



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

**Estudio geotécnico y diseño del talud final de una mina a
cielo abierto aplicando modelos numéricos**

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas

AUTOR

Ernesto Sabino LOPEZ POMAREDA

ASESOR

Néstor David CÓRDOVA ROJAS

Lima, Perú

2016



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

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

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

Referencia bibliográfica

Lopez, E. (2016). *Estudio geotécnico y diseño del talud final de una mina a cielo abierto aplicando modelos numéricos*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
 (Universidad del Perú - Decana de América)
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS
 Av. Colonial cdra. 53 - Ciudad Universitaria
 Central Telefónica: 619-7000 anexos: 1110 - 1111
 Lima 1 - Perú

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS

En las instalaciones de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, el Viernes 04 de marzo del 2016, siendo las 10:00 am., en presencia de los Señores Docentes designados como Miembros del Jurado.

Mag. ALFONSO ALBERTO ROMERO BAYLÓN, Mba.	Miembro Presidente
Mag. ENRIQUE GUADALUPE GÓMEZ	Miembro
Ing. SIMEÓN MÁXIMO YARINGAÑO YARINGAÑO	Miembro

Reunidos para el Acto Académico Público de la Sustentación de la TESIS de Don ERNESTO SABINO LOPEZ POMAREDA, Bachiller en Ingeniería de Minas, quien sustentó la Tesis Titulada: "ESTUDIO GEOTÉCNICO Y DISEÑO DEL TALUD FINAL DE UNA MINA A CIELO ABIERTO APLICANDO MODELOS NUMÉRICOS", para la obtención del Título Profesional de Ingeniero de Minas.

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

Satisfacción

El Jurado procedió a la calificación, cuyo resultado fue la nota de:

Dieciocho (18)

Habiendo sido aprobada la Sustentación de la Tesis por el Jurado Calificador, el Miembro Presidente del Jurado, recomienda que la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, otorgue el TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS, a Don ERNESTO SABINO LOPEZ POMAREDA.

Siendo las 13:00 horas, se dio por concluido el acto académico, expidiéndose cinco (05) Actas Originales de la Sustentación de Tesis.

Ciudad Universitaria, 04 de marzo del 2016

[Signature]
 Mag. ALFONSO ALBERTO ROMERO BAYLÓN, Mba.
 MIEMBRO PRESIDENTE

[Signature]
 Mag. ENRIQUE GUADALUPE GÓMEZ
 MIEMBRO

[Signature]
 Ing. SIMEÓN MÁXIMO YARINGAÑO YARINGAÑO

[Signature]
 Dr. ESTANISLAO DE LA CRUZ CARRASCO
 DIRECTOR (e)
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

**ESTUDIO GEOTÉCNICO Y DISEÑO
DEL TALUD FINAL DE UNA MINA A CIELO ABIERTO
APLICANDO MODELOS NUMÉRICOS.**

(Unidad de explotación: Corrière de Caolín de Berrien – Bretagna)

	Pg.
Agradecimientos.	01
Resumen	02
Introducción.	03

INDICE

Capítulo I	Aspectos Generales de la Investigación	04
1.1	Antecedentes de Investigación.	04
1.2	Planteamiento del Problema.	07
1.3	Objetivos.	07
	1.3.1 Objetivos Generales.	07
	1.3.2 Objetivos Específicos.	07
1.4	Justificación.	08
1.5	Marco Teórico.	08
	1.5.1 Modelización Numérica de Macizos Rocosos.	08
	Modelos en Mecánica de Rocas.	08
	1.5.2 Principales Funciones de la Modelización.	08
	Función Descriptiva.	09
	Función Explicativa.	09
	Función Preventiva.	09
	Función Operativa.	10

1.5.3	Modelización Numérica.	10
	Modelos Continuos y Discontinuos.	11
	Modelos Continuos.	11
	Modelos Discontinuos.	12
1.5.4	Método de Elementos Finitos.	13
1.5.5	Método de Diferencias Finitas.	14
1.5.6	Método de Elementos de Frontera.	15
1.5.7	Método de Integrales de Frontera.	16
1.5.8	Método de Discontinuidad de Desplazamiento.	16
1.5.9	Método o Modelo de Bloques.	18
	Bloques Rígidos.	18
	Bloques Deformables.	19
1.6	Formulación de Hipótesis	19
1.7	Variables	19
1.8	Alcances	20
1.9	Limitaciones	20
1.10	Metodología de Investigación	20
	1.10.1 Técnicas de Investigación	20
	1.10.2 Nivel de Investigación	21
Capítulo II	Generalidades	22
2.1	Ubicación	22
2.2	Geografía	24
2.3	Geología	25
	2.3.1 Geología Estructural	25
	2.3.2 Geología del Yacimiento	26
2.4	Datos Hidrogeológicos	28

Capítulo III	Características Geomecánicas del Macizo Rocoso	32
3.1	Aspectos Litológicos	32
3.2	Características de las Discontinuidades	33
3.2.1	Análisis Estadístico de las familias de Discontinuidades	33
3.2.2	Análisis Estructural	37
3.3	Zonificación Geomecánica	39
3.4	Calidad de la Masa Rocosa	40
3.5	Propiedades físicas y mecánicas de la roca	43
3.5.1	Propiedades de la roca intacta	43
3.5.1.1	Propiedades Físicas	43
3.5.1.2	Propiedades de Resistencia	47
3.5.2	Comportamiento Mecánico de las Discontinuidades	69
3.5.3	Propiedades de las Discontinuidades	74
3.5.3.1	Ensayos de Cizallamiento	74
3.5.4	Propiedades de la Masa Rocosa	91
3.5.4.1	Criterio de Rotura	92
3.6	Condiciones de Agua Subterránea	94
3.7	Condiciones Sísmicas	95
Capítulo IV	Cálculo de Estabilidad de Taludes por Modelos Geomecánicos	98
4.1	Análisis Cinemático	98
4.2	Determinación del Talud Inter-rampas	105
4.3	Tipos de Rotura	108
4.3.1	Rotura Circular	108
4.3.1.1	Método de Cálculo de la Rotura Circular	110
4.3.1.2	Método de Dovelas	111

4.3.2	Rotura Plana	113
4.3.3	Rotura en Cuña	116
4.3.4	Rotura por Vuelco	118
4.4	Estabilidad de Pendientes	118
4.5	Coefficiente de Seguridad	121
4.6	Método de Equilibrio Límite	123
4.6.1	Determinación del Factor de Seguridad para el Talud	124
Capítulo V		
Análisis e Interpretación de Resultados del Estudio de la Estabilidad del Talud por el Modelo de Elementos Finitos		130
5.1	Presentación del Método	130
5.2	Esquematación Geométrica del Modelo	132
5.3	Condiciones a los Límites	133
5.4	Resultado de la Simulación	134
5.4.1	Calculo en Elasticidad Linear	134
5.4.2	Calculo en Plasticidad	141
5.4.3	Determinación del Factor de Seguridad	143
Conclusiones		144
Recomendaciones		145
Anexos		146
Bibliografía		213
Apéndice		215

Agradecimientos.

Expreso mi gratitud al profesor PhD. Jacques Fine y mi agradecimiento a los miembros y catedráticos del Centro de Geotecnia y de la Explotación del Sub-suelo de la Escuela de Minas de Paris - Francia, especialmente al personal del Laboratorio de Mecánica de Suelos y Rocas, en el cual realice los diferentes ensayos de laboratorio para la realización del presente trabajo.

Expreso, mi gratitud especial al Ingeniero MSc. David Córdova Rojas, profesor de la cátedra de mecánica de rocas y asesor de la presente tesis, por sus valiosos consejos y recomendaciones, para la culminación y presentación de la presente memoria.

Así mismo, agradezco a mis padres: Sabino Víctor López Meléndez y María Griselda Pomareda Roca, quienes me apoyaron en mi formación profesional, así mismo a mi esposa e hijos que siempre me alentaron y motivaron en la culminación de este trabajo.

No puedo olvidar el agradecer a dios, por intermedio de San Judas Tadeo que guía mis pasos.

Resumen

En la actualidad, el territorio está siendo explorado intensamente, las compañías mineras al ubicar un yacimiento cuyo potencial será cuantificado, deberán evaluarlo para su aprovechamiento económico, utilizando los métodos modernos que ello requiere. Dentro de lo cual, la estabilidad de taludes constituye tal vez, el problema principal en la concepción y diseño de minas a cielo abierto, tanto desde el punto de vista económico como de seguridad. Precisamente, el presente estudio trata sobre las condiciones de estabilidad del talud de una mina de caolín a cielo abierto, donde el diseño del talud final de la mina, será efectuado teniendo en cuenta los parámetros geomecánicos, hidrogeológicos y estructurales. Así como los parámetros tenso – deformacionales del macizo rocoso.

Summary

At present, the territory is being explored intensely; the mining companies that find a mineral deposit whose potential will be quantified must evaluate their economic advantage, using modern methods that this requires. In which, slope stability is perhaps the main problem in the conception and design of opencast mines, both economically and security. Indeed, this study discusses the slope stability conditions in of kaolin mine open pit, where the design of the final slope of the mine will be made taking into account the geotechnical, hydrogeological and geology structural parameters. As the parameters tense - deformational of the rock mass.

Introducción.

Este trabajo ha sido realizado en la mina a cielo abierto de caolín de Berrien, situado en Huelgoat en la región de Bretagna.

El objetivo de este estudio fue el analizar la estabilidad del talud final Este del tajo, para una pendiente superior a 45 grados.

Se realizó el mapeo geomecánico, para determinar las características de las familias de discontinuidades presentes en el tajo, la toma de muestras y los ensayos de laboratorio para determinar las características geotécnicas de la roca intacta (resistencia a la compresión, ángulo de fricción, cohesión, módulo de Young, etc.).

Se determinó las propiedades de resistencia de la masa rocosa, utilizando el software roclab y aplicando el criterio de rotura de Hoek and Brown.

Así mismo se realizó, un análisis de estabilidad cinemática y por equilibrio limite utilizando el software Slide con la información geotécnica de los dominios estructurales definidos en la zona de estudio.

Se determinó por el método de elementos finitos, utilizando el software Phases, que un talud de 60°, presenta factores de seguridad estables tanto para el análisis en elasticidad como en plasticidad.

Se recomienda después de estos estudios diseñar un talud estable con una pendiente de 60 grados, con un factor de seguridad estático de 1.58 y un factor de seguridad pseudo-estático de 1.26,

La configuración del tajo propuesta contempla, que este debe estar constituido únicamente por cuarcita y esquisto, con la recuperación de todo el caolín existente en la mina, Para lo cual se tendría que determinar la relación beneficio/costo, por el incremento del radio de desbroce y con el estudio económico de pre-factibilidad y/o factibilidad, estimar en estas condiciones técnicas la viabilidad del proyecto.

CAPITULO I

I.- ASPECTOS GENERALES DE LA INVESTIGACION.

1.1 Antecedentes de Investigación.

La utilización de los modelos numéricos en mecánica de rocas se ha hecho cada vez más importante sobre todo como consecuencia del desarrollo rápido y continuo de la informática. Históricamente, el desarrollo de los métodos de modelización ha evolucionado partiendo de materiales de referencia simple y posible de caracterizar, y apoyándose en conceptos e hipótesis de base igual simples: roca homogénea, continua, isotrópica, con comportamiento linealmente elástico, etc.

Esta fase inicial mantuvo algunas de las limitaciones de los cálculos analíticos y estos procedimientos hacían una simplificación excesiva de la realidad con el fin de hacer posibles los cálculos.

En la actualidad, gracias a la introducción de nuevos métodos de cálculos, ciertas complejidades estructurales de los problemas de mecánica de rocas son consideradas. Luego, la modelización numérica toma en cuenta, cada vez más fielmente, las características reales de los macizos rocosos. Haciendo de esta un útil muy importante de cálculo. En el presente estudio, se ha tomado como referencia base los conceptos vertidos en las siguientes bibliografías:

“Algunas metodologías vienen siendo empleadas para la evaluación de la estabilidad y el comportamiento de taludes, como por ejemplo métodos de clasificación de macizos rocosos, método de equilibrio límite, métodos numéricos, análisis probabilísticos e instrumentación geotécnica (monitoreos). De todas estas categorías existe una significativa cantidad de trabajos que abordan la estabilidad a partir de métodos de equilibrio limite a pesar de que los factores de seguridad son sensibles a pequeños cambios de los parámetros de resistencia y de que este tipo de metodología no llevan en cuenta el estado de tensiones iniciales, ni el mecanismo de rotura y ni la variación de tensiones a lo largo de la superficie potencial de rotura.

Bajo estas limitaciones, la modelización numérica surge como una alternativa para el análisis de la estabilidad del talud, sobre todo considerando los avances tecnológicos ocurridos en la última década. La aplicación de esta técnica en obras civiles y de minería presenta varias ventajas, dentro de las cuales se pueden destacar: (i) previsión

de los mecanismos de rotura, (ii) obtención de las tensiones y deformaciones en diferentes puntos a lo largo del talud, (iii) análisis de la estabilidad en función de diferentes modelos constitutivos, (iv) realización de estudios paramétricos de las propiedades elásticas y de resistencia de la roca''. *Anna Laura L. S. Nunes, 2000.*

''El análisis de estructuras masivas (es decir, aquellas que no pueden ser modeladas por medio de barras, tales como las armaduras, los pórticos y los aceros) se ha enfocado tradicionalmente desde la perspectiva de la teoría de la elasticidad, la cual busca resolver el problema a partir de la integración de las ecuaciones diferenciales que gobiernan la cinemática de un sólido elástico. Este tratamiento es posible solo en casos de cuerpos simples. Para estructuras complejas se hace necesario apelar a métodos numéricos. Los cuales tuvieron su apogeo a partir de la invención de las computadoras digitales. Aunque ya en los inicios del siglo XX se había desarrollado ampliamente el método de diferencias finitas, fue a partir de la mitad del siglo que comenzó el desarrollo de una alternativa que, para muchos problemas, resulta más eficiente, cual es el método de los elementos finitos. Posteriormente se desarrollaron otras técnicas, tales como el método de elementos de contorno y los métodos sin malla. Sin embargo, en la práctica usual, el método de elementos finitos se ha impuesto para la mayoría de los casos prácticos. A partir de su consolidación en el área de mecánica de sólidos, el método se extendió a otras áreas de la física, tales como la mecánica de fluidos, la transferencia de masa y calor, el electromagnetismo, etc.'' *Jorge Eduardo Hurtado Gómez, Agosto 2000.*

''En el análisis de macizos rocosos, los cuales presentan sistemas de fracturamiento, se puede decir que están formados por bloques de roca delimitados por un sistema tridimensional de planos de discontinuidad. Se entiende por discontinuidad a todas aquellas estructuras (fallas, fracturas, diaclasas, estratificaciones, foliaciones, etc.) que forman dichos planos, los que comúnmente se conoce como fábrica estructural del macizo rocoso. Normalmente este tipo de discontinuidades son producto del tectonismo a la que fue sujeta la roca en un estado inicial de esfuerzos. Dependiendo de la orientación de estos se tiene un patrón de fracturamiento que delimitara los bloques en cuestión. Analizar la estabilidad de un talud realizado en macizos rocosos fracturados, es parte de dos procesos. El primero es analizar la fábrica estructural

del corte realizado para determinar si la orientación de las discontinuidades podría resultar en inestabilidad del talud bajo consideración. Esta determinación es realizada por medio de análisis estereográfico de la fábrica estructural que se denomina Análisis Cinemático (Piteau y Peckover, 1978). Ya que ha sido determinada la cinemática en la cual se tiene posibilidad de falla del talud, el segundo paso requiere un análisis de estabilidad por Equilibrio Limite para comparar las fuerzas resistentes a la falla contra las fuerzas causantes de la falla del talud. El rango entre estos dos sistemas de fuerzas se denomina como Factor de Seguridad FS.’’ *Juan Miguel Armas Sagoya. Enero 2004*

‘‘El presente trabajo corresponde a la memoria para optar el título de ingeniero de civil de minas de la universidad de Chile y corresponde a una caracterización geotécnica y determinación de ángulos de talud para la mina Franke, ubicada en el distrito de Altamira, en el límite sur de la región de Antofagasta, 52 km al noreste de El Salvador. Se realiza una revisión de los métodos de clasificación geotécnica y la consiguiente selección del método a utilizar, GSI. Con el método de caracterización se realiza, de acuerdo también con la orientación de las estructuras, una zonificación de dominios geotécnicos en la mina, la cual queda establecida por la distribución del GSI. A partir de la clasificación se determinan los parámetros importantes para realizar los distintos análisis en 14 perfiles distribuidos dentro de la superficie de la mina: contención, determinístico, probabilístico, y rotacional. Se hacen luego, con ayuda de software específico, simulaciones de acuerdo a cada perfil para el modo de falla determinado, para analizar la posibilidad de un incremento del ángulo de talud entregado por la ingeniería de perfiles anteriormente desarrollada’’. *Mario Orlando Morales Cárdenas. Mayo 2009.*

El proyecto minero Angostura, localizado en la provincia de Santander, Colombia, se encuentra actualmente en la etapa de factibilidad. Como parte de esta etapa de ingeniería, se ha elaborado un diseño para el rajo del proyecto. El objetivo de este trabajo es determinar la viabilidad del diseño propuesto a través de un análisis de estabilidad a distintas escalas (escala de banco, inter-rampa y global), considerando distintas metodologías para cada nivel. A escala de bancos e inter-rampa se realizaron análisis de estabilidad cinemáticos, mientras que a escala global se realizó un análisis de equilibrio límite. *Diego Alberto Salas Palma. Abril 2011*

1.2 Planteamiento del Problema.

La estabilidad de taludes constituye, el problema principal en la concepción y diseño de minas a cielo abierto, tanto desde el punto de vista económico como de seguridad. Durante los últimos años, se han desarrollado nuevas técnicas o modelos de cálculo numéricos. El desarrollo de estos modelos, ha permitido que la modelización numérica se haya convertido en una herramienta de cálculo muy aplicada. Dada su fundamentada base teórica y la permanente confrontación de los resultados con la realidad, se viene utilizando con excelentes resultados en las empresas mineras. En el Perú, la utilización de esta nueva técnica fue restringida y/o limitada, debido a que en sus comienzos se utilizaba complicados métodos de cálculo. Desde este punto de vista, este trabajo de investigación podrá servir como un marco de referencia para el diseño de otras minas con problemas similares. Los estudios en el diseño de taludes se vienen realizando, aplicando los conceptos de cinemática y de equilibrio límite como métodos de cálculo, en este contexto se hizo necesario el siguiente planteamiento:

¿Qué ángulo tendrá el talud final de una mina aplicando modelos numéricos?

1.3 Objetivos.

1.3.1 Objetivos Generales.

Diseñar y analizar la estabilidad del talud final Este, de la mina de caolín a cielo abierto de Berrien.

Proponer el ángulo estable del talud final Este de la mina, a partir de la realización de la caracterización geotécnica y de la metodología propuesta, utilizando la modelización numérica.

1.3.2 Objetivos Específicos.

Definir las calidades geomecánicas del macizo rocoso, basado en la valoración del macizo rocoso, RMR (Rock mass ratio) e índice de resistencia geológica, GSI (Geological strength index).

Identificar y analizar, los tipos de falla estructural de la sección propuesta, para realizar un análisis de estabilidad del ángulo de talud determinado.

Proponer el ángulo de bancos e inter rampas del talud Este de la mina.

1.4 Justificación.

Este estudio tiene una justificación técnico – económica y de seguridad.

Técnico, porque proporciona una nueva herramienta de cálculo, aplicando los modelos numéricos para el diseño de la estabilidad de taludes.

Económico, porque el diseñar en la mina un talud de mayor pendiente, permitirá una mayor extracción de mineral con un menor costo.

Seguridad, porque el determinar taludes estables minimiza o elimina la generación de eventos no deseados (deslizamientos) que pueden ocasionar accidentes a las personas y equipos.

1.5 Marco teórico.

1.5.1 Modelización Numérica de Macizos Rocosos.

Modelos en Mecánica de Rocas.

El término modelo tiene dos empleos diferentes:

El primero se aplica a la representación esquematizada del comportamiento intrínseco de los materiales rocosos a escala microscópica de la muestra. En este caso la modelización se expresa por una ley de comportamiento, que toma la forma de una relación matemática entre, los esfuerzos, las deformaciones y sus derivadas en función del tiempo o entre los esfuerzos principales o entre las fuerzas aplicadas y los desplazamientos de una discontinuidad.

El segundo se aplica al estudio de los macizos rocosos a la escala de los trabajos efectuados o a escalas geológicas mayores. Este es el sentido del término que se utilizará en el presente trabajo. Estos modelos deben incorporar, para ser representativos o constituirse como modelo de cálculo, las formulaciones y ecuaciones relativas al comportamiento intrínseco de la roca y de sus discontinuidades.

1.5.2 Principales Funciones de la Modelización.

Como todas las disciplinas científicas en las cuales la realidad es solo parcialmente perceptible a los sentidos, la mecánica de rocas aplicada a los trabajos de excavaciones y construcción considera los medios que ella estudia a través de una representación abstracta de los fenómenos, de los mecanismos, de los medios mismos y de su contorno, el recurso de la modelización es entonces una necesidad. La modelización cumple las siguientes funciones:

Función Descriptiva.

Los modelos son necesarios para contrarrestar la imposibilidad de acceder a la realidad de la cual tratan de ser un reflejo, lo más fiel posible. Los métodos físicos o figurativos representan al macizo por medio de una maqueta a escala reducida. La representación puede limitarse a veces a un croquis, un plano o un esquema en el cual varios elementos son extrapolados a partir de observaciones parciales. El ejemplo de estos métodos fue muy popular entre los años 50 e inicios de los 80. Algunos de estos modelos comprendían la utilización de materiales equivalentes de resistencia suficientemente baja para poder ser tratados en laboratorio. Su empleo declino en años recientes a consecuencia de su alto costo y de la complejidad de su preparación especialmente en el caso de la representación de variaciones en la propiedad de la roca y las condiciones de carga del macizo. Otro factor lo constituyo la creciente capacidad de los métodos numéricos computarizados de incluir las características del medio rocoso (heterogeneidad, discontinuidades, etc.) y mostrarlas gráficamente.

Función Explicativa.

Los modelos tienen la función de brindar una comprensión de los fenómenos. El modelo no debe ser solamente un reflejo de la realidad si no que él debe aclarar con precisión los procesos o los mecanismos que conducen a los terrenos a diversos estados. Los modelos mecanistas (método de esfuerzo-deformación), que hacen uso de conceptos y cálculos de la mecánica racional (equilibrio límite) o de la mecánica de medios continuos (fuerza, momento, deformaciones, equilibrio, ruptura, etc.), están bien adoptados a esta función explicativa. Gracias a los métodos numéricos pueden ser tratados casos cuya geometría es compleja, para lo cual es necesario contar con información sobre las propiedades y las leyes de comportamiento del macizo rocoso y de las discontinuidades. El desarrollo de las modelizaciones ha sido posible gracias a las formulaciones de la mecánica de los medios continuos (elementos finitos o elementos de frontera).

Función Preventiva.

La prevención de riesgo de falla en la ejecución de una obra, puede ser planteada en el tiempo o espacio, es decir estimar la evolución de una obra determinada.

La prevención (a priori), en ausencia de toda experiencia previa, se trata de una prevención por extrapolación: como prever la evolución de una obra conociendo su comportamiento en los primeros instantes, o como evaluar la situación en la cual se va a encontrar una obra a partir de la experiencia adquirida en sus alrededor o en condiciones similares. Estos casos pueden ser tratados con técnicas estadísticas, que permiten establecer las leyes empíricas que correlacionan ciertos parámetros que caracterizan los comportamientos y los factores que los influyen.

Los modelos mecanistas, son utilizados para esta función, siendo indispensable que los valores de los parámetros introducidos en los modelos hayan sido validados por una comparación entre los resultados experimentales establecidos en una zona correctamente instrumentada y que permite una analogía con el caso estudiado. Esta validación y justificación entre las mediciones in situ y los resultados obtenidos a través de los cálculos numéricos es necesaria e importante para evaluar las ventajas y las limitaciones de cada modelo.

Función Operativa.

Esta función permite tomar el modelo como una fuente de inspiración para guiar las acciones en los trabajos de ingeniería. Esta permite distinguir sistemáticamente la acción por la planificación y la acción por la adaptación.

La acción por la planificación, permite en las explotaciones mineras tener una guía a escala suficiente de las situaciones de influencia y de las configuraciones de explotación favorables o desfavorables.

La acción por la adaptación, el aporte de la modelización con respecto a este punto, es por ejemplo el de la optimización de la elección de los elementos de sostenimiento de una obra subterránea o el disminuir la pendiente del talud en una zona inestable.

1.5.3 Modelización Numérica.

El estudio de los problemas de estabilidad alrededor de las excavaciones está basado sobre la resolución de las ecuaciones de equilibrio.

Esta resolución tiene en cuenta:

- la forma de la obra o excavación
- la ley de comportamiento del material
- las condiciones a los límites del modelo.

Para las obras de formas geométricas simples (circulares, elípticas, rectangulares), los métodos analíticos de resolución son aceptables. En este caso se establecen las leyes de comportamiento elástico y elasto-plástico que describen la variación de los esfuerzos y de las deformaciones en el modelo.

Por el contrario, en las obras de forma compleja, excavaciones en un material donde las propiedades físicas y mecánicas varían en el espacio, se debe tener el recurso de los métodos numéricos, ya que no es posible extrapolar las reglas adquiridas por la experiencia o por cálculos analíticos.

Se tiene dos modelos numéricos de simulación:

- Modelos continuos, que consideran al macizo rocoso como un medio continuo cruzado por discontinuidades.
- Modelos discontinuos, que considera al macizo rocoso como un conjunto de bloques individuales.

Modelos Continuos y Discontinuos.

Modelos Continuos.

Estos son modelos matemáticos que resuelven un tipo de problema en el cual el comportamiento del macizo rocoso puede ser modelizado por medio de ecuaciones diferenciales de la mecánica de los medios continuos.

En esta categoría se engloban la mayoría de los modelos numéricos geomecánicos; Con ellos es posible también analizar los terrenos que presentan discontinuidades, como fallas, planos de estratificación o juntas. Los métodos continuos se subdividen en dos categorías, según la estrategia de resolución de las ecuaciones:

- Métodos diferenciales
- Métodos integrales

Los primeros métodos, se caracterizan por extensión de las ecuaciones diferenciales a toda la región de interés, mientras que los métodos integrales, utilizan las soluciones de la mecánica de los medios continuos, elaboran una solución del problema global aproximando las ecuaciones diferenciales solamente sobre los contornos (fronteras) de la región de interés.

a) Modelos diferenciales:

- Elementos finitos
- Diferencias finitas

- b) Modelos integrales:
 - Elementos de frontera
 - Integrales de frontera
 - Discontinuidades de desplazamiento.

Modelos Discontinuos.

Estos son particularmente utilizados para estudiar los casos donde la deformación del terreno tiene por origen la consecuencia del movimiento de los bloques de roca. Estos están delimitados por las discontinuidades en un campo tensional de baja intensidad, como cuando se trata el análisis del flujo de mineral de una explotación por caída o descenso de mineral. En los primeros modelos discontinuos, las deformaciones estaban encuadradas a la superficie de los bloques, pero actualmente se puede considerar los bloques como deformables y con posibilidad de rotura.

El macizo rocoso esta generalmente atravesado por discontinuidades que tienen una gran influencia en su comportamiento mecánico, hidráulico, etc. Este modelo da una importancia particular a las fracturas, que están definidas por su orientación, el espaciamiento, las aberturas y la deformabilidad, tanto por sus efectos de deformación como su cinemática en el macizo rocoso. Estos modelos se dividen en:

a) Modelo cinemático

Que evalúa la posibilidad de movimiento de los bloques con relación a una o más fracturas. Ejemplo: teoría de block caving.

b) Modelo de elementos distintos

Considera los macizos rocosos como un conjunto de elementos que interactúan mecánicamente entre sí.

En los modelos discontinuos la ecuación de equilibrio corresponde a la ecuación del movimiento de una unidad simple, ligada a fuerzas por sus vecinos inmediatos. Las ecuaciones definen la aceleración de las partículas en cada instante y en consecuencia, la velocidad y el desplazamiento total.

En las ecuaciones constitutivas que permiten el cálculo de las fuerzas correspondientes a la condición de desplazamiento, se utiliza los desplazamientos relativos a las partículas. El problema mayor consiste en definir la relación fuerza-desplazamiento entre partículas, para las cuales se debe asumir ciertas condiciones.

Por ejemplo: las partículas son rígidas y todo contacto se produce en las fronteras, y para cada una de las cuales se ha definido una rigidez.

1.5.4 Método de Elementos Finitos.

La filosofía del método consiste en subdividir el sistema a estudiar en una serie de elementos de un tamaño relativamente pequeño en comparación al sistema. Estos elementos se denominan elementos finitos. Cada uno de ellos tiene una ecuación propia, por lo tanto la ecuación del sistema se obtiene a partir de las ecuaciones de los elementos que la forman. A través de la fase denominada de mallado, se subdivide el sistema físico a fin de discretizar el material continuo por una serie de puntos, llamados nudos sobre los cuales son realizados los cálculos de elementos finitos. Un elemento queda definido por:

- su forma geométrica
- las coordenadas de sus nudos geométricos
- las coordenadas de sus nudos de interpolación
- la definición de sus variables nodales
- la base polinomial de la aproximación

Generalmente se designan elementos menores (malla más cerrada) en la frontera de la zona de concentración de esfuerzos.

El sistema físico puede estar formulado por las ecuaciones diferenciales definiendo el comportamiento de un dominio infinitesimal (ecuaciones de equilibrio). Este procedimiento conduce a la determinación de una formulación integral, por el método de los residuos ponderados. Esta formulación es seguidamente aproximada por los elementos finitos. Se obtiene entonces un sistema de ecuaciones algebraicas. La resolución de este sistema hace uso de los métodos numéricos que brindan una solución aproximada.

Los elementos deben satisfacer una serie de condiciones:

- ecuaciones matemáticas conocidas en sus fronteras. Las fronteras entre elementos pueden ser puntos, curvas o superficies.
- las superficies y los puntos singulares que pueden definirse en la frontera de un elemento constituye los nudos, en los cuales se concentran todos los esfuerzos externos al elemento.
- en cada elemento, las características elásticas del material se mantienen uniforme.

- en la deformación del elemento, el trabajo producido por las fuerzas externas que actúan sobre los nudos para desplazarlos es igual al trabajo de las tensiones internas en los desplazamientos internos.

$$|\delta|^t F^e = \int |\varepsilon|^t \sigma dv$$

Dónde:

- δ es el valor desplazamiento de los nudos
- F^e la fuerza en los nudos una vez deformado el elemento
- ε son los desplazamientos internos unitarios
- σ son las tensiones unitarias internas
- v es el volumen del elemento.

La envolvente del elemento, formada por todos los elementos en contacto con él, debe satisfacer las condiciones siguientes:

- los esfuerzos se transmiten del elemento hacia su envolvente exclusivamente, a través de los nudos, donde debe existir una compatibilidad de desplazamiento de los nudos.
- la continuidad geométrica a través de las fronteras y límites del elemento debe ser máxima de manera, que el sistema deformado conserve la continuidad.
- todas las fuerzas se consideran aplicadas en los nudos del sistema
- todas las fuerzas concurrentes en un nudo se equilibran.

1.5.5 Método de Diferencias Finitas.

El método de diferencias finitas o elementos Lagrangianos, es otra técnica numérica utilizada para resolver sistemas de ecuaciones diferenciales de las condiciones iniciales y a los límites. En el método de diferencias finitas, toda derivada presente en el sistema de ecuaciones es reemplazada directamente por una expresión algebraica, escritas en términos de variables que intervienen en el sistema de ecuaciones, de las zonas discretizadas. Estas variables son indeterminadas para otras zonas.

Por el contrario, en el caso del método de elementos finitos, en los esfuerzos y desplazamientos están definidas para todo el dominio, las funciones específicas que describen sus variables en cada elemento. En efecto, los dos métodos producen un sistema de ecuaciones algebraicas. Aunque son obtenidas de manera diferente, estas ecuaciones son similares y en algunos casos idénticas.

Si el método de diferencias finitas es menos celebre, es por la falta de flexibilidad. En efecto, los defectos atribuidos a este método tenían lugar a la manera en que ellos estaban formulados y no a su principio mismo.

Por una formulación no tradicional del método, estos defectos son suprimidos y el nuevo método numérico muestra numerosos atributos para la modelización de los geo-materiales. Esta formulación consiste en el método de los elementos lagrangianos. El objetivo de este método es de encontrar la solución de un problema estático o casi estático a través de ecuaciones del movimiento dinámico que son incluidas en la formulación.

Estos fenómenos están caracterizados por la creación y la disipación rápida de energía bajo la forma cinética, que esta acumulada por el sistema bajo la forma de energía de deformación. Incluyendo en el código de cálculo las ecuaciones de movimiento dinámico, se incluye así mismo los términos de inercia que reproducen esta disipación de energía.

El interés de este modo de cálculo es que el brinda una imagen realista de la evolución de los esfuerzos y de las deformaciones en función del tiempo. Esta imagen es realmente realista si el comportamiento del material depende efectivamente del tiempo.

1.5.6 Método de Elementos de Frontera.

Este método se aplica a los problemas expresados y resueltos en términos de variables del contorno.

Este método permite transformar un problema de los límites fijada sobre un dominio volumétrico a la resolución de una ecuación integral fijada únicamente sobre la frontera de ese dominio. Este se aplica entonces para transformar en ecuación algebraica las ecuaciones expresadas en términos de integrales.

Este método tiene entonces las ventajas siguientes:

- necesita únicamente una discretización de las fronteras del dominio.
- limita así el número de incógnitas del problema ganando una dimensión espacial.
- toma implícitamente en cuenta dominios infinitos, evitando en particular los fenómenos de reflexión de las ondas sobre las fronteras del mallado.

Estas características explican por qué este método es escogido para la simulación de la propagación de ondas, así como para el estudio de los fenómenos de inter-fase.

Sin embargo, la utilización de este tipo de formulación está limitado por dos características del método: la linealidad de las ecuaciones tomadas en consideración y el conocimiento de soluciones elementales para estas ecuaciones. La utilización de este método está fundada sobre un comportamiento lineal de los geo-materiales. Los no lineales eventualmente están limitados por la no linealidad de los contactos sobre las inter-fases. Por otra parte para superar la segunda limitación, y obtener soluciones elementales en los casos más complejos tales como medio poro-elástico o los medios elásticos estratificados, es necesaria la utilización de los modelos de cálculo formal. La resolución de los sistemas de ecuaciones no lineales constituye una etapa esencial en la modelización del comportamiento de las obras de excavación minera. En efecto, es fundamental comprender que, para resolver de una manera satisfactoria un problema de comportamiento no lineal, es necesario reunir varias técnicas de integración de la ley de comportamiento del material, un mallado suficientemente fino en las regiones más requeridas, sin olvidar una determinación realista de los parámetros de la ley de comportamiento.

1.5.7 Método de Integrales de Frontera.

Este método es similar al método de elementos de frontera, la diferencia consiste en que, en este método no se utiliza el teorema recíproco, con el cual se elimina la necesidad de utilizar las fuerzas ficticias. El cálculo se efectúa en términos de distribución de las fuerzas reales y de desplazamiento sobre el contorno. Este método, en oposición con el método de elementos de frontera, tiene su aplicación a los problemas ligados a los materiales no homogéneos y no lineales, utilizados habitualmente en el cálculo numérico de los problemas elasto-plásticos. La importancia del método consiste en formular una relación entre la tensión y el desplazamiento en el contorno, con la ecuación de restricción del contorno.

1.5.8 Método de Discontinuidad de Desplazamiento.

Este método, inicialmente formulado en coordenadas cartesianas, se asemeja a los métodos integrales en el sentido que solo los contornos del dominio son discretizados y que él se procede por influencia (entre los elementos discretizados). Este presenta un gran interés para los materiales fisurados. Las aplicaciones esenciales que puede ser tratada con la ayuda de este método son los casos

donde exista la propagación de fisuras, o el estudio de la estabilidad de cavidades subterráneas. Sin embargo en este último caso ciertas anomalías de rotura observadas, pueden ser explicadas por la heterogeneidad del material debido a la estratificación.

La extensión del método a los medios estratificados puede hacerse utilizando las soluciones fundamentales en medio semi infinito o incorporando en la matriz de influencia, las condiciones de continuidad a la inter-fase. Las condiciones de continuidad son descritas suponiendo una inter-fase perfectamente unida.

El modelo puede generalizarse a los medios estratificados modificando las componentes de la matriz de influencia. Si consideramos por ejemplo, un medio compuesto de dos materiales 1 y 2. Estos materiales están separados por una inter-fase C. el procedimiento de generalización consiste en escribir las ecuaciones de continuidad en todos los puntos de la inter-fase. Estas condiciones de continuidad exige que la inter-fase sea discretizada en dos (C1 y C2) con el mismo número de elementos.

Este método permite modelizar el diseño de una explotación de varias capas o estratos al mismo tiempo, teniendo en cuenta la presencia de fallas o discontinuidades. Para modelizar el comportamiento del plano de una falla, se discretiza esta superficie en elementos. Se supone que el elemento está cubierto (lleno) por un material. Los criterios que permiten determinar el estado de equilibrio o rotura son:

- una condición de rotura por cizallamiento ligadas a los esfuerzos normales y tangenciales. Esta condición es el criterio de rotura de Mohr-Coulomb.

$$|\sigma_s| \leq C + \sigma_n \tan \Phi$$

Dónde: C y Φ son respectivamente la cohesión y el ángulo de fricción del material de relleno del elemento. Esta condición impone que el esfuerzo tangencial no debe superar un cierto valor, en cuyo caso las dos superficies del elemento se deslizaran una con respecto a la otra (condición de deslizamiento de los planos de falla)

- una condición de rotura por tracción relacionando el esfuerzo normal del elemento y la resistencia a la tracción de la falla. Desde que el esfuerzo normal que se aplica en el elemento es superior a la resistencia de tracción de la falla, el elemento es considerado como abierto (condición de separación de las superficies de falla.

Así mismo, para la modelización de una falla es necesario conocer la geometría de la falla y los parámetros geomecánicos de la falla.

1.5.9 Método o Modelo de Bloques.

Conocido también como método de los elementos distintos, con este modelo se puede simular el comportamiento de una masa rocosa, que puede subdividirse en bloques, sin restricción alguna respecto a las formas de los bloques, ni a las magnitudes de los desplazamientos que puedan producirse. Este método presenta esencialmente tres características:

- el macizo rocoso es simulado por un conjunto de bloques que interactúan entre sí, a través de las discontinuidades.
- la atribución de las características en las discontinuidades permite controlar las iteraciones.
- la utilización de un algoritmo iterativo, el que permite dar cuenta de la evolución temporal del sistema. Permite también simular desplazamientos y rotaciones importantes en los bloques y en las separaciones que ocurren en las discontinuidades.

Los cálculos hechos por el modelo, se alternan entre la aplicación de las leyes de esfuerzo – desplazamiento, en todos los contactos y la segunda ley de Newton en todos los bloques. La ley de esfuerzo desplazamiento es utilizada para encontrar los esfuerzos en los contactos entre bloques que han tenido desplazamiento conocidos y fijos. La segunda ley de Newton permite determinar el movimiento de bloques que se han desplazado como resultado de fuerzas conocidas y fijas que actúan sobre ellos. Si estos bloques son desplazados, el movimiento es calculado en los nudos de los elementos finitos triangulares del que están formados los bloques. Entonces, la aplicación de las relaciones constitutivas de los materiales del que están hechos los bloques permite determinar los nuevos esfuerzos en los bloques. Estos bloques constituyen el elemento de base de este modelo, los cuales pueden ser rígidos o deformables.

Bloques rígidos.

Todos los desplazamientos en el macizo rocoso se encuentran a nivel de las interfaces entre bloques, el movimiento de los bloques está limitado a una rotación, un desplazamiento y una traslación perpendicular a la superficie de contacto. Este tipo de modelización permite efectuar cálculos de desplazamiento bastante útiles y se justifica cuando las deformaciones de la matriz rocosa son realmente despreciables.

Este es el caso de los taludes o de excavaciones poco profundas, donde la fuerza de confinamiento de los bloques es débil.

Boques deformables.

En muchos casos es difícil despreciar la deformación elástica de los bloques, particularmente en casos de excavaciones a gran profundidad o en el estudio de fenómenos dinámicos. En este caso, cada bloque es tratado independientemente como un medio continuo, el cual se supone que es completamente deformable. El bloque está dividido en elementos internos continuos para aumentar el número de grados de libertad del bloque, la complejidad de la deformación depende del número de elementos contenidos en los bloques, para lo cual el bloque es discretizado automáticamente en elementos triangulares en los que la deformación es constante. La aplicación del método de las diferencias finitas en cada bloque permite determinar los esfuerzos y los desplazamientos en todos los nudos del mallado.

1.6 Formulación de Hipótesis

La aplicación de los modelos numéricos permitirá diseñar el talud final óptimo de una mina a cielo abierto.

El método de elementos finitos, modelización numérica aplicando los modelos elasto-plástico perfectos y elasto-plástico con ablandamiento, resuelve muchas de las deficiencias de los métodos de diseño de taludes por equilibrio límite. El método por elementos finitos a diferencia del método por equilibrio limite toma en cuenta la deformación del macizo rocoso para el diseño de taludes.

1.7 Variables

Variables	Indicadores
Independientes	Métodos de Diseño Geotécnicos y Numéricos
Dependientes	Diseño del Angulo del Talud Final por Modelos Numéricos

1.8 Alcances

La metodología aquí desarrollada y propuesta es aplicable a todo proyecto minero a tajo abierto durante la etapa de planificación y diseño (pre-factibilidad y factibilidad) del proyecto, extendiéndose a obras civiles en el diseño de taludes y estabilidad de laderas.

