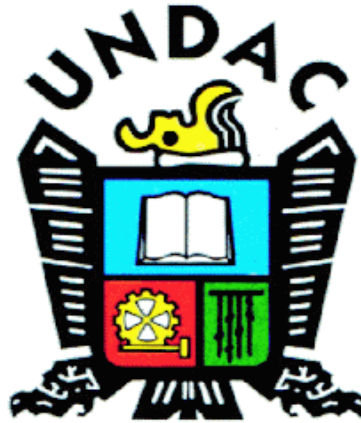


**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**T E S I S**

**Consideraciones geológicas y geotécnicas para la ampliación del Open**

**Pit Calaorco - La Arena- Región La Libertad- 2019**

**Para optar el título profesional de:**

**Ingeniero Geólogo**

**Autor:**

**Bach. Judith Roxana GOMEZ CALDERON**

**Asesor:**

**Mg. Javier Lopez Alvarado**

**Cerro de Pasco – Perú – 2023**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**T E S I S**

**Consideraciones geológicas y geotécnicas para la ampliación del Open**

**Pit Calaorco - La Arena- Región La Libertad- 2019**

**Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:**

---

**Dr. Favio Máximo MENA OSORIO**  
**PRESIDENTE**

---

**Mg. Eder Guido ROBLES MORALES**  
**MIEMBRO**

---

**Mg. Luis Arturo LAZO PAGAN**  
**MIEMBRO**



Universidad Nacional Daniel Alcides  
Carrión Facultad de Ingeniería  
Unidad de Investigación

**INFORME DE ORIGINALIDAD N° 113-2023-UNDAC/UIFI**

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Tesis:

**“Consideraciones geológicas y geotécnicas para la ampliación  
del Open Pit Calaorco - La Arena- Región La Libertad- 2019”**

Apellidos y nombres de los tesisistas:

**Bach. GOMEZ CALDERON, Judith Roxana**

Apellidos y nombres del Asesor:

**Mg. LOPEZ ALVARADO, Javier**

Escuela de Formación Profesional

**Ingeniería Geológica**


Índice de Similitud

**29%**

**APROBADO**

Se informa al decanato para los fines pertinentes:

Cerro de Pasco, 08 de setiembre del 2023

  
UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN  
**Luis Villa Requis Carbajal**  
DOCTOR EN CIENCIAS - DIRECTOR

## **DEDICATORIA**

Con especial respeto, admiración y amor, a mis padres: Angelica y Javier.

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi eterna gratitud a Dios por ser mi guía en mí caminar, a mis padres por su ejemplo de perseverancia, a mis hermanos Jair, Janeth, Edith y Mishel por su apoyo incondicional en mi vida diaria y en mi periodo profesional.

A mi amado hijo Ethan por ser el motivo e inspiración de mi vida.

A Carlos por su apoyo, comprensión y amor.

A los docentes de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional Daniel A. Carrión, con mención especial al asesor de esta tesis, Mg. Javier López Alvarado, quien, con su orientación y revisión, fue posible la publicación de esta tesis.

Del mismo modo, agradezco a la Empresa Minera La Arena S.A., y a la consultora Golder Associates Perú S.A., por brindarme las facilidades para la realización de este trabajo.

## RESUMEN

La zona de estudio ubicada en el distrito de Huamachuco, provincia de Sánchez Carrión, departamento de La Libertad tiene el objetivo principal de determinar las consideraciones geológicas y geotécnicas para la ampliación del Open Pit Calaorco y objetivos específicos: Identificar la mineralización, realizar el estudio hidrogeológico, determinar los parámetros de diseño de talud, determinar el factor de seguridad. Empleando materiales y herramientas para el logueo geológico y geotécnico (gianometro), ensayos in situ (carga puntual), Televiewer, muestreo en campo, mapeo por fotogrametría y líneas de detalle, información procesada en softwares (Excel, Dips, Roc Data y Slide), se obtuvieron la descripción y orientación de las discontinuidades ( $\alpha$  y  $\beta$ ) de las perforaciones orientadas, parámetros de resistencia de la roca intacta, datos estructurales de las paredes del tajo. La metodología es de carácter exploratorio, descriptivo y analítico. Como resultado, las consideraciones geológicas en el área de estudio están dominadas por la Formación Chimú, la zona contiene mineralización aurífera de tipo Epitermal diseminado Au-Ag en areniscas cuarzosa y tipo pórfido Cu-Au (Mo) en brechas, ambos provienen de la misma fuente magmática relacionada al stock dacítico emplazado a lo largo de una falla principal de dirección NO-SE. Las areniscas son brechadas y muy fracturadas, que en contacto con la roca intrusiva constituyen el principal ambiente litológico donde se alojan los depósitos auríferos lixiviables, determinando el área de Calaorco como una zona económicamente explotable. Dentro de las consideraciones geotécnicas se ha determinado dos litologías: unidad sedimentaria (areniscas) que están expuestas en el lado oeste con dirección SW y la unidad intrusiva, expuesto en el lado este del tajo con orientación NE. Finalmente se determinó el diseño de taludes y el análisis de estabilidad física estático y pseudo-

estático considerado un coeficiente sísmico de  $K_h = 0,13g$  para las fases de minado del 3 al 7.

**Palabras Claves:** Análisis cinemático, consideraciones geológicas y geotécnicas, parámetros de resistencia de macizo rocoso, parámetros de diseño de talud, zonificación geológica-geotécnica.

## ABSTRACT

The study area located in the district of Huamachuco, province of Sánchez Carrión, department of La Libertad has the main objective of determining the geological and geotechnical considerations for the expansion of the Calaorco Open Pit and specific objectives: Identify mineralization, carry out the hydrogeological study , determine the slope design parameters, determine the factor of safety. Using materials and tools for geological and geotechnical logging (giamometer), in situ tests (point load), Televiewer, field sampling, photogrammetry mapping and detail lines, information processed in software (Excel, Dips, Roc Data and Slide) , the description and orientation of the discontinuities ( $\alpha$  and  $\beta$ ) of the oriented perforations, resistance parameters of the intact rock, structural data of the pit walls were obtained. The methodology is exploratory, descriptive and analytical. As a result, the geological considerations in the study area are dominated by the Chimú Formation, the zone contains gold mineralization of disseminated Epithermal type Au-Ag in quartzose sandstones and porphyry type Cu-Au (Mo) in breccias, both come from the same magmatic source related to the dacitic stock emplaced along a main fault running NW-SE. The sandstones are breccia and highly fractured, which in contact with the intrusive rock constitute the main lithological environment where the leachable gold deposits are located, determining the Calaorco area as an economically exploitable zone. Within the geotechnical considerations, two lithologies have been determined: sedimentary unit (sandstones) that are exposed on the west side with a SW direction and the intrusive unit, exposed on the east side of the pit with a NE orientation. Finally, the slope design and the static and pseudo-static physical stability analysis were determined, considering a seismic coefficient of  $K_h = 0.13g$  for mining phases 3 to 7.



**Keywords:** Kinematic analysis, geological and geotechnical considerations, rock mass resistance parameters, slope design parameters, geological-geotechnical zoning.

## INTRODUCCIÓN

La presente tesis precisa las consideraciones geológicas y geotécnicas para la ampliación del Open Pit Calaorco – en La Arena, ello permite actualizar el diseño de taludes desde la Fase 3 hasta la Fase 7.

La minera La Arena se ubica a unos 480 km al norte-noroeste de la ciudad de Lima y a 18 km en el distrito de Huamachuco, provincia de Sánchez Carrión y departamento de La Libertad. Fisiográficamente se sitúa en la vertiente oriental de la cadena occidental de la cordillera de los Andes. Altitudinalmente el área se desarrolla sobre los 3300 m s.n.m. y 3600 m.s.n.m.

El Open pit Calaorco ha cortado el flanco noreste de una prominente arista de dirección noroeste y sureste en las paredes temporales sur y suroeste. La cresta de la pared suroeste mayormente continua la cresta de la arista y actualmente tiene una altura máxima de aproximadamente 110 m.

Dentro de las consideraciones geotécnicas se ha realizado las evaluaciones de estabilidad de los taludes del Open Pit Calaorco a partir de investigaciones geotécnicas realizadas en el área de estudio.

Para el estudio Geológico -geotécnico de la expansión del Open Pit Calaorco se ejecutaron cinco perforaciones con testigos orientados, dos registros de Televiwer, mapeo de bancos por fotogrametría y por línea de detalle, y una campaña de ensayos de mecánica de rocas (in situ y laboratorio), esta información fue recolectada y procesada por la empresa especializada.

Esta tesis presenta los resultados de la campaña de investigaciones geológicas y geotécnicas, caracterización geotécnica del macizo rocoso, resultados de análisis de estabilidad de la Fase 3-4, Fase 5 y Fase 6-7, y proporciona recomendaciones para el diseño de taludes de la ampliación del Open Pit.

## ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

### CAPITULO I

#### PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema	1
1.2. Delimitación de la investigación	2
1.3. Formulación del problema	2
1.3.1. Problema general	2
1.3.2. Problemas específicos	2
1.4. Formulación de objetivos	2
1.4.1. Objetivo general	2
1.4.2. Objetivos Específicos	3
1.5. Justificación de la investigación.	3
1.6. Limitaciones de la investigación.	3

### CAPITULO II

#### MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de estudio	5
2.1.2. Antecedentes internacionales	5
2.1.2. Antecedentes Nacionales	7
2.1.3. Antecedentes Locales	8

2.2.	Bases Teóricas- Científicas	9
2.2.1	Consideraciones Geológicas	9
2.2.2	Evaluación Geotécnica	10
2.2.3	Definición de Diseño de Taludes	13
2.2.4	Condiciones Sísmicas	15
2.2.5	Análisis Cinemático	16
2.2.6	Daño (o Disturbancia) de Voladura	18
2.2.7	Análisis de Estabilidad	19
2.3.	Definición de términos básicos.	24
2.4.	Formulación de Hipótesis	26
2.4.1.	Hipótesis General	26
2.4.2.	Hipótesis Específico	26
2.5.	Identificación de Variables	26
2.6.	Definición Operacional de variables e indicadores.	27

### **CAPITULO III**

#### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

3.1.	Tipo de Investigación	28
3.2.	Nivel de Investigación	28
3.3.	Métodos de Investigación	29
3.4.	Diseño de Investigación.	31
3.5.	Población y Muestra.	31
3.6.	Técnicas e instrumento recolección de datos	32
3.7.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	32
3.8.	Tratamiento Estadístico.	34

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1. Descripción del trabajo de campo	39
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.	57
4.3. Prueba de Hipótesis	103
4.4. Discusión de resultados	104

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

## ÍNDICE DE ANEXOS

**Anexo N°01** Procedimiento para medir la orientación de discontinuidades, registro fotográfico del testigo de perforación y registro de perforación

**Anexo N°2** Registro geofísico de perforaciones – Televiewer.

**Anexo N°3** Resultados de la fotogrametría – Pared NE

**Anexo N°4** Registros de Mapeo de Línea de Detalle

**Anexo N°5** Resultados de los ensayos de laboratorio para la ampliación del Open Pit Calaorco

**Anexo N°06** Resultados de ensayos de resistencia al corte directo

**Anexo N°07** Resumen de los Resultados para cada sector de diseño estudio geotécnico para la para la ampliación del Open Pit Calaorco.

**Anexo N°08** Evaluación Cinemática de estructuras para cada sector de diseño del Estudio Geotécnico Tajo Calaorco

**Anexo N°09** Resultados del análisis de estabilidad de la fase 3-4 del Opent Pit Calaorco.

**Anexo N°10** Resultados del análisis de estabilidad de la fase 5 del Opent Pit Calaorco.

**Anexo N°11** Resultados del análisis de estabilidad de la fase 6-7 del Opent Pit Calaorco.

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Zoneamiento de alteraciones hidrotermales en los depósitos tipo pórfido	10
<b>Figura 2.</b> Parámetros para la descripción de las estructuras	12
<b>Figura 3.</b> Representación esquemática de ángulo de cara del banco (BFA), ángulo inter-rampa (IRA) y ángulo de Talud Global (OSA)	14
<b>Figura 4.</b> Variación de la resistencia del macizo rocoso en función del daño de la voladura	19
<b>Figura 5.</b> Esquema estático- Método Morgenstern- Price	20
<b>Figura 6.</b> División de rebanadas para aplicar el método de equilibrio limite	22
<b>Figura 7.</b> Esquema de etapas a ejecutar para la presente tesis	31
<b>Figura 8.</b> Geología del Tajo Calaorco, traza de secciones de estabilidad analizadas	34
<b>Figura 9.</b> Porcentaje de unidades litológicas logueadas en la campaña de investigaciones geotécnicas Calaorco (2015-2016)	35
<b>Figura 10.</b> Comparativo del RQD para las distintas litologías encontradas en las investigaciones	35
<b>Figura 11.</b> Comparativo del índice de fracturas por metro de corrida en las litologías investigadas.	36
<b>Figura 12.</b> Comparativo de valores promedio de RMR y UCS para las litologías evaluadas	37
<b>Figura 13.</b> Histograma mostrando los valores de RMR para las variaciones de la unidad Sedimentaria	38
<b>Figura 14.</b> Columna estratigráfica Regional	50

<b>Figura 15.</b> Muestra las principales estructuras presentes en la superficie actual del Tajo Calaorco.	54
<b>Figura 16.</b> Vista Panorámica del Tajo Calaorco- Fase 3	55
<b>Figura 17.</b> Estilos de mineralización de Epitermal- Au	58
<b>Figura 18.</b> Estructuras minerales NW aflorando en el tajo Calaorco – La Arena	60
<b>Figura 19.</b> Alteraciones hidrotermales del Opent Pit Calaorco	61
<b>Figura 20.</b> Modelo geológico Open Pit Calaorco- La Arena	65
<b>Figura 21.</b> Sección Geológica del Tajo Calaorco Fase 3, 5 y 7	66
<b>Figura 22.</b> Posición estimada del nivel freático en el Open Pit Calaorco	68
<b>Figura 23.</b> Proyección estereográfica de los polos considerando toda la data estructural disponible mediante los registros de televiewer.	72
<b>Figura 24.</b> Resumen de los sistemas de discontinuidades identificados en base a toda la data obtenida mediante Televiewer.	72
<b>Figura 25.</b> Colección de data de campo en la Cresta de la Pared Suroeste	74
<b>Figura 26.</b> Estereograma de Sistemas Seleccionados de Discontinuidades para toda la data combinada obtenida por el mapeo.	75
<b>Figura 27.</b> Resumen de las familias de discontinuidades	81
<b>Figura 28.</b> Micro- fracturamiento observados en los testigos diamantinos.	83
<b>Figura 29.</b> Envoltentes de Resistencia de Hoek-Brown según Litología	85
<b>Figura 30.</b> Análisis Cinemático Fase 3-4	94
<b>Figura 31.</b> Análisis Cinemático Fase 5	95
<b>Figura 32.</b> Análisis Cinemático Fase 6 y 7	96



**Figura 33.** Secciones críticas para el análisis de estabilidad por Equilibrio Límite –  
Vista en Planta. 97

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Sistema de Clasificación RMR <sub>1976</sub>	11
<b>Tabla 2.</b> Índice de calidad del RQD	13
<b>Tabla 3.</b> Número de incógnitas	23
<b>Tabla 4.</b> Se muestran las Ecuaciones	23
<b>Tabla 5.</b> Matriz de consistencia	27
<b>Tabla 6.</b> Accesibilidad al área de estudio	39
<b>Tabla 7.</b> Dimensiones planeadas para cada fase	56
<b>Tabla 8.</b> Factor de Seguridad Típico y Probabilidad de Falla (PoF) Criterio de Aceptación Aplicado en el Diseño de Talud del Tajo.	56
<b>Tabla 9.</b> Perforaciones Geotécnicas Realizadas	69
<b>Tabla 10.</b> Perforaciones registradas con Televiewer	71
<b>Tabla 11.</b> Sistemas principales del Open Pit Calaorco	73
<b>Tabla 12.</b> Sistemas Seleccionados de Discontinuidades	76
<b>Tabla 13.</b> Relación de Bancos donde se realizó Mapeo Lineal	79
<b>Tabla 14.</b> Parámetros de Resistencia de la Roca Intacta por Unidad Litológica.	85
<b>Tabla 15.</b> Parámetros de Resistencia de Discontinuidades	87
<b>Tabla 16.</b> RQD por unidad Geotécnica	87
<b>Tabla 17.</b> Clasificación Geomecánica de Unidades Geotécnicas del Macizo Rocoso del Tajo Calaorco.	89
<b>Tabla 18.</b> Parámetros de Resistencia del Macizo Rocoso	91
<b>Tabla 19.</b> Parámetros de Resistencia de Discontinuidades	91

<b>Tabla 20.</b> Sectores de Diseño para el Open Pit Calaorco	92
<b>Tabla 21.</b> Resultados de Estabilidad de Talud Global de Pared Final de la Fase 3-4	99
<b>Tabla 22.</b> Resultados de Estabilidad de Talud Global de Pared Final de la Fase 5.	101
<b>Tabla 23.</b> Resultados de Estabilidad de Talud Global de Pared Final de la Fase 6-7.	102

## **CAPITULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Identificación y determinación del problema**

El proyecto consiste de dos tipos de yacimientos principales: el yacimiento de Au-FeOx tipo óxido, que actualmente está siendo desarrollado en el Tajo Calaorco, y el yacimiento de Cu-Au tipo sulfuro, que es un yacimiento más extenso y está emplazado estratigráficamente debajo del yacimiento tipo óxido, ello conlleva a la ampliación del Open pit Calaorco.

Para concretar dicha ampliación se requiere una investigación geológica y geotécnica, datos estructural y posible recursos que validen la continuidad de la operación minera. Asimismo, se requiere la clasificación y caracterización geotécnica, datos de campo y laboratorio del macizo rocoso, que mediante ello se logre determinar los parámetros para el diseño de los bancos, bermas, rampas, etc. datos que garanticen la estabilidad del talud con un factor de seguridad aceptable.

Utilizando una metodología de trabajo a base de estudios minuciosos con parámetros geológicos y geotécnicos, se puede optimizar la explotación minera.

## **1.2. Delimitación de la investigación**

El presente proyecto estará delimitado por la ampliación del tajo Calaorco de la actual Fase 3 hasta la Fase 7, para una profundidad de cerca de 360 m en la pared suroeste; perteneciente a la empresa minera La Arena S.A., ubicado en el distrito de Huamachuco, provincia de Sánchez Carrión y departamento de La Libertad.

## **1.3. Formulación del problema**

### **1.3.1. Problema general**

¿Cuáles son las consideraciones geológicas y geotécnicas que permitan la ampliación del Open Pit Calaorco - La Arena- Región La Libertad-2019?

### **1.3.2. Problemas específicos**

- ¿Se evidencia mineralización que permita la ampliación del Open Pit Calaorco- La Arena- Región La Libertad-2019?
- ¿Cómo se muestra la hidrogeología para la ampliación del Open Pit Calaorco- La Arena- Región La Libertad-2019?
- ¿Qué parámetros de diseño de talud garantizan la ampliación del Open Pit Calaorco- La Arena- Región La Libertad-2019?
- ¿Qué factor de seguridad asegura la estabilidad física del talud para ampliación del Open Pit Calaorco- La Arena- Región La Libertad-2019?

## **1.4. Formulación de objetivos**

### **1.4.1. Objetivo general**

Realizar la investigación geológica para determinar las consideraciones geotécnicas que permitan la ampliación del Open Pit Calaorco - La Arena- Región La Libertad-2019.

#### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Identificar la mineralización que permita la ampliación del Open Pit Calaorco- La Arena- Región La Libertad-2019.
- Realizar el estudio hidrogeológico para la ampliación del Open Pit Calaorco- La Arena- Región La Libertad-2019.
- Determinar los parámetros de diseño de talud que garanticen la ampliación del Open Pit Calaorco- La Arena- Región La Libertad-2019.
- Determinar el factor de seguridad en el análisis de estabilidad física del talud que permita la ampliación del Open Pit Calaorco- La Arena- Región La Libertad-2019.

#### **1.5. Justificación de la investigación.**

El trabajo de tesis se justifica en 3 aspectos:

- **Técnico**, porque proporciona una herramienta guía para determinar las consideraciones geológicas y geotécnicas para diseño de open pit.
- **Seguridad**, porque al realizar el análisis de estabilidad permitirá minimizar posibles eventos no deseados (accidentes del personal, pérdidas de equipos, materiales, entre otros).
- **Económico**, porque al ampliarse las dimensiones del Tajo Calaorco se extenderá la vida útil del Open pit, generando empleo y contribuirá al desarrollo del país.

#### **1.6. Limitaciones de la investigación.**

En la presente tesis se ha tenido limitante de costos, ya que no se ha realizado el estudio de análisis sísmico actual (datos para el análisis de

estabilidad), considerando datos realizados por la empresa especializada Vector en el año 2009 en la Arena; cabe mencionar que las grandes fallas de taludes de mina no han sido atribuidas a los movimientos sísmicos (según literatura técnica - Glass 2000)

Los resultados, interpretaciones, recomendaciones y opiniones expresados en la presente tesis pertenecen al proyecto específico para la ampliación del Open

Pit      Calaorco-      La      Arena-      Región      La      Libertad.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

#### **2.1. Antecedentes de estudio**

El depósito de oro y cobre “La Arena” fue descubierto en los meses de diciembre de 1994 y enero de 1995; en el 2015 Tahoe Resources adquiere el 100% de las acciones; esta empresa encomienda a la empresa especializada Golder Associates S.A. para realizar trabajos en el Open pit Calaorco, toda la data disponible fue utilizada en conjunto con la investigación realizada para actualizar el diseño de los taludes del tajo para las Fases 3 a 7.

#### **2.1.2. Antecedentes internacionales**

Ríos R.(2017), concluye “Las Cruces mine holds a unique identity with respect to its complex geological sequencing and the widely varying geotechnical characteristics of those sequences. It is one of the deepest mines in soft rocks in the world with the current pit configuration taking it to near 250 metres depth. This thesis represents a compendium of the engineering improvements undertaken at Las Cruces mine over an 8-year period to ensure continued stability of the pit. This timeline effectively took the mine from its early first phase



development, through to its current configuration with the final phase under development.”

Latorre Nanjarí E., 2015, concluye “El problema de encontrar el límite de pit último ha sido largamente estudiado por varios investigadores en las últimas cuatro décadas; y ha sido resuelto eficientemente por Lerchs y Grossmann en 1965. Sin embargo, hasta el día de hoy aún no se ha resuelto el problema de encontrar el límite de pit económico que maximiza un VPN.”

Parra Reti A.(2015), Concluye “En la etapa de optimización se obtuvo como resultado que las variables que más diferencias presentaron entre los distintos escenarios de factores de seguridad aceptables considerados, fueron la razón estéril-mineral y el beneficio marginal. Se pudo concluir que la razón estéril-mineral tiende a aumentar a medida que se considera un FS aceptable mayor, mientras que el beneficio marginal disminuye a medida que se considera un FS aceptable mayor (...).”

Richard Sillitoe- traducción (2010), concluye “Los sistemas de Porphyry Cu albergan algunos de los tipos de mineralización más ampliamente distribuidos en los límites de placas convergentes” y menciona que “Los depósitos de Cu ± Au ± Mo del pórfido se centran en las intrusiones (...).”

Casanova & Valencia (2016), Colombia en la tesis “Análisis y diseño de los taludes en la mina a cielo abierto de diabasa de triturados El Chocho”, trabajo que fue orientado a medir los factores de seguridad de cada talud que conforman la mina a cielo abierto, en él se infiere que con ayuda del RMR, la masa rocosa que conforma los taludes es de buena a muy buena calidad, los tipos de rotura más frecuentes son las planares y en cuña, donde sus factores de seguridad son considerados altos con respecto a una explotación minera, donde es común tener

como factor cercano a uno. También se dice que el parámetro JRC es el que más aporta a la estabilidad de la masa rocosa, y para reducir la ocurrencia de desprendimientos de rocas se propone un control con una malla anclada o un anclaje de cables para que se evite que ocurra algún tipo de rotura en el talud.

### **2.1.2. Antecedentes Nacionales**

Miguel A. (2016), concluye que en el distrito minero de Huamachuco se ha comprobado la existencia de yacimientos de Alta Sulfuración, Baja Sulfuración y Pórfidos de Cu – Au. Los principales controles mineralización aurífera son: litológico, estructural, mineralógico y metalogenético. Reyes A.,2023, concluye que acuerdo con las evaluaciones de estabilidad en las zonas críticas del Tajo Norte se determinó que el factor de seguridad (FS) en condiciones Pseudoestática no drenadas fueron 1.296 en el diseño óptimo con el que se realizó el plan de minado.

Tamayo S. (2017), Las consideraciones geométricas, del yacimiento están principalmente ligadas a su tamaño, a las consideraciones geomecánicas, ratio de minado, tamaño de equipos, etc, sin embargo, en operaciones grandes; de cobre, oro, etc, están siendo estandarizadas, en función a la altura de banco usual de 15 metros, (...).

Huamán J. y Huamanlazo Y. (2019), concluyen que la obtención de los parámetros geotécnicos y geomecánicos son determinantes para el análisis de estabilidad y comportamiento del talud continuamente. Para el caso de parámetros geotécnicos es importante conocer los valores de cohesión, ángulo de fricción y peso específico, para el caso de parámetros geomecánicos es importante conocer la resistencia y discontinuidades de la roca.

Yalan L. y Valenzuela S. (2020) concluye que en base a la información estructural procesada y validada, se ha procedido con el análisis cinemático en los sectores de análisis. Para cada sector de análisis, se ha comprobado, de acuerdo con lo esperado, valores altos de probabilidad de ocurrencia de falla donde ha ocurrido eventos de caída de rocas. (...).

### **2.1.3. Antecedentes Locales**

Corbett, G.(2011), Determinó que el depósito La Arena es un yacimiento de intrusiones polifásicas mineralizadas las cuales intruyen en la roca caja conocida como pórfido temprano “early”. No relaciona la generación del pórfido con el Epitermal de Calaorco.

Mendoza Gil (2013); concluye que en el desarrollo evolutivo del pórfido “La Arena”, se determinaron tres fases intrusivas, así se tiene: Pórfido Principal (MFPA), que presenta el mayor desarrollo de mineralización en Cu y Au. El Pórfido Intramineral (IFPA), este presenta un desarrollo débil a nulo de stockwork cuya mineralización es de moderada a escasa y el Pórfido Tardío (LFPA) el cual es estéril.”

Hedenquist, J. (2012), Hace referencia que el pórfido temprano “early” es el mismo que el cuerpo de mineralización principal, cortado por distintas fases de eventos intraminerales. Relaciona la generación del pórfido con el Epitermal de Calaorco.

Durante el año 2013 se realizó 197 perforaciones y durante el 2014 se realizaron 141 perforaciones. En base a estos datos y las nuevas perforaciones del 2015 al 2017 se hizo la estimación de recursos del Tajo Calaorco, dando como resultado el incremento de los recursos de mineral. Para la Fase de Factibilidad, Golder ha realizado las evaluaciones de estabilidad de los taludes del Tajo

Calaorco a partir de investigaciones geotécnicas realizados en el 2015 – 2016, además se ha revisado, interpretado y considerado las informaciones geotécnicas desarrolladas por Vector Vector Perú S.A.C. (2009-2010) y Piteau Associates (2012). Asimismo, se ha revisado la evaluación de la Fase 1, 2 y 3 realizados en 2014 por la empresa George, ORR and Associates (Australia) Pty Ltd.

## **2.2. Bases Teóricas- Científicas**

### **2.2.1 Consideraciones Geológicas**

Se menciona la litología, fracturas o discontinuidades, mineralogía y alteraciones, y como resultado de diferentes procesos geológicos, se produce la concentración de una o varias sustancias útiles, que según su cantidad, calidad y elementos de ocurrencia; su explotación es económicamente rentable.

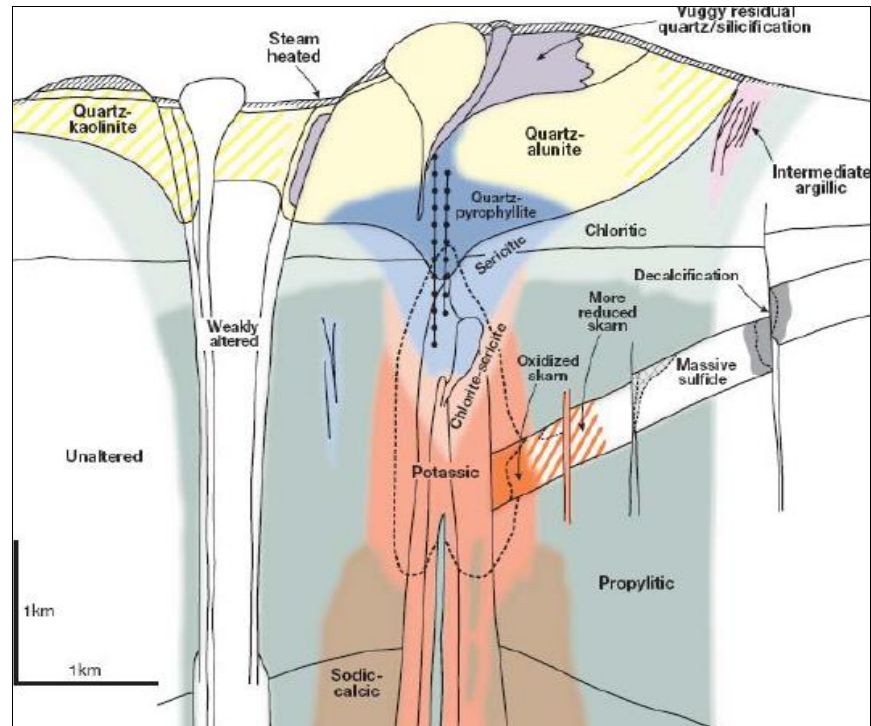
#### **Alteración Hidrotermal**

En el yacimiento de La Arena se puede observar las siguientes alteraciones:

- Alteración Argílica consiste en minerales arcillosos kaolinita, montmorillonita y piritita es menos abundante (Richard J., 2012).
- Alteración Argílica Avanzada con intensa acidez, se desarrolla cerca de la superficie, consiste en minerales arcillosos (kaolinita y cuarzo debajo de los  $\sim 300^{\circ}\text{C}$ , pirofilita, andalucita y cuarzo arriba de los  $\sim 300^{\circ}\text{C}$ ); alunita, diáspora y residual sílica vuggy (Richard J, 2012).
- Alteración fílica, consiste en cuarzo, sericita y piritita, a menudo con menor presencia de clorita, illita, rutilo, carbonatos y sulfatos (son raros). La temperatura de formación de esta alteración está entre  $\sim 250\text{-}350^{\circ}\text{C}$ . (Richard J.,2012)

Figura 1

*Zoneamiento de alteraciones hidrotermales en los depósitos tipo pórfido*



Nota: Fuente Sillitoe, 2010.

### Mineralización

Los yacimientos minerales auríferos, son vetas y/o cuerpos geológicos mineralizados, de los cuales podemos extraer en forma rentable el oro, el mismo que se encuentra, por lo general, como un metal nativo, formando aleaciones con el cobre, la plata, el osmio, el indio y otros elementos, en diferentes proporciones. También el oro se encuentra asociado a otros minerales como el cuarzo, sulfuros (pirita, calcopirita, arsenopirita, galena, esfalerita, etc.), calcita, baritina y otros.

#### 2.2.2 Evaluación Geotécnica

Para realizar la caracterización del macizo rocoso, es necesario establecer los siguientes conceptos fundamentales:

## Clasificación del Macizo Rocoso.

El sistema de clasificación RMR (Bieniawski, 1976) combina una serie de parámetros a fin de obtener una valoración que es indicativa de la calidad de la roca. Los parámetros de evaluación incluyen el UCS, RQD, espaciamiento de fractura, JCR, y condición de agua subterránea. En la Tabla 1 se muestra la valoración de cada parámetro, al cual se le asigna una clasificación numérica, y la suma de las valoraciones resulta en un RMR entre 0 (macizo rocoso de calidad Muy Mala) y 100 (macizo rocoso de calidad Muy Buena).

Tabla 1

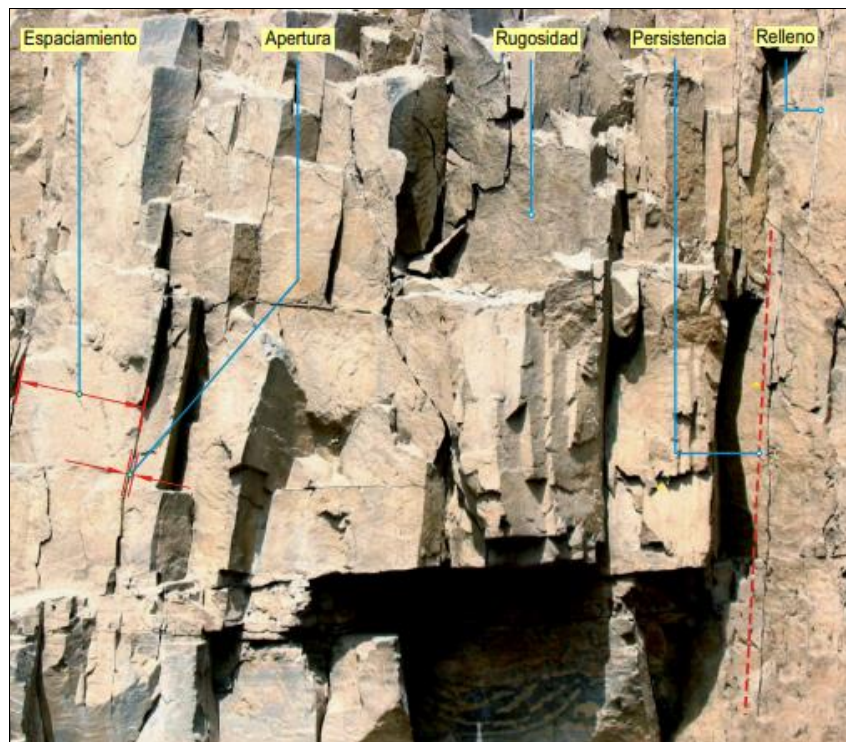
### Sistema de Clasificación RMR 1976

Parámetro	Rango de Valores por Parámetro y (Clasificación)						
Clasificación UCS	>200 Mpa (15)	100-200 Mpa (12)	50-100 Mpa (7)	25-50 Mpa (4)	10-25 (2)	<3-10 (1)	1-3 (0)
Clasificación RQD	90-100% (20)	75-90% (17)	50-75% (13)	25-50% (8)	<25% (3)		
Clasificación de Espaciado de Junta	>3m (30)	1-3 m (25)	0.3 -1 m (20)	50-300 mm (10)	<50 mm (5)		
JCR	Muy rugosa	Débilmente rugosa	Débilmente rugosa	Espejos de Falla	Panizo (Gouge fault)		
	No hay separación Roca dura en las paredes	Separación <1mm Roca dura en las paredes	Separación <1mm Roca suave en las paredes	Separación o salbanda <5 mm	Separación >5 mm		
	(25)	(20)	(12)	(6)	(0)		
Clasificación de agua Subterránea	Completamente Seco (10)		Húmedo (7)	Presión Moderado (4)	Severo (0)		
<b>Valor Total de RMR (Suma de Clasificaciones para 5 Elementos)</b>							
Clasificación	100-81	80-61	60-41	40-21	20-0		
Descripción (Clase del macizo)	I-Muy Bueno	II- Bueno	III- Aceptable	IV- Malo	V- Muy Malo		

Nota: Fuente Golder, 2016.

## Figura 2

### *Parámetros para la descripción de las estructuras*



*Nota:* Fuente

[https://www.academia.edu/12631866/manual\\_conociendo\\_la\\_roca](https://www.academia.edu/12631866/manual_conociendo_la_roca); pg.13.

#### ▪ **Parámetro: Cálculo del R.Q.D**

La calidad de roca RQD se puede determinar:

1. Trozos de rocas testigos mayores de 10 cm recuperados en sondeos.
2. Número total de discontinuidades que interceptan una unidad de volumen ( $1\text{m}^3$ ) del macizo rocoso, definido mediante el parámetro  $J_v$ .
3. Teóricamente a partir de la densidad de las discontinuidades o frecuencia de las discontinuidades ( $\rho$ ) por Hudson, 1989.

Para el primer caso se utiliza la ecuación A:

$$R. Q. D. = \frac{\sum \text{ripios} > 10\text{cm}}{\text{total perforacion}} \dots\dots\dots A$$

Para el segundo caso se utiliza la ecuación B:

$$R. Q. D. = 115 - 3.3 * Jv \dots\dots\dots B$$

Para el tercer caso se utiliza la ecuación C

$$R. Q. D. = 100 * e^{0.1\lambda} * (0.1\lambda + 1) \dots\dots\dots C$$

El valor obtenido en las fórmulas A, B o C son comparados con la siguiente tabla:

Tabla 2

Índice de calidad del RQD

ÍNDICE DE CALIDAD R.Q.D. (%)	CALIDAD	VALORACIÓN
0 -25	Muy mala	3
25 - 50	Mala	8
50 - 75	Regular	13
75 - 90	Buena	17
90 - 100	Excelente	20

Nota: Fuente Norly B., Francisco B.,2012

### 2.2.3 Definición de Diseño de Taludes

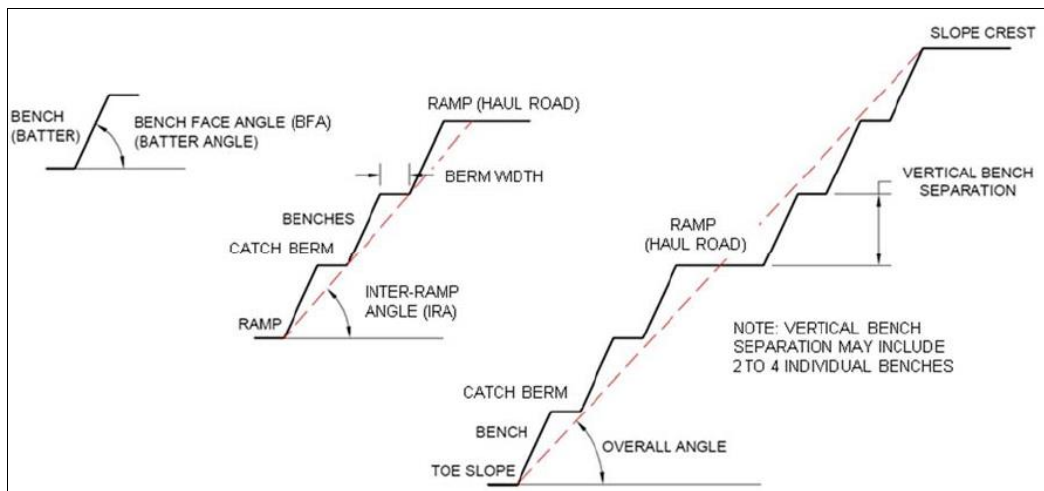
El talud del tajo tiene tres componentes principales: configuración del banco, talud de inter-rampa y talud global, como se ilustra en la **Figura 3**.

La configuración del banco es definida por la separación vertical de bancos (o altura de banco), con anchos de berma y ángulo de cara de banco (o Batter). El talud inter-rampa es formado por una serie de bancos ininterrumpidos y el talud global (o talud general) está formado por una serie de taludes inter-rampa separados por rampas o plataformas geotécnicas.



Figura 3

Representación esquemática de ángulo de cara del banco (BFA), ángulo inter-rampa (IRA) y ángulo de Talud Global (OSA)



Nota: Fuente Golder,2016

### Altura de Banco

La Arena en base a la naturaleza del yacimiento, plan de producción, voladura y consideraciones de equipos de operación (equipo de perforación y carguío) ha planificado utilizar bancos de 8 m de altura para fases intermedias y bancos dobles en el tajo final, es decir, la pared final estará constituida por bancos de 16 m de altura.

### Ancho de Berma

El ancho mínimo de la berma deberá ser lo suficiente para retener aproximadamente 70% a 80% del potencial volumen fallado (o roto) ocasionado por fallas planeares o de cuñas de los bancos de arriba. Un criterio para el diseño inicial de anchos de bancos es el criterio modificado de Ritchie (SME, 1992), donde:

$$\text{Ancho de Berma (m)} \approx 4.5 \text{ m} + 0.2 \times \text{Altura de Banco (m)}$$

Los anchos de bermas son frecuentemente optimizados. Considerando altura de bancos de 16 m, el ancho de berma mínimo recomendado sería de 7.7 m.

Es necesario incrementar al ancho la potencial rotura regresiva ('back-break') de la cresta debido a los daños de la voladura. Para esta etapa de proyecto se recomendaría un mínimo de 1.8 m, generando un ancho mínimo de 9.5 m. El valor de back-break debe ser calibrado con mediciones hechas en los bancos y bermas actualmente expuestos en el tajo.

El ancho puede ser incrementado dependiendo de las características y discontinuidades del macizo rocoso, con potencial generación de bloques por cuñas que pueden llenar la berma.

Si la voladura controlada con pre-corte y voladura amortiguada (trim or buffer) no es implementado, y el desquinche (scaling) no es bien ejecutado, entonces el ancho tiene que aumentar debido a que el daño de la voladura puede ser significativo.

### **Ángulo de Cara del Banco y Ángulos Inter-Rampa**

Debido a la calidad del macizo rocoso y su posible variación en términos de resistencia y grado de fracturamiento, se consideró ángulos de cara de bancos que varían de 60° (unidad Intrusiva) hasta 75° (unidad Sedimentaria). Tanto los ángulos de cara de banco como los ángulos inter-rampa son evaluados en las próximas secciones.

#### **2.2.4 Condiciones Sísmicas**

En términos de carga sísmica debido a terremotos, las siguientes observaciones pueden ser consideradas:

- ✓ De acuerdo con el Artículo 230 de D.S N° 055-2010-EM: “La pendiente general del tajo será establecida bajo condiciones pseudo-estáticas asumiendo las máximas aceleraciones sísmicas y lluvias para un período de retorno de 100 años”. Sin embargo, es una aproximación típica que el Ministerio de

Energía de Minas utiliza un periodo de retorno de 475 años y ha aprobado proyectos con esta aproximación.

- ✓ Las grandes fallas de taludes de mina no han sido atribuidas a los movimientos sísmicos, como ha sido documentado en la literatura técnica (Glass 2000). Mientras no hay experiencia de una falla de talud debido a un sismo, algunas compañías establecen como regla un factor de seguridad mayor que uno (1) como criterio de aceptación.
- ✓ Aunque el sismo produce fuerzas verticales y horizontales, es común utilizar solamente el coeficiente horizontal en el análisis de estabilidad pseudo-estático.
- ✓ Basado en las consideraciones descritas y en referencia del Estudio de Peligro Sísmico del Proyecto La Arena (Vector 2009), para un período de retorno de 475 años se ha considerado un coeficiente sísmico horizontal de  $K_h = 0,13g$  para el análisis pseudo-estático de diseño de taludes del Tajo Calaorco, calculado como el 50% de la aceleración pico estimada (PGA) en el sitio.

### 2.2.5 Análisis Cinemático

#### Mecanismos de falla estructuralmente controlados

Las fallas controladas estructuralmente ocurren como resultado del desplazamiento a lo largo de discontinuidades geológicas pre-existentes. Los tres mecanismos básicos de falla en taludes de roca controlados estructuralmente son: fallas planares, falla tipo cuña y fallas de volcamiento o toppling, descritas a continuación:

- **Una falla planar** puede ocurrir cuando una discontinuidad geológica buza a favor del talud con un ángulo que es menor que la inclinación del talud y

mayor que el ángulo efectivo de fricción de la discontinuidad. Las fallas planares sólo desarrollarán una extensión significativa si el rumbo de la discontinuidad está en el rango de  $\pm 20^\circ$  del rumbo del talud de roca.

- **Una falla tipo cuña** ocurre cuando dos o más discontinuidades geológicas se intersectan para formar una cuña inestable. Para que esta cuña se desplace, la línea de intersección de la cuña debe buzarse a favor del talud a una inclinación menor que la inclinación de la cara del talud, pero mayor que el ángulo de fricción efectivo a lo largo de las discontinuidades. Las fallas tipo cuña solo desarrollarán una extensión significativa si el azimut de la línea de intersección está entre  $\pm 45^\circ$  de la dirección del buzamiento de la cara del talud.
- **Una falla tipo vuelco o toppling** puede desarrollarse cuando el macizo rocoso contiene estructuras geológicas múltiples, paralelas, con buzamiento empinado, tales como fallas o juntas / foliaciones continuas que se orientan paralelamente cerca a la orientación de la cara del talud de roca. La falla tipo vuelco se puede generar únicamente cuando el rumbo de las estructuras está entre  $\pm 20^\circ$  del azimut de la cara del talud de roca. Cinemáticamente, el potencial de falla tipo vuelco es determinado por el espaciamiento (separación), inclinación y continuidad de los bloques y el ángulo del talud. Espaciamiento amplio y/o estructuras discontinuas mitigarán el potencial de volcamiento.

La frecuencia y magnitudes de las fallas estructuralmente controladas son directamente afectadas por la continuidad y espaciamiento de las discontinuidades donde el desplazamiento pueda ocurrir.

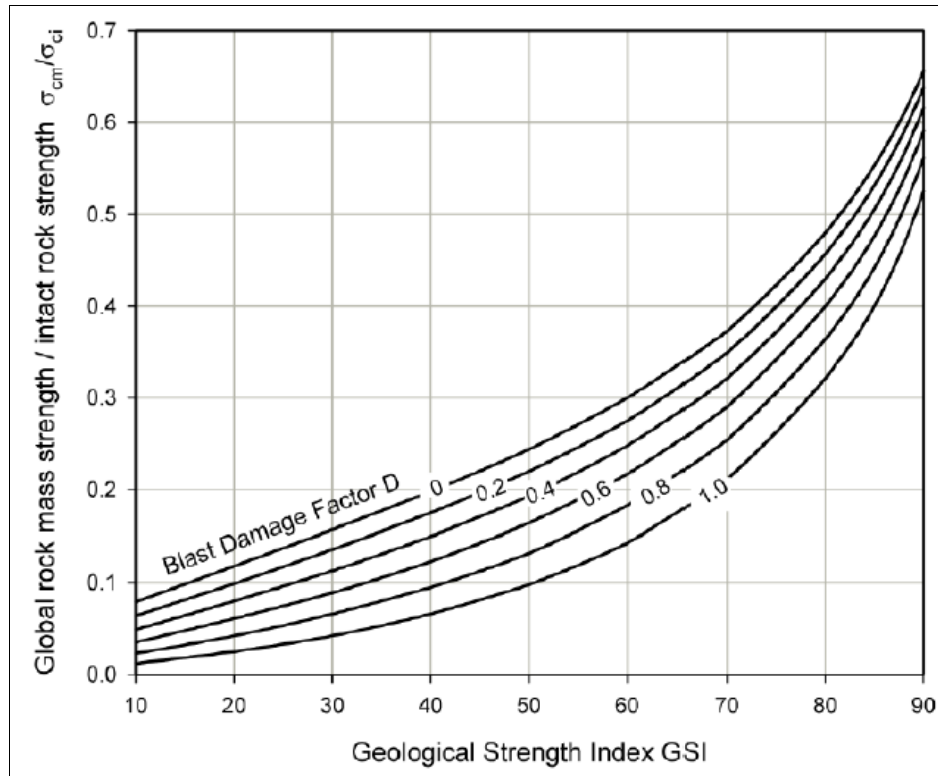
### 2.2.6 Daño (o Disturbancia) de Voladura

El factor D representa el daño ocasionado por la voladura en la envolvente de resistencia del macizo rocoso de Hoek & Brown. El factor D típicamente varía desde cero (0), donde la roca no está disturbada a uno, (1), para un tajo abierto donde los taludes están sujetos a una perturbación significativa debido a la voladura de producción no controlada, y también debido al alivio de esfuerzos de la excavación de rocas. En el caso de que se practique voladura controlada, el factor de D puede reducirse a 0,7.

En la **figura 4** muestra el impacto de la voladura en la resistencia del macizo rocoso. Observar que la reducción de la resistencia es mayor para macizos de Mala calidad (i.e., GSI o  $RMR_{1976} < 40$ ). Por ejemplo, para el macizo con GSI = 40, la resistencia se reduce de 0.2 a 0.05 veces la resistencia intacta, para D variando de 0 a 1, respectivamente, o sea tiene el potencial de reducir hasta 75% la resistencia del macizo.

#### Figura 4

Variación de la resistencia del macizo rocoso en función del daño de la voladura



Nota: Representado por el factor D, Hoek ,2012

El otro aspecto por considerar es el ancho de la franja dañada por la voladura detrás de la cara del talud. Hoek y Karzulovic (2000) sugirió que el ancho vario +de 0.5 a 2.5 H, donde H es la altura del banco, dependiendo si la voladura es controlada (i.e., 0.5 H) o no (hasta 2.5 H). Esto muestra la importancia de implementarse una voladura controlada con pre-corte y/o voladura amortiguada ('trim or buffer').

#### 2.2.7 Análisis de Estabilidad

Se basa en determinar el factor de seguridad que posee el talud en estudio. Este factor se halla comparando los esfuerzos a los que está sometido el talud y los esfuerzos que éste puede soportar. Para taludes relativamente homogéneos, la

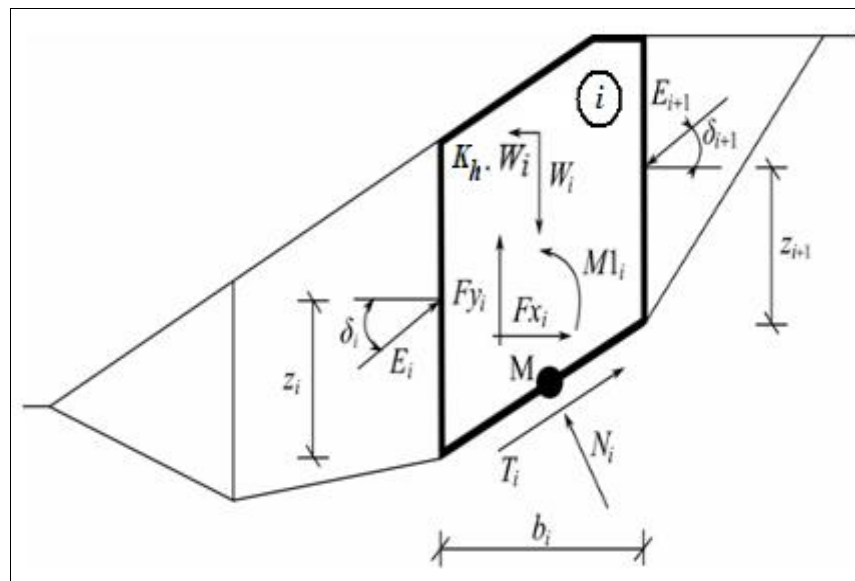
superficie de falla se aproxima a un arco circular, a lo largo del cual las fuerzas de ruptura y resistentes pueden ser analizadas.

### Método Morgenstern-Price

Es un método general de cortes realizados en la base del equilibrio límite. Debe satisfacer el equilibrio de fuerzas y momentos actuando en bloques individuales. Los bloques son creados dividiendo el suelo sobre la superficie terrestre dividiendo planos. Las fuerzas actuando en bloques individuales se muestran en la siguiente **Figura 5**.

