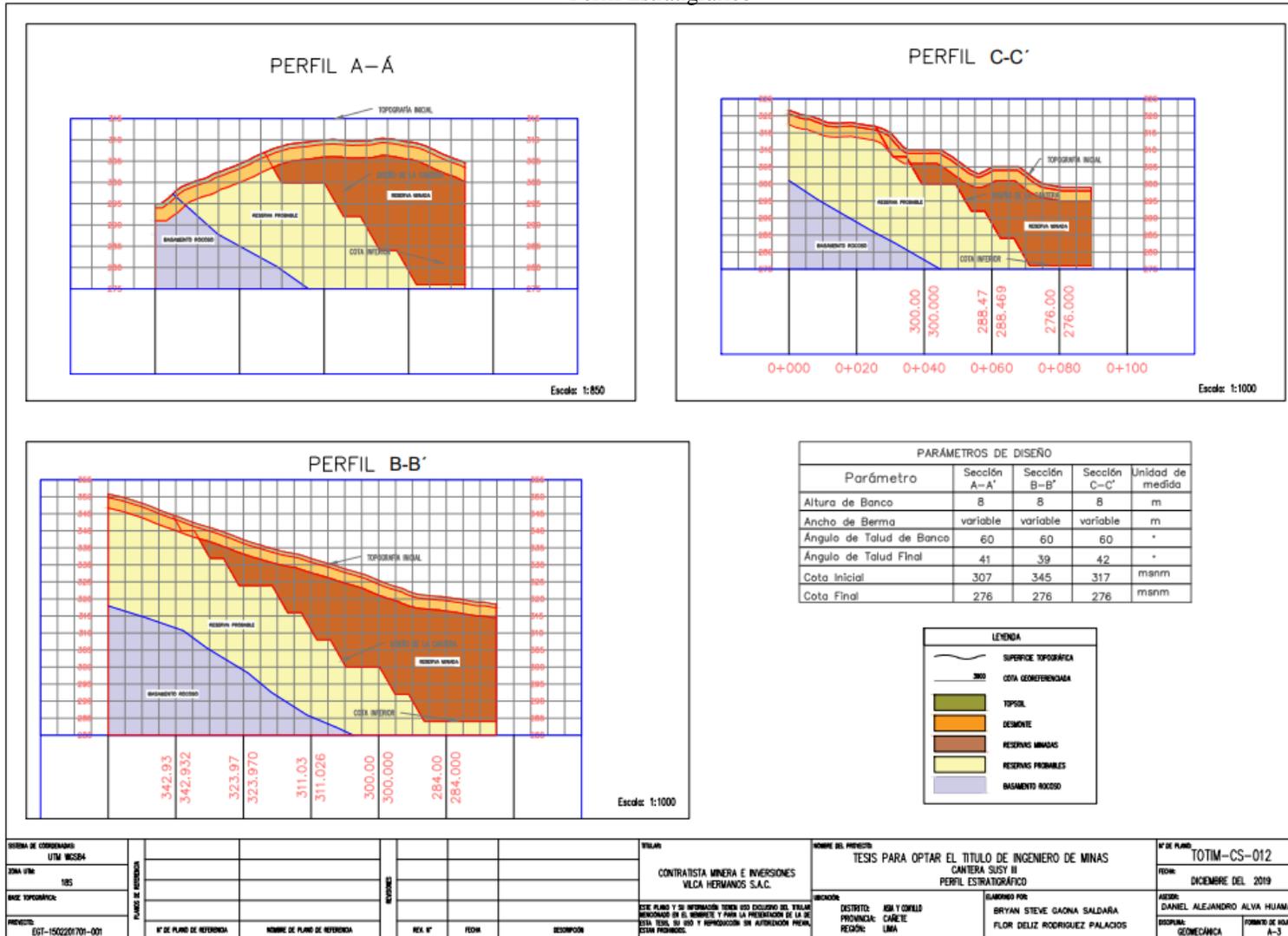


Secciones de Análisis del Tajo

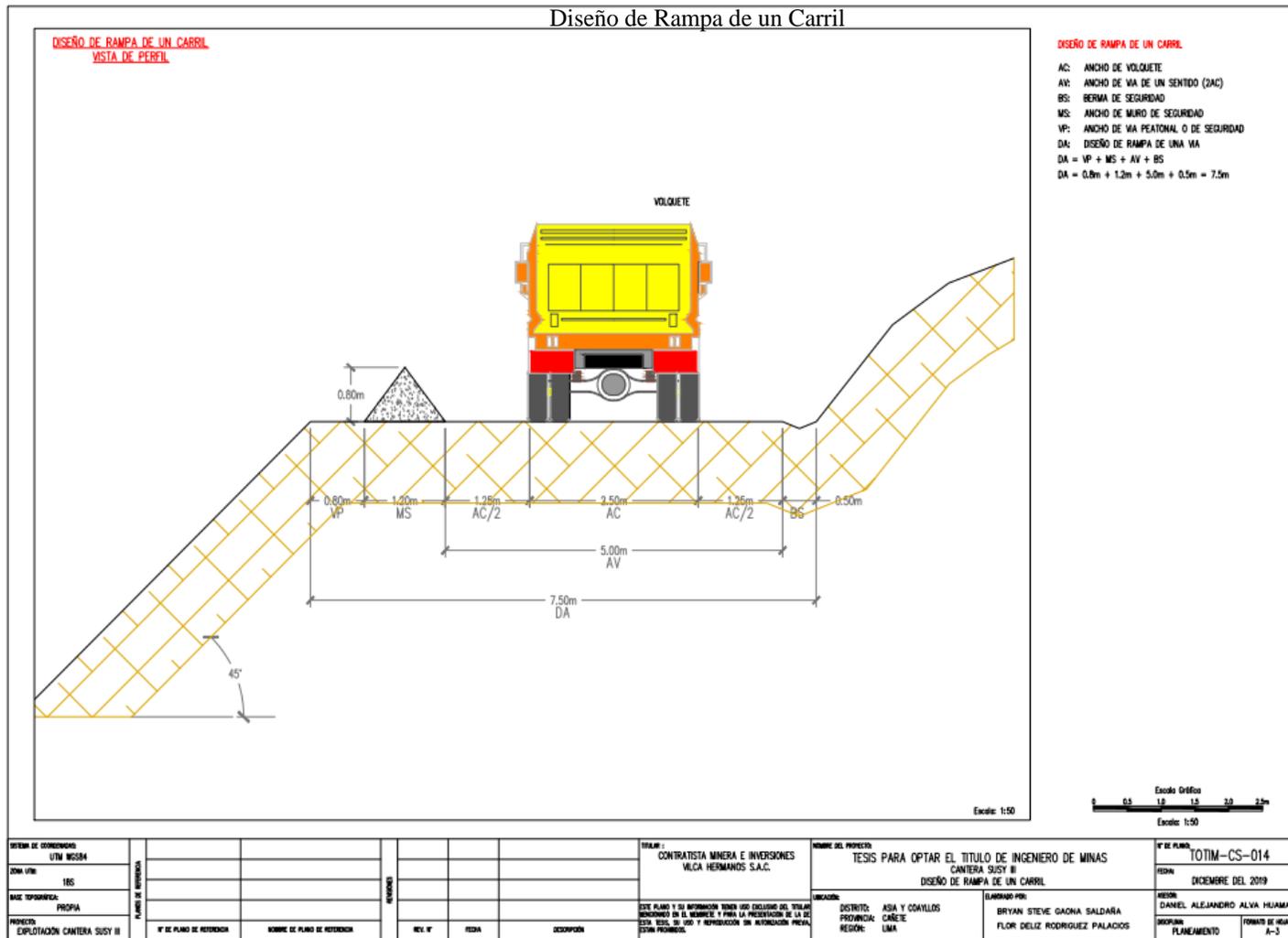


Fuente: Elaboración Propia

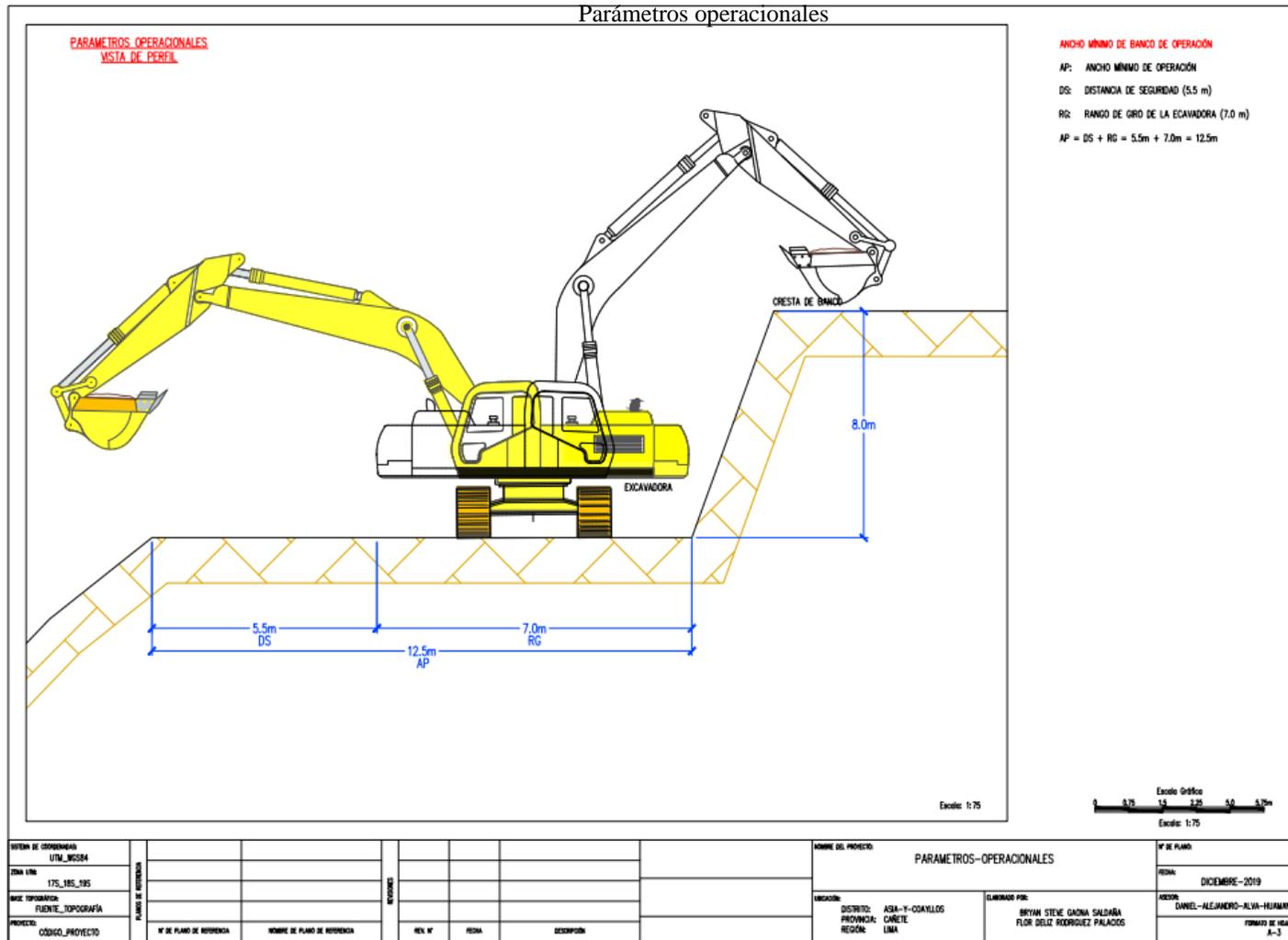
Perfil Estratigráfico



Fuente: Elaboración Propia



Fuente: Elaboración Propia



Fuente: Elaboración Propia

## **Anexo N°2: Ensayos de laboratorio.**



## UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Laboratorio de Mecánica de Rocas

Lima, 28 de junio del 2019

Informe N° 146/19/LMR/UNI

Señores  
CONTRATISTA MINERA E INVERSIONES VILCA HERMANOS S.A.C.  
Presente.-

De nuestra consideración:

En el presente se adjunta los resultados de los ensayos del Laboratorio de Mecánica de Rocas asociados al proyecto "CANTERA SUSY III", ubicado en el distrito de Asia y Coaylo, provincia de Cañete, región Lima.

Atentamente,



Ing. Elvis William Valencia Chávez  
Jefe del Laboratorio de Mecánica de Rocas  
Universidad Nacional de Ingeniería



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

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

**Laboratorio de Mecánica de Rocas**

INFORME Nº 146/19/LMR/UNI

ENSAYO DE PROPIEDAD FISICA  
ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Solicitado por:  
CONTRATISTA MINERA E INVERSIONES VILCA HERMANOS S.A.C.

Muestra: Bloques Rocosos

Fecha: 28 de junio del 2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Laboratorio de Mecánica de Rocas

Informe: N° 146/19/LMR/UNI  
 Empresa: CONTRATISTA MINERA E INVERSIONES VILCA HERMANOS S.A.C.  
 Proyecto: "CANTERA SUSY III"  
 Fecha: 28/06/2019

ENSAYO DE PROPIEDADES FÍSICAS

Los ensayos se realizaron según la norma ASTM C97-02, dando los siguientes resultados:

Muestra	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	Porosidad Aparente (%)	Absorción (%)	Peso Específico Aparente (kN/m <sup>3</sup> )
DD-R-01	4.41	2.43	2.66	2.66	0.40	0.15	26.10
	4.41	2.41	2.64	2.65	0.41	0.15	25.98
	4.41	2.33	2.65	2.65	0.34	0.13	26.03
<i>Promedio</i>			2.65	2.65	0.38	0.14	26.03
T-R-01	Volumen (cm <sup>3</sup> )	43.46	2.35	2.47	11.46	4.87	23.99
		48.29	2.36	2.49	13.00	5.52	23.97
		45.33	2.35	2.48	13.15	5.60	23.82
<i>Promedio</i>			2.35	2.48	12.54	5.33	23.93

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Los ensayos se realizaron sobre discontinuidad con caras paralelas a la dirección de corte, según norma ASTM D5607-95, dando los siguientes resultados.

Muestra	Tipo de discontinuidad	Esfuerzo Normal (MPa)	Esfuerzo de Corte (MPa)	Cohesión (MPa)	Angulo de Fricción (°)
DD-R-01	SIMULADO	1.10	0.67	0.107	27.04
		2.21	1.24		
		3.31	1.78		
		4.42	2.38		
		5.52	2.92		
T-R-01	SIMULADO	1.12	0.63	0.107	26.07
		2.23	1.23		
		3.35	1.75		
		4.47	2.29		
		5.58	2.83		

Nota:

- La empresa solicitante es responsable de la toma de muestra en campo.
- La información correspondiente a las muestras fue proporcionada por el solicitante.





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

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

**Laboratorio de Mecánica de Rocas**

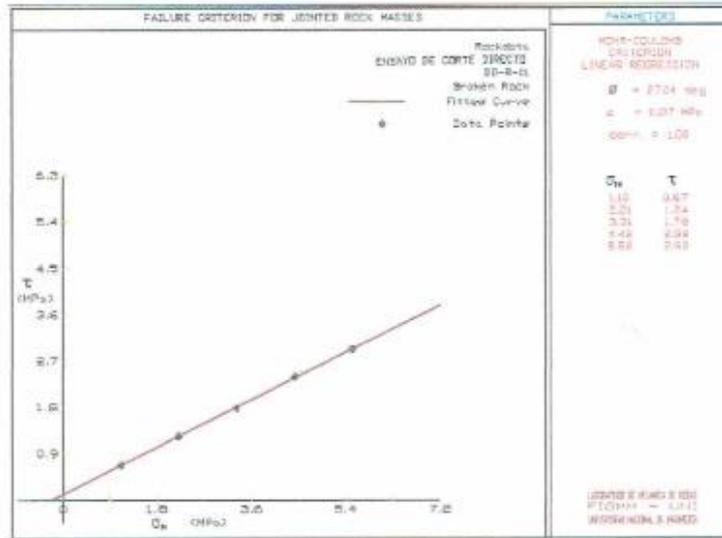
***GRAFICOS DE  
LOS ENSAYOS REALIZADOS***



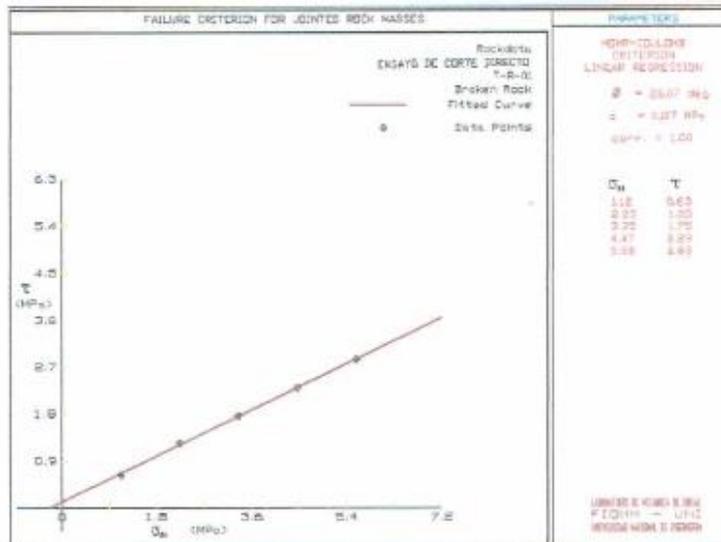
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica**  
**Laboratorio de Mecánica de Rocas**