1.9 Limitaciones

Teniendo en consideración que los materiales rocosos son por lo general discontinuos, anisotrópicos, no homogéneos y no elásticos, es necesario profundizar los estudios en el análisis de esfuerzos y deformaciones en la etapa de post-rotura. Así mismo, el módulo de elasticidad del terreno debe ser conocido con precisión, para realizar los cálculos tenso-deformacionales en el macizo rocoso. Para que el resultado de los análisis y/o cálculos con la aplicación del método de elementos finitos, se aproximen, mucho más al comportamiento geotécnico real del terreno o macizo rocoso en evaluación.

1.10 Metodología de Investigación.

1.10.1 Técnica de Investigación.

La técnica o metodología utilizada.

Es una investigación no experimental. Es de tipo descriptivo, porque describe el macizo rocoso en función de los factores geomecánicos, con la valoración RMR y GSI. Es exploratorio, porque es un tema poco conocido y tratado en el país. Es Analítico, porque se analizara la estabilidad del talud final de la mina con el modelamiento numérico.

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

Trabajos de Laboratorio. Se realizaran ensayos de laboratorio, para determinar los diferentes parámetros o propiedades físicas y mecánicas de la roca, las propiedades de la roca intacta, propiedades de resistencia y las propiedades de la masa rocosa. Los

medios utilizados serán los testigos (muestras) recolectados durante los trabajos de campo.

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

En el aspecto técnico la primera parte de esta investigación comprenderá el estudio del aspecto geológico y geo-estructural, este estudio nos permitirá determinar las características geomecánicas de las diferentes discontinuidades, así como la determinación y evaluación del flujo de agua en el macizo. El procedimiento a seguir en esta primera parte será, el de hacer un reconocimiento y levantamiento de la información de campo.

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

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

1.10.2 Nivel de Investigación.

El nivel de la investigación es netamente aplicativo, pudiéndose aplicar en todas las minas a cielo abierto u obras civiles en el diseño de taludes.

CAPITULO II

II.- GENERALIDADES.

2.1 Ubicación

La mina a cielo abierto de caolín de Berrien (Carriere de Caolín de Berrien), se encuentra ubicada en la ciudad de Huelgoat, en el departamento de Finistere, en la región de Bretagne, al NW de Francia, aproximadamente a unos 520 Km, de la ciudad de París.

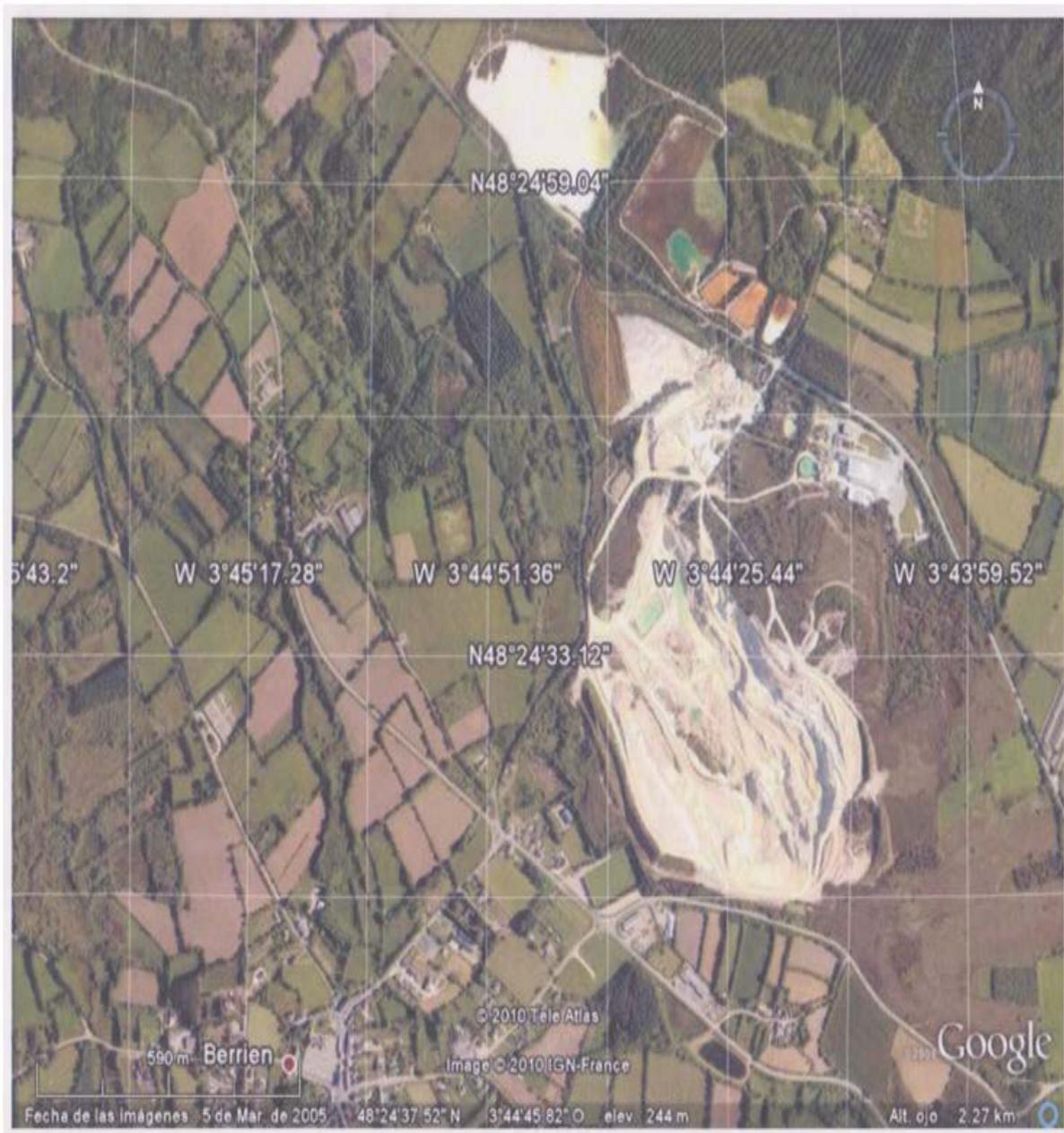


Fig. 1 Ubicación en coordenadas del tajo abierto – Berrien



Fig. 2 Ubicación de la mina Berrien

2.2 Geografía

Geográficamente la región de Bretagne, se sitúa en el masivo armoricano, tiene una superficie de 27506 Km², con una altura promedio de 104 m, alcanzando su máxima altura en el monte de Arrée, con 384 m.



Fig. 3 Estructura y relieve de Francia

Esta región es de clima oceánico húmedo, con un promedio de 200 días de lluvia por año (600 – 1453 mm), con vientos dominantes del Oeste. Tiene una temperatura promedio en invierno de 7 °C y en el verano la temperatura promedio es de 16 °C, alcanzando la máxima en 24 °C.

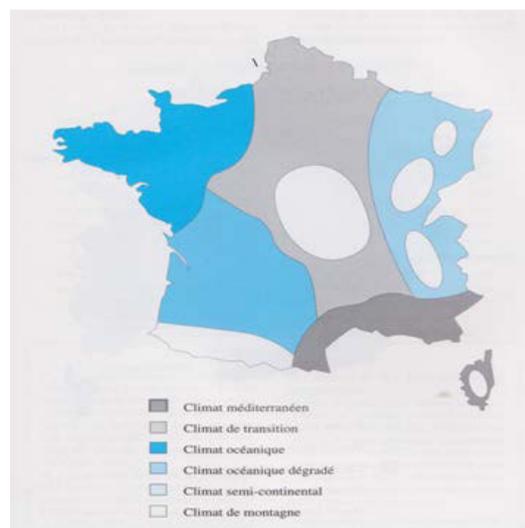


Fig. 4 Zonas climáticas de Francia

2.3 Geología

2.3.1 Geología Estructural.

El granito de Huelgoat, es uno de los más grandes granitos de la región de Bretagne, tiene una forma ovoide (de huevo) con sus extremos dirigidos hacia el oeste, con una longitud Este- Oeste de 16 Km., y 10 Km., de distancia Norte- Sur.

Este granito es el más joven de los granitos de la zona, su intrusión, se ha producido probablemente en el tardío Carbonífero. Una de sus características particulares es que las rocas de la aureola de metamorfismo son más duras que el granito y dispuestas verticalmente con una serie anular de colinas, las cuales son montañosas en el lado Norte. Esto es en parte debido a la dureza de la cuarcita contenida en la aureola metamórfica, pero también debido al tamaño y a la profundidad de desintegración y descomposición de la masa granítica. Esto es particularmente notable en el extremo occidental, donde un gran lago, hecho por el hombre ocupa el centro de la superficie granítica rodeada de colinas de cuarcita, incluyendo los más altos puntos de Bretagne. La intrusión en Huelgoat, se ha producido en varios y diferentes tipos de granito, de estos el granito de moscovita – biotita, del extremo NE, parecería ser el más conveniente para la caolinización, debido a su bajo contenido de minerales oscuros.

El depósito de Berrien, toma la forma de una trinchera profunda de granito caolinizado, que corre en una dirección NNW - SSE paralelo al contacto de granito y casi junto a él. La profundidad más elevada de esta trinchera está entre 200 y 210 metros. El centro de la trinchera es marcado por un stock work (cuerpo mineralizado) de venas de cuarzo con una greisenización asociada. Esta zona de greisen es más ancha al sur, donde la caolinización es también más ancha y más profunda.

La caolinización, es más profunda en el lado Este de la zona de greisen, esta asimetría es probablemente debida a la elevada inclinación de la aureola de contacto, haciendo que la cavidad de la caolinización, presente una inclinación hacia el Este. El cuerpo del greisen está principalmente compuesto de granito caolinizado manchado de color verde donde la greisenización ha tenido lugar.

Observaciones en superficie y sondeos establecen la disposición asimétrica del yacimiento. Al Oeste la potencia del granito caolinizado es pequeña y frecuente inferior a 20 m, por el contrario hacia el Este aumenta hasta superar los 60 m. (profundidad real desconocida) hasta el contacto con la cobertura ordovíciana. La superficie de este contacto se inclina hacia el Este según un ángulo de 40° a 60°. Las

medidas gravimétricas confirman que la parte más profunda del yacimiento está situada debajo del techo ordovíciano.

Las iso- anomalías, sugieren una topografía irregular del fondo del yacimiento con dos zonas anómalas profundas, de gran eje sub- meridional, desplazados uno con respecto al otro.

En el contacto del granito caolinizado, los esquistos ordovícianos son igualmente caolinizados, los mismos que han perdido dureza, donde se observa un reemplazamiento del color azul- negro por un tinte gris- crema, y disminución del contenido de Mg, Fe y sobretodo de Ca. Esta alteración puede continuar localmente hasta 30 o 40 m., del contacto con el granito, ella es sobre todo intensa en los primeros metros y decrece con la distancia, al mismo tiempo que también disminuye el porcentaje en caolinita (76% a 10 m, 44% a 20 m.). Siendo difícil de atribuir la caolinización de los esquistos a un proceso supérgeno, ya que su alteración aumenta con la aproximación del granito caolinizado y no con la proximidad de la superficie.

En resumen el yacimiento de caolín, está formado bajo un techo de esquisto y de cuarcita ordovíciana que ha retenido una parte importante de fluidos hidrotermales. La bóveda periclinal de Menez Molve, relativamente impermeable, ha funcionado como una trampa estructural que ha favorecido la acumulación de los fluidos, sobretodo en el granito, pero también, localmente en los primeros metros de la cobertura esquistosa donde se ha desarrollado un halo de alteración hidrotermal.

Estructuralmente en la zona de estudio no se evidencia la presencia de fallas, pliegues y fracturas.

2.3.2 Geología del Yacimiento.

En el depósito Berrien, el origen hidrotermal post- magmático de la caolinización es fuertemente sugerida:

- Por la relación espacial (paralelismo) entre la caolinización y las transformaciones hidrotermales anteriores (greisenización, turmalinización, y sericitización) o sub contemporáneas (silicificación), a lo largo de una zona de debilidad tectónica regional.
- Por la localización de la parte más profunda del yacimiento de caolín bajo un techo espeso de esquisto y de cuarcitas ordovícianas, y por el halo de alteración hidrotermal de los esquistos en el contacto del granito caolinizado.

- Por la ausencia de alteración latéritica.

Las discusiones sobre el origen de la caolinización son antiguas están siempre abiertas. Tres teorías han sido propuestas:

- Origen post- magmático a temperatura elevada (100 – 200°) (alteración hipógena), favorecida por una fisuración.
- Origen meteórico a baja temperatura (alteración supérgena), facilitada por un clima tropical.
- Origen mixto, bi-faseada, con influencia sucesiva de procesos hipógenos y supérgenos.

El estudio de este importante yacimiento de granito caolinizado de Menez Molvé en Berrien (aprox. 35000 t de caolín por año), explotado por la Sociedad de Caolines de Finistere, aporta según los geólogos de la empresa, argumentos en favor de la primera interpretación. El tajo de Menez Molve está abierto en el extremo NE del Plutón múlti- fase de Huelgoat, elemento del batolito herciniano medio-armoricano, al contacto mismo de las formaciones paleozoicas (esquisto y cuarcitas ordovicianas) que diseñan aquí, una estructura periclinal en arco de círculo, y con inclinación Este. La caolinización en masa del granito de Berrien ha sido precedida por procesos localizados de greisenización, turmalinización y sericitización.

En total, un paralelismo, que no puede ser fortuito, aparece entre la masa de granito caolinizado y los productos de las transformaciones anteriores o sub contemporáneos. La dirección (N10° - 20°W), de estas neo-formaciones corresponden, a una línea de debilidad tectónica de importancia regional, cuya influencia se hace sentir al otro lado de los límites del afloramiento del Plutón granítico.

En la proximidad del contacto con el Ordoviciano, los endo-greisen se alinean sobre varias decenas de metros, según la dirección del conjunto N10° - 20°W. Estos se presentan en nódulos pluri-disimétricos, con textura zonada: corazón formado de greisen híper-micáceo (moscovita), pasando a una costra constituida de greisen cuarzoso, el proceso se cierra por la formación de amas de cuarzo. El alineamiento del greisen según la dirección de debilidad tectónica regional, sugiere que el comienzo de la greisenización está ligado a una fracturación que ha permitido la formación de un primer sistema hidrotermal a temperatura elevada (aprox. 450°-350°). El tamaño relativamente reducido de la greisenización indica que la abertura de ese primer sistema ha debido ser de duración limitada.

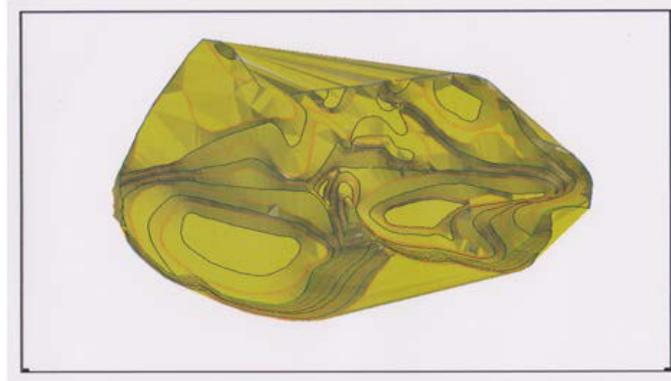


Fig. 5 Levantamiento topográfico del tajo en evaluación.

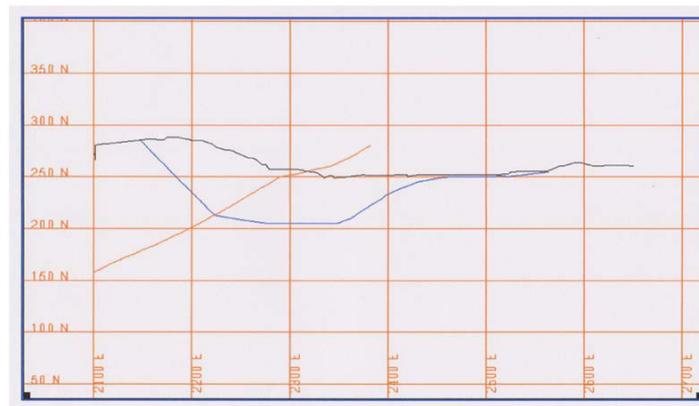


Fig. 6 Tajo Berrien - corte 300

2.4 Datos hidrogeológicos

En la realización de la evaluación hidrogeológica de la zona de estudio, se ha tomado en consideración los siguientes conceptos teóricos:

Los diferentes tipos de agua en los suelos

El agua en el suelo no se encuentra bajo una forma única, si esta se ubica a la escala de los granos, se puede distinguir las siguientes formas de agua:

- a) agua absorbida
- b) agua capilar
- c) agua libre

A.- Agua absorbida

Esta es una capa de agua rígidamente ligada a la superficie de los granos por fuerzas de atracción molecular. Estas ligaciones son debido al desequilibrio

eléctrico de la molécula de agua y al desequilibrio eléctrico que puede producirse en la superficie de las partículas sólidas.

De esta manera, las moléculas de agua se fijan a la superficie de los granos. Esta agua adquiere propiedades especiales: ella es más densa (1.2) y más viscosa que el agua normal. La cantidad de agua fijada varía evidentemente con la superficie de los granos que va desde algunos cm^2/g (suelos arenosos) a varias centenas de m^2/g (suelos arcillosos). Esta agua no participa en los flujos.

B.- Agua capilar

Ella es retenida en los poros por fuerzas de tensión superficial que se desarrollan en la interface agua – aire - granos. Ella participa en los flujos y en particular en los cambios entre la napa y la superficie del suelo (evaporación, infiltración). Su presión es inferior a la presión atmosférica.

C.- Agua libre

Esta, es aquella que obedece únicamente a la gravedad y puede ser extraída del suelo por simple escurrimiento o desecación. Ella transmite la presión hidrostática y puede circular libremente.

Tipos de napas freáticas

Entre los diferentes tipos de napas freáticas podemos diferenciar:

- a) napas libres
- b) napas cautivas

A.- Napas libres



Fig. 7 Esquema de una napa libre

Una napa libre, es una napa que a partir del horizonte impermeable de un acuífero, se ubica esta, sobre una cierta altura sin encontrar un obstáculo impermeable subyacente. Ella puede ser alimentada sea lateralmente o sea partir de la superficie del suelo (agua de lluvia). Se puede distinguir una zona de agua libre y una zona de agua capilar.

- zona de agua libre, es la parte inferior de la napa situada entre el nivel impermeable y el nivel piezométrico. Este último es materializado por la altura de agua en un tubo no capilar cuyo colador está situado en la zona de agua libre. Es llamada igualmente superficie libre y el agua allí está a la presión atmosférica.

- zona de agua capilar, se la divide frecuentemente en tres partes donde los límites son muy ligeros:

- la franja capilar, que corresponde groseramente a la altura de ascensión capilar encima de la superficie libre de la napa.

- la zona de retención, conteniendo el agua capilar que no es escurrida. El porcentaje de agua en el suelo en esta zona está poco sujeto a variaciones.

- la zona de desecación temporal, esta es la parte superior del suelo, sensible a variaciones de las condiciones atmosféricas de superficie que puede estar sometido a ciclos de humedecimiento y desecación.

B.- Napas cautivas

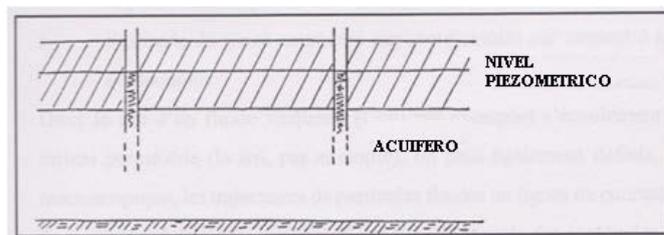


Fig. 8 Esquema de una napa cautiva

Estas napas se encuentran, cuando un terreno acuífero, limitado abajo y arriba por horizontes impermeables, están saturados sobre toda su altura, estas napas pueden presentar o no, flujo. Estas napas se caracterizan porque el nivel piezométrico es en todo punto superior al límite físico de la napa. Así

mismo pueden producirse fuerzas de presión intersticial que son perjudiciales para las capas superiores.

Cuando existe presión de agua en el macizo rocoso, esta produce un empuje que separa los labios de las discontinuidades presentes y reduce la tensión normal σ_n . En condiciones de régimen permanente, en las que hay suficiente tiempo para que la presión de agua alcance el equilibrio en el macizo rocoso, la tensión normal reducida se define como $\sigma_n = (\sigma_n - u)$, donde (u) es la presión de agua. Esta tensión normal reducida σ_n se suele denominar tensión normal efectiva.

Los trabajos en el contexto hidrogeológico, realizados en la zona de estudio (flanco Este de la mina), han evidenciado que los terrenos son muy poco permeables y que ningún tipo de napa freática, se sitúa en el recubrimiento.

CAPITULO III

III.- CARACTERIZACION GEOMECANICA DEL MACIZO ROCOSO

3.1 Aspectos Litológicos

En la zona de estudio, el talud del tajo presenta una altura de 80 metros.

Los materiales estériles de cobertura sobre el caolín, están en algunas zonas compuestos únicamente de cuarcita y en otras zonas de cuarcita y de esquisto (el límite de la cuarcita en ciertos tramos no es observable).

Las cuarcitas son rocas con una matriz rocosa muy resistente a la compresión pero están afectadas por un importante fracturamiento natural.

Los esquistos en esta zona se presentan muy alterados.

- El caolín, se presenta por debajo de la cuarcita y del esquisto con un espesor variable de 10 a 15 m.
- En la parte más baja se encuentra el granito
- Con la información de los sondajes diamantinos (existentes), realizados en el tajo se ha determinado las siguientes esquematizaciones geológicas del talud en evaluación, como podemos apreciar en la Fig. 9, existe una zona donde sobre el caolín hay una capa de esquisto y como apreciamos en la Fig. 10, existe otra zona donde la capa de esquisto no se encuentra presente. En el presente trabajo se realizara la evaluación de estabilidad del talud considerando la esquematización geológica que considera la presencia del esquisto, por ser la condición más desfavorable.

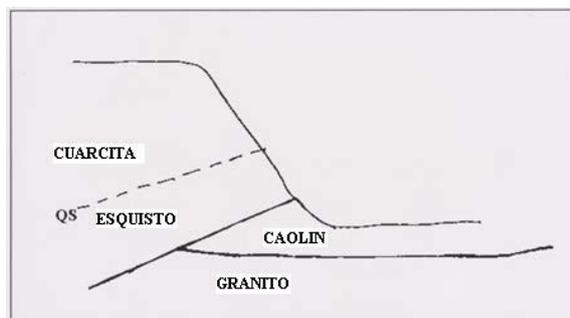


Fig. 9 Esquema geológico del talud en evaluación

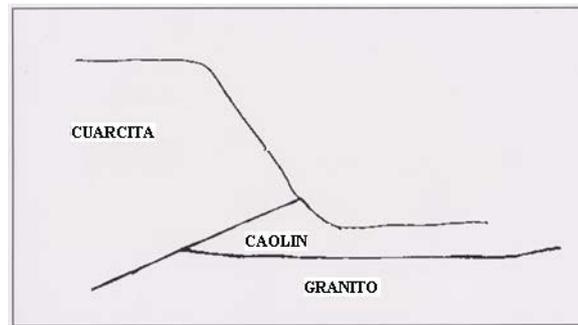


Fig. 10 Esquema geológico del talud en evaluación

3.2 Características de las Discontinuidades

3.2.1 Análisis Estadístico de las familias de Discontinuidades

Con la información recolectada durante el mapeo geotécnico realizado en el tajo (ver anexo B) y haciendo uso del software DIPS, se determinó las familias de discontinuidades.

Se procede a continuación a realizar el análisis estadístico de las familias de discontinuidades evidenciadas en la zona de estudio. (Familia de discontinuidades A y B). Este análisis estadístico se ha realizado para los parámetros de orientación dip direction (dirección de buzamiento) y dips (buzamiento) de las discontinuidades presentes.

En los cuadros adjuntos, se presentan las expresiones matemáticas utilizadas para determinar los parámetros estadísticos, el porcentaje de polos, la media aritmética y el cálculo de la desviación estándar de la información recolectada en el mapeo geotécnico realizado.

Porcentaje de Polos	Familia A
$\% = ((\text{Nro. De discont. En familia A}) (100) / \text{Nro. Total de disont})$	
% Polos Familia A	31 %

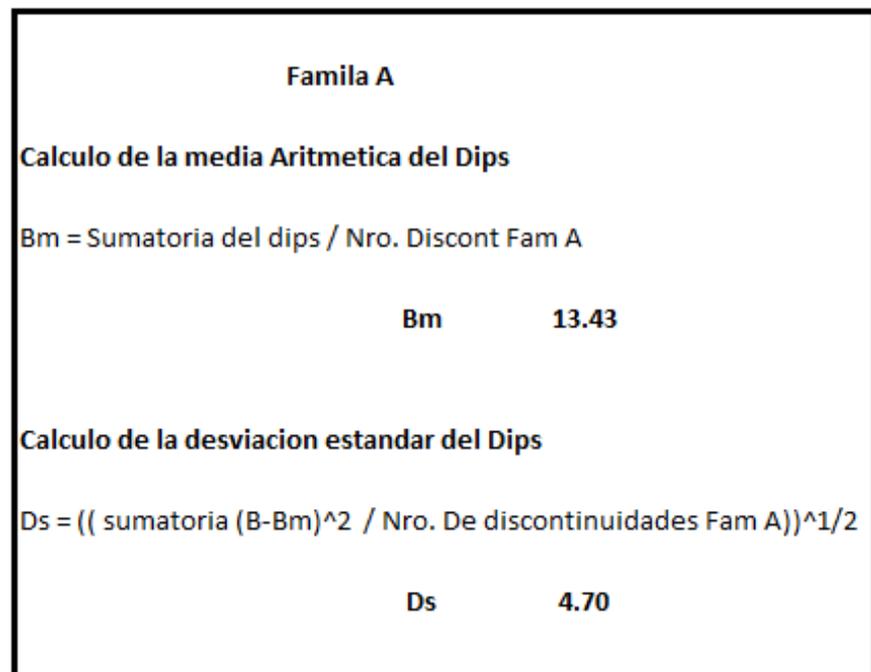
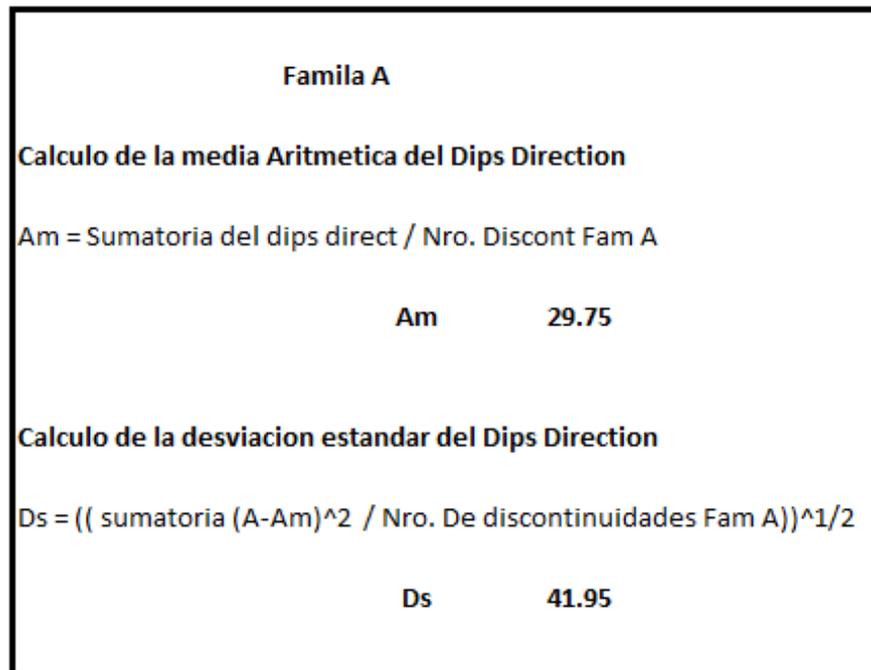


Fig. 11 Valores estadísticos Fam. A

Porcentaje de Polos	Familia B
$\% = ((\text{Nro. De discont. En familia B}) (100) / \text{Nro. Total de disont})$	
% Polos Familia B	19 %

Familia B	
Calculo de la media Aritmetica del Dips Direction	
$Am = \text{Sumatoria del dips direct} / \text{Nro. Discont Fam B}$	
Am	225.51
Calculo de la desviacion estandar del Dips Direction	
$Ds = ((\text{sumatoria (A-Am)}^2 / \text{Nro. De discontinuidades Fam B}))^{1/2}$	
Ds	3.40

Familia B	
Calculo de la media Aritmetica del Dips	
$Bm = \text{Sumatoria del dips} / \text{Nro. Discont Fam B}$	
Bm	73.28
Calculo de la desviacion estandar del Dips	
$Ds = ((\text{sumatoria (B-Bm)}^2 / \text{Nro. De discontinuidades Fam B}))^{1/2}$	
Ds	2.60

Fig. 12 Valores estadísticos Fam. B

Después de realizar el análisis estructural y determinar las familias de discontinuidades, se procedió a determinar estadísticamente, los parámetros geo-estructurales de las familias de discontinuidades, presentes en la zona de evaluación, cuyo resumen se presenta a continuación para ambas familias. Los gráficos estadísticos se muestran en el **anexo C**.

Tabla 1

Estadística de los parámetros geo-estructurales Fam. A

	Cuadro de Resultados Valorización Familia A	
Dip Direction	204°	
Dips	76°	
Espaciado	3	0.2 – 0.6 m
Persistencia	2	1 - 3 m
Terminación	1	Otra Discontinuidad
Apertura	1	Cerrada
Rugosidad	3	Liger. Rugosa
Tipo de Relleno	1	Limpio
Espesor de Relleno	1	Ninguno
Ondulación	1	Plana
Meteorización	3	Moderada
Agua Subterránea	1	Seco

Tabla 2

Estadística de los parámetros geo-estructurales Fam. B

	Cuadro de Resultados Valorización Familia B	
Dip Direction	46°	
Dips	17°	
Espaciado	4	0.6 - 2 m
Persistencia	2	1 - 3 m
Terminación	1	Otra Discontinuidad
Apertura	1	Cerrada
Rugosidad	2	Rugosa
Tipo de Relleno	1	Limpio
Espesor de Relleno	1	Ninguno
Ondulación	1	Plana
Meteorización	3	Moderada
Agua Subterránea	1	Seco

3.2.2 Análisis Estructural

La mayor parte de las inestabilidades, de pendientes rocosas son debido a las discontinuidades (fisuras, fallas, planos de estratificación y capas geológicas de menor resistencia como arena). Las discontinuidades influyen igualmente en el flujo del agua subterránea que afectan también la estabilidad. Para determinar su efecto sobre la estabilidad de las pendientes, se debe determinar la ubicación, orientación y amplitud de las discontinuidades.

Así, podemos citar los siguientes parámetros:

- a) Orientación: buzamiento y azimuth del plano de la discontinuidad
- b) Tipo: falla, junta, estratificación, diaclasa, etc.
- c) Densidad de fracturación: descripción del estado de fracturación del masivo
- d) Continuidad: estimación de las dimensiones de la discontinuidad
- e) Apertura: distancia entre los labios de la discontinuidad
- f) Relleno: de arcilla, silicato en láminas (clórica- mica- talco), fragmentos molidos, arena
- g) Flujo de agua: discontinuidades impermeables, seca (sin trazas de flujo), seca (con trazas de flujo), húmedo, flujo continuo.
- h) Descripción de los labios: rugosidad, ondulación, meteorización.

El levantamiento de estos datos se efectúa tradicionalmente a partir de los afloramientos, de cortadas y de sondajes. Los levantamientos de superficie pueden realizarse sobre una línea de detalle, de cierta longitud lineal, se anota sistemáticamente todas las discontinuidades que se encuentran, con sus características. En cuanto a los sondajes, ellos permiten determinar los caracteres geomecánicos de las discontinuidades, en detalle con la obtención y análisis de los testigos de roca subterránea y permiten también conocer el nivel de la napa freática.

En el **anexo B**, se muestran las tablas RMR, de las diferentes discontinuidades presentes en el talud.

El análisis estructural de las discontinuidades, efectuado sobre el flanco actual del tajo ha permitido poner en evidencia las siguientes características esenciales:

- Una dirección de lineamiento del tajo, que tiene por azimuth de 215 a 220 grados y por buzamiento de 25 a 35 grados.

- Dos familias de discontinuidades: una familia principal donde el vector normal tiene por azimut 204 grados y por buzamiento 76 grados, y otra donde la familia de discontinuidades presenta un azimut de 46 grados y por buzamiento 17 grados.

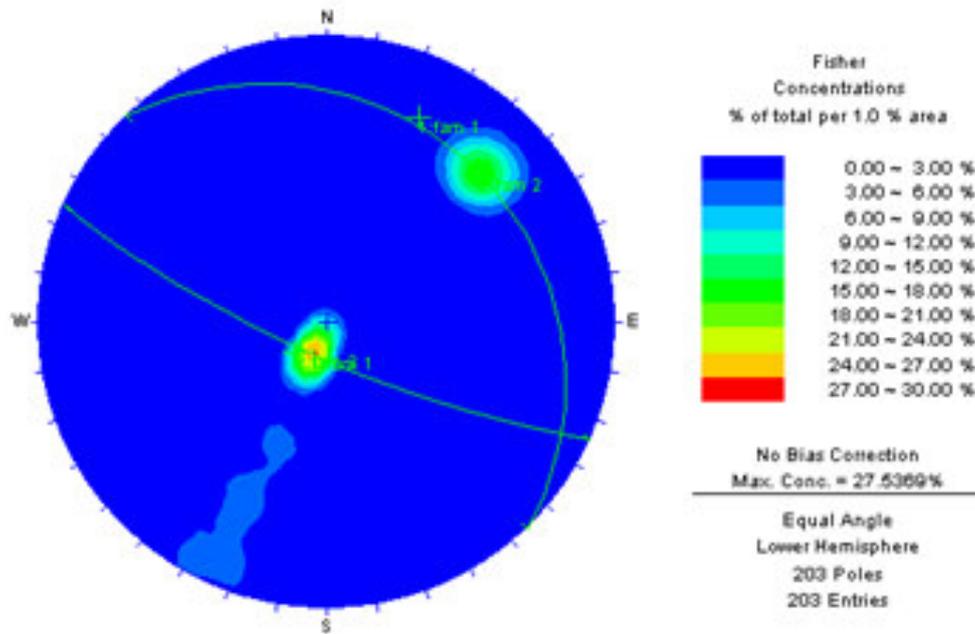


Fig. 13 Concentración de Polos (software DIPS)

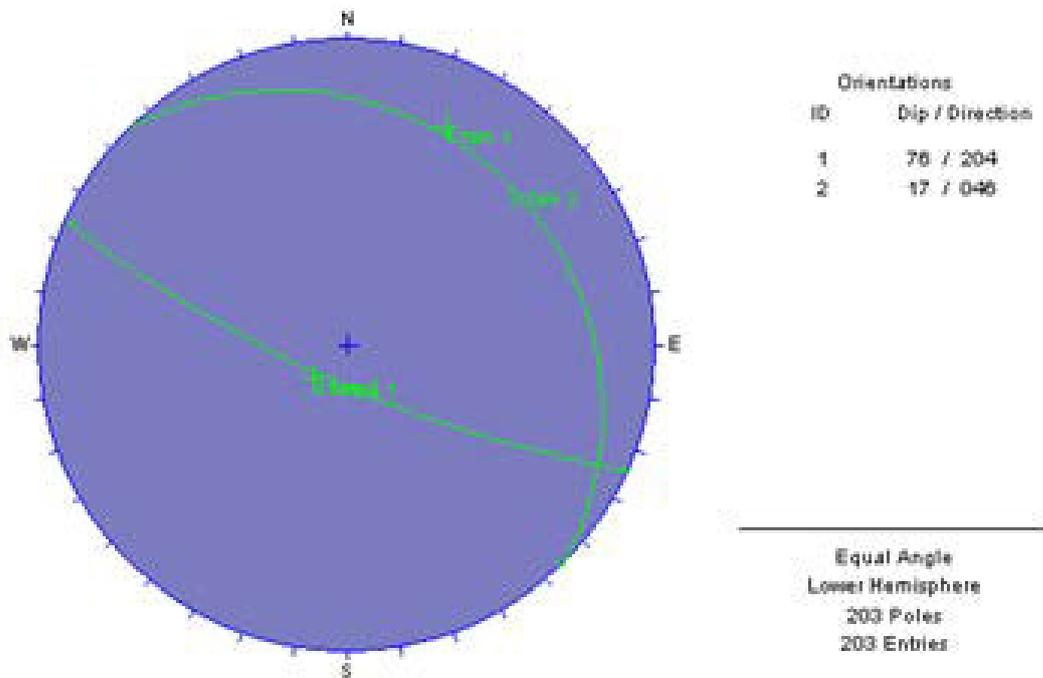


Fig. 14 Familia de discontinuidades

3.3 Zonificación Geomecánica

El talud Este de la mina, se ha sectorizado en zonas geológicas o dominios estructurales que poseen características litológicas y estructurales particulares.

Teniendo en cuenta los aspectos litológicos, geoestructurales, alteración, grado de intemperismos y calidad del macizo rocoso, se han definido 04 dominios estructurales en el talud Este del tajo.

Dominio Estructural I

Con una orientación predominante de las discontinuidades NW y buzamiento NE; y orientación SE y buzamiento SW, emplazados en roca de tipo esquisto, moderadamente intemperizado, con una resistencia a la compresión de (25 - 50 Mpa.) y un RQD entre (50 - 75) y (76 - 90). El espaciamiento de discontinuidades entre (0.2 - 0.6 m), (0.6 - 2) y mayores de 2. La persistencia entre (1 - 3 m) y (3 - 10 m), la abertura se encuentra entre menor a 0.1 mm y (0.1 - 1.0 mm). Rugoso a ligeramente rugosa y cerrada. El RMR se encuentra en el rango de (63 - 72). Roca de calidad buena.

Dominio Estructural II

Se presenta discontinuidades de orientación NW con buzamiento NE y SW, en tipo de roca esquisto, moderadamente intemperizado, con una resistencia a la compresión de (25 - 50 Mpa.) y un RQD de (51 - 75) y (76 - 90). El espaciamiento de discontinuidades entre (0.6 - 2 m) y mayores a 2 m. Persistencia entre menor a 1 m, (1 - 3 m) y (3 - 10 m). La abertura se encuentra desde cerrada y (0.1 - 1.0 mm). Rugosa a ligeramente rugosa y limpia. El RMR se encuentra en el rango de (61 - 76). Roca de calidad buena.

Dominio Estructural III

Discontinuidades con orientación NW y buzamiento NE; y orientación SE y buzamiento SW, en tipo de roca cuarcita, con grado de intemperismo moderado, con una resistencia a la compresión de (51 - 100 Mpa.) y un RQD de (76 - 90). El espaciamiento entre discontinuidades de (0.2 - 0.6 m), (0.6 - 2 m) y mayor a 2 m, la persistencia entre (< 1 m) y (1 - 3 m), la abertura se encuentra entre menor a 0.1 mm, (0.1 - 1 mm) y (1 - 5 mm). Ligeramente rugosa a rugosa y limpia. El RMR se encuentra en el rango de (71 - 76). Roca de calidad buena.

Dominio Estructural IV

Discontinuidades de orientación NW con buzamiento NE y de orientación SE con buzamiento SW, en roca tipo cuarcita, con grado de intemperismo (ligeramente intemperizado a moderadamente intemperizado), con una resistencia a la compresión de (51 - 100 Mpa.) y un RQD de (76 - 90). El espaciamiento entre discontinuidades de (0.2 - 0.6 m) y (0.6 - 2 m), la persistencia es de menor a 1 m y (1 - 3 m), la abertura se encuentra entre cerrada, (< 0.1 mm) y (0.1 - 1 mm). Rugosa, ligeramente rugosa y limpia a liza. El RMR se encuentra en el rango de (71 - 76). Calidad de roca buena. En el **anexo A**, se muestra la ubicación de los dominios estructurales.

Tabla 3

Características de los dominios estructurales

	Tipo de Roca	Orientacion	Buzamiento	Rc Mpa	RMR	Calidad Tipo Roca
D (I)	Esquisto	NW	NE	25 - 50	63 - 72	Buena
		SE	SW			
D (II)	Esquisto	NW	NE	25 - 50	61 - 76	Buena
			SW			
D (III)	Cuarcita	NW	NE	51 - 100	71 - 76	Buena
		SE	SW			
D (IV)	Cuarcita	NW	NE	51 - 100	71 - 76	Buena
		SE	SW			

3.4 Calidad de la Masa Rocosa

Para la caracterización de la masa rocosa de la zona de estudio, se registraron los datos a partir del mapeo geotécnico de campo de los afloramientos rocosos.

Los mapeos geotécnicos de afloramientos rocosos se llevaron a cabo utilizando el método directo por celdas de detalle. Mediante este método se realizaron mediciones sistemáticas de las discontinuidades presentes en cada estación de medición, representada por un tramo de extensión variable de la roca expuesta.

Los parámetros de observación y medición fueron registrados en el formato de registro diseñado. Se muestran en el **anexo B**.

Estos parámetros fueron: tipo de roca, tipo de discontinuidad, orientación, espaciado, persistencia, apertura, rugosidad, tipo de relleno, espesor de relleno, grado de intemperismo y presencia de agua. Así como la resistencia de la roca y el RQD

determinado a partir de la frecuencia de fracturamiento, utilizando la expresión: $RQD = 100 e^{(-0.1 \lambda)} \times (0.1 \lambda + 1)$. Siendo λ el valor de la frecuencia de fracturamiento. Cada celda de detalle constituye una estación de mapeo, habiendo realizado mapeos en 39 celdas.