**Figura 5**

*Esquema estático- Método Morgenstern- Price*



*Nota:* Fuente Morgenstern & Price, 1965

Los siguientes supuestos se introducen en el método Morgenstern-Price para calcular el equilibrio límite de las fuerzas y momento de los bloques individuales:

- Los planos divididos entre bloques son siempre verticales
- La línea de acción de peso del bloque  $W_i$  pasa por el centro del segmento  $i$ th de la superficie de deslizamiento representada por el punto  $M$

- La fuerza normal  $N_i$  actúa en el centro del segmento  $i$  de la superficie de deslizamiento, en el punto  $M$ .
- La inclinación de las fuerzas  $E_i$  que actúan entre los bloques es diferente en cada bloque ( $\delta_i$ ) al punto extremo de la superficie de deslizamiento  $\delta = 0$

### **Método del Equilibrio Límite**

Asume la validez del criterio de falla de Coulomb a lo largo de la superficie de falla asumida. Se consideran diagramas de cuerpo libre para hacer actuar las fuerzas asumidas o conocidas. El esfuerzo cortante inducido en la superficie de falla asumida es comparado con el esfuerzo resistente del material. El método de las rebanadas, que considera un análisis de falla rotacional, es la solución más comúnmente utilizada dentro del Método del equilibrio Límite.

Este método se basa en el cálculo del factor de seguridad del talud en estudio sometiendo a comparación la resistencia al corte disponible y el equilibrio de esfuerzos de corte:

$$FS = \text{Resistencia al corte disponible} / \text{Equilibrio de esfuerzos de corte}$$

El factor de seguridad hallado nos indica lo siguiente:

- Si el factor de seguridad es menor a la unidad ( $FS < 1$ ), el talud es inestable o ya colapsado.
- Si el factor de seguridad es mayor a la unidad ( $FS > 1$ ), el talud es estable.
- Si el factor de seguridad es menor a la unidad ( $FS = 1$ ), el talud presenta el riesgo de una falla inminente.

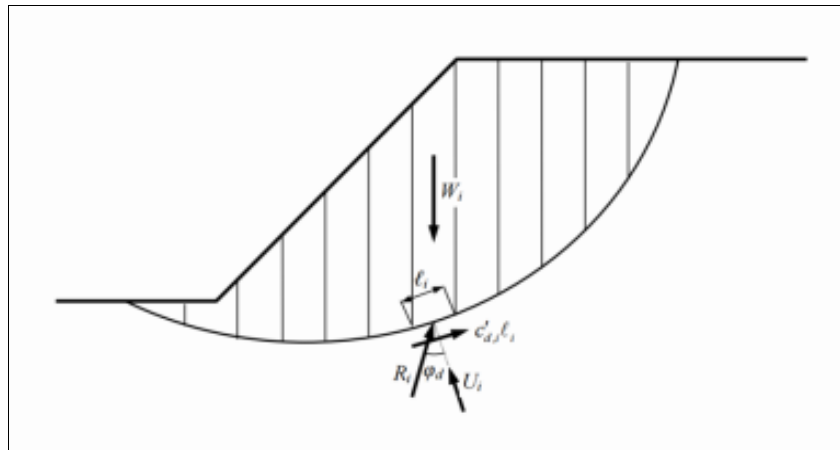
Los métodos para determinar el factor de seguridad con geometría curva son el método de la masa total y el método de las rebanadas.



**Método de las rebanadas.** - Este método fue desarrollado con el objetivo de tener mayor precisión en cálculo del FS, para ello la masa de deslizamiento se divide en rebanadas verticales y cada una de ellas deberá satisfacer la condición de equilibrio. Entre las ventajas de este método se puede comentar que se tiene una mejor distribución de esfuerzos normales sobre la superficie de deslizamiento. Además, es aplicable a situaciones donde se tenga terreno heterogéneo. Para ello solo es necesario realizar una buena distribución de rebanadas. No obstante, la desventaja del método es que estáticamente es indeterminado (Según Pérez de Agreda E. Alonso, 2005).

**Figura 6**

*División de rebanadas para aplicar el método de equilibrio limite*



*Nota:* Fuente Pérez de Agreda E. Alonso, 2005, pág. 42.

Entre las incógnitas se tiene, siendo  $n$  el número de rebanadas.

Tabla 3

*Número de incógnitas*

Descripción	Nº de incógnitas
Factor de seguridad (F)	1
Fuerzas efectivas normales en la base (AN'), (la presión de agua, U, es conocida)	n
Posición de la fuerza normal efectiva en cada rebanada (a)	n
Fuerza resistente disponible en la base de cada rebanada ( $S = Sr/F$ )	n
Fuerzas normales en los bordes laterales (E)	n-1
Fuerzas tangenciales en los bordes laterales (X)	n-1
Localización de los puntos de aplicación de las fuerzas normales en los bordes laterales (y)	n-1
<b>Total</b>	<b>6n-2</b>

*Nota:* Fuente Pérez de Agreda E. Alonso, 2005, pág. 41.

Tabla 4

*Se muestran las Ecuaciones*

Descripción	Nº de incógnitas
Ecuaciones de equilibrio de fuerzas según dos direcciones independientes	2n
Ecuaciones de equilibrio de momentos	n
Relaciones de rotura entre las tensiones normales y tangenciales en la línea de rotura	n
Total	4n

*Nota:* Fuente Pérez de Agreda E. Alonso, 2005, pág. 42.

Por lo tanto, queda  $2n-2$  incógnitas y para resolverlas se tendrá que realizar algunas suposiciones. La primera es suponer que la presión intersticial actúa exactamente en el centro de la rebanada, por lo tanto, las incógnitas se reducen a  $n-2$ . La segunda suposición tiene que ver con las fuerzas que actúan en los bordes de las rebanadas y éstas varían según el método: Fellenius, Janbu, Morgenstern y Price, Spencer y Bishop, siendo este último el más empleado.

### 2.3. Definición de términos básicos.

**Buzamiento (Dip).** - Es el ángulo que forma respecto de la horizontal un plano medido este en una dirección estrictamente perpendicular a la dirección del plano.

**Dirección del buzamiento (Dip Direction).** - Se define como la dirección respecto al norte geográfico de la representación horizontal de la línea de máxima pendiente de un plano inclinado.

**Deslizamientos.** - Son movimientos de masas de suelo o roca pendiente abajo, que se desplazan respecto a otro sustrato firme por medio de una o varias superficies de falla, la masa generalmente se desplaza en conjunto pudiendo ser este movimiento lento o muy resuelto.

**Estructura.** - Esta referido a la disposición, arreglo y cohesión de los materiales constituyentes de un determinado cuerpo rocoso.

**Geología.**- Es la ciencia que estudia la composición y estructura tanto interna como superficial del planeta Tierra, y los procesos por los cuales ha ido evolucionando a lo largo del tiempo geológico.

**Geología estructural.**- Es la rama de la geología que se dedica a estudiar la corteza terrestre, sus estructuras y su relación en las rocas que las contienen. Estudia la geometría de las formaciones rocosas y la posición en que aparecen en superficie. Interpreta y entiende el comportamiento de la corteza terrestre ante los esfuerzos tectónicos y su relación espacial, determinando la deformación que se produce, y la geometría subsuperficial de estas estructuras.

**Geotecnia.**- Es la rama de la Ingeniería geológica e Ingeniería civil que se encarga del estudio de las propiedades mecánicas, hidráulicas e ingenieriles de los materiales provenientes del medio geológico, aplicadas a las obras de Ingeniería Civil. Los ingenieros geotecnistas investigan el suelo y las rocas por debajo de la superficie para determinar sus propiedades ingenieriles y diseñar las cimentaciones para estructuras tales como edificios, puentes, presas y centrales hidroeléctricas. Acciones en la rama vial como la estabilización de taludes, diseño

y construcción de túneles y carreteras, diseño y construcción de cualquier tipo de estructura de contención para la prevención de riesgos geológicos, etc.

**Hidrogeología.-** Es una rama de las ciencias geológicas que estudia las aguas subterráneas en lo relacionado con su origen, su circulación, sus condicionamientos geológicos, su interacción con los suelos, rocas.

**Macizo.** - Termino usado en geotecnia para referirse a áreas rocosas cuyo núcleo está constituido de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias.

**Muestra.** - Pedazo de roca o mineral, de un tamaño y peso adecuado que pueda servir de elemento del cual se pueda obtener toda la información necesaria para realizar un estudio propuesto.

**Resistencia o Dureza.** - La determinación estándar del IRS, es por medio del ensayo de resistencia a la compresión no confinada (UCS); no obstante, el IRS puede estimarse a partir de medidas empíricas: martillo de geólogo, martillo de Schmidt y ensayos carga puntual (PLT). Debido a la gran variabilidad de los datos asignados durante la descripción de sondajes, se han considerado los resultados de UCS de laboratorio.

**Sismología.-** Es la rama de la geofísica que se encarga del estudio de terremotos y la propagación de las ondas elásticas (sísmicas), que estos generan, por el interior y la superficie de la Tierra. Un fenómeno que también es de interés es el proceso de ruptura de rocas, ya que este es causante de la liberación de ondas sísmicas.

**Talud:** Superficie inclinada del terreno que se extiende de la base a la cumbre de este.

## **2.4. Formulación de Hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis General**

Las consideraciones geológicas y geotécnicas garantizan la ampliación del Open Pit Calaorco - La Arena- Región La Libertad-2019.

### **2.4.2. Hipótesis Específico**

- Existe mineralización económicamente explotable que permitirá la ampliación del Open Pit Calaorco- La Arena- Región La Libertad-2019.
- El estudio hidrogeológico determinará la posición del nivel freático del área de estudio para ser usado en el modelo geotécnico.
- Los parámetros de diseño de talud tales como: altura de banco, ancho de berma, ángulo de cara del banco, ángulos inter-rampa y ángulo de talud global garantizan la ampliación del Open Pit Calaorco- La Arena- Región La Libertad-2019.
- El factor de seguridad garantizará la estabilidad física del talud par la ampliación del Open Pit Calaorco- La Arena- Región La Libertad-2019.

## **2.5. Identificación de Variables**

### **a. Variable Independiente**

- Consideraciones Geológica y geotécnicas.

### **b. Variable Dependiente**

- Ampliación del Open pit Calaorco-La Arena- región La Libertad-2019.

## **2.6. Definición Operacional de variables e indicadores.**

Tabla 5

*Matriz de consistencia*

VARIABLES		INDICADORES	DIMENSIÓN	INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS
Independiente	Consideraciones geológicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Tipo de unidades litoestratigráficas</li> <li>- Dominios estructurales</li> <li>- Recursos Minerales</li> <li>-Tipo de alteración</li> <li>- Tipo de Yacimiento</li> </ul>	Block caracterizado	Mapeo geológico, planos, secciones, libreta de campo y laptop.
	Consideraciones geotécnicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estudio hidrogeológico</li> <li>- RMR</li> <li>- RQD</li> <li>- Angulo de fricción y cohesión del macizo rocoso</li> <li>- Resistencia compresiva de la roca intacta (<math>\sigma_i</math>)</li> <li>- Resistencia a la tracción (<math>\sigma_t</math>)</li> <li>- Parámetro del criterio de falla Hoek-Brown (mi)</li> <li>- Condición sísmica</li> <li>- Análisis de estabilidad</li> </ul>	Caracterización Geotécnica Open Pit Calaorco	Mapeo geotécnico, libreta de campo, hojas de cálculo, ensayos de laboratorio, planos, datos tomados por la empresa, bibliografía.
Dependiente	Ampliación del Open pit Calaorco-La Arena- región La Libertad	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Factor de seguridad</li> <li>- Aspectos técnicos</li> <li>- Dimensiones de ampliación</li> <li>- Parámetros de diseño</li> </ul>	Estabilidad de Taludes Open Pit Calaorco	Uso de programas: Excel, AutoCAD civil 2014, Dips, Roc Data y Slide de Rocscience, datos tomados por la empresa, bibliografía.

*Nota:* Fuente elaboración propia.

### **CAPITULO III**

#### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

##### **3.1. Tipo de Investigación**

La investigación es aplicada, debido a que se aplican los conocimientos logrados mediante toma y procesamiento de datos para el diseño de taludes de la ampliación del Open Pit Calaorco.

##### **3.2. Nivel de Investigación**

El nivel de investigación es de carácter **exploratorio, descriptivo y analítico**. Todo ello mediante la recopilación, procesamiento, interpretación de datos e información de forma cualitativa y cuantitativa; pasando la etapa analítica y finalmente a la etapa de evaluativa.

Se considera exploratorio, porque se clasifica variables cualitativas y cuantitativas de las condiciones y características geológicas y geotécnicas del macizo rocoso estudiado.

Es descriptivo toda vez que se analizan y describen las variables geológicas y geotécnicas que condicionan a la roca y el macizo rocoso para evaluar y diseñar.

Se considera analítico por que se analiza criterios y realidades desconocidas que predispondrán la ampliación del Open pit.

Investigación exploratoria. <sup>1</sup> “Este tipo de investigaciones se puede utilizar tanto el método cualitativo, como cuantitativo. En el alcance exploratorio, la investigación es aplicada en fenómenos que no se han investigado previamente y se tiene el interés de examinar sus características. (...)”

<sup>2</sup>“La investigación descriptiva, según se mencionó, trabaja sobre realidades de hecho y su característica fundamental es la de presentar una interpretación correcta. (...)”.

Investigación analítica. <sup>3</sup>“Es un tipo particular de investigación que requiere el uso de la capacidad de pensamiento crítico y la evaluación de los datos y la información pertinentes para el proyecto en cuestión.”

### **3.3. Métodos de Investigación**

La investigación se aplicaron los métodos analítico y aplicativo, toda vez que la metodología empleada comprende la recopilación y toma de datos, caracterización, análisis, procesamiento y generación de información del presente estudio, las mismas que están de acuerdo con las normas y reglamentos.

Se desarrollaron 3 fases de trabajo:

---

<sup>1</sup> <https://www.studocu.com/latam/document/universidad-dominicana-om/ingenieria-de-servicio/investigacion-exploratoria-39282834849i5995868unj/16430945>

<sup>2</sup> <http://tesisdeinvestig.blogspot.com/2011/05/tipos-de-investigacion.html#:~:text=Hist%C3%B3rica%20Descriptiva%20y%20Experimental,%3A%20Hist%C3%B3rica%20Descriptiva%20Experimental.>

<sup>3</sup> <https://www.questionpro.com/blog/es/investigacion-analitica/>



### **3.3.1. Fase I: Planificación**

Esta fase se realiza previo al trabajo de campo, donde se recopila toda la información existente del área de estudio, entre ellos planos topográficos, planos geotécnicos, planos geológicos, secciones longitudinales y transversales.

### **3.3.2. Fase II: Campo**

Este proceso implica: muestreo de rocas para su posterior análisis, toma de datos de alteraciones, estructuras de veta, falla, rumbo, buzamiento, potencia, secciones a mano alzada, croquis, fotografías etc., se ha registrado en una base de datos general en hoja Excel, en forma diaria al término de la jornada en campo.

Los datos de las discontinuidades principales fueron obtenidos de:

- Perforaciones geotécnicas con orientación de testigos.
- Registros con televiewer.
- Mapeo por fotogrametría.
- Mapeo de bancos (Mapeo de líneas de detalle)

La data a manera de comprobar la veracidad y muestra se encuentra en los Anexos: N°1 , N°2 ,N°3 y N°4 dado que toda la información disponible es muy amplia.

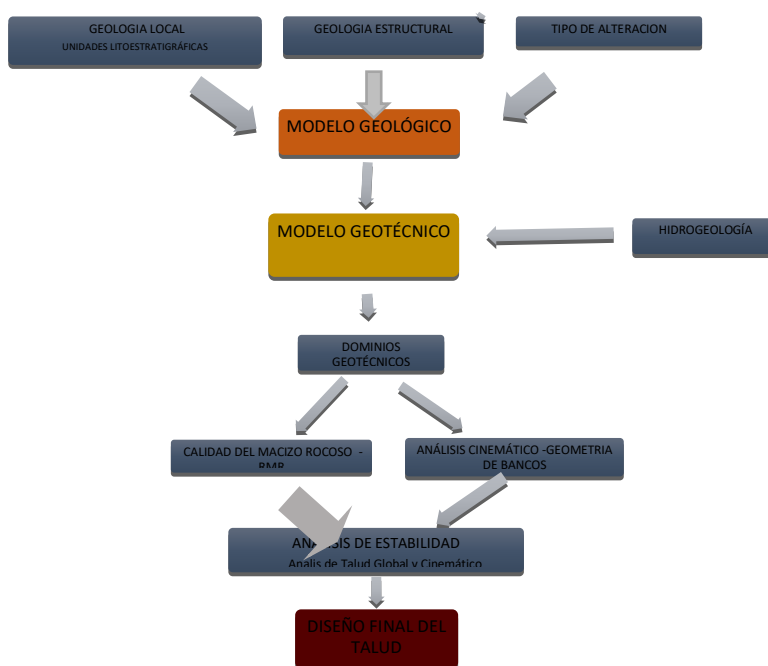
### **3.3.3. Fase III: Gabinete**

Los datos obtenidos serán procesados en gabinete para obtener plano geológico, plano estructural y plano de zonificación geotécnica, diagrama de análisis cinemático, secciones geológicas para análisis de estabilidad física, tablas de resultados, entre otros.

En la **Figura 7** se muestra el esquema de las etapas a ejecutar:

**Figura 7**

*Esquema de etapas a ejecutar para la presente tesis*



*Nota:* Fuente elaboración propia.

### **3.4. Diseño de Investigación.**

Comprende aspectos de interpretación geológica y geotécnica, su desarrollo es descriptivo, analítico, evaluativo y explicativo; se establecerá el grado de relación directa entre sus variables y sus resultados. Se analizarán los resultados para poder evaluarlos y explicarlos.

### **3.5. Población y Muestra.**

Como población para este estudio es la mina La Arena, conformada por la zona norte que corresponde al Open pit Calaorco.

Mientras que las muestras están establecidas por 05 sondajes diamantinos orientados, secciones mapeadas y muestras tomadas directamente del área, para la ampliación del Open pit Calaorco hasta la fase 7 de longitud 1420m en el eje NO-SE, de ancho 830m NE-SO y de altura máxima 360 m pared SO.

### 3.6. Técnicas e instrumento recolección de datos

Las técnicas usadas en la investigación se basarán en los estudios y análisis geológicos y geotécnicos del Open pit Calaorco, datos adquiridos en campo para su evaluación, datos tomados por la empresa, tesis bibliográficas, libros sobre el tema en estudio. Los instrumentos usados en la presente investigación serán Goniómetro para la medición del ángulo  $\alpha$  (alfa) en testigos orientados, flexómetro, Cámara fotográfica y tablas de clasificaciones geomecánicas.

Los datos se obtuvieron de la siguiente manera:

- Logueo geológico/geotécnico de los testigos obtenidos mediante perforaciones diamantinas ejecutadas en el área del tajo Calaorco.
- Descripción y orientación de las discontinuidades (ángulos  $\alpha$  y  $\beta$ ) de las perforaciones orientadas.
- Ejecución de ensayos in situ de tipo carga puntual con la finalidad de obtener parámetros de resistencia de la roca intacta.
- Selección de muestras de roca para ejecutar ensayos de laboratorio con el objeto de conocer la resistencia y parámetros geomecánicos de la roca intacta.
- Obtención de datos estructurales de las perforaciones disponibles mediante registro óptico de Televiewer.
- Obtención de datos estructurales de las paredes del tajo Calaorco mediante el mapeo por fotogrametría y mapeo de líneas de detalle.

### 3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para el procesamiento de datos se utilizarán métodos convencionales y programas computarizados específicos como Excel, AutoCAD civil 2014, Dips, Roc Data y Slide de Rocscience, para luego ser presentadas mediante cuadros, gráficos y resúmenes.

Para el análisis de estabilidad fueron adoptados las siguientes metodologías:

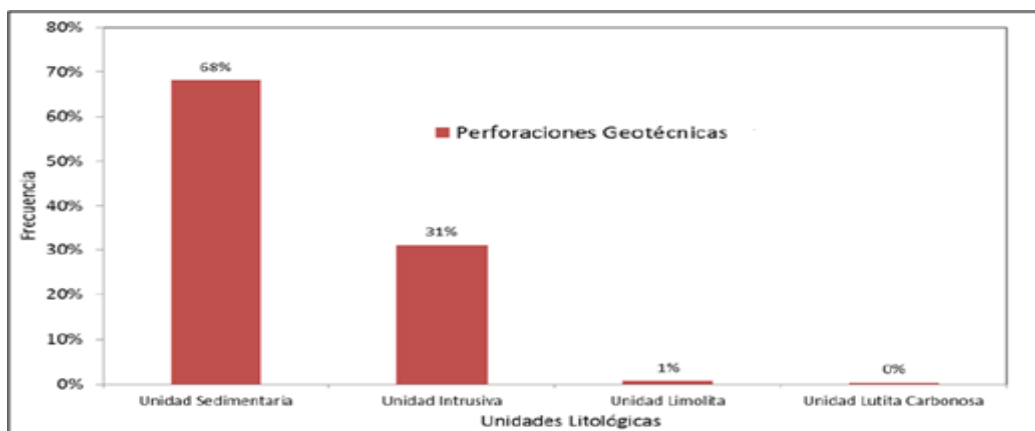
- Seis secciones fueron preparados para el análisis, como se muestra en la **Figura 8**.
- La localización de las secciones fueron seleccionadas basadas en la altura de la pared del tajo, datos geológicos y estructurales y la disponibilidad de datos geotécnicos.
- La resistencia al corte del macizo rocoso se ha definido por el criterio de falla de Hoek-Brown.
- Las superficies de niveles freáticos fueron estimadas basada en la información obtenida de los dos piezómetros de casa grande instalados en el tajo Calaorco y del antiguo pozo PW-02 que forman parte de la “Asesoría Hidrogeológica como soporte al Desagüado y Manejo de Aguas del tajo Calaorco” realizada por Amphos21; y al mapeo realizado en superficie por el área de Geotecnia de La Arena.
- Basado en las consideraciones descritas y en referencia del Estudio de Peligro Sísmico del Área del Proyecto La Arena (Anddes, 2016), para un periodo de retorno de 475 años se considera un coeficiente sísmico horizontal



UCS, tracción indirecta, módulo de Young y relación de Poisson. En el **Tabla 16** se muestra el RQD por unidad geotécnica con su desviación estándar, en el **Tabla 17** se observa el promedio de los resultados de RMR. A continuación, se muestra los gráficos estadísticos e interpretación de los parámetros geomecánicos del macizo rocoso.

### Figura 9

*Porcentaje de unidades litológicas logeadas en la campaña de investigaciones geotécnicas Calaorco (2015-2016)*

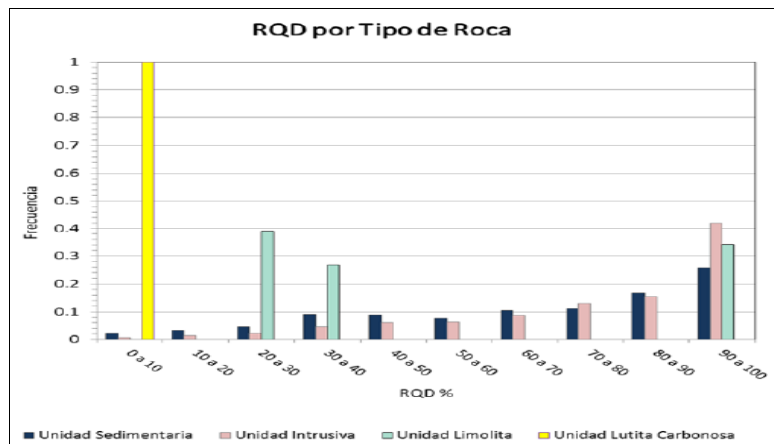


*Nota:* Fuente elaboración propia.

De la **Figura 9** se observa que la principal litología interceptada por las perforaciones corresponde a la unidad Sedimentaria, con el 68% del total. Estas secuencias sedimentarias están compuestas principalmente por arenisca a arenisca cuarzosa. La segunda unidad en importancia es la del Unidad Intrusiva (compuesta principalmente de pórfidos andesíticos y brechas hidrotermales), con un 31% del total. Las unidades de Limolita y Lutita carbonosa son escasas y constituyen apenas el 1% del total de material logeado.

### Figura 10

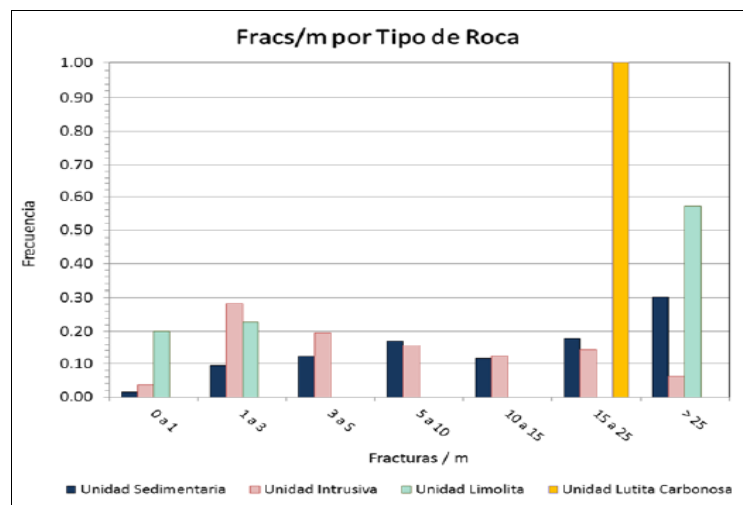
Comparativo del RQD para las distintas litologías encontradas en las investigaciones



Nota: Fuente Elaboración propia

### Figura 11

Comparativo del índice de fracturas por metro de corrida en las litologías investigadas.



Nota: La unidad Sedimentaria presenta mayores frecuencias.

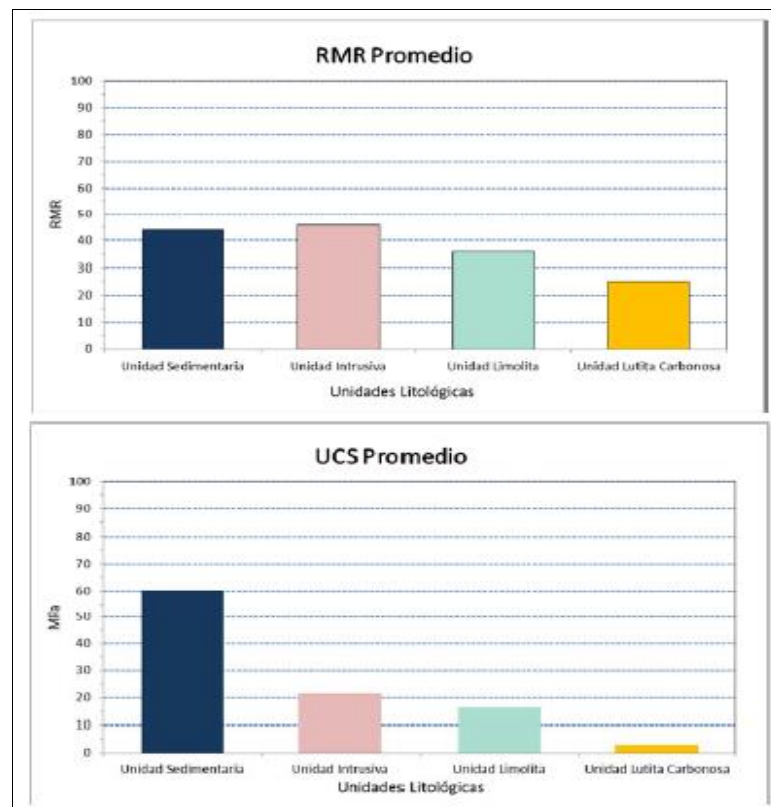
En la **Figura 10** se observa que el 75% de los valores de RQD para las litologías principales (unidad Sedimentaria e Intrusiva) se encuentran por encima del RQD = 50%, presentando en ambos casos los mayores índices entre 80 – 100%. En el caso de la unidad de Limolita, se observa una concentración de RQD

entre 20 – 40% y otra entre 90 – 100%. El carbón presenta todos los valores entre 0 – 10%.

En el caso de las fracturas por metro de sondaje (**Figura 11**), la unidad Sedimentaria presenta mayores frecuencias entre 5 y más de 25 fracturas por metro (fuerte fracturamiento), mientras que la unidad Intrusiva presenta frecuencias mayormente entre 1 – 15 fracturas por metro (fracturamiento débil a moderado), concordante con el RQD observado. La unidad de Limolita presenta mayores frecuencias con muy pocas fracturas (0 – 3) o con fuerte fracturamiento (15 a > 25 fracturas/metro). La unidad Lutita Carbonosa (carbón) presenta un fuerte fracturamiento (15 a 25 fracturas/metro).

### Figura 12

*Comparativo de valores promedio de RMR y UCS para las litologías evaluadas*



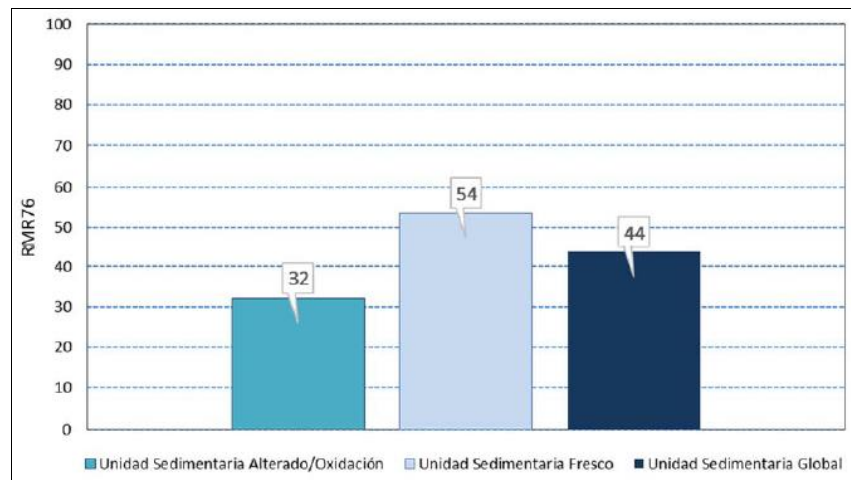
*Nota:* En el gráfico se presenta los valores promedio.



En la **Figura 12** se observa que los valores promedio de RMR para las unidades litológicas principales (unidad Sedimentaria e Intrusiva) se encuentran en el rango de 40 a 60, que corresponde a roca regular, en tanto las unidades Limolita y Lutita carbonosa tienen un RMR promedio en el rango de 20 a 40, que corresponde a roca de mala calidad.

**Figura 13**

*Histograma mostrando los valores de RMR para las variaciones de la unidad Sedimentaria*



*Nota:* Rocas frescas y alterada/oxidación

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. Descripción del trabajo de campo**

##### **4.1.1. Ubicación**

El tajo Calaorco forma parte de la minera La Arena, está ubicada en el Norte del Perú, a 480 Km al NW de la ciudad de Lima, en el distrito de Huamachuco (caseríos La Arena, La Ramada, Raumate y Sanagorán), provincia de Sánchez Carrión, departamento de La Libertad; geográficamente, se encuentra ubicada en la Cordillera Occidental de los Andes, entre los 3,300 y 3,600 msnm. En el **Plano N°1** se muestra la ubicación.

##### **4.1.2. Accesibilidad**

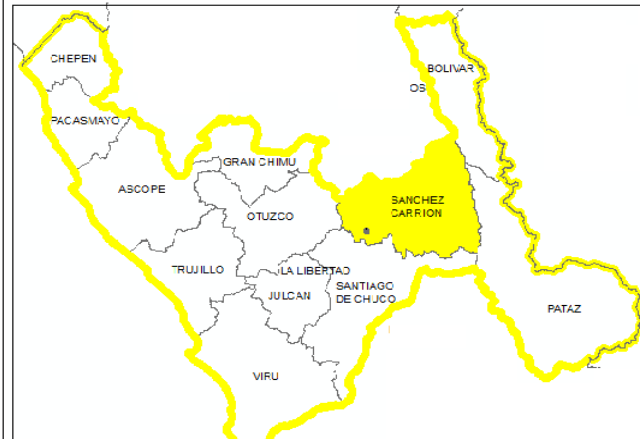
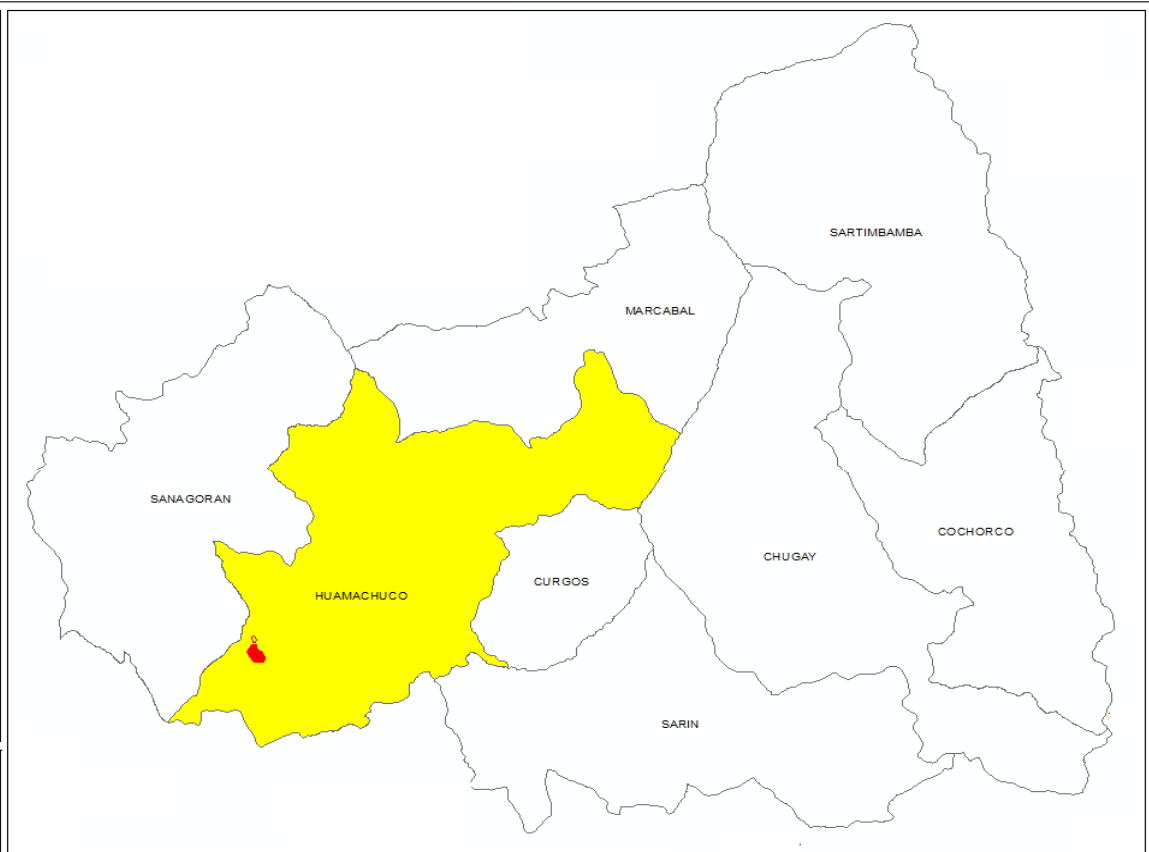
A continuación, se detalla en la Tabla 6 la accesibilidad al área en estudio:

Tabla 6

*Accesibilidad al área de estudio*

<b>Alternativa</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tiempo Estimado</b>	<b>Distancia(km)</b>
1-Aéreo	Lima – Trujillo	8 horas	---
2- Terrestre	Lima – Trujillo	50 minutos	550
3.Terrestre	Trujillo- Quiruvilca Huamachuco	4 horas	160

Nota: Fuente elaboración propia.



	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL "DANIEL ALCIDES CARRIÓN"</b> FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
	Realizado:	Bach. J. Gomez C.	
Escala:	Grafica	<b>PLANO DE UBICACIÓN</b>	
Datum:	WGS-84		
Fecha:	Dic. 2019	Nº de plano	<b>1</b>

#### **4.1.3. Clima**

De acuerdo con su posición latitudinal cercana al Ecuador, al área de estudio le corresponde un clima cálido, húmedo y lluvioso; sin embargo, factores tales como la presencia de la Cordillera de los Andes, la existencia de la Corriente Peruana y la Circulación Anticiclónica del Pacífico Sur modifican sustancialmente esta condición climática teórica.

En la sierra el comportamiento de la precipitación es variada pues tiene la influencia del Anticiclón del Pacífico Sur, así como la influencia de fenómenos como “El Niño” que hacen que en esta zona se presente la ocurrencia de sequías propias de esta anomalía climática.

Para el proyecto La Arena, el ambiente es de clima entre templado, frío y seco, con temperaturas máximas y mínimas que varían entre 25°C a 0°C. Las precipitaciones pluviales se concentran entre octubre y abril.

#### **4.1.4. Geología Regional**

El contexto geológico regional ha sido establecido en base al Mapa Geológico del cuadrángulo de Cajabamba, Hoja 16-g, escala 1:100,000 y Mapa Geológico del cuadrángulo de Cajabamba, Hoja 16-g- II a escala 1:50,000, que forman parte del Boletín N° 31 de la Carta Geológica Nacional: Geología de los Cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba, elaborado por el INGEMMET, 1980.

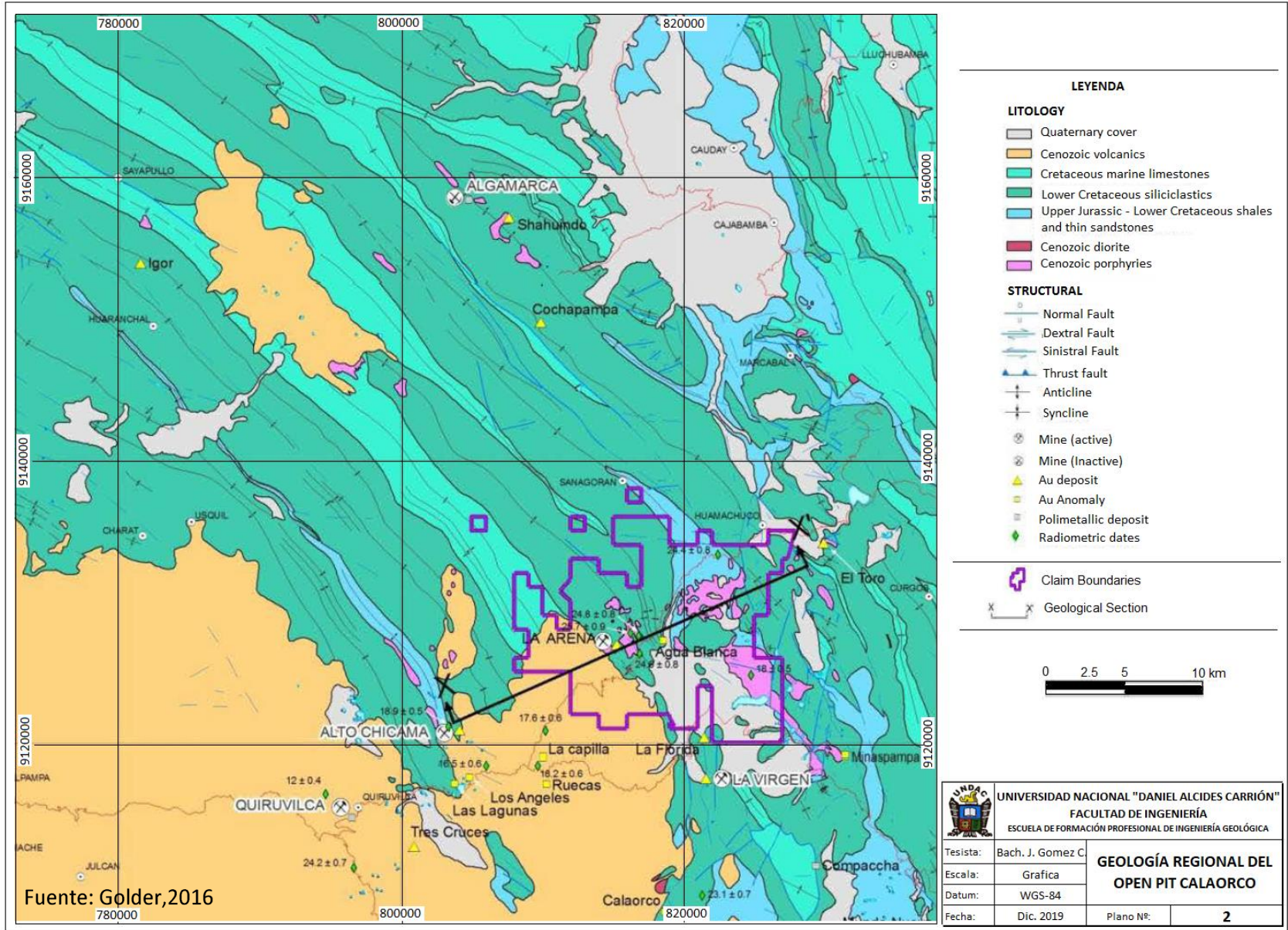
El depósito La Arena comprende sedimentos de la Cuenca del mesozoico occidental del Perú, los que fueron plegados y fallados durante la deformación Cenozoica.

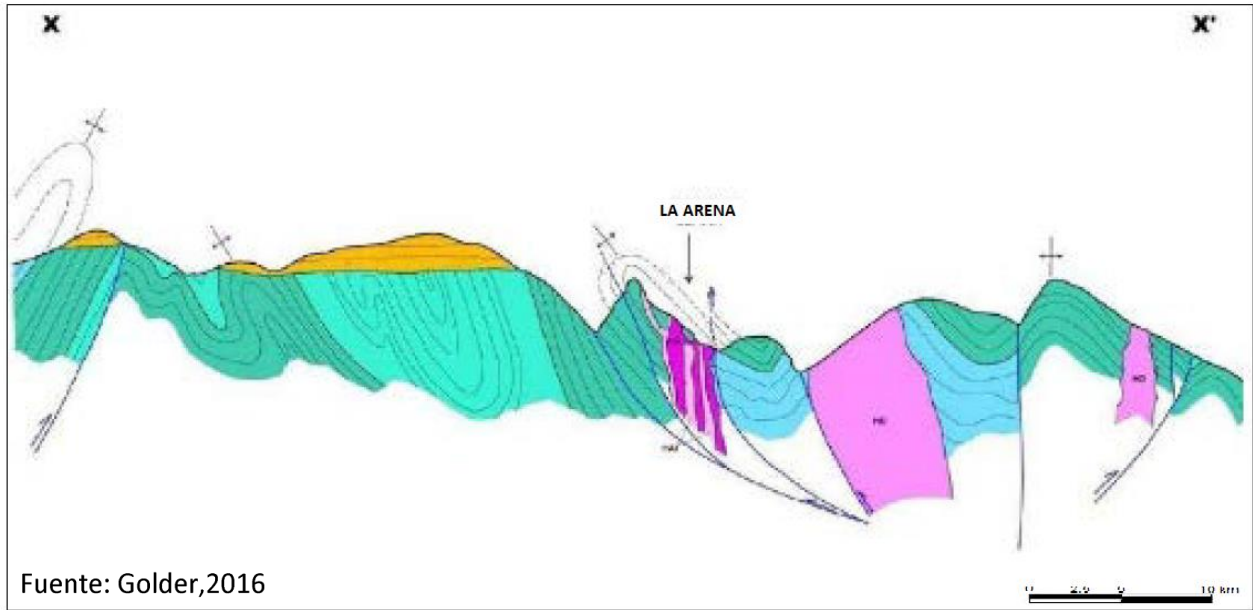
La región está delineada por rocas ígneas, cuya evolución magmática post tectónica de carácter efusivo y posterior al emplazamiento del Batolito Costanero,

produjo esfuerzos compresionales de dirección SW-NE, produciendo el arqueamiento de toda la secuencia sedimentaria, plegando intensamente la serie, originando levantamiento y generando fracturamiento tensional y fallas regionales, las cuales se constituyeron en zonas de debilidad favorables para la inyección de los sistemas de intrusión, alteración y mineralización en toda el área.

Los intrusivos hipabisales, han aprovechado los ejes de los pliegues sedimentarios para su emplazamiento magmático hidrotermal asociado a la mineralización.

Como producto de la intrusión magmática, se ha originado la mineralización en el área tipo pórfido y zona de contacto de brechamiento como se observa en el área de estudio. Ver **Plano N° 02** Plano Geológico regional del proyecto y **Plano N° 03** Sección geológica transversal.





**LEYENDA**

**LITOLOGY**

- Quaternary cover
- Cenozoic volcanics
- Cretaceous marine limestones
- Lower Cretaceous siliciclastics
- Upper Jurassic - Lower Cretaceous shales and thin sandstones
- Cenozoic diorite
- Cenozoic porphyries

**STRUCTURAL**

- Normal Fault
- Dextral Fault
- Sinistral Fault
- Thrust fault
- Anticline
- Syncline

Fuente: Golder,2016

	UNIVERSIDAD NACIONAL "DANIEL ALCIDES CARRIÓN" FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
	Tesista: Bach. J. Gomez C.	<b>SECCIÓN GEOLÓGICA</b> <b>TRANSVERSAL-REGIONAL</b>	
Escala: Grafica			
Datum: WGS-84	Plano N°:	<b>3</b>	
Fecha: Dic. 2019			



La estratigrafía regional se describe desde la más antigua a la más joven de la siguiente forma:

### **Paleozoico (y Precambriano)**

Constituye el basamento rocoso al este de La Arena o a lo largo del Río Marañón y la Cordillera Oriental. Estas rocas no se exponen en La Arena ni en las áreas cercanas.

### **Mesozoico**

Las rocas aflorantes más antiguas en la región pertenecen a la Formación Chicama del Jurásico Superior y consiste en lutitas oscuras débiles y laminadas de origen marino con delgadas intercalaciones de areniscas. Hacia arriba se pasa a las rocas marinas siliciclásticas someras del Cretáceo Inferior correspondiente al Grupo Goyllarisquizga, la unidad inferior, bajo la cual se ubica la Formación Oyón que está compuesta de areniscas de grano fino a medio y lutitas finamente laminadas, con algunas capas de carbón. Sobreyaciendo a la formación Oyón se encuentran gruesas capas de areniscas cuarzosas de grano medio de la Formación Chimú las que constituyen la principal roca hospedante para la mineralización de oro en Lagunas Norte, El Toro, La Arena, La Virgen y Santa Rosa. Las restantes formaciones del Grupo Goyllarisquizga (Formaciones Santa, Carhuaz y Farrat) generalmente consisten en unidades siliciclásticas finamente granulares con intercalaciones menores de carbonatos.

### **Formación Chicama (Js-chic)**

La Formación Chicama es un conjunto litológico que aflora mayormente en los núcleos de anticlinales tanto al este como al oeste de La Arena, por ejemplo, en la carretera a Huamachuco.

En la mayoría de los afloramientos predominan lutitas gris oscuras, laminares, deleznales, con algunas intercalaciones delgadas de areniscas grises. En partes contienen nódulos y lentes piritosos y superficialmente es común observar manchas blancas amarillentas como eflorescencias. La formación Chicama es de ambiente marino.

Las rocas son menos resistentes a la erosión, debido a la cantidad de material limo arcilloso y por otra parte ha sido deformada intensamente hacia el sector oriental de la cuenca, lo que ha favorecido el desarrollo de una topografía suave.

No se ha visto la base de la Formación Chicama, se supone que descansa discordantemente sobre las calizas del Grupo Pucará u otras formaciones. Su contacto superior es transicional con la Formación Oyón. Se estima un grosor de 1,000 a 1500 m.

### **Formación Oyón (Ki-oy)**

Es una secuencia de transición entre las lutitas de la Formación Chicama y las areniscas de la Formación Chimú sobreyacente. Consiste de areniscas pardas, grises y blancas en estratos delgados, interestratificadas con lutitas y limoarcillitas grises, carbonosas, que contienen láminas de areniscas constituidas mayormente por clastos de cuarzo. Existen algunas capas de carbón en la parte superior de esta unidad. Su contacto con la Formación Chimú es concordante.

La Formación Oyón es la unidad más antigua que aflora en el anticlinal de La Arena, se le distingue por su coloración gris a gris oscura y la menor resistencia a la erosión, también se le observa en los cortes de la carretera La Arena – Huamachuco debajo de la Formación Chimú, se estima un grosor de 200 metros.

### **Grupo Goyllarisquizga (Ki-g)**

Es una secuencia silícico-clástica que yace sobre la Formación Oyón en la cuenca Occidental y sobre el Grupo Pucara al este en el valle del río Marañón. Muestra un adelgazamiento notable hacia el Alto del Marañón donde tiene 400 a 600 metros de grosor mostrando un ligero cambio de litofacies, de tal modo que ha sido cartografiado como Grupo Goyllarisquizga indiviso.

En cambio, jn al oeste puede alcanzar grosores hasta de 1500 metros y es posible diferenciar las Formaciones: Chimú, Santa, Carhuaz, Farrat.

- **Formación Chimú (Ki-ch)** - Es una secuencia de areniscas cuarzosas con algunas intercalaciones de lutitas, limolitas grises y algunos niveles de carbón en la parte inferior y media. Se trata de una secuencia esencialmente de cuarciarenitas blancas, resistentes que marcan un cambio morfológico notorio con relación a las Formaciones Oyón y Chicama infrayacentes. Sus grosores pueden variar entre 400 a 600 metros.
- **Formación Santa (Ki-sa)** - La Formación Santa está constituida por lutitas grises oscuras intercaladas con niveles limoarcillitas, algunas calizas en estratos de 10 a 30 cm. También incluye algunas areniscas cuarzosas, y areniscas grises en capas delgadas. Los niveles de calizas son más evidentes hacia los sectores Este y hacia el sur de la cuenca; en cambio hacia el norte predominan las lutitas gris oscuras y algunas areniscas. Su grosor varía entre 150 a 250 metros.
- **Formación Carhuaz (Ki-ca)** - Se compone predominantemente areniscas, limolitas grises e impuras, en menor proporción areniscas blancas de grano fino, algunos niveles de lutitas grises, areniscas y limolitas rojas y eventualmente limolitas verdosas y pardas. Eventualmente pueden

encontrarse niveles de carbón. Los estratos tienen grosores entre 10 cm a más de 1 m. Esta unidad yace sobre la Formación Santa en concordancia. Su grosor oscila entre 350-400 metros.

- **Formación Farrat (Ki-fa)** - Areniscas cuarzosas, por lo general limpias y de color blanco amarillento, en cantidad mínima limolitas lenticulares. Son areniscas cuyas características petrográficas son similares a la Formación Chimú, con la diferencia que estas yacen sobre la Formación Carhuaz y debajo de la secuencia calcárea del Albiano. Su grosor varía entre 300 metros y 400 metros.

#### **Formación Inca (Ki-in)**

La formación Inca marca la transición de areniscas a calizas, se caracteriza precisamente por estratos delgados de areniscas, lutitas con cemento calcáreo y capas de calizas grises ferruginosas. Su grosor es variable de 100 a 200 metros.

#### **Formación Chulec (Ki-chu)**

Esta Formación es distinguible por su coloración gris a crema, su menor resistencia a la erosión y por la presencia notoria de lutitas grises, margas, lutitas gris verdosas que meteorizan con fractura subconcoidea a subredondeada (lodolitas), tales rocas están intercaladas con calizas grises, nodulosas. La secuencia es bastante fosilífera. Sus grosores están entre 200 a 400 metros.