**GRAFICOS: ENSAYO CORTE DIRECTO**

**MUESTRA: DD-R-01**



**MUESTRA: T-R-01**





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica**  
**Laboratorio de Mecánica de Rocas**

***FOTOGRAFIAS DE  
LOS ENSAYOS REALIZADOS***



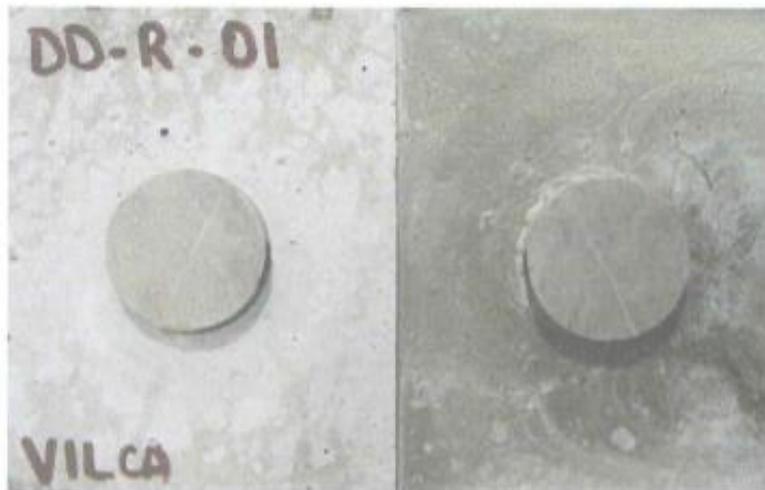
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Laboratorio de Mecánica de Rocas

FOTOS: CORTE DIRECTO

Muestra: DD - R - 01



Muestra: T - R - 01

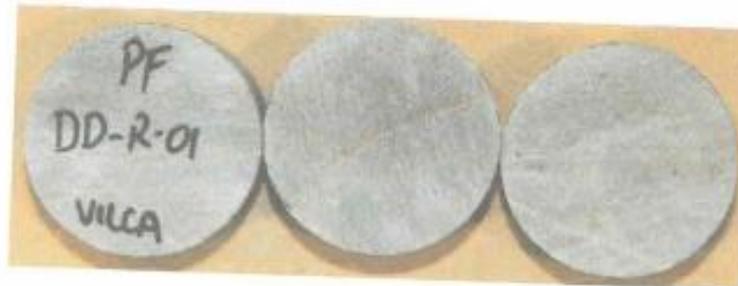




**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica**  
**Laboratorio de Mecánica de Rocas**

FOTOS: PROPIEDADES FISICAS

*Muestra: DD - R - 01*



*Muestra: T - R - 01*



## *Anexo N.º 3 Registro de Mapeo Geomecánico.*

HOJA DE MAPEO GEOMECÁNICO - CLASIFICACIÓN RMR (1989) DE BIENIAWSKY

Este: 336164 Norte: 8590473 Lugar: ASIA y COAYLLO Proyecto: Cantera SUSY III Nivel: 276 TAJO Fecha: 16/05/2019 Hoja: 1  
Labor: TAJO Hora: 9:10 AM

Nº de estación	Orientación de la labor		Tramo		Roca		%
	Trend	Plunge	Desde	Hasta	Tipo		
01			-	-			
Nº	Tipo de estructura	Orientación de la estructura		Espaciamiento	Relleno		Comentario
		Dir. Buzamiento	Buzamiento		Tipo	Espesor	
01	D	73	54	0,3	-	-	Sin relleno
02	D	34	72	0,5	-	-	Sin relleno
03	D	38	55	0,3	-	-	Sin relleno
04	D	72	57	0,3	-	-	Sin relleno
05	D	75	46	0,3	-	-	Sin relleno
06	D	127	28	0,2	-	-	Sin relleno
07	D	127	28	0,3	-	-	Sin relleno
08	D	83	42	0,2	-	-	Sin relleno
09							
10							
11							
12							
13							
14							
15							

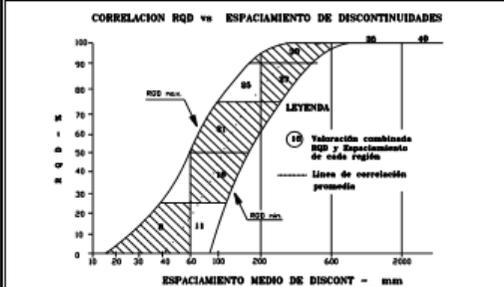
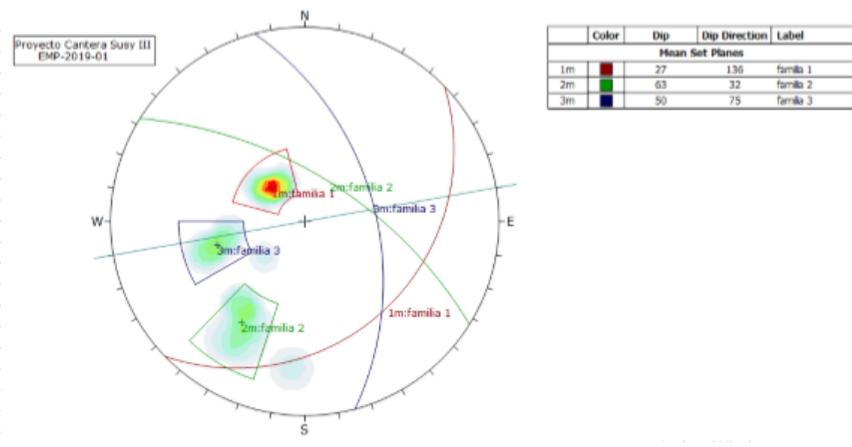
  