Para obtener las características de la distribución de las discontinuidades en la zona de estudio. Esta fue establecida a partir de los resultados del mapeo geotécnico (**Ver anexo B**) y el procesamiento de los datos orientacionales de las discontinuidades, utilizando las técnicas de proyección estereográfica equiareal, con el software DIPS. El resultado de las características de distribución de los sistemas de discontinuidades estructurales se muestra en el siguiente cuadro:

Tabla 4
Sistemas de discontinuidades estructurales

Dominio	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
DE - I	23 / 14	226 / 74	193 / 40	
DE - II	25 / 14	226 / 72		
DE - III	225 / 74	26 / 12	24 / 67	
DE - IV	23 / 14	225 / 72	17 / 51	

Para clasificar geotécnicamente a la masa rocosa se utilizó el criterio de clasificación geomecánica de Bieniawski RMR (valoración del macizo rocoso).

Uno de los parámetros más importantes para evaluar el comportamiento del macizo rocoso, es la resistencia en compresión (σ_c) no confinada de la roca intacta, este parámetro en el presente trabajo se obtuvo siguiendo las normas ISRM con la metodología siguiente:

- Ensayos de compresión uniaxial.
- Ensayos de golpes con el martillo de geólogo, los valores están indicados en los formatos de mapeo RMR. (**Ver anexo B**)
- Ensayos in-situ de impacto con el martillo Schmidt de dureza, estos fueron realizados también durante el mapeo geotécnico en la zona de estudio (**Ver anexo M**). El valor obtenido con este ensayo es de menor precisión que los ensayos de laboratorio, pero da valores representativos de la zona en evaluación.

Tabla 5

Rango de valores del ensayo con el martillo Schmidt

PRUEBAS DE RESISTENCIA - MARTILLO DE SCHMIDT					
Carriere de Kaolin de Berrien Talud Este del Tajo Abierto					
Fecha	10-mar-00	Realizado por	Ernesto Lopez Pomareda		
Factor correccion	0,00				
Parametros		RL		σ_C - Mpa	
Del material (roca)		Rango	Promedio	Rango	Promedio
Litologia	Cuarcita	24 - 49	37	49 - 170	110
Densidad KN/m ³	26,5				
Litologia	Esquisto	27 - 39	33	63 - 110	87
Densidad KN/m ³	28				
Litologia	Caolin	10 - 38	24	19 - 50	35
Densidad KN/m ³	17,2				
Litologia	Granito	41 - 52	47	120 - 225	173
Densidad KN/m ³	28,5				

Tabla 6

RMR y Rc de la masa rocosa en cada dominio estructural.

Carriere de Kaolin de Berrien Talud Este del Tajo Abierto							
Dominio Estructural	Tipo de roca Predominante	RMR		Resistencia Compresiva - Mpa			
		Rango	Asumido	Rc M. Geologo	Rc M. Smith	Rc Labor.	Asumido
D (I)	Esquisto	59 - 68	59	38	87	164	89
D (II)	Esquisto	64 - 73	64	38	87	164	89
D (III)	Cuarcita	63 - 76	63	75	110	180	122
D (IV)	Cuarcita	59 - 76	59	75	110	180	122

Los valores del índice de calidad de la roca RQD, fueron determinados mediante los datos del registro lineal de discontinuidades, utilizando la expresión propuesta por Priest and Hudson [3], teniendo como parámetro de cálculo la frecuencia de fracturas por metro lineal.

Los resultados de la clasificación geomecánica se presentan en el **anexo B**

3.5 Propiedades físicas y mecánicas de la roca

3.5.1 Propiedades de la roca intacta

3.5.1.1 Propiedades Físicas

Peso Específico (ρ)

Se define como la masa del material por la unidad de volumen, la misma que comprende los eventuales espacios vacíos, se expresa en kilogramo por metro cubico (Kg/m^3) o en toneladas por metro cubico (ton/m^3).

$$\rho = (\text{Peso seco} / \text{Volumen}) \times 9.81 \text{ m/sg}^2$$

En la siguiente tabla se muestra los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio.

Tabla 7

Peso específico de las rocas existentes en la mina

	Peso Especifico (Kg/m^3)
Cuarcita	2650
Esquisto	2800
Caolín	1720
Granito	2850

Grado de Adsorción (ω)

Es la relación porcentual del peso de agua absorbida, que llena los poros de una muestra, respecto al peso de la muestra.

Es la relación entre la pérdida de peso de una muestra de roca mantenida a 105°C durante 24 h., y el peso inicial.

$$\omega = ((\text{Peso saturado} - \text{Peso seco}) / \text{Peso seco}) \times 100 \%$$

Porosidad (η)

Se expresa por la relación entre el volumen de vacíos y el volumen total de la muestra.

$$\eta = V_v / V_t \quad \text{Donde:} \quad V_v, \text{ es el volumen de vacíos}$$

$$V_t, \text{ es el volumen total.}$$

Expresándolo en términos porcentuales

$$\% \eta = ((\text{Peso saturado} - \text{Peso seco}) / \rho_w \times \text{Volumen}) \times 100\%$$

Dónde: ρ_w , es la densidad del agua.

Tabla 8
Rangos de Porosidad

Termino	Porosidad η
Muy bajo	< 0.01
Bajo	0.01 – 0.05
Medio	0.05 – 0.18
Alto	0.18 – 0.43
Muy alto	> 0.43

Índice de Vacíos (ϵ)

Permite saber si los vacíos en el material son importantes o no, lo cual quiere decir si el suelo (material) es suelto o compacto. Este índice está definido por la relación entre vacíos y el volumen de granos sólidos.

$$\epsilon = V_v / V_s \quad \text{Donde:} \quad V_v, \text{ es el volumen de vacíos}$$

$$V_s, \text{ es el volumen de granos sólidos}$$

Esta es una medida delicada, es necesario determinar el volumen total de la probeta, el peso (W_s) de los granos sólidos y conocer el peso específico de estos granos.

Tabla 9
Rangos de índice de vacíos

Termino	Índice De Vacíos ϵ
Muy bajo	< 1
Bajo	1 – 5
Medio	5 – 15
Alto	15 – 30
Muy alto	> 30

Velocidad de Propagación de Ondas Sísmicas (V_p)

El principio consiste en determinar el tiempo que transcurre en la propagación de una onda entre dos puntos separados a una distancia conocida. Esto

permite determinar la velocidad de propagación de onda a través del material considerado.

$$1500 \leq V_p \leq 7000 \text{ m/sg.}$$

1501 Impedancia acústica (IM)

$$IM = \rho \times V_p$$

Tabla 10
Rangos de índice velocidad de propagación de ondas

Termino	Velocidad de Propagación de ondas V_p (m / sg)
Muy bajo	< 300
Bajo	300 – 1000
Medio	1000 – 2000
Alto	2000 – 5000
Muy alto	> 5000

Permeabilidad (κ)

Conocida también, como conductividad hidráulica de un material, representa la aptitud del material para dejar circular el agua, esta propiedad se caracteriza por el coeficiente de permeabilidad κ , que se expresa en m/sg, Este coeficiente es la velocidad de percolación del agua a través de un macizo rocoso de un metro de espesor, en el momento en que la diferencia de presión de agua entre la fase de entrada y la fase de salida es de un metro de agua, o sea 0.01 MPa,

Si: $\kappa = 10^{-2}$ m/sg. Material muy permeable.

$\kappa = 10^{-13}$ m/sg. Material muy impermeable.

El límite entre material permeable y material impermeable está fijada arbitrariamente en 10^{-9} m/sg.

De los ensayos de permeabilidad realizados se obtuvo un coeficiente de permeabilidad $\kappa = 3.40 \times 10^{-10}$ m/seg

Tabla 11
Rangos de coeficientes de permeabilidad

Termino	Clase	Coefficiente de Permeabilidad κ (m/sg)
Muy alto	1	$< 10^{-2}$
Alto	2	$10^{-2} - 10^{-4}$
Moderado	3	$10^{-4} - 10^{-5}$
Poco	4	$10^{-5} - 10^{-7}$
Muy poco	5	$10^{-7} - 10^{-9}$
Muy impermeable	6	$10^{-9} - 10^{-13}$

Grado de Saturación (S)

Indica en qué proporción los vacíos son cubiertos por el agua, está definido como la relación entre el volumen de agua y el volumen de vacíos. Se expresa en porcentaje.

$$S = (V_w / V_v) \times 100\%$$

Dónde: V_w , es el volumen de agua
 V_v , es el volumen de vacíos.

Si: $S = 100\%$ entonces el suelo está saturado.

Tabla 12
Rangos de grado de saturación

Termino	Grado de Saturación (%)
Seco (natural)	0 - 25
Húmedo	25 - 50
Muy húmedo	50 - 80
Altamente saturado	80 - 95
Saturado	95 - 100

3.5.1.2 Propiedades de Resistencia

Resistencia a la compresión uniaxial

Para obtener la resistencia al esfuerzo uniaxial, es necesario realizar el ensayo de compresión simple. Este ensayo consiste en someter una probeta cilíndrica, de relación (altura / diámetro) = 2, a un esfuerzo axial P, (compresión simple creciente). Eventualmente, se puede utilizar una probeta de forma de paralelepípedo. En este ensayo se tiene un esfuerzo lateral nulo, solo el esfuerzo axial es entonces aplicado en la muestra.

El ensayo puede bien ser realizado con el equipo de ensayo triaxial, pero se utiliza en general un equipo más simple. Se trata de una prensa de compresión, compuesta de un armazón, un anillo dinamométrico y un platillo de desplazamiento controlado. El ensayo puede ser realizado solo en suelos cohesivos puesto que el testigo debe tenerse sin fragmentarse (desmoronarse) lateralmente. El testigo es tallado de la misma manera que para un ensayo triaxial, es enseguida colocado sobre el armazón, entre las dos bases. En el transcurso del ensayo, se mide el esfuerzo axial, la deformación longitudinal ($\epsilon_L = \Delta H / H$) y transversal ($\epsilon_T = \Delta \phi / \phi$).

Resistencia a la tracción

Para medir la resistencia a la tracción de una roca, el ensayo más comúnmente utilizado es el llamado ensayo Brasilerio. Este es un ensayo de tracción directa. En efecto, él consiste en someter una probeta cilíndrica reposando sobre una generatriz a un esfuerzo de compresión diametral.

La probeta debe tener una relación altura / diámetro igual a 0.5 para poder generar una tracción uniforme y homogénea.

El esfuerzo de compresión va aumentando hasta la rotura de la probeta (a la rotura, σ_t es la resistencia a la tracción de la roca).

Para una fuerza de compresión F, el esfuerzo de tracción generado σ_t , es igual a:

$$\sigma_t = 2 F / (\pi H D)$$

Dónde: H y D son las dimensiones de la Probeta.

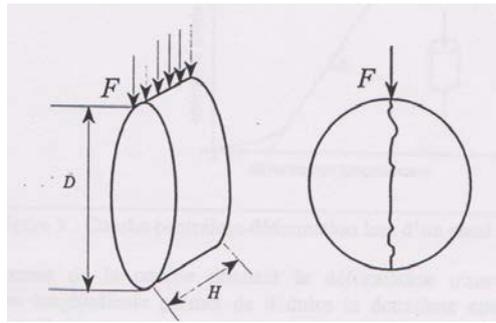


Fig. 15 Principio del ensayo Brasileño

Notemos que la resistencia en tracción de una roca es muy pequeña y teniendo en cuenta la fracturación natural, se admite casi siempre que la resistencia en tracción de una masa rocosa es nula para efectos de diseño.

Ensayos de Deformación en Compresión Simple

Estos ensayos brindan las curvas de esfuerzo – deformación longitudinal, las mismas que se caracterizan por:

- Una breve fase de estrechamiento en la cual la deformación axial aumenta bastante rápido.
- Una fase donde las deformaciones varían linealmente con el esfuerzo, esta fase es conocida como fase elástica.

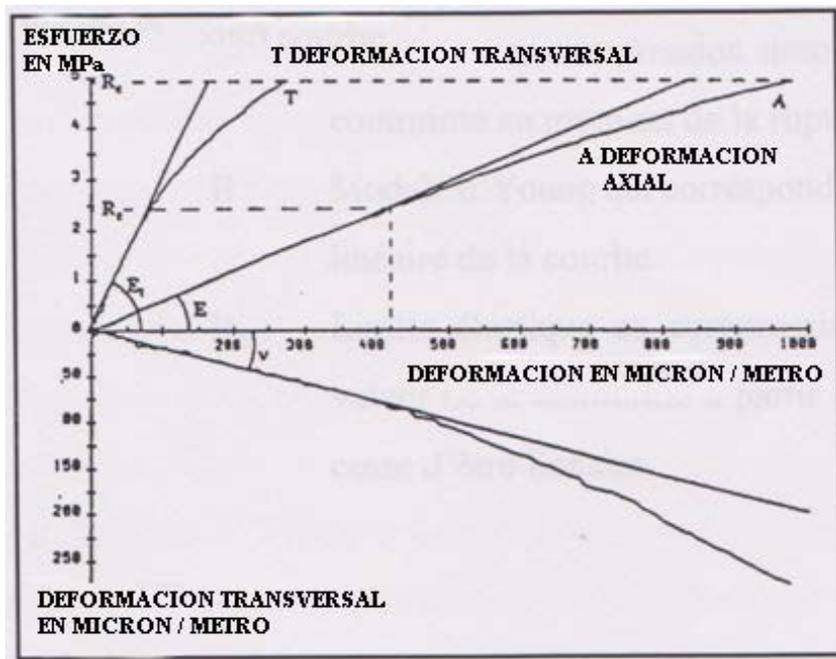


Fig. 16 Curvas

Esfuerzo – deformación de un ensayo de compresión simple.

La pendiente de la recta que se puede ajustar sobre la curva, obtenida del esfuerzo en función del apisonamiento relativo $\Delta H / H$, define el módulo de elasticidad o módulo de Young (E).

Dónde:

R_c : es la resistencia en compresión simple que corresponde al esfuerzo en el momento de la rotura de la probeta.

E: es el módulo de Young que corresponde a la pendiente de la parte lineal de la curva.

R_E es el límite elástico en compresión simple, es el valor del esfuerzo a partir del cual la curva deja de ser lineal.

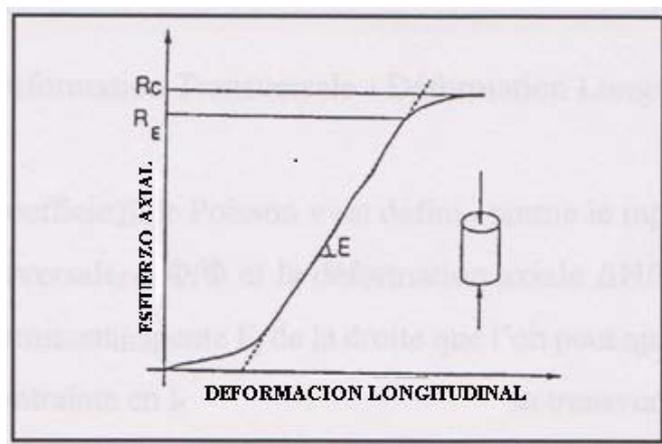


Fig. 17 Grafico
Esfuerzo – deformación longitudinal

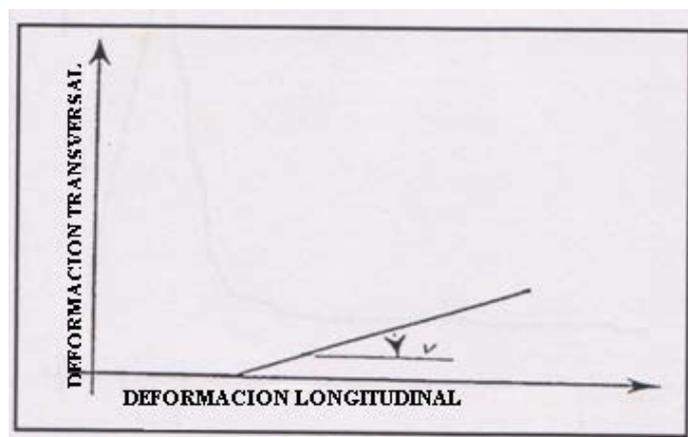


Fig. 18 Curva
Deformación transversal – deformación longitudinal

El coeficiente de Poisson ν , está definido por la relación entre la deformación transversal $\Delta\phi/\phi$ y la deformación axial $\Delta H/H$; Se puede calcular determinando la pendiente E_t de la recta que se puede ajustar sobre la curva, obtenida del esfuerzo en función de la deformación transversal ($\Delta\phi / \phi$) y haciendo la relación E_t / E . Se puede también determinar trazando la curva brindada por la deformación transversal en función de la deformación axial y ajustando una recta sobre la parte lineal de esta curva. La pendiente de esta curva es igual el coeficiente de Poisson.

- Una fase no elástica. A partir de un cierto valor del esfuerzo aplicado, conocido como límite de elasticidad, las deformaciones dejan la fase lineal y aumentan rápidamente. Se obtiene entonces la rotura para un valor del esfuerzo conocido como resistencia instantánea a la compresión simple R_C .

Si la resistencia R_C esta próxima al límite elástico, se dice que la roca tiene un comportamiento elástico frágil. Si por el contrario la fase no elástica es importante, estamos entonces frente a una roca de comportamiento elasto-plástico.

Son sobre todo la resistencia en compresión simple R_c y el módulo de Young E que varían de una roca a otra, el coeficiente de Poisson no varía mucho y tiene un valor promedio de 0.25.

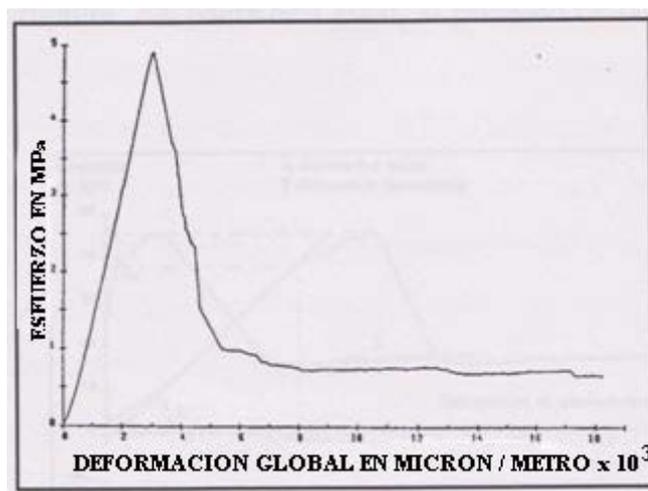


Fig. 19 Grafico

Ensayo de compresión simple después de la ruptura.

- Una fase de pos-ruptura de la roca. Después de la ruptura, el esfuerzo admisible disminuye rápidamente con deformaciones. Notamos que para observar experimentalmente esta fase, es necesario disponer de una prensa provista de un dispositivo que permita modular el esfuerzo sobre la probeta de tal manera que la velocidad de deformación quede constante e igual a un valor programado con anterioridad. Sin esto, se obtiene el estallido de la roca al momento de la rotura.
- Una fase residual: el esfuerzo axial P puede estabilizarse alrededor de un valor R_{cr} mientras que las deformaciones se tornan importantes. R_{cr} es llamado resistencia residual a la compresión. Esta fase residual es frecuentemente breve, o inexistente en las rocas de comportamiento elástico frágil, pues se ha llegado a arruinar el testigo.

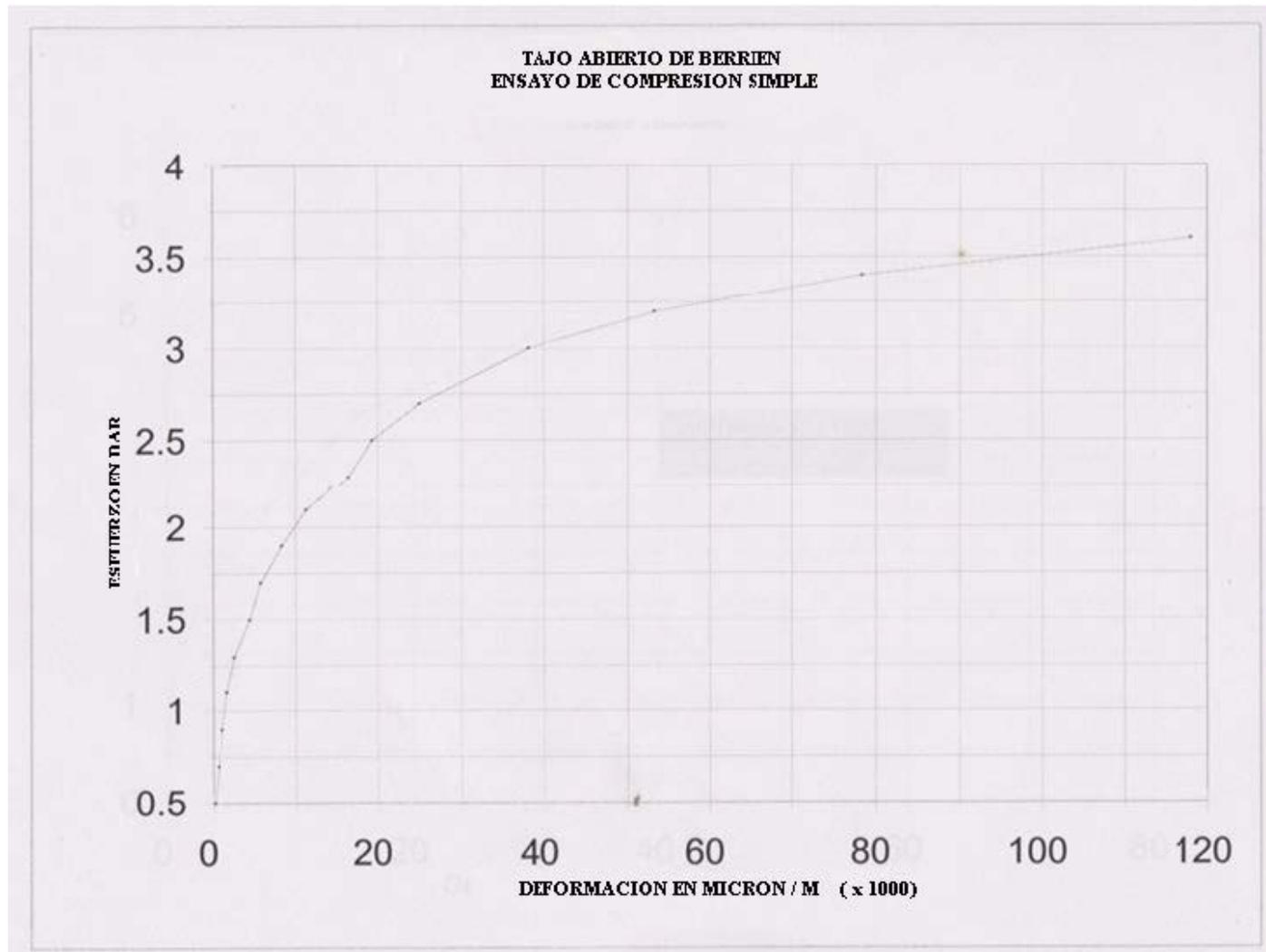


Fig. 20 Curva de ensayo a compresión simple

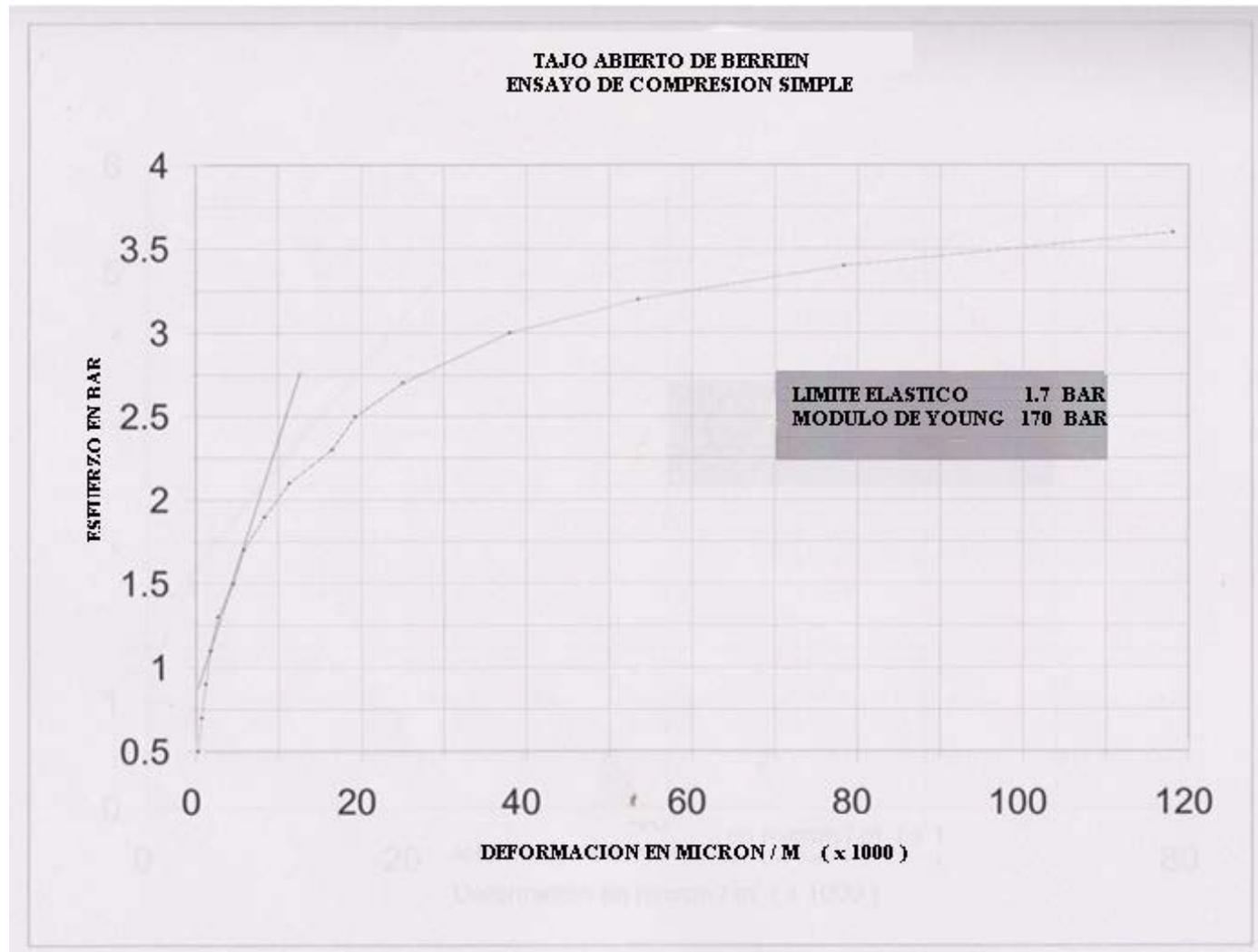


Fig. 21 Determinación del límite elástico y módulo de Young

Ensayo de Deformación en Compresión Triaxial

La roca es muy frecuente sometida a una compresión triaxial y no a una compresión simple, es entonces necesario hacer este tipo de ensayo en laboratorio para estudiar el comportamiento bajo una compresión en las tres direcciones.

Un ensayo triaxial consiste en someter la probeta a una presión lateral o esfuerzo radial llamado esfuerzo de confinamiento y a aumentar la carga axial hasta la ruptura. En el transcurso del ensayo, la presión de confinamiento es mantenida constante.

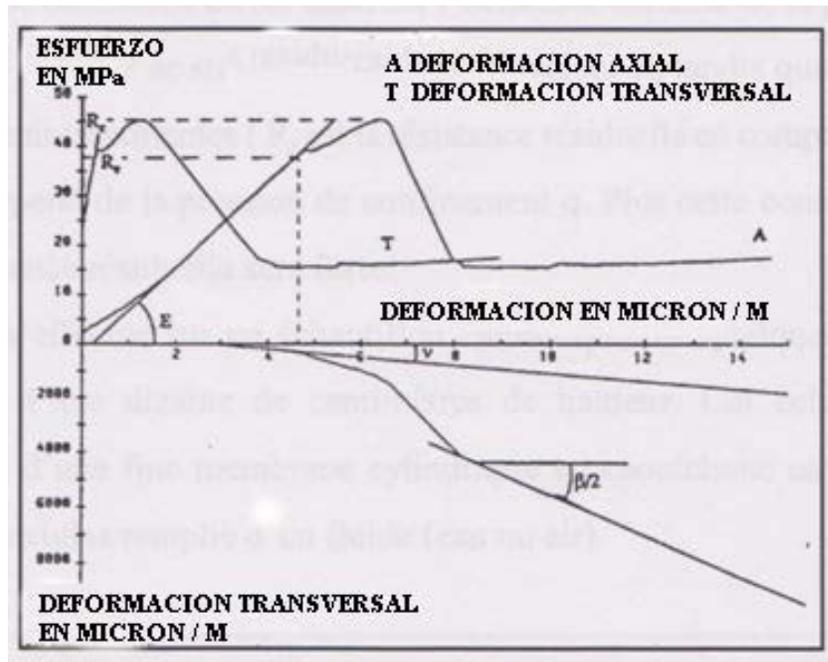


Fig. 22 Grafico de deformación en compresión triaxial

El objetivo principal en el transcurso de estos ensayos es de estudiar el comportamiento del material para diferentes valores de presión de confinamiento. Este ensayo se efectúa por medio de una cámara triaxial.

Las curvas que se obtienen, tienen la misma traza que las curvas obtenidas en el caso de una compresión simple. Se observa las mismas fases de comportamiento, la característica esencial de este ensayo es la existencia de

seguro de la fase residual: el esfuerzo axial P se estabiliza alrededor de un valor R_r mientras que las deformaciones pueden ser importantes (R_r es la resistencia residual en compresión triaxial). Su valor depende de la presión de confinamiento Q . Mientras más alto sea este esfuerzo, más alta será la resistencia residual.

Este ensayo se efectúa sobre una probeta cilíndrica, de algunos centímetros de diámetro y de una decena de centímetros de altura. Esta probeta encapsulada lateralmente en una fina membrana cilíndrica de caucho es colocada en una cámara en plexiglás llena de un fluido (agua o aire).

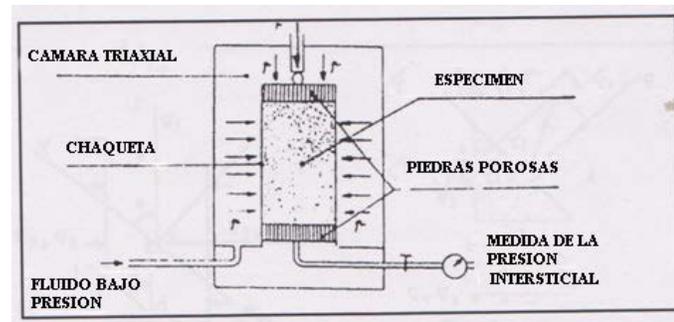


Fig. 23 Ensayo con la cámara triaxial

La sollicitación sobre la probeta comprende de una parte una presión lateral P ejercida por intermedio del fluido comprimido, de otra parte por una fuerza axial F aplicada con la ayuda de un pistón.

A los extremos de la probeta son colocadas piedras porosas que son unidas a un sistema permitiendo medir la presión intersticial u del agua en el caso de un suelo saturado y de efectuar o no un drenaje de la probeta.

El ensayo clásico consiste, después de haber aplicado la presión isotropa P , en aumentar progresivamente la fuerza axial F , hasta la rotura de la probeta. Esta es realizada por el hundimiento del pistón a velocidad constante con medidas sobre un comparador de fuerza axial F . El ensayo es entonces efectuado a velocidad de deformación axial constante.

Una de las características del ensayo triaxial es que, contrariamente al ensayo de cizallamiento, las direcciones de los esfuerzos principales se mantienen fijas.

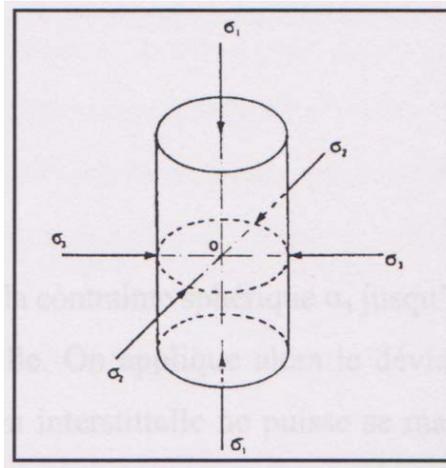


Fig. 24 Posición de los esfuerzos principales en el ensayo triaxial

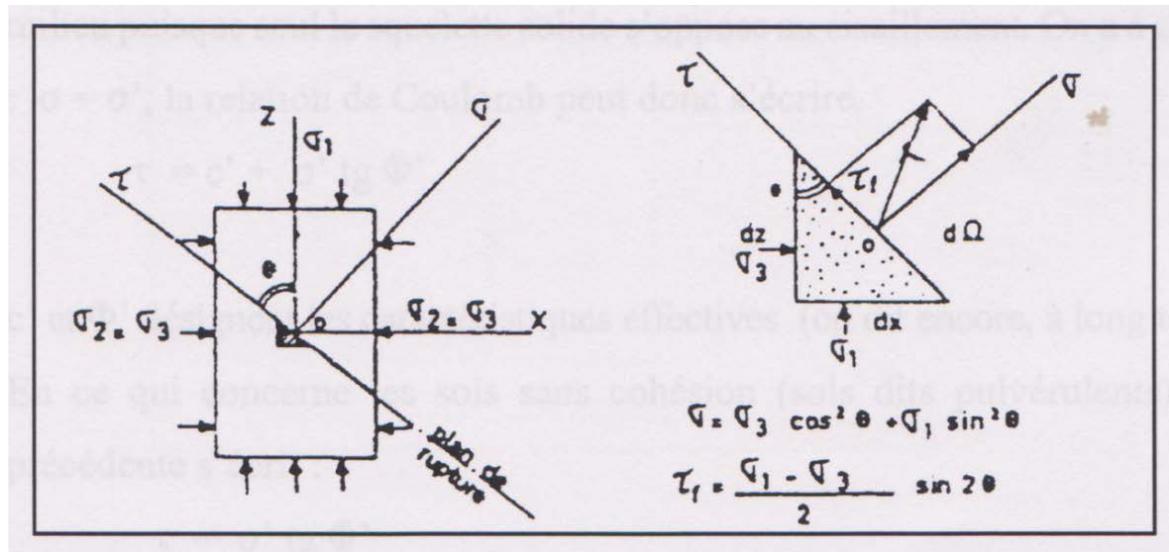


Fig. 25 Posición del plano de ruptura en un ensayo triaxial

En este tipo de ensayo, el resultado más importante concierne el aumento de la resistencia en función del confinamiento aplicado Q .

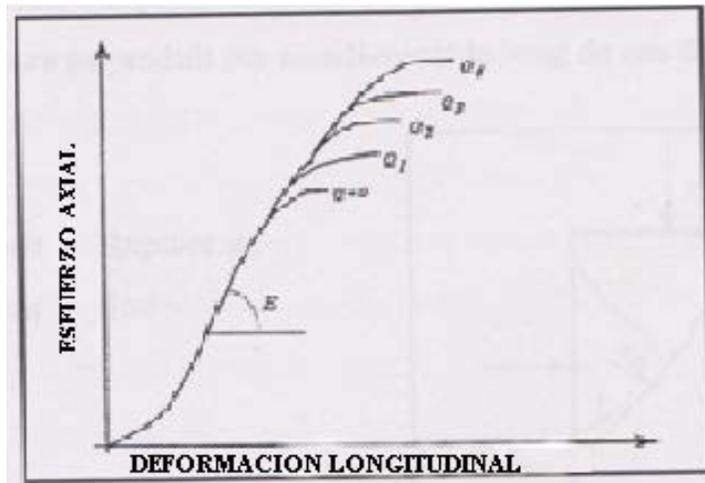


Fig. 26 Evolución de la resistencia en función del confinamiento

Si se establece el diagrama proporcionando la variación de la resistencia a la rotura R_R en función del confinamiento aplicado Q , se tiene una relación lineal bajo la forma: $R_R = R_C + K_P \times Q$

Dónde: R_C : es la resistencia en compresión simple
 K_p : es el coeficiente de confinamiento

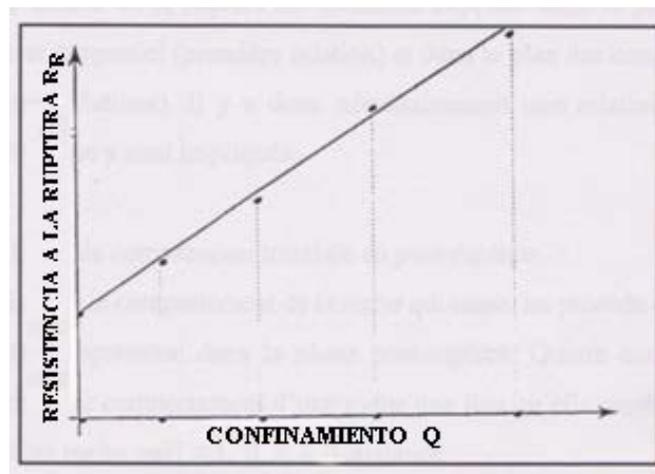


Fig. 27 Resistencia a la ruptura - confinamiento

Cuando se examina la rotura en compresión, se constata que ella se produce según facetas inclinadas. En efecto, la carga de compresión genera sobre dos facetas particulares esfuerzos (normal σ_n y de cizallamiento τ). Cuando el esfuerzo de cizallamiento τ sobre pasa la resistencia al cizallamiento τ_p dada por:

$$\tau_p = C + \sigma_n \operatorname{tg} \phi$$

La rotura se produce por cizallamiento a lo largo de estas dos facetas.