#### **Formación Pariatambo (Ki-pa)**

Es una secuencia mayormente de calizas gris oscuras a negras generalmente en estratos de 10 a 40 cm de grosor, si bien pueden existir capas más gruesas. Las calizas delgadas se intercalan con lutitas gris oscuras que tienen

grosos menores que las calizas. Sus grosos son variables entre 100 a 400 metros.

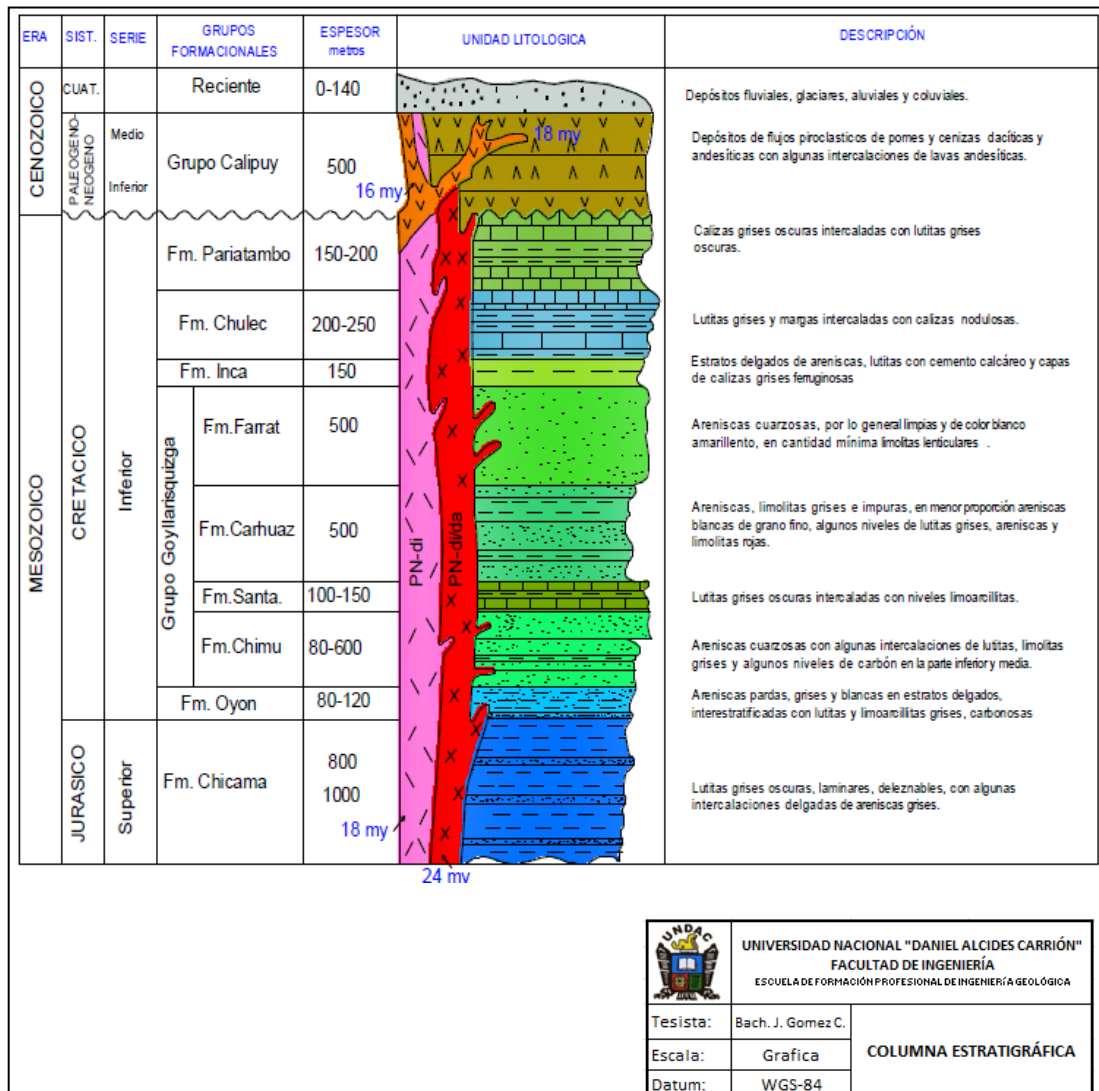
### **Cenozoico**

Hacia el Sur y el Oeste de La Arena, el Grupo Calipuy (arcos volcánicos cordilleranos) sobreyace discordantemente a los estratos Mesozoicos plegados y fallados. Estos volcánicos subaéreos están asociados con cuerpos intrusivos subvolcánicos del Mioceno Superior de composición andesítica a dacítica. Los volcánicos Calipuy son principalmente tufos con horizontes aglomerados en la base e interestratificado con lavas andesíticas. Estos constituyen las rocas de caja de la mineralización de alta sulfuración, baja sulfuración y mineralización polimetálica en Lagunas Norte, Tres Cruces y Quiruvilca respectivamente.

Hacia el oeste del área, el Batolito de la Costa se emplaza en estratos Mesozoicos volcánico-sedimentario, equivalente en edad a las rocas antes descritas. Rocas intrusivas Cenozoicas, incluyendo granodioritas, dioritas y pórfidos cuarzo-feldespáticos, son intruídos como stocks aislados en las secuencias sedimentarias Mesozoicas y los volcánicos Calipuy sobre yacientes. La edad de estas intrusiones varía de 23 a 25 Ma. Una de estas intrusiones alberga mineralización tipo pórfido en La Arena. En la **Figura 14** se visualiza la columna estratigráfica regional.

**Figura 14**

*Columna estratigráfica Regional*



*Nota:* Fuente Quirita V,1998.

#### 4.1.5. Geología. Local

El área del Tajo Calaorco está comprendido por la secuencia sedimentaria de la Formación Chimú, conformada principalmente por areniscas, cuarcitas y algunas intercalaciones de limolitas y carbón, afectados por la intrusión de pórfidos dacíticos. Las rocas sedimentarias (predominantemente areniscas) se extienden en el sector oeste del Tajo Calaorco; mientras que los intrusivos se emplazan predominantemente en el sector Este del tajo. En el **Plano N°4** se

presenta el plano de la geología del Open Pit Calaorco y en el **plano N°5** sección geológica-geotécnica del Open Pit Calaorco.

Las intrusiones ácidas están ligadas a la mineralización tipo pórfido Cu-Mo (Au), que están en contacto con las rocas clásticas permeables. Las areniscas son brechadas y muy fracturadas, que en contacto con la roca intrusiva constituyen el principal ambiente litológico donde se alojan los depósitos auríferos lixiviables, determinando el área de Calaorco como una zona de óxidos y brechas.

Las unidades litológicas presentes en el Tajo Calaorco se describen a continuación:

#### **Formación Chimú (Ki-ch)**

Conformado principalmente por areniscas cuarzosas de grano medio, de color gris blanquecino. Su porosidad es moderada. En general, estas areniscas tienen una alta oxidación, siendo intensamente silicificadas en profundidad.

Hacia la base es decir hacia el este, las areniscas cuarzosas están intercaladas con horizontes limolíticos, lutáceos y mantos de carbón, los cuales están expuestos en los taludes de los bancos más cercanos al pórfido.

#### **Intrusivo (Pórfido Andesítico)**

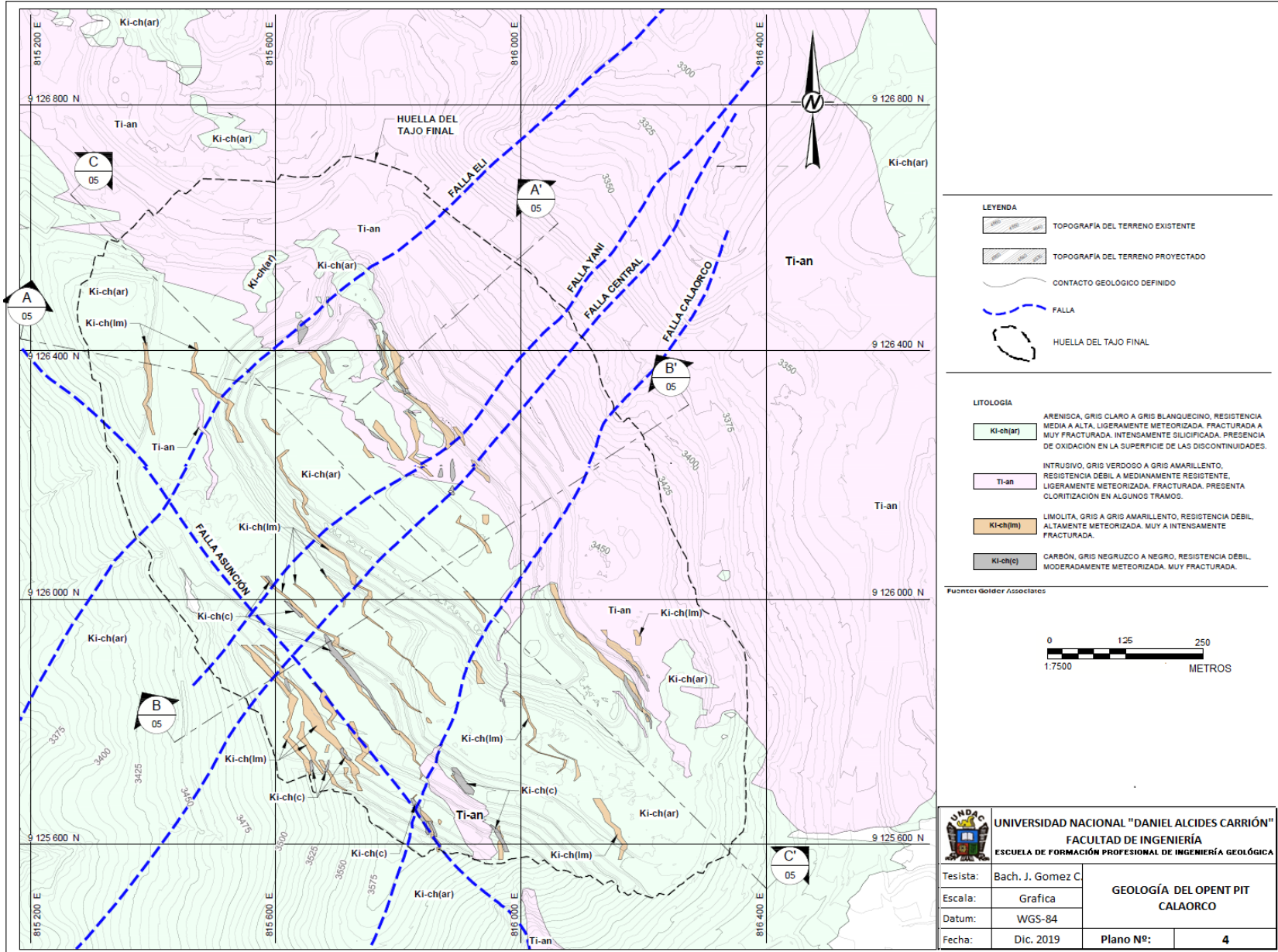
El pórfido andesítico aflora en el sector este del Tajo Calaorco y constituye la roca causante de la mineralización en la mina. Está conformado por sills y diques de composición andesítica a dacítica, que se extienden hacia la zona oeste del Tajo Calaorco. Es de color gris verdoso a verde, debido a que presenta alteración hidrotermal (cloritización).

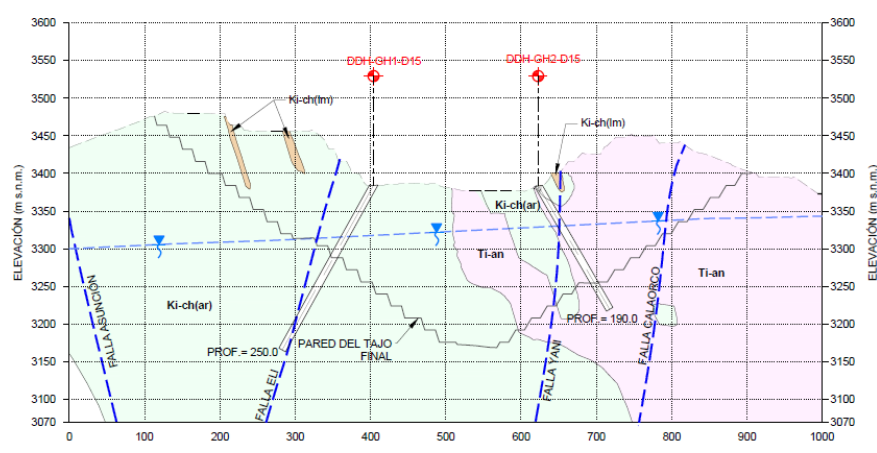
#### **Brechas Hidrotermales**

Están compuestas por clastos de arenisca cuarzosa contenidas en una matriz altamente meteorizada de óxidos de hierro (limonita y goethita). Son de

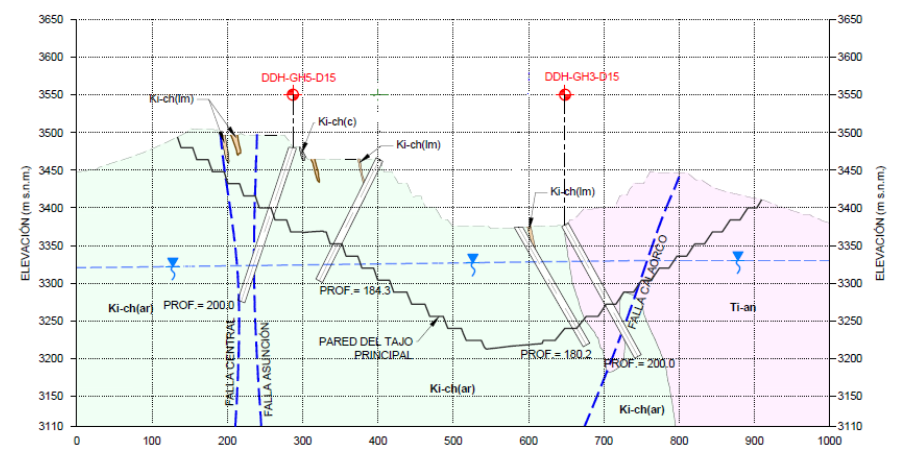
color gris blanquecino y están asociadas a las fallas que gobiernan  
estructuralmente el Tajo Calaorco.



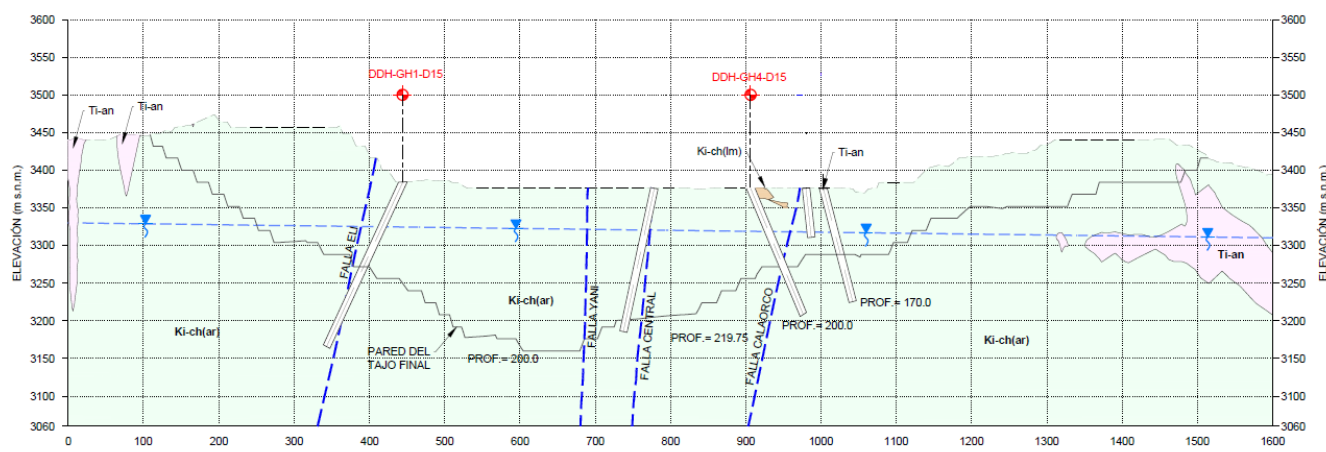




ESC. 1:7 500 **A** SECCIÓN A - A'



ESC. 1:7 500 **B** SECCIÓN B - B'



ESC. 1:7 500 **C** SECCIÓN C - C'

**LEYENDA**

- CONTACTO GEOLÓGICO DEFINIDO
- FALLA
- PERFORACION GEOTECNICA
- NIVEL FREÁTICO INFERIDO

**LITOLOGÍA**

- Ki-ch(ar)**: ARENISA, GRIS CLARO A GRIS BLANQUECINO, RESISTENCIA MEDIA A ALTA, LIGERAMENTE METEORIZADA, FRACTURADA A MUY FRACTURADA. INTENSAMENTE SILICIFICADA. PRESENCIA DE OXIDACION EN LA SUPERFICIE DE LAS DISCONTINUIDADES.
- Ti-an**: INTRUSIVO, GRIS VERDEOSO A GRIS AMARILLENTO, RESISTENCIA DÉBIL A MEDIANAMENTE RESISTENTE, LIGERAMENTE METEORIZADA, FRACTURADA, PRESENTA CLORITIZACION EN ALGUNOS TRAMOS.
- Ki-ch(lm)**: LIMOLITA, GRIS A GRIS AMARILLENTO, RESISTENCIA DÉBIL, ALTAMENTE METEORIZADA. MUY A INTENSAMENTE FRACTURADA.
- Ki-ch(c)**: CARBON, GRIS NEGRUZZO A NEGRO, RESISTENCIA DÉBIL, MODERADAMENTE METEORIZADA. MUY FRACTURADA.

Fuente: Geoliner Associates

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL "DANIEL ALCIDES CARRIÓN"</b> FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
	Tesista: Bach. J. Gomez C. Escala: Grafica Datum: WGS-84 Fecha: Dic. 2019	<b>SECCIÓN GEOLÓGICA-GEOTECNICA</b> <b>DEL OPENT PIT CALARCO</b> <b>A-A', B-B' y C-C'</b> Plano N°: <b>5</b>

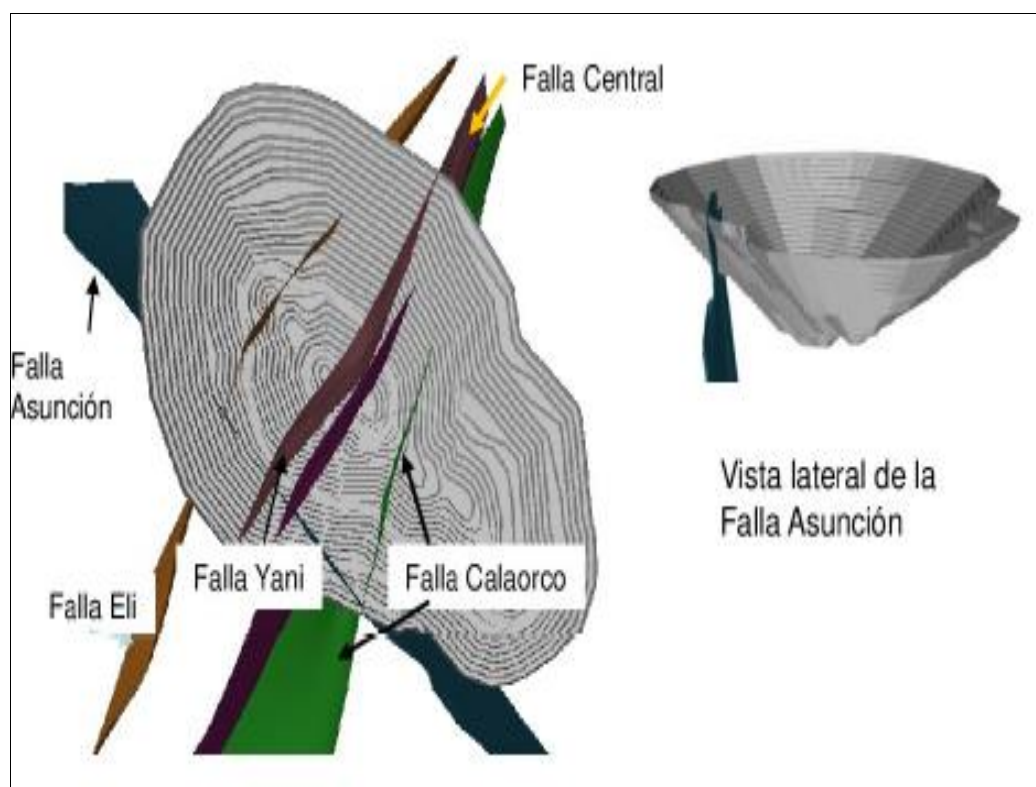


#### 4.1.6. Geología Estructural Local

La característica tectónica del área de estudio se ha definido dos sistemas de estructuras mayores que dominan el área de interés, uno con orientación andina NO-SE y el otro, NE-SO. El primero corresponde a un sistema de fallas, que es observable en el macizo expuesto en las paredes del tajo, y coincide con el contacto entre la secuencia sedimentaria de areniscas de la Formación Chimú y el pórfido andesítico – dacítico. El segundo sistema de fallas, que incluye las fallas Calaorco, Central, Yani y Eli, se presenta de manera perpendicular.

#### Figura 15

*Muestra las principales estructuras presentes en la superficie actual del Tajo Calaorco.*



Nota: Fuente La Arena, 2016.

#### 4.1.7. Geometría del Tajo Planeado

El Tajo Calaorco ha cortado el flanco noreste de una prominente arista de dirección noroeste y sureste en las paredes temporales sur y suroeste. La cresta de la pared suroeste mayormente continua la cresta de la arista y actualmente tiene una altura máxima de aproximadamente 110 m. La pared sur está cortada en el flanco sur de la arista donde dobla hacia el este. La topografía es moderada a abrupta al noreste, y el nivel de trabajo actual en el tajo (Elev. 3510 m) se presenta en dirección al norte y noreste y este. En la **Figura 16** se muestra la condición del Tajo Calaorco correspondiente a la Fase 3.

#### **Figura 16**

*Vista Panorámica del Tajo Calaorco- Fase 3*



*Nota:* Fotografía para la tesis.

Como consecuencia a ello, el Open Pit Calaorco será desarrollado en siete fases.

Tabla 7

*Dimensiones planeadas para cada fase*

Fase	Longitud (m)- eje NO-SE	Ancho (m)- eje NE-SO	Altura máxima de talud (m)	Elevación del piso (m)
3-4	1300	620	168-pared S a SO	3312
5	1300	700	296- pared S	3208
6-7	1420	830	360- pared SO	3144

*Nota:* Fuente La Arena,2015.

#### 4.1.8. Criterios de Análisis de Estabilidad

Comúnmente los factores de seguridad aplicados para el diseño del talud dependen de la confiabilidad de la información usada para el análisis, la sensibilidad de los factores de seguridad calculados para los supuestos de diseño y las consecuencias de fallas de taludes. Los factores de seguridad típicos aceptables son indicados en el **Tabla 8**.

Tabla 8

*Factor de Seguridad Típico y Probabilidad de Falla (PoF) Criterio de Aceptación Aplicado en el Diseño de Talud del Tajo.*

Escala de Talud	FoS Estático Mínimo y Drenado	FoS Estático Mínimo y Parcialmente Saturado	FoS Pseudoestático Mínimo y Saturado	Probabilidad Típica de Falla (PoF)
Banco	1.2	1.1	1.0	25%-50%
Inter-rampa (IRA)	1.3	1.2	1.05	20%
Global	1.5	1.3	1.1	5%-10%

*Nota:* Adaptado de Read and Stacey 2009.

Los valores de FoS mínimos de 1,3 y 1,1 serán utilizados en los análisis de estabilidad globales para condiciones de taludes parcialmente saturados con y sin el efecto sísmico, respectivamente.

## 4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.

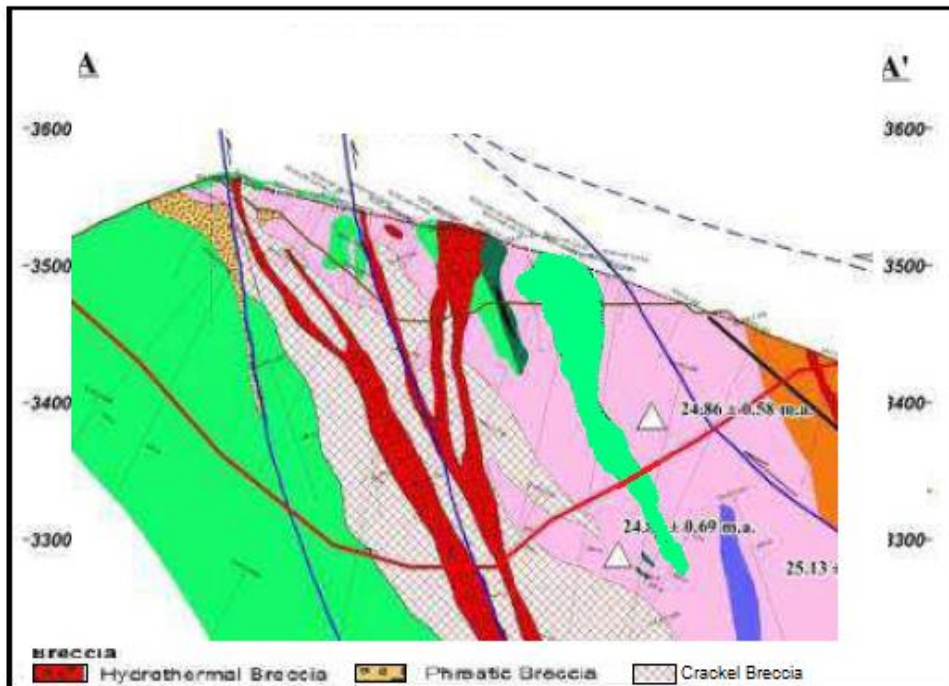
### 4.2.1. Mineralización

En el área del Tajo Calaorco se tiene la mineralización del tipo epitermal diseminado Au-Ag dentro de la arenisca cuarzosa brechada y del tipo pórfido Au-Cu (Mo) en la intrusión de los pórfidos. En ambos casos la mineralización proviene de una misma fuente magmática relacionada al stock dacítico emplazado a lo largo de una falla principal NO-SE (Gauthier et al., 1999). Los estilos son:

- **Brecha Calaorco**, donde ocurre la mineralización de Au, en la arenisca brechada y arenisca fracturada. Ver **Figura 17**.
- **Brecha Ethel**, cuerpo pequeño con mineralización de óxido Au localizada en el sector Norte de La Arena.
- **Brecha de Dacita**, con mineralización secundaria y primaria de Cu en la dacita porfirítica, localizada entre Calaorco y Ethel.
- **Pórfido Norte**, compuesto principalmente por mineralización secundaria y primaria de Au-Cu en el pórfido de diorita, situada al sureste del cuerpo Ethel.
- **Pórfido Sur**, cuerpo principal con mineralización primaria de Au-Cu en pórfido de diorita, y con menor mineralización secundaria de óxido.

**Figura 17**

*Estilos de mineralización de Epitermal- Au*



La mineralización se extiende aproximadamente 2.2 km de norte a sur, 1.1 km de oeste a este y 900 m en profundidad. La alteración asociada con la mineralización de oro epitermal en las brechas Calaorco y Ethel han sido definidos como alteración argílica, argílica avanzada y silicificación.

La mineralización epitermal de Au ocurre adyacente al pórfido Au-Cu a lo largo de los contactos sedimentarios-intrusivos y áreas colgadas del techo. La mineralización se oxida en gran medida.

Los estilos de mineralización se han subdividido en:

- **Brecha arenisca cuarzosa**, con alto grado de Au y anomalías de As y Sb donde la mineralización se desarrolla alrededor de los pórfidos.
- **Brecha Pórfido dacita**, con Au moderado
- **Brecha hidrotermal**, cuerpos verticales, con moderado a alto grado de Au aislados.

- **Depósitos coluviales**, en los extremos norte y sur de la Brecha Calaorco, con Au de grado moderado y anómalos.

La secuencia de arenisca-cuarcita que aloja la brecha Calaorco se sumerge moderadamente hacia el Este. Esta dirección ha sido interpretada por 'LamGold' para controlar la mineralización de Au. Sin embargo, el mapeo de superficie ha identificado un sistema de brechas de fractura de tendencia NE, que según Corbett (2004) puede ser el principal anfitrión de la mineralización de Au y de ese modo proporcionar un control sub- vertical a la mineralización.

La alteración asociada con el pórfido Au-Cu ha sido definida como zona potásica, alteración fílica, alteración argílica intermedia, alteración propilítica y alteración argílica.

La mineralización de pórfido Au-Cu es asociada con una zona de stock work cuarzo-sulfuro, con leve a moderada oxidación. Tres eventos de mineralización han sido reconocidos: un evento débil pre-mineral, un evento fuerte de mineralización temprana, y un evento tardío con mineralización moderada. Los estilos de mineralización se han subdividido en:

**Zona de óxido**, contiene mineralización de Au, asociada con goethita y hematita, con contenido de Cu menor a 300 ppm. Alcanza los 40 m de profundidad en el pórfido Norte y apenas existe en el pórfido Sur.

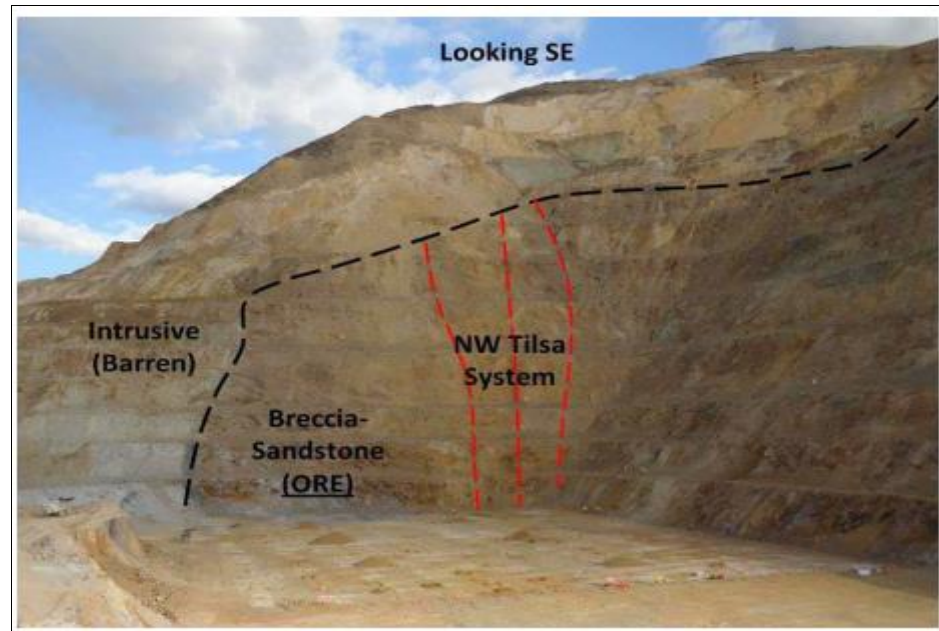
**Zona secundaria**, enriquecido con Cu principalmente en forma de calcosita. Con espesor variable desde 20 m en el pórfido Norte a 5 m en el pórfido Sur.

**Zona primaria**, tiene la mayor parte de mineralización Au-Cu, típicamente en cuarzo-pirita-calcopirita y de forma esporádica molibdenita.



## Figura 18

*Estructuras minerales NW aflorando en el tajo Calaorco – La Arena*



### 4.2.2. Alteración Hidrotermal

La mineralización de la zona de estudio está relacionada a depósitos ligados en los ambientes Epitermal y pórfido, el primero alojado en areniscas de la formación Chimú y la última por múltiples intrusiones con una edad de ~25 Ma.

En superficie, la distribución de las arcillas de alteración se muestra en la **figura 19a** hasta la **figura 19e**, donde se observa dos patrones mayores de alteración en la zona de porfido, los que son illita-pirofilita-muscovita y caolinita (probablemente supergena) y en la zona del Epitermal de alta sulfuración, sílice-alunita-dickita y caolinita supergena.

Existe una tendencia NE de la pirofilita en la zona NW del Tajo Calaorco. La distribución de la alteración tanto en superficie como en profundidad es muy consistente debido a que la alteración filica fuerte se superpone a la alteración potásica progradada (biotita-magnetita-K secundaria, clorita-feldespato) de esta

forma la magnetita es completamente destruida, además, existe una superposición argílica tardía de illita- clorita a lo largo de las estructuras profundas dentro del pórfido.

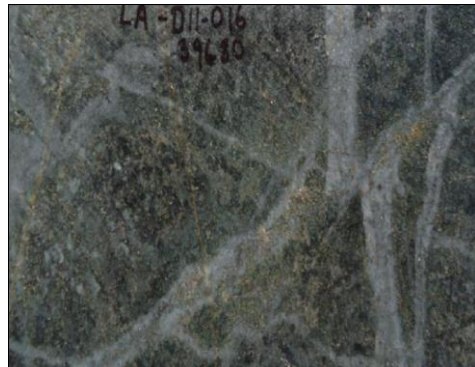
La transición de los márgenes del depósito tipo pórfido hacia el oeste, cerca y dentro del depósito Epitermal, está marcado por pirofilita, especialmente a lo largo de estructuras NW, esto debido al enfriamiento durante la etapa filica, desde muscovita a pirofilita, con enfriamiento adicional produciendo la formación de dickita. En el **Plano N°6** se muestra las alteraciones Hidrotermales del área de estudio.

### Figura 19

#### *Alteraciones hidrotermales del Opent Pit Calaorco*



**Figura 19a:** Alteración Filica (illita-qz-sericita)



**Figura 19b:** Alt. potásica (biot- magnetita)



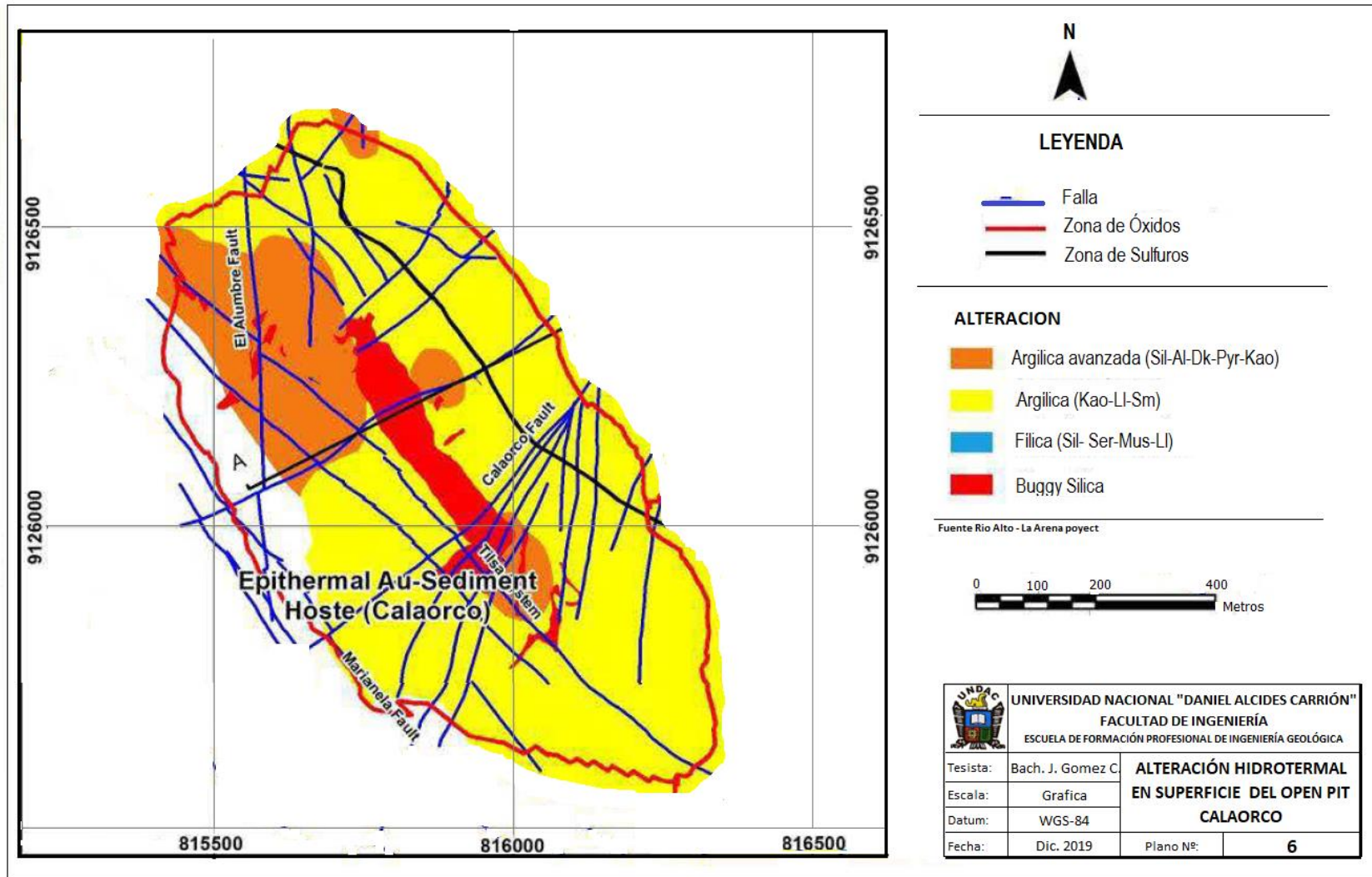
**Figura 19c:** Óxidos en areniscas- Calaorco (Fuente Golder Associates)



**Figura 19d:** Brecha hidrotermal con En-Py



**Figura 19e:** Enriquecimiento Supergeno



### 4.2.3. Modelo geológico

El modelo geológico 3D se ha elaborado de acuerdo a los resultados de la geología local, estructural, mineralización y alteraciones realizados en el Open Pit Calaorco, a continuación, se resume las principales unidades litológicas del tajo Calaorco:

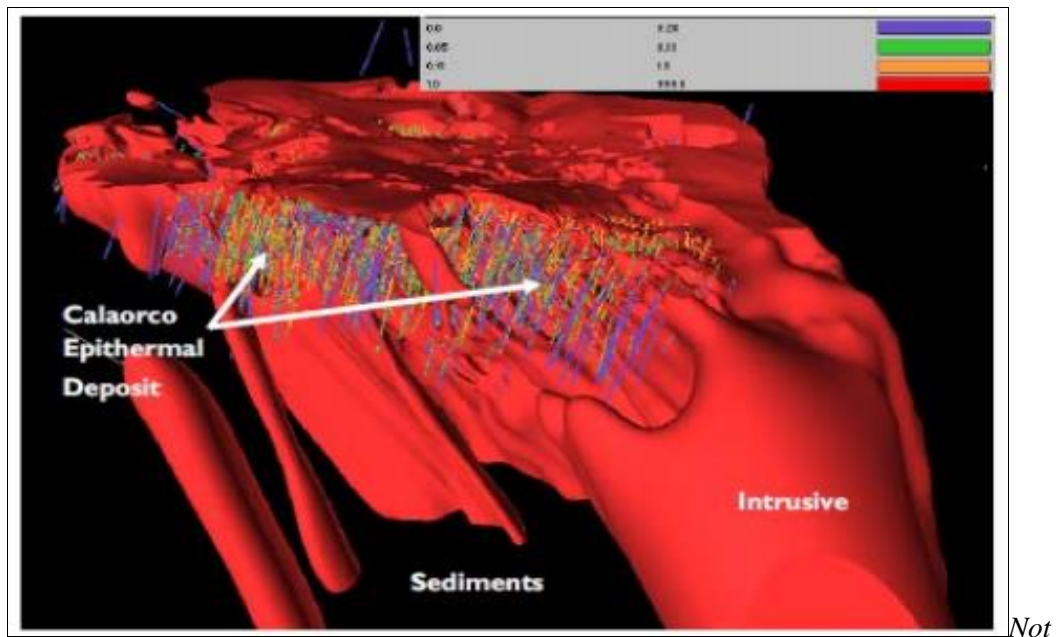
- Sedimentaria, Intrusiva, Limolita y Lutita Carbonosa (o carbón).
- La unidad Sedimentaria está presente en las paredes oeste y suroeste y tiene una estratificación bien definida con una dirección de N320° y buzamientos 70°-75°N. En estas paredes se observa también la ocurrencia de vetas de Lutita Carbonosa (o carbón). La unidad Intrusiva, con predominancia de pórfido andesítico, tiene ocurrencia en las paredes norte y noreste.

El dominio de óxidos fue construido a partir de información proveniente de los sondajes la transición entre óxidos y sulfuros, es generalmente reconocible a simple vista en el campo, por lo que no existe una zona de transición en el modelo geológico.

Sin embargo, los elementos estimados muestran un suavizamiento transicional en los límites de los dominios. En la **Figura 20** se muestra el modelo geológico realizado en Leapfrog Software.

## Figura 20

### *Modelo geológico Open Pit Calaorco- La Arena*



*a:* Fuente Tahoe Perú, 2018

En general los dominios de mineral en óxidos (dominios 100-400) fueron estimados usando Localised Uniform Conditioning (LUC) debido a la naturaleza difusa de las leyes dentro de estos dominios.

Las estructuras Tilsa (dominio 500) y Astrid (dominio 600) y el Dominio Coluvio (ROCK=0) fueron estimados utilizando el método de Krigging Ordinario (OK) debido a que estas son zonas más discretas cuando se comparan con otros dominios de óxidos con oro.

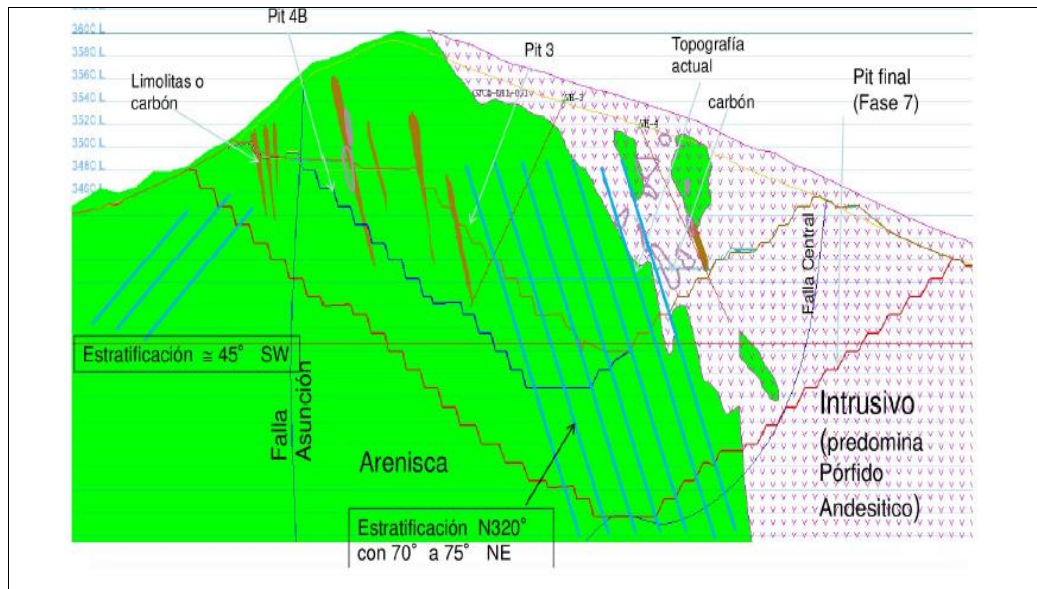
Todos los límites utilizados para la estimación de Au dentro de los dominios de óxidos mineralizados son límites duros a excepción de los dominios de oxidación.

Los dominios de óxidos auríferos (100-400) utilizan una sola estrategia ajustada al alcance del variograma para cada dominio.

Como resultado final se ha elaborado el modelo geológico lo cual servirá para el análisis geotécnico, en la **Figura 21**, se muestra la sección geológica del tajo Calaorco.

**Figura 21**

*Sección Geológica del Tajo Calaorco Fase 3, 5 y 7*



*Nota:* Fuente Golder ,2016

#### 4.2.4. Hidrogeología

El presente estudio ha tomado en cuenta las evaluaciones hidrogeológicas consideradas por Montgomery & Associates (MWH,2013), en base a los registros piezométricos, pozos de desaguado, datos de controles de cuerpos de agua y ríos seleccionados para la mina La Arena.

El proyecto minero se ubica en las nacientes de las subcuencas de los ríos Chichiricucho y Yamobamba. Estas subcuencas nacen sobre los 4,300 msnm, en la línea divisoria con la sub cuenca del río Huamachuco y micro cuenca de la quebrada del Pescado. Tiene una orientación hacia el Norte y es parte de la cuenca del río Condebamba, afluente del río Crisnejas, tributario del río Marañón.

La subcuenca que drena el río Chichiricucho hasta el puente del mismo nombre, aguas debajo de la mina, tiene un área de drenaje de aproximadamente 25.11 km<sup>2</sup>. El curso principal tiene una longitud de 6.4 km y una pendiente media de 13.4 %.

La subcuenca del río Yamobamba hasta el puente del mismo nombre, situado sobre la carretera que conduce a la ciudad de Huamachuco, tiene un área de drenaje de 209.8 km<sup>2</sup> aproximadamente. El curso principal tiene una longitud de 27.16 km y una pendiente media de 4.20 %.

En la **Figura 22** se muestra la posición estimada del nivel freático en el Tajo Calaorco por MWH, elaborado sin desaguado del tajo, esta información sirvió para estimar niveles freáticos para la evaluación de estabilidad de taludes del tajo.

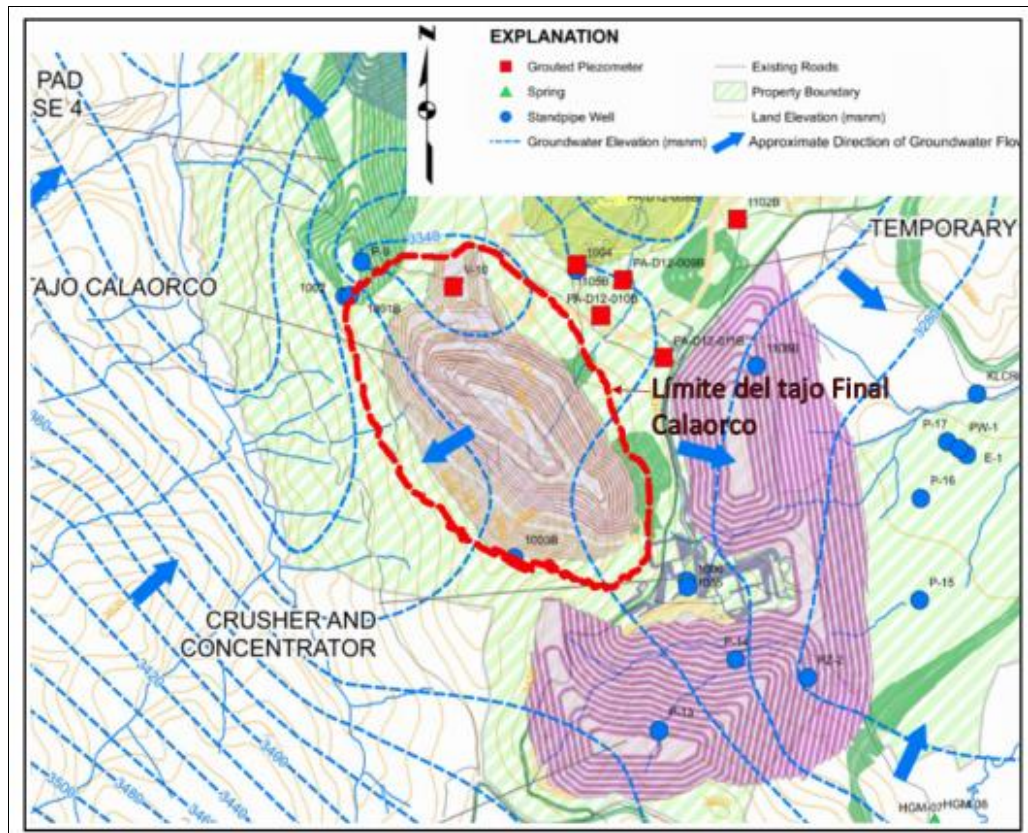
El nivel freático estático se encuentra entre las elevaciones 3305 a 3340 m, indicando que al fin de la Fase 4, el piso del tajo estará en la elevación 3325 m y por lo tanto con posibilidad de ocurrir filtración de agua subterránea.

Mediante los registros de Televiwer, se constató el nivel de agua en las perforaciones registradas a través de las imágenes. Las profundidades del nivel de agua en las perforaciones DDH-GH2-D15 y DDH-GH5-D15 son 72.95 m y 137.70 m respectivamente.



**Figura 22**

*Posición estimada del nivel freático en el Open Pit Calaorco*



*Nota:* Fuente MWH,2013

#### **4.2.5. Testigos Orientados**

Se ejecutaron un total de cinco (05) perforaciones en el área del Tajo Calaorco con fines de evaluación geotécnica, entre diciembre de 2015 y febrero de 2016. La profundidad de las perforaciones con diámetro HQ3 fue de 190 m a 250 m, acumulando una longitud total de perforación de 1040 m.

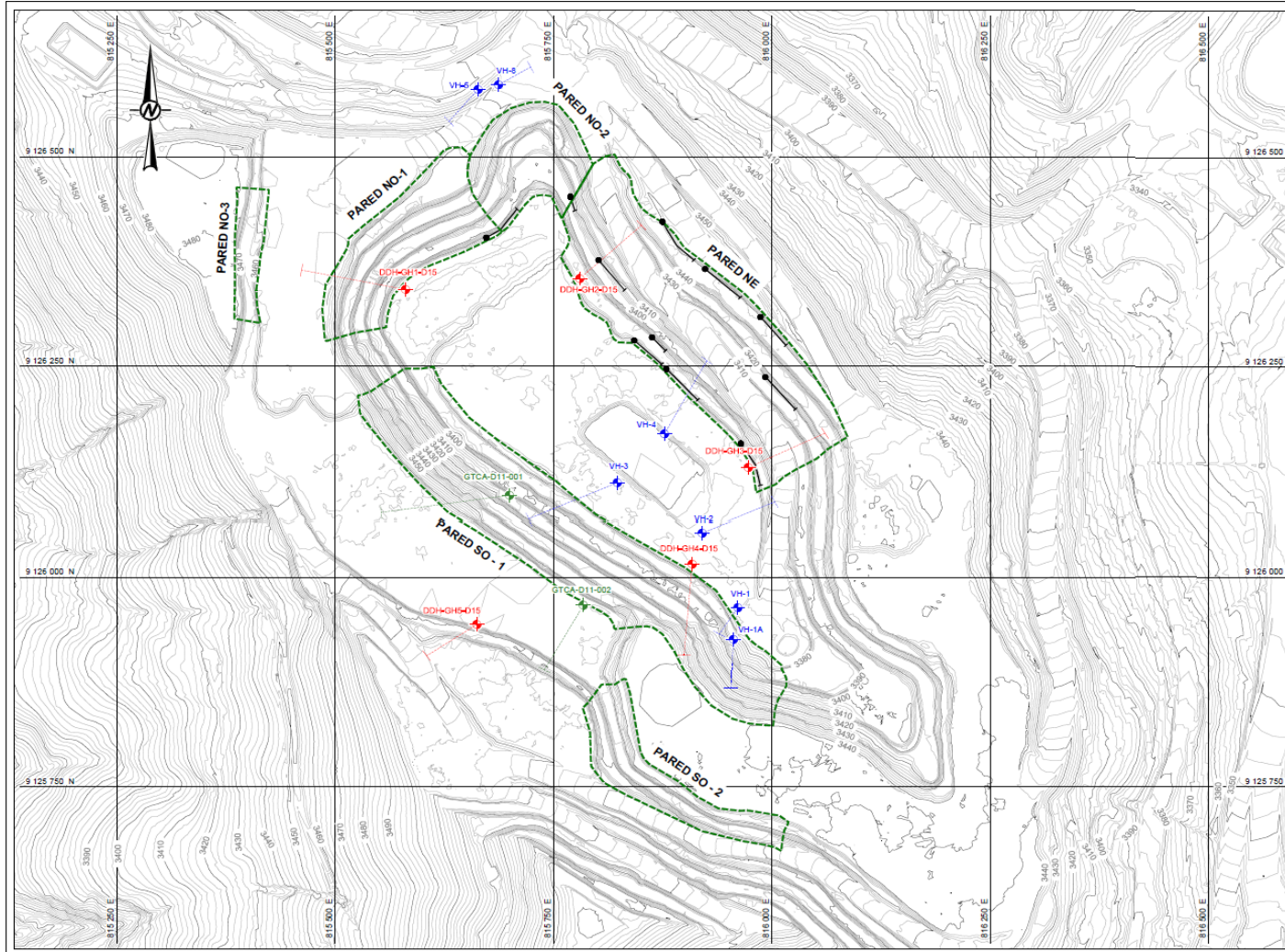
En el **Tabla 9** se tiene el resumen de las perforaciones ejecutadas. Las coordenadas de los puntos de perforación fueron proporcionadas por La Arena y están dadas en el Sistema de Coordenadas WGS 84. En el **Plano N°7** se muestra la ubicación de las investigaciones geotécnicas realizadas en el Tajo Calaorco, información recolectada por Golder Associates.