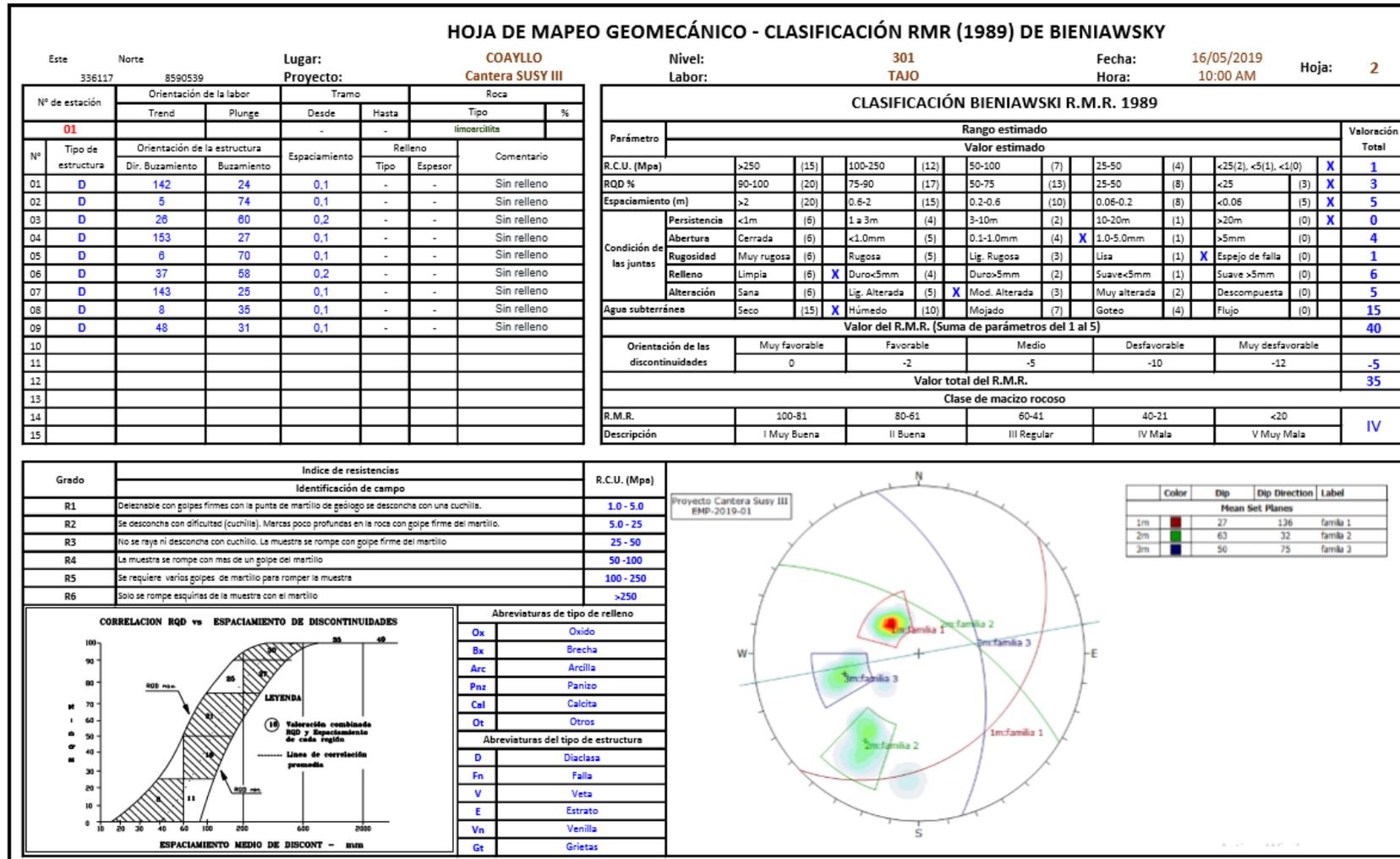
Parámetro	Rango estimado								Valoración Total
	Valor estimado								
R.C.U. (Mpa)	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2), <5(1), <1(0)	X			1
RQD %	90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	X			3
Espaciamiento (m)	>2 (20)	0.6-2 (15)	0.2-0.6 (10)	0.06-0.2 (8)	<0.06 (5)	X			5
Condición de las juntas	Persistencia	<2m (6)	1 a 3m (4)	3-10m (2)	10-20m (1)	>20m (0)	X		2
	Abertura	Cerrada (6)	<1.0mm (5)	0.1-1.0mm (4)	1.0-5.0mm (1)	>5mm (0)	X		5
	Rugosidad	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig. Rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	X		1
	Relleno	Limpia (6)	Duro<5mm (4)	Duro>5mm (2)	Suave<5mm (1)	Suave >5mm (0)			6
	Alteración	Sana (6)	Lig. Alterada (5)	Mod. Alterada (3)	Muy alterada (2)	Descompuesta (0)			5
Agus subterráneas	Seco (15)	X	Húmedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)			15
Valor del R.M.R. (Suma de parámetros del 1 al 5)									43
Orientación de las discontinuidades	Muy favorable	Favorable	Medio	Desfavorable	Muy desfavorable				
	0	-2	-5	-10	-12				
Valor total del R.M.R.									38
Clase de macizo rocoso									
R.M.R.	100-81	80-61	60-41	40-21	<20				
Descripción	I Muy Buena	II Buena	III Regular	IV Mala	V Muy Mala				
									IV