Esto quiere decir que las dos relaciones siguientes son equivalentes:

$$\tau_p = C + \sigma_n \operatorname{tg} \phi$$

$$R_R = R_C + K_P \times Q$$

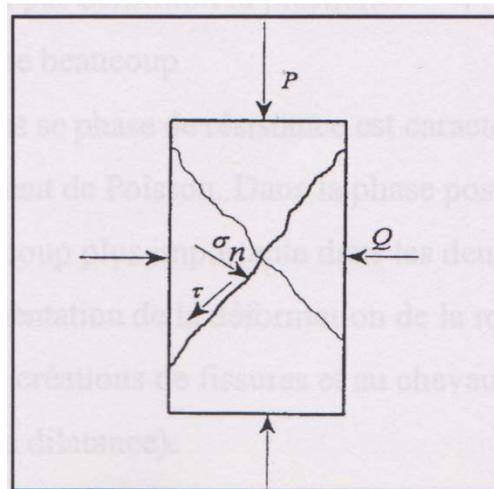


Fig. 28 Modo de ruptura en compresión

Este es el criterio de rotura de Coulomb expresado en el plano de esfuerzos normal y tangencial. (Primera relación) y en el plano de esfuerzos principales (segunda relación). Existe entonces una relación directa entre los parámetros que son implicados en el análisis de una ruptura. [9]

$$R_C = (2 C \cos \phi) / (1 - \operatorname{sen} \phi)$$

$$K_P = (1 + \operatorname{sen} \phi) / (1 - \operatorname{sen} \phi)$$



Fig. 29 Ensayo triaxial para un confinamiento de 0.5 bar

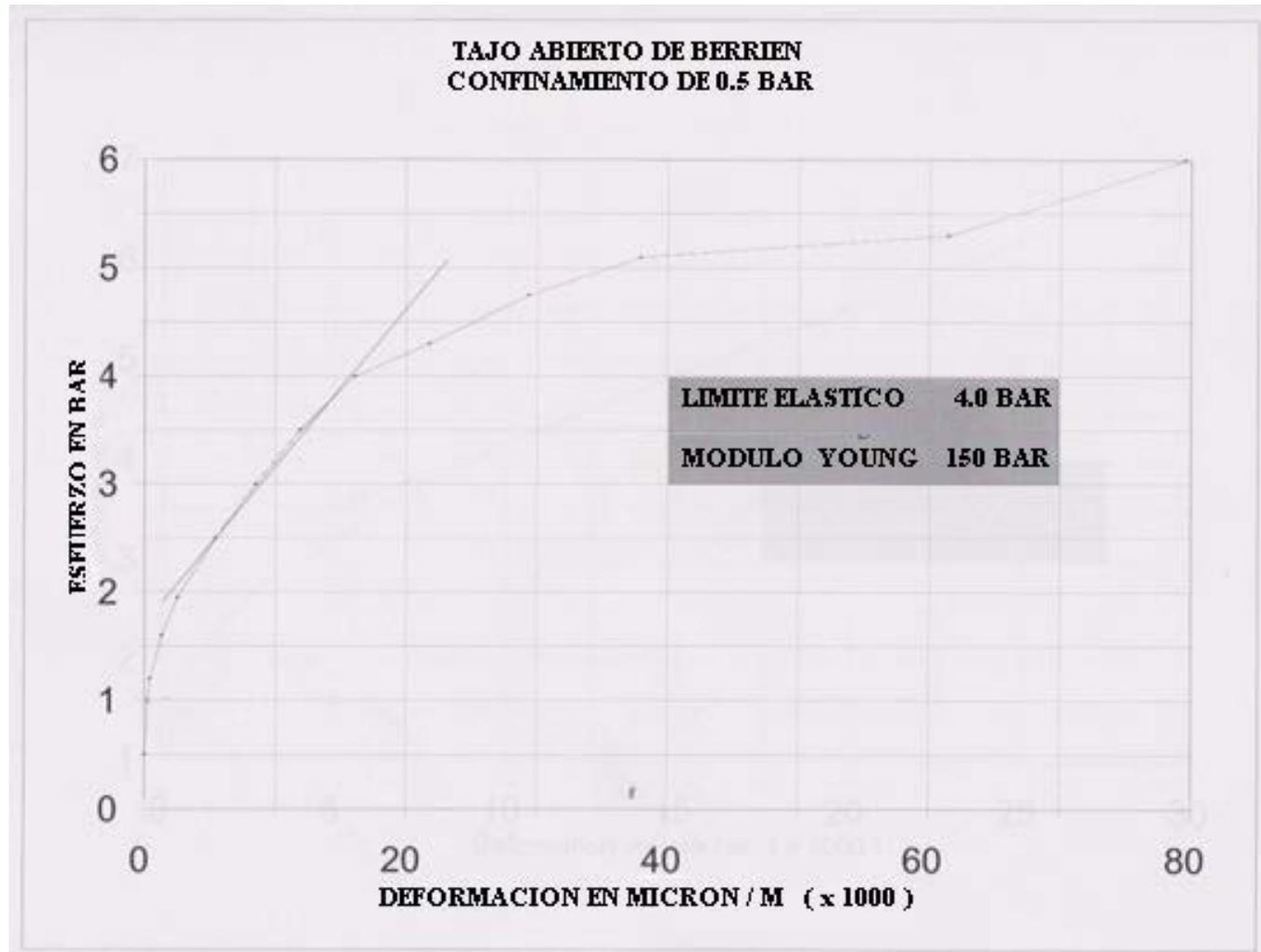


Fig. 30 Parámetros obtenidos para un confinamiento de 0.5 bar

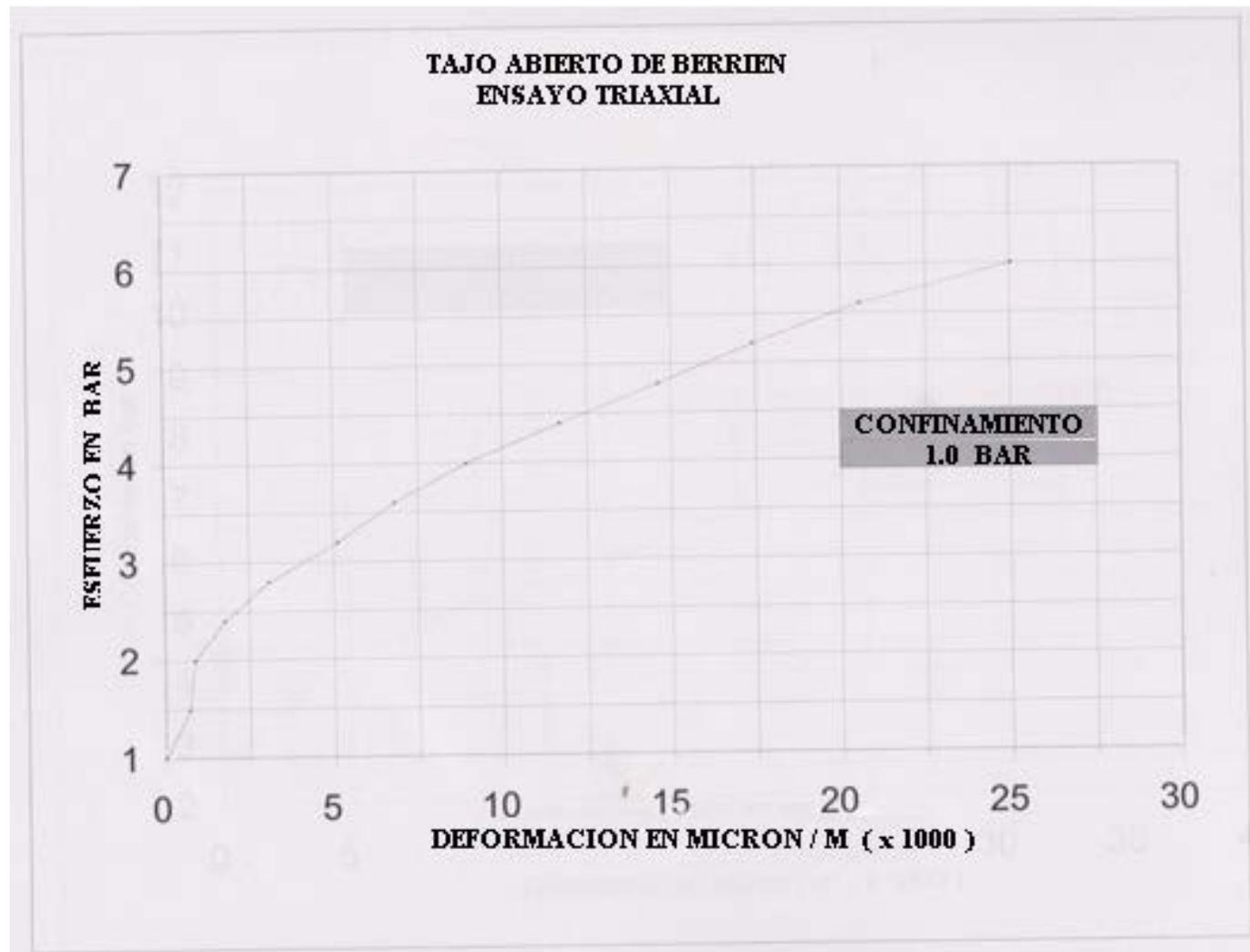


Fig. 31 Ensayo triaxial para un confinamiento de 1.0 bar

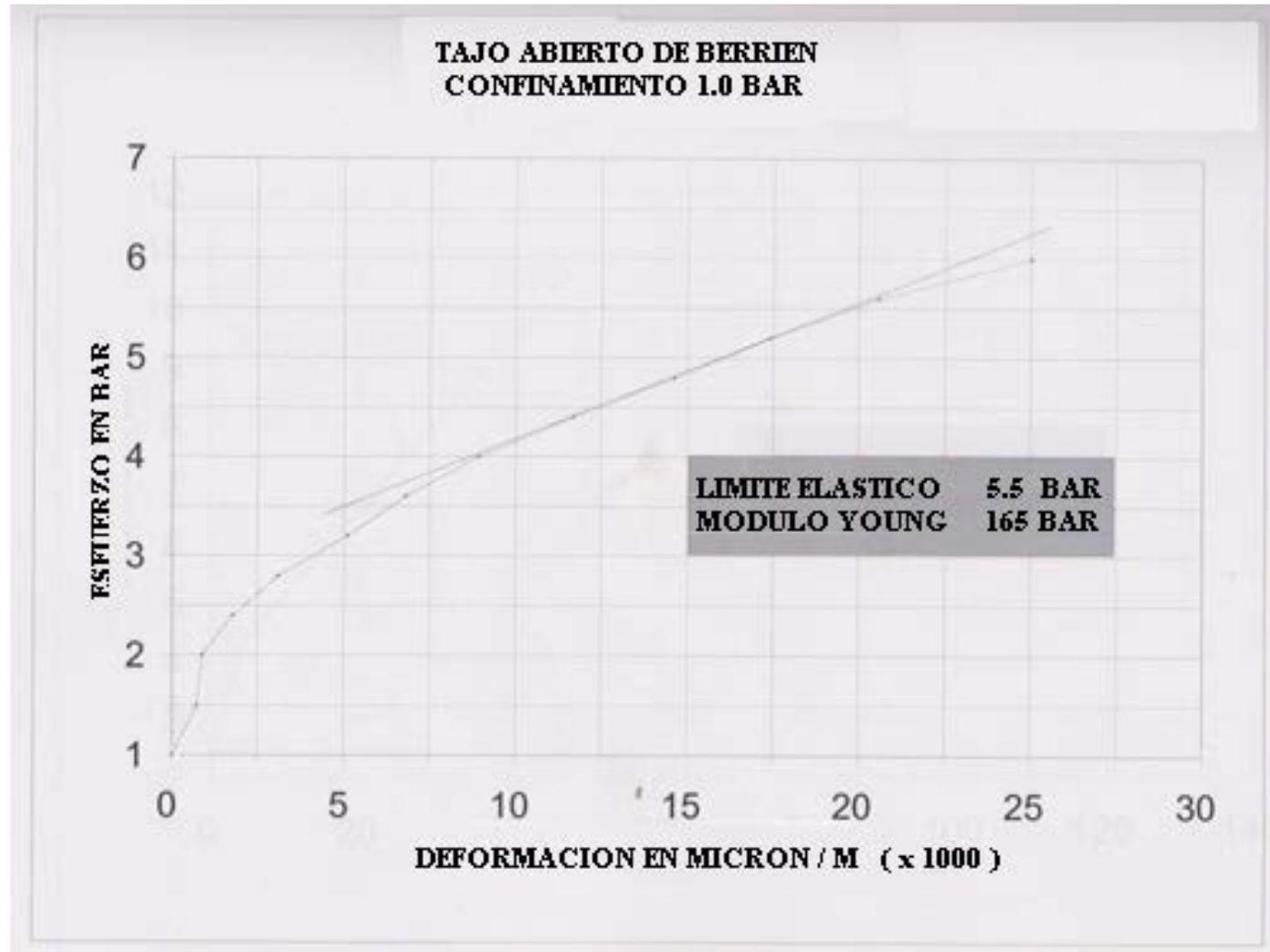


Fig. 32 Parámetros obtenidos para un confinamiento de 1.0 bar

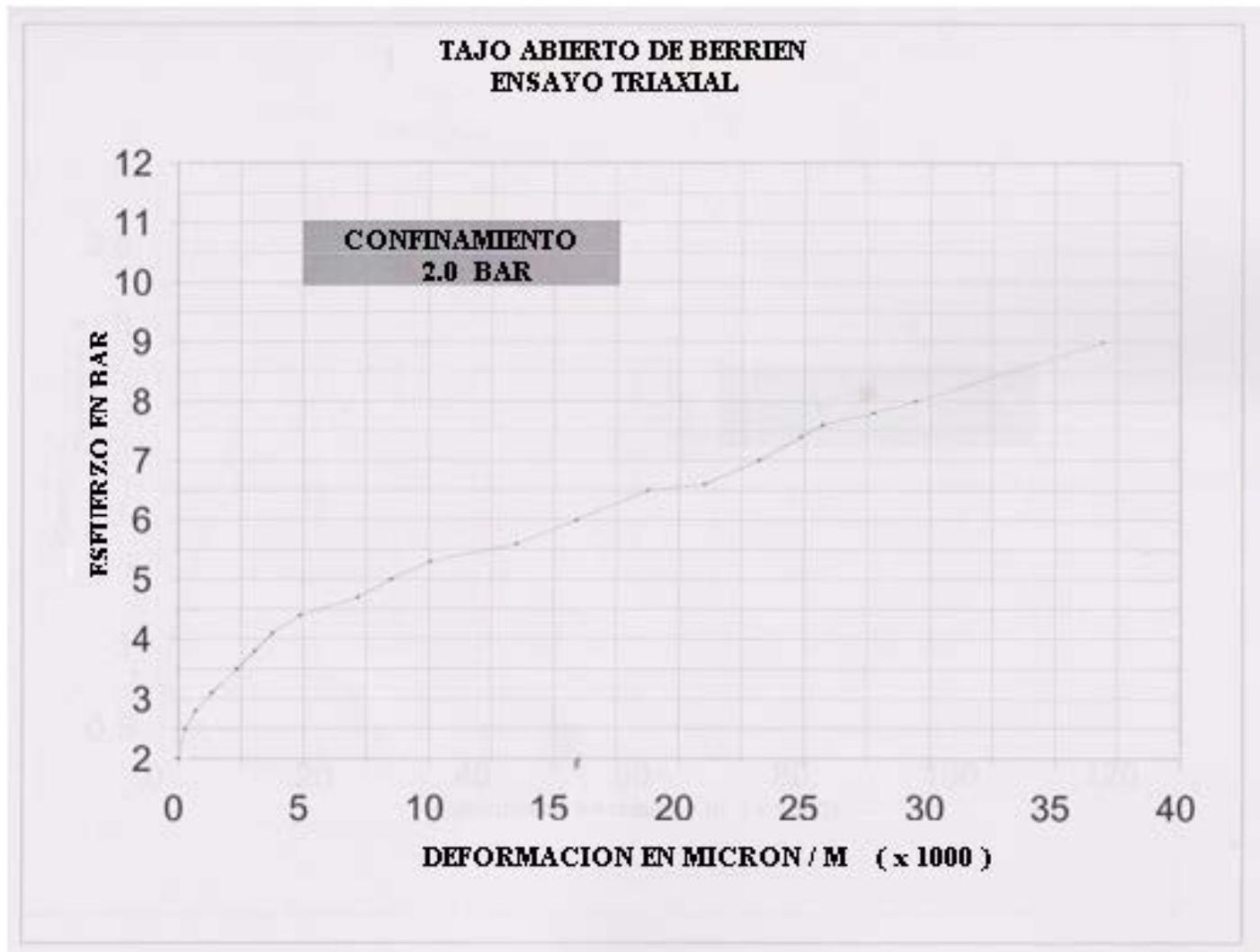


Fig. 33 Ensayo triaxial para un confinamiento de 2.0 bar

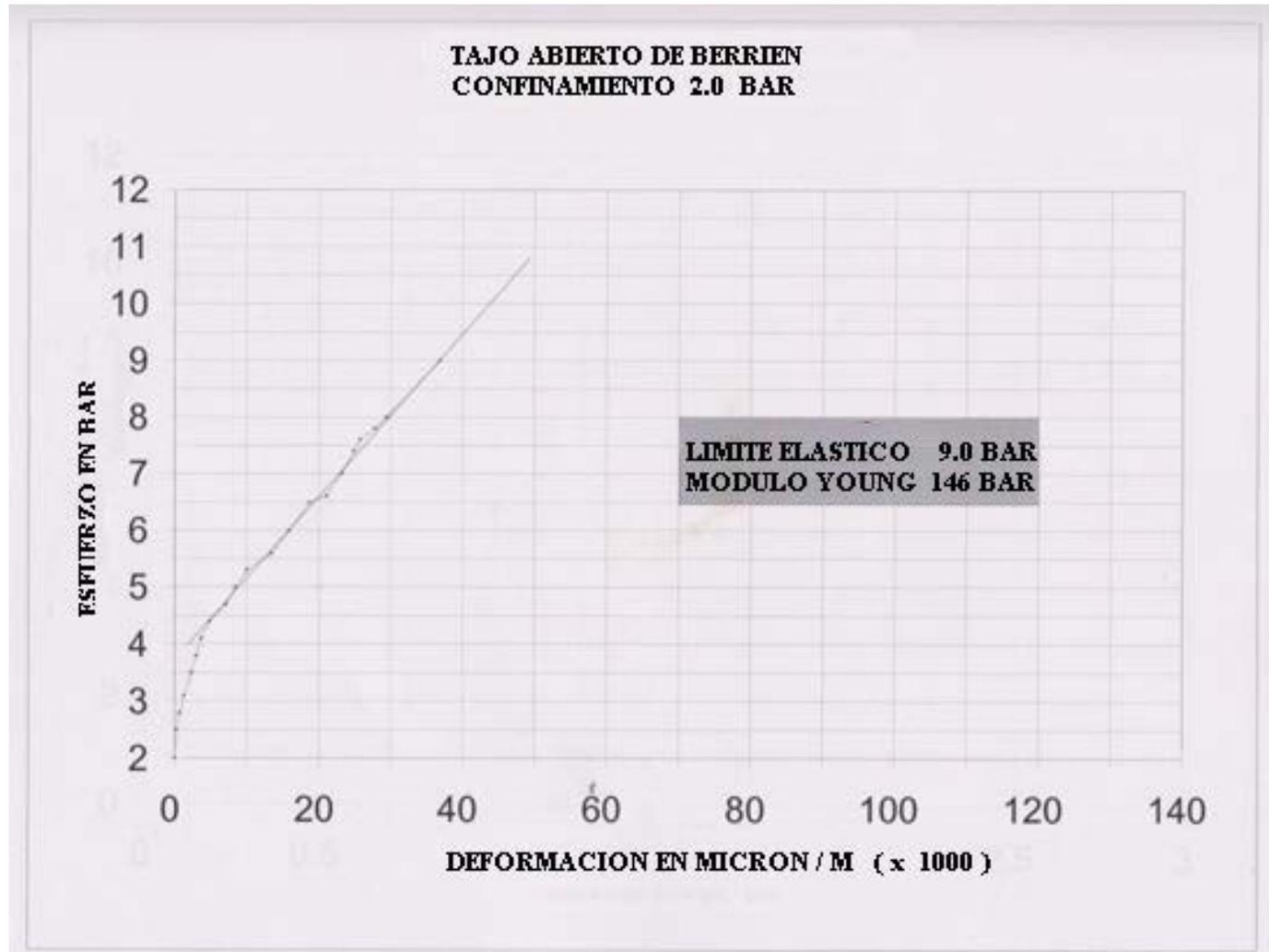


Fig. 34 Parámetros obtenidos para un confinamiento de 2.0 bar

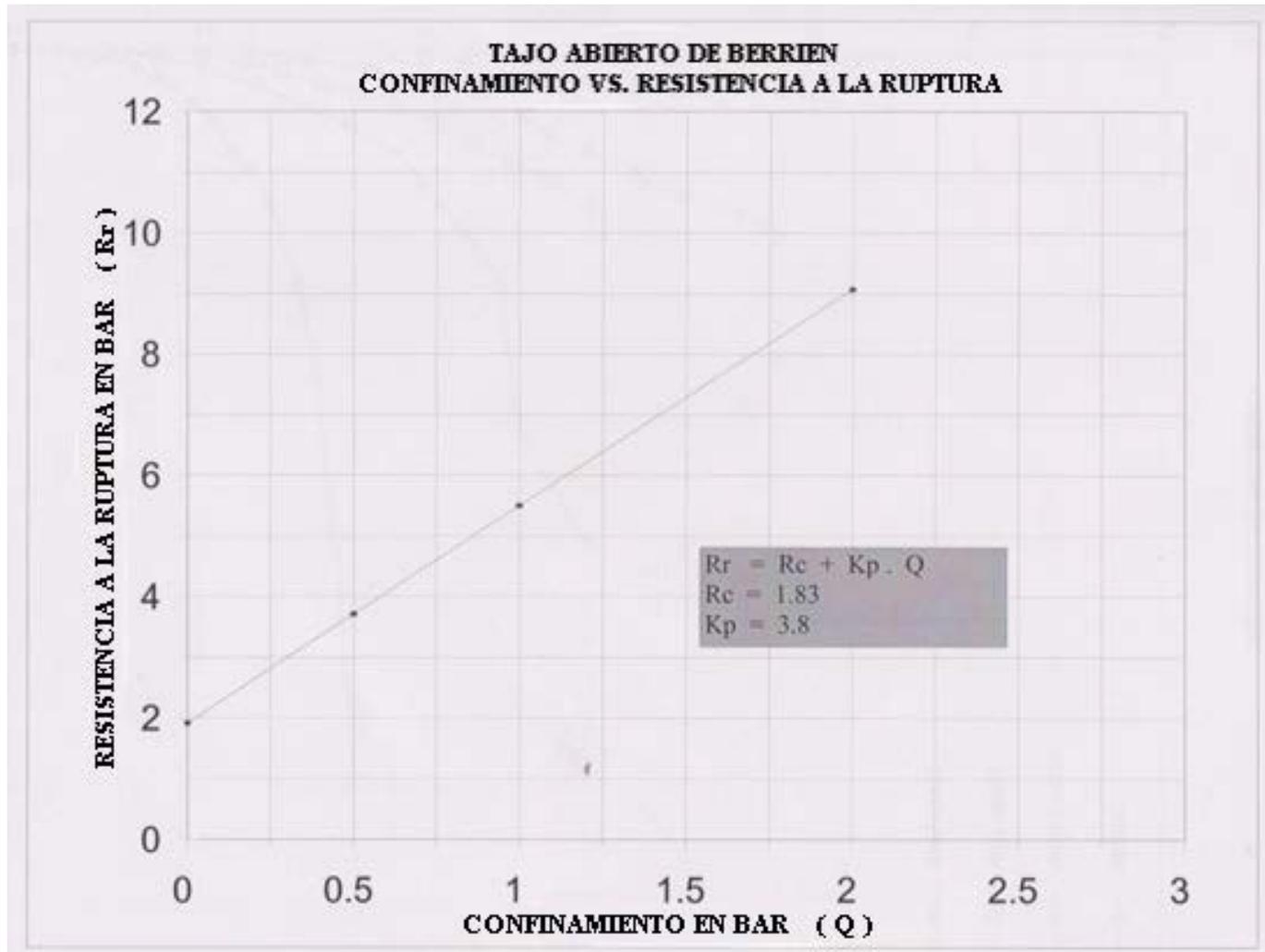


Fig. 35 Curva de regresión confinamiento Vs resistencia a la ruptura

Tabla 13
Parámetros obtenidos de los Ensayos de
laboratorio para el caolín

Testigo	Confinamiento Bar	Resist. A la Compresión Bar	Limite Elástico Bar	Modulo De Young Bar	mi
1	0	1.83	1.7	170	2.0
2	0.5	5.9	4	150	
3	1	6.1	5.5	165	
4	2	10	9	146	

Criterio de Coulomb

$$R_r = R_c + K_p \cdot Q$$

$$K_p = 3.8$$

$$R_c = 1.83 \text{ bar}$$

Aplicando el criterio de rotura de Coulomb y resolviendo las expresiones anteriores tenemos las relaciones siguientes, que nos permiten determinar el ángulo de fricción y la cohesión

$$K_p = \text{tg}^2 (\pi/4 + \Phi/2)$$

$$\rightarrow \Phi = 36^\circ$$

$$R_c = 2 C \text{tg} (\pi/4 + \Phi/2)$$

$$\rightarrow C = R_c / [2 C \text{tg} (\pi/4 + \Phi/2)]$$

$$C = 0.47 \text{ bar}$$

Hoek – Brown, por medio del parámetro (m_i) describe, para muestras intactas la relación no lineal entre el esfuerzo axial máximo que es soportado por la muestra σ_1 y el esfuerzo de confinamiento σ_3

σ_1 Esfuerzo principal mayor

σ_3 Esfuerzo principal menor

Esta constante se determina mediante el ensayo de compresión triaxial (criterio de falla de Hoek – Brown)

Ensayo de compresión triaxial en Post-rotura.

Con el fin de estudiar el comportamiento del material que se rompe, se procede en el laboratorio a ensayos de compresión en la fase de post-rotura. Cuatro caracteres importantes caracterizan el comportamiento de una roca una vez que ella se rompe:

- Una roca que se rompe pierde su resistencia

La mayor parte de rocas pierden su resistencia en la fase de post-rotura, se observa así una fase de caída de la resistencia más o menos rápida según el comportamiento de la roca (roca frágil, roca plástica) hasta alcanzar una fase residual caracterizada por una resistencia constante.

- En la fase de post-rotura, el comportamiento no es elástico.

Contrariamente a la fase de resistencia marcada por un comportamiento elástico lineal, el comportamiento de la roca en la fase de post-rotura no es reversible. Toda descarga es acompañada por la aparición de deformaciones permanentes, es por definición la plasticidad.

- Una roca que se rompe en esta fase (fase de post-rotura), se deforma considerablemente.

La deformación de la roca en su fase de resistencia es caracterizada por el módulo de Young y el coeficiente de Poisson. En la fase de post-rotura, la roca tiene una deformación mucho más importante en las dos direcciones axiales y transversales. El aumento de la deformación de la roca en la fase de post-rotura es debido a la creación de fisuras y al fenómeno de dilatación.

- El confinamiento aumenta la resistencia de una roca rota.
El confinamiento aumenta la resistencia (el coeficiente K_p solo depende de ϕ). De la misma razón cuando se confina una roca rota, se le aporta resistencia.

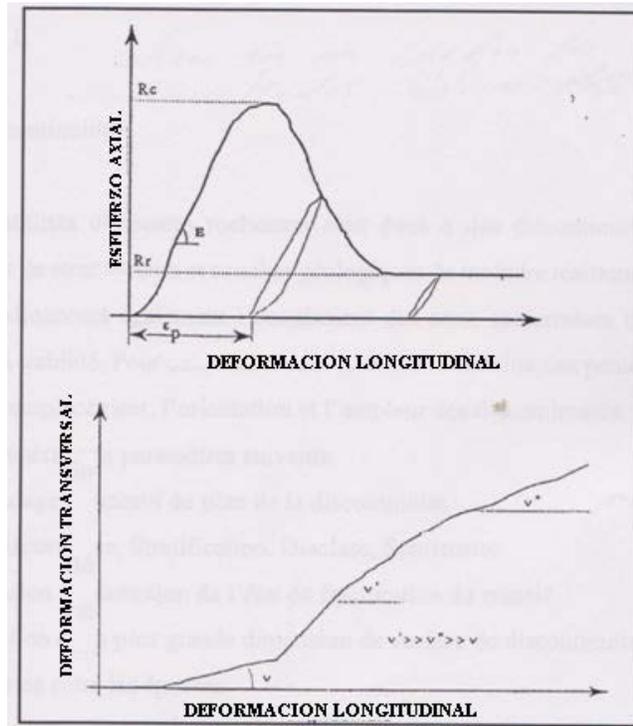


Fig. 36 Gráfico comportamiento de una roca en post-rotura

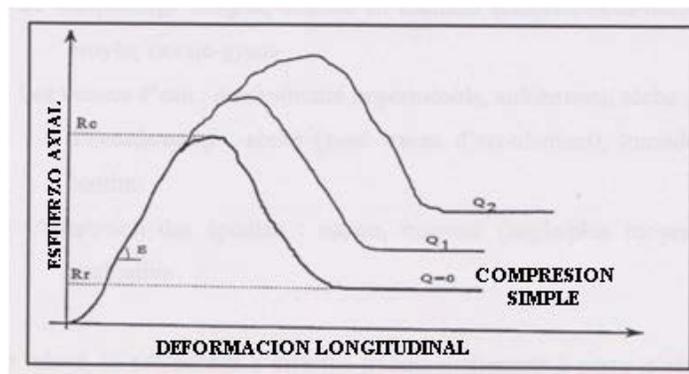


Fig. 37 Gráfico aumento de la resistencia residual con el confinamiento

En el presente trabajo se ha realizado, en los testigos (muestras) recolectados del tajo, los ensayos de compresión simple y triaxial con un confinamiento de 0.5, 1, 1.5, 2 bares (para el caolín). En la tabla 14, se muestran los resultados de los ensayos, obtenidos para las muestras de caolín, esquisto, cuarcita y granito.

Tabla 14
Parámetros obtenidos de los ensayos de laboratorio.

	Peso específico ρ		Resistencia a la compresión simple	Angulo de fricción Φ	Cohesión	Modulo de Young E	Poisson ν
	Kg/m ³	MN/m ³	MPa		MPa	MPa	
cuarcita	2,65	0.0265	180	40°	10	44,8	0.160
esquisto	2,8	0.0280	164	37°	12	36,8	0.110
caolín	1,72	0.0172	0.183	36°	0.047	15.78	0.056
granito	2,85	0.0285	142	50°	3.5	49,9	0.280

3.5.2 Comportamiento Mecánico de las Discontinuidades.

El comportamiento mecánico de una discontinuidad puede analizarse sometiendo un testigo conteniendo una discontinuidad sea a un ensayo de cizallamiento (ensayos de corte directo sobre la discontinuidad) o a un ensayo de compresión y con ensayos del tablero inclinable (tilt table test) realizados en testigos de perforación diamantina. La resistencia en ambos casos estará regida por los parámetros de ángulo de fricción y cohesión de los criterios de falla de Mohr-Coulomb. Es importante conocer las características de resistencia al corte de las discontinuidades, puesto que estas constituyen superficies de debilidad de la masa rocosa y planos potenciales de falla. En el presente estudio, los valores de los ángulos de fricción de las discontinuidades evaluadas están en el rango de 29° a 31° Cizallamiento de una discontinuidad.

El ensayo de cizallamiento de una discontinuidad es muy parecido al ensayo de cizallamiento sobre una roca sana. Consiste:

En aislar una discontinuidad en un testigo de roca

En someter este testigo a un esfuerzo normal N que permanece constante en todo el ensayo y a aplicar un esfuerzo T paralelo al plano de discontinuidad.

Se determina en función del esfuerzo T el desplazamiento relativo horizontal u y el desplazamiento relativo vertical v de los dos labios de la discontinuidad.

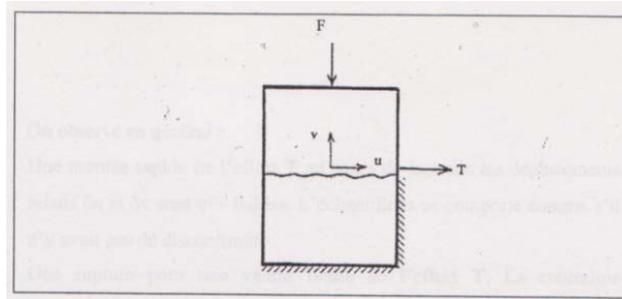


Fig. 38 Grafico

Principio del ensayo de cizallamiento

Este ensayo puede efectuarse en laboratorio o in situ, pero la realización es particularmente complicada.

El ensayo de cizallamiento es bastante delicado en realizar, pues no se debe degradar la unión en el curso de la preparación del ensayo. Una técnica frecuentemente utilizada es de reforzar provisionalmente la discontinuidad efectuando, antes de la toma del testigo, un empernado atravesando la junta.

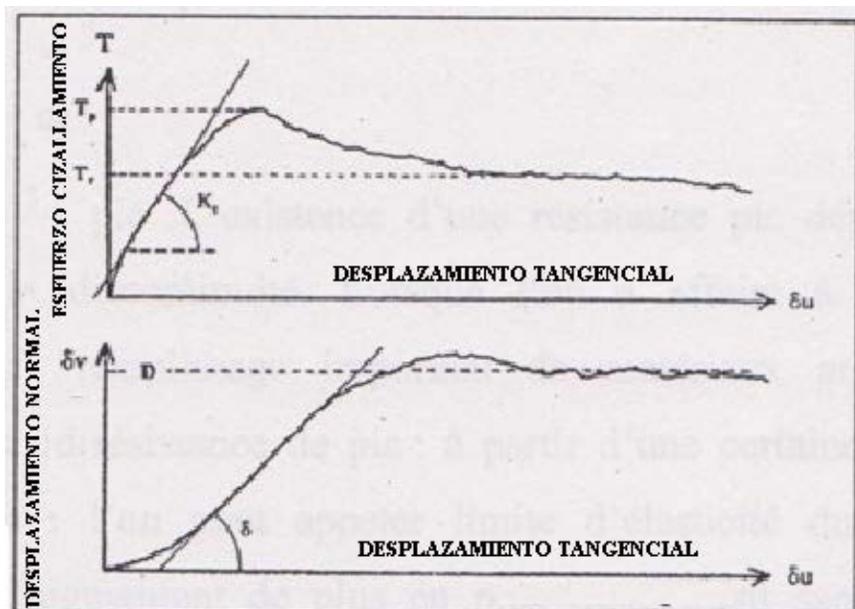


Fig. 39 Cizallamiento de una discontinuidad natural

La figura presenta las curvas típicas graficadas durante el cizallamiento de una discontinuidad natural, mostrando: en función del deslizamiento relativo de los dos labios de la junta, el esfuerzo de cizallamiento así como la separación de los dos labios.

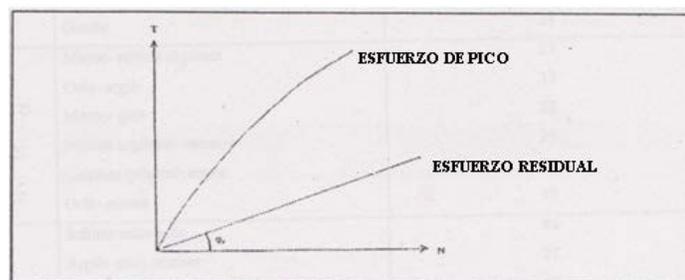
Se observa en general:

- un aumento rápido del esfuerzo **T** en el curso del cual los desplazamientos relativos δu y δv son muy pequeños. El testigo se comporta como si no tuviera discontinuidad.
- una rotura para un valor límite del esfuerzo **T**. El esfuerzo correspondiente es llamado la resistencia de pico. Este límite corresponde a la rotura de las irregularidades de la discontinuidad. Los dos labios de la fisura se separan notablemente el uno del otro.
- después de la rotura, el esfuerzo **T** se estabiliza. El valor del esfuerzo correspondiente es llamado la resistencia residual. La separación entre los dos labios se estabiliza igualmente.

Este ensayo permite definir los parámetros siguientes:

- a) La resistencia de pico. La existencia de una resistencia de pico depende de la rugosidad de la discontinuidad. Cuando se tienen juntas rellenas de material arcilloso, no se observa resistencia de pico: a partir de un cierto valor del esfuerzo **T** que puede llamarse límite elástico de la junta, las deformaciones aumentan rápidamente sin que se pueda definir una verdadera rotura.

La relación entre el esfuerzo **T** y el esfuerzo **N** está representado por la curva en el gráfico.



**Fig. 40 Grafico relación
Esfuerzo tangencial – esfuerzo normal**

- b) La resistencia residual. Ella caracteriza el frotamiento de las superficies en contacto más allá de la rotura. La relación entre el esfuerzo tangencial T y el esfuerzo normal N es lineal. La pendiente de la recta correspondiente define el ángulo de frotamiento residual ϕ_r . Este ángulo es una característica importante de la discontinuidad.
- c) La dilatancia. Se define, el ángulo de dilatancia como la relación entre el desplazamiento vertical y el desplazamiento horizontal en un punto de una discontinuidad durante el proceso de corte. El fenómeno de separación de los dos labios de la fisura (discontinuidad), es llamado así mismo dilatancia.

$$\delta = \arctg (\Delta_v / \Delta_h)$$

La dilatancia se caracteriza por:

- El ángulo δ definiendo la pendiente de la recta que se puede ajustar sobre la parte creciente de la curva mostrando v en función de u .
- El valor asintotico D .

La dilatancia, que acompaña las deformaciones de las discontinuidades juega un rol muy importante en el comportamiento del macizo rocoso. Provocando un aumento aparente del volumen del masivo, ella es el origen de las expansiones importantes que se observan en los medios fracturados sometidos a fuertes esfuerzos. El ángulo de dilatancia que se puede medir en laboratorio esta generalmente comprendido entre 5 y 25 grados.

Compresión de una discontinuidad

Cuando se somete una discontinuidad a un esfuerzo normal solo, los dos labios pueden aproximarse.

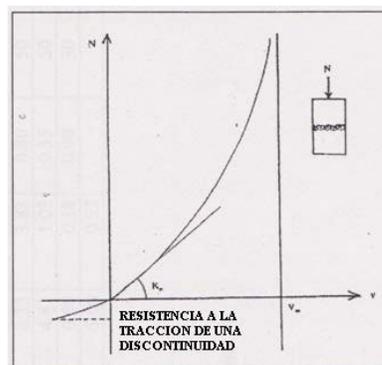


Fig. 41 Grafico compresión de una discontinuidad

El gráfico muestra el resultado de un ensayo en laboratorio, la amplitud de la aproximación depende de la abertura inicial de la fisura, de un eventual material de relleno así como de las asperezas.

Dos criterios permiten determinar el estado de equilibrio o de rotura de una discontinuidad:

- 1) Una condición de rotura por cizallamiento relacionando los esfuerzos normales y tangenciales. Esta condición es el criterio de rotura de Mohr – Coulomb.

$$\sigma_t \leq c + \sigma_n \operatorname{tg} \phi$$

Dónde: c y ϕ son respectivamente la cohesión y el ángulo de fricción del material de relleno de la discontinuidad.

- 2) Una condición de rotura por tracción relacionando el esfuerzo normal y la resistencia a la tracción de la discontinuidad.

Se considera igualmente la rigidez normal y tangencial de la discontinuidad, definidos como la fuerza necesaria para provocar el desplazamiento unitario de las superficies de la discontinuidad sobre una longitud unitaria.

- Rigidez Normal K_n , perpendicular al plano de la discontinuidad y caracterizan el mecanismo de desprendimiento de las superficies de la discontinuidad por tracción. Ella es inferior al módulo de Young (E) del material más débil, pero en minas profundas donde el esfuerzo normal es importante, ella puede suponerse igual a (E).

La rigidez normal es la pendiente de la curva esfuerzo normal versus desplazamiento normal.

- Rigidez Tangencial K_t , paralela al plano de la discontinuidad y caracterizan el deslizamiento por fricción. Ella puede ser igual al módulo de cizallamiento (G), dependiendo del coeficiente de Poisson y del módulo de Young del material más débil.

La rigidez tangencial está definida como la relación de la resistencia al cizallamiento sobre el desplazamiento tangencial correspondiente.

3.5.3 Propiedades de las Discontinuidades

Los macizos rocosos en la naturaleza presentan discontinuidades. Siendo necesario analizar el comportamiento mecánico de estas. El aspecto principal que condiciona el comportamiento mecánico de una discontinuidad natural, es su resistencia al corte, aunque también los parámetros de deformación, como la rigidez cortante y la normal, así como la dilatancia pueden marcar en parte su comportamiento.

La resistencia a tracción perpendicular a las paredes de una discontinuidad se puede considerar nula. Los factores principales que intervienen en la reacción de una discontinuidad frente a un esfuerzo cortante son:

Las tensiones normales al plano de corte

La rugosidad de las superficies de contacto

El grado de alteración y la resistencia de los labios de la discontinuidad

El espesor y tipo de relleno

La circulación de agua

El grado de saturación del relleno

La orientación del desplazamiento de corte

La velocidad del movimiento cortante

La amplitud del desplazamiento de corte

La existencia previa de desplazamientos cortantes.

Se debe tener en cuenta que las propiedades de una discontinuidad dependen de sus características, así se tiene discontinuidades lisas, sin relleno y cementadas; discontinuidades rugosas sin relleno y discontinuidades con relleno.

3.5.3.1 Ensayos de Cizallamiento

El ensayo de cizallamiento, consiste en provocar la rotura de una probeta de roca (cilíndrica o paralelepípedo) siguiendo un plano determinado, ejerciendo un esfuerzo tangencial creciente, manteniendo el esfuerzo normal aplicado constante a lo largo del ensayo.

El objetivo de los ensayos de cizallamiento, es de determinar la resistencia al cizallamiento bajo esfuerzo normal σ y de deducir el valor de las dos

constantes cohesión (C) y ángulo de fricción (ϕ), que representan las características mecánicas del medio. Inversamente sí: C y ϕ , son conocidos, se puede fácilmente con la aplicación de la ecuación de Coulomb, calcular la resistencia al cizallamiento τ . Notemos que, ella no es una constante propia del medio, porque depende de σ .

Equilibrio Límite.-

El equilibrio límite está definido por el paso del estado elástico, al estado plástico, él se manifiesta por la aparición de grandes deformaciones irreversibles, esto quiere decir en la práctica por la rotura. Este equilibrio límite, en la representación de Mohr, está definido por la ley de Coulomb.

$$\tau = C + \sigma_n \operatorname{tg}(\phi)$$

τ , es la resistencia al cizallamiento considerada para un esfuerzo normal σ aplicado

C, es la cohesión

ϕ , es el ángulo de fricción interno del medio.

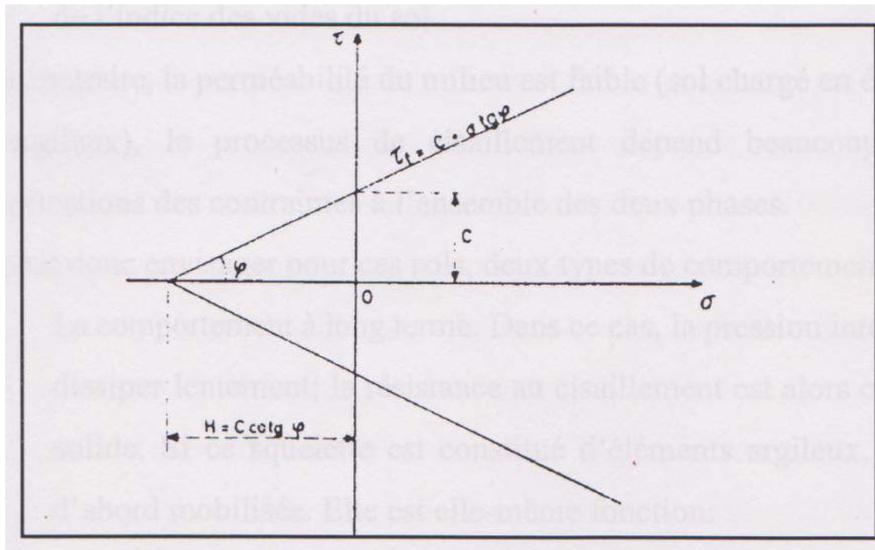


Fig. 42 Ley de Coulomb

Mecanismo de Rotura de un Suelo.

Examinemos los principales factores que intervienen en la rotura de un suelo.

En un suelo saturado, la aplicación de la carga es portada en un primer tiempo sobre el agua intersticial, luego progresivamente, ella se traslada sobre el esqueleto sólido del medio, la rapidez de este traslado es función de la permeabilidad del suelo considerado. Este traslado puede ser instantáneo para los suelos no componentes de elementos muy finos o arcillosos. En este caso la resistencia al cizallamiento del medio es esencialmente debida a la fricción de los granos, los unos sobre los otros. Ella depende:

- de la naturaleza y la forma de los granos
- de su disposición en referencia a las direcciones principales del campo de esfuerzos
- del índice de vacíos del suelo

Si al contrario, la permeabilidad del medio es poca (suelo cargado en elementos muy finos o arcillosos), el proceso de cizallamiento depende mucho de la velocidad, de aplicación de los esfuerzos al conjunto de las dos fases. Se puede entonces considerar para estos suelos dos tipos de comportamiento:

- Comportamiento a largo plazo, En este caso, la presión intersticial se puede disipar lentamente, la resistencia al cizallamiento es entonces la del esqueleto sólido. Si este esqueleto está constituido de elementos arcillosos, su cohesión es desde luego movilizada. Ella es función:

A.- De los enlaces físico- químicos de los elementos minerales que están en contacto sea directamente, o sea por intermedio del agua absorbida. Se puede además remarcar, que estos contactos son ellos mismos función del grado de consolidación del suelo, esto quiere decir del índice de vacíos que condiciona la distancia entre los elementos sólidos.

B.- De la orientación de las partículas sólidas, en relación a la orientación del campo de esfuerzos.