El procedimiento para medir la orientación de discontinuidades, registro fotográfico del testigo de perforación y registro de perforación se presenta en el **Anexo N°1** como muestra dado que toda la información disponible es muy amplia.

Tabla 9

*Perforaciones Geotécnicas Realizadas*

N°	Identificación de Perforación	Coordenadas (m)		Elevación (m.s.n.m.)	Prof. Final (m)	Azimut (°)	Inclinación (°)
		Norte	Este				
1	DDH-GH1-D15	9126342	815581	3392.24	250	N 281	-61
2	DDH-GH2-D15	9126355	815780	3392.17	190	N 048	-60
3	DDH-GH3-D15	9126129	815973	3384.28	200	N 065	-61
4	DDH-GH4-D15	9126016	815909	3376.38	200	N 185	-57
5	DDH-GH5-D15	9125944	815662	3480.71	200	N 237	-70



**LEYENDA**

- Topografía del terreno existente
- GTCA-D11-001 Perforaciones Geotécnicas Piteau 2012
- Perforaciones Geotécnicas actuales
- Perforaciones Geotécnicas Vector 2010
- Paredes Mapeadas-Fotogrametría
- Mapeo de Línea de detalle

**UBICACION DE PERFORACIONES GEOTECNICAS - VECTOR - 2010**

PERFORACIONES	COORDENADAS UTM		INCLINACION (°)	AZIMUT (°)	PROFUNDIDAD FINAL (m)
	ESTE	NORTE			
VH-1	815961	9125964	-60	N 214	73.75
VH-1A	815956	9125926	-70	N 183	170.00
VH-2	815966	9126028	-60	N 067	180.20
VH-3	815823	9126111	-60	N 247	219.75
VH-4	815877	9126169	-60	N 029	200.00
VH-5	815664	9126580	-60	N 221	101.25
VH-8	815687	9126585	-60	N 058	80.00

**UBICACION DE PERFORACIONES GEOTECNICAS PITEAU - 2012**

PERFORACIONES	COORDENADAS UTM		INCLINACION (°)	AZIMUT (°)	PROFUNDIDAD FINAL (m)
	ESTE	NORTE			
GTCA-D11-001	815701	9126096	-60	N 262	231.30
GTCA-D11-002	815784	9125967	-61	N 210	184.30

**UBICACION DE PERFORACIONES GEOTECNICAS -GOLDER ASSOCIATES**

PERFORACIONES	COORDENADAS UTM		INCLINACION (°)	AZIMUT (°)	PROFUNDIDAD FINAL (m)
	ESTE	NORTE			
DDH-GH1-D15	815581	9126342	-61	N 261	250.00
DDH-GH2-D15 (1)	815780	9126355	-60	N 048	190.00
DDH-GH3-D15	815973	9126129	-61	N 066	200.00
DDH-GH4-D15	815909	9126016	-67	N 185	200.00
DDH-GH5-D15 (1)	815662	9125944	-70	N 237	200.00

(1) SE REALIZARON REGISTROS DE TELEVIEWER

**UBICACION DE MAPEO DE LINEA DE DETALLE -GOLDER ASSOCIATES**

NIVEL DE BANCO	LINEA	COORDENADAS		ELEVACION (mm)	LONGITUD (m)
		NORTE	ESTE		
3376	1	9126280.90	815842.24	3377.47	50.00
	2	9126246.74	815879.07	3377.52	50.00
	3	9126157.75	815954.37	3377.79	55.00
3384	1	9126403.65	815872.34	3386.32	20.00
	2	9126284.08	815862.60	3386.06	20.00
3400 / 3408	1	9126452.35	815769.21	3401.65	15.00
	2	9126376.79	815801.43	3402.46	50.00
3416	1	9126237.04	815992.37	3417.50	50.00
3448	1	9126422.59	815874.54	3449.12	45.00
	2	9126366.18	815923.39	3449.12	55.00
	3	9126308.87	815986.80	3449.12	40.00

**UNIVERSIDAD NACIONAL "DANIEL ALCIDES CARRIÓN"**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
 ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

**UBICACION DE LAS INVESTIGACIONES GEOTECNICAS REALIZADAS EN EL OPEN PIT CALAORCO**

Tesista: Bach. J. Gomez C.  
 Escala: Grafica  
 Datum: WGS-84  
 Fecha: Dic. 2019

Plano Nº: **7**

#### 4.2.6. Registro Televiewer

Se ha realizado el servicio de Registro Geofísico de Perforaciones, el cual comprendió la adquisición de datos estructurales mediante las imágenes de pozo registradas con la sonda Televiewer en dos perforaciones, conforme se presenta en el **Tabla 10**. Los detalles de los registros con Televiewer son presentados en el **Anexo N°2**.

Tabla 10

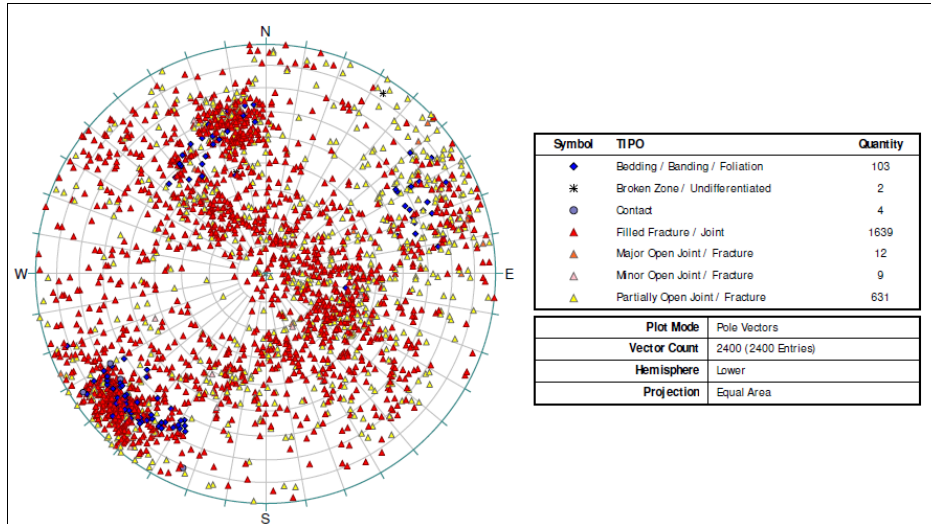
*Perforaciones registradas con Televiewer*

Identificación de Perforación	Coordenadas (m)		Cota (m.s.n.m.)	Azimut (°)	Inclinación (°)	Prof. Final (m)	Longitud Registrada (m)	Intervalo de Registro (m)	
	Norte	Este						Inicio	Fin
DDH-GH2-D15	9126355	815780	3392.17	N 048	-60	190.00	177.01	185.01	8.00
DDH-GH3-D15	9126129	815973	3384.28	N 065	-61	200.00	0.00	Pozo derrumbado	
DDH-GH5-D15	9125944	815662	3480.71	N 237	-70	200.00	187.5	195.13	7.63
TOTAL (m)						<b>1040</b>	<b>364.51</b>		

A partir de la información estructural recolectada mediante los registros de televiewer se prepararon las proyecciones estereográficas por cada perforación. En los estereogramas con la representación de polos se diferenciaron los datos por cada tipo de discontinuidad identificada como resultado de la interpretación, la leyenda muestra la cantidad de datos por cada tipo de estructura (**Figura 23**). El resumen de los sistemas de discontinuidades identificados en base a toda la data obtenida mediante Televiewer en el Tajo Calaorco se muestra en el **Figura 24**.

**Figura 23**

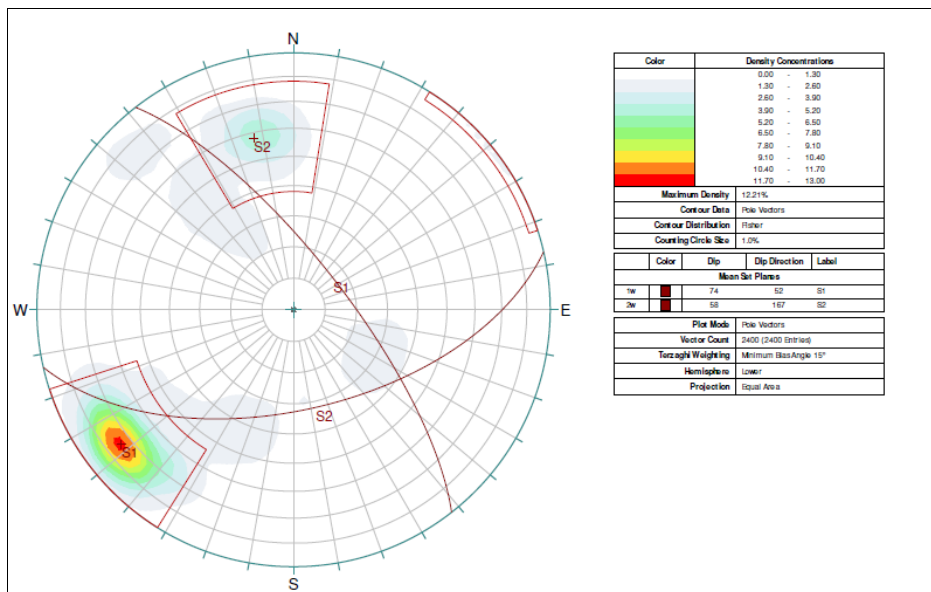
*Proyección estereográfica de los polos considerando toda la data estructural disponible mediante los registros de televiewer.*



*Nota: A la derecha se presenta la leyenda indicando la cantidad por cada tipo de estructura.*

**Figura 24**

*Resumen de los sistemas de discontinuidades identificados en base a toda la data obtenida mediante Televiewer.*



El Tajo Calaorco está principalmente gobernado por dos litologías: las areniscas que están expuestas en el lado oeste y la unidad Intrusiva, expuesto en

el lado este del tajo. La perforación **DDH-GH2-D15** orientada hacia el NE ha mostrado testigos con información estructural relacionada con la **unidad Intrusiva**; mientras que la perforación **DDH-GH5-D15**, que está orientada al SW, ha colectado información estructural para la **unidad sedimentaria**.

Los sistemas principales identificados en los registros Televiewer, se muestra en el **Tabla 11**.

Tabla 11

*Sistemas principales del Open Pit Calaorco*

<b>Identificación de Sistema</b>	<b>Inclinación (°)</b>	<b>Dirección de Buzamiento (°)</b>
S1	74	52
S2	58	167

#### **4.2.7. Mapeo Fotogramétrico**

##### **Mapeo Con Sirovision©**

El software Sirovision© de CAE fue usado para crear los modelos en 3D y completar el mapeo digital de las fotografías. El mejor punto de vista para realizar el mapeo por fotogrametría son las crestas de las paredes del tajo abierto, tal como se observa en el **Figura 25**. Estas áreas proporcionaron vistas sin obstrucción de las paredes opuestas del tajo y así se pudo crear mosaicos de las secciones largas de las paredes del tajo. También se tomaron fotografías desde la parte inferior del tajo para la pared noreste. Sin embargo, los lugares para capturar las fotografías de forma segura de las diversas orientaciones de las paredes del tajo a menudo eran limitados debido al tráfico operativo (por ejemplo: transporte de camiones).

## Figura 25

*Colección de data de campo en la Cresta de la Pared Suroeste*



*Nota: fotografía*

El tajo abierto fue dividido según las orientaciones de las paredes (paredes noreste, noroeste y suroeste) para el mapeo por fotogrametría, como se muestra en el **Plano N°7**, que usa el diseño de la Fase 3 del Tajo. Los modelos en 3D y las características mapeadas para cada orientación de las paredes son presentados en el **Anexo N°3**.

### **Análisis de data de discontinuidades**

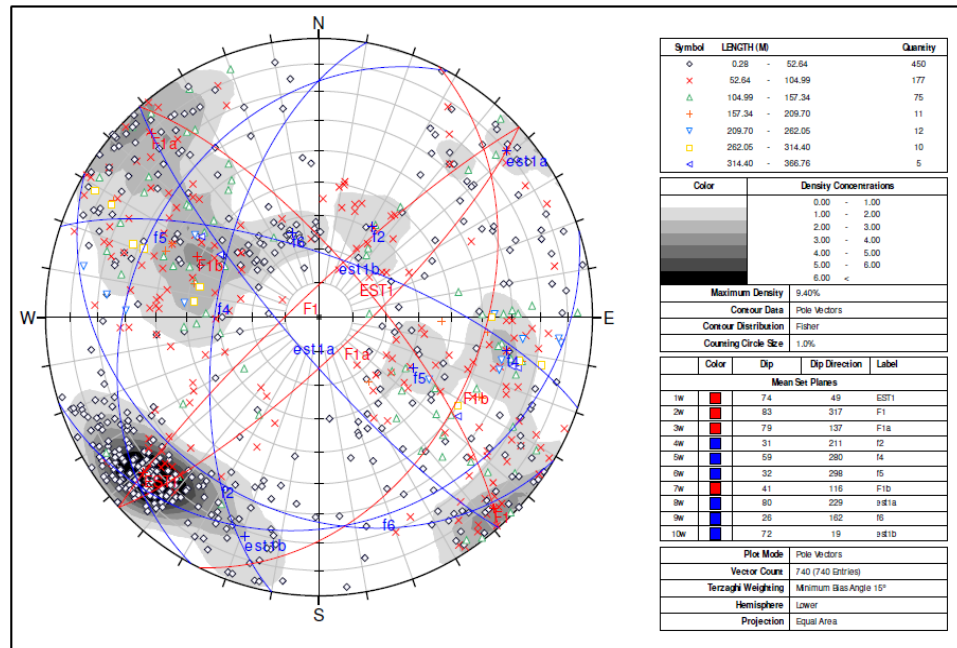
Toda la data de las discontinuidades obtenida del mapeo por el software Sirovision©, se analizó estadísticamente mediante el software DIPS©, distribuido por RocScience. Las proyecciones estereográficas (o esterogramas) proporcionan una representación en 2D de la data estructural. Para la reducción de los datos, los análisis se realizaron utilizando proyecciones en el hemisferio inferior (Manual DIPS versión, 2010).

En total, 740 discontinuidades fueron mapeadas a lo largo del Tajo Calaorco. Las estructuras mapeadas consistieron en discontinuidades que eran persistentes a través de uno o más bancos, que tienen el potencial para influir en la estabilidad de taludes a escala de banco o a escala de inter-rampa.

El resumen de los sistemas de discontinuidades mayores y menores seleccionados en base al mapeo fotogramétrico en el Tajo Calaorco se muestra en el **Figura 26** y en el **Tabla 12**.

**Figura 26**

*Estereograma de Sistemas Seleccionados de Discontinuidades para toda la data combinada obtenida por el mapeo.*



*Nota: Si uso el software Sirovision©.*



Tabla 12

*Sistemas Seleccionados de Discontinuidades*

Dominio/Sistema Seleccionado		EST1	est1a	est1b	F1	F1a	F1b	f2	f4	f5	f6
Buzamiento/ Dirección de buzamiento (*)	Pared Noreste		71/224		<b>82/319</b>	<b>77/139</b>	<b>51/136</b>			<b>29/315</b>	28/149
	Pared Noreste	<b>74/057</b>	75/225	<b>72/018</b>	82/316	78/122	48/118	<b>30/215</b>	<b>57/279</b>	32/284	<b>26/152</b>
	Pared Suroeste	<b>73/043</b>			86/301	80/118	<b>42/107</b>		81/282		
	Todos los datos	<b>74/049</b>	80/229	72/019	<b>83/317</b>	<b>79/137</b>	<b>41/116</b>	31/211	59/280	32/298	26/162
Longitud Mapeada (m)	Promedio	12	38	18	<b>56</b>	<b>59</b>	<b>89</b>	<b>77</b>	<b>131</b>	<b>74</b>	32
	Desv.Est.	25	45	22	35	64	81	37	88	52	30
Número de características mapeadas		189	13	37	43	58	76	25	44	37	23
Notas: Desv. Est.=Desviación Estándar Las orientaciones dominantes de los sistemas en cada dominio se muestran en negrita. Los sistemas mayores de discontinuidades se muestran de color rojo. Los sistemas de discontinuidades de mayor persistencia se muestran de azul.											

A partir de los datos mapeados en Sirovision©, se observa lo siguiente:

- ✓ **Sistema Mayor de Estratificación (EST1)** - El sistema principal EST1 es una estructura dominante se ve en todo el tajo. Este fue medido 189 veces donde se observó. Los trazos para la persistencia fueron limitados con una longitud promedio de 12 m. Tiene un buzamiento / dirección de buzamiento promedio de 74° / 049°.
  - **Sistema Menor de Estratificación (est1a)** – Este sistema es una variación del EST1, que tiene un buzamiento alto hacia la pared Suroeste, probablemente como resultado de las estructuras de ondulación en los estratos. El sistema est1a tiene una persistencia promedio alta de 38 m, fue medido 13 veces, tiene un buzamiento / dirección de buzamiento promedio de 80° / 229°.
  - **Sistema Menor de Estratificación (est1b)** – Este sistema es una variación del EST1, donde el buzamiento de la estratificación es hacia la pared Norte. El sistema est1b tiene una persistencia promedio de 18 m y

fue medido 37 veces, tiene un buzamiento / dirección de buzamiento promedio de  $72^\circ / 019^\circ$ .

- ✓ **Sistema Mayor Inclinado (F1/F1a)** – El sistema mayor F1 es más notorio en la pared Noreste pero también se puede observar en las paredes Noroeste y Suroeste. Este sistema también representa las orientaciones de las fallas mayores que aparecen en las paredes del tajo (Calaorco, Yani, Eli y Central, se muestran en la figura N°10) y las diatremas mineralizadas (fluidos hidrotermales mineralizados). El sistema F1 tiene un buzamiento alto con una dirección NE-SO. Las ondulaciones en la dirección de buzamiento están representadas en el sistema F1a, el buzamiento / dirección de buzamiento promedio para F1 es de  $83^\circ / 317^\circ$  y para F1a es de  $79^\circ / 137^\circ$ . Se prevé que el sistema F1/F1a intersecta múltiples bancos del tajo, con una persistencia promedio de 56-59 m y que ha sido registrada colectivamente 101 veces durante el mapeo por fotogrametría.
- ✓ **Sistema Menor de Discontinuidad (f1b)** – Este sistema es una variación de F1 y es observado como una estructura persistente en la pared Suroeste (SO-1 y SO-2), con una persistencia promedio de 89 m y fue medido 76 veces. El sistema f1b tiene un buzamiento / dirección de buzamiento promedio de  $41^\circ / 116^\circ$ .
- ✓ **Sistema Menor de Discontinuidad Sub-horizontal (f2)** - Este sistema sub-horizontal f2 es únicamente observado en la esquina de la pared Noroeste (NO-1). El sistema f2 fue medido 25 veces en esta locación y con una amplia persistencia promedio de 77 m. Tiene un buzamiento / dirección de buzamiento promedio de  $31^\circ / 211^\circ$ .

- ✓ **Sistema Menor de Discontinuidad Inclinado (f4)** – Este sistema inclinado f4 es únicamente observado en la esquina de la pared Noroeste (NO-2) y en la pared Suroeste. El sistema f4 fue medido 44 veces en estas locaciones y con una amplia persistencia promedio de 131 m. Tiene un tiene un buzamiento /dirección de buzamiento promedio de  $59^\circ / 280^\circ$ .
- ✓ **Sistema Menor de Discontinuidad Sub-horizontal (f5)** - Este sistema sub-horizontal f5 es predominantemente observado en la pared Noreste, pero también se observó a una esquina norte del tajo (NO-2). El sistema f5 fue medido 37 veces en esta locación y es continua a través de los múltiples bancos, con una persistencia promedio de 74 m. Tiene un tiene un buzamiento / dirección de buzamiento promedio de  $32^\circ / 298^\circ$ .
- ✓ **Sistema Menor de Discontinuidad Sub-horizontal (f6)** - El sistema sub-horizontal f6 es principalmente observado en los bancos superiores de la pared Noroeste del tajo (NO-3). Ha sido medido 23 veces, con una persistencia promedio de 32 m. El sistema f6 tiene un buzamiento/dirección de buzamiento promedio de  $26^\circ/162^\circ$ .

#### **4.2.8. Mapeo Geomecánico de Bancos**

El mapeo a través de la técnica de línea de detalle se realizó en los bancos accesibles de la pared Este del tajo, donde se expone la unidad Intrusiva, con la finalidad de confirmar las orientaciones de las familias de discontinuidades en ese contorno. Los bancos donde se realizó el mapeo lineal de estructuras se detallan en el **Tabla 13. El Plano N°7** muestra la ubicación de las líneas de mapeo superficial. Los datos tomados en campo fueron datos estructurales del macizo rocoso tales como: Orientación de la discontinuidad, espaciamiento, terminación,

persistencia apertura, forma, rugosidad, relleno, alteración y presencia de agua, los cuales se detallan en el **Anexo N° 04**.

Tabla 13

*Relación de Bancos donde se realizó Mapeo Lineal*

Identificación de Banco	Línea	Coordenadas		Elevación (m)
		Norte (m)	Este (m)	
3376	1	9126280.90	815842.24	3377.47
	2	9126246.74	815879.07	3377.52
	3	9126157.75	815964.37	3377.79
3384	1	9126403.55	815672.94	3385.32
	2	9126284.58	815862.60	3385.96
3400-3408	1	9126452.35	815769.21	3401.65
	2	9126376.79	815801.43	3402.46
3416	1	9126237.04	815992.37	3417.50
3448	1	9126422.59	815874.54	3449.12
	2	9126366.18	815923.39	3449.12
	3	9126308.87	815986.80	3449.12

#### 4.2.9. Ensayos de laboratorio

Se ha desarrollado una campaña de ensayos de laboratorio de mecánica de rocas con la finalidad de obtener las propiedades físicas y los parámetros de resistencia de las unidades litológicas identificadas para el Tajo Calaorco.

En total son ciento cinco (105) muestras ensayadas e incluyen lo siguiente:

- 27 ensayos de resistencia a la compresión uniaxial
- 28 ensayos de resistencia a la carga puntual
- 7 ensayos de módulos elásticos
- 10 ensayos de resistencia a la tracción indirecta
- 10 ensayos de resistencia a la compresión triaxial
- 13 ensayos de resistencia al corte directo
- 10 ensayos de propiedades físicas

En el **Anexo N°05** se muestran los resultados de los ensayos de laboratorio. Estos resultados serán utilizados en el siguiente capítulo para la caracterización geotécnica del tajo.

#### **4.2.10. Caracterización Geotécnica**

Los datos detallados en la **Sección 4.2.3 al 4.2.9** de este informe fueron usados para la preparación del modelo geotécnico que consiste en los siguientes componentes:

- Geología del área del tajo;
- Estructural de roca
- Propiedades de los materiales, incluyendo la alteración
- Propiedades del macizo rocoso
- Condiciones hidrogeológicas

En el **Plano N°4** se presenta la zonificación geológica-geotécnica del tajo final proyectado y en el **Plano N°5** las secciones de las unidades geológicas-geotécnicas considerados para el Open pit Calaorco.

#### **Unidades del Macizo Rocosos**

El Modelo Geotécnico dividió el macizo rocoso del tajo en las siguientes unidades geotécnicas basadas en las principales unidades geológicas:

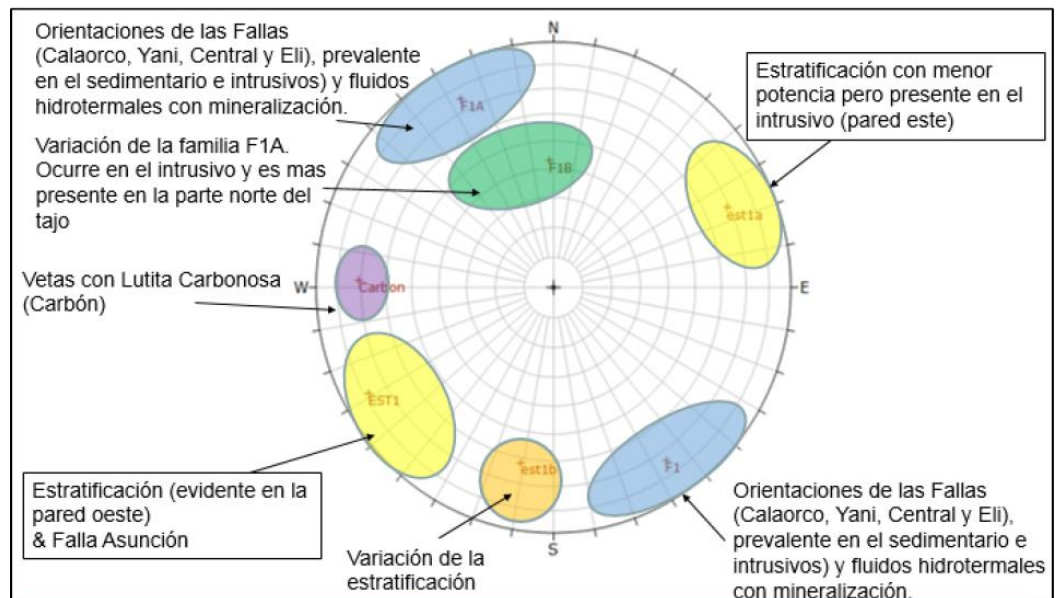
- Sedimentaria: Arenisca, Arenisca Brechada, Arenisca con intercalaciones de Limolita y Lutita. Sedimentaria con alteración y/o meteorización.
- Intrusivo: Pórfido Andesítico, Pórfido Dacítico, Pórfido Andesítico Bx, Limolita: Limolita, Limolita con Lutita
- Carbón: Carbón con arenisca, carbón con lutita.

## Dominios Estructurales y Sistemas de Discontinuidades

El análisis de los estereogramas preparados con los datos estructurales y la comparación con los estereogramas ha permitido la selección de las principales familias de discontinuidades para la unidad sedimentaria y para la unidad intrusiva, conforme se resume en el **Figura 27**:

### Figura 27

*Resumen de las familias de discontinuidades*



A pesar de que la intensidad y la orientación de las familias principales varían alrededor del tajo, se observa la ocurrencia de la estratificación (EST), fallas con discontinuidades sub-paralelas a estas fallas (F1A y F1), y vetas de lutita carbonosa (o carbón).

## 4.2.11. Propiedades de los Materiales

### 4.2.11.1. Resistencia de roca intacta

Para la estimación de los ensayos de compresión no confinada, se consideraron los resultados de ensayos realizados por Golder y Piteau (2012) y se estimaron los valores promedio y las desviaciones estándar.

En promedio, los resultados de laboratorio indican que la unidad Sedimentaria es muy resistente ( $100 \text{ MPa} < \text{UCS} < 250 \text{ MPa}$ ), las unidades Intrusiva y Limolita son de resistencia débil o frágil ( $5 \text{ MPa} < \text{UCS} < 25 \text{ MPa}$ ), mientras que la Lutita Carbonosa tienen resistencia muy débil o muy frágil ( $1 \text{ MPa} < \text{UCS} < 5 \text{ MPa}$ ).

Durante el logueo de las perforaciones geotécnicas, se observó un micro-fracturamiento en muchos intervalos, ocasionando la reducción de la resistencia de la roca intacta. Por otro lado, si la alteración hidrotermal llenó las micro-fracturas, por ejemplo, con sílice (silicificación), estas micro-fracturas no controlan la resistencia de la roca, conforme es mostrado en las **Figuras 28a-28b-28c**. Este micro-fracturamiento es importante pues permite la fragmentación con la voladura del macizo rocoso en tamaños adecuados para la mina, eliminando con eso la necesidad de tener chancadora.

## Figura 28

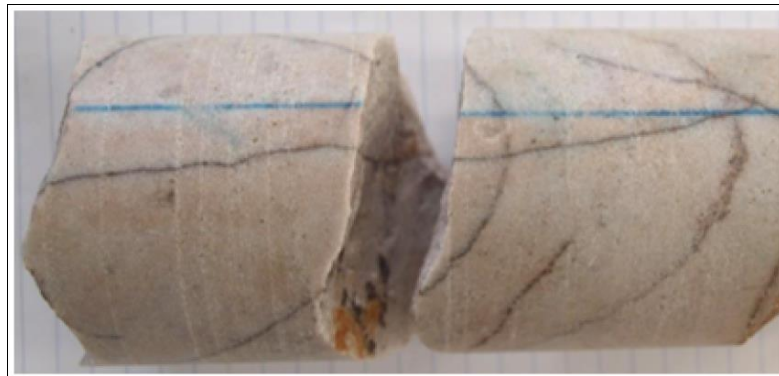
*Micro-fracturamiento observados en los testigos diamantinos.*



**Figura 28 a:** El micro-fracturamiento reduce la resistencia de la roca para R3. Se observa que el golpe del martillo rompe la roca en varios segmentos



**Figura 28 b:** La roca es más resistente y el relleno en los micro-fracturas es fuerte. La roca no se rompe durante la perforación, indicando un R4.



**Figura N°28 c:** Las micro-fracturas no controlaran la resistencia de la roca. El golpe del martillo ocasiona la falla por otra superficie.

La resistencia a la tracción indirecta tiene los valores promedio más altos en la unidad Sedimentaria, con valores de 9.7 MPa; el valor



obtenido en la unidad Intrusiva tiene valores de 3.4 MPa; en el caso de la Limolita, tiene un valor promedio de 1.23 MPa. La Lutita Carbonosa (o Carbón) tiene un valor atípico de 7.5 MPa, el cual no se ha considerado en los cálculos estadísticos ya que no guarda relación con las estimaciones de índice de resistencia de campo (R1), y es muy probable que la intercalación con capas finas de arenisca le aporte esta resistencia.

A partir de los valores de ensayo de compresión triaxial, UCS y resistencia a la tracción se estimaron las envolventes de resistencia de la roca intacta aplicando el criterio de rotura de Hoek-Brown (Hoek et al., 2002). La **Figura 29** resume las envolventes de resistencia de Hoek-Brown según unidad litológica en un mismo espacio. Los parámetros H-B para cada unidad se presentan en el **Tabla 14**. La unidad geotécnica Sedimentaria fue subdividida en dos unidades: la unidad Sedimentaria más competente sin efecto de la alteración, y la unidad Sedimentaria alterado o con presencia de oxidación.

La comparación de las envolventes de resistencia indica que la unidad Sedimentaria en sus dos sub-unidades tendría la mayor resistencia, medida por la resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta, seguido de la unidad Intrusiva. De menor resistencia se encuentran la Limolita y la Lutita Carbonosa (o Carbón), aunque esta última presenta valores inconsistentes.

**Figura 29**

*Envoltorios de Resistencia de Hoek-Brown según Litología*

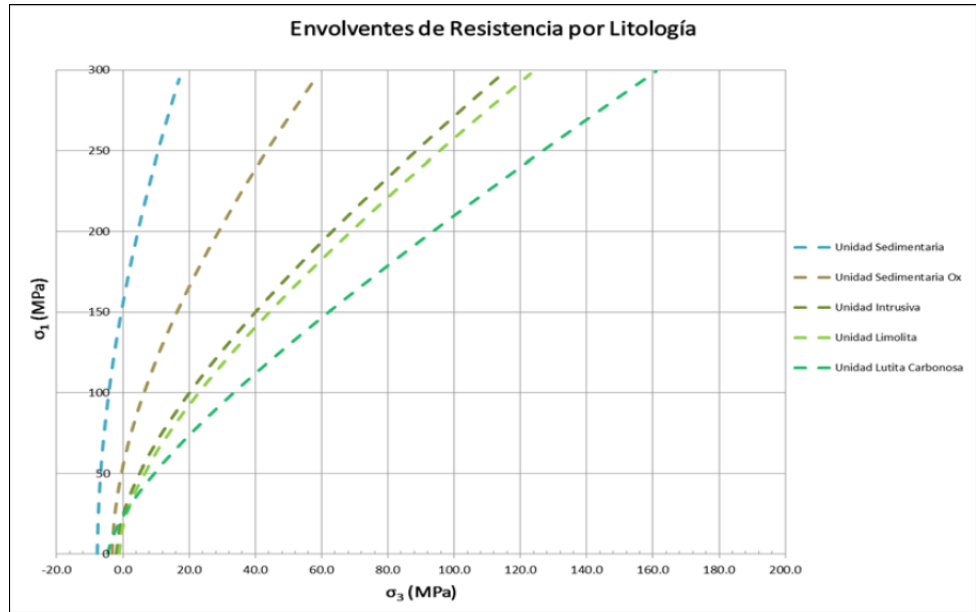


Tabla 14

*Parámetros de Resistencia de la Roca Intacta por Unidad Litológica.*

Unidad Geotécnica	Parámetros de Hoek-Brown		
	σ <sub>ci</sub> (Mpa)	σ <sub>t</sub> (Mpa)	m <sub>i</sub>
Sedimentaria	155.4	-7.8	20
Sedimentaria Alterada/ Oxidación	53.8	-3.2	17
Intrusiva	24	-2	12
Limolita	16.4	-1.1	15
Lutita Carbonosa	23	-4.6	5

Donde:  
 σ<sub>ci</sub> = Resistencia compresiva de la roca intacta.  
 σ<sub>t</sub> = Resistencia de tracción  
 m<sub>i</sub> = Parámetro del criterio de falla H-B

#### 4.2.11.2. Resistencia al corte de discontinuidades

Para estimar la resistencia al corte de las discontinuidades se realizaron ensayos de corte directo, cuyos resultados son presentados en el **Anexo N°06**. Según esos resultados, los siguientes valores promedios fueron obtenidos:

### **Unidad Sedimentaria**

- Discontinuidad natural: Cohesión =  $0.36 \pm 0.46$  MPa y Ángulo de fricción =  $36^\circ \pm 8^\circ$ . Notar que, si los dos valores más altos y los dos valores más bajos son eliminados, la cohesión se reduce a 0.2 MPa. Considerando todos los resultados y estimando la envolvente lineal de resistencia se obtiene un ángulo de atrito de  $38^\circ$ .
- Discontinuidad simulada (o ángulo básico, obtenido por cortar con sierra diamantada la discontinuidad): Cohesión = 0.1MPa y Ángulo de fricción =  $26^\circ$

### **Unidad Intrusiva**

- Discontinuidad natural: Cohesión =  $0.1 \pm 0.1$  MPa y Ángulo de fricción =  $32^\circ \pm 5^\circ$ .
- Discontinuidad simulada (o ángulo básico, obtenido por cortar con sierra la discontinuidad): Cohesión = 0.1MPa y Ángulo de fricción =  $29^\circ$

### **Unidad Lutita**

- Discontinuidad natural: Cohesión = 0 MPa y Ángulo de fricción =  $28^\circ$ .  
Para el análisis cinemático de los bancos se utilizó ángulos de fricción de  $35^\circ$  y  $30^\circ$  para las unidades Sedimentaria e Intrusiva, respectivamente.

Para los análisis de estabilidad de taludes con ángulos inter-rampa y globales, se consideró los valores presentados en el **Tabla 15**. Con valores mínimos de cohesión de 50 kPa para las juntas y 25 kPa para fallas.

Tabla 15

*Parámetros de Resistencia de Discontinuidades*

Estructuras		C (kPa)	Ø (°)
Fallas	Unidad Sedimentaria, Unidad Intrusiva	25	20
Juntas	Unidad Sedimentaria	50	38
	Unidad Intrusiva	50	32
Estratificación	Unidad Sedimentaria	50	32

**4.2.11.3. Parámetros del Macizo Rocoso**

**RQD (Rock Quality Designation)**

Los valores de RQD se presentan en una escala de 0 a 100, siendo una roca de excelente calidad de 90 a 100%. Los pesos promedios de RQD fueron calculados a partir de datos de testigos de perforaciones para cada unidad de roca y son resumidos en el **Tabla 16**.

Tabla 16

*RQD por unidad Geotécnica*

Unidad Geotécnica	Programa de Perforación	RQD (%)	Desviación Estandar
Sedimentaria	2009	34	28.5
	2011/2012	73	30.9
	2015/2016	40 <sup>1</sup>	39
Intrusiva	2009	42	35.8
	2011/2012	37	37
	2015/2016	73	30
Limolita	2015/2016	27	36
Carbón	2015/2016	3	3
<sup>1</sup> Promedio de los dos tipos de roca sedimentaria			

De acuerdo con los registros de perforaciones realizadas, el macizo rocoso de la unidad Sedimentaria está más fracturado (perforaciones GT-1, 4 y 5) que la unidad Intrusiva (perforaciones GT-2 & 3). A pesar de todo el esfuerzo hecho durante el logueo, es posible que

algunas de las fracturas logueadas para la unidad Sedimentaria sean mecánicas, pero fueron muy difícil de distinguir las debido a los varios intervalos con evidencia de fallas y con testigo roto. Por ejemplo, la perforación GT-1 hacia al NO en la parte norte del tajo, indica un alto grado de fracturamiento el cual estaría asociado con las fallas que cruzan esta área, conforme también observado en la pared, y también con la alteración / oxidación que ocurre en este sector.

La unidad Intrusiva presentó un menor grado de fracturamiento, lo que sugeriría basado en el valor promedio de RQD, un macizo de buena calidad si no fuese por la baja resistencia de la roca.

Basado en estos valores de RQD, las unidades Limolita y Carbón son de mala a muy mala calidad.

### **Clasificación del macizo rocoso**

Los valores de los parámetros geomecánicos del macizo rocoso para cada unidad geotécnica se presenta en el **Anexo N°07**.

En el **Tabla 17** se presenta el resumen de los valores de RMR estimados a partir de registros geomecánicos realizados por las empresas especializadas Golder (2015/2016), Piteau (2012) y Vector (2010) en el Tajo Calaorco.

Tabla 17

*Clasificación Geomecánica de Unidades Geotécnicas del Macizo Rocos del Tajo Calarco*

Unidad Geotécnica		Golder (2015/2016)						Piteau (2012)	Vector (2010)
		Longitud Interceptada (m)	RQD (%)	Is-PLT <sup>1</sup> (Mpa)	RMR <sub>1976</sub>			RMR <sub>1976</sub>	RMR <sub>1989</sub>
					Prom± Desv.St	Max	Min	Promedio	Promedio
Sedimentaria	Sedimentaria	707.10	72±23	6.8±3.3 (56)	54±13	91	19	57	56
	Sedimentaria Alteración/Oxidación		2±5		32±6	51	13		
Intrusiva		322.70	73±36	2.1±1.2 (28)	46±11	81	24	46	36
Limolita		7.00	27±36	*	36±11	55	24	-	-
Lutita Carbonosa		3.20	3±3	*	24*	-	-	-	-

<sup>1</sup>Este valor se ha estimado de la experiencia previa en este tipo de roca

**Unidad Geotécnica Sedimentaria.** - La unidad geotécnica Sedimentaria es la predominante en la zona de estudio y presente en todas las profundidades a las que llegaron las perforaciones, la longitud total perforada en esta unidad fue de 707.1 m.

Esta unidad está conformada litológicamente por areniscas, areniscas cuarzosas y cuarcitas, de color blanco a crema claro, de grano grueso, de moderada dureza y fuertemente fracturada, presentando óxidos de hierro en las fracturas.

**Unidad Geotécnica Intrusiva.** - Esta unidad geotécnica es la segunda en importancia, con un total de 322.7 m de longitud cortados en las investigaciones geotécnicas desde los 0 hasta los 200 m de profundidad. Esta unidad está conformada por pórfidos andesíticos de color gris verdoso a crema amarillento, con alteración hidrotermal moderada a intensa, moderado a fuerte fracturamiento y brechamiento y resistencia baja a moderada.

**Unidad Geotécnica Unidad Limolita.** - Esta unidad geotécnica tiene poco espesor, presenta 7 m en total. Está compuesta de intercalaciones de limolitas verdes, rojizas, amarillas y azuladas, en estratos delgados, con láminas esporádicas de lutita marrones a rojizas. Presentan una resistencia baja, fracturamiento moderado a intenso y fuerte alteración (de tipo hidrotermal)

**Unidad Geotécnica Unidad Lutita Carbonosa (o Carbón).** - Es la unidad menos abundante, con sólo 3.2 m de longitud total en corridas ubicadas entre los 150 – 200 m de profundidad. Comprende capas de carbón antracítico de espesores gruesos (1 – 3m), gris azulado oscuro a negro, de resistencia baja, fuerte fracturamiento y alteración.

#### **Parámetros de resistencia del macizo rocoso**

Los parámetros de resistencia de macizo rocoso, usando el criterio de resistencia de Hoek - Brown (Hoek et al. 2002) son mostrados en el **Tabla 14**. Las características del macizo rocoso son descritas por los siguientes parámetros:

- ❖ Parámetro Hoek-Brown.
- ❖ Resistencia a Compresión Uniaxial (UCS).
- ❖ RQD.
- ❖ Resistencia al corte en discontinuidades.

Para el propósito del análisis de estabilidad del talud global, el diseño de resistencia al corte del macizo rocoso ha sido expresado en términos del criterio de falla de Hoek-Brown Generalizado. Los parámetros de resistencia del macizo rocoso que han sido utilizados en el

análisis de estabilidad que se presentan en el **Tabla 18**. Para estructuras como fallas, juntas y estratificaciones se ha considerado el criterio Mohr-Coulomb con parámetros de resistencia presentado en **Tabla 19**.

Tabla 18

*Parámetros de Resistencia del Macizo Rocoso*

Unidad de Macizo Rocoso		Parámetros de Resistencia			
		Peso Unitario (kN/m <sup>3</sup> )	UCS Mpa	RMR <sub>1976</sub>	m <sub>i</sub>
Sedimentaria	Fresca	25	155	54	20
	Alterada/Oxidación		54	32	17
Intrusiva		23	24	46	12
Limolita		25	16	36	15
Carbón		23	23	24	5

Tabla 19

*Parámetros de Resistencia de Discontinuidades*

Estructuras		C (kPa)	Ø (°)
Fallas	Unidad Sedimentaria, Unidad Intrusiva	25	20
Juntas	Unidad Sedimentaria	50	38
	Unidad Intrusiva	50	32
Estratificación	Unidad Sedimentaria	50	32

Los valores de cohesión de las discontinuidades fueron subsecuentemente aumentados a 80 kPa o 100 kPa para representar las juntas y estratificación en los análisis de estabilidad considerando la condición anisotrópica. Este aumento de cohesión tendría en cuenta la posible ocurrencia de 10% de roca intacta (rock bridges) entre las discontinuidades y la posibilidad de no tener una junta que es continua para los 200 o 300 m de altura del talud.

Para las fallas, se evaluó con valores de cohesión de 25 kPa y 50 kPa en los análisis con anisotropía.



#### 4.2.12. Análisis de Estabilidad de Taludes

##### Evaluación Cinemática

Los taludes de un tajo abierto son susceptibles a generar fallas contraladas cinemáticamente

Los datos de las discontinuidades principales fueron obtenidos por:

- ✓ Fallas principales interpretadas por La Arena.
- ✓ 5 perforaciones geotécnicas con orientación de testigos.
- ✓ Registros con televiewer.
- ✓ Mapeo con fotogrametría.
- ✓ Mapeo de bancos para la unidad intrusiva.

##### a) Sectores de Diseño

La disposición de los sectores de diseño se basa predominantemente en las orientaciones de las paredes planificadas del tajo y de las orientaciones de la estratificación y fallas principales.

Tabla 20

*Sectores de Diseño para el Open Pit Calaorco*

Sector de diseño	Dirección de buzamiento de pared	Unidad Geotécnica Predominante
Sector 1 - Pared Noroeste (NW)	90°±10°	Sedimentaria
Sector 2 - Pared Oeste - Suroeste (W-SW)	50°±10°	Sedimentaria
Sector 3 - Pared Sur (S)	20°±10°	Sedimentaria
Sector 4 - Pared Sureste (SE)	270°±10°	Intrusiva
Sector 5 - Pared Este- Noreste (E-NE)	235°±10°	Intrusiva
Sector 6 - Pared Noreste (NE)	215°±10°	Intrusiva
Sector 7 - Pared Norte (N)	180°±10°	Intrusiva

La evaluación Cinemática en base a los datos estructurales por cada sector de diseño se resume en la tabla del **Anexo N°08**.

En base a los resultados de esta evaluación, debido a la variación del buzamiento de la estratificación, se recomienda implementar para las paredes **NW, W - SW y S** un ángulo de cara de banco de  $70^\circ$  en vez de  $75^\circ$ , para los taludes que serán excavados en la unidad sedimentaria. Así, desde el punto de vista del análisis cinemático, podría desarrollarse taludes con ángulo de cara (**BFA**) de  $70^\circ$ , ancho mínimo de berma de 9.50 m, y altura de banco doble de 16 m, para un ángulo inter-rampa (**IRA**) de  $46^\circ$ .

La mina tiene desarrollado un plan de voladura para excavar un **BFA** de  $75^\circ$  en la unidad Sedimentaria, el cual ha producido resultados variados, y muchas veces no se obtiene el ángulo de  $75^\circ$  en campo. Si la mina prefiere hacer la voladura para un **BFA** de  $75^\circ$ , entonces sería necesario aumentar el ancho de berma a por lo menos 11 m, de modo de compensar el back-break para  $70^\circ$  y generar el mismo **IRA** de  $46^\circ$ .

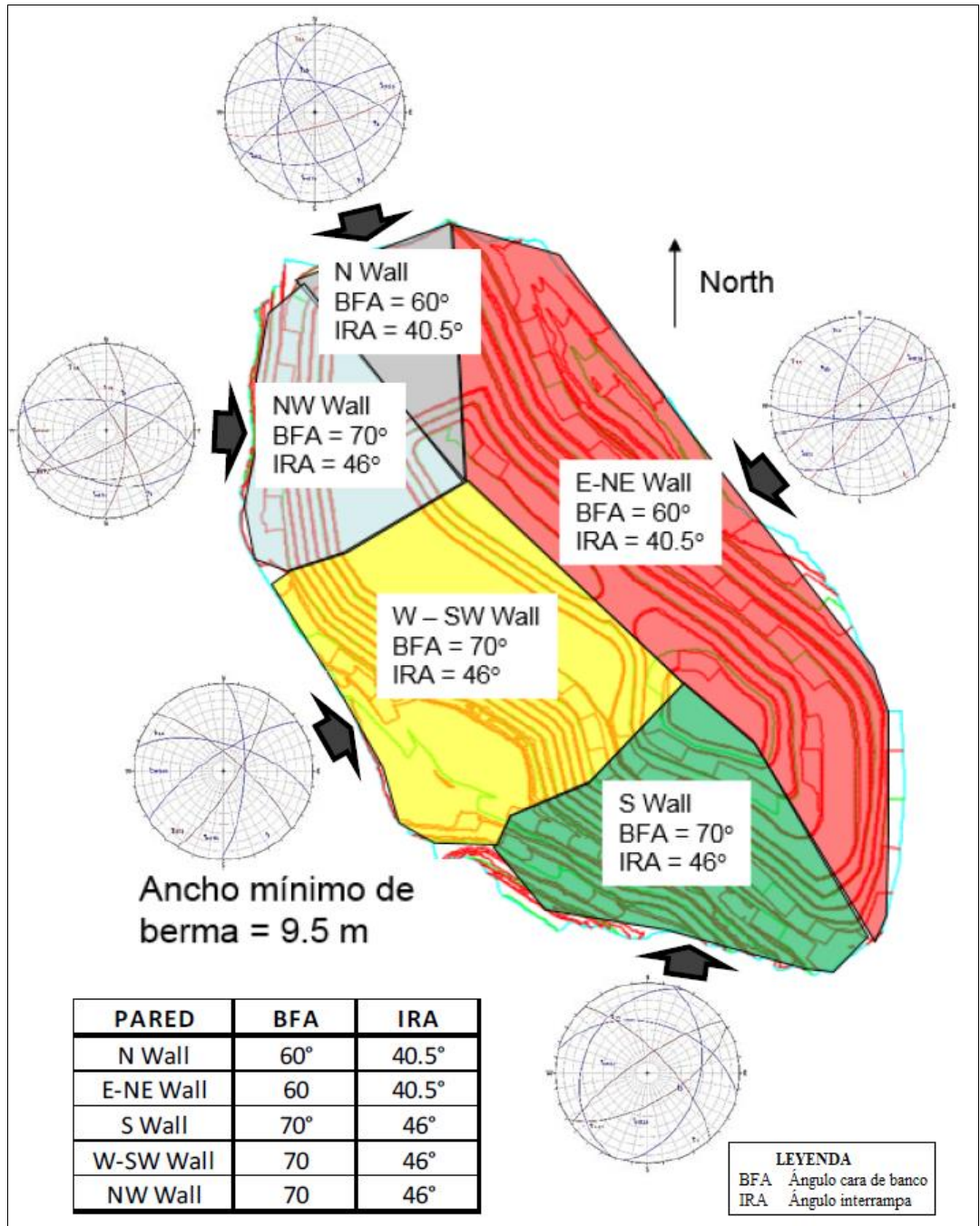
Observar que debido a altura máxima del talud de hasta 360 m, será necesario aumentar el ancho de bermas de modo de reducir el ángulo inter-rampa para, por ejemplo, un **IRA** de  $43.5^\circ$ , de modo de generar ángulos globales aceptables.

Para las paredes **N, E y SE**, con predominio de la unidad intrusiva, se obtuvieron un **BFA** de  $60^\circ$ , ancho mínimo de berma de 9.5 m y un **IRA** de  $40.5^\circ$ .

**Las Figuras 30, 31 y 32** presentan los valores de **BFA** e **IRA** para los diferentes sectores utilizados en el análisis cinemático y corresponden a la **Fase 3-4, Fase 5 y Fase 6-7** del Tajo Calaorco. Para el sector norte (N Wall), será importante reducir el **BFA** a  $60^\circ$  (o  $65^\circ$  con ancho de berma mayor), principalmente en los bancos excavados en la unidad Intrusiva.