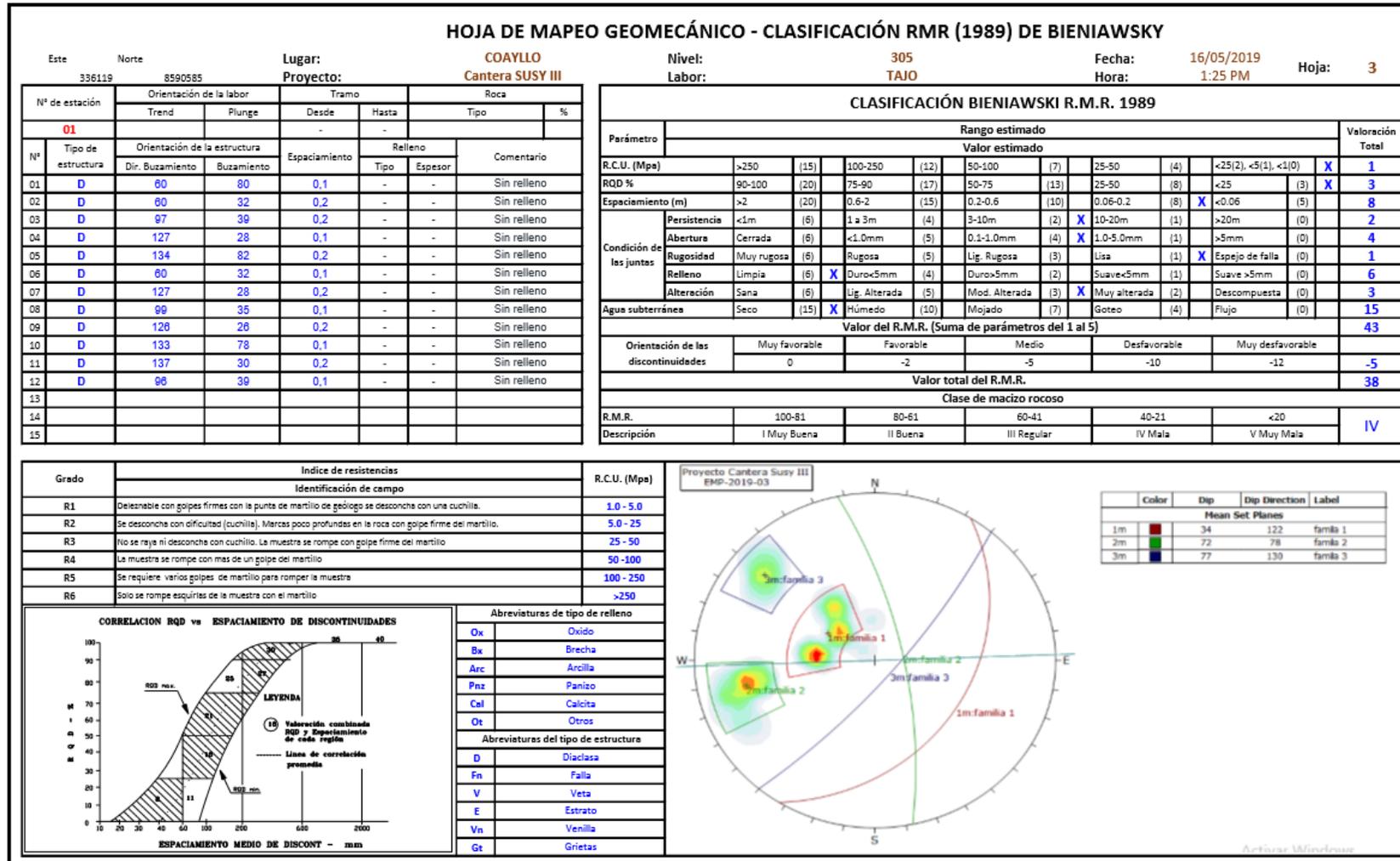
Grado	Índice de resistencias		R.C.U. (Mpa)
	Identificación de campo		
R1	Desmenuable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desmenua con una cuchilla.		1.0 - 5.0
R2	Se desmenua con dificultad (cuchilla). Marca poco profunda en la roca con golpe firme del martillo.		5.0 - 25
R3	No se raya ni desmenua con cuchilla. La muestra se rompe con golpe firme del martillo		25 - 50
R4	La muestra se rompe con más de un golpe del martillo		50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra		100 - 250
R6	Solo se rompe esquinas de la muestra con el martillo		>250