La parte de la resistencia al cizallamiento debida a la cohesión, es movilizadada por pequeños desplazamientos, luego es enseguida eliminada. Solo subsiste entonces la resistencia al cizallamiento que encuentra su origen en el rozamiento de las partículas entre ellas. En rotura lenta se asiste a una re-orientación progresiva de las partículas arcillosas a lo largo del ensayo.

- Comportamiento a corto plazo, La aplicación de los esfuerzos, conduce a una rotura instantánea, la resistencia al cizallamiento del suelo, en este caso, está condicionada por el comportamiento del conjunto sólido/agua intersticial.

La máquina de cizallamiento utilizada en el laboratorio (Escuela de Minas de París), es de tipo Casagrande. Dos cajas cubren los extremos de la probeta a ensayar (testigo), dejando libre una zona central de pequeño espesor. El esfuerzo normal es aplicado por plaquetas de 25 Kg., que se apilan sobre un platillo adherido a la caja superior que constituye la parte móvil del dispositivo.

El esfuerzo normal, no es otro que la relación de este esfuerzo con la sección cizallada de la probeta.

El esfuerzo de cizallamiento, es determinado con la ayuda de una gata hidráulica que actúa horizontalmente sobre la caja móvil. Para determinar el esfuerzo de cizallamiento, se transforma la presión leída sobre el manómetro de la gata hidráulica en fuerza a partir de la curva de contraste de la gata hidráulica, luego en esfuerzo dividiendo la fuerza obtenida, por la sección cizallada de la probeta.

En el transcurso del ensayo, el esfuerzo de cizallamiento aumenta progresivamente hasta alcanzar un valor máximo que corresponde a la rotura de la probeta en cizallamiento (esfuerzo de cizallamiento de pic T_p), luego el merma rápidamente para alcanzar un punto con un

esfuerzo constante correspondiente al cizallamiento de la fisura obtenida (esfuerzo de cizallamiento residual).

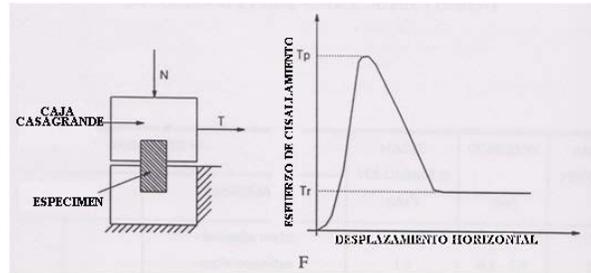


Fig. 43 Principio del ensayo de cizallamiento.

Efectuando varios ensayos con valores de carga normal diferentes, se puede determinar la cohesión \$C\$ y el ángulo de fricción interna \$\phi\$ para la fase de pico y el ángulo de fricción interna para la fase residual. Apoyándose sobre el criterio de ruptura de Mohr – Columb:

$$\tau = C + \sigma_n \operatorname{tg} (\phi)$$

Se procede a una regresión lineal por el método de mínimos cuadrados de los resultados obtenidos: la pendiente de la recta proporciona la tangente del ángulo de fricción, y la intersección con el eje de las abscisas, la cohesión. En la fase residual, la cohesión puede ser nula y la relación es entonces:

$$\tau = \sigma_n \operatorname{tg} (\phi)$$

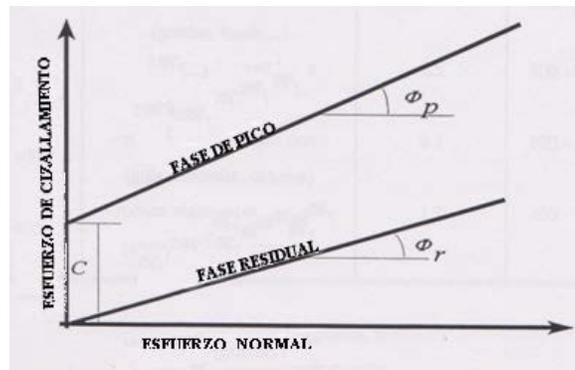


Fig. 44 Criterio de Coulomb y parámetros mecánicos asociados.

Si se talla un bloque de una discontinuidad totalmente lisa, sin relleno y cementada; y se realiza un ensayo de corte, con tensión normal constante y se representa la evolución de la tensión cortante aplicada y del desplazamiento cortante, se obtendrá una grafica como se muestra a continuación

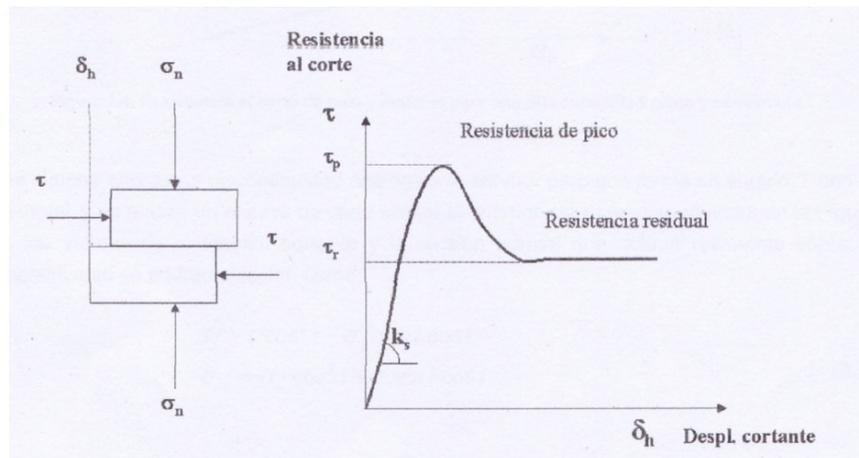


Fig. 45 Ensayo de corte y respuesta clásica de una discontinuidad plana

Como se puede apreciar al comenzar a aplicarse la tensión de corte, se ira produciendo un ligero desplazamiento cortante (elástico) que ira aumentando de manera directamente proporcional a la tension hasta alcanzar un valor maximo de tension cortante, que se denomina resistencia al corte de pico de la discontinuidad, τ_p para la tension normal aplicada. La pendiente de esta linea sera la denominada rigides cortante.

Una vez alcanzado el maximo, la respuesta tensional de la discontinuidad ira disminuyendo hasta alcanzar un valor minimo en el que se produce el deslizamiento indefinido del bloque superior de la discontinuidad sobre el inferior. Este valor de tension sera la denominada resistencia de corte residual de la discontinuidad τ_r para la tension normal aplicada.

Si se realizan varios ensayos de corte de este tipo para distintos niveles de tension normal aplicada, en general se podran representar los resultados de resistencia de corte de pico y residual en ejes tension cortante frente a tension normal obteniendose los graficos mostrados a continuacion.

La resistencia al corte de pico de la discontinuidad se puede expresar como:

$$\tau_p = c_p + \sigma_n \operatorname{tg} \phi_p$$

Mientras que la resistencia al corte residual se representara por la siguiente expresion:

$$\tau_r = \sigma_n \operatorname{tg} \phi_r$$

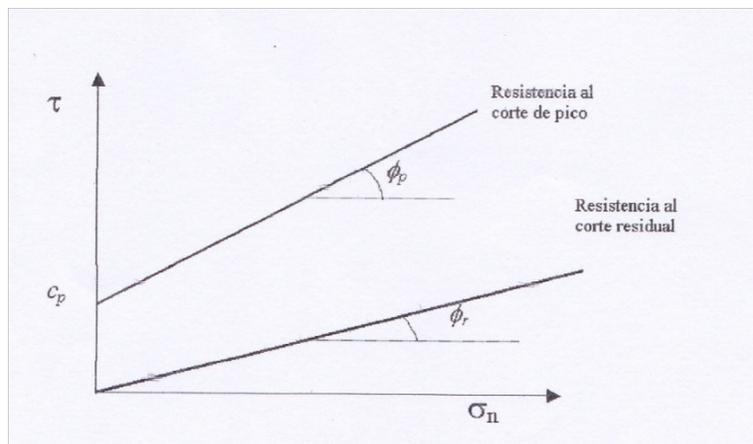


Fig. 46 Resistencia al corte de pico y residual para una discontinuidad plana y cementada

Como se observa la cohesion sera nula, ya que una vez superada la resistencia de pico se pierde el efecto cohesivo del material cementante.

Si, se tiene una discontinuidad que forma un angulo (i) con la horizontal y se realiza un ensayo de corte similar al anterior, los valores de la tension de cortante y la tension normal que actuan sobre la discontinuidad se podran expresar como:

$$\tau_i = \tau \cos^2(i) - \sigma_n \operatorname{sen}(i) \cos(i)$$

$$\sigma_{ni} = \sigma_n \cos^2(i) + \tau \operatorname{sen}(i) \cos(i)$$

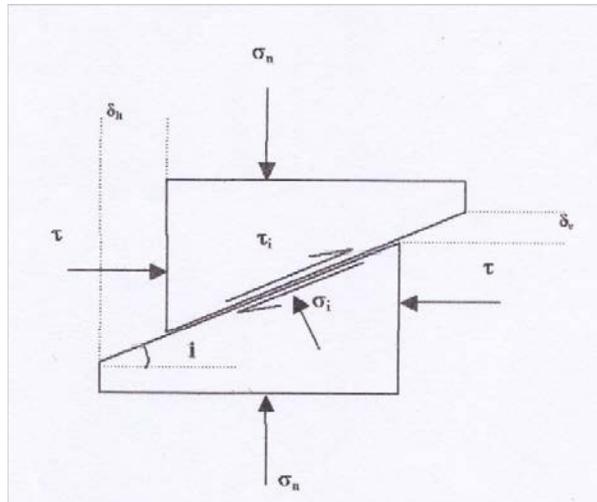


Fig. 47 Ensayo de corte sobre una discontinuidad inclinada

Teniendo en cuenta que para una discontinuidad no cementada se tendra:

$$\tau_i = \sigma_{ni} \operatorname{tg} \varphi$$

Se deduce que la resistencia al corte de este ensayo sobre una discontinuidad no cementada e inclinada se puede expresar como:

$$\tau = \sigma_n \operatorname{tg} (\varphi + i)$$

Dicho de otra manera, la inclinacion de la junta con respecto a la fuerza de corte aplicada produce un aumento (o disminucion) en el angulo de friccion igual al angulo de dicha inclinacion.

Si se tuviera una discontinuidad rugosa con asperazas totalmente regulares y con un angulo de inclinacion (i), como se muestra en la figura.

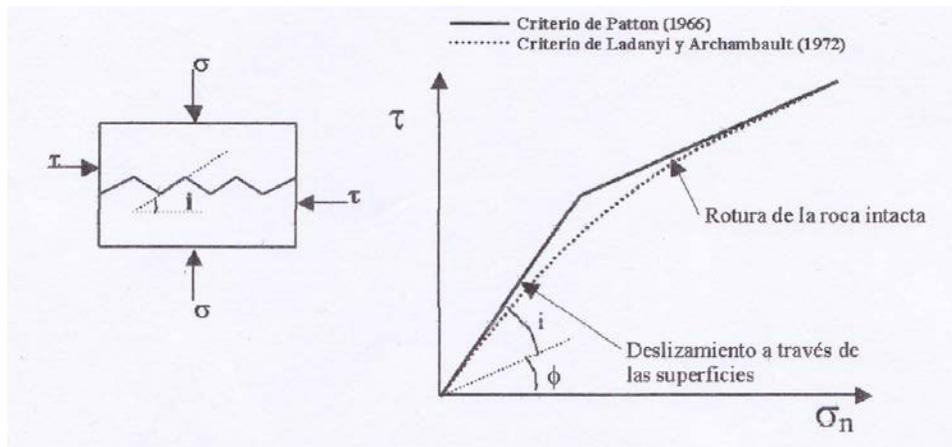


Fig. 48 Ensayo de corte sobre una discontinuidad rugosa

Resulta entonces facil comprender que el ensayo es inicialmente equivalente al de la discontinuidad inclinada, por lo que el efecto que produce una rugosidad regular sobre la resistencia al corte de una discontinuidad es un aumento del angulo de friccion en una cantidad igual a (i). Esto hara ademas que el desplazamiento tenga una componente normal y no solo cortante, efecto asociado con la dilatancia de la discontinuidad.

Patton (1966) [3], realizo ensayos de corte comprobando que efectivamente a bajas tensiones normales las resistencias al corte de estas muestras se puede expresar como: $\tau = \sigma_n \operatorname{tg}(\varphi_b + i)$

donde φ_b es el angulo de friccion basico de la superficie lisa y sin meteorizar.

Para tensiones normales mas elevadas, la resistencia del material intacto sera alcanzada y los dientes de sierra tenderan a romperse, dando lugar a un coportamiento resistente mas relacionado con la resistencia del material rocoso intacto que con la de las superficies.

Las discontinuidades son generalmente rugosas, siendo estas muy irregulares, Barton [3], desde 1970 a 1990 analizo en detalle el comportamiento resistente pico de juntas rugosas naturales sin relleno y propuso que la ecuacion que describe dicho comportamiento se puede expresar de la siguiente forma:

$$\tau = \sigma_n \operatorname{tg}(\varphi_b + \operatorname{JRC} \log_{10}(\operatorname{JCS} / \sigma_n))$$

Donde:

JRC es el coeficiente de rugosidad de la junta

JCS es la resistencia a compresion simple de los labios de la discontinuidad.

El angulo de friccion basico φ_b , se utiliza en el caso de que la superficie no esta meteorizada ni humeda: si esto no ocurre asi, habra que sustituir φ_b por φ_r que es el angulo de friccion residual y que se puede calcular según proponen Barton y Choubey (1977) [3], mediante la expresion:

$$\varphi_r = (\varphi_r - 20^\circ) + 20 (r/R)$$

Donde:

r es el rebote del martillo Schmidt o esclerometro en superficies humedas y meteorizadas, tal y como se suelen encontrar normalmente en campo

R es el rebote del martillo Schmidt en superficies lisas no alteradas de la misma roca.

El angulo basico de friccion esta tabulado para distintos tipos de roca mostrado en la tabla siguiente y suele variar de entre 25° a 30° para rocas sedimentarias a entre 30° y 35° para rocas metamorficas e igneas. Tambien se puede obtener mediante ensayos de inclinacion con testigos o tilt tests, y con ensayos de corte directo en laboratorio sobre superficies de rocas sanas, lisas y secas.

Tabla 15
Angulo de fricción básico para varias rocas a partir de referencias bibliográficas

TIPO DE ROCA	ESTADO DE HUMEDAD	ÁNGULO DE FRICCIÓN BÁSICO ϕ	REFERENCIA
A. ROCAS SEDIMENTARIAS:			
- Arenisca	Seco	26 – 35	Patton, 1966
- Arenisca	Húmedo	25 – 33	Patton, 1966
- Arenisca	Húmedo	29	Ripley & Lee, 1962
- Arenisca	Seco	31 – 33	Krsmanovic, 1967
- Arenisca	Seco	32 – 34	Coulson, 1962
- Arenisca	Húmedo	31 – 34	Coulson, 1962
- Arenisca	Húmedo	33	Richards, 1975
- Pizarra	Húmedo	27	Ripley & Lee, 1962
- Limolita	Húmedo	31	Ripley & Lee, 1962
- Limolita	Seco	31 – 33	Coulson, 1962
- Limolita	Húmedo	27 – 31	Coulson, 1962
- Conglomerado	Seco	35	Krsmanovic, 1967
- Creta	Húmedo	30	Hurchinson, 1972
- Caliza	Seco	31 – 37	Coulson, 1962
- Caliza	Húmedo	27 - 35	Coulson, 1962
B. ROCAS IGNEAS:			
- Basalto	Seco	35 – 38	Coulson, 1962
- Basalto	Húmedo	31 – 36	Coulson, 1962
- Granito de grano fino	Seco	31 – 35	Coulson, 1962
- Granito de grano fino	Húmedo	29 – 31	Coulson, 1962
- Granito de grano grueso	Seco	31 – 35	Coulson, 1962
- Granito de grano grueso	Húmedo	31 – 33	Coulson, 1962
- Pórfido	Seco	31	Barton, 1971
- Pórfido	Húmedo	31	Barton, 1971
- Dolerita	Seco	36	Richards, 1975
- Dolerita	Húmedo	32	Richards, 1975
C. ROCAS METAMÓRFICAS:			
- Anfibolita	Seco	32	Wallace et al., 1970
- Gneis	Seco	26 – 29	Coulson, 1962
- Gneis	Húmedo	23 – 26	Coulson, 1962
- Esquisto	Seco	25 – 30	Barton, 1971
- Esquisto	Seco	30	Richards, 1975
- Esquisto	Húmedo	21	Richards, 1975

El índice de rugosidad de la junta o JRC se puede obtener de una serie de perfiles normalizados que propusieron Barton y Choubey.

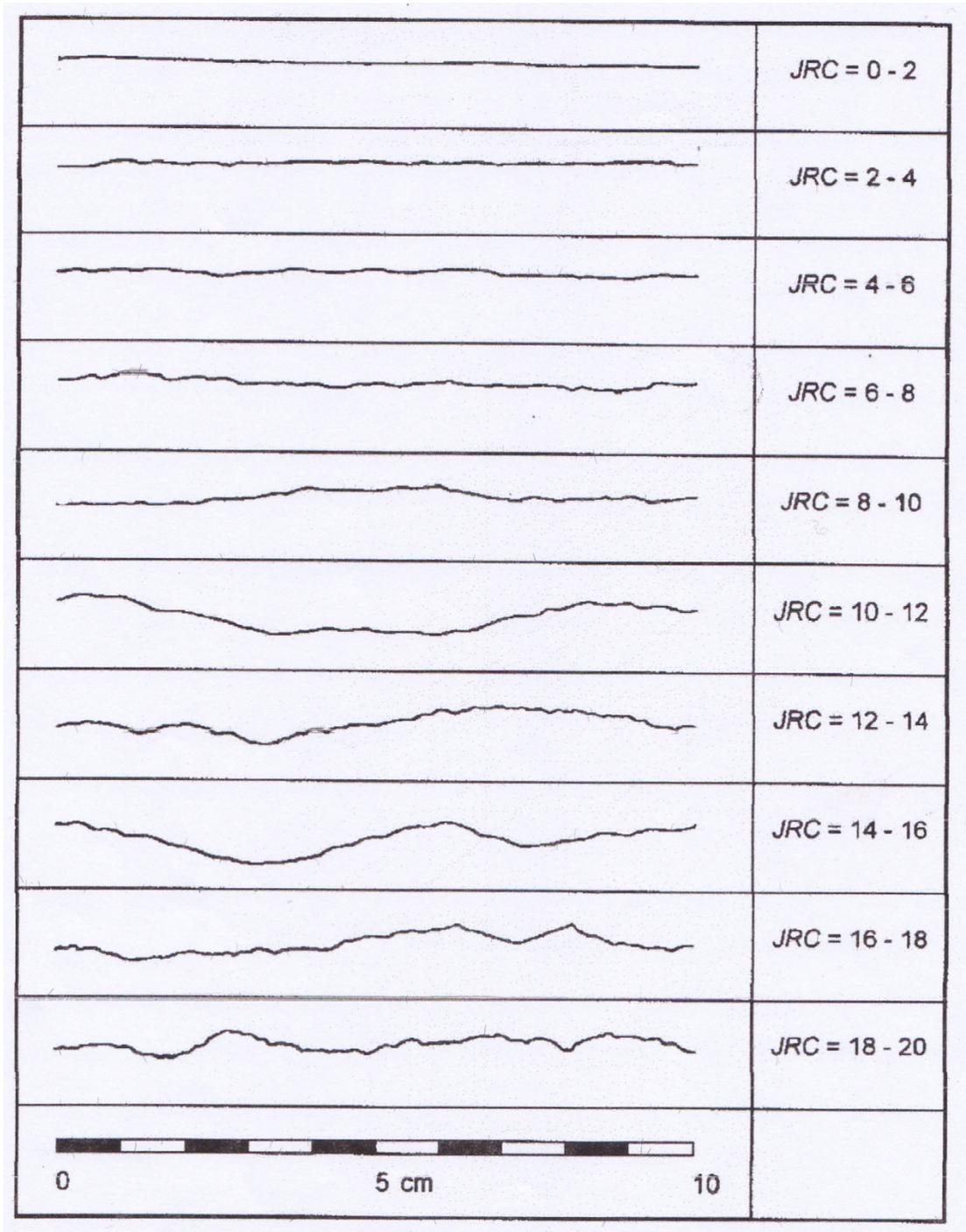


Fig. 49 JRC de Perfiles normalizados que propusieron Barton y Choubey (1977) [3]

Barton (1982) publico un metodo alternativo para estimar el indice de rugosidad de una junta, JRC, a partir de medidas de amplitud de las asperezas, (para lo cual resulta adecuado utilizar el denominado peine de Barton) y de la longitud de la junta; con estos datos y entrando en el abaco mostrado a continuacion, se obtendra el valor de JRC. Este abaco se puede utilizar en conjunto con el peine de Barton que permite ver la rugosidad para hasta 30 cm de discontinuidad.

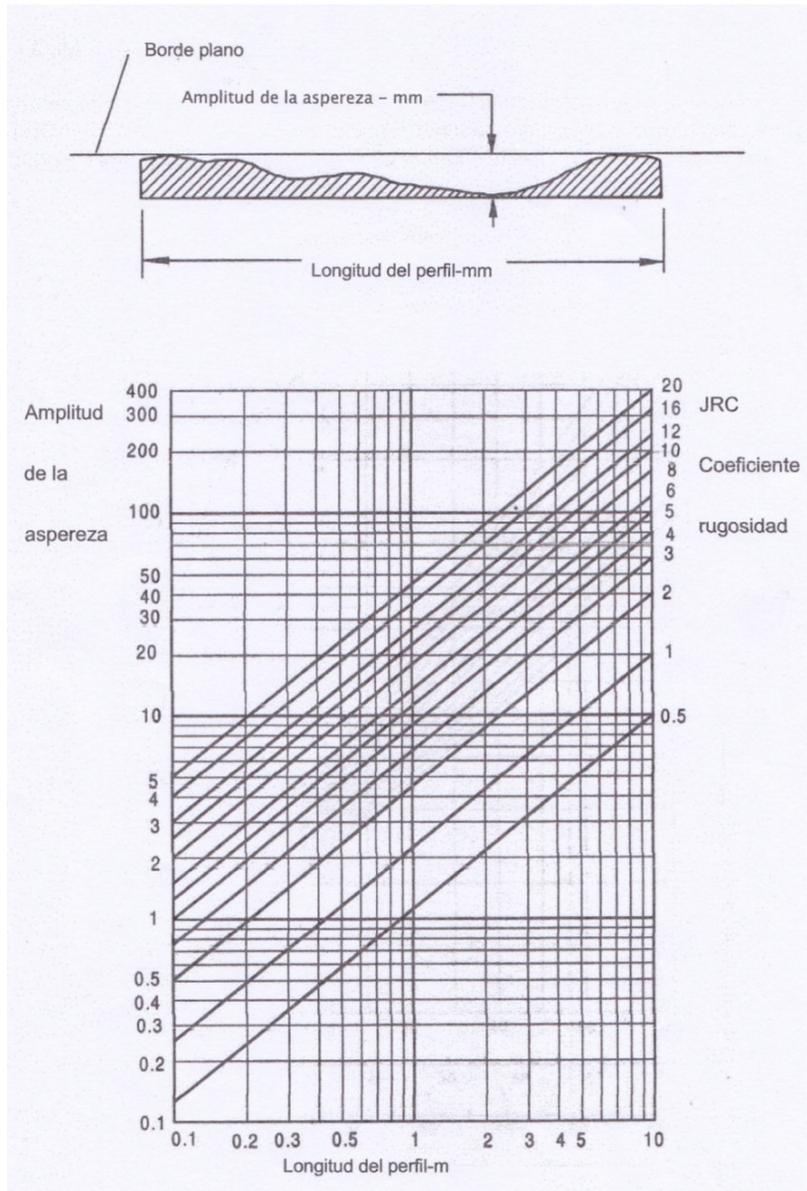


Fig. 50 Metodo alternativo de Barton para calcular el JRC

En 1987 Barton publico una tabla que relaciona el indice Jr, que se utiliza en el sistema de clasificacion Q, con el valor de JRC.

Descripción	Perfil	J _r	JRC 200mm	JRC 1 m
Rugosa		4	20	11
Lisa				
Pulida				
Escalonada				
Rugosa		3	14	9
Lisa				
Pulida				
Ondulada				
Rugosa		1.5	2.5	2.3
Lisa				
Pulida				
Plana				
		0.5	0.5	0.4

Fig. 51 Metodo alternativo de Barton (1987) para calcular el JRC, correlacionado con el índice de alteración y rugosidad Jr de la clasificaciomm Q de Barton

Barton y Bandis (1990) tambien señalan que el JRC se puede estimar a partir de ensayos de inclinacion de campo o tilt tests. En estos ensayos de inclinacion se toman dos bloques de roca asociados a los labios de una discontinuidad y se van inclinando lentamente hasta que el bloque superior desliza sobre el inferior. Esto ocurrira para un determinado angulo de inclinacion al que denominaremos α . El valor del JRC se pude estimar a partir de este valor mediante la siguiente expresion:

$$JRC = (\alpha - \phi_b) / \log_{10} (JCS / \sigma_n)$$

La resistencia a compresion simple de los labios de la discontinuidad o JCS se puede obtener mediante la aplicaci3n del martillo de Schmidt tipo L sobre la discontinuidad y utilizando el abaco siguiente, propuesto por Miller (1966). Este aparato consiste basicamente en un vastago que lleva conectado un muelle. Se coloca el vastago sobre la roca y se introduce en el martillo

empujando este contra la roca lo que da lugar a que se alcance energía en un muelle que se libera automáticamente cuando esta energía elástica alcanza un cierto nivel y lanza una masa contra el vastago. La altura que alcanza al rebotar, se mide en una escala graduada de 0 a 60 y es directamente proporcional a la dureza y por lo tanto a la resistencia a compresión simple de las superficie de roca.

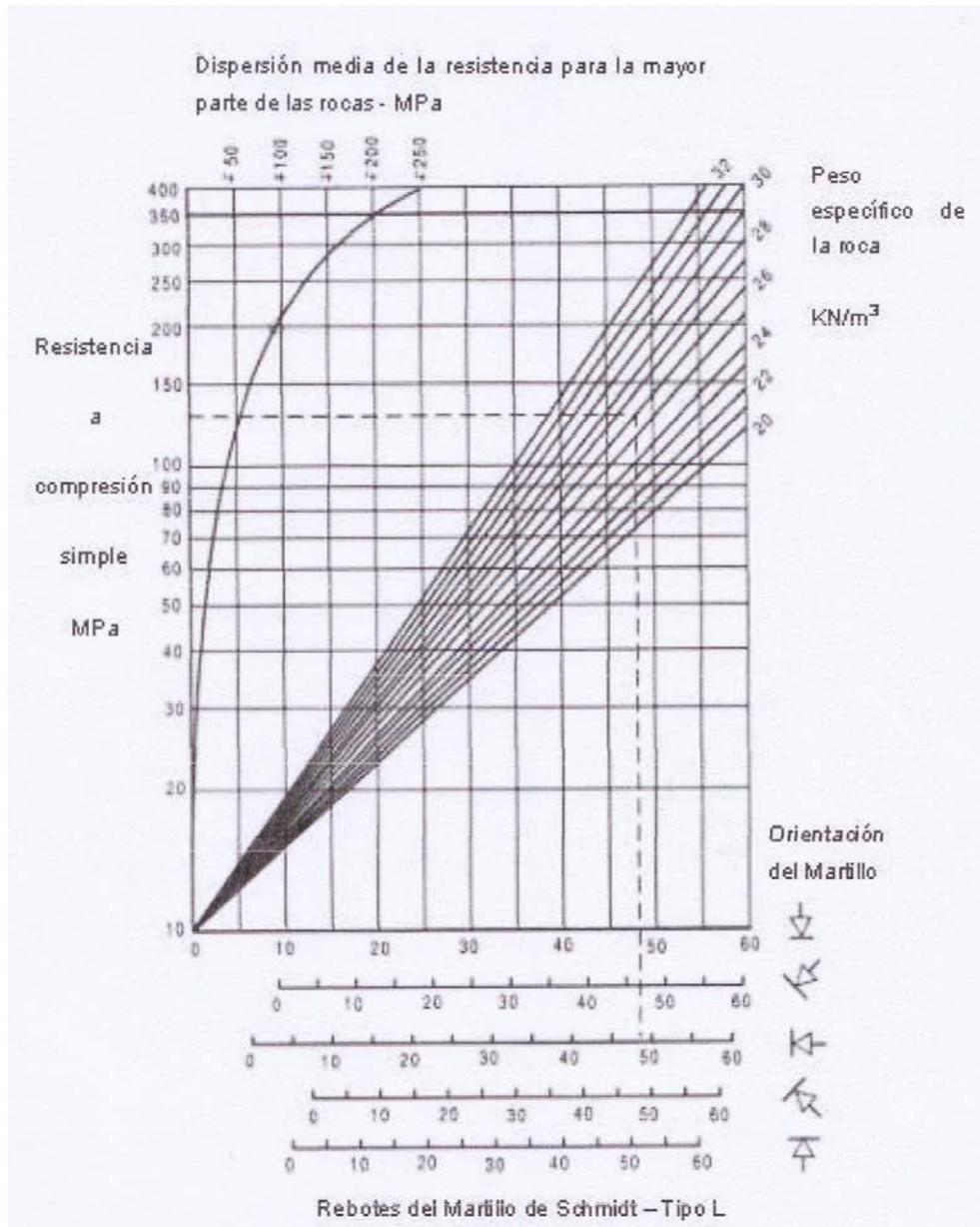


Fig. 52 Abaco para la obtención de la resistencia a compresión simple de una roca o de los labios de una discontinuidad

Para obtener el valor de esta resistencia o JCS, conociendo el numero de rebotes, R, resultado medio de varios ensayos, se aplica la siguiente expresion:

$$JCS = 10^{(0.00088 \gamma R + 1.01)}$$

Donde:

γ es el peso especifico de la roca expresado en KN/m³

R es el numero de rebotes del martillo de Schmidt

Este numero se debe corregir en el caso de que el martillo no se aplique verticalmente y hacia abajo. Tambien y para representar esta formula, se puede utilizar el abaco mostrado anteriormente, en el que se incluye las correcciones para la orientacion del martillo. Para obtener un valor representativo de R se deben realizar varios ensayos (entre 10 a 20) eliminando entre 5 a 10 valores inferiores (o erraticos) y promediando los restantes, ya que en algunas ocasiones parte de la energia que se transmite a la superficie no se recupera en forma de rebote, si no que se disipa en forma de movimiento o rotura de granos.

En general el valor de JCS que se obtenga para una determinada discontinuidad debera ser inferior a la resistencia a compresion simple de una roca sana, de forma que en general se podria estimar JCS como la resistencia a compresion simple del material sano dividida entre una constante que se aproxima a 2,5 para rocas densas, a 5 para rocas intermedias y que llegara a 10 para el caso de rocas porosas.

Si se tuviera una discontinuidad con presencia de relleno (material blando o materiales arcillosos) entre sus labios de contacto, la resistencia al corte de la discontinuidad se reduce drasticamente.

En superficies planas, como los planos de estratificacion caracteristicos de rocas sedimentarias, una fina capa de arcilla dara lugar a una disminucion significativa de su resistencia al corte.

En una discontinuidad muy rugosa u ondulada, el espesor del relleno tendra que ser mayor que la amplitud de la ondulacion para que la resistencia al corte se reduzca hasta aquella del material de relleno.

Goodman (1983) propuso que el comportamiento de la discontinuidad rellena seria diferente en funcion de la relacion entre la amplitud de la aspereza maxima que se encuentre en una discontinuidad y el espesor de relleno maximo. Asi cuando esta relacion es muy elevada, esto es, con un relleno muy fino para gran rugosidad, el comportamiento se aproximaria al descrito mediante las tecnicas de Barton. A medida que esta relacion disminuye el comportamiento resistivo de la discontinuidad va disminuyendo del previsto por Barton y se iria acercando al del material de relleno, de manera que cuando esta relacion se hace uno, la rotura tendra lugar en su totalidad a traves del material de relleno, por lo que en ese momento y para valores mayores de dicha relacion, los parametros resistentes de la discontinuidad seran los del material de relleno aunque su espesor no sea superior a la maxima altura de las asperezas.

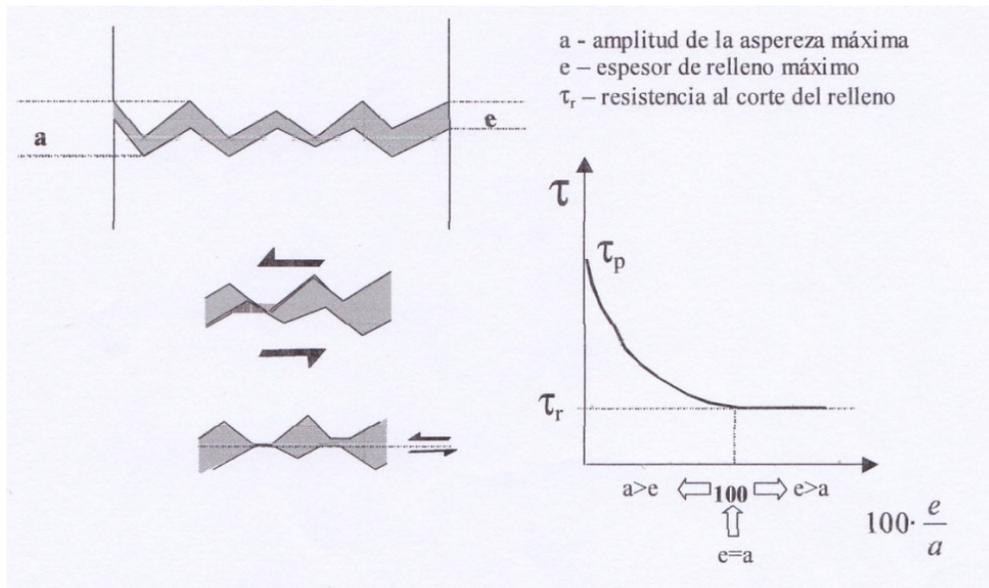


Fig. 53 Comportamiento resistente esquematizado de una discontinuidad rugosa con relleno

Tabla 16
Ángulo de fricción de discontinuidades

Tipo de Discontinuidad	Naturaleza de la Roca	φ
Juntas de estratificación entre dos terrenos de misma naturaleza	Calizas	40
	Esquisto Arcilloso	32
	Lutita	42
	Arcilla	38
	Lutita Arcillosa	38
	Esquisto Arcilloso	20
	Arenisca Margosa	28-34
	Lutita Terciaria	28
Juntas de estratificación entre dos terrenos de diferente naturaleza	Gneis	33
	Lutita-Esquisto arcilloso	17
	Arenisca-Arcilla	35
	Lutita-Arenisca	23
	Esquisto arcilloso-Caliza	25
	Caliza arenosa-Arcilla	33
Juntas de estratificación con material de reemplazamiento	Arenisca-Lutita	45
	Esquisto entre Areniscas	44
	Arcilla entre Lutitas	27
	Lutita entre Calizas	45
Planos de Esquistosidad	Brechas arcillosas entre Gneis	60
	Esquisto rojisos	61
Fracturas Diaclasadas	Esquisto Verdosos	45
	Lutita	35
	Gneis	40
	Gneis cuarcita	38-40
	Caliza jurasica	40
	Arenisca terciaria	34
	Arenisca margosa	30
Caliza margosa	35	

Como se puede apreciar en los mapeos geotécnicos realizados, en el tajo se ha determinado dos tipos de familias geo-estructurales A y B, cuyas discontinuidades presentan características que van de ligeramente rugosas a rugosas, sin presencia de relleno, con una ondulación característica plana, meteorización moderada y no se evidencia la presencia de agua. Teniendo en consideración la información teórica presentada en el presente capítulo, se procedió a determinar las propiedades de las discontinuidades presentes en el talud. Previamente se determinó el número de rebotes del martillo de Schmidt en las superficies de las discontinuidades (r) observadas, cuyos promedios se presentan en el cuadro siguiente. (* Información bibliográfica). [9]

Tabla 17
Propiedades de las discontinuidades

	ϕ_b *	ρ kN/m ³	R	r	ϕ_r	JCS Mpa
Cuarcita	34	26,5	37	29	29,7	74,6
Esquisto	30	28,0	33	31	28,8	66,5
Kaolin	28	17,2	24	18	23,0	23,6
Granito	35	28,5	47	38	31,2	154,4

Para determinar la estabilidad cinemática del talud y teniendo en consideracion la informacion de los dominios estructurales, se considera que el talud del tajo estara conformado por la presencia de la cuarcita y el esquisto, asumiendo un angulo de fricción para las discontinuidades de 29°.

3.5.4 Propiedades de la Masa Rocosa

Para estimar los parámetros de resistencia de la masa rocosa, habiendo establecido las características de la calidad de la masa rocosa y el valor de la resistencia compresiva de la roca intacta, mostrado en el cuadro de la tabla Nro. 6. Utilizando el software ROCLAB, se estimaron los parámetros de resistencia de la masa rocosa presentados en el siguiente cuadro. Para la estimación de la calidad de la masa rocosa se consideró una condición disturbada y se utilizaron en forma combinada los criterios de Bieniawski (1989), Hoek and Brown (1980 y 1988), Hoek (1992).
Ver anexo I.

Tabla 18
Características de resistencia de la masa rocosa.

Carriere de Kaolin de Berrien Talud Este del Tajo Abierto											
Tipo de Roca	Resistencia Compresiva de la Roca Intacta Mpa	GSI	Constante de la Roca			Resistencia Compresiva - Mpa					
						Resistencia Compresiva Mpa	Resistencia a la Traccion Mpa	Angulo De Friccion (°)	Cohesion C Mpa	Modulo de Deformacion Emr Mpa	Modulo de Poisson
			m	s	a						
D (I)	89	54	0.262	0.0005	0.504	1.9	- 0.16	29	0.845	5938.3	0.11
D (II)	89	59	0.374	0.0011	0.503	2.9	- 0.26	32	1,041	7918.9	0.11
D (III)	122	58	0.846	0.0009	0.503	3.6	- 0.13	41	1,363	7924.5	0.16
D (IV)	122	54	0.636	0.0005	0.504	2.6	- 0.09	39	1,191	6294.6	0.16

3.5.4.1 Criterio de Rotura

La rotura en un talud se produce cuando las tensiones de cizallamiento superan en determinada superficie un valor límite, variable con la tensión normal existente $\tau = f(\sigma_n)$. Las expresiones que relacionan dichas tensiones en el momento de la rotura, denominadas envolventes de fallo porque constituyen la frontera de los círculos de Mohr de estabilidad, son variables con el tipo de material que se rompe o desliza.

La envolvente de Barton-Choubey es la que mejor se adapta para la descripción de los deslizamientos de grandes bloques de roca a favor de juntas abiertas y la de Hoek-Brown cuando se trata de roturas que progresan a través del macizo rocoso, aprovechando las fisuras pero también afectando en un cierto porcentaje a la roca intacta.

Estos criterios de fallo no son lineales, pero se adopta como lineal una zona de trabajo de la curva que mejor se adapte al caso analizado, con lo que obtenemos unos parámetros de cohesión y fricción que son datos de entrada en la mayor parte de modelos de análisis.

Ecuación de Barton – Choubey

El límite de esfuerzos de cizalladura que puede desarrollarse sin deslizamiento para cada valor de tensión normal en una junta abierta esta está definido por la ecuación de Barton (1977) ajustada de forma empírica y aceptada por la ISRM.

$$\tau = \sigma_n \cdot \text{tg} (\text{JRC} \cdot \log_{10} (\text{JCS} / \sigma_n) + \varphi_b)$$

Dónde:

τ = Resistencia al corte máximo

σ_n = Esfuerzo normal efectivo sobre la superficie de corte

JRC = Coeficiente de rugosidad estimado en los mapeos de terreno

JCS = Resistencia a la compresión de las paredes de las discontinuidades

φ_b = Angulo de fricción básico medido en los ensayos de laboratorio

Para esta expresión, se opta generalmente por utilizar el valor pico determinado en los ensayos, asumiendo que ese es valor que se moviliza.

El valor JCS se puede estimar también como un porcentaje del valor de resistencia de la roca en la cual está contenida la discontinuidad. El porcentaje se define en base a la observación efectuada en el terreno, sobre el grado de alteración mecánica de las paredes de las discontinuidades. (generalmente se encuentra en el rango de un 75%).

Debido a que los ensayos de corte directo miden la resistencia al corte de un área muy pequeña, la resistencia al corte de la estructura real no considera el efecto de las irregularidades mayores. Esto significa que se está subvaluando la resistencia al corte de la estructura en observación. Para corregir este inconveniente, se asigna una cohesión de acuerdo a las irregularidades mayores observadas en el terreno, quedando la expresión corregida de Barton:

$$\tau = \sigma_n \cdot \text{tg} (\text{JRC} \cdot \log_{10} (\text{JCS} / \sigma_n) + \varphi_b) + C_e$$

Siendo C_e la cohesión determinada a partir de la información y observación del terreno

Ecuación de Hoek – Brown

Para la descripción del comportamiento del macizo de roca se puede utilizar el criterio de Hoek-Brown (1980). El procedimiento de obtención de la expresión analítica considera por un lado la litología, y por otro lado el valor de calidad del macizo de roca RMR de Bieniawiky que engloba la resistencia a compresión de la roca intacta y la disposición y estado de las juntas.

Se ha reconocido que el índice de resistencia geológica GSI (Hoek 1994) ($\text{GSI} = \text{RMR} - 5$) como vehículo adecuado para relacionar el criterio de rotura de Hoek-Brown con las observaciones geológicas en campo, particularmente para macizos rocosos, incluso en aquellos casos muy débiles.