**Figura 30**

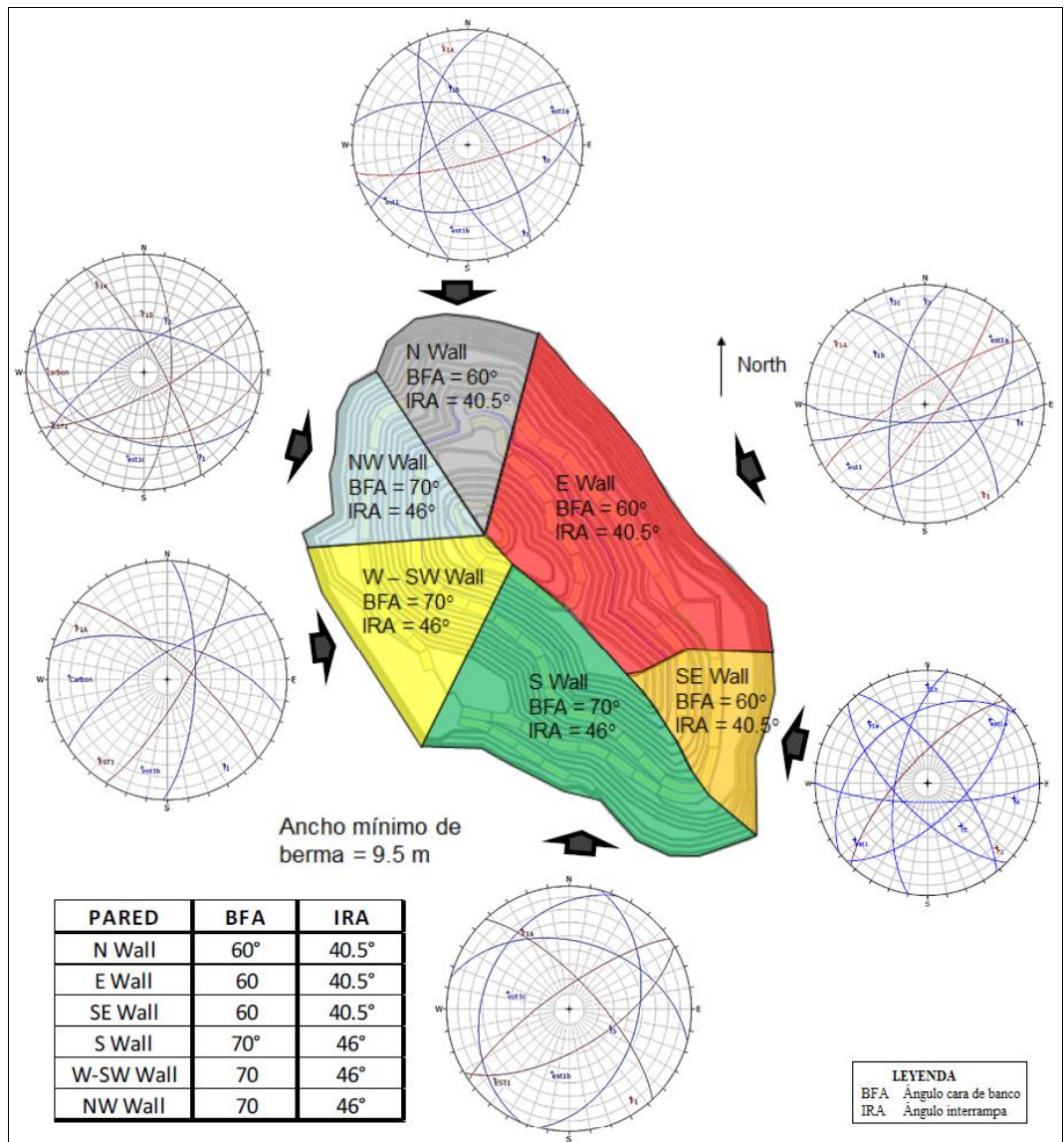
*Análisis Cinemático Fase 3-4*



*Nota:* Fuente Elaboración propia.

**Figura 31**

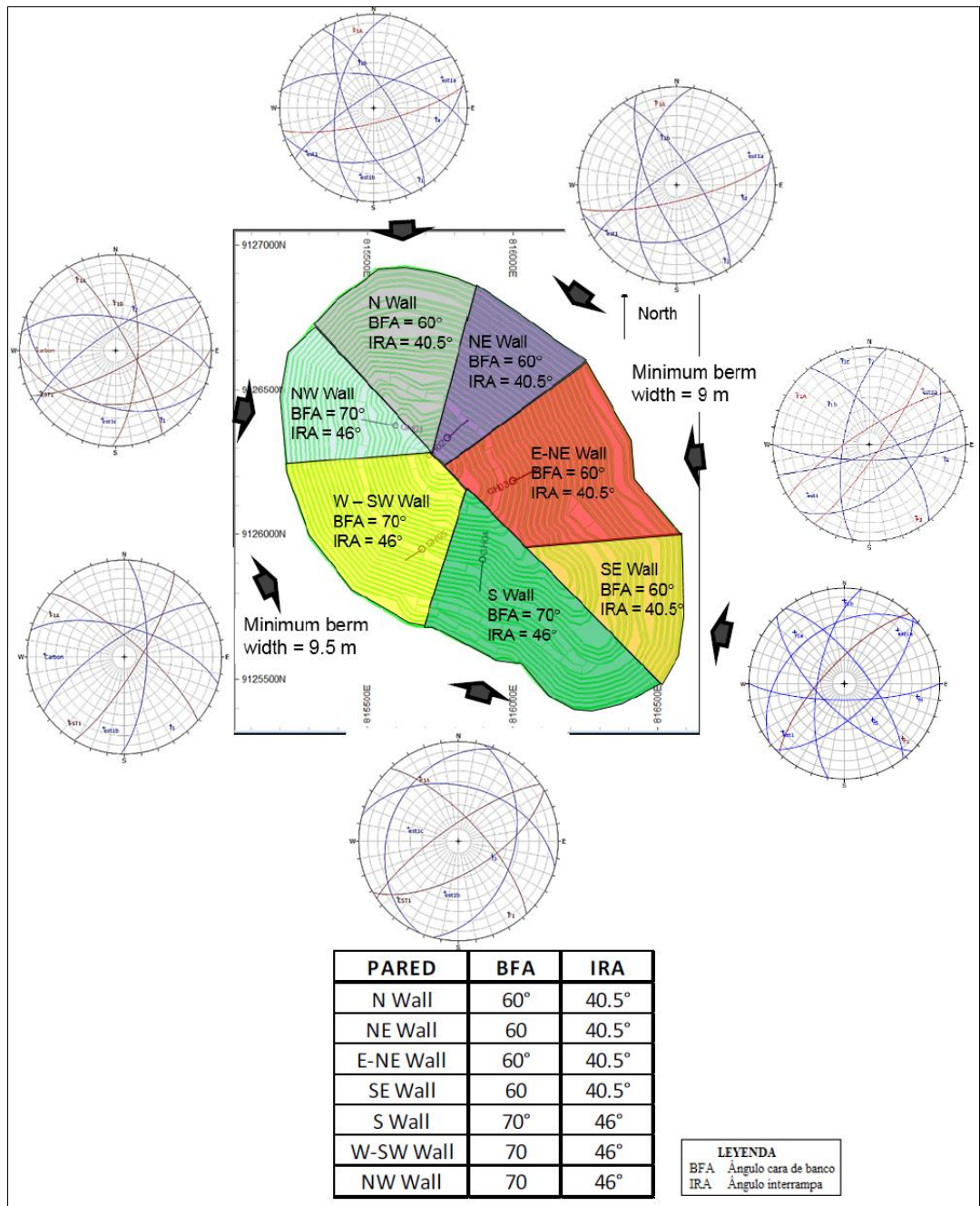
*Análisis Cinemático Fase 5*



*Nota:* Fuente Lot cit

**Figura 32**

*Análisis Cinemático Fase 6 y 7*



*Nota:* Fuente Lot cit

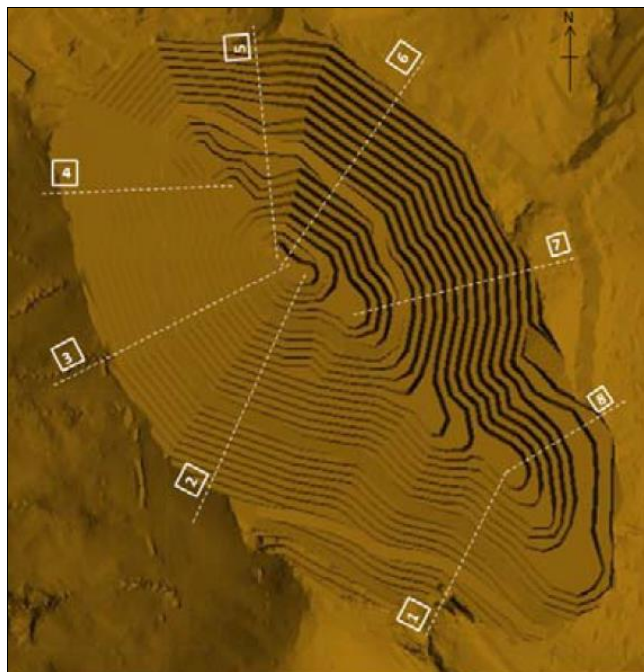
## Asunciones del Análisis de Estabilidad

Para el análisis de estabilidad fueron adoptados las siguientes metodologías:

- Fueron seleccionadas secciones para el análisis de equilibrio límite. Estas secciones fueron orientadas perpendicularmente a la pared final proyectada, siendo 6 (seis) secciones para la Fase 3-4, y 8 (ocho) secciones para la Fase 5 y Fase 6-7.

### Figura 33

*Secciones críticas para el análisis de estabilidad por Equilibrio Límite – Vista en Planta.*



*Nota: Fuente Golder,2016.*

- En el **Tabla N° 18** y **Tabla N°19** se presenta los parámetros de resistencia del macizo rocoso y estructuras que han sido usados en el análisis de estabilidad. La resistencia al corte del macizo rocoso se ha definido por el criterio de falla de Hoek-Brown y para las discontinuidades por el criterio de Mohr-Coulomb.

- El nivel de agua estático fue estimado con elevación variando de 3305 a 3340 m en base al reporte de MWH de fecha 2013. Las superficies de niveles freáticos (dinámicos) para cada sección fueron aproximados en base a la información de Piteau y también con una consideración conservadora de que habría filtración de agua subterránea en alturas elevadas en la cara de la pared.
- Para la estabilidad del talud global, los factores de seguridad mínimos aceptables se utilizaron conforme lo presentado en el **Tabla N° 8**.
- Basado en las consideraciones descritas y en referencia del Estudio de Peligro Sísmico del Área del Proyecto La Arena, para un periodo de retorno de 475 años se consideró un coeficiente sísmico horizontal de  $K_h = 0,13 g$  para el análisis pseudo-estático de diseño de taludes del Tajo Calaorco.

#### **Factor de Voladura**

Para los análisis de estabilidad y considerando  $H = 16$  m, se ha utilizado una franja dañada de 16 m con un factor de voladura  $D = 0.85$ , seguido de otra franja de 24 m con  $D = 0.7$ , y un valor  $D = 0$  para el restante del macizo rocoso.

#### **Análisis de Estabilidad por Equilibrio Límite del Talud Global**

A partir de las superficies del tajo (pit shells) preparados por La Arena para el Open pit Calaorco, se realizaron las respectivas evaluaciones del macizo rocoso para las siguientes fases de minado: **Fase 3-4, Fase 5 y Fase 6-7**.

Los resultados del análisis de estabilidad de taludes globales de cada fase son detallados en el **Anexo N°09, Anexo N°10 y Anexo N°11** de la presente tesis. A partir de las evaluaciones de información y estabilidad de taludes, se presentan las siguientes observaciones y conclusiones:

- **Fase 3-4:** Los resultados obtenidos de los análisis de estabilidad global de las seis (6) secciones de la Fase 3-4 del Tajo Calaorco presentados en el **Anexo N°09** muestran factores de seguridad adecuados de acuerdo con en los criterios de diseño asumidos en este estudio. Asimismo, de acuerdo con los resultados análisis cinemático se recomienda hacer un ajuste del BFA para la pared norte de 70° a 60° (o 65° con ancho de berma mayor), principalmente, en los bancos excavados en la unidad intrusiva.

De acuerdo con el modelo hidrogeológico, habrá filtración potencia de agua subterránea en los bancos inferiores de la Fase 4. Es posible que esta agua pueda ser manejada con pozas y sumideros, sin embargo, para las siguientes fases de minado será necesario hacer una evaluación para implementar un sistema de despresurización con pozos de bombeo profundo y/o con drenes sub-horizontales.

Tabla 21

*Resultados de Estabilidad de Talud Global de Pared Final de la Fase 3-4*

Sección	Altura de talud (m)	Ángulo Global (°)	Factor de seguridad (con aceleración horizontal) PGA=0.13g	Factor de seguridad (sin aceleración horizontal)	Comentario
Sección 1	268	37	1.41	1.72	Condición Anisotrópica
Sección 2	128	48	1.14	1.39	Condición Anisotrópica
Sección 3	144	31	1.05	1.25	Condición Anisotrópica
Sección 4	56	34	1.89	2.33	Condición Anisotrópica Sedimentaria
Sección 5	133	31	1.11	1.39	Condición Anisotrópica Sedimentaria
Sección 6	123	30	1.68	1.87	Condición Anisotrópica Sedimentaria
			1.25	1.38	Condición Anisotrópica Sedimentaria (roca débil)



- **Fase 5:** Los análisis de estabilidad global de las ocho (8) secciones de la Fase 5 del Tajo Calaorco, consideran el material anisotrópico para las unidades Intrusiva y Sedimentaria, debido a la estratificación y familias de juntas. Estos son presentados en el **Anexo N°10**.

De acuerdo con la evaluación de la pared sur y suroeste, representada por las secciones 1 y 2 en material sedimentario con ángulo global hasta 41°, estas resultan ser aceptables. Asimismo, las paredes al sureste representadas por las secciones 7 y 8, constituidos principalmente por material intrusivo con 37° de ángulo global de pared también son considerados adecuados.

La pared oeste, representada por las secciones 3, 4, 5 y 6, no pasan con la geometría (IRA de 38° en la unidad Intrusiva y 46° en la unidad sedimentaria) sugerida y con el nivel freático elevado. En consecuencia, será necesario hacer la despresurización y/o desagüe en estas paredes.

Reconociendo que el éxito de la excavación del tajo con los ángulos propuestos depende de la reducción del nivel freático y de la capacidad del macizo rocoso a drenar, se recomienda la instalación de piezómetros en la Fase 5 para monitorear el nivel freático y la inspección visual de los taludes a fin de identificar y monitorear los puntos de filtración de agua subterránea (es decir, evaluar la erosión potencial superficial o profunda, incremento de caudal e inestabilidad del banco).

Tabla 22

*Resultados de Estabilidad de Talud Global de Pared Final de la Fase 5.*

Sección	Altura de talud (m)	Ángulo Global (°)	Condición Anisotrópica			Comentario
			Con nivel freático y sin sismo	Con nivel freático y con sismo	Con sismo y seco	
Sección 1	292	41	1.41	1.15	-	Pasa FS
			1.07	0.74	1.43	Falla local. Necesita Despresurización
Sección 2	296	41	1.42	1.22		Pasa FS
Sección 3	266	40	1.13	0.93	1.38	Necesita Despresurización
Sección 4	274	40	1.07	0.98	1.09	Necesita Despresurización
Sección 5	216	30	1.03	0.80	1.23	Necesita Despresurización
Sección 6	208	33	1.19	0.92	1.56	Necesita Despresurización
Sección 7	178	32	1.38	1.10	.	Pasa FS
Sección 8	128	37	1.36	1.09	.	Pasa FS

- **Fase 6-7:** En base a la evaluación cinemática de estructuras, los valores de IRA propuestos son considerados adecuados con respecto a los controles estructurales basados en los sets de discontinuidades y la resistencia al corte. Se debe considerar desarrollar el diseño con el mismo IRA de 43.5°, pero considerando un ángulo de cara de banco de 70° en lugar de 75°.
- Los resultados obtenidos de los análisis de estabilidad global de las ocho (8) secciones de la Fase 6-7 del Tajo Calaorco, considerando el material anisotrópico para la unidad sedimentaria y unidad intrusiva, debido a la estratificación, son presentados en el **Anexo N° 11**.

El **Tabla 23** se resumen los factores de seguridad obtenidos e indica que los taludes proyectados para la parte SE de la Fase 6-7, representados por las secciones 1 y 8, presentan factores de seguridad (F.S.) adecuados de acuerdo con en los criterios de diseño asumidos en este estudio.

Tabla 23

*Resultados de Estabilidad de Talud Global de Pared Final de la Fase 6-7.*

Sección	Altura de talud (m)	Ángulo Global (°)	Condición Anisotrópica			Comentario
			Con nivel freático y sin sismo	Con nivel freático y con sismo	Con sismo y seco	
Sección 1	233	39	1.36	1.1	1.14	Pasa FS
Sección 2	360	40	1.02	0.95	1.05	No pasa FS. Con despresurización y sismo pasa FS.
Sección 3	304	40	0.93	0.91	2.41	No pasa FS. Con despresurización y sismo pasa FS.
Sección 4	266	41	0.71	0.58	1.11	No pasa FS. Con despresurización y sismo pasa FS.
Sección 5	270	34	1.23	0.92	1.47	No pasa FS. Con despresurización y sismo pasa FS.
Sección 6	260	35	1.21	0.82	1.4	No pasa FS. Con despresurización y sismo pasa FS.
Sección 7	241	36	1.06	0.8	1.36	No pasa FS. Con despresurización y sismo pasa FS.
Sección 8	104	31	1.5	1.2	1.25	Pasa FS

La pared Este, representada por las secciones 5, 6 y 7 (talud en la unidad Intrusiva), no pasa con el nivel freático considerado. Cuando se considera el talud totalmente seco, presenta valores de F.S. aceptables. Reconociendo que esta condición seca no sería posible de alcanzar, se sugiere que se realicen modificaciones a la geometría del talud. Uno de los cambios sugeridos sería

limitar el talud con ángulo inter-rampa para una altura máxima de 128 m, correspondiente a 8 bancos. Actualmente la sección 7 (en situación más crítica que la sección 6), por ejemplo, tiene un talud con ángulo inter-rampa con 189 m (más de 11 bancos). Es importante adicionar una rampa con 25 m de ancho o una berma geotécnica con 20 m de ancho, ya que estos cambios mejorarán la estabilidad, pero los F.S. continuarían sin pasar para la condición de taludes no drenados.

La pared oeste, representada por las secciones 2, 3 y 4, no pasa con la geometría (IRA de  $43.5^\circ$  y ángulo global en torno de  $40^\circ$ ) sugerida y con el nivel freático elevado. En consecuencia, será necesario hacer la despresurización y/o desagüe.

La orientación de la estratificación con relación a la dirección del talud influirá en la posibilidad de formación de bloques (o cuñas) a lo largo de la pared oeste. O sea, de acuerdo con el azimut de la pared podrá haber más o menos bloques formándose en los bancos excavados en la unidad sedimentaria.

Con relación a la sección 4 (NW del tajo), con el desagüe (o drenaje del talud) la sección presenta un F.S. adecuado, no obstante, se sugiere considerar reducir la altura del talud a ser excavado con el ángulo inter-rampa de 164 m (10.5 bancos) a 128 m (8 bancos) debido a la condición más alterada del macizo rocoso (reducción de la resistencia y calidad del macizo rocoso).

En general, limitar la altura máxima de los taludes inter-rampa para 128 m (8 bancos) para la unidad Intrusiva y la unidad Sedimentaria alterado, y 144 m (9 bancos) para la unidad Sedimentaria de buena calidad.

#### 4.3. Prueba de Hipótesis

Damos por aceptado la hipótesis de que: Las consideraciones geológicas y geotécnicas garantizan la ampliación del Open Pit Calaorco - La Arena- Región La Libertad.

Debido a que sin realizar la evaluación e interpretación geológica y geotécnica **NO SE PODRA PREDISPONER DE PARÁMETROS ADECUADOS QUE GARANTICEN LA AMPLIACIÓN DEL OPEN PIT.**

Así mismo, se acepta las hipótesis específicas dado que:

- Existe mineralización económicamente explotable, la mineralización del tipo epitermal diseminado Au-Ag dentro de la arenisca cuarzosa brechada y del tipo pórfido Au-Cu (Mo) en la intrusión de los pórfidos.
- El estudio hidrogeológico ha determinado la posición del nivel freático encontrándose entre las elevaciones 3305 a 3340 m.
- Los parámetros de diseño de talud tales como: altura de banco, ancho de berma, ángulo de cara del banco, ángulos inter-rampa y ángulo de talud global con un factor de seguridad aceptable garantizan la ampliación del Open Pit.

#### 4.4. Discusión de resultados

El área del Tajo Calaorco está comprendido por la secuencia sedimentaria de la Formación Chimú, conformada principalmente por areniscas, cuarcitas y algunas intercalaciones de limolitas y carbón, afectados por la intrusión de pórfidos dacíticos. Las rocas sedimentarias (predominantemente areniscas) se extienden en el sector oeste del Tajo Calaorco; mientras que los intrusivos se emplazan predominantemente en el sector Este del tajo. Las intrusiones ácidas están ligadas a la mineralización tipo pórfido Cu-Mo (Au), que están en contacto con las rocas clásticas permeables. Las areniscas son brechadas y muy

fracturadas, que en contacto con la roca intrusiva constituyen el principal ambiente litológico donde se alojan los depósitos auríferos lixiviables, determinando el área de Calaorco como una zona de óxidos y brechas. Además, regionalmente se han definido dos sistemas de estructuras mayores que dominan el área de interés, uno con orientación andina NO-SE y el otro, NE-SO. El primero corresponde a un sistema de fallas, que es observable en el macizo expuesto en las paredes del tajo, incluye la Falla Asunción. El segundo sistema de fallas, que incluye las fallas Calaorco, Central, Yani y Eli, se presenta de manera perpendicular. Estas unidades sirvieron de base para la definición de unidades geotécnicas.

Se realizaron investigaciones de campo que incluyó el logueo geomecánico de testigos orientados de perforaciones geotécnicas y orientación de discontinuidades, selección de muestras de testigos para ensayos de laboratorio de rocas, mapeo por línea de detalle, mapeo fotogramétrico y registros de imágenes de pozo mediante sondaje óptico (Televiewer). Dichas investigaciones sirvieron para la evaluación cinemática de estructuras, análisis de laboratorio para obtener las propiedades físicas y los parámetros de resistencia de las unidades litológicas identificadas en el Open Pit Calaorco. Para finalmente determinar el diseño de taludes y evaluar el análisis de estabilidad física estático y para el análisis pseudo-estático se ha considerado un coeficiente sísmico horizontal de  $K_h = 0,13g$  para las diferentes fases de minado: Fase 3-4, Fase 5 y Fase 6-7.

La presente tesis presenta los resultados de las investigaciones y de los análisis de estabilidad y provee recomendaciones de diseño de taludes y de operación para el desarrollo del tajo en profundidad.

## CONCLUSIONES

1. El Open Pit Calaorco presenta depósito tipo Epitermal diseminado Au-Ag dentro de la arenisca cuarzosa brechada y del tipo pórfido Au-Cu (Mo) en la intrusión de los pórfidos, ambos relacionados al stock dacítico emplazado a lo largo de una falla principal NO-SE. La mineralización se extiende aproximadamente 2.2 km de norte a sur, 1.1 km de oeste a este y 900 m en profundidad, el mapeo de superficie ha identificado un sistema de brechas de fractura de tendencia NE, que según Corbett (2004) puede ser el principal anfitrión de la mineralización de Au y de ese modo proporcionar un control sub- vertical a la mineralización. Estas consideraciones geológicas influyen para su respectiva ampliación.
2. Mediante los registros de Televiewer, se constató el nivel de agua en las perforaciones registradas a través de las imágenes. Las profundidades del nivel de agua en las perforaciones DDH-GH2-D15 y DDH-GH5-D15 son 72.95 m y 137.70 m respectivamente. El nivel freático estático se encuentra entre las elevaciones 3305 a 3340 m, indicando que al fin de la Fase 4, el piso del tajo estará en la elevación 3325 m y por lo tanto con posibilidad de ocurrir filtración de agua subterránea.
3. Basado en la evaluación de estabilidad de taludes por análisis cinemático y análisis por resistencia del macizo rocoso, se tiene que considerar lo siguiente:  
  
Utilizar BFA de  $70^\circ$  y ancho de berma de 11m, para generar un ángulo inter-rampa (IRA) de  $43.5^\circ$  para los taludes en la Unidad Sedimentaria; y BFA =  $60^\circ$ , ancho de berma de 12 m para generar un IRA de  $37^\circ$  para los taludes en la unidad Intrusiva.  
  
Los parámetros de diseño de talud se muestran en la tabla siguiente:

### Ángulos de Taludes para el diseño del Open Pit

Sector	Ángulo de cara de Banco, BFA (°)	Separación Vertical de Bancos (m)	Ancho Mínimo de Berma (m)	Máximo Ángulo Inter-Rampa, IRA (°)	Máximo Ángulo Global (°)
S Wall	70	16	11	43.5	38
W-SW Wall	70	16	11	43.5	38
NW Wall	70	16	11	43.5	38
N Wall	60	16	12	37	35
NE Wall	60	16	12	37	35
E-NE Wall	60	16	12	37	35
SE Wall	60	16	12	37	35

4. Los resultados obtenidos de los análisis de estabilidad global de las seis (6) secciones de la **Fase 3-4** del Tajo Calaorco resumido en la **Tabla 21** muestran factores de seguridad adecuados de acuerdo con los criterios de diseño asumidos en este estudio.

De acuerdo con la evaluación de la pared sur y suroeste de la **Fase 5**, representada por las secciones 1 y 2 en material sedimentario con ángulo global hasta 41°, estas resultan ser aceptables. Asimismo, las paredes al sureste representadas por las secciones 7 y 8, constituidos principalmente por material intrusivo con 37° de ángulo global de pared también son considerados adecuados. La pared oeste, representada por las secciones 3, 4, 5 y 6, no pasan con la geometría (IRA de 38° en la unidad Intrusiva y 46° en la unidad sedimentaria) sugerida y con el nivel freático elevado. En consecuencia, será necesario hacer la despresurización y/o desagüe en estas paredes. En la **Tabla 22** se detalla los factores de seguridad analizados.

En la **Tabla 23** se resumen los factores de seguridad obtenidos e indica que los taludes proyectados para la parte SE de la **Fase 6-7**, representados por las



secciones 1 y 8, presentan factores de seguridad (F.S.) adecuados de acuerdo con los criterios de diseño asumidos en este estudio.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la instalación de piezómetros para monitorear el nivel freático y la inspección visual de los taludes para identificar y monitorear puntos de filtración de agua subterránea (ejm. evaluar potencial para erosión superficial o profunda, aumento de caudal, inestabilidad del banco).
2. Se recomienda el monitoreo por desplazamiento de prismas o realizar el monitoreo automatizado con estaciones robóticas totales (RTS) o radar. Cabe mencionar que el uso de radar para el monitoreo economiza la compra de RTS.
3. Desarrollar el modelo hidrogeológico en 3D.
4. Instalar múltiples piezómetros de cuerda vibrante, por lo menos en dos perforaciones (una en la pared oeste y otra en la pared este).
5. Definir el sistema de desagüe con pozos profundos y/o drenes horizontales.
6. Se recomienda una voladura perimetral (o controlada, con pre-corte y/o amortiguada) para las paredes intermedias inmediatamente por encima de las rampas y para las paredes finales del Tajo Calaorco.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andes(2016). Actualización del Estudio de Peligro Sísmico, Mina La Arena- La Libertad.
- Baptista P., Fernandez-Collado C., Sampiere R. (2006). Metodología de la Investigación, McGraw – Hill, Cuarta edición, México.
- Barton, N., Lien, R., and Lunde, J. (1974). Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support. Rock Mechanics.
- Bieniawski, Z.T. (1989). Engineering Rock Mass Classifications. John Wiley and sons, Inc. Rock Slope Engineering'. Duncan C. Wyllie & Christopher W. Mah, 2004.
- Bieniawski, Z.T. (1976). Rock Mass Classifications in Rock Engineering: J. South African Institute of Mining and Metallurgy”, Vol. 74, p. 312-320.
- Cristina Ortega, obtenida en el blog <https://www.questionpro.com/blog/es/investigacion-analitica/>
- Corbett, G.(2004). Epithermal and Porphyry Gold-Geological Models, The Australian Institute of Mining and Metallurgy. Australia.
- Corbett, G.(2011), Reporte Geológico Sobre el Proyecto La Arena y Diversos Prospectos de la Concesión de Rio Alto Mining. La Libertad.
- Casanova K., & Valencia J. (2016), Análisis y diseño de los taludes en la mina a cielo abierto de diabada de triturados El Chocho. Tesis para Licenciado en Ingeniería Civil. Pontificia Universidad Javeriana, Colombia.
- Dr. Jorge Alva Hurtado, Ing. Mariella Geovanna Cañarí Sánchez. Análisis de la Estabilidad de Taludes de la Costa Verde, Artículo de Investigación. Lima.
- George, Orr and Associates. (2014), Calaorco Fase 3 Oxide Pit, Check Stability Analyses, La Arena Project. La Libertad.
- Gauthier et al.(1999). ¿Por qué los andes son importantes? Mundo Minero. Perú.

- Golder Associates. (2017-2018). Análisis de estabilidad -Memorando preparado para el Proyecto La Arena. La libertad.
- Hedenquist J. (2012). Observation on La Arena Epithermal Au Mine and Porphyry Cu-Au Deposit and Prospect in the Distric, La Libertad, Perú.
- Hoek E., Carranza-Torres C. and Corkum B.(2002). Hoek-Brown Criterion – 2002 edition. Proc. Narms- Tac Conference, Toronto.
- Huamán J. Huamanlazo Y.(2019), Mejoramiento del Proceso Constructivo para Corte de Taludes en Tajo Abierto, Mina Rosarina, Yauli – Junín. Tesis- Universidad Ricardo Palma.Junín.
- Latorre Nanjarí E. (2015). Incorporación del Valor del dinero en el tiempo para la determinación de límites económicos de un Open Pit, Tesis- Pontificia Universidad Catolica de Chile.
- Manual conociendo a la roca obtenida en [https://www.academia.edu/12631866/manual\\_conociendo\\_la\\_roca](https://www.academia.edu/12631866/manual_conociendo_la_roca)
- Mendoza Gil (2013). Estudio geológico de los controles de mineralización del pórfido de Cu-Au La Arena-Huamachuco, Tesis-Universidad Nacional de Cajamarca.
- Miguel A. (2016). Características geológicas del distrito minero aurífero de Huamachuco y su potencial para la exploración, La Libertad – Perú, Tesis- Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Morgenstern, N.R., and Price, V.E. (1965). The analysis of the stability of general slip surfaces. Géotechnique, 15(1): 79–93.
- Parra Reti A.(2015). Planificación minera a Cielo Abierto utilizando Fundamentos Geomecánicos, Tesis- Universidad de Chile.

- Perez de Agreda, Eduardo Alonso (2005). Estabilidad de Taludes, Universidad Politécnica de Catalunya.
- Piteau Associates (2012), Overall Slope Stability Analysis Results for the oxide ultimate pit, La Arena Project. La Libertad.
- Piteau Associates, (2012). Summary of Geotechnical Investigations and Data Collection Program for the Oxide Open Pit.
- Quirita, V.(1998). Reporte Anual de Exploraciones Cambior. La Libertad.
- Reyes A.(2023). Diseño y Planeamiento de Minado para la Ampliación del Lom del Tajo Norte – Alpamarca – Volcan S.A.A – 2019, Tesis- Universidad Nacional de Ancash “Santiago Antúnez de Mayolo.
- Rocscience, Inc.(2005). Slide V.6.0,limit equilibrium slope stability for soil and rock slopes.
- Ríos R.(2017). Estudio de la Estabilidad de los Taludes en una mina operativa excavada en suelo duro/roca blanda, Tesis- Universidad Politécnica de Madrid.
- Richard Sillitoe, Traducción (2010).Porphyry Copper Systems.
- Slide, (2005). 2D Limit Equilibrium Slope Stability for Soil and Rock Slopes, Users Guide. Rocscience.
- Tamayo S.(2017). Optimización del Secuenciamiento del Plan de Minado a Corto Plazo con el Software Minesight en el Tajo Ferrobamba, Las Bambas - Apurímac 2017, Tesis- Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac.
- Tesis de investigadores (2011), autor anónimo, obtenida en <http://tesisdeinvestig.blogspot.com/2011/05/tipos-de-investigacion.html#:~:text=Hist%C3%B3rica%20Descriptiva%20y%20Experimental,%3A%20Hist%C3%B3rica%20Descriptiva%20Experimental.>

- Vector Perú S.A.C.(2010). Diseño de Taludes de Tajo, Proyecto de Factibilidad La Arena.
- Yalan L. y Valenzuela S.(2020). Reducción del riesgo de caída de rocas a nivel de banco en una operación minera a tajo abierto con la aplicación de un análisis estructural, Tesis- Pontificia Universidad Católica del Perú.

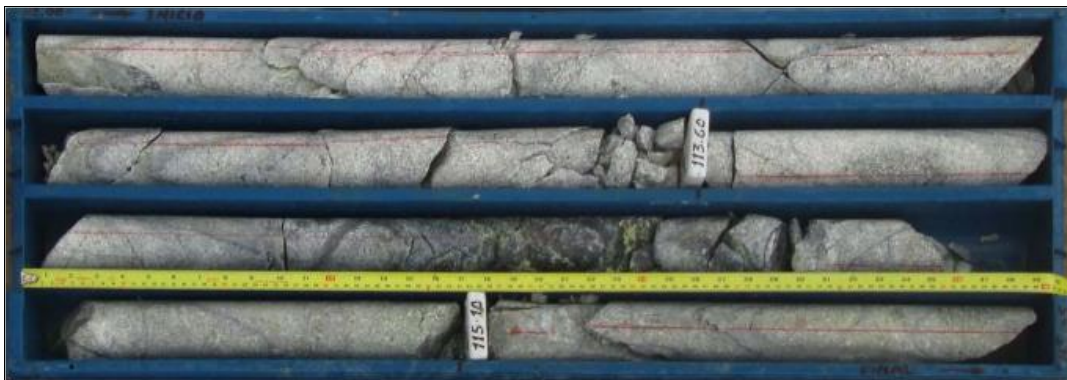
## **ANEXOS**

## ANEXO N°01

**Procedimiento para medir la orientación de discontinuidades, registro fotográfico del testigo de perforación y registro de perforación.**

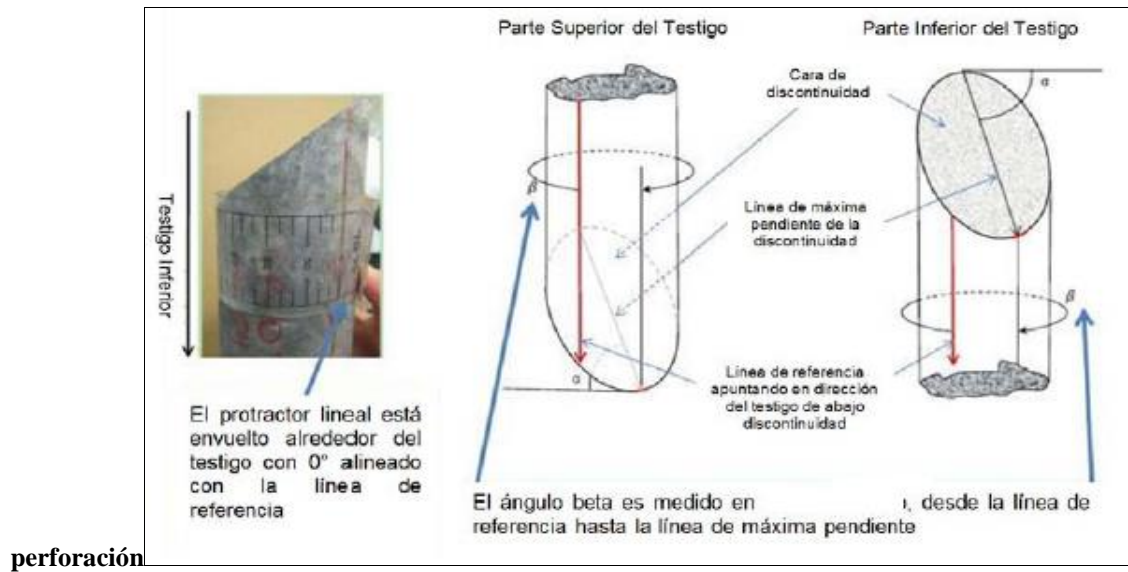


**Goniómetro para la medición del ángulo  $\alpha$  (alfa) en testigos orientados**



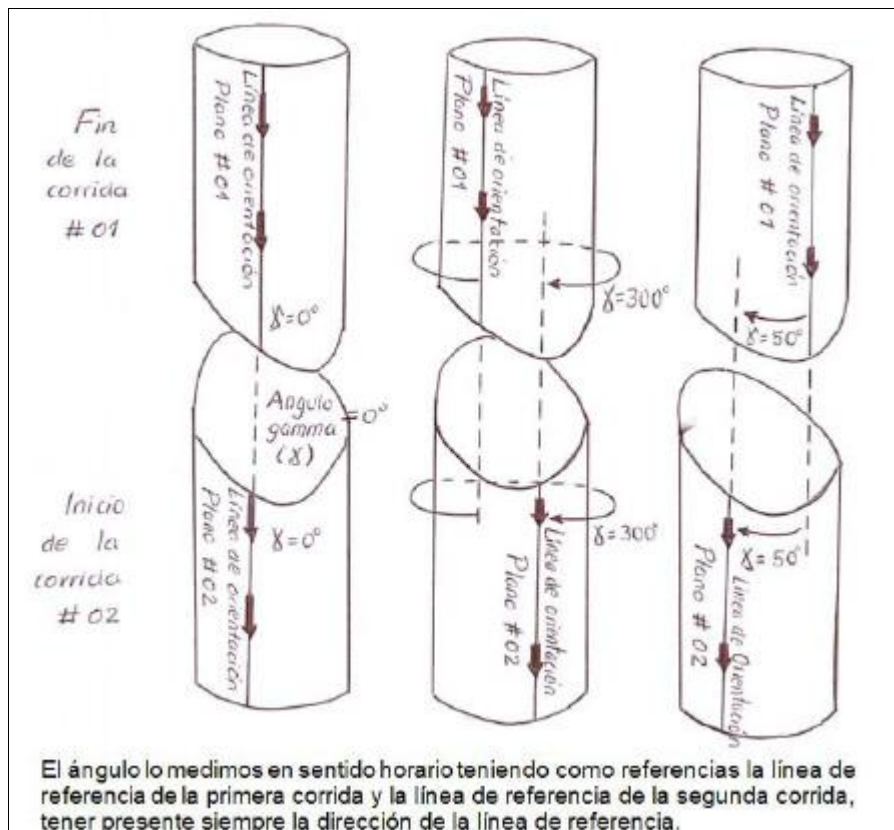


**Caja de testigos mostrando la línea de referencia marcada durante la**



perforación

**Medición del ángulo  $\beta$  (beta)**



**Medición del ángulo  $\gamma$  (gamma)**



**DDH-GH1-D15: Profundidad de 0.00 - 5.60 m**

# REGISTRO DE PERFORACIÓN: DDH-GH1-D15

HOJA 1 de 32

PROYECTO: 159-415-1274 Estudio Geotécnico de la Expansión del Tajo Calaorco a Nivel de Factibilidad - Proyecto Calaorco  
 UBICACIÓN: N: 9126341.7 E: 815580.6  
 INCLINACIÓN: -61° AZIMUTH: 281°

FECHA DE PERFORACIÓN: Del 13 de Diciembre, 2015 al 06 de Enero, 2016  
 CONTRATISTA DE PERFORACIÓN: BRE TSA  
 EQUIPO DE PERFORACIÓN: LF-90

DATUM: WGS-84

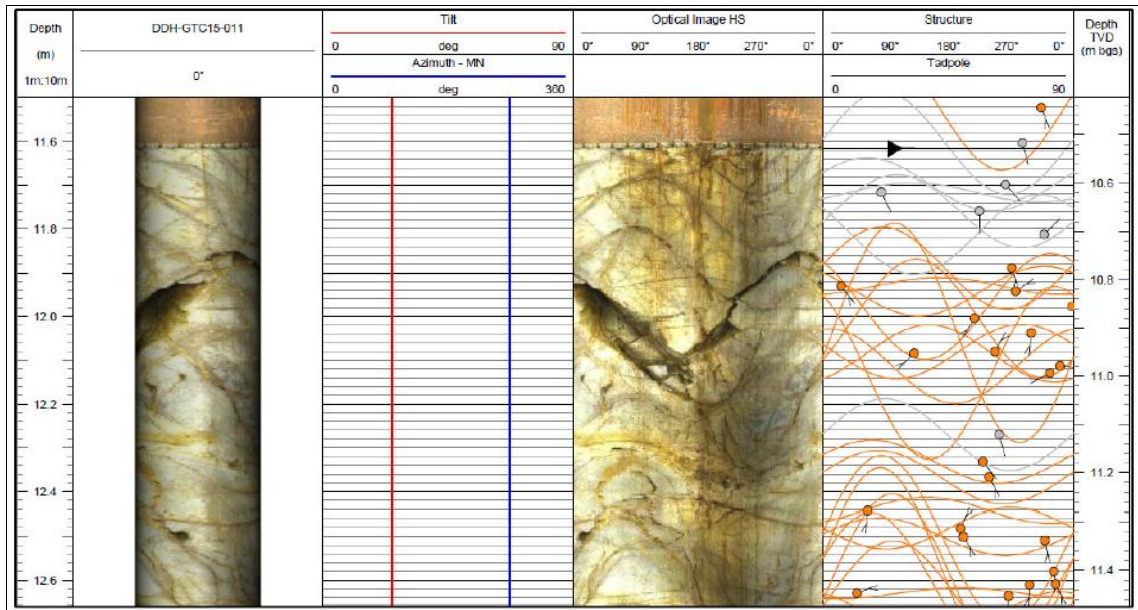
PROFUNDIDAD (M)	MÉTODO DE PERF.	DESCRIPCIÓN	SIMBOLOGÍA	COTA PROF. (m)	No. Corrida	RECUPERACIÓN		R.O.D. %	DISCONTINUIDADES		INDICE DE RESISTENCIA	INDICE DE METEORIZACIÓN				INDICE DE CARGA PUNTUAL		Jr	Jn	Falla / Crazamiento	OBSERVACIONES					
						TESTIGO RECUPERADO			DESCRIPCIÓN DE LA SUPERFICIE Y TIPO	WT		W2	W3	W4	W5	W6	W7					W8	W9	W10	W11	W12
						C	R																			
0		Superficie de Roca		3392.24	0.00																		0.00			
1																								20		
2																								20		
3																								20		
4																								20		
5																								20		
6																								20		
7																								20		
8																								20		
9																								20		
10																								20		
11																								20		
12																								20		
13																								20		
14																								20		
15																								20		
16																								20		
17																								20		
18																								20		
19																								20		
20																								20		
21																								20		
22																								20		
23																								20		
24																								20		
25																								20		
26																								20		
27																								20		
28																								20		
29																								20		
30																								20		
31																								20		
32																								20		
33																								20		
34																								20		
35																								20		
36																								20		
37																								20		
38																								20		
39																								20		
40																								20		

---CONTINUA EN LA SIGUIENTE PAGINA---

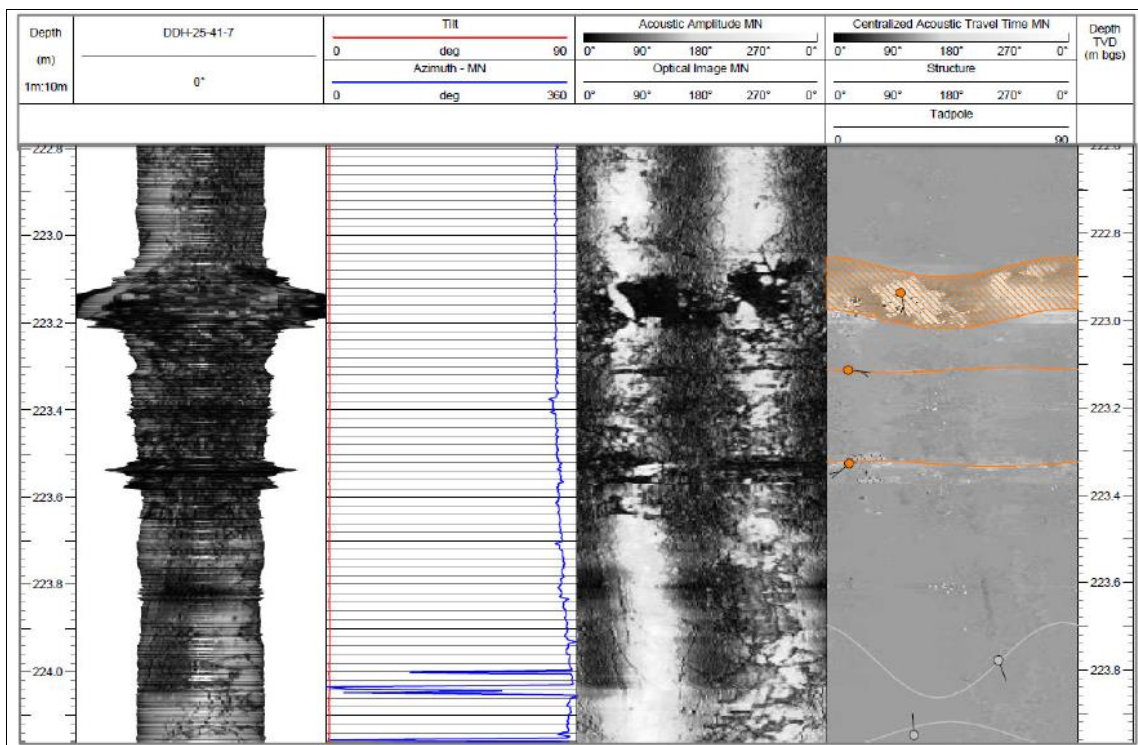
Fuente: Golder, 2016

## ANEXO N°2

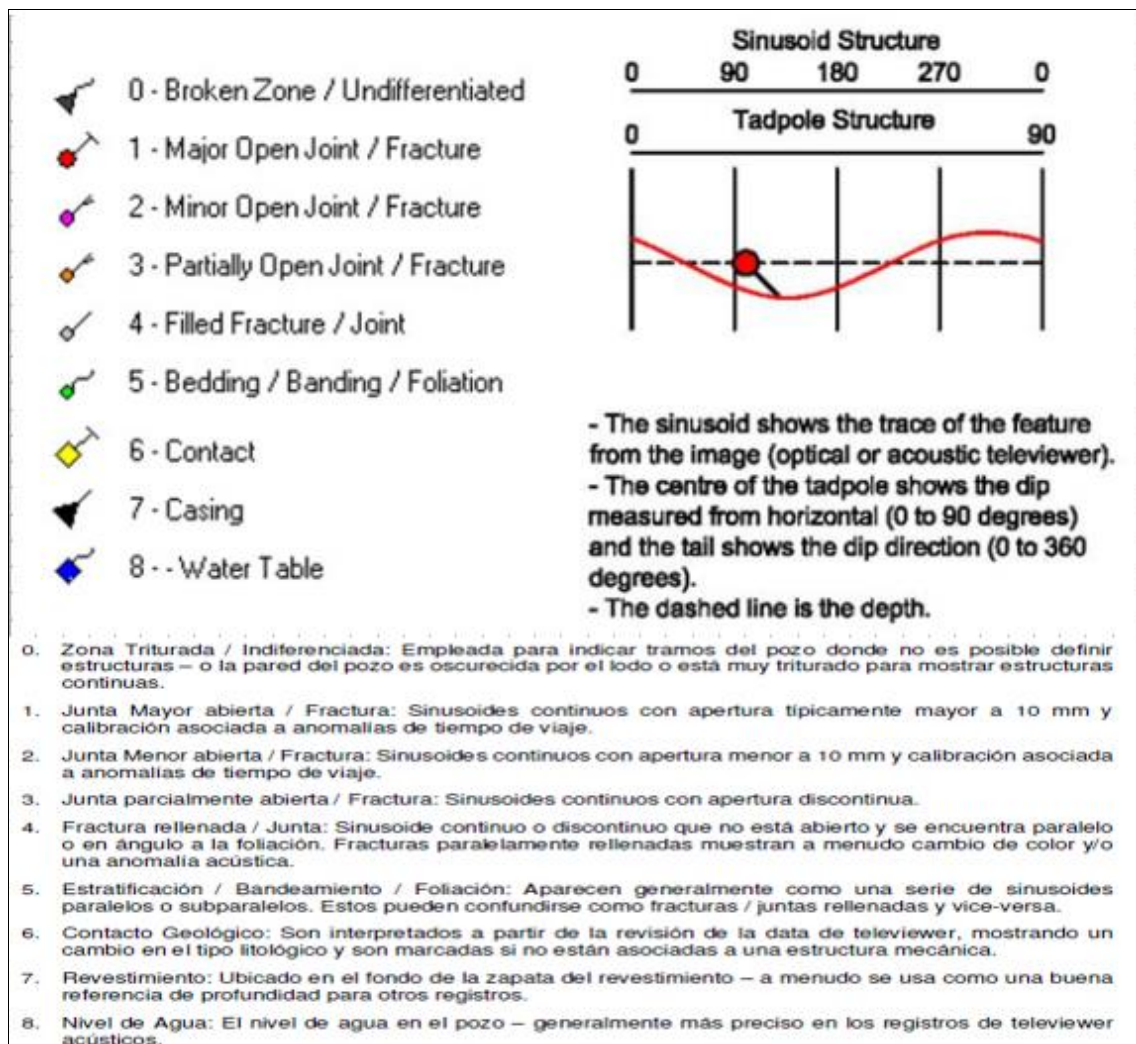
### Registro geofísico de perforaciones – Televiewer.