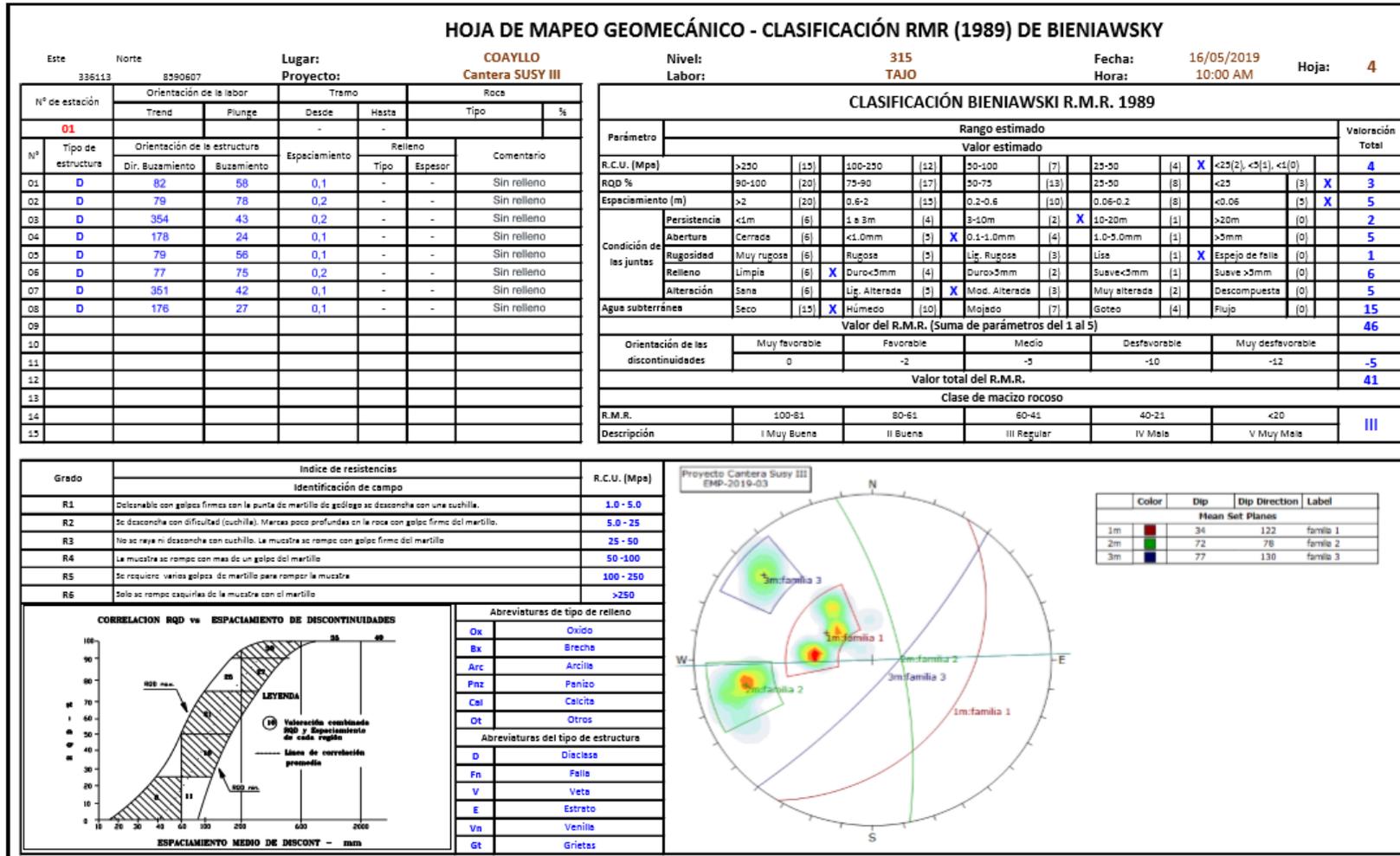
  

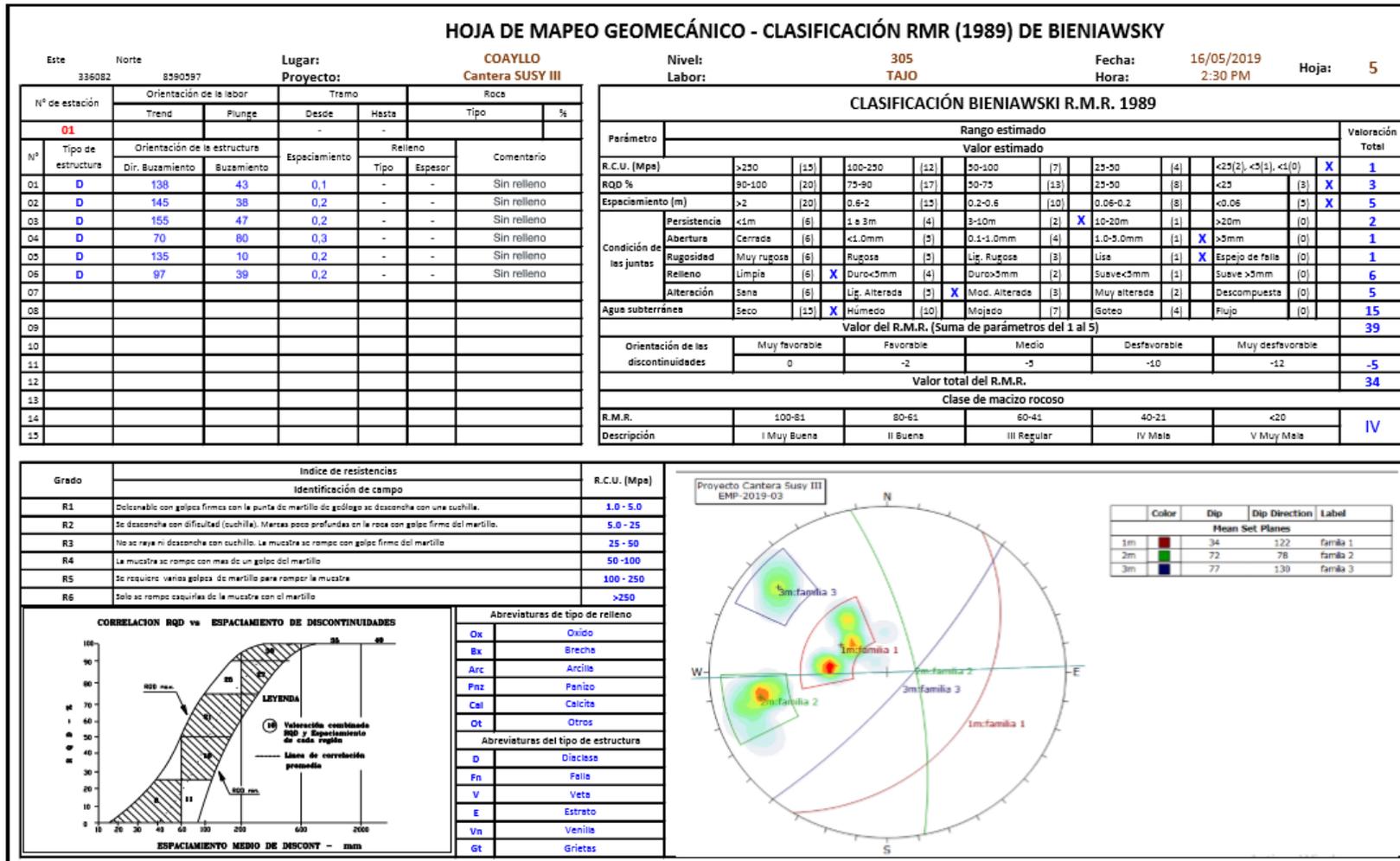
Abreviaturas de tipo de relleno	
Ox	Oxido
Bk	Brecha
Arc	Arcilla
Pnz	Panizo
Cal	Calcita
Ot	Otros
Abreviaturas del tipo de estructura	
D	Diaclasa
Fn	Falla
V	Veta
E	Estrato
Vn	Venilla
Gt	Grietas