El criterio se expresa:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} (m_b (\sigma_3 / \sigma_{ci}) + s)^a$$

Dónde:

m_b = Es el valor reducido de la constante del material m_i y esta dado por:

$$m_b = m_i e^{((GSI - 100) / (28 - 14D))}$$

s = Es una constante del macizo rocoso dado por:

$$s = e^{((GSI - 100) / (9 - 3D))}$$

a = Es la constante del macizo rocoso dada por:

$$a = 1/2 + 1/6 * (e^{(-GSI/15)} - e^{(-20/3)})$$

D = Es un factor que depende sobre todo del grado de alteración al que ha sido sometido el macizo rocoso por los efectos de las voladuras. Varía desde 0 para macizos rocosos in situ inalterados hasta 1 para macizos rocosos muy alterados.

Con estos factores determinados, se pueden calcular con ayuda del programa RockLab, los parámetros para ajustar el criterio de rotura de Hoek-Brown al de Morh-Coulomb y así obtener la cohesión (C) y el ángulo de fricción (ϕ). El proceso de ajuste supone equilibrar las áreas por encima y por debajo de la curva de Morh-Coulomb. Esto da lugar a las ecuaciones para determinar analíticamente C y ϕ (criterio de rotura de Hoek-Brown 2002).

3.6 Condiciones de Agua Subterránea

El principal efecto de la presencia del agua en la masa rocosa, es la presión que ejerce en las discontinuidades, disminuyendo la resistencia al corte y favoreciendo la inestabilidad, por lo que es importante evaluar las características de la presencia del agua. En efecto la presencia del agua sobre la estabilidad de los taludes, es tomada en cuenta en el hecho de considerar una corrección de los valores de la calidad de la masa rocosa para las condiciones del agua. Las condiciones de presencia de agua observadas en la masa rocosa de la zona del estudio, durante la ejecución de los trabajos de campo, básicamente los trabajos de mapeos geomecánicos se han considerado condiciones secas, para la corrección a condiciones de mojadas a goteo significaría una disminución de los valores RMR en 8 puntos. Como se puede apreciar en el sub-capítulo 1.3. Los trabajos en el contexto

hidrogeológico, realizados en la zona de estudio (flanco Este de la mina), han evidenciado así mismo que el macizo rocoso es muy poco permeable y que ningún tipo de napa freática, se sitúa en la zona. La característica de impermeabilidad del macizo rocoso presente en el tajo, ha hecho posible que se considere para el cierre de la mina, convertir la excavación producto de los trabajos del tajo (hoyo) en una laguna artificial.

3.7 Condiciones Sísmicas

Como se puede apreciar en los cuadros adjuntos, la región de Bretagne se encuentra en una zona sísmica de Francia.



Fig. 54 Región Bretagne



Fig. 55 Mapa sísmico

De acuerdo al mapa sísmico global, donde se puede apreciar que las zonas de mayor riesgo sísmico son las que se encuentran en la frontera de las placas tectónicas y al registro existente de fuertes movimientos sísmicos. Se puede decir teniendo en consideración la escala de Richter, la cual es la más utilizada para evaluar y comparar la intensidad de los movimientos sísmicos. Que en la región de Bretagne, se evidencian sismos de baja intensidad; sabiendo, que esta escala mide la energía del movimiento sísmico en el hipocentro o foco, siguiendo la escala de valores siguiente:

Menos de 3.5 => Generalmente no se siente, pero es registrado.

3.5 – 5.4 => A menudo se siente, pero sólo causa daños menores.

5.5 – 6.0 => Ocasiona daños ligeros a edificios.

6.1 – 6.9 => Puede ocasionar daños severos en áreas muy pobladas.

7.0 – 7.9 => Terremoto mayor. Causa graves daños.

8 o mayor => Gran terremoto. Destrucción total a comunidades cercanas.

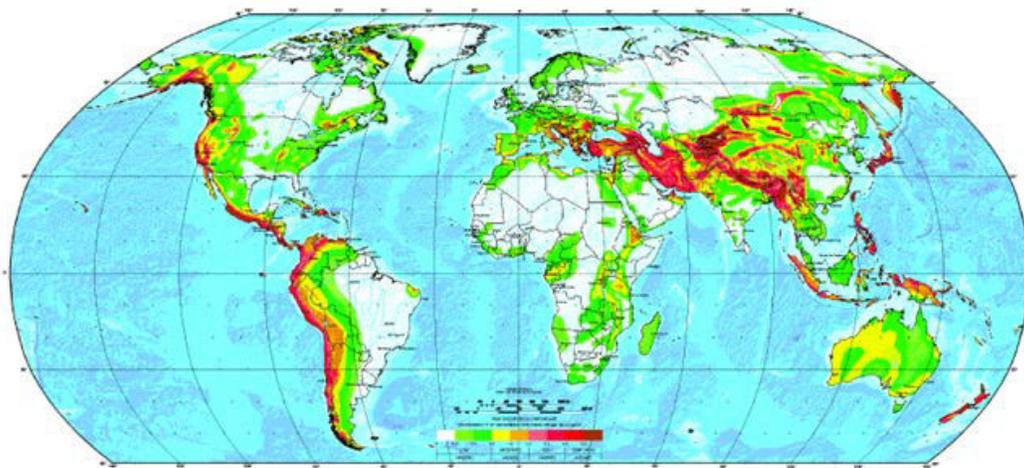


Fig. 56 Mapa sísmico global

Tabla 19**Registro de fuertes movimientos sísmicos**

REGIÓN	PAÍSES	CONTRIBUCIÓN (% terremotos)	CONTRIBUCIÓN (% registros)
ASI. <i>Región Asiática</i>	China, India, Taiwan	10.5	26.8
AUS. <i>Región Austral</i>	Australia, Fiji, N. Zelanda, Papua	5.5	2.9
CAM. <i>Centroamérica</i>	Costa Rica, México, Nicaragua, Salvador	23.7	14.9
JAP. <i>Japón</i>	Japón	4.7	1.9
MED. <i>Región Mediterránea</i>	Alemania, Argelia, Bulgaria, España, Grecia, Iran, Italia, Portugal, Rumania, Turquía, Yugoslavia	19.6	12.6
NAM. <i>Norteamérica</i>	Canadá, EEUU	30.5	38.3
CEI. <i>Confederación de Estados Independientes</i>	Rusia y antiguas Repúblicas Soviéticas	4.3	1.2
SAM. <i>Sudamérica</i>	Argentina, Chile, Perú	1.2	1.2

La información presentada indica que según el mapa Peruano de zonificación sísmica propuesto por la norma de diseño sismo resistente E 030, del reglamento de construcciones (1997), la mina del presente estudio se encontraría comprendida en la zona 1. Correspondiente a una zona de baja sismicidad.

El reglamento de seguridad minera, dispone que las pendientes de los tajos sean establecidas bajo condiciones de estabilidad pseudo estáticas, asumiendo la máxima aceleración sísmica para un periodo de retorno de 100 años.

Como se puede apreciar, en el siguiente cuadro de factores de aceleración sísmica a cada zona, se le asigna un factor de aceleración máxima con una probabilidad de 10% a ser excedida en 50 años.

Tabla 20**Cuadro de factores sísmicos**

FACTORES DE ZONA	
ZONA	Z
3	0,4
2	0,3
1	0,15

CAPITULO IV

IV.- CALCULO DE ESTABILIDAD DE TALUDES POR MODELOS GEOMECANICOS

4.1 Análisis Cinemático

La evaluación preliminar de la estabilidad, permite determinar las superficies potenciales de rotura, es decir las superficies que serán necesarias estudiar con más precisión para ver si la cohesión, la geometría de los bloques rocosos u otros parámetros mecánicos como la cantidad de agua producto de las filtraciones son suficientes para asegurar la estabilidad.

En esta etapa se tiene en cuenta los siguientes parámetros:

- La dirección y pendiente del talud
- Las direcciones y buzamiento de las diferentes discontinuidades
- El ángulo de fricción

Para un análisis general, se supondrá una rotura en cuña, es decir que los bloques que caerán, serán definidos por la intersección de dos discontinuidades A y B.

Para el presente análisis se está considerando:

Un ángulo de fricción de 29°

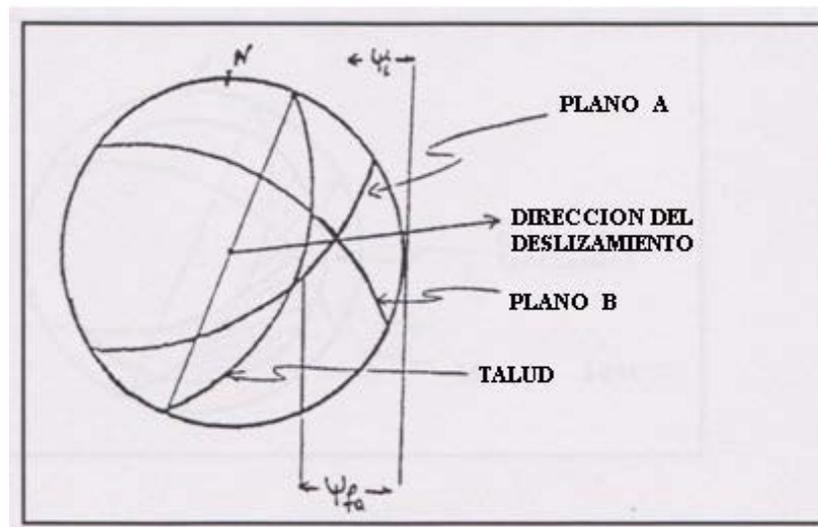


Fig. 57 Análisis cinemático

ψ_{fa} es la buzamiento del talud medido en la dirección de deslizamiento

ψ_i es la pendiente de la intersección de los planos de discontinuidad

Con estos parámetros se tiene la primera condición necesaria para que se produzca un deslizamiento:

$$\psi_i \leq \psi_{fa}$$

Es decir, el deslizamiento a lo largo de la línea de intersección de dos planos de discontinuidades se produce si la pendiente ψ_i de esta línea es menos empinada que la pendiente aparente del talud ψ_{fa} .

De otra parte (segunda condición), el deslizamiento de un talud tendrá mecánicamente lugar, si la pendiente de la línea de deslizamiento es superior al ángulo de frotamiento interno (ϕ).

$$\phi < \psi_i$$

Entonces podemos decir en resumen que la condición necesaria para que se produzca deslizamiento es:

$$\phi < \psi_i < \psi_{fa}$$

Pero debemos remarcar que esta condición no es suficiente, ya que no considera el rol o efectos del agua.

Esta doble desigualdad define sobre el diagrama de Schmidt una zona crítica de rotura.

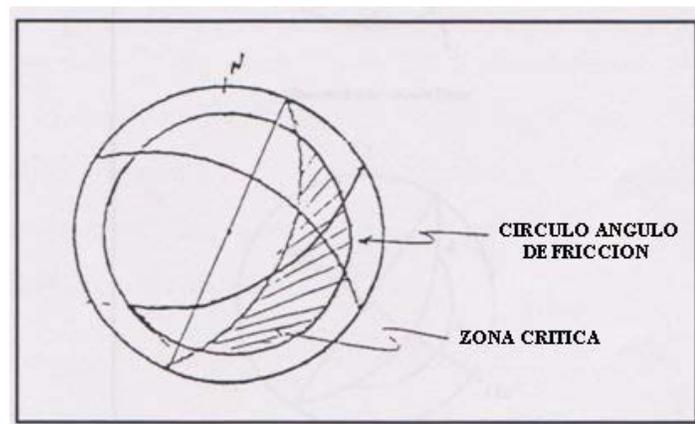


Fig. 58 Diagrama de Schmidt zona crítica de ruptura

Así, dos planos A y B no podrán provocar una rotura en cuña, si el polo de su intersección solo se encuentra en la zona crítica de rotura. Cabe mencionar que el ángulo de fricción se mide (en el gráfico de Schmidt), a partir del perímetro de la red, a lo largo del eje Este-Oeste.

Existe igualmente la regla de Markland, siguiente:

Si la dirección de buzamiento de uno de los planos se encuentra entre la superficie del talud y la línea de intersección, el deslizamiento se producirá siguiendo la línea de más grande pendiente de ese plano.

Cuando se cortan dos planos significa que estas dos familias forman cuña. Si uno de los planos es paralelo a la dirección del talud se producirá un deslizamiento y si es paralelo, pero de sentido contrario se tratara de una ruptura de basculamiento.

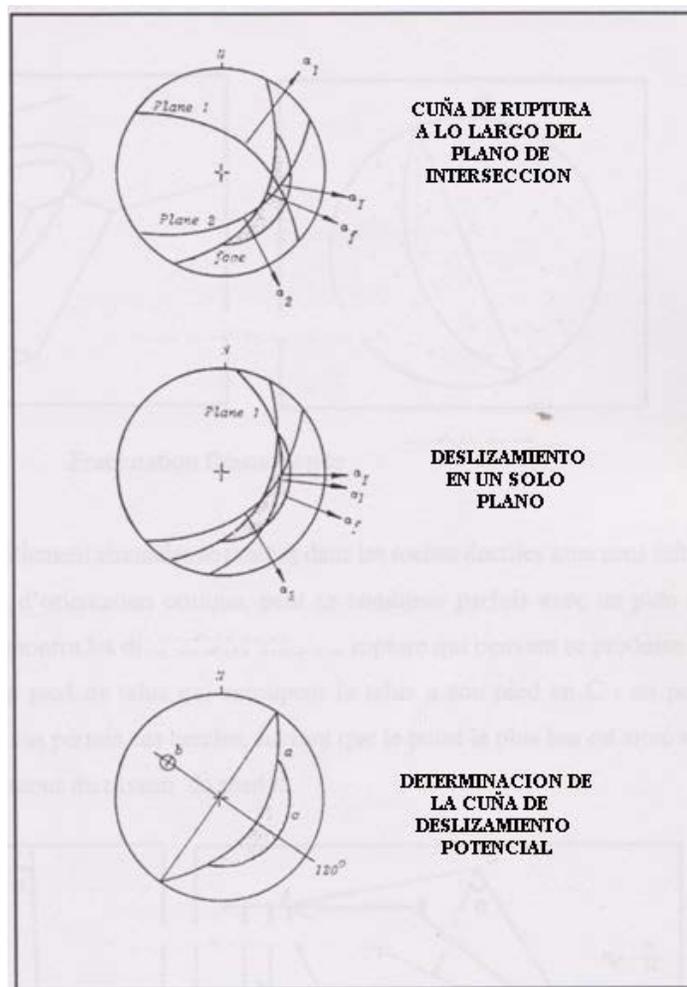


Fig. 59 Regla de Markland

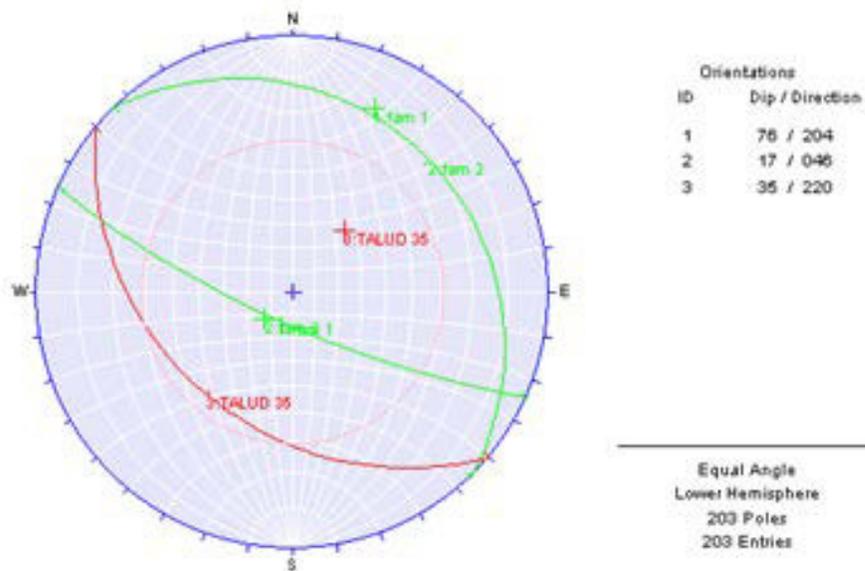


Fig. 60 Azimut y pendiente del talud actual a 35° (Estable)

El modo de ruptura o falla de la estabilidad en un material, es función de la distribución de las discontinuidades, generalmente, en el medio rocoso, esta distribución no es del todo aleatoria: familias se evidencian claramente. Pero puede ocurrir que la fracturación se presente muy desordenada y recorte el masivo en bloques de tamaño reducido, en ese caso se realizara el estudio como, si: el material fuese un suelo, aplicándose los métodos de estudio de la mecánica de suelos. Este caso se caracteriza por originar el tipo de rotura circular.

Para el análisis global realizado, en el talud del tajo actual, no existe posibilidad que se produzcan fallas de tipo planar, volcamiento o cuñas, por intersección de planos dado que las posibles intersecciones se encuentran siempre fuera del cono de fricción.

A continuación se realiza el análisis cinemático, para cada uno de los dominios estructurales, definidos en el talud Este del tajo. Teniendo en consideración sus respectivos sistemas.

Tabla 21
Sistemas por cada Dominio Estructural

Dominio	A Friccion *	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4	A Friccion* Considerado
DE - I	29	23 / 14	226 / 74	193 / 40		29 Grados
DE - II	32	25 / 14	226 / 72			
DE - III	41	225 / 74	26 / 12	24 / 67		
DE - IV	39	23 / 14	225 / 72	17 / 51		

Como se puede apreciar a continuación, para el caso del dominio estructural Nro. 1, al considerar un talud en el tajo de 70 grados, se genera una condición de inestabilidad por falla tipo cuña.

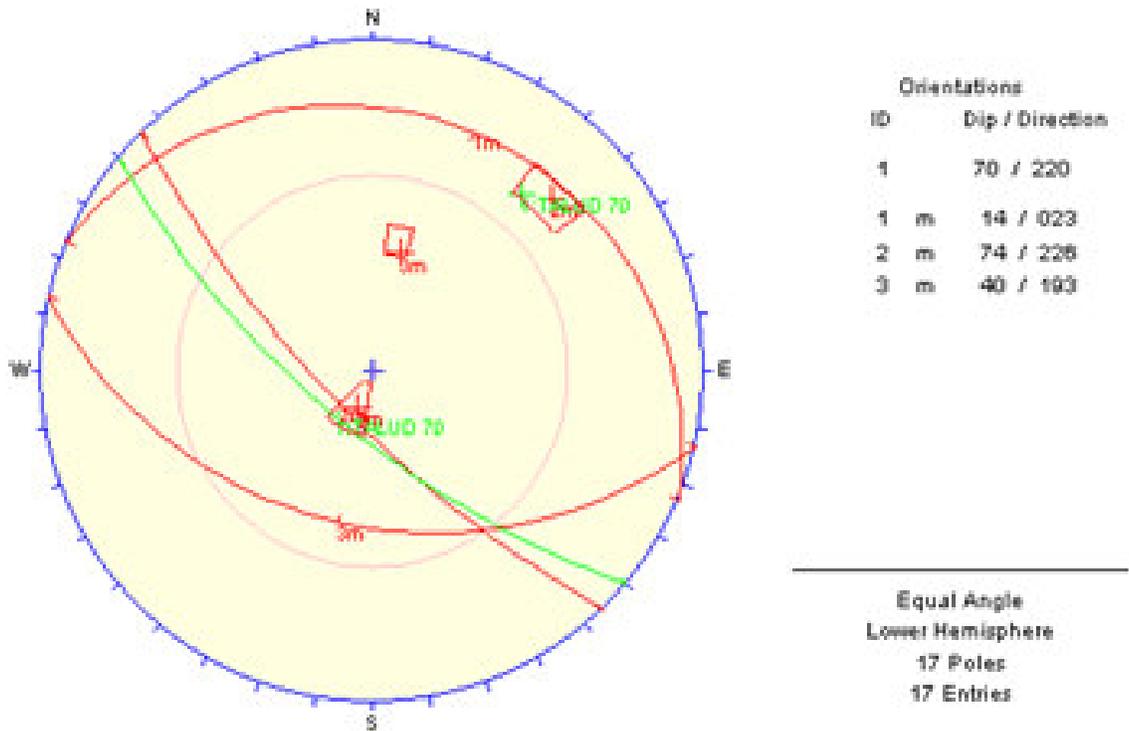


Fig. 61 D (I) Talud a 70° (falla en cuña)

Teniendo, esta consideración limitante, el talud óptimo desde el punto de vista de estabilidad cinemática, es un talud de banco de 60 grados.

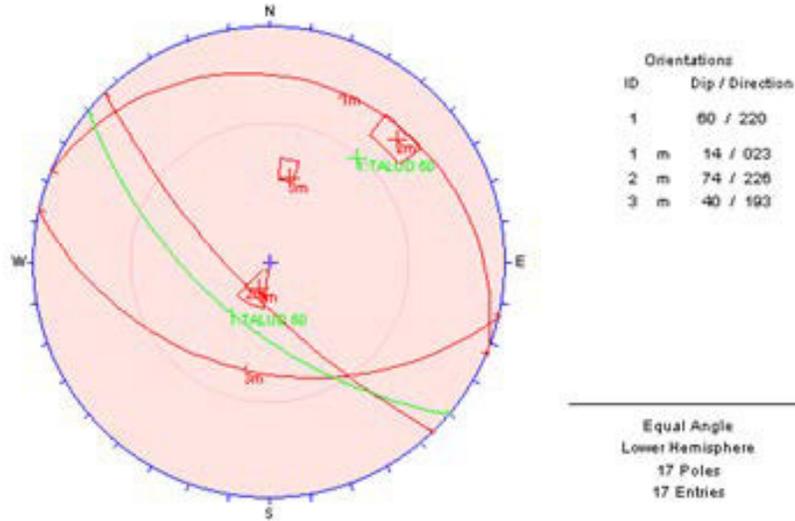


Fig. 62 D (I) Talud a 60° (estable)

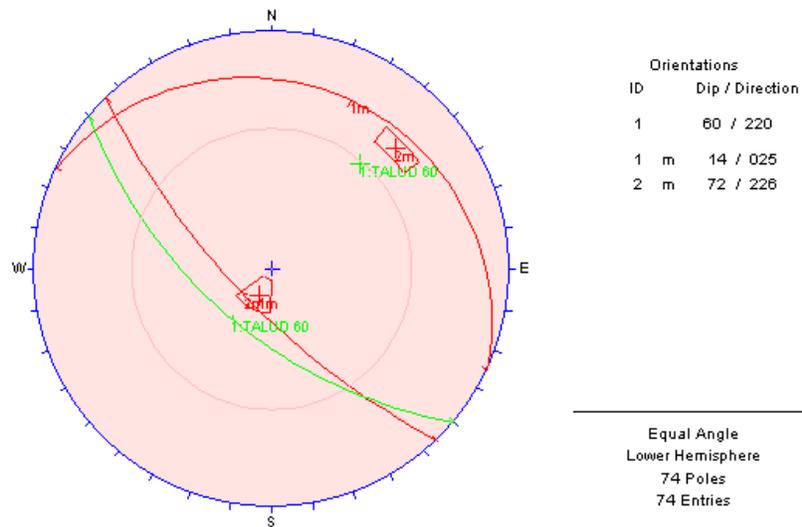


Fig. 63 D (II) Talud a 60° (estable)

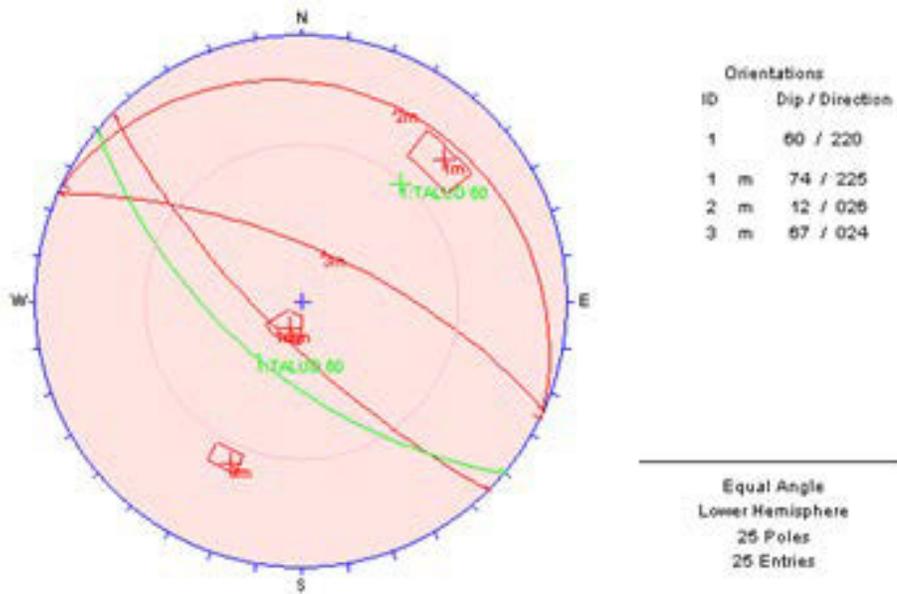


Fig. 64 D (III) Talud a 60° (estable)

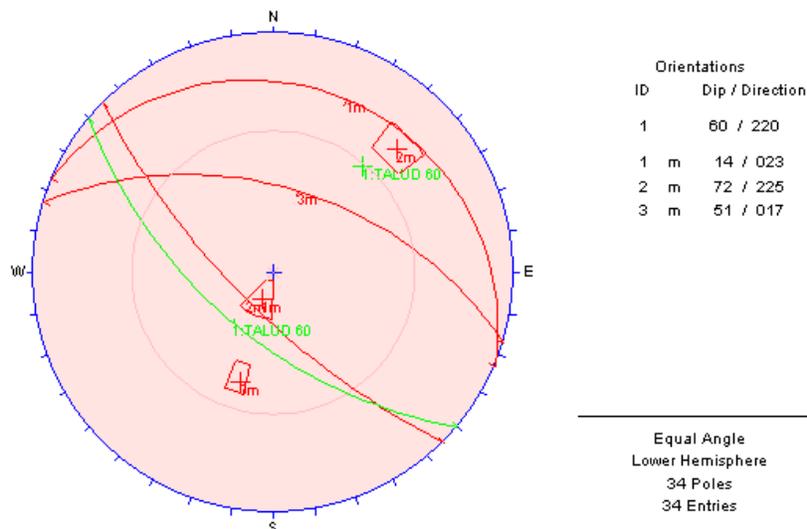


Fig. 65 D (IV) Talud 60° (estable)

4.2 Determinación del Talud Inter-rampas.

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

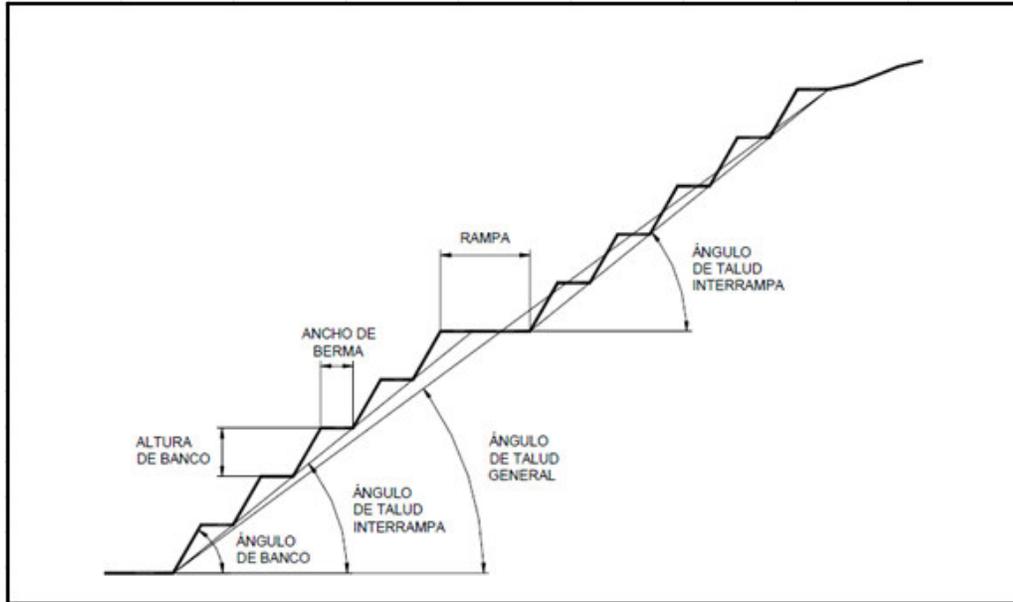


Fig. 66 Grafico definición de los principales componentes de un talud

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

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

$$\alpha_r = \text{Ángulo de Talud Interrampa}$$

$$\alpha_b = \text{Ángulo de Cara de Banco}$$

$$h_b = \text{Altura de Banco}$$

$$W = \text{Ancho de Berma de Seguridad}$$

Por otro lado la dimensión del ancho de berma de seguridad depende sobre todo de la altura de banco. Se debe recordad que dicha berma tiene por finalidad el contener las rocas que podrían desprenderse desde la cresta de cualquier banco,

evitando así que caigan o rueden hasta el fondo del tajo, donde podrían ocasionar daños al personal o al equipo.

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

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

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

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

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

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

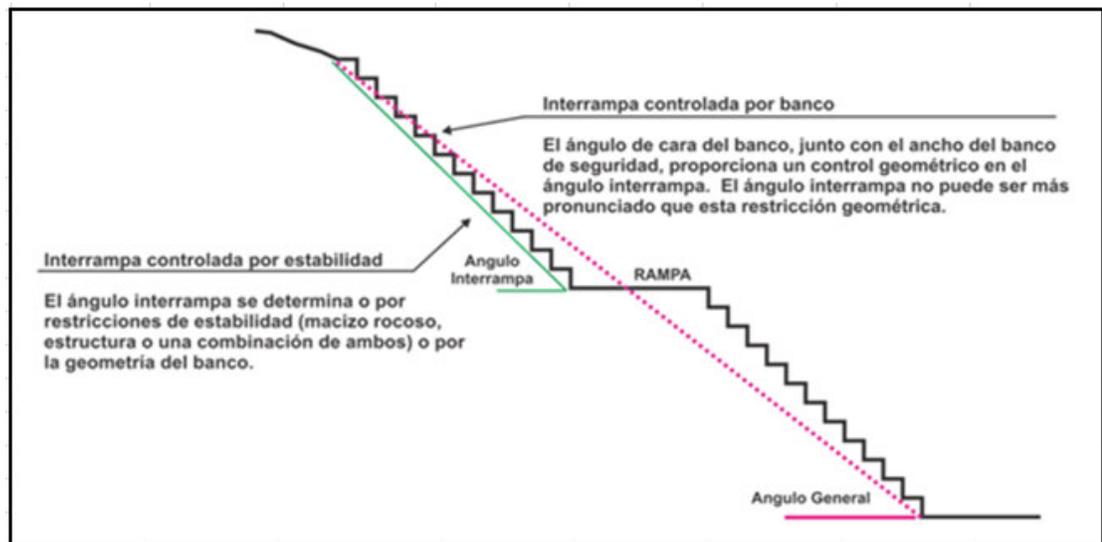


Fig. 67 Grafico controles del ángulo de talud Inter rampa

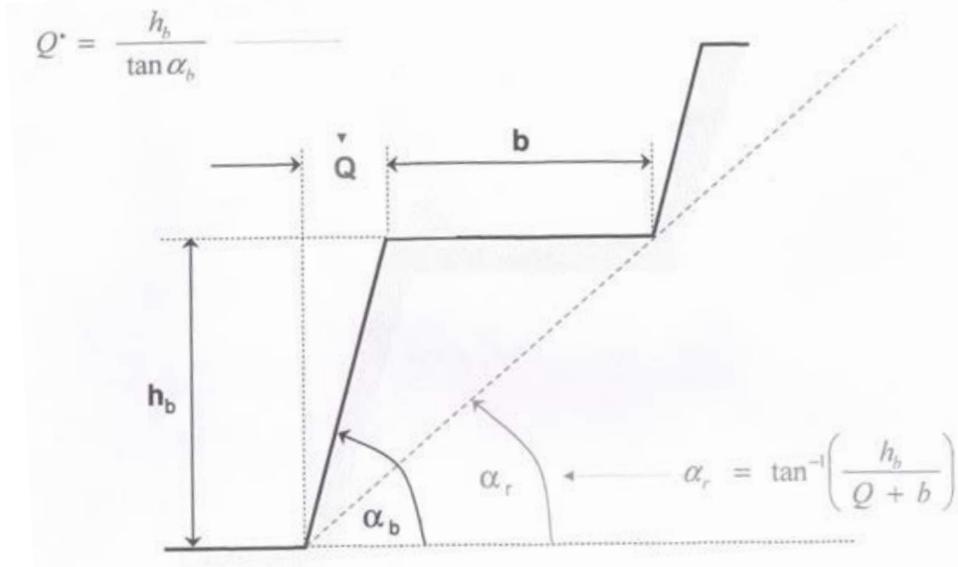


Fig. 68 Geometría banco - berma

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

Angulo del Banco	=	α_b	=	60	grados
Altura de Banco	=	h_b	=	10	metros
Ancho de Berma	=	b	=	6,5	metros
Minimo					
Angulo Interrampa	=	α_r	=	39	grados

Fig. 69 Angulo talud inter rampa

4.3 Tipos de Rotura

4.3.1 Rotura Circular

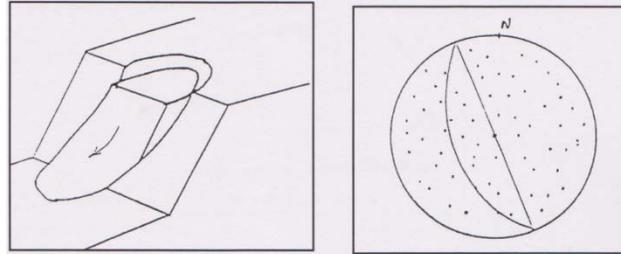


Fig. 70 Grafico fracturación desordenada

Este tipo de cizallamiento circular se produce en las rocas dúctiles sin zona débil y que no presentan orientación crítica, pero se pueden combinar algunas veces con un plano de deslizamiento. Este tipo de rotura se presenta en las siguientes formas:

- Falla al pie del talud, que recorta el talud en su pie en C: se puede distinguir dos casos, según si el punto más bajo está situado sobre o debajo del nivel del pie.

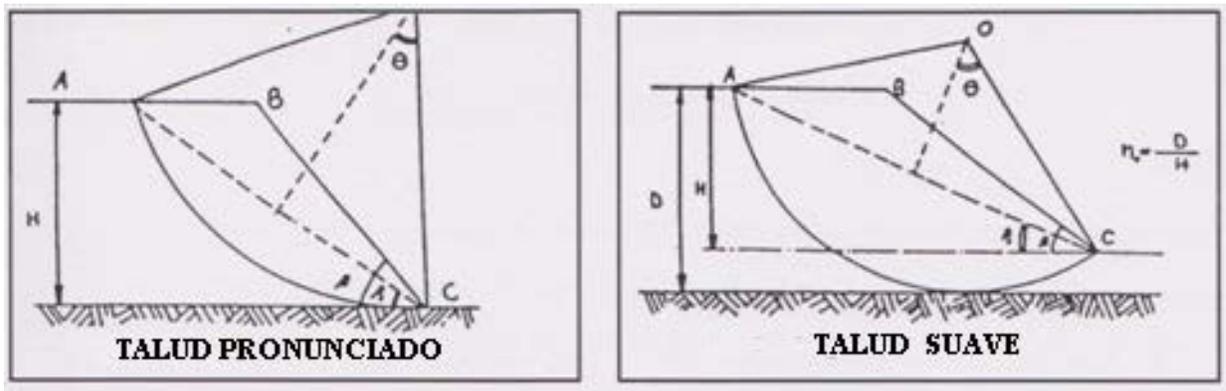


Fig. 71 Grafico círculo de pie de talud

- Falla en la base del pie del talud, en este caso el punto bajo del círculo tiene algunas veces su posición fijada por una capa de material resistente situada debajo del nivel del pie del talud, en estas condiciones el círculo recorta el talud en la pendiente, sobre el pie del talud.

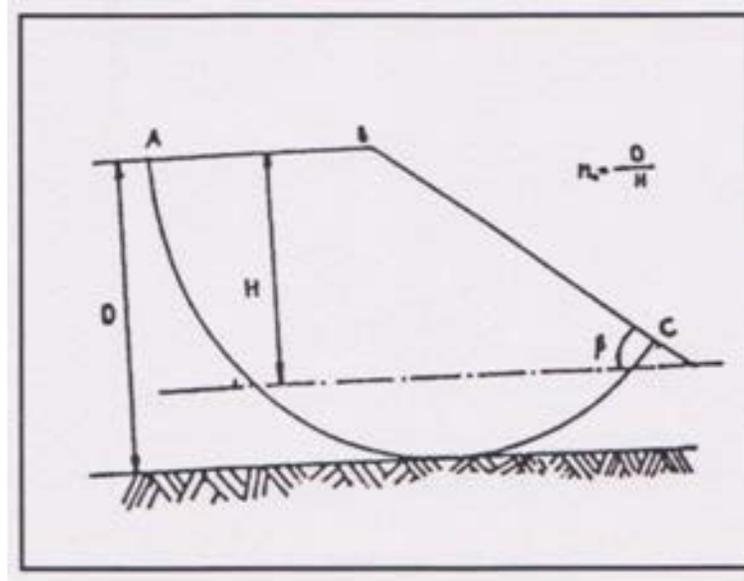


Fig. 72 Grafico Círculo de flanco de talud

- Falla circular profunda, esta rotura engloba una gran masa de terreno, se puede mostrar que en este caso, el centro del círculo se sitúa en la línea vertical que pasa por el punto medio del talud.

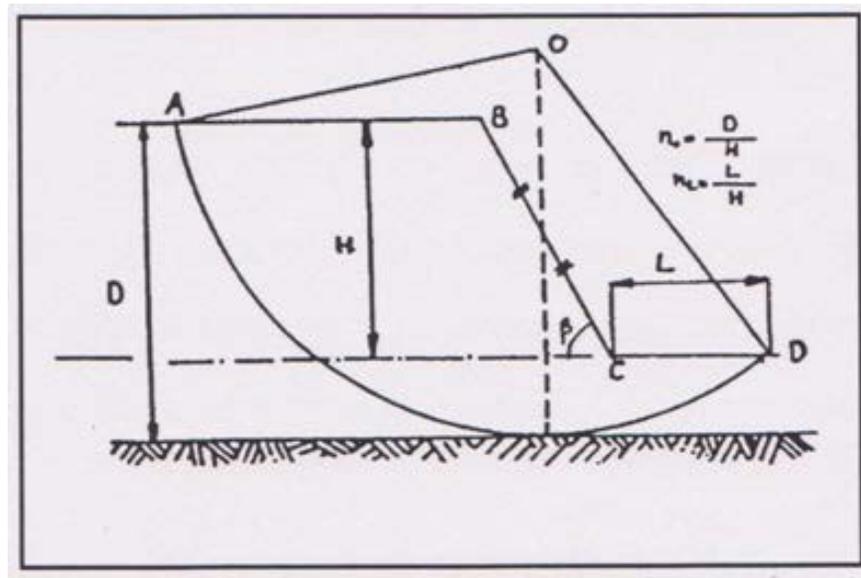


Fig. 73 Grafico Círculo de rotura profunda

4.3.1.1 Método de Cálculo de la Rotura Circular.

Consiste en considerar al conjunto de fuerzas que aseguran el equilibrio de un cierto volumen de material delimitado por el talud estudiado. Se define generalmente para estos casos el criterio de rotura de Coulomb.

$$\tau_{\max} = C + \sigma \operatorname{Tg} \Phi$$

τ_{\max} es el esfuerzo tangencial máximo en el material (en Pa)

C es la cohesión efectiva del material (en Pa)

σ es el esfuerzo normal efectivo del material (en Pa)

Φ es el ángulo de frotamiento del material

Entonces un coeficiente de seguridad a la rotura generalmente toma la forma:

$$F = \tau_{\max} / \tau$$

Así, para $\tau < \tau_{\max}$ se tendrá un $F > 1$, y se tendrá rotura para $F < 1$.

Por la geometría de la rotura, se presentan dos casos a ser estudiados:

A.- Se estudia un talud que ha sufrido un deslizamiento. En este caso la superficie de rotura es conocida.

B.- Se estudia la estabilidad de un talud que no ha sufrido deslizamiento. En este caso existen entonces dos tipos de superficie de rotura:

B.1 Si existe en el talud una capa de material, que presenta bajas características mecánicas que serán preferentemente utilizadas en una rotura del talud, en este caso la superficie de rotura a considerar será tomada en esta capa.

B.2 Si no existe en el talud la capa de material antes descrita, entonces la superficie de rotura es generalmente esférica y en el caso de un talud de gran extensión, caso bidimensional, esta superficie es cilíndrica.

Para el cálculo del factor de seguridad propiamente dicho, es necesario aumentar a las ecuaciones de la estática una hipótesis adicional. Consideremos un talud cualquiera, si lo descomponemos en tajadas con la finalidad de estudiar el equilibrio local, cada una de estas tajadas estará afectado por diversas fuerzas: R_{an} , R_{bn} , R_n , P_n .