### Imagen de pozo obtenida mediante Televiewer Óptico.

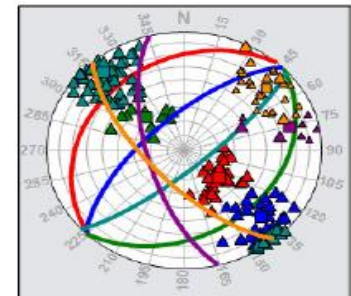
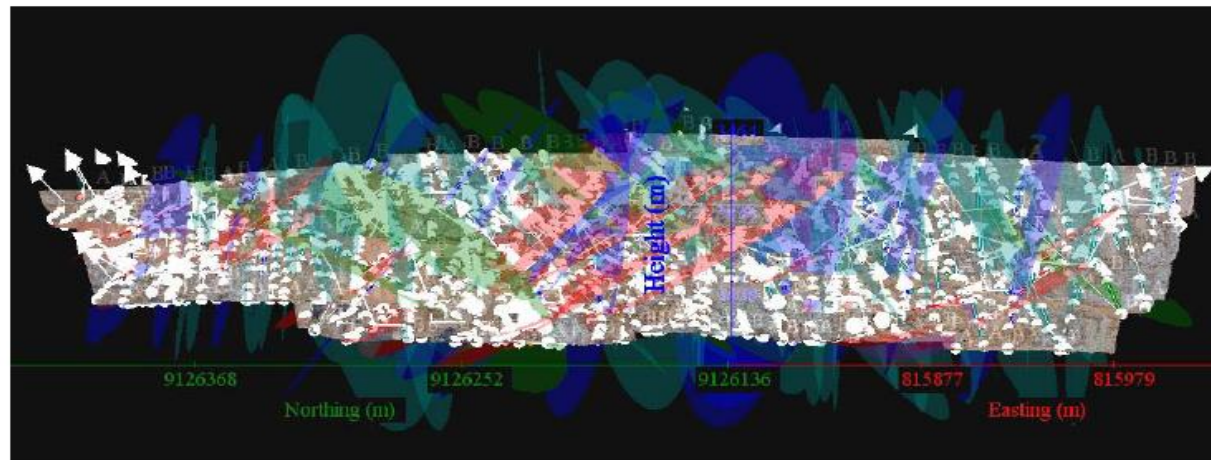
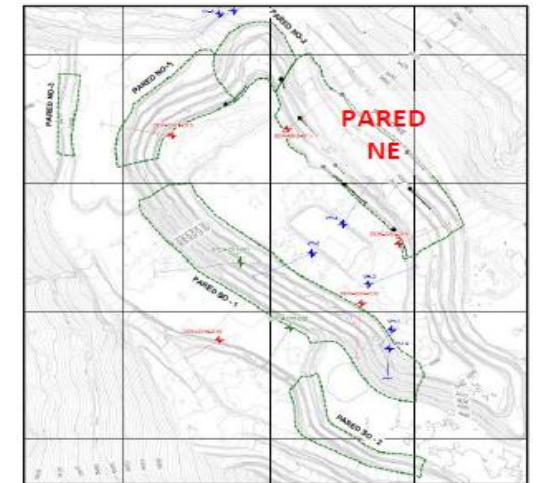


### Imagen de pozo obtenida mediante Televiewer Acústico. (Golder,2016)



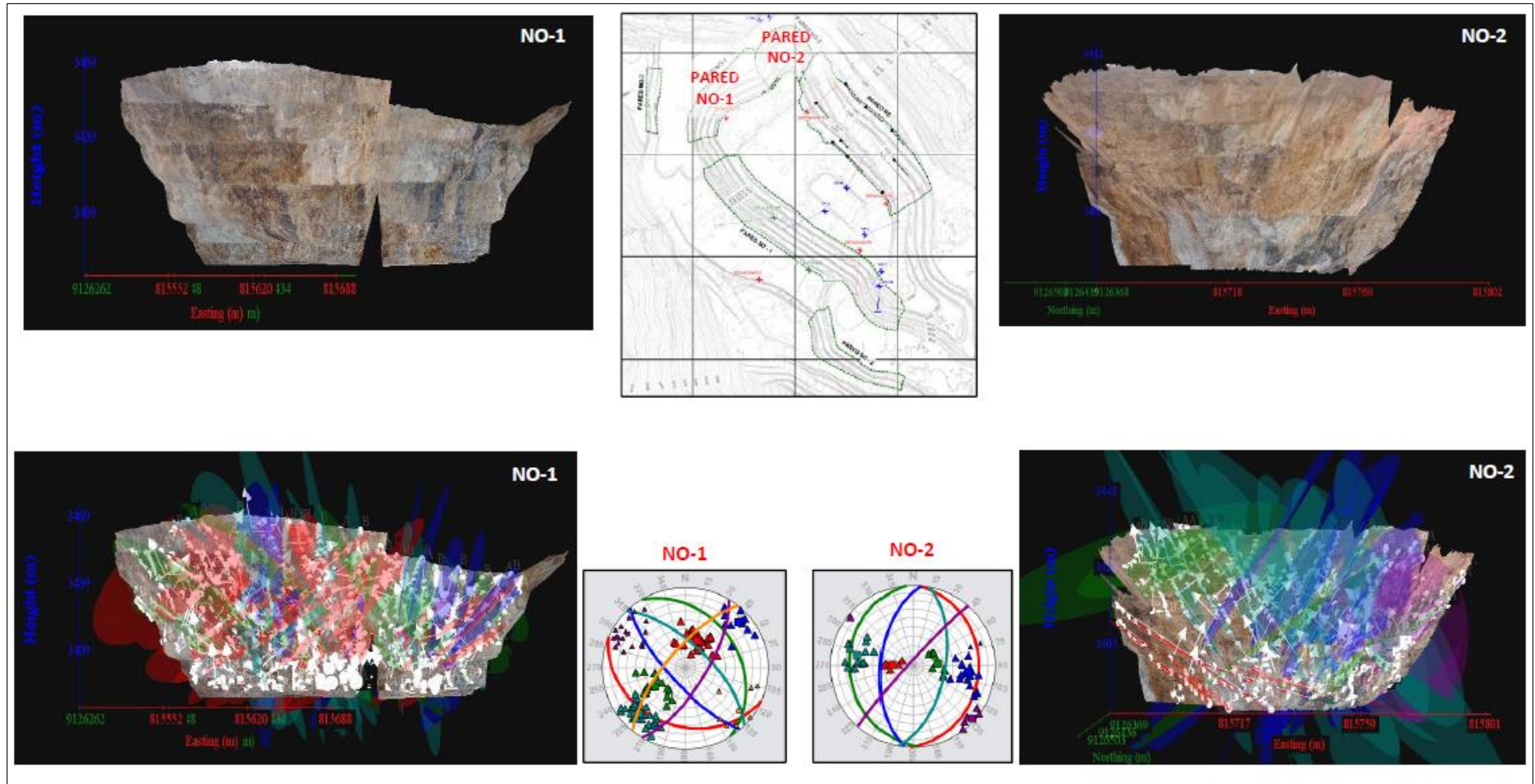
**Sistema de clasificación para las estructuras identificadas en los registros de televiewer**

ANEXO N°3  
Resultados de la fotogrametría – Pared  
NE



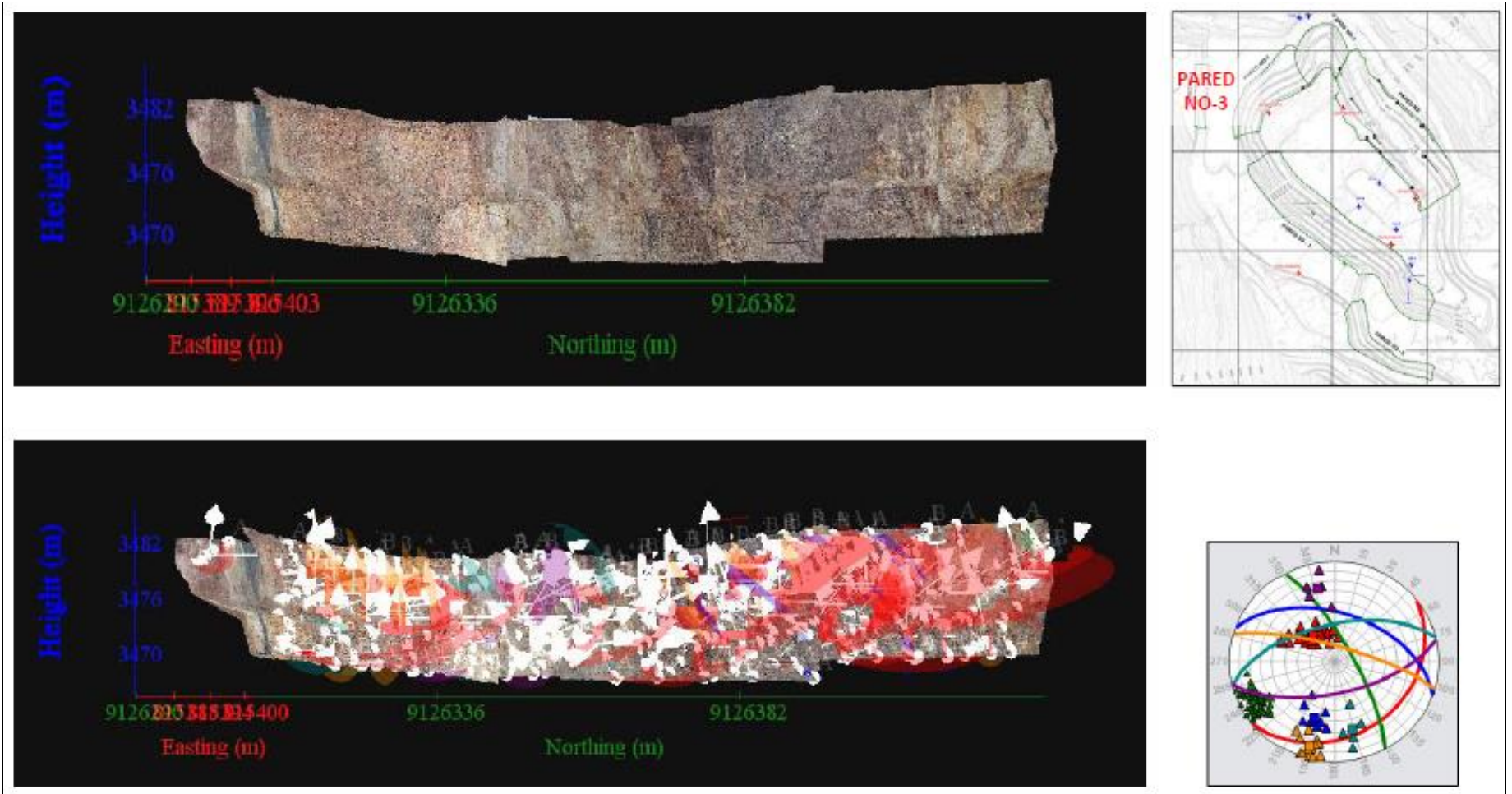
Fuente: Golder,2016

## Resultados de la fotogrametría – Pared NO-1 y NO-2



Fuente: Golder, 2016

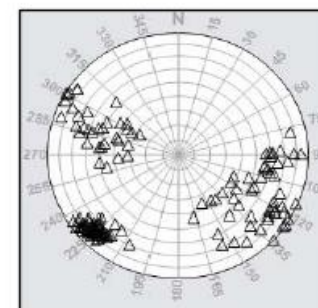
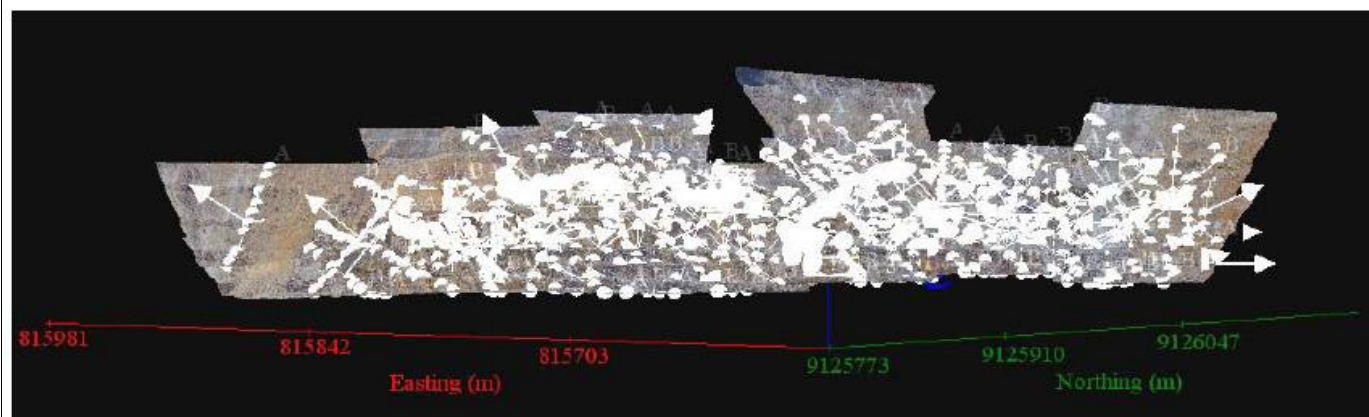
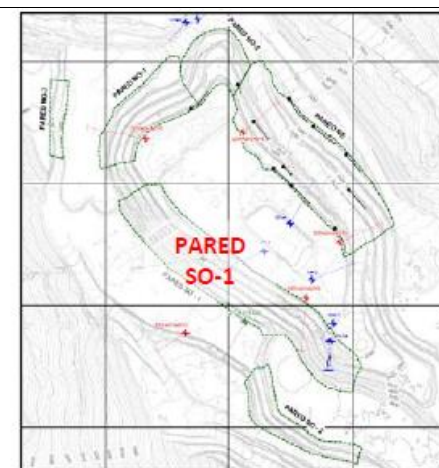
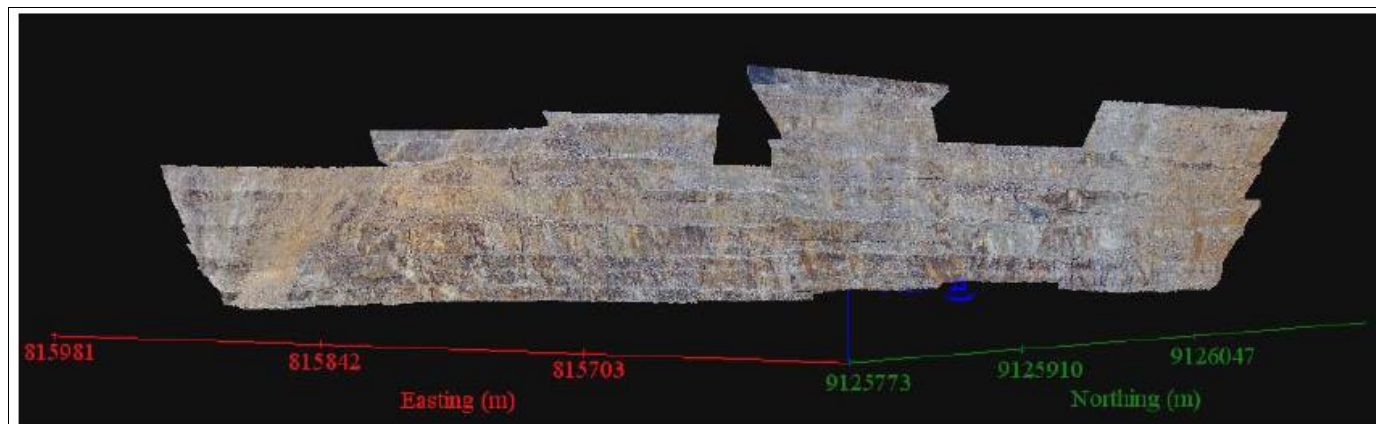
### Resultados de la fotogrametría –Pared NO-3



Fuente: Golder,2016

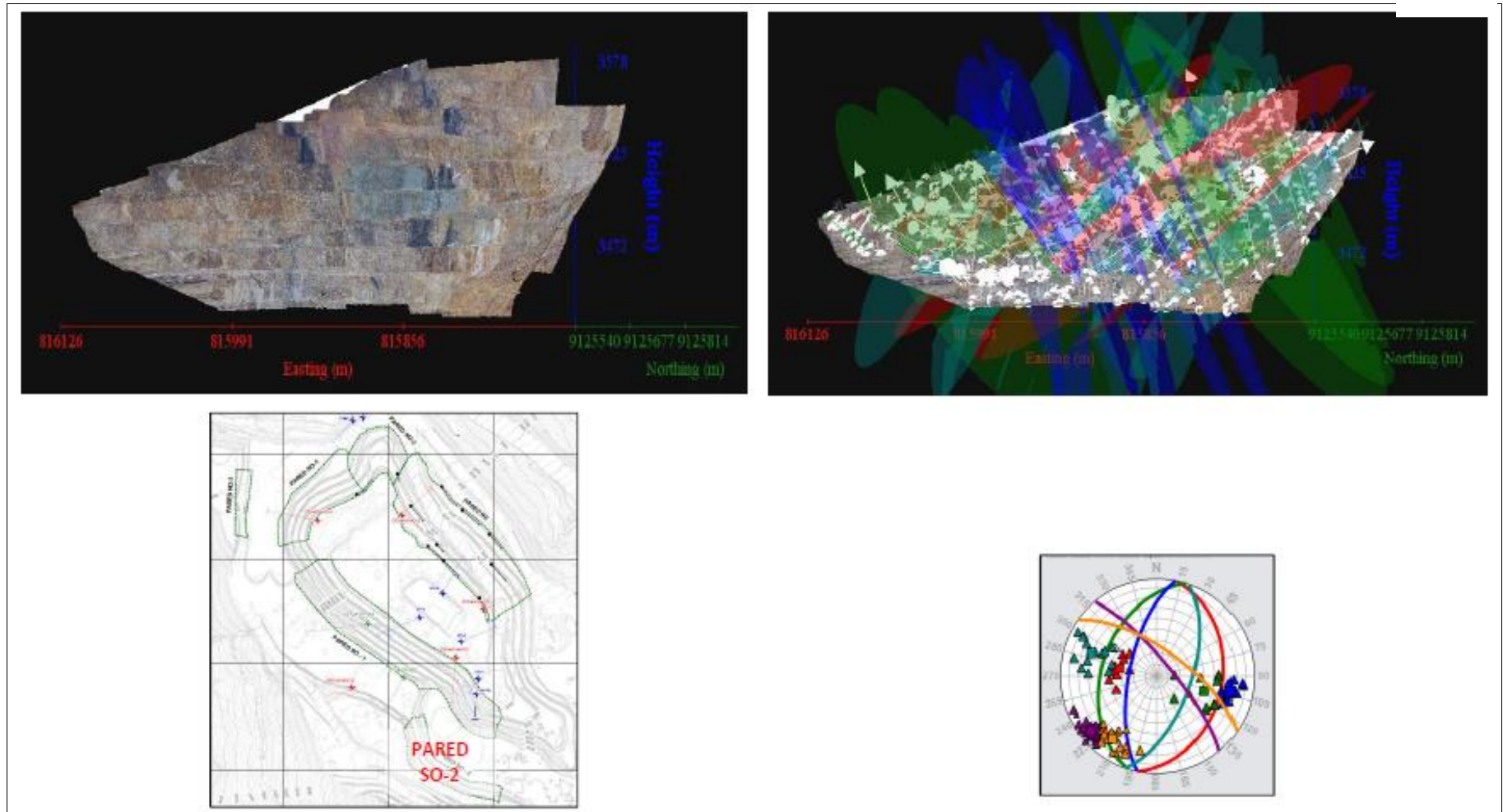


## Resultados de la fotogrametría –Pared SO-1



Fuente: Golder,2016


## Resultados de la fotogrametría –Pared SO-2



Fuente: Golder,2016

ANEXO N°04


Registros de Mapeo de Línea de Detalle

N° Proyecto:		159-415-1274				Datos Estructurales																OBSERVACIONES																																																																																																																			
Estudio Geotécnico para la Expansión del Tajo Calarcoro a Nivel de Factibilidad						N° DE DISCONTINUIDAD	Distancia a la intersección de la discontinuidad (m)	TIPO	ORIENTAC. DE LA DISCONT.		ESPACIAMIENTO (mm)					TERMINACIÓN			PERSISTENCIA (m)				ABERTURA (mm)			FORMA	RUGOSIDAD	RELLENO			ALTERACION			AGUA																																																																																																							
Fecha:	20-Mar-2016		Registrado por:	César Vidaurte					Dip (°)	Dip Dirección (°)	1. > 2000	2. 600-2000	3. 200-600	4. 60-200	5. < 60	1. No se observa	2. En roca intacta	3. En otra discontinuidad	1. >20	2. 10 - 20	3. 3 - 10		4. 1 - 3	5. <1	1. Cerada 0mm			2. May angosta < 0.1 mm	3. Angosta 0.1 - 1.0 mm	4. Abierta 1.0 - 5.0 mm	5. Muy abierta > 5 mm	Tipo de Relleno																																																																																																									
TIPO DE MAPEO:									Mapeo Lineal (Brújula)						Durza																																																																																																																										
Ubicación:	Calarcoro (Fase 3)		Pared:	Este					Banco:	3376																																																																																																																															
Descripción:						Areniscas con clasificación de Resistencia R3 y Alteración W2																																																																																																																																			
J <sub>v</sub> = N° de Disc. / m :						Dimensiones de exposición		50x8		Longitud (m)																																																																																																																															
RQD <sub>Jv</sub> = 115-3.3*J <sub>v</sub> :								49.90																																																																																																																																	
Comentarios:																																																																																																																																									
INFORMACIÓN DEL LEVANTAMIENTO DE LA LÍNEA DE DETALLE																																																																																																																																									
REGISTRO N°	Azimut (°)	Inclinación (°)	Coordenadas	Norte	Este																																																																																																																																				
					9126280.899																																																																																																																																				
					815842.238																																																																																																																																				
Linea 1						N138		74		Cota (manm)		3377.47																																																																																																																													
Fotografía de Celda																																																																																																																																									
																	1	0.10	JN	15	150																																																																																																																				
																	2	0.50	JN	50	315																																																																																																																				
																	3	1.10	JN	86	120																																																																																																																				
																	4	2.20	JN	87	115																																																																																																																				
																	5	6.40	JN	70	150																																																																																																																				
																	6	11.20	JN	81	126																																																																																																																				
																	7	16.80	JN	80	5																																																																																																																				
																	8	18.55	JN	80	157																																																																																																																				
																	9	20.15	JN	80	150																																																																																																																				
																	10	20.70	JN	55	155																																																																																																																				
																	11	22.00	JN	40	155																																																																																																																				
																	12	22.70	JN	80	250																																																																																																																				
																	13	24.40	JN	75	135																																																																																																																				
																	14	25.70	JN	12	140																																																																																																																				
																	15	28.40	JN	75	130																																																																																																																				
																	16	30.90	BD	88	84																																																																																																																				
																	17	31.90	JN	85	300																																																																																																																				
																	18	33.70	JN	85	130																																																																																																																				
																	19	35.40	JN	78	330																																																																																																																				
																	20	36.80	BD	82	30																																																																																																																				
																	21	37.30	JN	87	320																																																																																																																				
																	22	39.70	JN	45	305																																																																																																																				
																	23	45.20	JN	83	135																																																																																																																				
																	24	46.40	JN	65	125																																																																																																																				
																	25	49.90	JN	85	145																																																																																																																				
																	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Tipo:</th> <th colspan="2">Rugosidad:</th> <th colspan="2">Relleno:</th> <th colspan="2">Forma:</th> <th colspan="2">Meteorización:</th> <th colspan="2">Resistencia:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>JN: Jirfa</td> <td>PO: Pulido</td> <td>BR: Roca Triturada</td> <td>GR: Grava</td> <td>PL: Plano</td> <td>W1: Fresca</td> <td>R0: Extremadamente débil - Se indenta con la uña del pulgar</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FT: Falla</td> <td>K: Estrias de Filación</td> <td>BT: Bota</td> <td>HE: Hematita</td> <td>CU: Curvo</td> <td>W2: Lq. Meteorizada</td> <td>R1: Muy débil - Se descascara con una cuchilla</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CZ: Ozalita</td> <td>SM: Liso</td> <td>CL: Arcilla</td> <td>OZ: Cuarzo</td> <td>IR: Irregular</td> <td>W3: Mbd. Meteorizada</td> <td>R2: Débil - Se descascara fácilmente con una cuchilla</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>VN: Vena</td> <td>RO: Rugoso</td> <td>CH: Clorita</td> <td>SA: Arena</td> <td>UN: Ondulado</td> <td>W4: Altam. Meteorizada</td> <td>R3: Media - Se rompe con un golpe de martillo</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>BD: Estratificación</td> <td>VR: Muy Rugoso</td> <td>Ox: Óxido</td> <td>SE: Sericita</td> <td>ST: Escalonado</td> <td>W5: Comp. Meteorizada</td> <td>R4: Dura - Se rompe con más de un golpe de martillo</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CO: Contacto</td> <td></td> <td>CA: Calota</td> <td>M: Limo</td> <td></td> <td>W6: Suelo Residual</td> <td>R5: Muy Dura - Requiere varios golpes de martillo para romper</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>OR: Ortogonal</td> <td></td> <td>EP: Epialta</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>R6: Extrem. Dura &gt;250MPa - Se esquirla tras varios golpes</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CL: Olivaje</td> <td></td> <td>SU: Sulfuro</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FO: Foliación</td> <td></td> <td>GO: Gouge</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>																	Tipo:		Rugosidad:		Relleno:		Forma:		Meteorización:		Resistencia:		JN: Jirfa	PO: Pulido	BR: Roca Triturada	GR: Grava	PL: Plano	W1: Fresca	R0: Extremadamente débil - Se indenta con la uña del pulgar						FT: Falla	K: Estrias de Filación	BT: Bota	HE: Hematita	CU: Curvo	W2: Lq. Meteorizada	R1: Muy débil - Se descascara con una cuchilla						CZ: Ozalita	SM: Liso	CL: Arcilla	OZ: Cuarzo	IR: Irregular	W3: Mbd. Meteorizada	R2: Débil - Se descascara fácilmente con una cuchilla						VN: Vena	RO: Rugoso	CH: Clorita	SA: Arena	UN: Ondulado	W4: Altam. Meteorizada	R3: Media - Se rompe con un golpe de martillo						BD: Estratificación	VR: Muy Rugoso	Ox: Óxido	SE: Sericita	ST: Escalonado	W5: Comp. Meteorizada	R4: Dura - Se rompe con más de un golpe de martillo						CO: Contacto		CA: Calota	M: Limo		W6: Suelo Residual	R5: Muy Dura - Requiere varios golpes de martillo para romper						OR: Ortogonal		EP: Epialta				R6: Extrem. Dura >250MPa - Se esquirla tras varios golpes						CL: Olivaje		SU: Sulfuro					
Tipo:		Rugosidad:		Relleno:		Forma:		Meteorización:		Resistencia:																																																																																																																															
JN: Jirfa	PO: Pulido	BR: Roca Triturada	GR: Grava	PL: Plano	W1: Fresca	R0: Extremadamente débil - Se indenta con la uña del pulgar																																																																																																																																			
FT: Falla	K: Estrias de Filación	BT: Bota	HE: Hematita	CU: Curvo	W2: Lq. Meteorizada	R1: Muy débil - Se descascara con una cuchilla																																																																																																																																			
CZ: Ozalita	SM: Liso	CL: Arcilla	OZ: Cuarzo	IR: Irregular	W3: Mbd. Meteorizada	R2: Débil - Se descascara fácilmente con una cuchilla																																																																																																																																			
VN: Vena	RO: Rugoso	CH: Clorita	SA: Arena	UN: Ondulado	W4: Altam. Meteorizada	R3: Media - Se rompe con un golpe de martillo																																																																																																																																			
BD: Estratificación	VR: Muy Rugoso	Ox: Óxido	SE: Sericita	ST: Escalonado	W5: Comp. Meteorizada	R4: Dura - Se rompe con más de un golpe de martillo																																																																																																																																			
CO: Contacto		CA: Calota	M: Limo		W6: Suelo Residual	R5: Muy Dura - Requiere varios golpes de martillo para romper																																																																																																																																			
OR: Ortogonal		EP: Epialta				R6: Extrem. Dura >250MPa - Se esquirla tras varios golpes																																																																																																																																			
CL: Olivaje		SU: Sulfuro																																																																																																																																							
FO: Foliación		GO: Gouge																																																																																																																																							

Fuente: Golder,2016

N° Proyecto: 159-415-1274				Datos Estructurales																																																																														
TAJO:		Calaorco Fase 3		Banco:		3376		Lado:		Este		N° DE DISCONTINUIDAD	TIPO	ORIENTAC. DE LA DISCONT.	ESPACIAMIENTO (mm)	TERMINACIÓN	PERSISTENCIA (m)	ABERTURA (mm)	FORMA	RUGOSIDAD	RELLENO	ALTERACION	AGUA	OBSERVACIONES																																																										
Estudio Geotécnico para la Expansión del Tajo Calaorco a Nivel de Factibilidad		Fecha: 20-Mar-2016		Registrado por: César Vidaurre																																																																														
TIPO DE MAPEO:		Mapeo Lineal (Brújula)																																																																																
Descripción: Pórfido Andésitico con clasificación de Resistencia R2 y Alteración W2																																																																																		
$J_v = \text{N}^{\circ} \text{ de Disc./m} :$		Dimensiones de exposición		50x8		$\text{N}^{\circ} \text{ de Discontinuidades}$		28																																																																										
ROD <sub>50</sub> = 115-3.3°J <sub>v</sub> :																																																																																		
Comentarios:																																																																																		
INFORMACIÓN DEL LEVANTAMIENTO DE LA LÍNEA DE DETALLE																																																																																		
REGISTRO N°	Celda		Cota		3377.52 msnm		Longitud (m)																																																																											
	Azímuth	Inclinación	Sistema de Coordenadas:		Norte	9 126 246.739N	Este	815 679.065E																																																																										
LINEA 2		N140	70																																																																															
Fotografía de Celda																																																																																		
												1	JN	45	75																																																																			
												2	JN	70	130		X																																																																	
												3	JN	75	335							X																																																												
												4	JN	65	145		X																																																																	
												5	JN	85	165		X					X																																																												
												6	JN	85	350		X					X																																																												
												7	JN	65	15		X					X																																																												
												8	JN	70	120		X					X																																																												
												9	JN	72	6		X					X																																																												
												10	JN	78	350		X					X																																																												
												11	JN	18	200		X					X																																																												
												12	JN	73	345		X					X																																																												
												13	JN	80	315		X					X																																																												
												14	JN	81	330				X			X																																																												
												15	CO	80	130																																																																			
												16	JN	80	115		X					X																																																												
												17	JN	78	130		X					X																																																												
												18	JN	82	345		X					X																																																												
												19	JN	76	110		X					X																																																												
												20	JN	78	350		X					X																																																												
21	JN	79	320		X					X																																																																								
22	JN	78	322		X					X																																																																								
23	JN	83	318		X					X																																																																								
24	JN	68	160		X					X																																																																								
25	JN	78	105		X					X																																																																								
26	JN	55	130		X					X																																																																								
27	JN	86	305		X					X																																																																								
28	JN	84	308		X					X																																																																								
29	JN	86	130		X					X																																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tipo:</th> <th>Rugosidad:</th> <th>Relleño:</th> <th>Forma:</th> <th>Meteorización:</th> <th>Resistencia:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>JN: Junta</td> <td>PO: Pulido</td> <td>BR: Roca Roturada</td> <td>PL: Plano</td> <td>W1: Fresca</td> <td>R0: Extremadamente débil - Se indenta con la uña del pulgar</td> </tr> <tr> <td>FT: Falla</td> <td>K: Estrías de Fricción</td> <td>BT: Botija</td> <td>CU: Curvo</td> <td>W2: Lg. Meteorizada</td> <td>R1: Muy débil - Se descascara con una cuchilla</td> </tr> <tr> <td>CZ: Cizalla</td> <td>SM: Liso</td> <td>CL: Arcilla</td> <td>IR: Irregular</td> <td>W3: Mb.d. Meteorizada</td> <td>R2: Débil - Se descascara difícilmente con una cuchilla</td> </tr> <tr> <td>VN: Vena</td> <td>RO: Rugoso</td> <td>CH: Concha</td> <td>UN: Ondulado</td> <td>W4: Altam. Meteorizada</td> <td>R3: Media - Se rompe con un golpe de martillo</td> </tr> <tr> <td>BD: Estratificación</td> <td>VR: Muy Rugoso</td> <td>OC: Ocho</td> <td>ST: Escalonado</td> <td>W5: Comp. Meteorizada</td> <td>R4: Dura - Se rompe con más de un golpe de martillo</td> </tr> <tr> <td>CO: Contacto</td> <td></td> <td>CA: Calca</td> <td></td> <td>W6: Suelo Residual</td> <td>R5: Muy Dura - Requiere varios golpes de martillo para romper</td> </tr> <tr> <td>OR: Ortogonal</td> <td></td> <td>EP: Epáula</td> <td></td> <td></td> <td>R6: Extrem. Dura &gt;250MPa - Se esquía tras varios golpes</td> </tr> <tr> <td>CL: Clivaje</td> <td></td> <td>SU: Surcos</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FO: Falción</td> <td></td> <td>GO: Gouge</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>																							Tipo:	Rugosidad:	Relleño:	Forma:	Meteorización:	Resistencia:	JN: Junta	PO: Pulido	BR: Roca Roturada	PL: Plano	W1: Fresca	R0: Extremadamente débil - Se indenta con la uña del pulgar	FT: Falla	K: Estrías de Fricción	BT: Botija	CU: Curvo	W2: Lg. Meteorizada	R1: Muy débil - Se descascara con una cuchilla	CZ: Cizalla	SM: Liso	CL: Arcilla	IR: Irregular	W3: Mb.d. Meteorizada	R2: Débil - Se descascara difícilmente con una cuchilla	VN: Vena	RO: Rugoso	CH: Concha	UN: Ondulado	W4: Altam. Meteorizada	R3: Media - Se rompe con un golpe de martillo	BD: Estratificación	VR: Muy Rugoso	OC: Ocho	ST: Escalonado	W5: Comp. Meteorizada	R4: Dura - Se rompe con más de un golpe de martillo	CO: Contacto		CA: Calca		W6: Suelo Residual	R5: Muy Dura - Requiere varios golpes de martillo para romper	OR: Ortogonal		EP: Epáula			R6: Extrem. Dura >250MPa - Se esquía tras varios golpes	CL: Clivaje		SU: Surcos				FO: Falción		GO: Gouge			
Tipo:	Rugosidad:	Relleño:	Forma:	Meteorización:	Resistencia:																																																																													
JN: Junta	PO: Pulido	BR: Roca Roturada	PL: Plano	W1: Fresca	R0: Extremadamente débil - Se indenta con la uña del pulgar																																																																													
FT: Falla	K: Estrías de Fricción	BT: Botija	CU: Curvo	W2: Lg. Meteorizada	R1: Muy débil - Se descascara con una cuchilla																																																																													
CZ: Cizalla	SM: Liso	CL: Arcilla	IR: Irregular	W3: Mb.d. Meteorizada	R2: Débil - Se descascara difícilmente con una cuchilla																																																																													
VN: Vena	RO: Rugoso	CH: Concha	UN: Ondulado	W4: Altam. Meteorizada	R3: Media - Se rompe con un golpe de martillo																																																																													
BD: Estratificación	VR: Muy Rugoso	OC: Ocho	ST: Escalonado	W5: Comp. Meteorizada	R4: Dura - Se rompe con más de un golpe de martillo																																																																													
CO: Contacto		CA: Calca		W6: Suelo Residual	R5: Muy Dura - Requiere varios golpes de martillo para romper																																																																													
OR: Ortogonal		EP: Epáula			R6: Extrem. Dura >250MPa - Se esquía tras varios golpes																																																																													
CL: Clivaje		SU: Surcos																																																																																
FO: Falción		GO: Gouge																																																																																
De 14.10 m a 14.90 m = Brecha (Bx)																																																																																		
Py																																																																																		
Py																																																																																		
Py, + 1 a 37 m																																																																																		
Py																																																																																		
Py																																																																																		
Py																																																																																		
Py																																																																																		

Fuente: Golder, 2016

TAJO:	Calaorco Fase 3	Banco:	3376	Lado:	Este								
<b>Estudio Geotécnico para la Expansión del Tajo Calaorco a Nivel de Factibilidad</b>													
Fecha:	20-Mar-2016	Registrado por:	César Vidaurre										
TIPO DE MAPEO:	Mapeo Lineal (Brújula)												
Descripción:	Pórido Andesítico con clasificación de Resistencia R2 y Alteración W2												
$J_v = N^{\circ}$ de Disc./m :		Dimensiones de exposición	57x8	N° de discontinuidades									
$RQD_{J_v} = 115-3.3 \cdot J_v$ :				31									
Comentarios:													
<b>INFORMACIÓN DEL LEVANTAMIENTO DE LA LINEA DE DETALLE</b>													
REGISTRO N°	Celda		Cota	815 964.365E	Longitud (m)								
	Azimut	Inclinación	Sistema de Coordenadas:	Norte 9 126 157.749N Este 815 964.365E									
LINEA 3	N150	68											
<b>Fotografía de Celda</b>													
													
N° DE DISCONTINUIDAD	TIPO	ORIENTAC. DE LA DISCONT.	ESPACIAMIENTO (mm)	TERMINACIÓN	PERSISTENCIA (m)	ABERTURA (mm)	FORMA	RUGOSIDAD	RELLENO	ALTERACION	AGUA	OBSERVACIONES	
	Dip (°)	Discontin. (°)	1. >2000 2. 600-2000 3. 200-600 4. 60-200 5. <60	1. No se observa 2. En roca intacta 3. En otra discontinuidad	1. >20 2. 10-20 3. 3-10 4. 1-3 5. <1	1. Cerrada 0 mm 2. Muy angosta < 0.1 mm 3. Angosta 0.1 - 1.0 mm 4. Abierta 1.0 - 5.0 mm 5. Muy abierta > 5mm		Tipo de Releno 1. Limpia 2. Releno Duro < 5mm 3. Releno Duro > 5mm 3. Releno Suave < 5mm 3. Releno Suave > 5mm 1. Inalterado 2. Ligerosmte alterado 3. Medianamente alterado 4. Muy alterado 5. Descompuesta	1. Seco 2. Humedo 3. Mojado 4. Ocho 5. Fijo (esp. medio, alto)				
1	JN	75 305					UN	RO					
2	JN	82 125	x				UN	RO					
3	JN	86 126	x				UN	RO					
4	JN	75 140	x				UN	RO					
5	JN	86 132	x				UN	RO					
6	JN	85 315	x				UN	RO					
7	JN	83 122	x				UN	SM	CL				
8	JN	65 130	x				UN	SM	CL				
9	JN	86 90	x				UN	SM	CL				
10	JN	75 100	x				UN	RO					
11	JN	65 0	x				UN	SM	CL				
12	JN	72 0	x				UN	SM	CL				
13	JN	73 0	x				UN	SM	CL				
14	JN	78 10	x				UN	SM	CL				
15	JN	40 290	x				UN	SM	CL				
16	JN	74 332	x				UN	RO	OX				
17	JN	52 136	x				UN	SM	CL				
18	JN	77 325	x				UN	SM	CL				
19	VN	67 340	x				UN	RO	OX				
20	JN	70 342	x				UN	SM	CL				
21	JN	60 340	x				UN	RO	OX				
22	JN	25 335	x				UN	SM	CL				
23	JN	84 335	x				UN	RO	CL				
24	JN	75 350	x				UN	RO	OX				
25	JN	70 345	x				UN	SM	CL				
26	JN	35 125	x				UN	RO	OX				
27	JN	45 174	x				UN	RO	OX				
28	JN	86 205	x				UN	RO	OX				
29	JN	68 315	x				UN	SM	CL				
30	JN	81 175	x				UN	SM	CL				
31	JN	85 10	x				UN	SM	OX				
32	JN	46 345	x				UN	SM	CL				
33	VN	70 0	x				UN	RO	OX				
Tipo:						Forma:		Meteorización:		Resistencia:			
JN: Junta	PO: Pulido	BR: Roca Triturada	GR: Grava	PL: Plano	W1: Fresca	R0: Extremadamente débil - Se indenta con la uña del pulgar							
FT: Falla	K: Estras de Fricción	BT: Botilla	HE: Hemalita	CU: Curvo	W2 Lig. Meteorizada	R1: Muy débil - Se descascara con una cuchilla							
CZ: Cizalla	SM: Liso	CL: Arcilla	OZ: Cuaizo	IR: Irregular	W3 Mod. Meteorizada	R2: Débil - Se descascara difícilmente con una cuchilla							
VN: Vena	RO: Rugoso	CH: Clorita	SA: Arena	UN: Ondulado	W4 Altam. Meteorizada	R3: Media - Se rompe con un golpe de martillo							
BD: Estratificación	VR: Muy Rugoso	OX: Ocho	SE: Sericita	ST: Escalonado	W5 Comp. Meteorizada	R4: Dura - Se rompe con más de un golpe de martillo							
CO: Contacto	CA: Calcita	M: Limo			W6 Suelo Residual	R5: Muy Dura - Requiere varios golpes de martillo para romper							
OR: Ortogonal	EP: Epidota					R6: Extrem. Dura >250MPa - Se esquirla tras varios golpes							
CL: Clivaje	SU: Sulfuros												
FO: Fotación	GO: Gauge												
												a 54.50 m + 1	
												55.90 m a 56.40 m =	
												A 57 m contacto intrusivo - Sedimentario	

Fuente: Golder,2016





N°	Identificación de Perforación	ID de Muestra	Intervalo (m)		Unidad Litológica	Tipo de Alteración	UCS (Mpa)	PLT (Mpa)	Módulos Elásticos		Resistencia a la Tracción (MPa)	Triaxial			Corte Directo		Propiedades Físicas		
			De	A					Young (GPa)	Poisson		$m_i$	$\phi$ (°)	c (MPa)	$\phi$ (°)	c (MPa)	Gravedad Especifica	Porosidad (%)	Absorción (%)
47	DDH-GH4-D15	M-03	25.80	26.10	Arenisca	Silicificación fuerte	167.30	164.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
48		M-22	165.40	165.74	Arenisca	Silicificación fuerte	-	-	-	-	-	-	-	38.10	0.05	-	-	-	
49		M-01A	10.40	10.64	Arenisca	Silicificación moderada	-	-	-	-	-	-	-	32.60	1.16	-	-	-	
50		M-09	70.40	70.70	Arenisca	Silicificación moderada a fuerte	33.10	263.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
51		M-07	62.00	62.24	Brecha Hidrotermal	Silicificación moderada a fuerte	-	-	-	-	-	-	-	38.40	0.10	-	-	-	
52	DDH-GH5-D15	ML-09	71.90	72.20	Arenisca	Silicificación fuerte	-	-	-	-	-	-	-	41.00	0.00	-	-	-	
53		M-11	115.52	115.80	Arenisca	Silicificación fuerte	-	-	-	-	18.20	12.40	66.00	10.00	-	-	-	-	
54		ML-12	115.80	116.50	Arenisca	Silicificación fuerte	124.80	219.00	14.76	0.14	-	-	-	-	-	2.55	2.80	1.10	
55		M-14	164.14	164.50	Arenisca	Silicificación fuerte	-	-	-	-	-	-	-	42.30	0.26	-	-	-	
56		ML-15	172.21	172.63	Arenisca	Silicificación fuerte	104.40	83.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
57		M-19	196.40	196.52	Arenisca con Lutita	Silicificación débil	-	19.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
58		M-18	192.80	193.08	Intercalaciones de Lutita Carbonatada y Arenisca	Silicificación débil	-	-	-	-	-	-	-	28.50	0.00	-	-	-	
59		M-26	188.67	188.80	Lutita carbonosa		2.20	-	9.48	0.24	-	-	-	-	-	-	-	-	
60		M-27	195.85	196.15	Lutita carbonosa con intercalaciones de arenisca	Silicificación débil	-	-	-	-	-	50.00	58.90	0.30	-	-	-	-	
61		M-28	197.60	197.80	Lutita carbonosa con intercalaciones de arenisca	Silicificación débil	-	-	-	-	7.50	-	-	-	-	-	2.29	17.20	7.50

**Notas:**

UCS: Ensayos de Compresión Simple

PLT: Ensayos de Carga Puntual

$m_i$ : Constante del Material para Roca Intacta.

$\phi$ : Ángulo de Fricción

c: Cohesión

Fuente: Golder,2016



## ANEXO N°06

### Resultados de ensayos de resistencia al corte directo

Unidad Geotécnica	Ángulo de Fricción, $\phi$ (°)	Cohesión, C (MPa)	Tipo de Discontinuidad	Ángulo de Fricción, $\phi$ (°)	Cohesión, C (MPa)
Unidad Sedimentaria	24.46	0.157	Simulada	26.3 ± 1.8	0.1 ± 0.0
	28.05	0.104	Simulada		
	31.00	0.092	Natural	36.0 ± 7.9	0.4 ± 0.4
	41.07	0.176	Natural		
	31.52	0.137	Natural		
	35.29	0.216	Natural		
	39.52	0.298	Natural		
	39.04	0.254	Natural		
	46.70	1.500	Natural		
	14.40	0.140	Natural		
	38.10	0.050	Natural		
	32.60	1.160	Natural		
	41.00	0.000	Natural		
	42.30	0.260	Natural		
Unidad Intrusiva	28.44	0.153	Simulada	29.1 ± 0.8	0.1 ± 0.0
	27.97	0.147	Simulada		
	29.52	0.163	Simulada		
	30.18	0.062	Simulada		
	29.63	0.175	Simulada		
	32.46	0.099	Natural	32.0 ± 4.5	0.1 ± 0.1
	35.20	0.330	Natural		
	34.90	0.000	Natural		
	23.80	0.010	Natural		
	29.20	0.000	Natural		
29.70	0.030	Natural			
38.40	0.100	Natural			
Lutita Carbonosa	28.50	0.000	Natural	28.5	0.0

Fuente: Golder,2016

## ANEXO N°07

### Resumen de los Resultados para cada Sector de Diseño Estudio Geotécnico la ampliación del Open Pit Calaorco.

SECTORES DE DISEÑO	MECANISMOS DE FALLAS POTENCIALES CINEMÁTICAS											CONFIGURACIÓN DE BANCO EN ROCA FRESCA LIMITADO POR INESTABILIDADES POTENCIALES						PROBABILIDAD DE FALLA PLANAR  On Stratification Set			
	Tipo por Vuelco			Planar			Tipo Cuña (F.S.<=1.2)					Max BFA Deterministic F.S. < 1.2	Maximum Bench Vertical Separation (m)	SBW = (Volume*1.5) <sup>1/2</sup> (m)	Area (m <sup>2</sup> )	Back-break (m)	Berm Width (m)		Max. IRA (°)		
	Set	Dip (°)	Max. IRA Topping Failure	Set	Dip (°)	FOS/ Probability	Max. IRA Planar Failure	Combination	Plunge (°)	Trend (°)	FOS									Volume of Critical Wedge (m BFA) (m <sup>3</sup> )	
Sector 1 - Pared NW Principal Dirección de Buzamiento 090° (Figura D-10)	n/a			Var. EST1	78	1.2	72	EST1 EST1 F1A	F1A Carbon Carbon	71 69 70	113 117 110	0.30 0.20 0.20	8 205 199	70°  75° (all°)	16  16  16	2.3 6.7 6.7	n/a  n/a	n/a  n/a	9.5  11.0	46°  46°	BFA = 75° PoF = 36% BFA = 70° PoF = 27% *Alternative configuration
Sector 2 - Pared W - SW Principal Dirección de Buzamiento 050° 050° (Figura D-11)	n/a			EST1	75	1.2	72	F1A EST1 EST1 F1A Carbon	EST1 f1 Carbon Carbon	72 71 71 60 62	073 000 080 052 043	0.30 0.20 0.30 0.6 0.4	3 38 6 130 119	70°  75° (all°)	16  16  16	1.7 3.8 2.1 5.8 5.6	n/a  n/a	n/a  n/a	9.5  11.0	46°  46°	BFA = 75° PoF = 40% BFA = 70° PoF = 27% *Alternative configuration
Sector 3 - Pared S Principal Dirección de Buzamiento 020° (Figura D-12)	n/a			est1b	43	1.2	38	est1c F1	est1b est1b	40 40	044 044	1.2 1.3	183 184	70°  75° (all°)	16  16	6.5 6.5	91	11.3	9.5 11.0	46° 46°	BFA = 75° PoF = 46% BFA = 70° PoF = 30% *Alternative configuration
Sector 4 - Pared SE Principal Dirección de Buzamiento 270° (Figura D-13)	n/a			f4	67	1.2	63	F1 est1a F1 F1 f1b f1b est1a	est1a f1b f1b f4 f4 f4	65 68 59 65 62 65	256 236 247 256 244 255	0.3 0.3 0.6 0.7 0.5 0.4	57 71 5 22 169 161	65°  60° (all°)	16  16	4.4 4.7 6.3 6.2	n/a  n/a	n/a  n/a	11.0  9.5 40.5°	41°  40.5°	*Alternative configuration
Sector 5 - Pared E - NE Principal Dirección de Buzamiento 235° (Figura D-14)	est1	71	59	est1a	68	1.2	64	F1 F1 est1a F1 est1a est1a	est1a f4 f2 f2 est1a f4	63 68 68 52 65 65	262 268 236 253 195 252	0.4 0.4 0.4 1.3 0.4 0.3	25 1 6 13 27 26	60°  60°  60° (all°)	16  16	3.3 1.1 2.1 2.7 3.4 3.4	n/a  n/a	n/a  n/a	9.5  9.5	40.5°  40.5°	
Sector 6 - Pared NE Principal Dirección de Buzamiento 215° (Figura D-15)	est1	74	56	n/a				f1b est1a F1A f1 F1A	f4 f1b f4 f4 est1a	32 43 50 54 67	213 177 240 254 223	1.2 0.8 0.7 0.7 0.3	206 117 30 5 5	60°  60° (all°)	16  16	6.8 5.6 3.6 2.0 2.0	n/a  n/a	n/a  n/a	9.5  11.0	40.5°  41°	BFA = 70° PoF = 63% BFA = 65° PoF = 51% BFA = 60° PoF = 42% *Alternative configuration
Sector 7 - N Wall Principal Dirección de Buzamiento 180° (Figura D-16)	n/a			F1A f1b	77 44	1.2 1.2	75 39	F1A est1a est1a f1b	est1a f1b f1b f4	67.2899 43.1281 31.9087	222.521 177.074 212.851	0.26056 0.68084 1.21493	6 547 453	65°  60° (all°)	16  16	2.1 9.4 8.8 0.0	n/a  n/a	n/a  n/a	11.0  9.5	41°  40.5°	

BFA = BENCH FACE ANGLE (degrees)  
IRA = INTER-RAMP ANGLE (degrees)  
SBW = SPILL BERM WIDTH (m)

FOS = FACTOR OF SAFETY  
N/A = NOT APPLICABLE

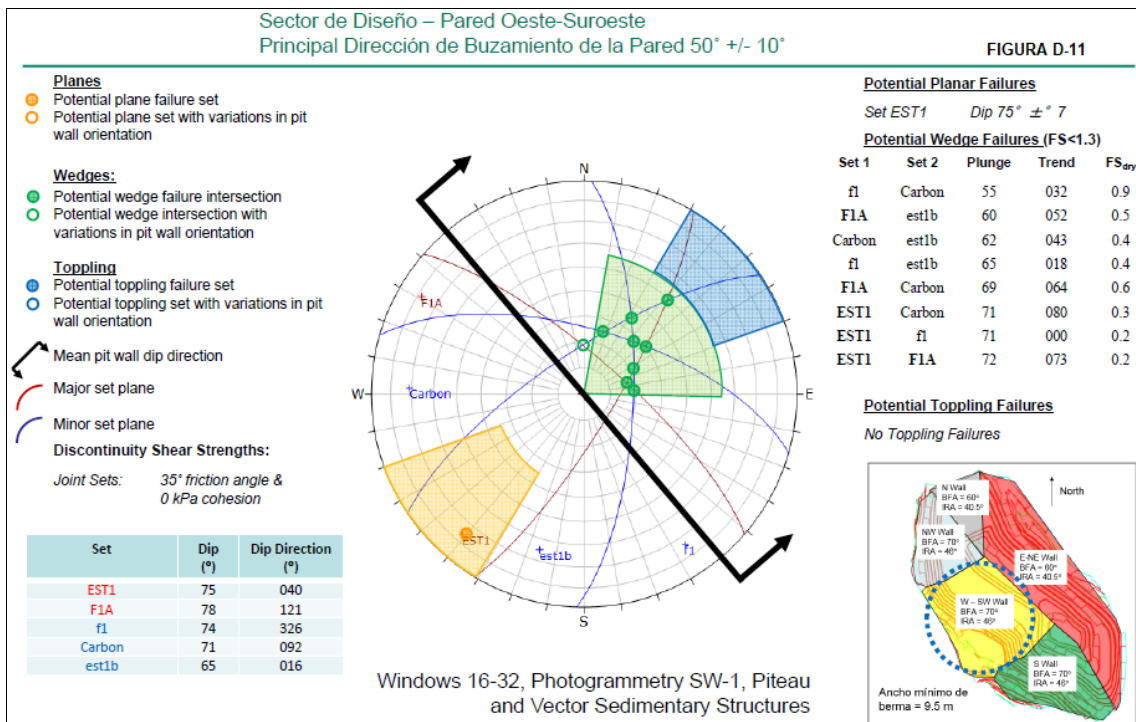
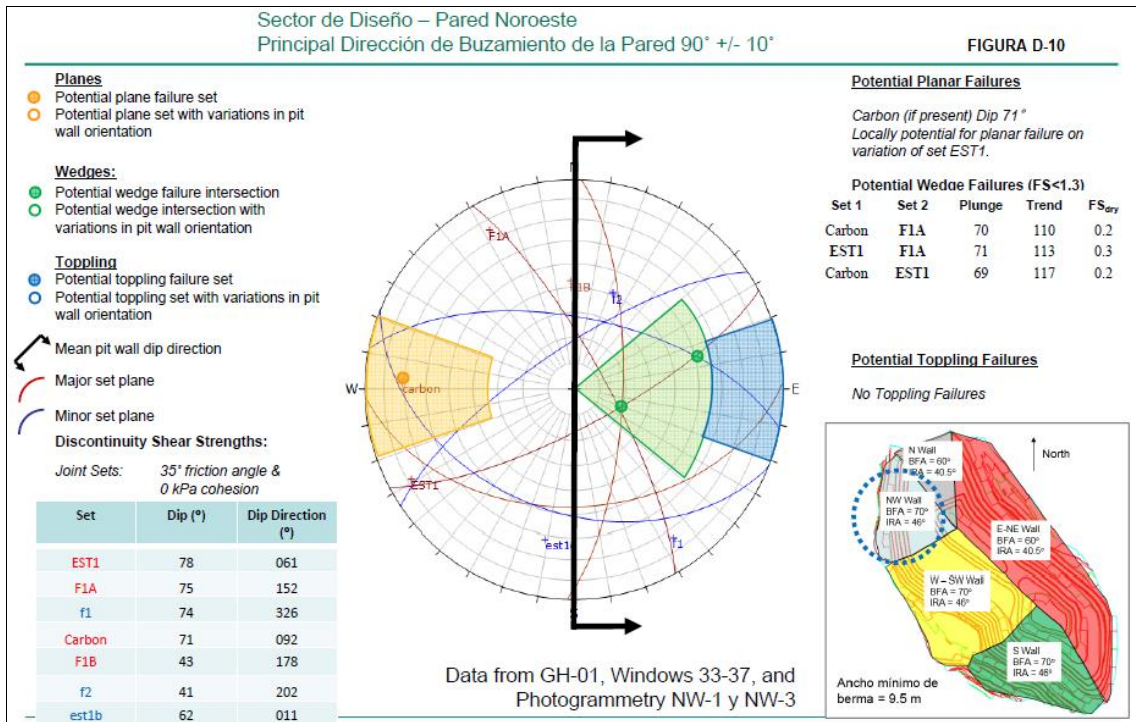
Sets in **BOLD TYPE** are considered to be strong kinematic control.