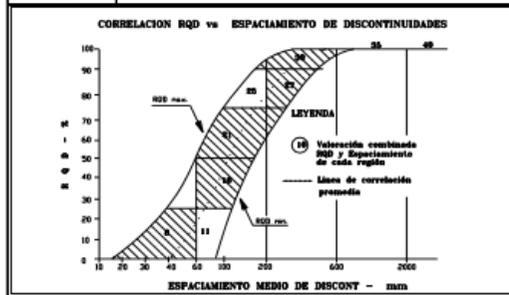
**HOJA DE MAPEO GEOMECÁNICO - CLASIFICACIÓN RMR (1989) DE BIENIAWSKY**

Este: 336030 Norte: 8390343 Lugar: **COAYLLO** Nivel: **300** Fecha: **16/05/2019** Hoja: **01**  
 Proyecto: **Cantera SUSY III** Labor: **TAJO** Hora: **3:00 PM**

Nº de estación	Orientación de la labor		Tremo		Roca	
	Trend	Plunge	Desde	Hasta	Tipo	%
01	D	194	78	0,1	-	-
02	D	290	72	0,2	-	-
03	D	142	79	0,2	-	-
04	D	281	70	0,1	-	-
05	D	185	76	0,1	-	-
06	D	280	73	0,1	-	-
07	D	142	79	0,2	-	-
08	D	287	70	0,1	-	-
09	D	291	85	0,2	-	-

Parámetro	Rango estimado								Valoración Total		
	Valor estimado										
R.C.U. (Mpa)	>250	(15)	100-250	(12)	50-100	(7)	25-50	(4)	<25(2), <5(1), <1(0)	X 1	
RQD %	90-100	(20)	75-90	(17)	50-75	(13)	25-50	(8)	<25	(3) X 3	
Espaciamiento (m)	>2	(20)	0.6-2	(15)	0.2-0.6	(10)	0.06-0.2	(8)	X <0.06	(5) 8	
Condición de las juntas	Persistencia	<1m	(6)	1 a 3m	(4)	3-10m	(2)	10-20m	(1)	X >20m	(0) 1
	Abertura	Cerrada	(6)	<1.0mm	(5)	0.1-1.0mm	(4)	1.0-5.0mm	(1)	>5mm	(0) 5
	Rugosidad	Muy rugosa	(6)	Rugosa	(5)	Lig. Rugosa	(3)	Lisa	(1)	X Espejo de falla	(0) 1
	Relleno	Limpia	(6)	X Duro<3mm	(4)	Duro>3mm	(2)	Suave<3mm	(1)	Suave >3mm	(0) 6
Alteración	Sana	(6)	Lig. Alterada	(5)	X Mod. Alterada	(3)	Muy alterada	(2)	Descompuesta	(0) 5	
Agua subterránea	Seco	(15)	X Húmedo	(10)	Mojado	(7)	Goteo	(4)	Flujo	(0) 15	
<b>Valor del R.M.R. (Suma de parámetros del 1 al 5)</b>										<b>45</b>	
Orientación de las discontinuidades	Muy favorable	Favorable	Medio	Desfavorable	Muy desfavorable						
	0	-2	-5	-10	-12						
<b>Valor total del R.M.R.</b>										<b>40</b>	
<b>Clase de macizo rocoso</b>											
R.M.R.	100-81	80-61	60-41	40-21	<20						
Descripción	I Muy Buena	II Buena	III Regular	IV Mala	V Muy Mala						

Grado	Índice de resistencias	R.C.U. (Mpa)
R1	Se desmenuza con golpes firmes con la punta de martillo de golpeo se desmenuza con una cuchilla.	1.0 - 5.0
R2	Se desmenuza con dificultad (cuchilla). Marca poco profunda en la roca con golpe firme del martillo.	5.0 - 25
R3	No se raya ni desmenuza con cuchilla. La muestra se rompe con golpes firmes del martillo.	25 - 50
R4	La muestra se rompe con más de un golpe del martillo.	50 - 100
R5	Se requieren varios golpes de martillo para romper la muestra.	100 - 250
R6	Solo se rompe esquinas de la muestra con el martillo.	>250



Abreviaturas de tipo de relleno	
Ox	Oxido
Bx	Brecha
Arc	Arcilla
Pnz	Panizo
Cal	Calcita
Ot	Otros
Abreviaturas del tipo de estructura	
D	Diáclase
Fn	Falla
V	Veta
E	Estreito
Vn	Venilla
Gt	Grietas