R_{an} , y R_{bn} : Son las reacciones de las tajadas vecinas sobre el arco
 $a_n \cdot b_n$: Arco a - b
 R_n : Es la reacción del material sobre el arco $a_n \cdot b_n$

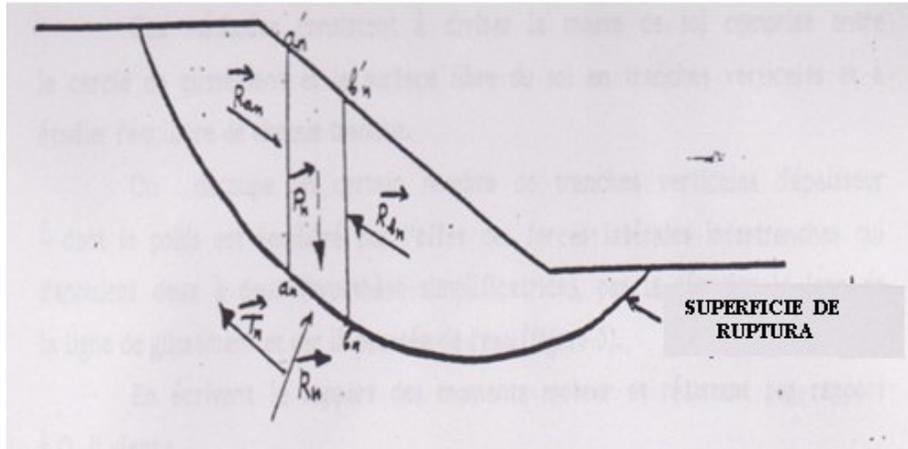


Fig. 74 Grafico método de Fellenius

Los diversos métodos de cálculo del coeficiente de seguridad se distinguen entre ellos por las hipótesis sobre estas fuerzas. Ejemplo:

En el método de Fellenius: $R_A + R_B$ son paralelos a $a_n \cdot b_n$ para todas las tajadas.

En el método de Bishop: la componente vertical de $R_A - R_B$ es nula.

4.3.1.2 Método de Dovelas (Tajadas)

Los métodos suecos y de Bishop son aplicados en la hipótesis de rotura circular. En los métodos suecos solo se verifica una de las ecuaciones de equilibrio del material considerado y en el método de Bishop (cálculo aproximado) se verifican dos de las ecuaciones de equilibrio.

El método general de Bishop (cálculo exacto) toma en cuenta las tres ecuaciones de equilibrio.

El cálculo de coeficiente de seguridad F , para estos dos métodos de tajadas, implica las hipótesis sobre la distribución de esfuerzos a lo largo del círculo de rotura (función del peso de cada tajada) y sobre la distribución de las interacciones entre las tajadas.

Estos métodos consisten en dividir el macizo comprendido entre el círculo de deslizamiento y la superficie libre del material en tajadas verticales y en estudiar el equilibrio de cada tajada.

Se corta un cierto número de tajadas verticales de espesor 1, cuyo peso está equilibrado por efecto de las fuerzas laterales entre tajadas que se anulan dos a dos (hipótesis de simplificación), por la reacción a lo largo de la línea de deslizamiento y por la acción (empuje) del agua.

Escribiendo las expresiones de los momentos (motor) y resistencia con relación al punto o, tenemos: $F_s = ((N - P) Tg \Phi + C L) / T$

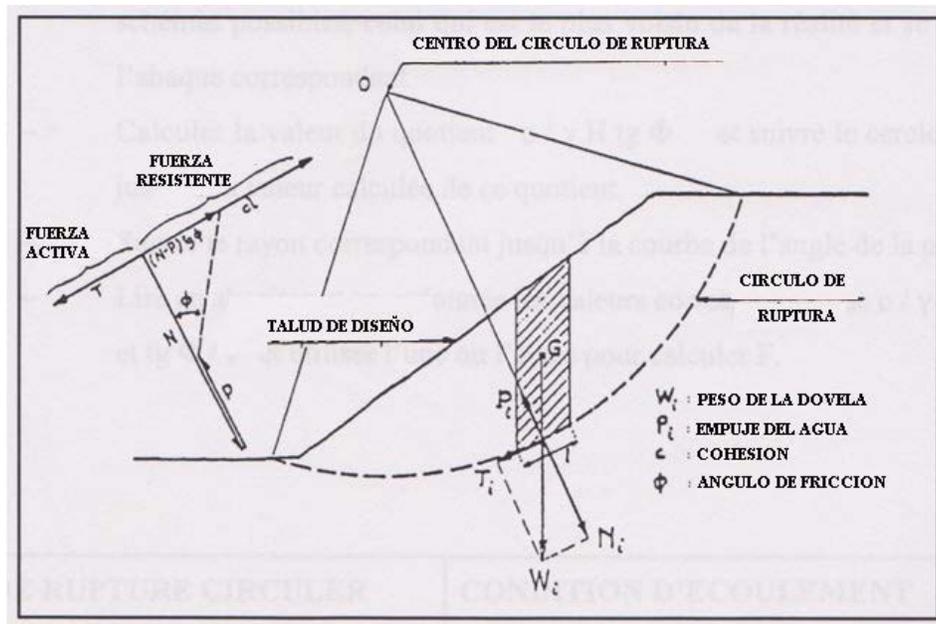


Fig. 75 Grafico

Descomposición de las fuerzas para el cálculo de la estabilidad

F_s : es el coeficiente de seguridad calculado sobre la superficie de deslizamiento

$$P = \sum P_i$$

$$N = \sum N_i$$

$$T = \sum T_i$$

$$n = \sum n_i$$

n = número de tajadas.

4.3.2 Rotura Plana

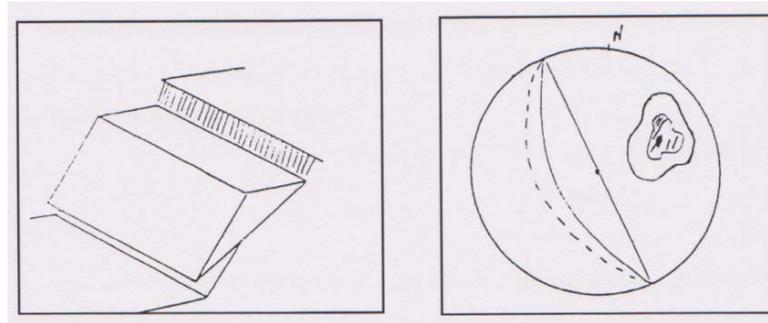


Fig. 76 Deslizamiento de un bloque a lo largo de un plano

El deslizamiento de un bloque se produce a lo largo de un plano caracterizado por una familia de discontinuidades que presenta una misma dirección que el talud y una pendiente de mismo sentido pero menos inclinada que la del talud.

Si consideramos un bloque de peso W que reposa sobre una superficie plana con un ángulo de inclinación ψ con respecto a la horizontal. El bloque está sometido solamente a las fuerzas de la gravedad y al peso W está dirigido hacia abajo siguiendo la vertical.

La proyección del peso W que actúa hacia abajo siguiendo el plano y que tiende a provocar el deslizamiento es: $W \sin \psi$. La componente de W que actúa perpendicularmente al plano y que tiende a estabilizar el talud es: $W \cos \psi$.

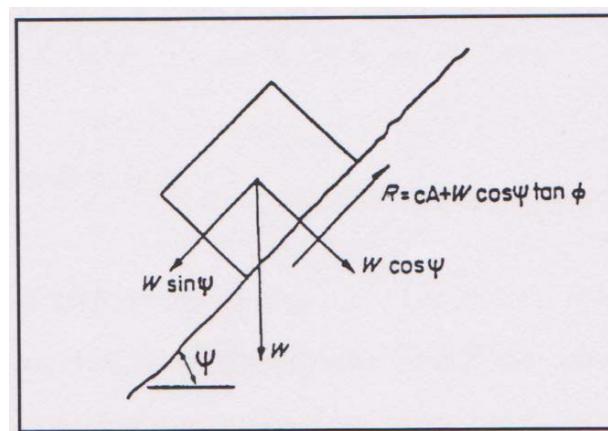


Fig. 77 Grafico condición de equilibrio

El esfuerzo normal σ que actúa perpendicularmente a la superficie de deslizamiento potencial está expresado por:

$$\sigma = (W \cos \psi) / A$$

Donde A: es el área de la base del bloque.

Admitiendo que la resistencia al cizallamiento de esta superficie está definida por la ecuación:

$$\tau = C + \sigma \operatorname{tg} \phi$$

Sustituyendo en esta última relación el esfuerzo normal por la expresión dada, se obtiene la ecuación del esfuerzo que se opone al deslizamiento. La fuerza resistente resulta:

$$\tau = C + ((W \cos \psi) / A) \operatorname{tg} \phi$$

$$R = C A + W \cos \psi \operatorname{tg} \phi$$

El bloque será sobre el punto de deslizar o en las condiciones límites de equilibrio cuando la fuerza activa que tiende a hacer deslizar el bloque hacia abajo siguiendo el plano es exactamente igual a la resistencia de deslizamiento,

El factor de seguridad es la relación entre la fuerza total que se opone al deslizamiento y la fuerza que provoca el deslizamiento.

$$F = (C A + W \cos \psi \operatorname{tg} \phi) / W \operatorname{Sen} \psi$$

$$\text{Si: } C = 0 \text{ entonces: } F = \operatorname{tg} \phi / \operatorname{tg} \psi$$

Si, se considera el caso de un bloque reposando sobre un plano inclinado y afectado por una fisura de tensión rellena de agua, la presión de agua en la pendiente aumenta linealmente con la profundidad y se crea, en razón de esta presión de agua que actúa sobre la superficie trasera del bloque, una fuerza resultante V siguiendo la línea de mayor pendiente.

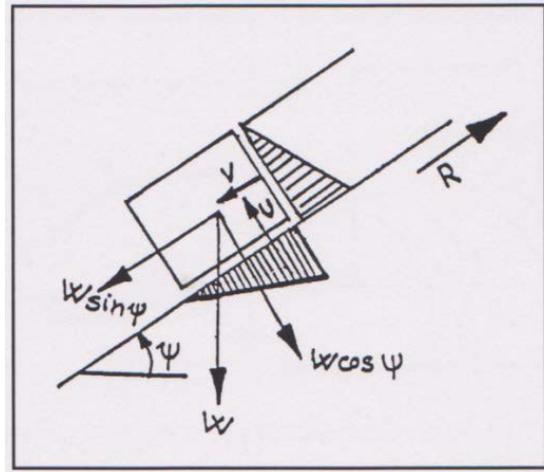


Fig. 78 Condición de equilibrio con el efecto de la presión del agua sobre la fisura de tensión

Si se admite que la presión del agua se transmite a través de la fisura de tensión hacia la base del bloque, la presión se repartirá sobre la base del bloque.

Esta distribución de presión origina una fuerza de tracción hacia arriba U que reduce la suma de fuerzas que se ejercen sobre la superficie de contacto del bloque.

Las condiciones de equilibrio del bloque resultan entonces:

$$W \text{ Sen } \psi + V = C A + (W \text{ Cos } \psi - U) \text{ Tg } \phi$$

De esta ecuación, se deduce que la presión del agua tiene por efecto:

- El aumentar la fuerza que tiende a hacer deslizar el bloque hacia abajo.
- El disminuir la fuerza resistente, por lo tanto aumentar la inestabilidad.

Si bien es cierto las presiones de agua son relativamente pequeñas, ellas pueden actuar sobre superficies importantes, entonces pueden engendrar fuerzas U y V muy importantes. El agua en las fisuras de tensión tiene una influencia nefasta sobre la estabilidad de pendientes críticas, se dice que es particularmente determinante.

4.3.3 Rotura en Cuña

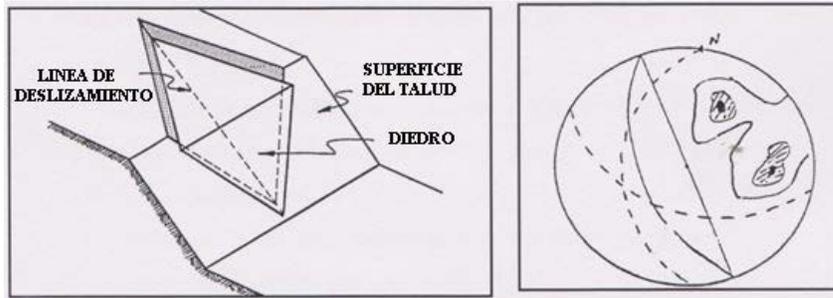


Fig. 79 Deslizamiento de un bloque a lo largo de uno de sus vértices

El deslizamiento de un bloque se produce a lo largo de una de sus aristas que es la recta de intersección de dos planos definidos por dos familias de discontinuidades que interceptan ese bloque. La geometría del tetraedro se presenta en el siguiente gráfico.

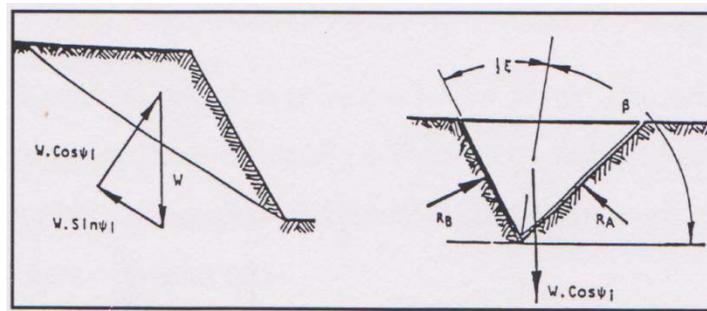


Fig. 80 Fuerzas actuantes en la línea de deslizamiento



Fig. 81 Línea de deslizamiento

Este tetraedro está en contacto con la roca subyacente por dos planos A y B formando una cuña. Llamaremos al plano de contacto de menor pendiente A y al plano de contacto de mayor pendiente B. La inclinación de la línea de intersección de las dos caras del diedro está representada por ψ_i .

Como para el caso de la fisura única vista anteriormente, las condiciones de deslizamiento están definidas por: $\psi_{fi} > \psi_i > \phi$

Donde ψ_{fi} es la inclinación del talud medida con relación a la perpendicular a la línea de intersección y ψ_i es la pendiente de la línea de intersección.

Debemos notar que ψ_{fi} será idéntico a ψ_i (pendiente real del talud), solamente si: la dirección de la pendiente de la línea de intersección es la misma que la dirección de la pendiente del talud.

El coeficiente de seguridad del deslizamiento potencial sobre el diedro se puede escribir suponiendo que las fuerzas resistentes son debidas a la fricción y admitiendo que el ángulo ϕ de fricción interna sea el mismo para los dos planos.

$$F = ((R_A + R_B) \text{Tg } \phi) / W \text{ Sen } \psi_i$$

Donde R_A y R_B son las reacciones normales sobre los dos planos ilustradas en el grafico mostrado anteriormente. Para determinar R_A y R_B es necesario resolver las condiciones de equilibrio proyectando horizontalmente y verticalmente las fuerzas presentes que actúan a lo largo de la línea de intersección:

$$R_A \text{ Sen } (\beta - \frac{1}{2} \xi) = R_B \text{ Sen } (\beta + \frac{1}{2} \xi)$$

$$R_A \text{ Cos } (\beta - \frac{1}{2} \xi) - R_B \text{ Cos } (\beta + \frac{1}{2} \xi) = W \text{ Cos } \psi_i$$

β es el ángulo que está formado por la bisectriz de diedro y la horizontal (ángulo de basculamiento del diedro)

ξ es el ángulo de abertura del diedro

Resolviendo tenemos:

$$R_A + R_B = (W \text{ Cos } \psi_i \cdot \text{Sen } \beta) / \text{Sen } (\frac{1}{2} \xi)$$

Entonces:
$$F = (\text{Sen } \beta / \text{Sen } (\frac{1}{2} \xi)) \cdot (\text{Tg } \Phi / \text{Tg } \beta)$$

4.3.4 Rotura por Vuelco o Toppling

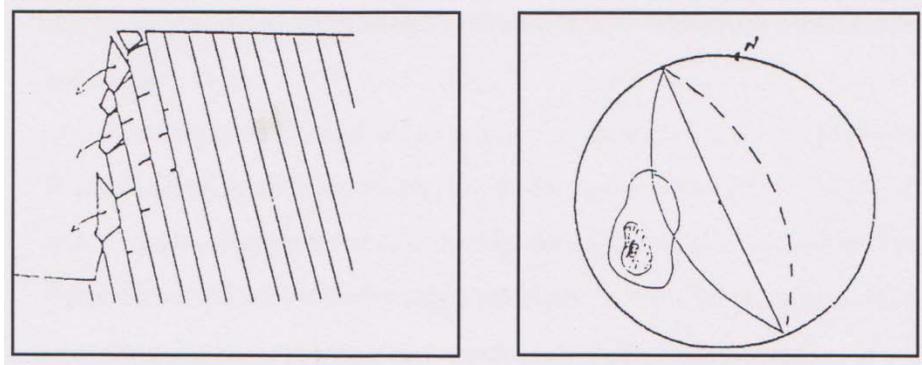


Fig. 82 Grafico rotura en basculamiento

Este, es el caso donde una familia de discontinuidades de orientación preferencial, está caracterizado por una misma dirección de pendiente que el talud y un sentido opuesto.

Como podemos apreciar en el análisis cinemático realizado, las familias de discontinuidades presentes en el tajo, presentarían para un talud de 70° una falla tipo cuña.

4.4 Estabilidad de Pendientes (Taludes)

Toda masa rocosa situada cerca de una superficie libre en pendiente, tiene tendencia a ponerse en movimiento bajo la influencia de su peso y de fuerzas externas e internas, hay estabilidad del talud si esta tendencia está equilibrada por los esfuerzos de cizallamiento, si no se produce el deslizamiento.

Sin querer entrar en detalles, podemos decir que las causas frecuentes de los deslizamientos de taludes, son debidos al peso del macizó y a la modificación del régimen hidráulico al interior del talud.

Así, el cálculo de la estabilidad de taludes está destinado a prevenir estas incidencias, esto quiere decir: diseñar un talud con una pendiente que presente un grado de seguridad en función de las condiciones o posibilidades que se produzca un deslizamiento.

Los métodos habitualmente utilizados son basados en una constatación de la experiencia, cuando ocurre un deslizamiento, se produce una separación de una masa rocosa del resto del macizo siguiendo una superficie de rotura.

El análisis de la estabilidad de taludes es tratado como un problema de estabilidad límite: una masa libre del talud se desliza sobre una cierta superficie de rotura. Por lo tanto con los valores conocidos o supuestos de las fuerzas que actúan sobre esta masa libre, se calcula la resistencia al cizallamiento del terreno a lo largo de la superficie de rotura para que el equilibrio limite sea conservado.

Se compara esta resistencia al cizallamiento calculado con la resistencia al cizallamiento del macizo estimado a partir de las características mecánicas del terreno, a fin de tener una indicación del margen de seguridad para una superficie de rotura seleccionada, es necesaria entonces la definición del coeficiente de seguridad. Escogiendo otras posiciones de la superficie de rotura, se obtendrá por cálculos reiterativos, el factor de seguridad mínimo y la superficie de rotura que le corresponde. Se compara este resultado al coeficiente de seguridad escogido.

Esta aproximación general, frecuentemente utilizada para los cálculos de estabilidad en mecánica de suelos, es la base de numerosos métodos de análisis de estabilidad de taludes.

Todos estos métodos admiten las hipótesis siguientes:

- La superficie de rotura o de deslizamiento es cilíndrica (taludes de gran longitud), esto permite tratar el problema en dos dimensiones.
- La rotura se efectúa simultáneamente en todos los puntos de la superficie de deslizamiento.
- Se omiten las fuerzas de inercia (no hay transición entre el equilibrio y el equilibrio límite).

Antes de comenzar el estudio de la estabilidad de un talud, es necesario conocer:

- Las características del macizo (geométricas, físicas, mecánicas)
- El rol que juega el agua al interior del macizo considerado, a través de las presiones intersticiales que se ejercen en la zona estudiada.
- Las fuerzas que actúan sobre una masa de terreno que se supone está a punto de deslizarse. Tales como:

El peso de toda la masa considerada.

El peso de sobrecargas eventuales en el talud

Las presiones hidrostáticas eventuales (caso de presas, diques, canales, etc.)

Las fuerzas que actúan sobre la superficie de deslizamiento (cohesión, fricción, presión intersticial).

Los métodos de cálculo se diferencian esencialmente por:

- La elección de la superficie de rotura

En lo que concierne su forma tenemos: círculo, espiral logarítmica, recta, superficie única o múltiple.

En lo que concierne su posición: haciendo numerosos ensayos y utilizando los resultados tabulados.

- La determinación de la repartición de esfuerzos a lo largo de la superficie de rotura. Esta admite una repartición que debe satisfacer las condiciones de equilibrio y que debe brindar un coeficiente de seguridad.

- La definición del coeficiente de seguridad y la verificación o no de todas las ecuaciones de equilibrio (equilibrio de fuerzas, suma de momentos nula).

Se puede clasificar estos métodos esquemáticamente en tres grupos:

- Métodos Globales

El método global simple de Taylor admite la hipótesis sobre la distribución de los esfuerzos a lo largo del arco de rotura y verifica solo el equilibrio de fuerzas.

Caquot y Biarez, presentaron los métodos globales generales de cálculo de la estabilidad de pendientes, para rotura circular, que satisfacen todas las ecuaciones de equilibrio, ellas se distinguen por el método de resolución, por la búsqueda del círculo de rotura que proporciona el coeficiente de seguridad mínimo. Estos métodos son utilizados solamente para superficies de rotura circular.

- Métodos de Dovelas (Tajadas)

La masa libre es dividida en numerosas tajadas verticales y el equilibrio de cada tajada es considerado. Estos métodos consideran el equilibrio de una manera aproximativa y son aplicados solamente a las superficies de roturas circulares.

Sin embargo, el principio general del método de dovelas puede ser utilizado para otras formas de rotura y los errores provenientes de la aproximación hecha sobre el equilibrio de las tajadas puede ser minimizado o eliminado.

- Método de Cuñas

Este método es utilizado cuando la superficie de rotura puede ser aproximada de manera satisfactoria por dos o tres líneas rectas.

Al parecer el método de tajadas ofrece la mejor aproximación para obtener una solución precisa para cualquier superficie de rotura.

4.5 Coeficiente de Seguridad

No es posible determinar los esfuerzos en todos los puntos de un macizo rocoso sujeto a una rotura por deslizamiento.

La parte de mayor volumen de la masa en movimiento esta en efecto en equilibrio elástico y solo una delgada capa muy próxima de la línea de deslizamiento pasa al estado de equilibrio plástico.

Puesto que es imposible precisar los esfuerzos que actúan efectivamente en un talud estable. Se supone por las necesidades de calculo que la rotura es inminente y por consiguiente se introduce un coeficiente de seguridad para recuperar u obtener los esfuerzos normales de trabajo compatibles con una buena habilitación de la obra. La determinación del coeficiente de seguridad está relacionada inevitablemente con los cálculos de estabilidad de taludes. La definición del coeficiente de seguridad del talud considera que la rotura es uno de los puntos más controversiales de la mecánica de rocas.

Muchas aproximaciones han sido propuestas presentando cada una ventajas e inconvenientes sin que se pueda encontrar una síntesis plenamente satisfactoria.

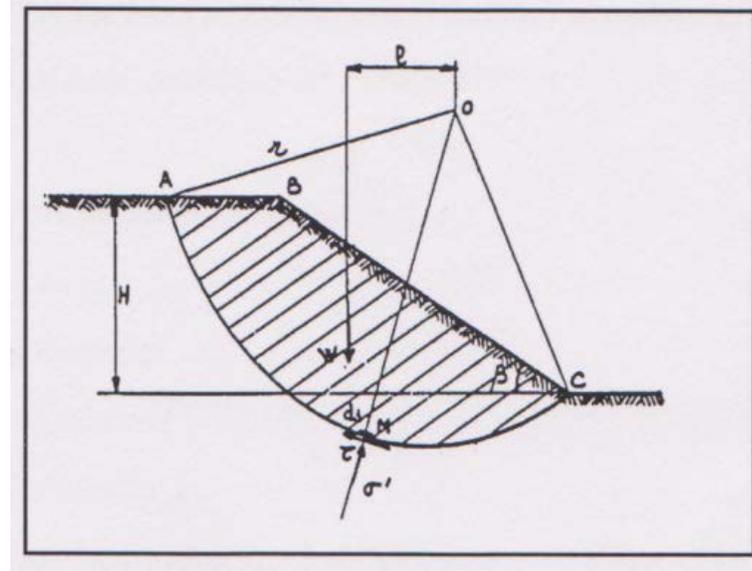


Fig. 83 Grafico principio del cálculo de la estabilidad de un talud

La figura representa un talud de altura H a un ángulo β con la horizontal. Para estudiar su estabilidad, se traza una línea de deslizamiento posible (arco de círculo AMC) y se busca las condiciones de equilibrio de la masa ABCMA.

Un cierto número de fuerzas actúan sobre esta masa. Estas fuerzas originan lo que en estática es denominado momento. Esto quiere decir el momento que tiende a hacer pivotar o girar la masa ABCMA a lo largo del arco de círculo AMC en el sentido de A hacia C.

Para equilibrar este momento, los esfuerzos de cizallamiento se desarrollan sobre la línea de deslizamiento posible y se tiene:

$$W \cdot l = r \int_A^C \tau \, ds$$

W: es el peso de la masa ABCMA

Como el talud está en equilibrio estable, la distribución de los esfuerzos de cizallamiento τ que figura en la ecuación precedente no es una distribución de esfuerzo crítico. Se dispone entonces de un cierto margen de seguridad que se aprecia con la ayuda de un coeficiente de seguridad.

A uno de los círculos AMC, se le puede hacer corresponder un valor numérico preciso del coeficiente de deslizamiento.

Se recomienza la operación para diversas líneas de deslizamiento posible y se busca determinar por cuál de las líneas se obtiene el valor más bajo del coeficiente de seguridad. Es este valor obtenido el que caracteriza el margen de seguridad con relación a la posibilidad de rotura que presenta el talud en estudio.

Así mismo, en primer lugar se puede comparar los esfuerzos de cizallamiento realmente aplicados τ y los esfuerzos de cizallamiento movilizables τ_f . Se tiene:

$$\tau_f = C + \sigma' \operatorname{Tg} \Phi$$

En esta fórmula:

σ' representa la distribución de los esfuerzos normales aplicados sobre el círculo de deslizamiento

τ_f es el esfuerzo de cizallamiento a la rotura actuando tangencialmente a este círculo.

Por definición, el coeficiente de seguridad será la relación entre el momento, los esfuerzos movilizables y el momento de los esfuerzos aplicados definidos también como momento motor.

$$F = \frac{r \int^A \tau_f ds}{r \int^A \tau ds}$$

Es decir:

$$F = \frac{r \int^A (C + \sigma' \operatorname{Tg} \Phi) ds}{W \cdot l}$$

4.6 Métodos de Equilibrio Límite

Se basan exclusivamente en las leyes de la estática para determinar el estado de equilibrio de una masa de terreno potencialmente inestable. No tienen en cuenta las deformaciones del terreno. Suponen que la resistencia al corte se moviliza total y simultáneamente a lo largo de la superficie de corte. Se pueden clasificar a su vez en dos grupos:

- Métodos exactos.
- Métodos no exactos.

Los métodos de equilibrio límite suponen que la rotura del talud, se produce simultáneamente en todos los puntos de una superficie de deslizamiento elegida a priori. De estos métodos, el método de tajadas con plano de rotura circular es el más utilizado debido a que los círculos son convenientes para poder analizar y con frecuencia determinar la superficie de rotura. Estos métodos no toman en cuenta la progresión de rotura, ni las deformaciones del macizo, como lo hace un cálculo por elementos finitos.

Métodos exactos:

La aplicación de las leyes de la estática proporciona una solución exacta del problema con la única salvedad de las simplificaciones propias de todos los métodos de equilibrio límite (ausencia de deformaciones, factor de seguridad constante en toda la superficie de rotura, etc.). Esto sólo es posible en taludes de geometría sencilla, como por ejemplo la rotura planar y la rotura por cuñas.

Métodos no exactos:

En la mayor parte de los casos la geometría de la superficie de rotura no permite obtener una solución exacta del problema mediante la única aplicación de las leyes de la estática. El problema es hiperestático y ha de hacerse alguna simplificación o hipótesis previa que permita su resolución. Se pueden considerar así los métodos que consideran el equilibrio global de la masa deslizante, hoy en desuso, y los métodos de las dovelas o rebanadas, que consideran a la masa deslizante dividida en una serie de fajas verticales.

Los métodos de las dovelas o rebanas pueden clasificarse en dos grupos:

Métodos aproximados: no cumplen todas las ecuaciones de la estática. Se pueden citar por ejemplo los métodos de Fellenius, Janbu y Bishop simplificado.

Métodos precisos o completos: cumplen todas las ecuaciones de la estática. Los más conocidos son los de Morgenstern-Price, Spencer y Bishop riguroso.

4.6.1 Determinación del Factor de Seguridad para el Talud.

El factor de seguridad estático y pseudo estático, ha sido determinado para cada uno de los perfiles, propuestos en el talud Este del tajo (**Ver Anexo A**), teniendo en consideración los dominios estructurales presentes en cada perfil. Con el uso de

software Slide, teniendo como datos de entrada los parámetros geotécnicos del macizo rocoso mostrados en el gráfico de la figura 18.

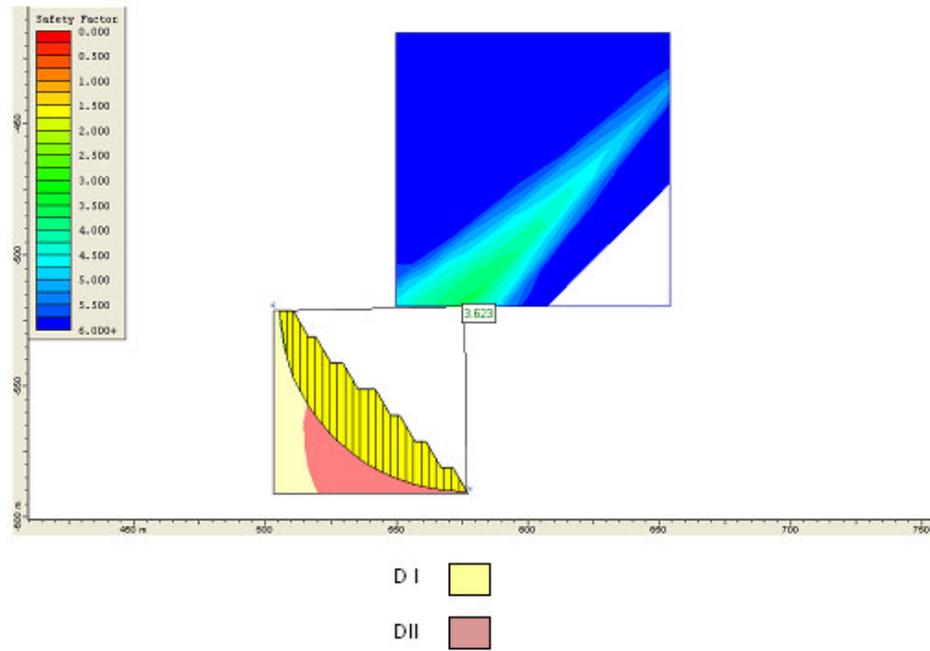


Fig. 84 Grafico perfil I (JANBU SIMPLIFIED)

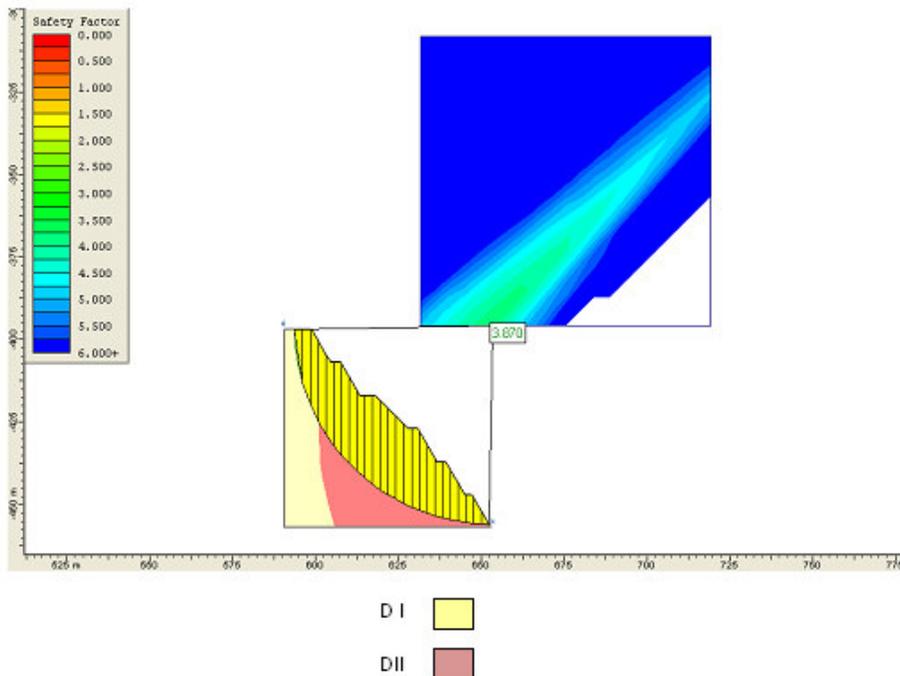


Fig. 85 Grafico perfil II (JANBU SIMPLIFIED)

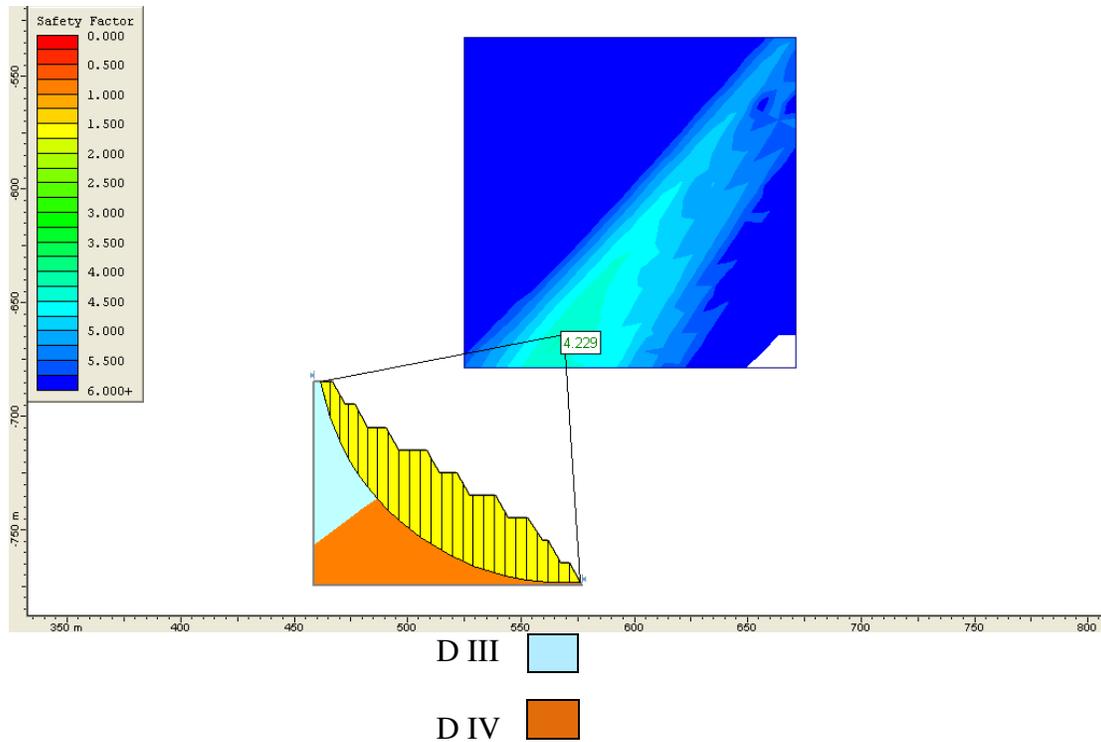


Fig. 86 Grafico perfil III (JANBU SIMPLIFIED)

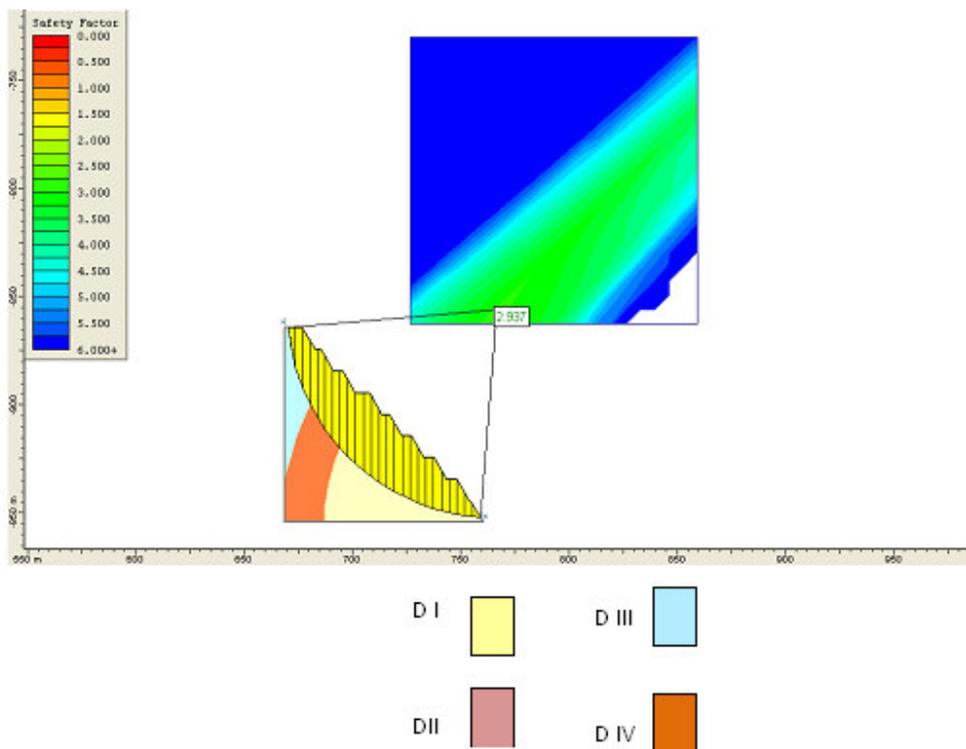


Fig. 87 Grafico perfil IV (JANBU SIMPLIFIED)

Para determinar el factor de seguridad pseudo estático, se ha considerado un coeficiente sísmico horizontal de 0.15 y vertical de 0.225.