Fuente: Golder, 2016

# ANEXO N°08

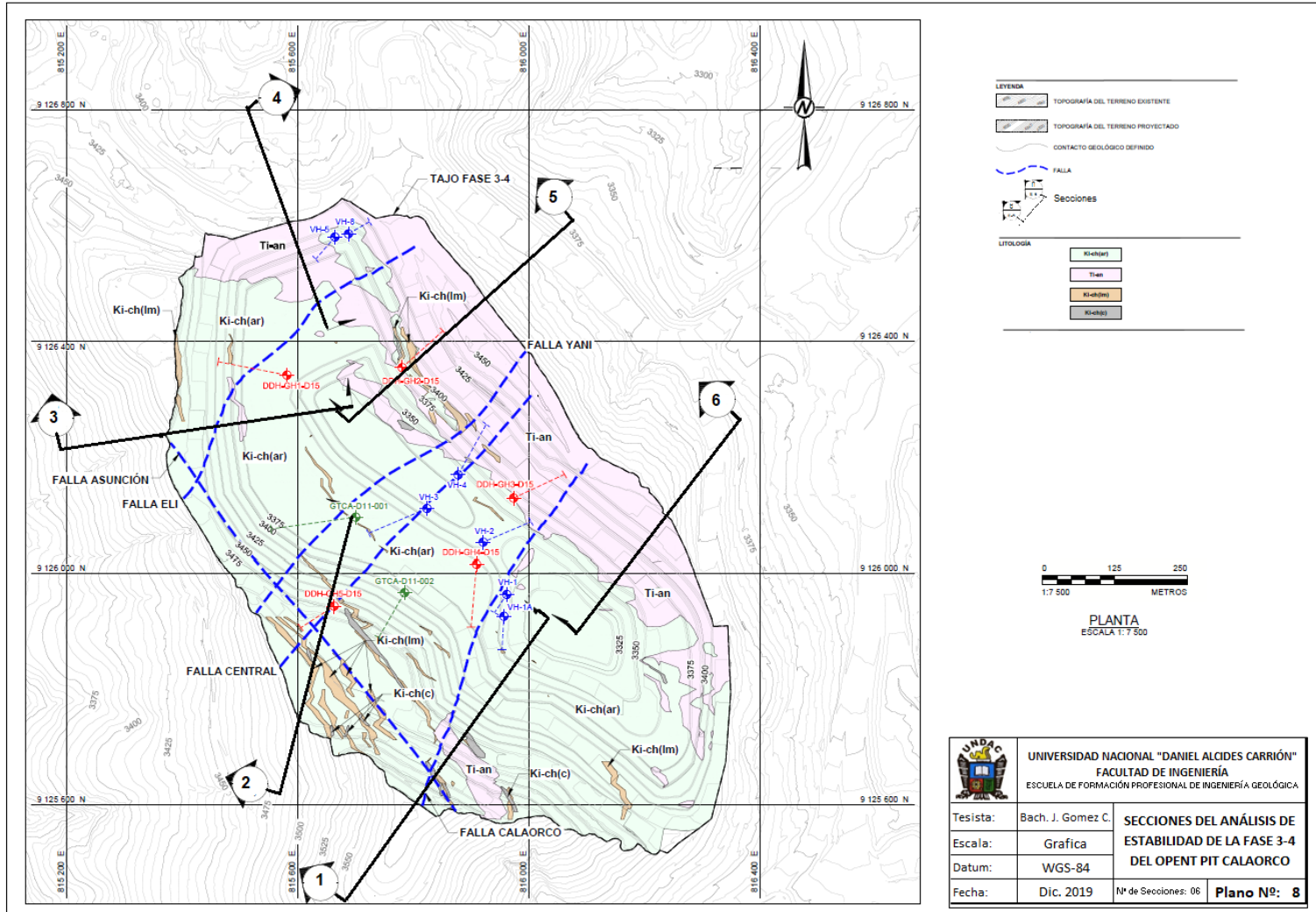
## Evaluación Cinemática de estructuras para cada sector de diseño del Estudio Geotécnico

Tajo Calaorco Fuente: Golder, 2016



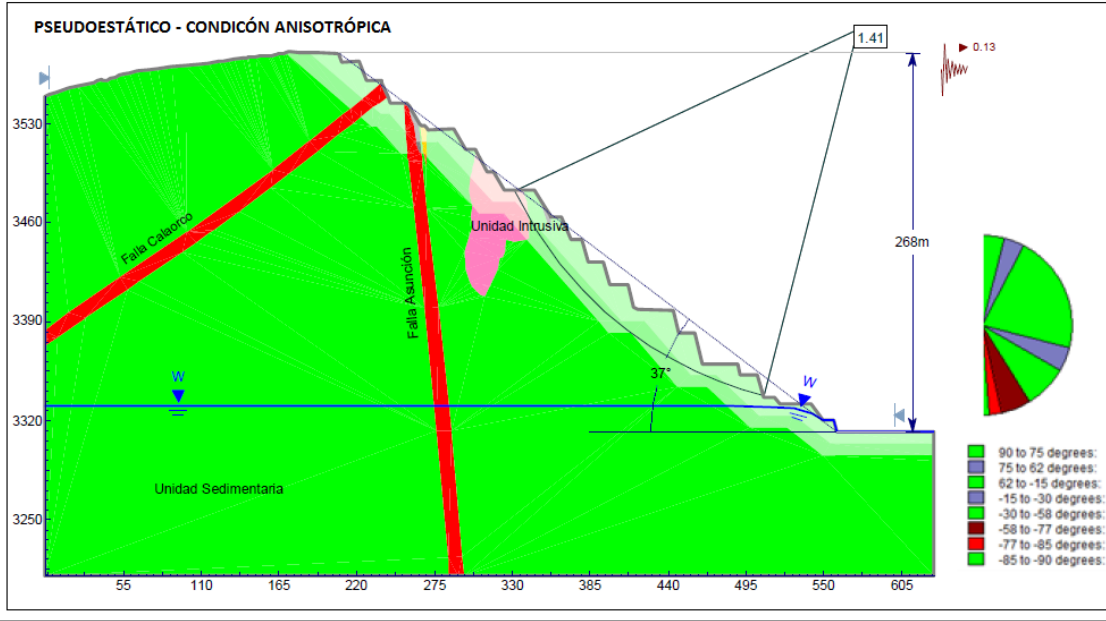
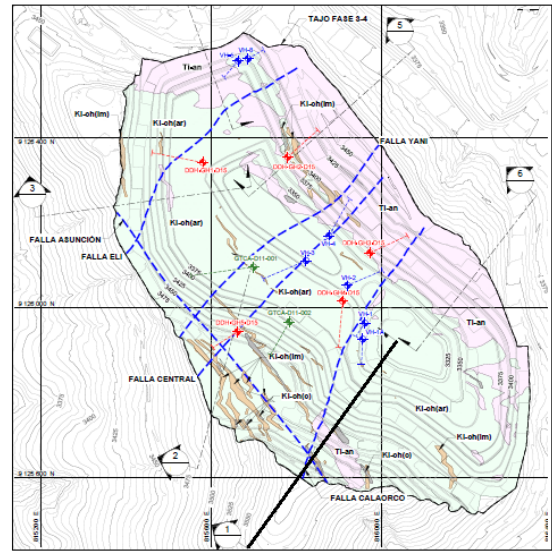
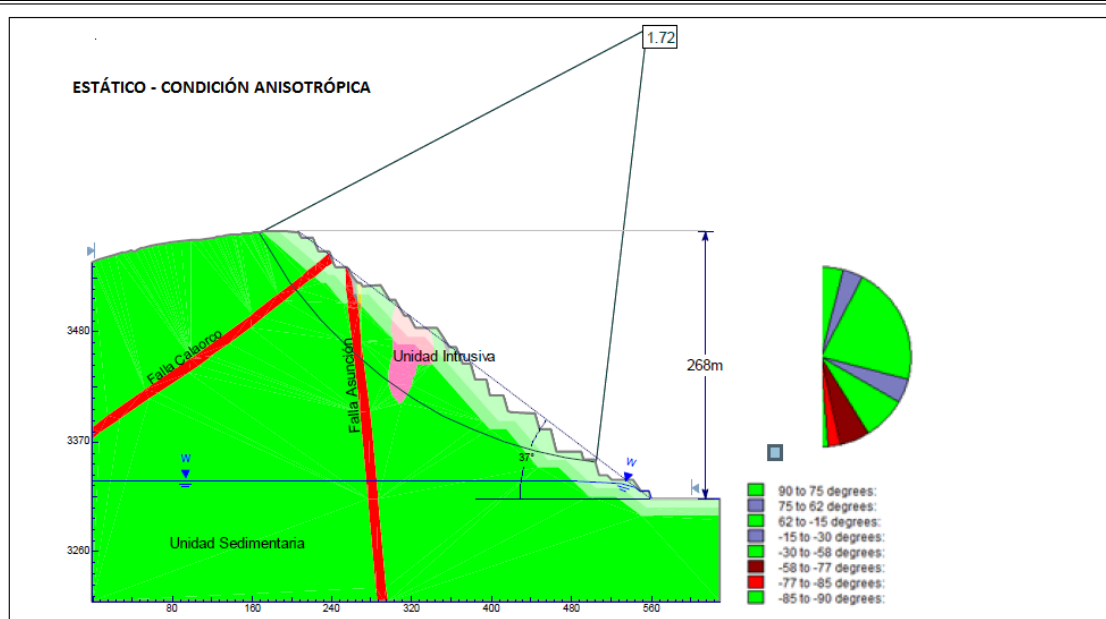
## ANEXO N°09

### RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LA FASE 3-4 DEL OPENT PIT



**CALAORCO**

Fuente: Golder, 2016



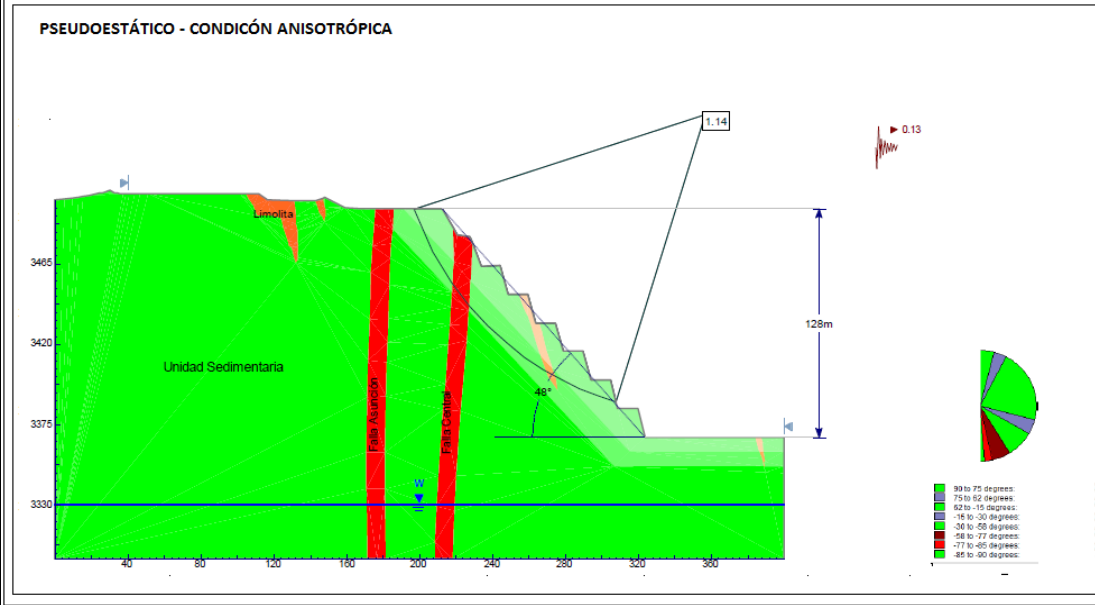
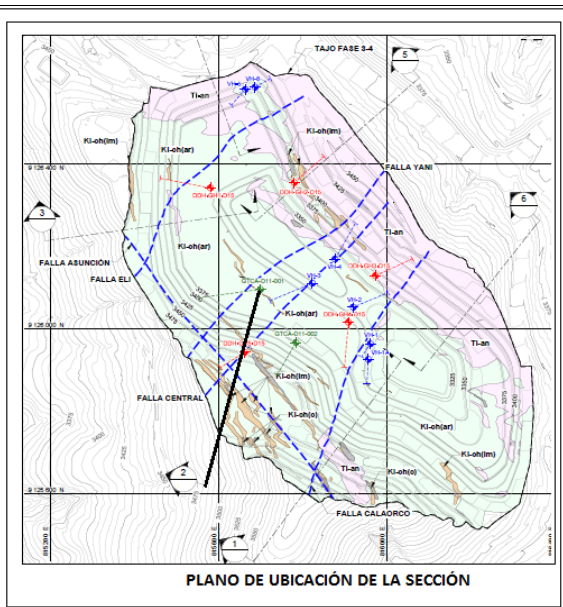
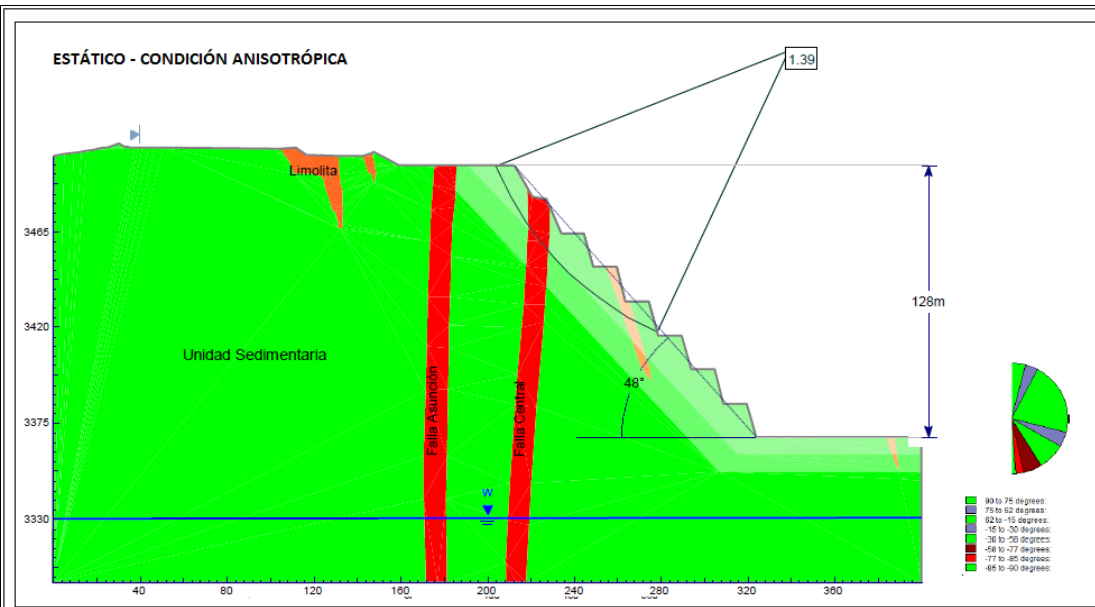
Unidad de Macizo Rocoso	Peso Unitario KN/m <sup>3</sup>	UCS MPa	RM <sub>R15</sub>	m
Sedimentaria Alterada/Oxidación	25	54	32	17
Intrusiva	23	24	40	12
Limolita	25	10	30	15
Lutita Carbonosa	23	23	24	5

**UNDA**  
UNIVERSIDAD NACIONAL "DANIEL A. CARRION"  
FACULTAD DE INGENIERIA  
Escuela de Formación Profesional de Geología

FECHA: Diciembre 2019  
TESISTA: J. Gomez C.  
ESCALA: Gráfica  
DATUM: WGS-84

**ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD GLOBAL DEL OPEN PIT CALAORCO- FAES-4**

SECCION 01

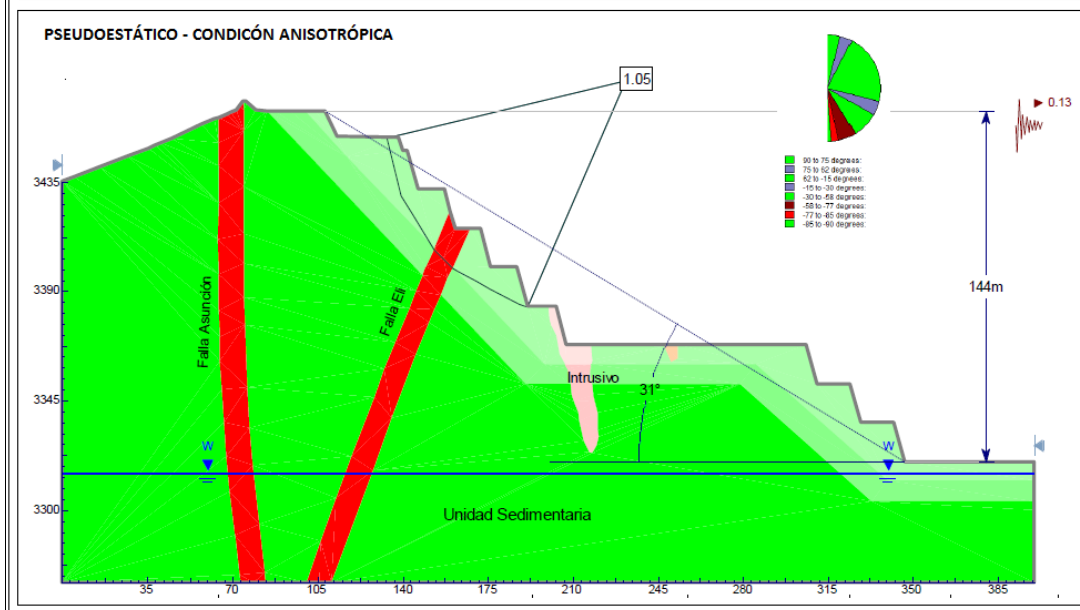
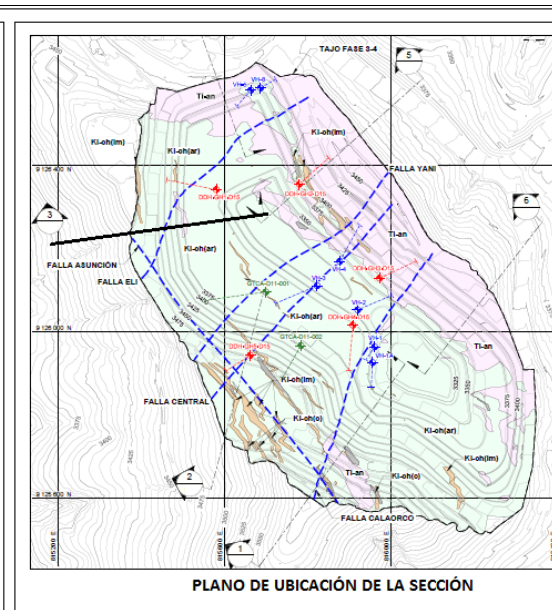
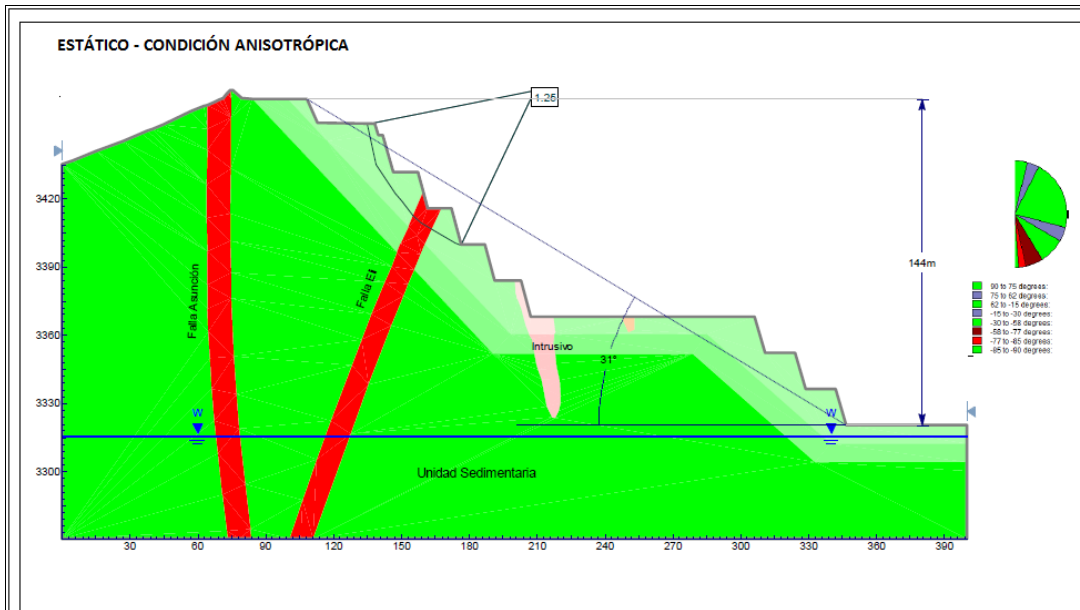


Unidad de Macizo Rocoso	Peso Unitario kN/m <sup>3</sup>	UCS MPa	SMR <sub>int</sub>	m <sub>i</sub>
Sedimentaria Alterada/Oxidación	25	54	32	17
Intusiva	23	24	45	12
Limolita	25	15	30	15
Lutita Carbonosa	23	23	24	6


**UNIVERSIDAD NACIONAL "DANIEL A. CARRION"**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
 Escuela de Formación Profesional de Geología

FECHA: Diciembre 2019     **ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE**  
 TESISISTA: J. Gomez C.     **TALUD GLOBAL DEL OPEN PIT**  
 ESCALA: Gráfica     **GALAORCO-FAE3-4**

DATUM: WGS-84     **SECCION 02**

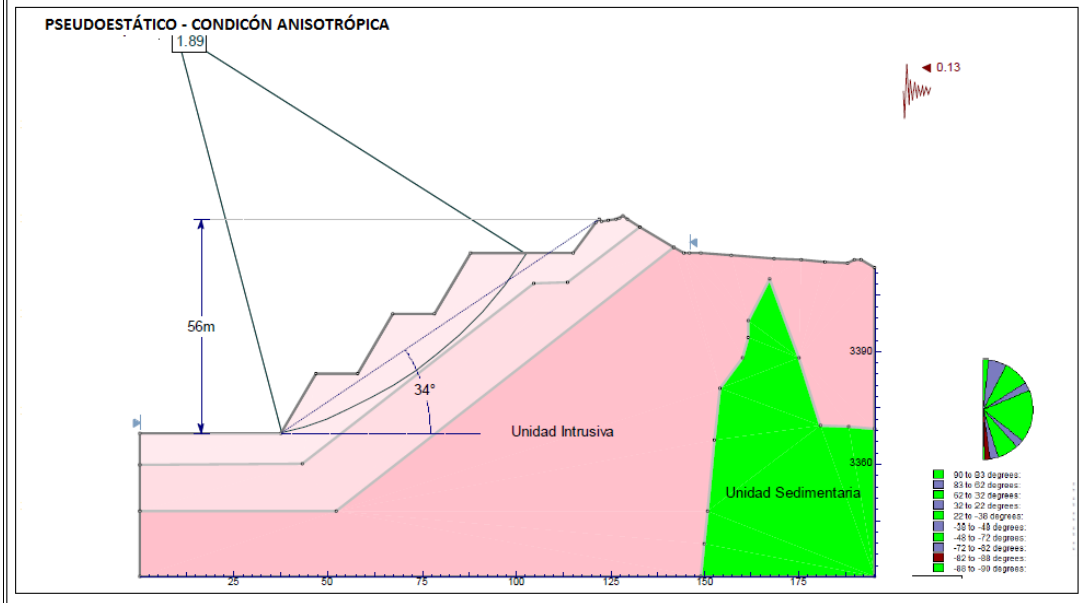
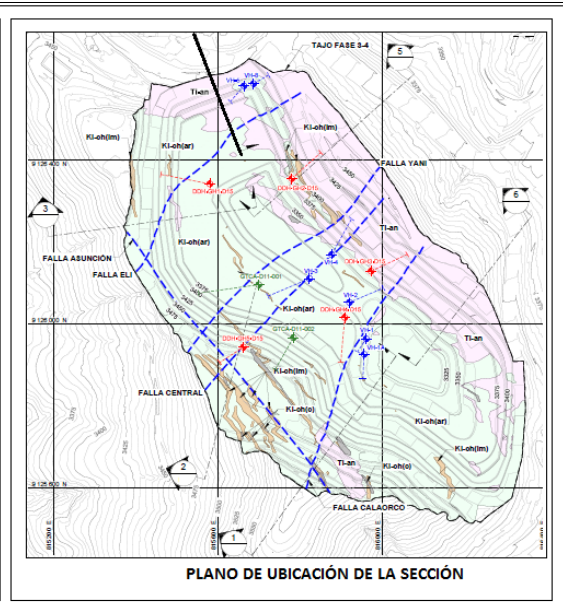
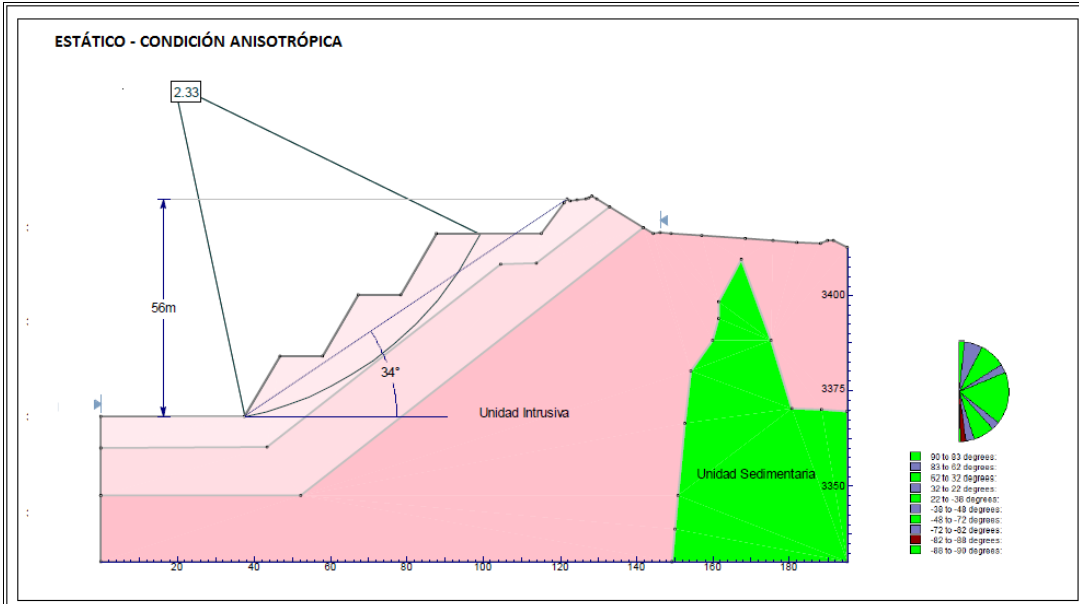


Unidad de Macizo Rocoso	Peso Unitario KN/m <sup>3</sup>	UCS MPa	RMR <sub>1973</sub>	m <sub>i</sub>
Sedimentaria	25	54	32	17
Alterada/Oxidacion	23	24	40	12
Intrusiva	23	24	40	12
Limoita	25	10	30	15
Luzita Carbonosa	23	23	24	5


**UNIVERSIDAD NACIONAL "DANIEL A. CARRION"**  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 Escuela de Formación Profesional de Geología

FECHA: Diciembre 2019    **ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE**  
 TESISISTA: J. Gomez C.    **TALUD GLOBAL DEL OPEN PIT**  
 ESCALA: Gráfica    **CALAORCO- FAES-4**

DATUM: WGS-84    SECCION 03



Unidad de Macizo Rocoso	Peso Unitario #N/m <sup>3</sup>	UCS MPa	RMR <sub>int</sub>	m <sub>i</sub>
Sedimentaria Alterada/Oxidación	25	54	32	17
Intrusiva	23	24	40	12
Limolita	25	10	30	15
Lutita Carbonosa	23	23	24	5

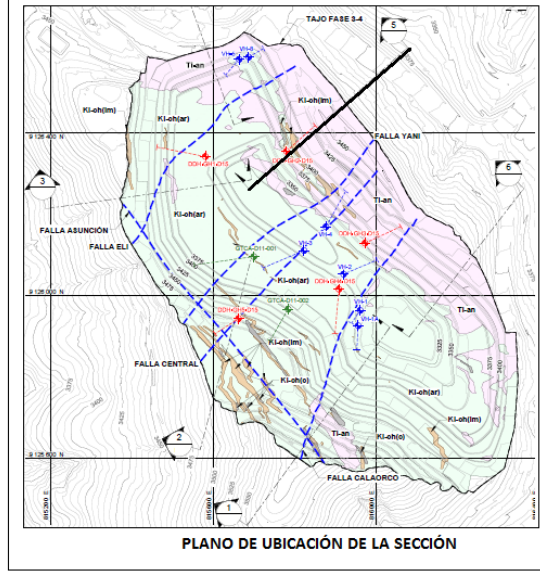
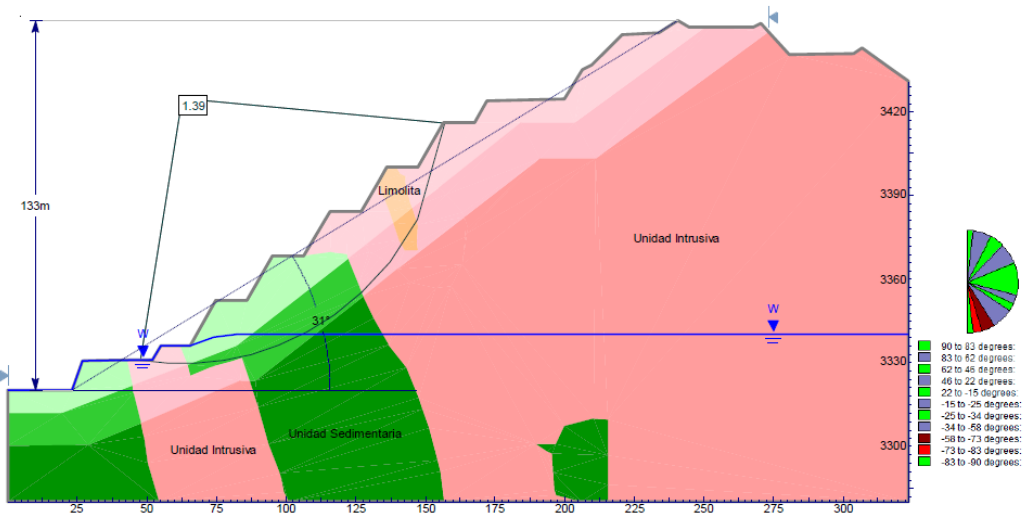

**UNIVERSIDAD NACIONAL "DANIEL A. CARRIÓN"**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
 Escuela de Formación Profesional de Geología

FECHA: Diciembre 2019     **ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE**  
 TESISISTA: J. Gomez C.     **TALUD GLOBAL DEL OPEN PIT**  
 ESCALA: Gráfica     **CALAORCO-FAE3-4**

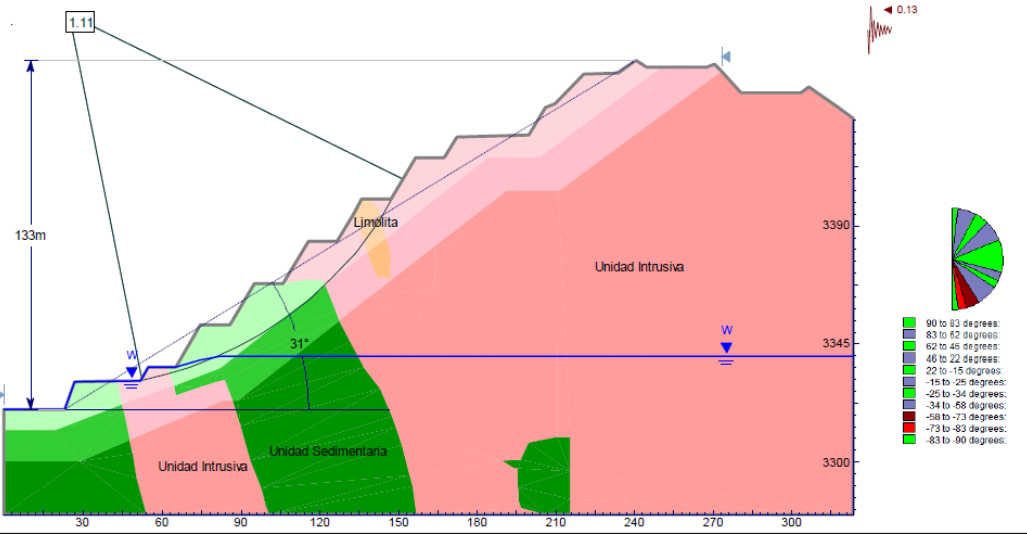
DATUM: WGS-84     SECCION 04



**ESTÁTICO - CONDICIÓN ANISOTRÓPICA SEDIMENTARIA**



**PSEUDOESTÁTICO - CONDICIÓN ANISOTRÓPICA SEDIMENTARIA**



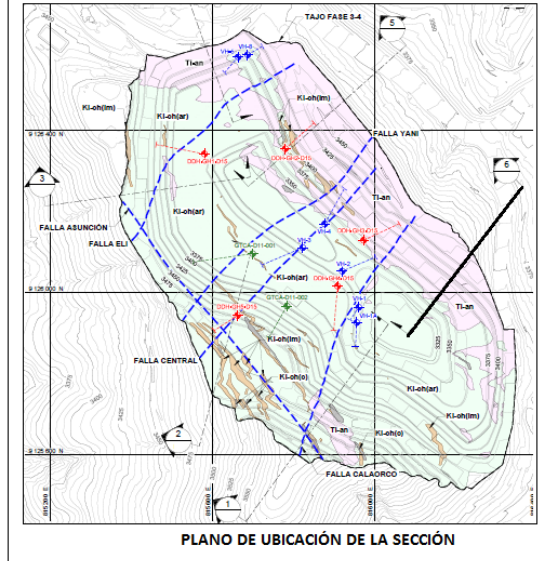
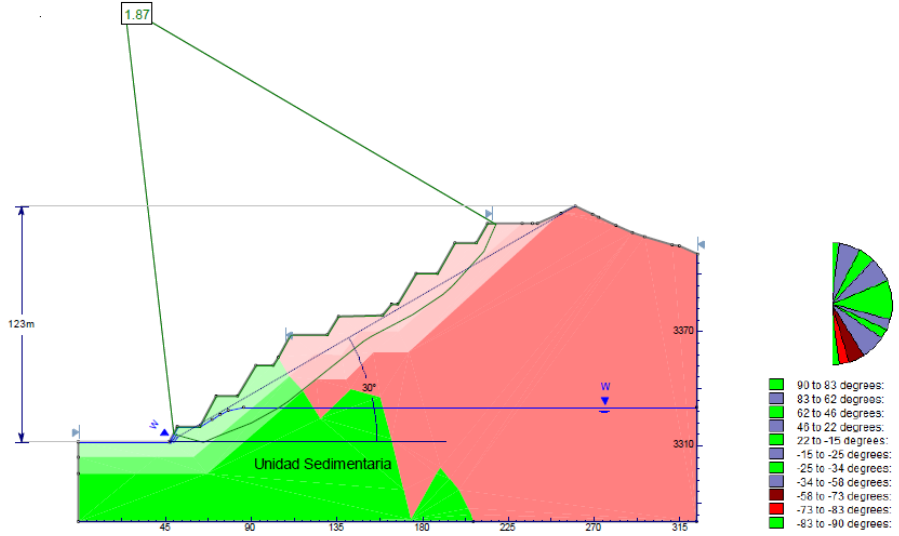
Unidad de Macizo Rocoso	Peso Unitario kN/m³	UCS MPa	RM/R <sub>UCS</sub>	m <sub>i</sub>
Sedimentaria Alterada/Oxidación	25	54	32	17
Intrusiva	23	24	40	12
Limolita	25	10	30	15
Lutita Carbonosa	23	23	24	5


**UNIVERSIDAD NACIONAL "DANIEL A. CARRION"**  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 Escuela de Formación Profesional de Geología

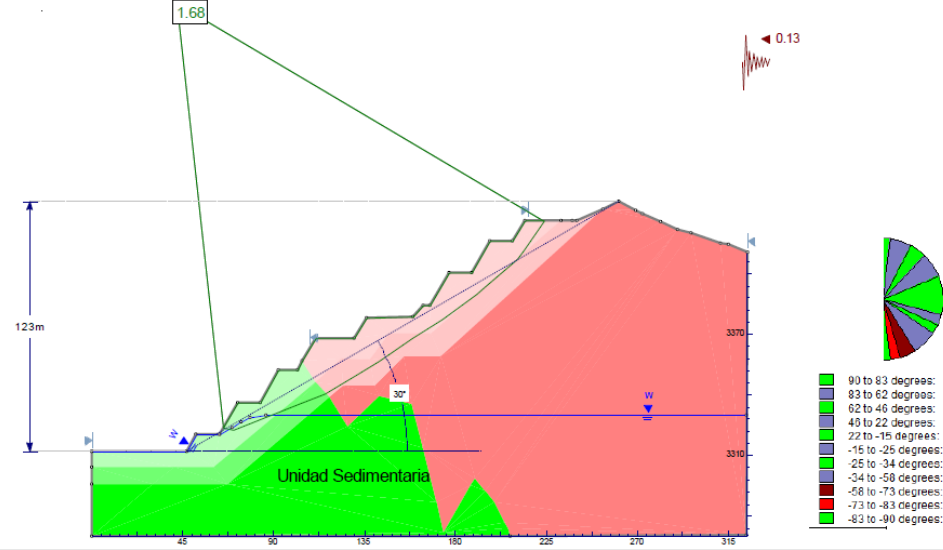
FECHA: Diciembre 2019    **ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE**  
 TESISISTA: J. Gomez C.    **TALUD GLOBAL DEL OPEN PIT**  
 ESCALA: Gráfica    **GALAORCO- FAES-4**

DATUM: WGS-84    SECCION 05

**ESTÁTICO - CONDICIÓN ANISOTRÓPICA SEDIMENTARIA**



**PSEUDOESTÁTICO - CONDICIÓN ANISOTRÓPICA SEDIMENTARIA**



Unidad de Macizo Rocoso	Peso Unitario kN/m <sup>3</sup>	UCS MPa	RM <sub>90%</sub>	m <sub>i</sub>
Sedimentaria Alterada/Oxidación	25	54	32	17
Intrusiva	23	24	40	12
Limolita	25	10	30	15
Lutita Carbonosa	23	23	24	5

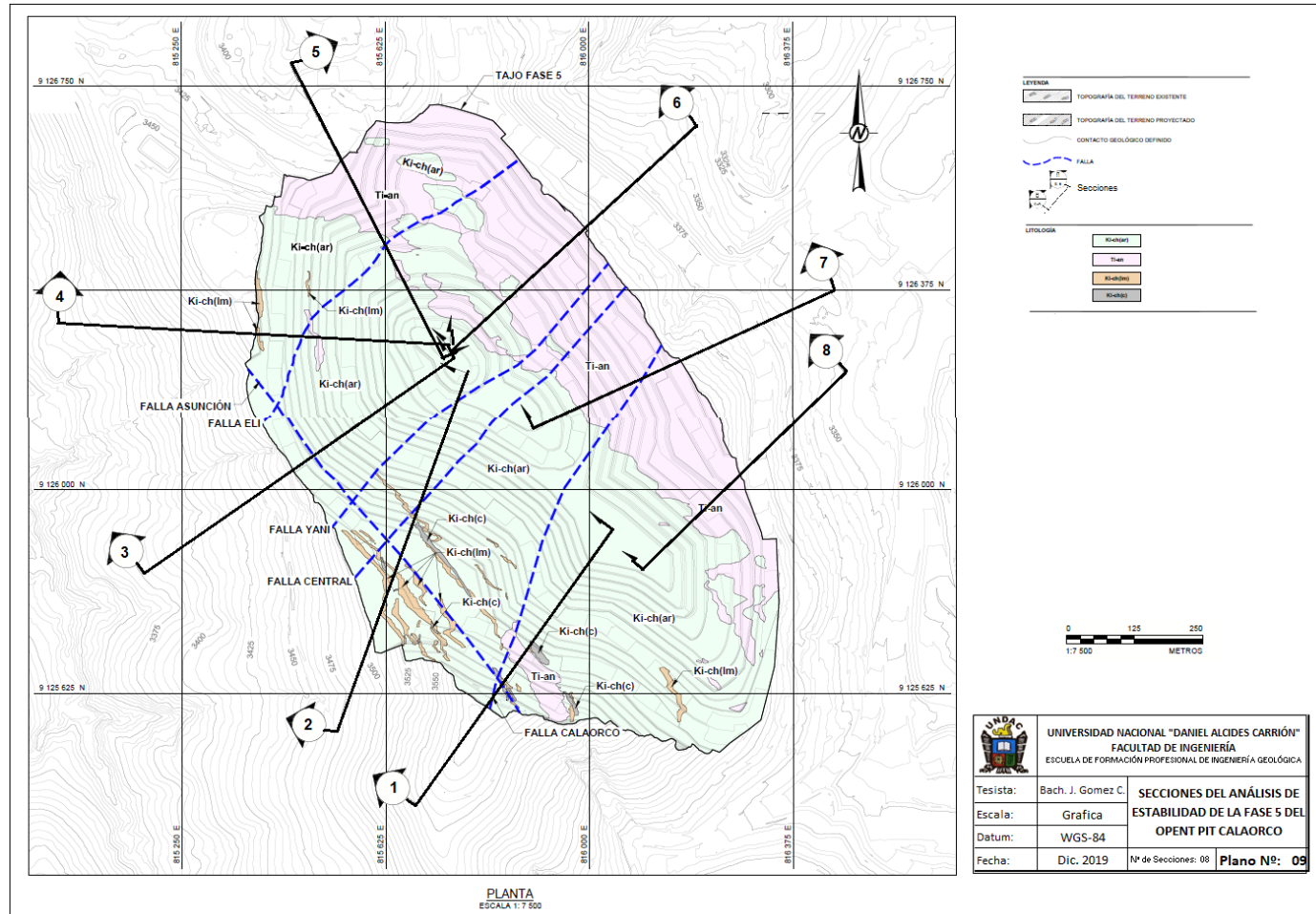

**UNIVERSIDAD NACIONAL "DANIEL A. CARRION"**  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 Escuela de Formación Profesional de Geología

FECHA: Diciembre 2019     **ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD GLOBAL DEL OPEN PIT**  
 TESISTA: J. Gomez C.     **GALORCO-FAES-4**  
 ESCALA: Gráfica

DATUM: WGS-84     SECCION 06

## ANEXO N° 10

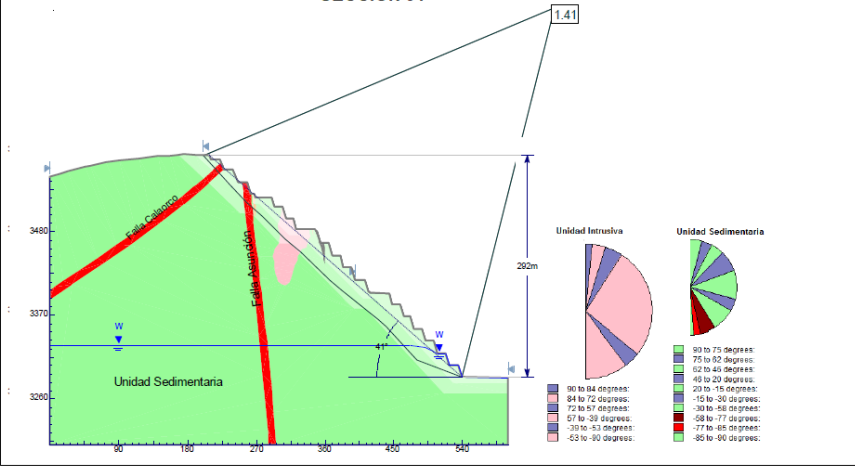
### RESULTADOS DEL ANALISIS DE ESTABILIDAD DE LA FASE 5 DEL OPENT PIT CALAORCO



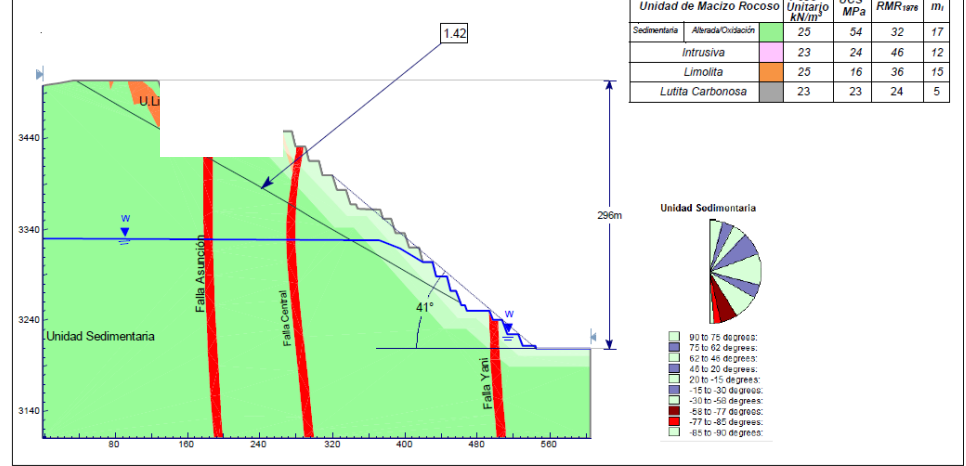
 UNIVERSIDAD NACIONAL "DANIEL ALCIDES CARRIÓN" FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
Tesisista:	Bach. J. Gomez C.	<b>SECCIONES DEL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LA FASE 5 DEL OPENT PIT CALAORCO</b>
Escala:	Grafica	
Datum:	WGS-84	
Fecha:	Dic. 2019	Nº de Secciones: 08 <b>Plano N°: 09</b>

Fuente: Golder,2016

ESTÁTICO - CONDICIÓN ANISOTRÓPICA SECCIÓN 01

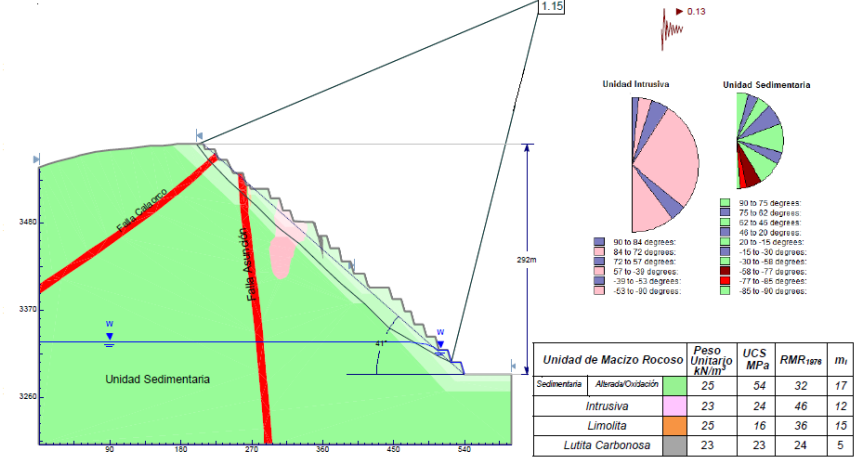


ESTÁTICO - CONDICIÓN ANISOTRÓPICA SECCIÓN 02



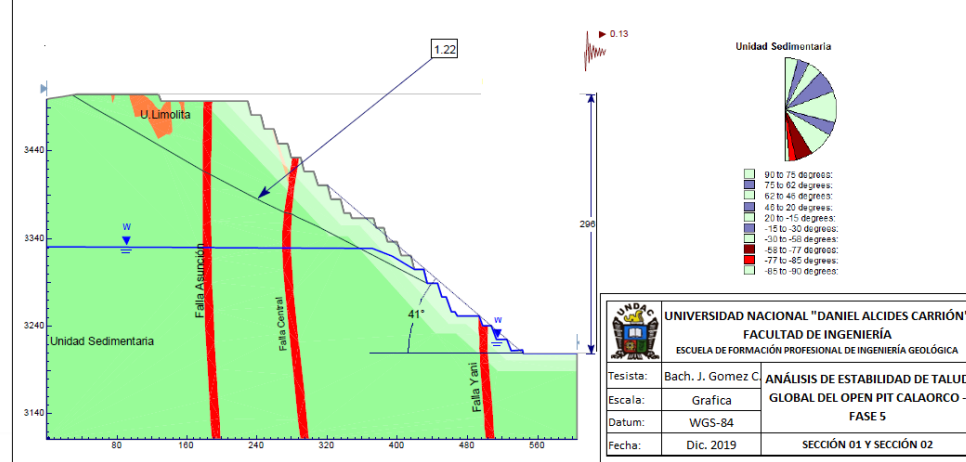
Unidad de Macizo Rocoso	Peso Unitario KN/m <sup>3</sup>	UCS MPa	RMR <sub>1976</sub>	m <sub>i</sub>
Sedimentaria Alterada/Oxidación	25	54	32	17
Intrusiva	23	24	46	12
Limolita	25	16	36	15
Lutita Carbonosa	23	23	24	5

PSEUDOESTÁTICO - CONDICIÓN ANISOTRÓPICA SECCIÓN 01



Unidad de Macizo Rocoso	Peso Unitario KN/m <sup>3</sup>	UCS MPa	RMR <sub>1976</sub>	m <sub>i</sub>
Sedimentaria Alterada/Oxidación	25	54	32	17
Intrusiva	23	24	46	12
Limolita	25	16	36	15
Lutita Carbonosa	23	23	24	5

PSEUDOESTÁTICO - CONDICIÓN ANISOTRÓPICA SECCIÓN 02

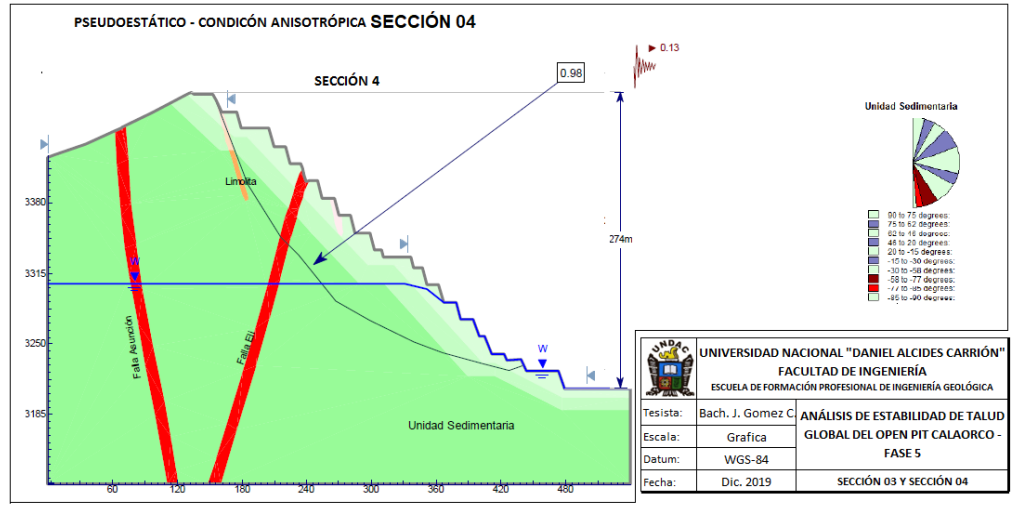
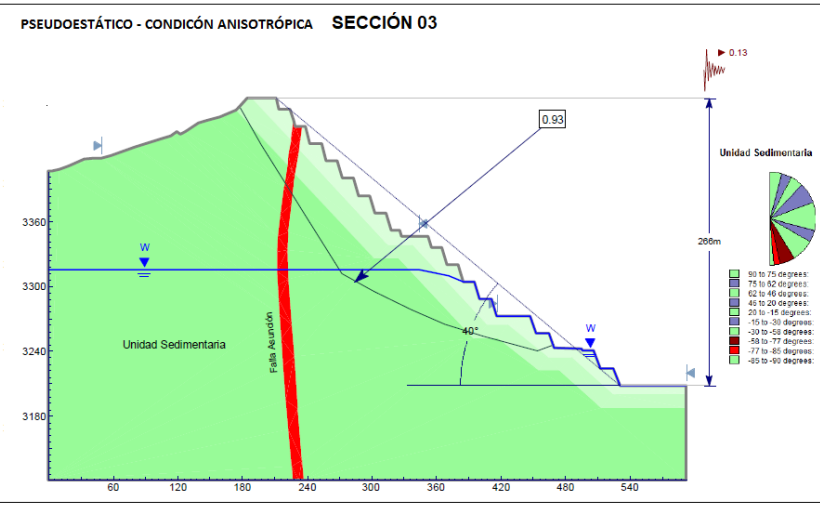
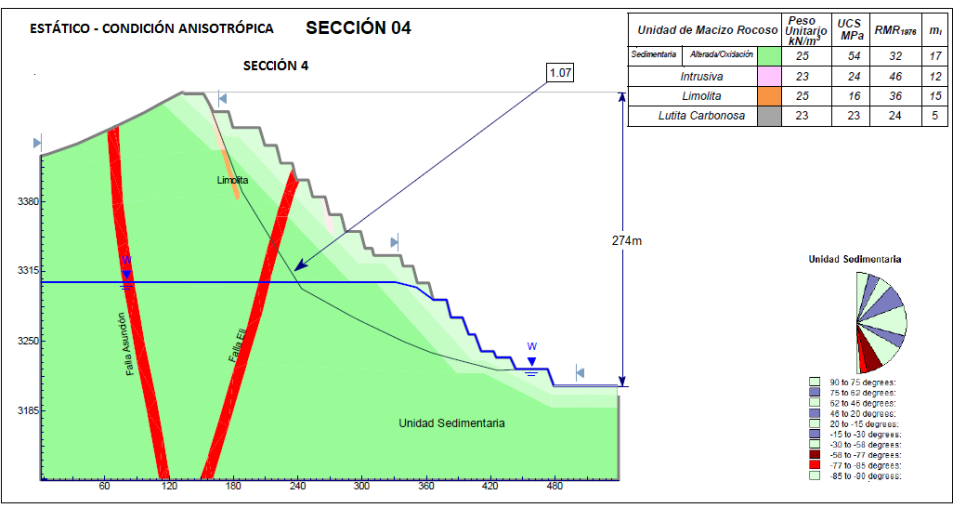
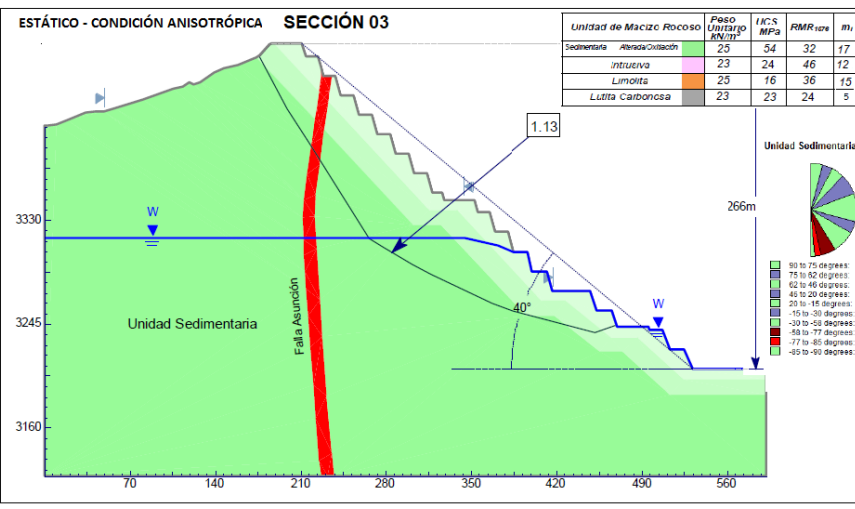


UNIVERSIDAD NACIONAL "DANIEL ALCIDES CARRIÓN"  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

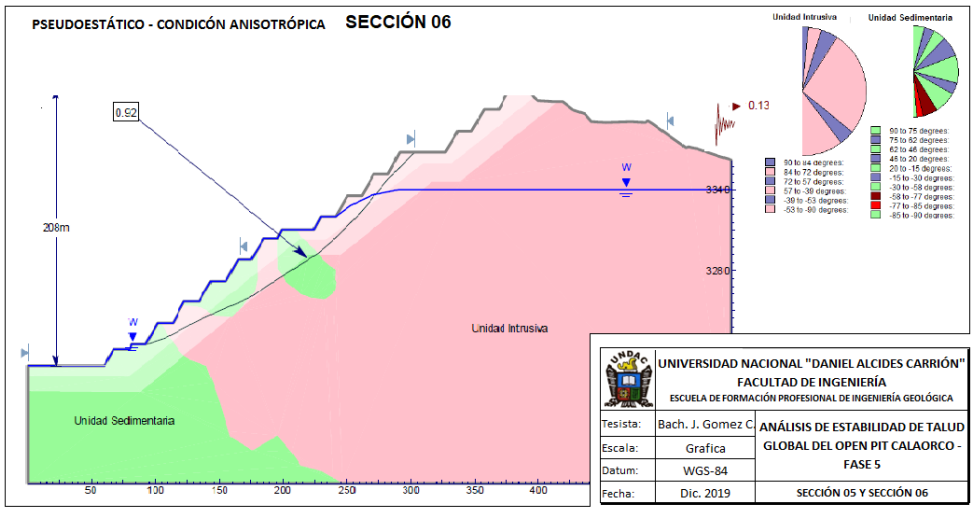
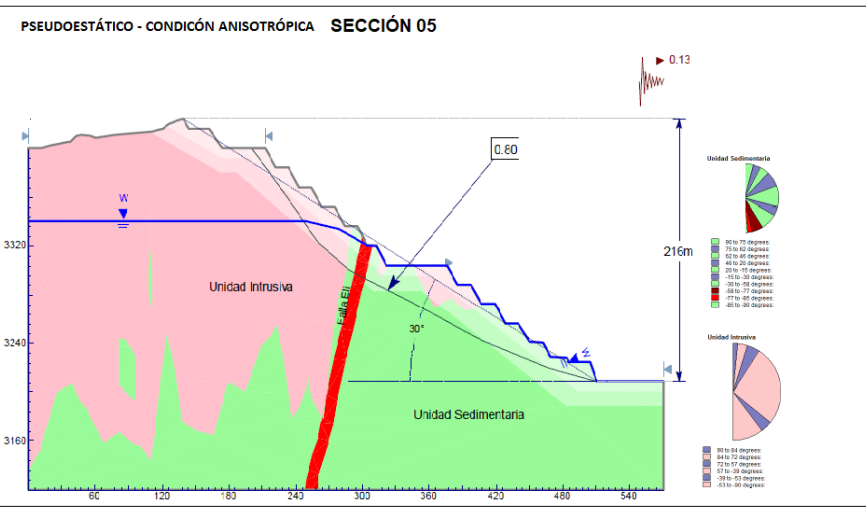
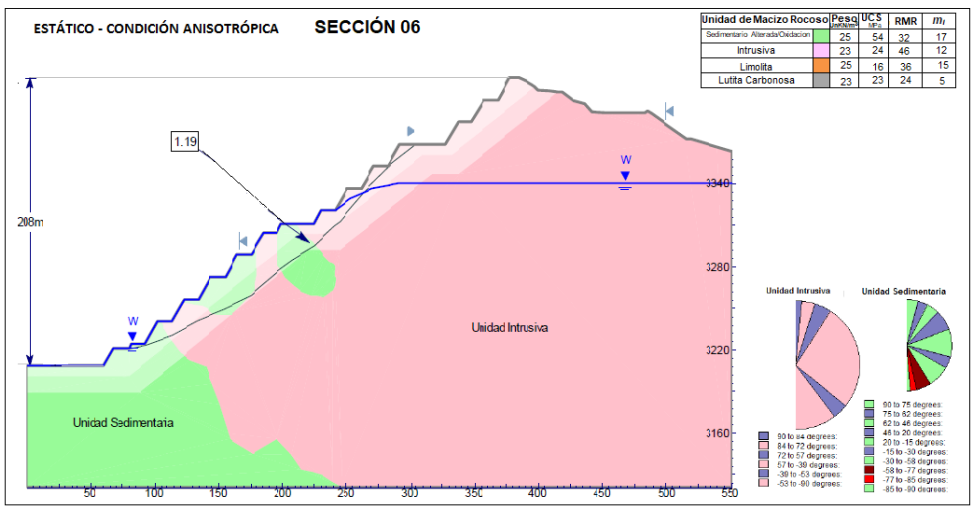
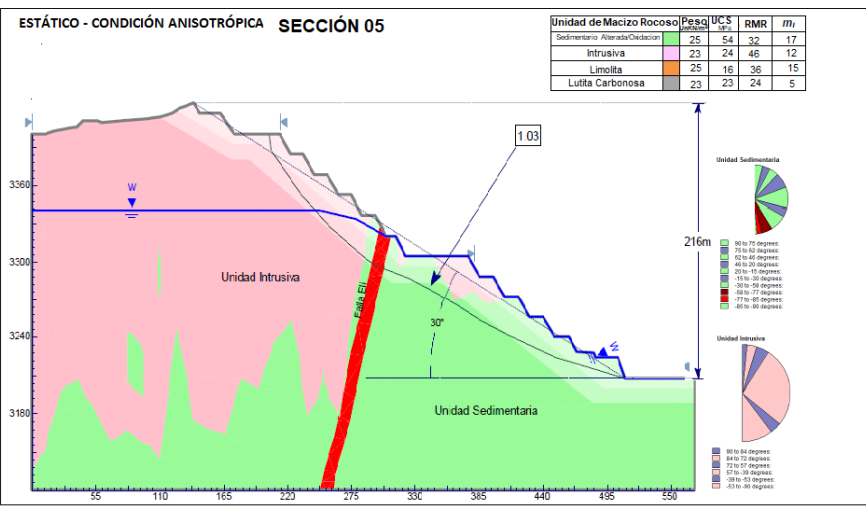
Tesisista: Bach. J. Gomez C  
 Escala: Grafica  
 Datum: WGS-84  
 Fecha: Dic. 2019


ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD  
 GLOBAL DEL OPEN PIT CALAORCO -  
 FASE 5

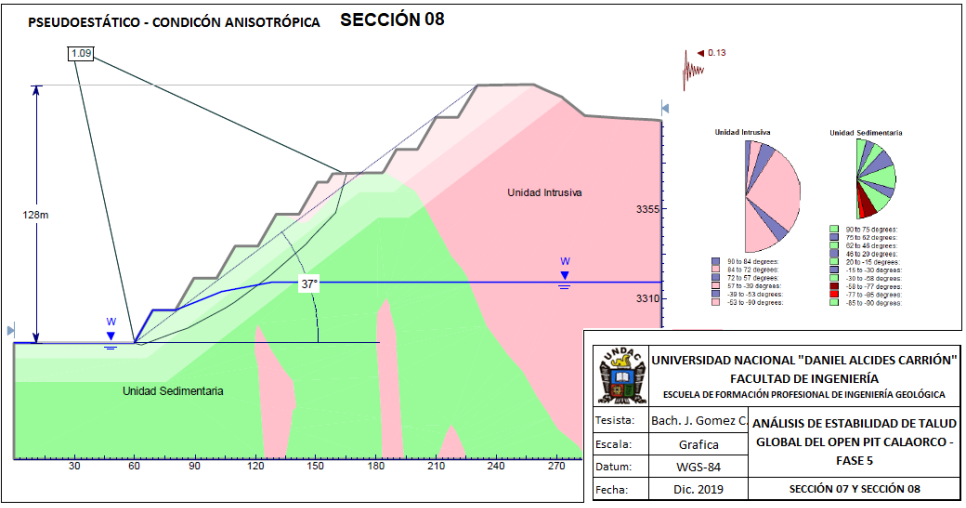
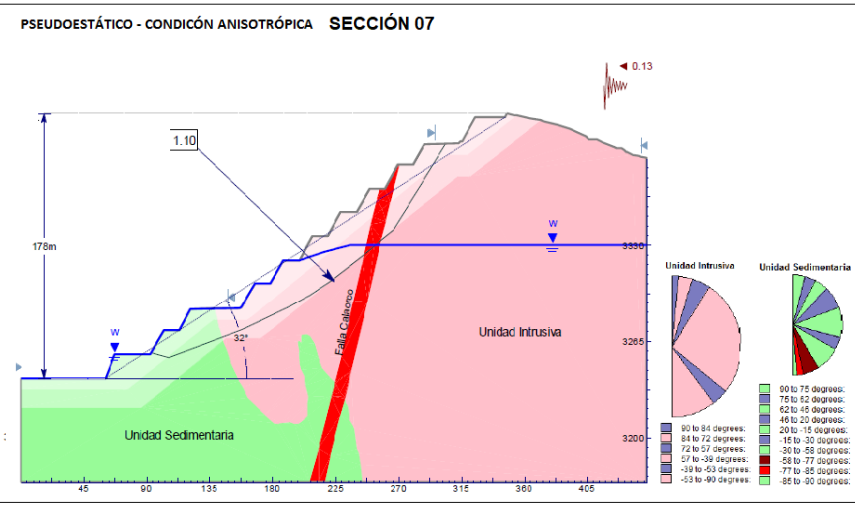
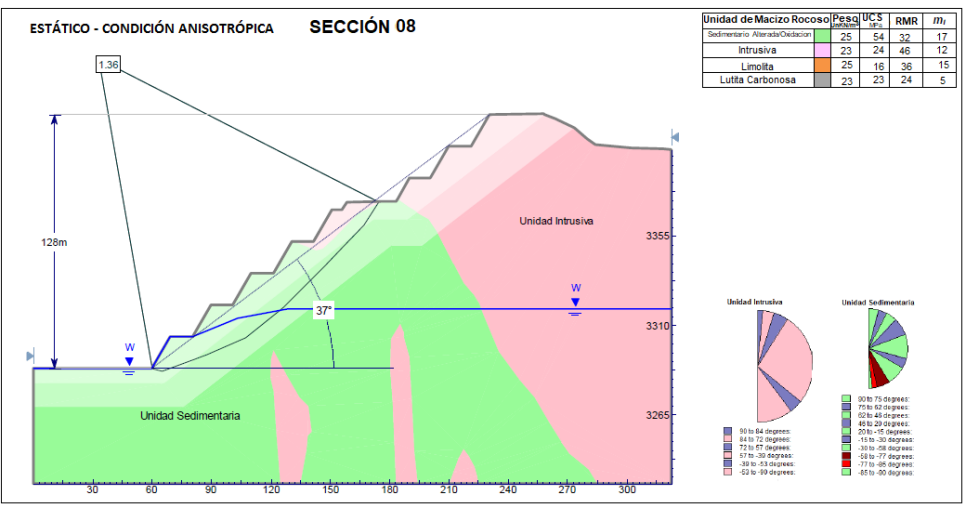
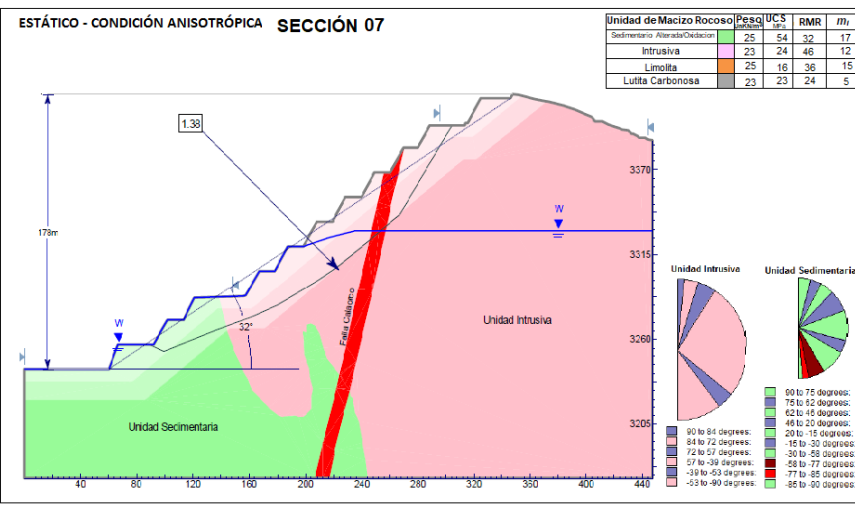
SECCIÓN 01 Y SECCIÓN 02



	UNIVERSIDAD NACIONAL "DANIEL ALCIDES CARRIÓN"	
	FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
Tesista:	Bach. J. Gomez C	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD GLOBAL DEL OPEN PIT CALAORCO - FASE 5
Escala:	Grafica	
Datum:	WGS-84	
Fecha:	Dic. 2019	
		SECCIÓN 03 Y SECCIÓN 04



 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL "DANIEL ALCIDES CARRIÓN"</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
Tesisista:	Bach. J. Gomez C	<b>ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD</b> <b>GLOBAL DEL OPEN PIT CALAORCO -</b> <b>FASE 5</b> <b>SECCIÓN 05 Y SECCIÓN 06</b>
Escala:	Grafica	
Datum:	WGS-84	
Fecha:	Dic. 2019	



**UNIVERSIDAD NACIONAL "DANIEL ALCIDES CARRIÓN"**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
 ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

Tesista: Bach. J. Gomez C. **ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD GLOBAL DEL OPEN PIT CALAORCO - FASE 5**

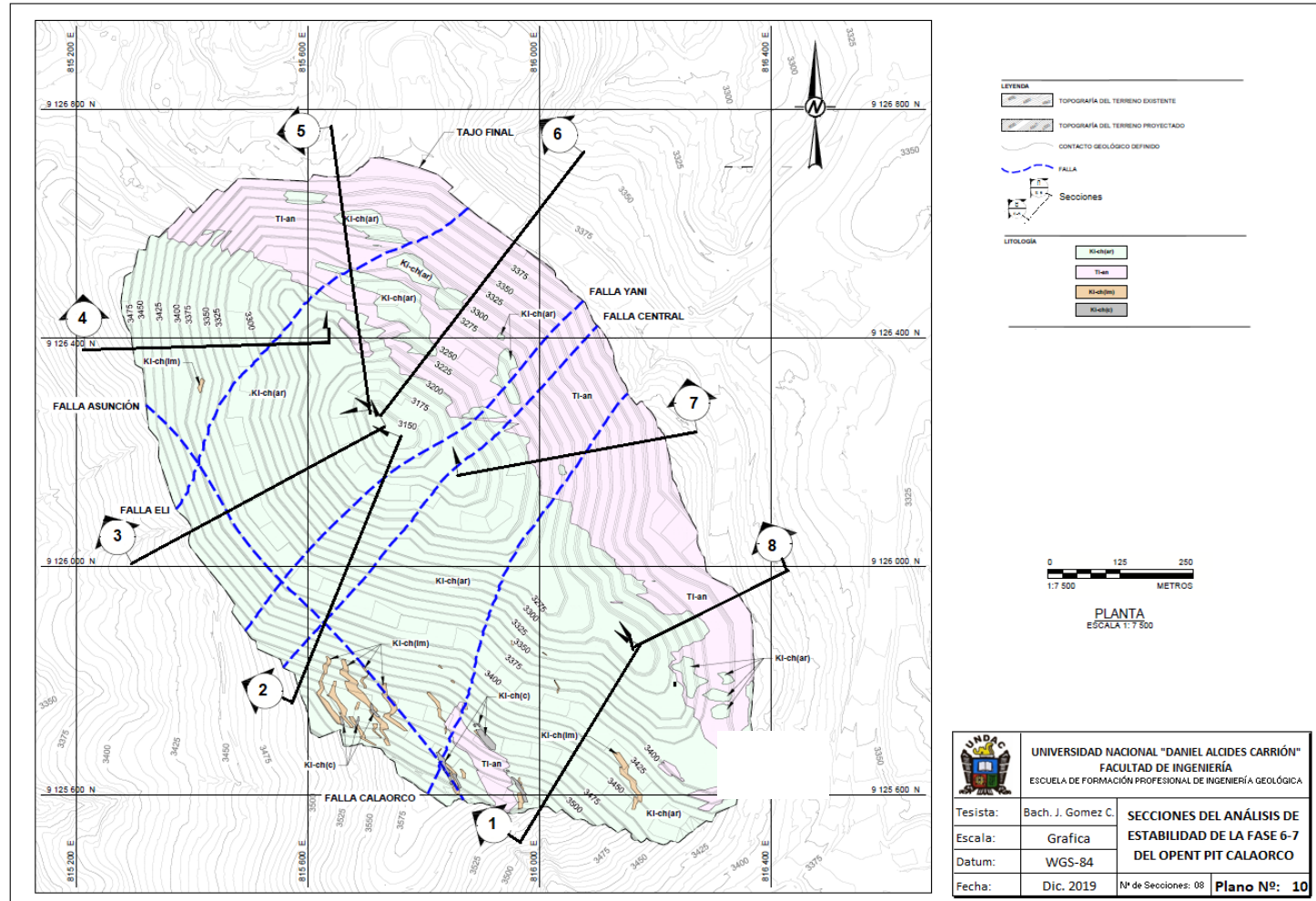
Escala: Grafica

Datum: WGS-84

Fecha: Dic. 2019 **SECCIÓN 07 Y SECCIÓN 08**

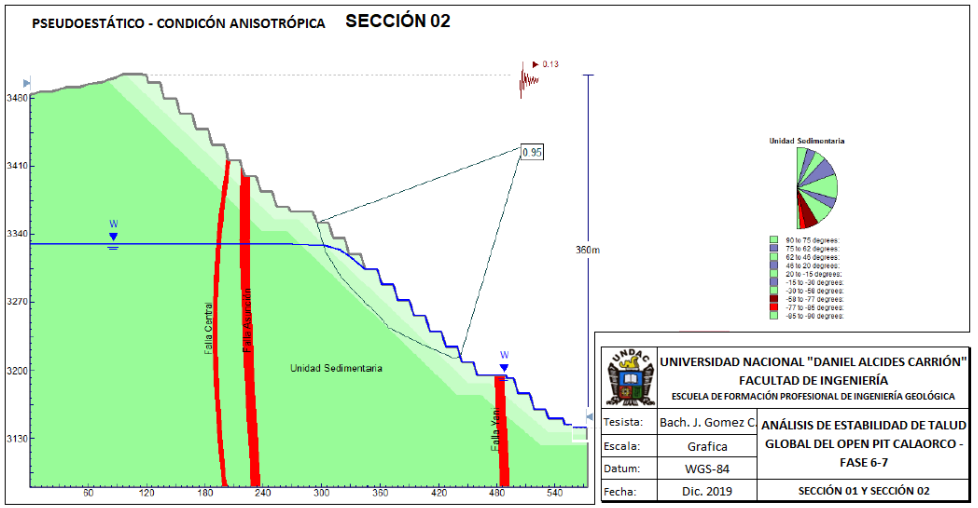
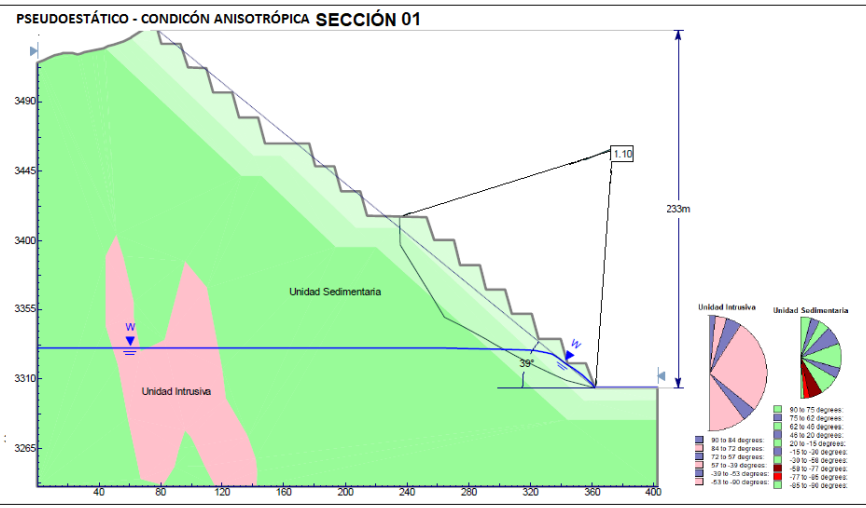
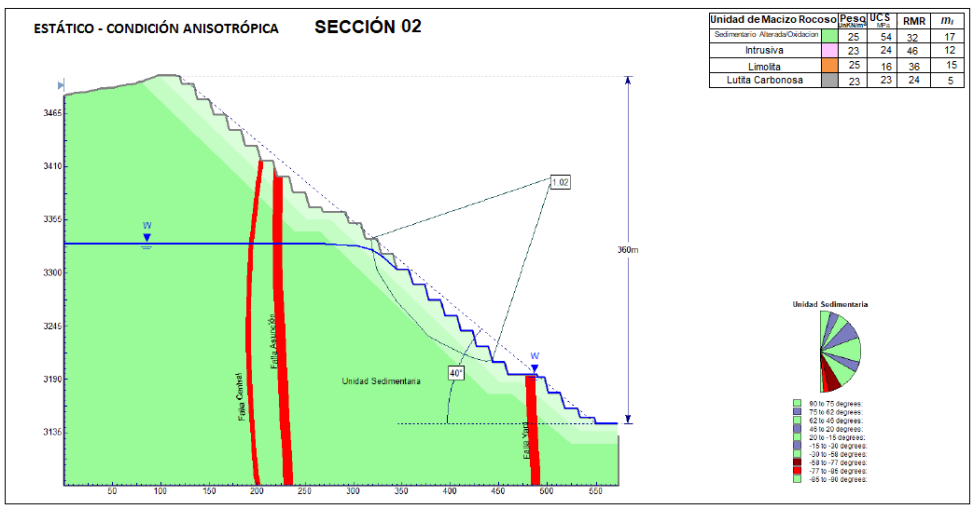
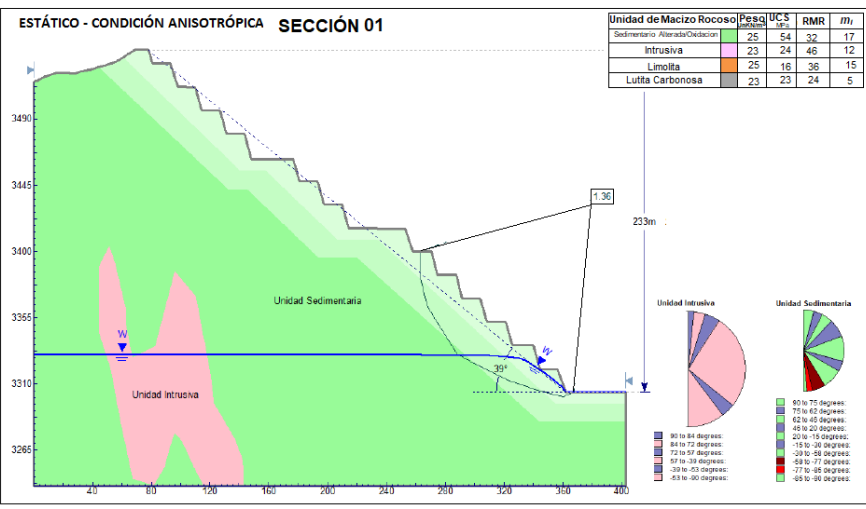
## ANEXO N°11

### RESULTADOS DEL ANALISIS DE ESTABILIDAD DE LA FASE 6-7 DEL OPENT PIT CALAORCO



Fuente: Golder,2016

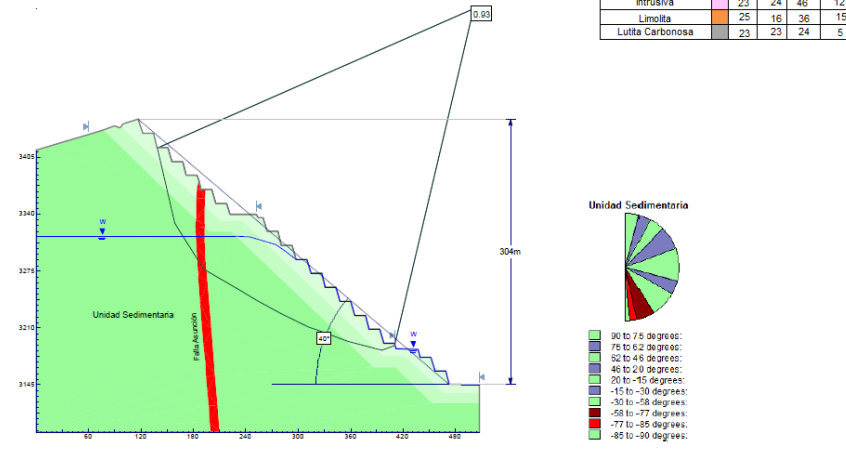




	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL "DANIEL ALCIDES CARRIÓN"</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
	Tesisista:	Bach. J. Gomez C
	Escala:	Grafica
	Datum:	WGS-84
Fecha:	Dic. 2019	<b>ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD</b> <b>GLOBAL DEL OPEN PIT CALAORCO -</b> <b>FASE 6-7</b> <b>SECCIÓN 01 Y SECCIÓN 02</b>

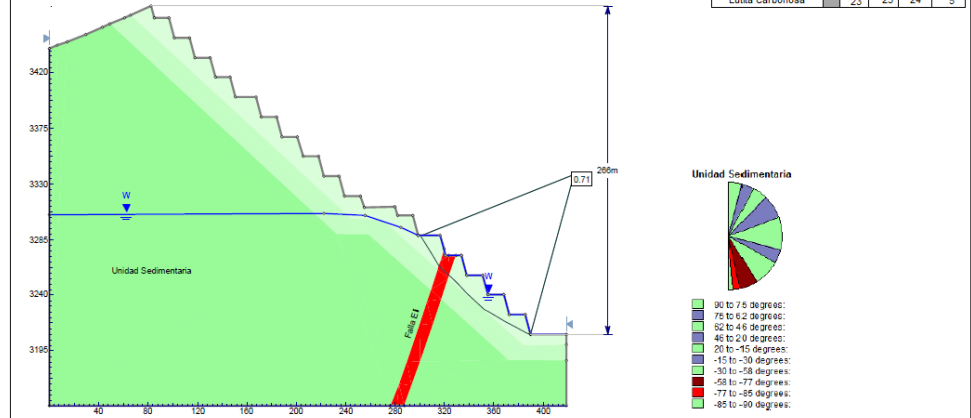
ESTÁTICO - CONDICIÓN ANISOTRÓPICA SECCIÓN 03

Unidad de Macizo Rocoso	Peso	UCS	RMR	$m_i$
Sedimentario Alterada/Oxidacion	25	54	32	17
Intrusiva	23	24	46	12
Limolita	25	16	36	15
Lutita Carbonosa	23	23	24	5

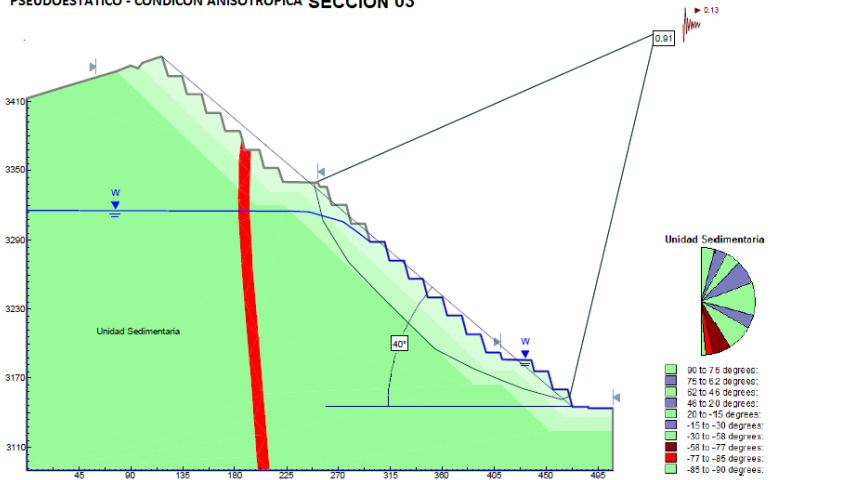


ESTÁTICO - CONDICIÓN ANISOTRÓPICA SECCIÓN 04

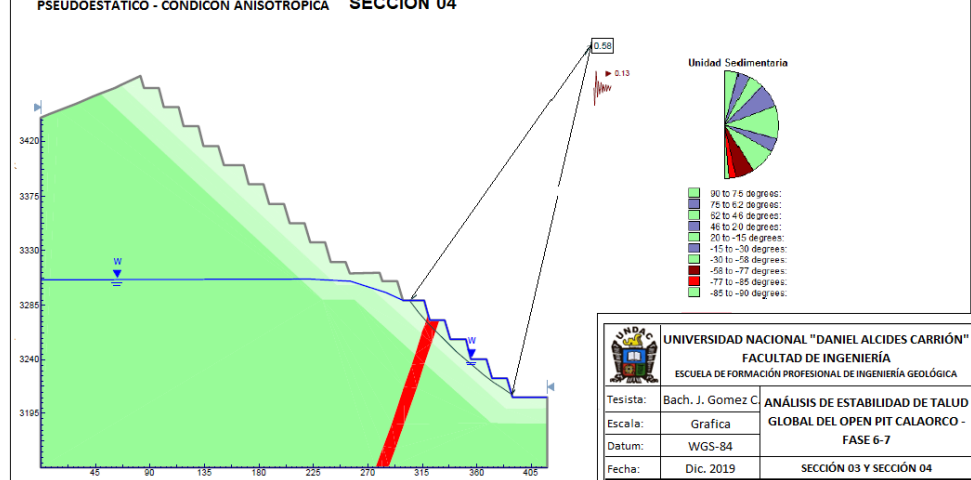
Unidad de Macizo Rocoso	Peso	UCS	RMR	$m_i$
Sedimentario Alterada/Oxidacion	25	54	32	17
Intrusiva	23	24	46	12
Limolita	25	16	36	15
Lutita Carbonosa	23	23	24	5




PSEUDOESTÁTICO - CONDICIÓN ANISOTRÓPICA SECCIÓN 03



PSEUDOESTÁTICO - CONDICIÓN ANISOTRÓPICA SECCIÓN 04

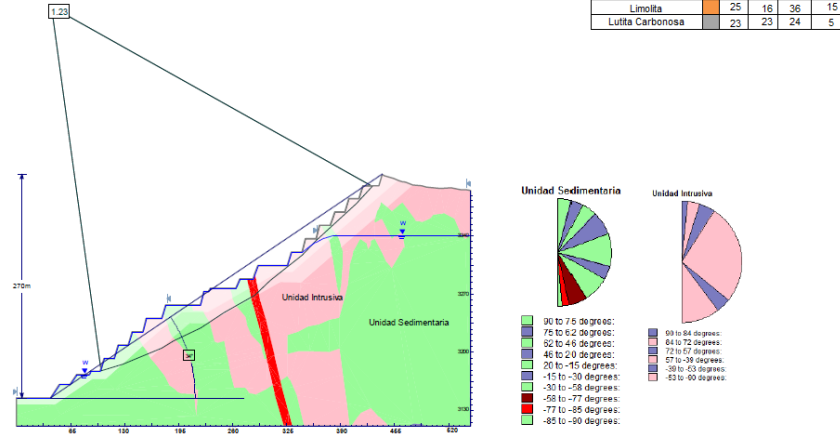



**UNIVERSIDAD NACIONAL "DANIEL ALCIDES CARRIÓN"**  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

Tesisista:	Bach. J. Gomez C	<b>ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD</b>
Escala:	Grafica	<b>GLOBAL DEL OPEN PIT CALAORCO -</b>
Datum:	WGS-84	<b>FASE 6-7</b>
Fecha:	Dic. 2019	<b>SECCIÓN 03 Y SECCIÓN 04</b>

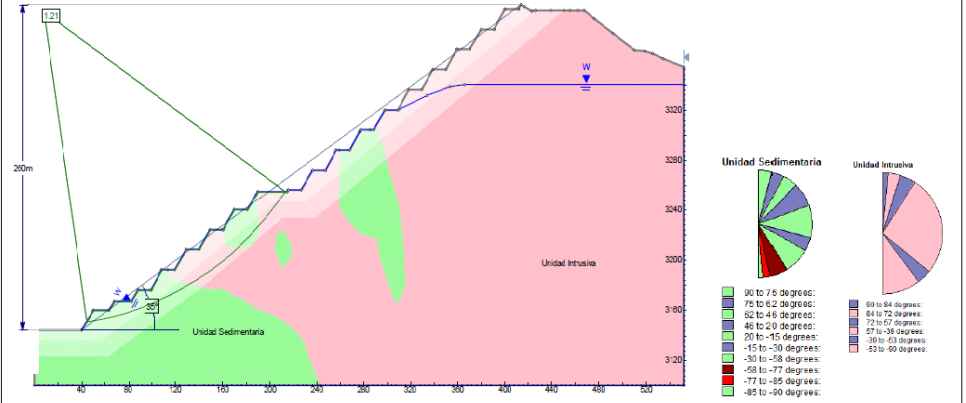
ESTÁTICO - CONDICIÓN ANISOTRÓPICA SECCIÓN 05

Unidad de Macizo Rocoso	Peso %	UCS (kg/cm <sup>2</sup> )	RMR	m <sub>i</sub>
Sedimentario Alterado/Oxidado	25	54	32	17
Intrusiva	23	24	46	12
Limolita	25	16	36	15
Lutita Carbonosa	23	23	24	5

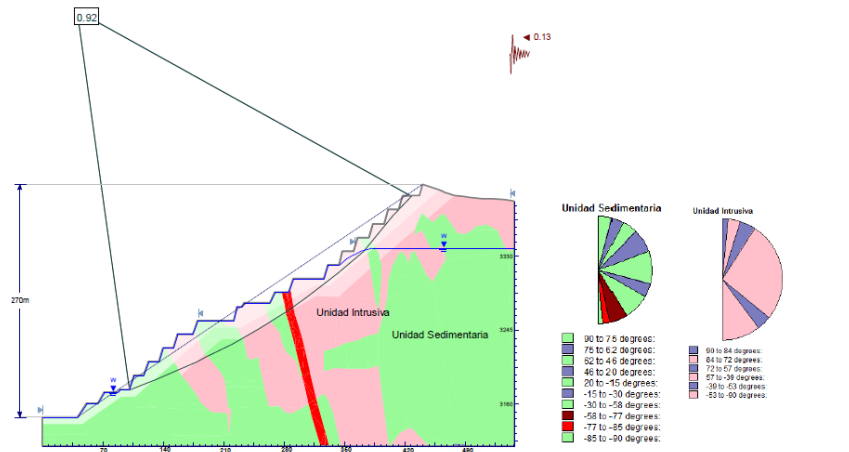


ESTÁTICO - CONDICIÓN ANISOTRÓPICA SECCIÓN 06

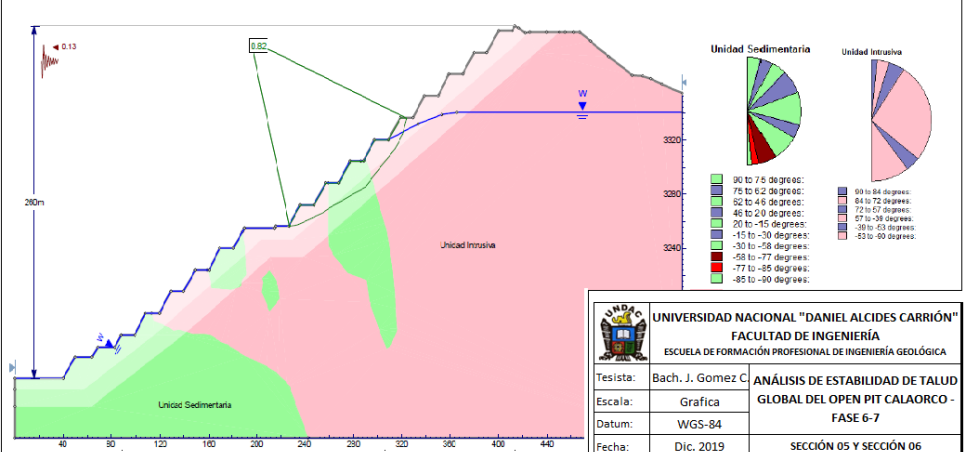
Unidad de Macizo Rocoso	Peso %	UCS (kg/cm <sup>2</sup> )	RMR	m <sub>i</sub>
Sedimentario Alterado/Oxidado	25	54	32	17
Intrusiva	23	24	46	12
Limolita	25	16	36	15
Lutita Carbonosa	23	23	24	5



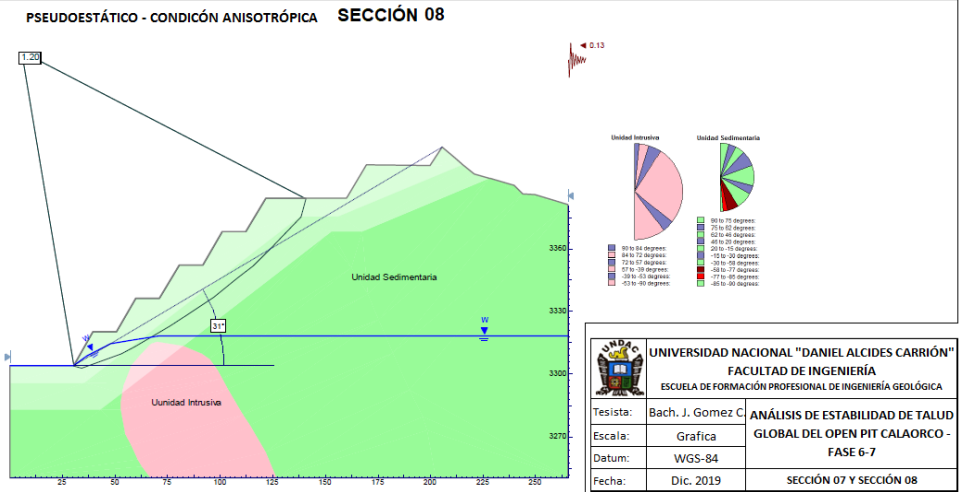
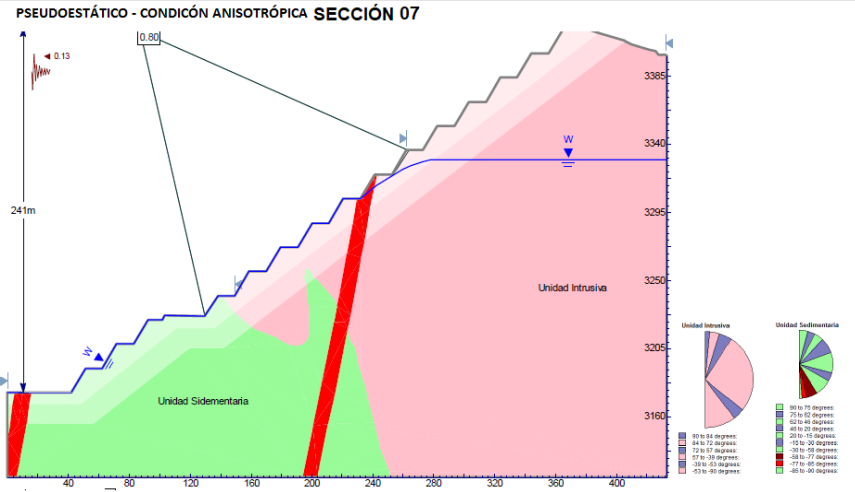
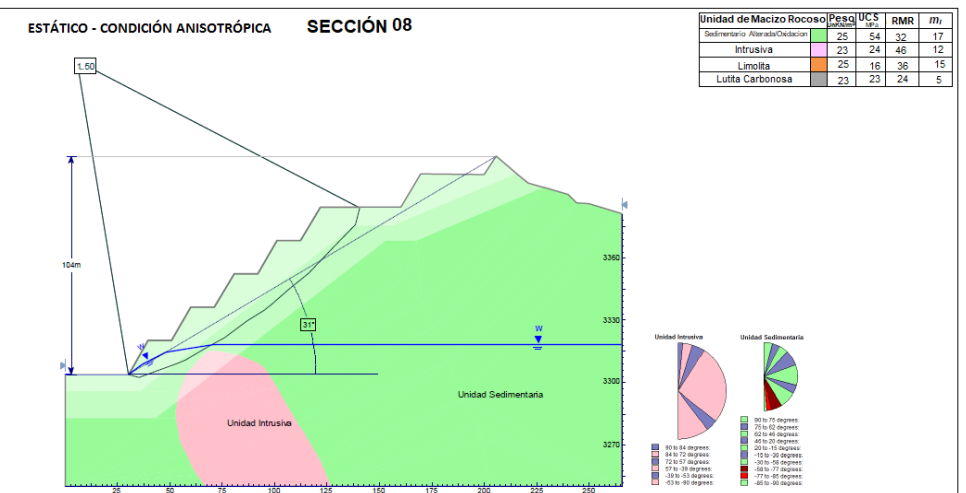
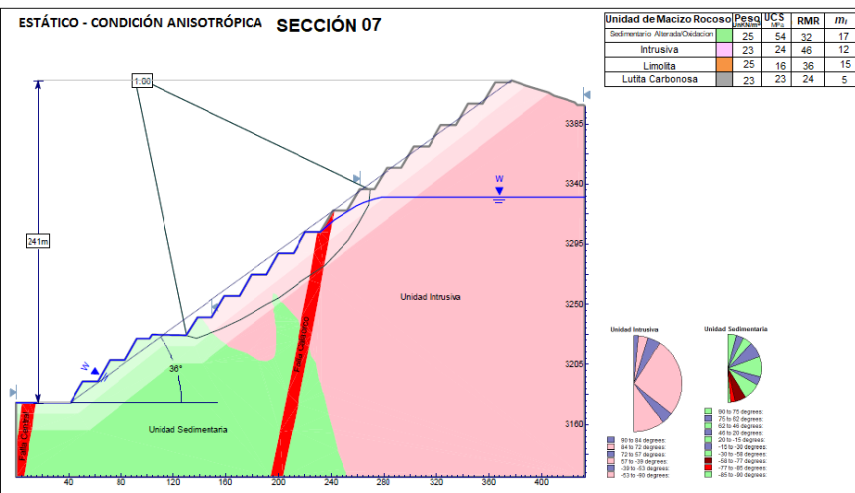
PSEUDOESTÁTICO - CONDICIÓN ANISOTRÓPICA SECCIÓN 05



PSEUDOESTÁTICO - CONDICIÓN ANISOTRÓPICA SECCIÓN 06



	UNIVERSIDAD NACIONAL "DANIEL ALCIDES CARRIÓN"	
	FACULTAD DE INGENIERÍA	
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
Tesisista:	Bach. J. Gomez C	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD GLOBAL DEL OPEN PIT CALAORCO - FASE 6-7
Escala:	Gráfica	
Datum:	WGS-84	
Fecha:	Dic. 2019	SECCIÓN 05 Y SECCIÓN 06



	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL "DANIEL ALCIDES CARRIÓN"</b> FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
	Tesista: Bach. J. Gomez C.	<b>ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD</b> GLOBAL DEL OPEN PIT CALAORCO - FASE 6-7
Escala: Grafica		
Datum: WGS-84		
Fecha: Dic. 2019	SECCIÓN 07 Y SECCIÓN 08	