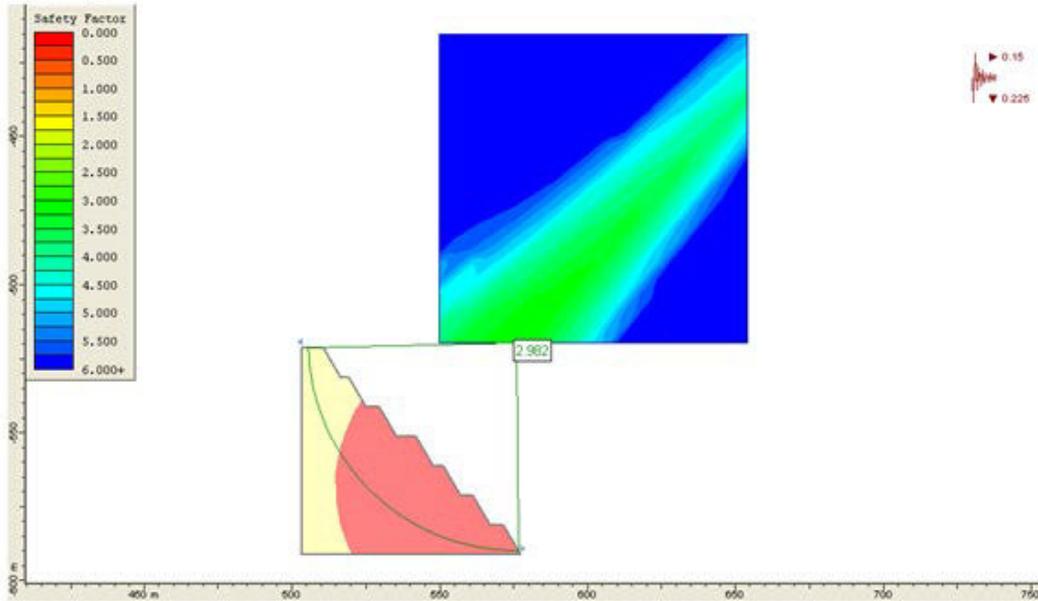


Fig. 88 Grafico perfil I (JANBU SIMPLIFIED)

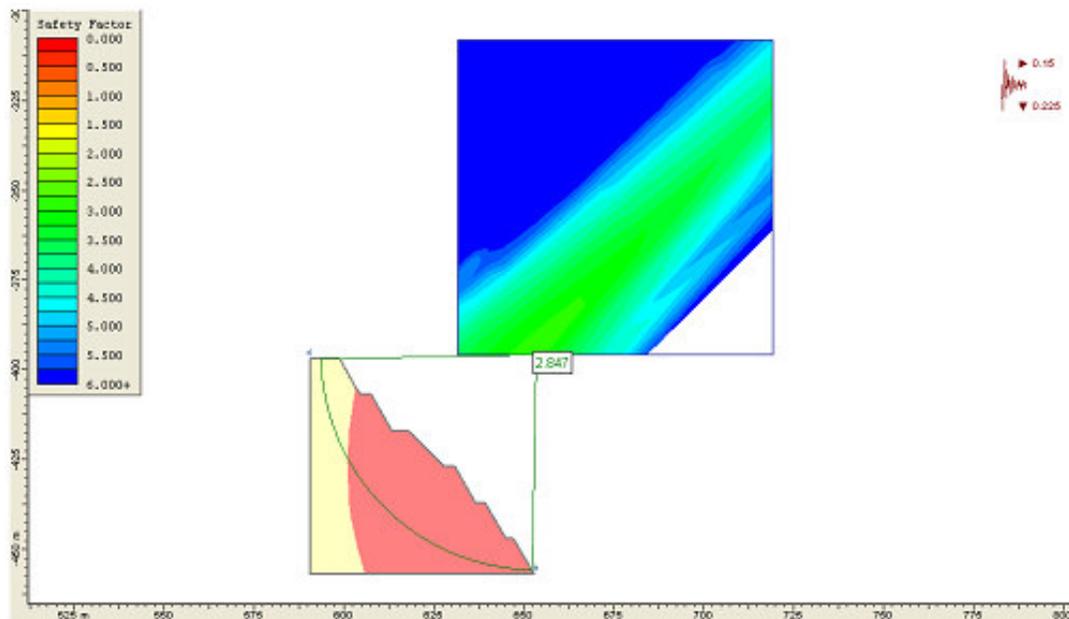


Fig. 89 Grafico perfil II (JANBU SIMPLIFIED)

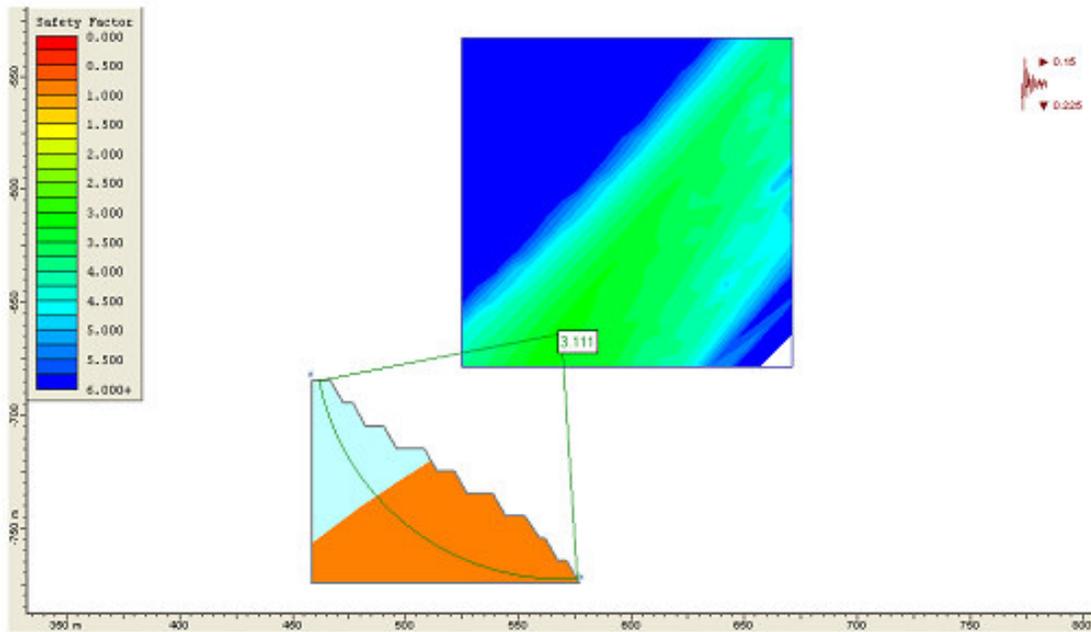


Fig. 90 Grafico perfil III (JANBU SIMPLIFIED)

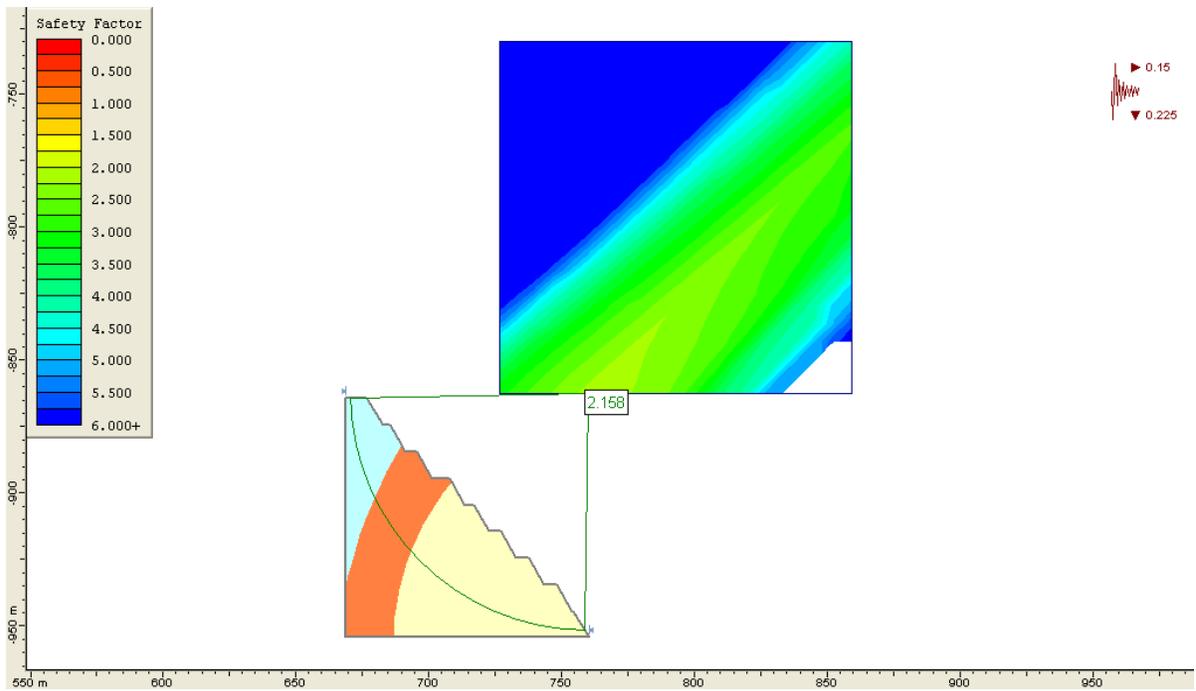


Fig. 91 Grafico perfil IV (JANBU SIMPLIFIED)

A partir de las características del terreno este software calcula el factor de seguridad para todos los círculos de rotura en el terreno tanto para roturas circulares como para cualquier forma de superficie de rotura y proporciona el factor de seguridad por cada uno de los métodos de cálculo. Si se obtiene un círculo de rotura con un factor de seguridad inferior a 1, el talud con el ángulo de pendiente adoptado no será estable.

Métodos de cálculo considerados:

Bishop simplificado, Janbu, Janbu simplificado y Spencer

En el presente trabajo para el análisis de falla por equilibrio límite, se presenta como resultado de la modelización, el método de cálculo de Janbu simplificado, el cual considera cualquier forma de superficie de falla y proporciona el factor de seguridad más bajo en comparación a los otros métodos de cálculo (**Ver anexo J**).

Aplicando el algoritmo de falla de Hoek Brown, se determinaron las propiedades de macizos rocoso presente en el tajo (se muestra en el **Anexo I**). Para esto se utilizó el software Rocklab.

CAPITULO V

V.- ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS DEL ESTUDIO DE LA ESTABILIDAD DEL TALUD POR EL MODELO DE ELEMENTOS FINITOS

5.1 Presentación del Método

El análisis numérico por el método de elementos finitos, es un método que aproxima la solución de ecuaciones diferenciales. Para ello se discretiza el dominio en elementos, que se conectan entre sí mediante los nodos, formando estos elementos la malla, los cálculos para la resolución del problema se hacen sobre la malla discretizada y el conjunto de relaciones entre el valor de una determinada variable en los nodos se escribe formando un sistema de ecuaciones, que se resuelven matricialmente. (**Ver apéndice E**)

El método de cálculo por elementos finitos, tiene entonces por objeto modelizar un sistema físico haciendo intervenir varias variables. Esto consiste en: Dividir un dominio "V" de un medio continuo por líneas o superficies imaginarias en un cierto número de sub-dominios "V_e" o elementos finitos. Se asume que estos elementos están relacionados por un número finito de puntos nodales situados sobre sus fronteras. El conjunto de elementos, deben constituir también un dominio lo más aproximado posible que el dominio donado "V".

Definir una función aproximada $\mu_e(x)$ sobre cada sub-dominio "V_e", por aproximación nodal, en los nudos situados sobre "V_e" y sobre su frontera las funciones aproximadas $\mu_e(x)$ sobre cada elemento "V_e" deberán estar contenidas sobre "V_e" y satisfacer las condiciones de continuidad entre los diferentes sub-dominios. Es decir, ello conduce a descomponer el medio continuo siguiendo un mallado constituido de elementos, generalmente de triángulos o de tetraedros, estos son estudiados separadamente.

En este método el teorema de energía potencial mínima es aplicado para todo desplazamiento virtual admisible de un material elástico. Se puede formular llamando X1, la energía de deformación, X2 la energía de las fuerzas exteriores, μ

el desplazamiento, F las fuerzas volumétricas, T las fuerzas de superficie aplicadas sobre S σ , σ el tensor de esfuerzo y ϵ el tensor de deformación, V el volumen del sólido.

$$X1 = \frac{1}{2} \int_V \sigma^T \cdot \epsilon \cdot dV$$

$$X2 = \int_V F^T \cdot \mu \cdot dV + \int_{S\sigma} T^T \cdot \mu \cdot dS$$

$$\delta X1 = \delta X2 \quad \text{Para todo } \delta \mu \text{ Admisible.}$$

Se puede llevar a la resolución de un sistema lineal presentando un gran número de incógnitas, pero bien condicionado.

Para la aplicación del método de elementos finitos, en la presente memoria de tesis en el análisis de la estabilidad del talud, se ha utilizado el software PHASE. Se considera para el modelamiento, las características de resistencia de la masa rocosa, presentadas en el siguiente cuadro:

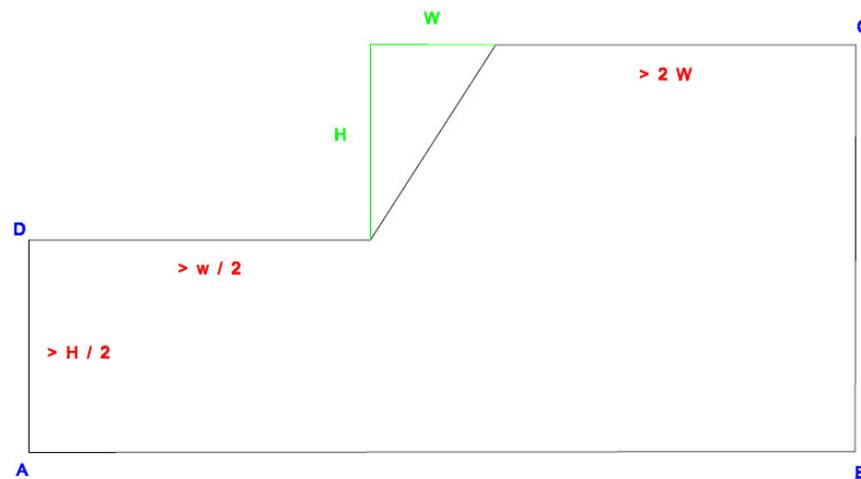
Tabla 22
Características de resistencia de la masa rocosa.

Carriere de Kaolin de Berrien Talud Este del Tajo Abierto											
Tipo de Roca	Resistencia Compresiva de la Roca Intacta Mpa	GSI	Constante de la Roca			Resistencia Compresiva Mpa	Resistencia a la Traccion Mpa	Angulo De Friccion (°)	Cohesion C Mpa	Modulo de Deformacion Emr Mpa	Modulo de Poisson
			m	s	a						
Esquisto	89	54	0.262	0.0005	0.504	1.9	- 0.16	29	0.845	5938.3	0.11
Cuarcita	122	54	0.636	0.0005	0.504	2.6	- 0.09	39	1.229	6294.6	0.16
Granito	130	45	0.570	0.0001	0.508	1.2	- 0.024	22	4.251	3729.5	0.28
Caolin	10	28	0.012	0.000006	0.526	0.018	- 0.005	4	0.054	445.6	0.056

Las propiedades del macizo rocoso, en la zona de Esquisto se han considerado las propiedades del dominio estructural I. Este dominio, está constituido por roca tipo esquisto y presenta valores bajos en comparación con el dominio estructural II (con roca esquisto).

Con el mismo criterio, en la zona de Cuarcita se considera las propiedades del dominio estructural IV.

Las propiedades de las zonas de Granito y Caolín, se han obtenido aplicando el algoritmo de falla de Hoek Brown, utilizando el software Rocklab. Se muestra en el **Anexo I**



**Fig. 92 Dimensiones mínimas recomendadas
para crear un modelo**

5.2 Esquemmatización Geométrica del Modelo

Utilizando el esquema geológico del talud en evaluación, se ha realizado el mallado (elementos finitos) para realizar los modelamientos, tanto para las simulaciones de los cálculos en elasticidad como en plasticidad. Para la evaluación de la estabilidad del talud se está considerando la esquematización geológica mostrada en la figura 9. La misma que considera la presencia del esquisto. Por ser la condición más desfavorable.

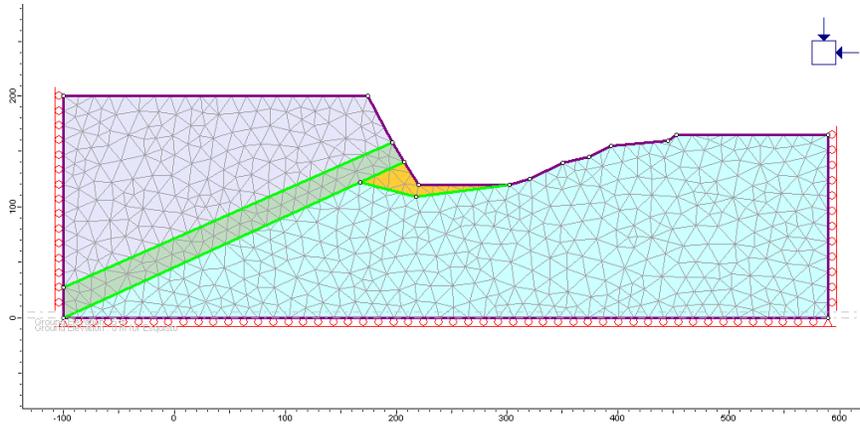


Fig. 93 Malla del modelo y sus condiciones a los límites considerando un talud con presencia del Caolín

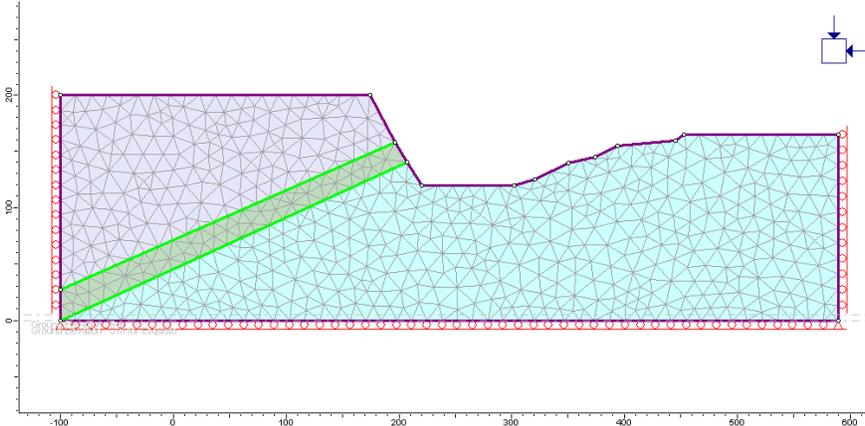


Fig. 94 Malla del modelo y sus condiciones a los límites considerando un talud sin la presencia del Caolín

5.3 Condiciones a los Límites

La localización de los límites del modelo, en relación a la zona de estudio puede influir considerablemente en los resultados del análisis. Esta influencia disminuye cuando los límites se sitúan lo más alejado posible. En este análisis se considera una distancia superior a los 100 metros.

Las condiciones de desplazamiento a los límites son:

Desplazamiento vertical $u = 0$

Desplazamiento horizontal $v = 0$

5.4 Resultado de la Simulación

5.4.1 Cálculo en Elasticidad Linear

La deformación en este caso es reversible y toma en consideración la ley de elasticidad lineal. Las propiedades del macizo rocoso se han obtenido con el criterio de falla de Hoek - Brown (software Rocklab).

Análisis Estático. El modelo para un talud de 60° muestra un factor de seguridad estable para la Cuarcita y el Esquisto, mostrando un factor de seguridad inestable para el Caolín. Fig. 95.

Análisis Pseudo Estático. El modelo para un talud de 60° muestra un factor de seguridad estable para la Cuarcita y el Esquisto, mostrando un factor de seguridad inestable para el Caolín. Fig. 97.

Si, consideramos en el talud únicamente la presencia de la cuarcita y el esquisto, recuperando todo el Caolín, presente en la mina se tendrá en términos generales un talud estable. Fig. 98 – Fig. 99. Para lo cual se tendría que determinar la relación beneficio/costo, por el incremento del radio de desbroce.

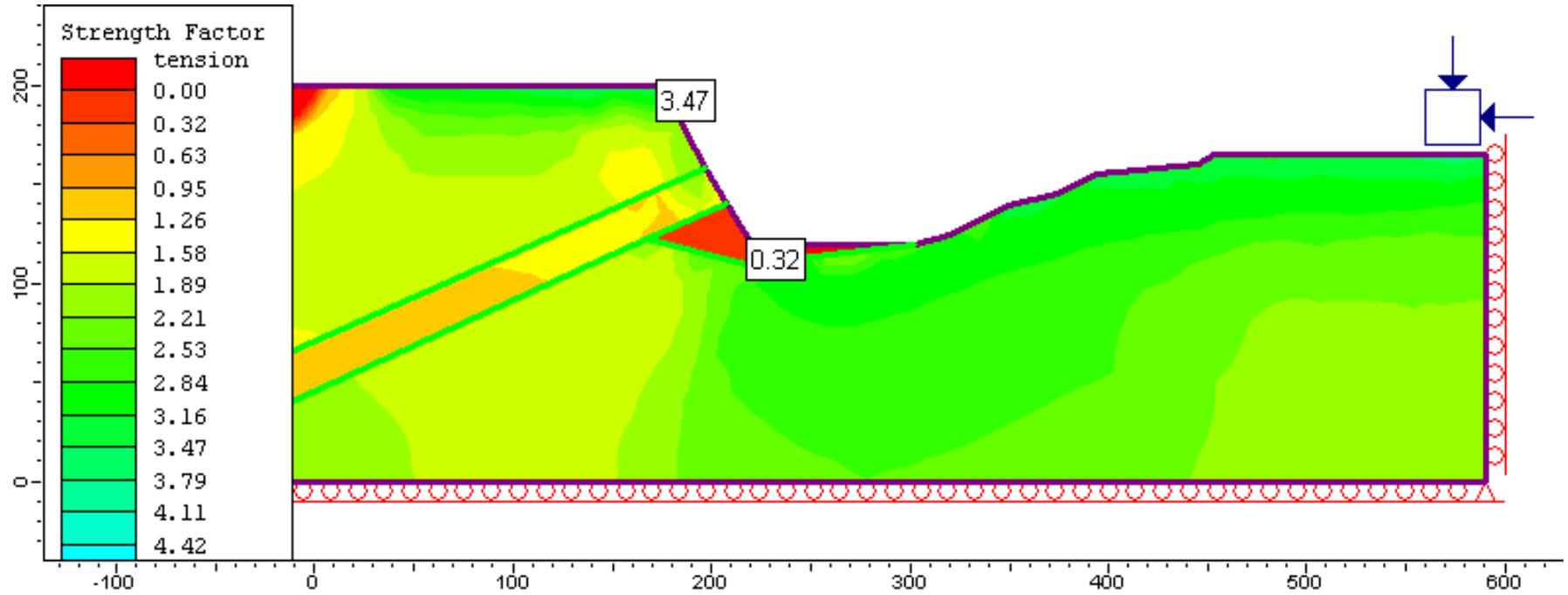
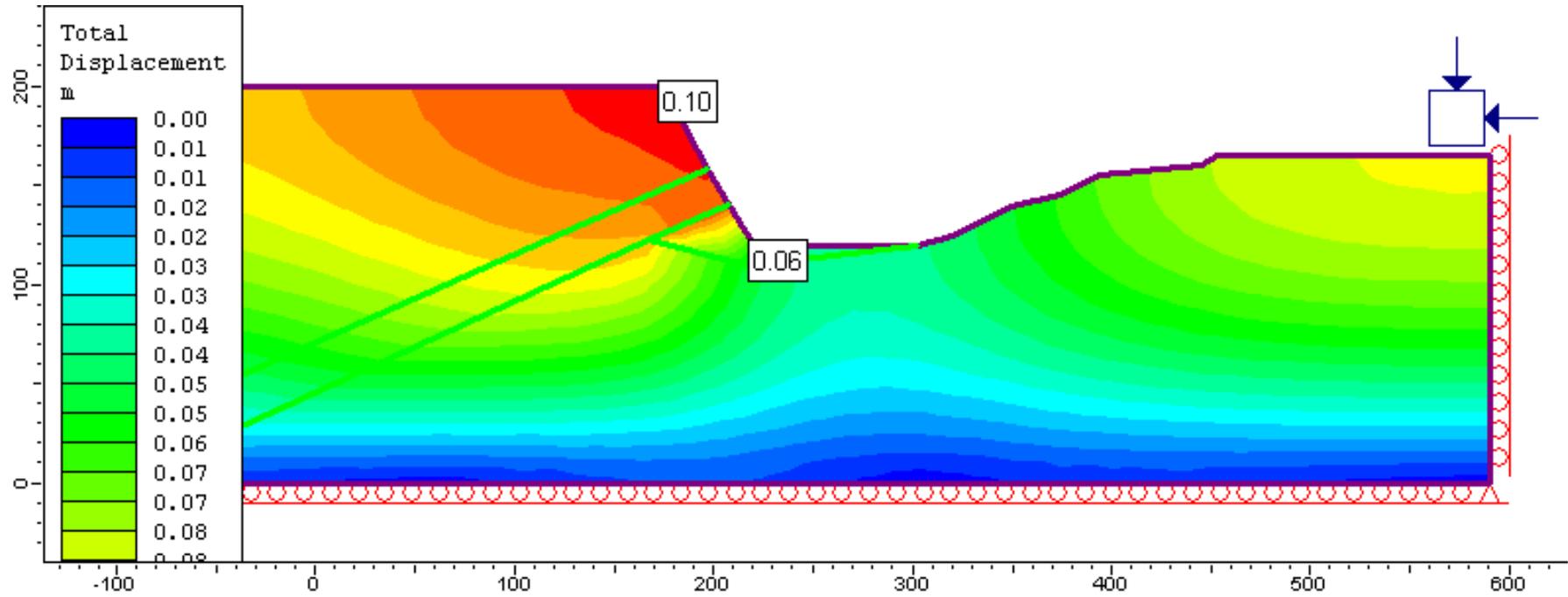
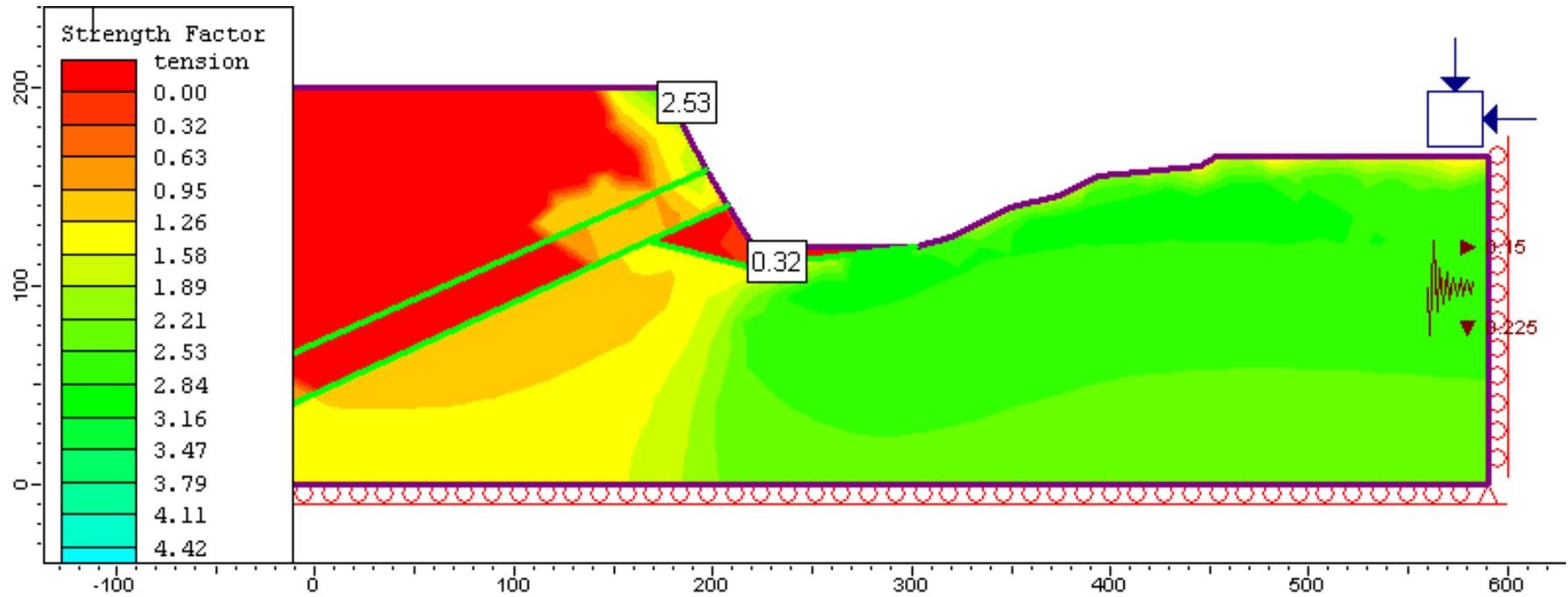


Fig. 95 Analisis Estatico
Talud considerando la presencia del Caolin
Factor de seguridad (FS: 0.32)



**Fig. 96 Analisis Estatico
Talud considerando la presencia del Caolin
Desplazamiento (10 cm)**



**Fig. 97 Analisis Seudo Estatico
Talud considerando la presencia del Caolin
Factor de seguridad (FS: 0.32)**

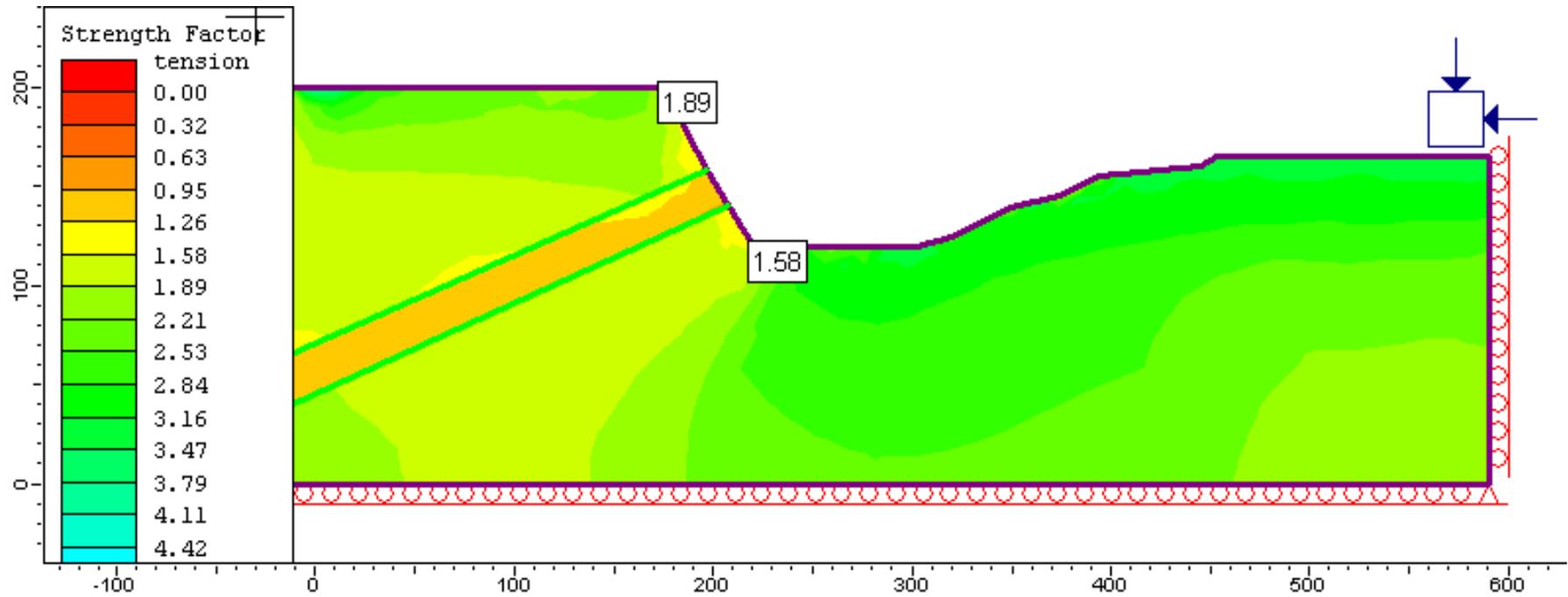
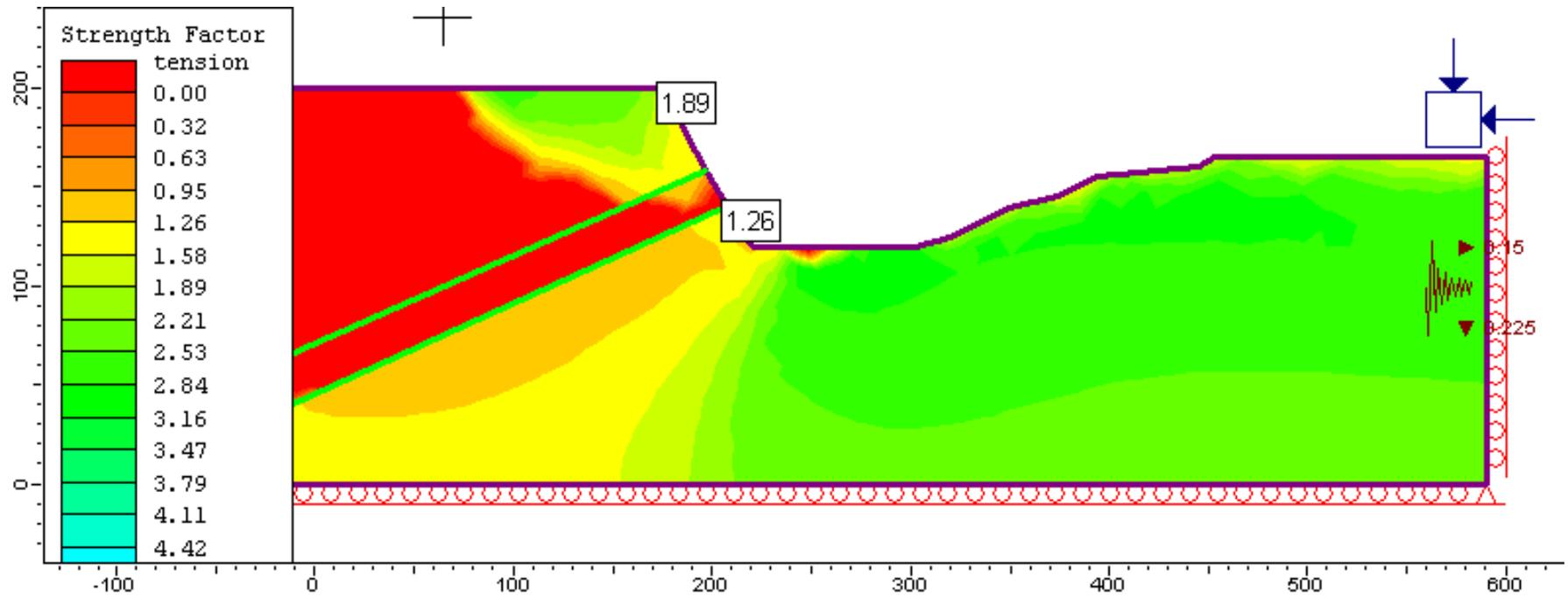
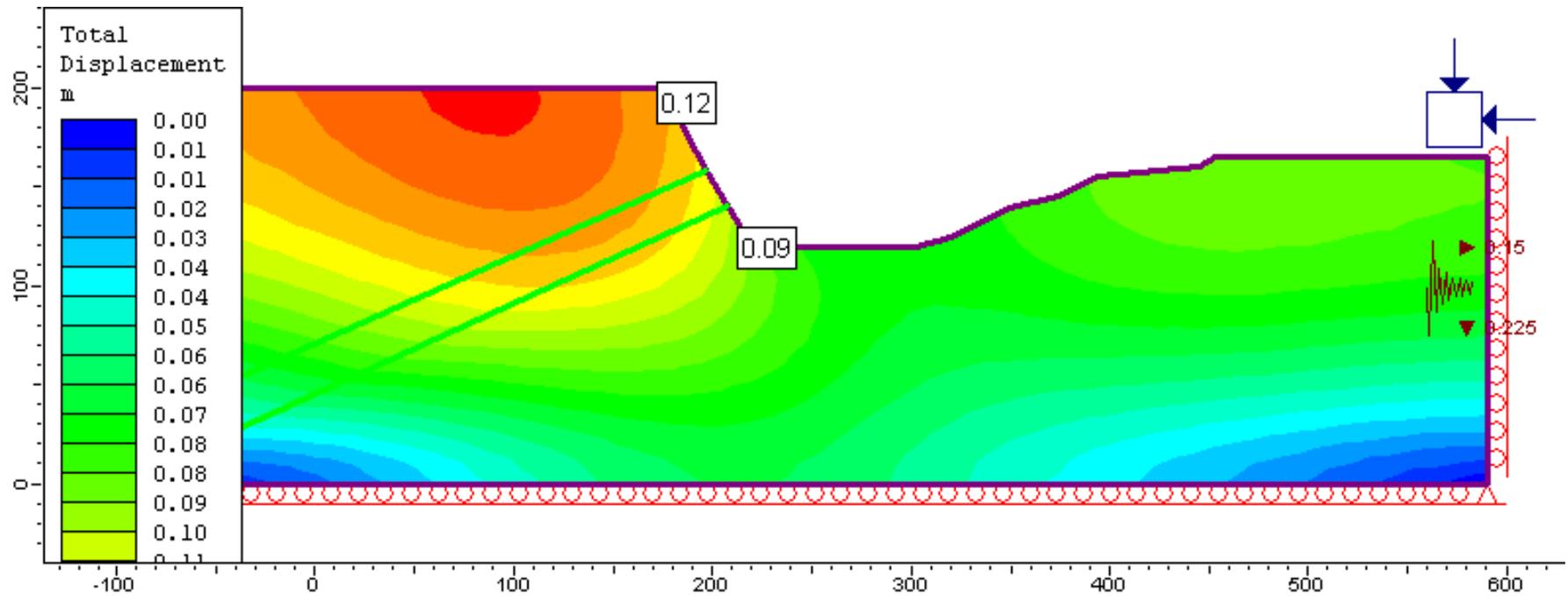


Fig. 98 Analisis Estatico
Talud sin considerar la presencia del Caolin
Factor de seguridad (FS: 1,58)



**Fig. 99 Analisis Seudo Estatico
Talud sin considerar la presencia del Caolin
Factor de seguridad (FS: 1.26)**



**Fig. 100 Analisis Seudo Estatico
Talud sin considerar la presencia del Caolin
Desplazamiento (12 cm)**

5.4.2 Cálculo en Plasticidad

La deformación del material es plástica, si después de la cesación de la tensión mecánica (esfuerzo), tiene deformaciones permanentes. Su comportamiento no depende explícitamente del tiempo. La descripción del comportamiento plástico está basada principalmente en dos conceptos fundamentales

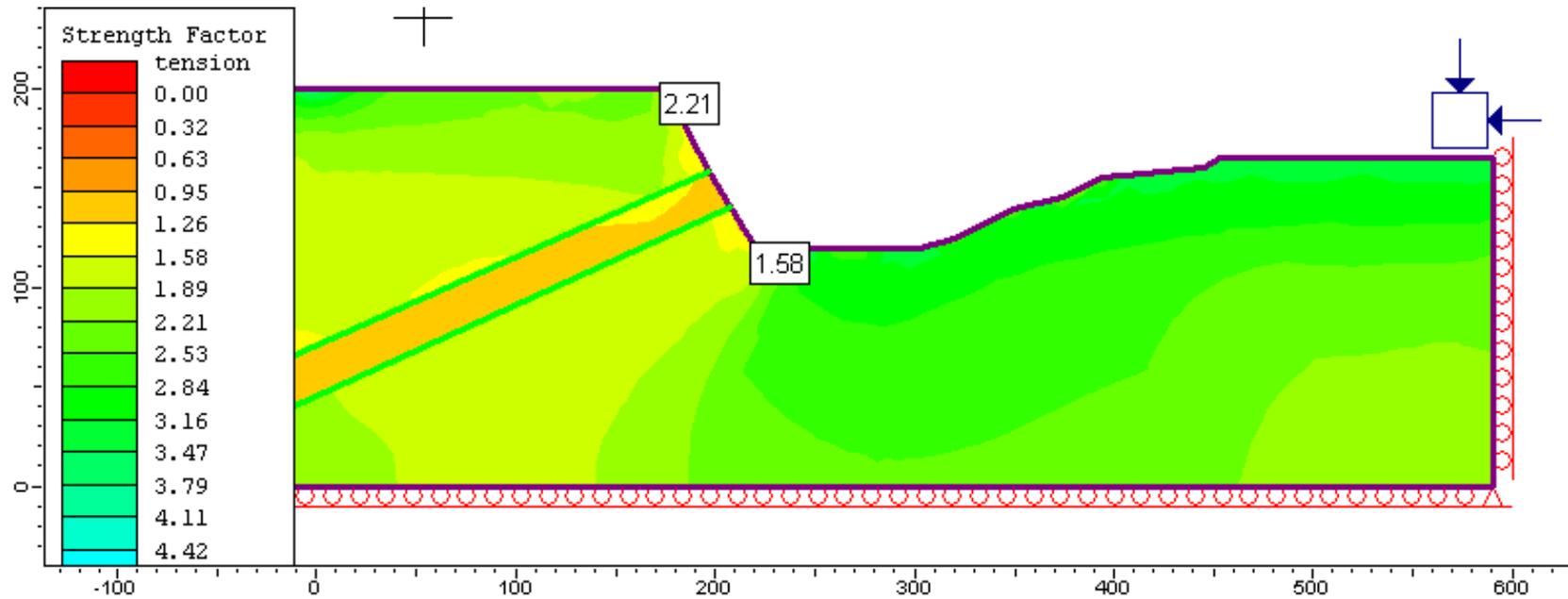
El criterio de la plasticidad. El cual genera el umbral de la plasticidad, este comportamiento se evidencia en los ensayos en tensión uniaxial.

La regla de plasticidad. La función escalar $f(\sigma)$, llamada criterio de plasticidad define el dominio de zona de elasticidad, este criterio es generalmente una diferencia entre el nivel de esfuerzo y un umbral (S) característico de material:

$$f = g(\sigma) - S$$

Lo ideal es que los resultados del cálculo para la zona elástica, verifican $f \leq 0$ en cualquier punto del material. Es decir, este criterio es negativo en la zona elástica y es cero en la zona plástica (equilibrio límite).

Análisis Estático. Si, consideramos en el talud únicamente la presencia de la cuarcita y el esquisto. El modelo, para un talud de 60° muestra un factor de seguridad estable para la Cuarcita y el Esquisto. Fig. 101



**Fig. 101 Analisis en Plasticidad
Talud sin considerar la presencia del Caolin
Factor de seguridad (FS: 1.58)**

5.4.3 Determinación del Factor de Seguridad

En todos los modelos realizados, para determinar el factor de seguridad pseudo estático, se ha considerado un coeficiente sísmico horizontal de 0.15 y vertical de 0.225.

Para la configuración de un talud de 60 grados, en la modelización con el software Phase, se ha obtenido los siguientes factores de seguridad:

En un talud constituido únicamente por cuarcita y esquisto, se tiene un talud estable con un factor de seguridad en el pie del talud de 1.58 para el análisis estático y un factor de seguridad en el pie del talud de 1.26 para el análisis pseudo estático, con un probable desplazamiento máximo de 12 cm. en la cresta del talud.

En un talud constituido por cuarcita, esquisto y caolín, se tiene un talud inestable con un factor de seguridad en el pie del talud de 0.32 y un probable desplazamiento máximo de 10 cm en la cresta del talud para el análisis estático y un factor de seguridad en el pie del talud de 0.32 para el análisis pseudo estático.

Teniendo la misma consideración anterior (talud constituido únicamente por cuarcita y esquisto), realizando el análisis en plasticidad, se tiene igualmente que un ángulo de talud de 60° es estable, para el talud Este de la mina a tajo abierto de Berrien, con un factor de seguridad en el pie del talud de 1.58.

Conclusiones

1.- El análisis cinemático realizado con el software Dips, en el presente estudio muestra que el diseño de un talud de banco de 60° es estable. Considerando los sistemas, constituidos por las familias de discontinuidades presentes en el tajo, por cada domino estructural.

2.- El cálculo de la estabilidad del talud, aplicando el método de equilibrio límite, haciendo uso del software Slide, muestra que el diseño de un talud de 60° , es estable para cada uno de los dominios estructurales determinados en el talud Este de la mina.

3.- Con el estudio de la estabilidad del talud diseñado por modelos numéricos (elementos finitos), para el talud Este de la mina, utilizando el software Phase, se evidencia la estabilidad del talud para un ángulo de 60° , considerando que el talud del tajo está constituido únicamente por la presencia de la cuarcita y el esquisto.

En el talud Este del tajo, el ángulo de los bancos se incrementara de 35° a 60° conforme se procede con la extracción del caolín durante la operación. Permitiendo extraer todo el caolín.

4.- Teniendo en consideración los criterios de estabilidad del talud y la configuración esquemática o geológica del talud del tajo Berrien (sin la presencia del caolín), es posible con los resultados obtenidos, aplicando la modelización numérica diseñar en el tajo una pendiente general del talud final Este a 60 grados. En el presente trabajo con las modelizaciones realizadas con el software Phase, se obtienen factores de seguridad estáticos y pseudo estáticos superiores a la unidad, tanto para las modelizaciones elásticas como plásticas.

5.- Con los resultados obtenidos en el presente trabajo. Se concluye que: El método de elementos finitos, modelización numérica aplicando los modelos elasto-plástico perfectos y elasto-plástico con ablandamiento (considerando las deformaciones del macizo rocoso), resuelve algunas de las deficiencias del método de equilibrio límite en el diseño de taludes.

Recomendaciones

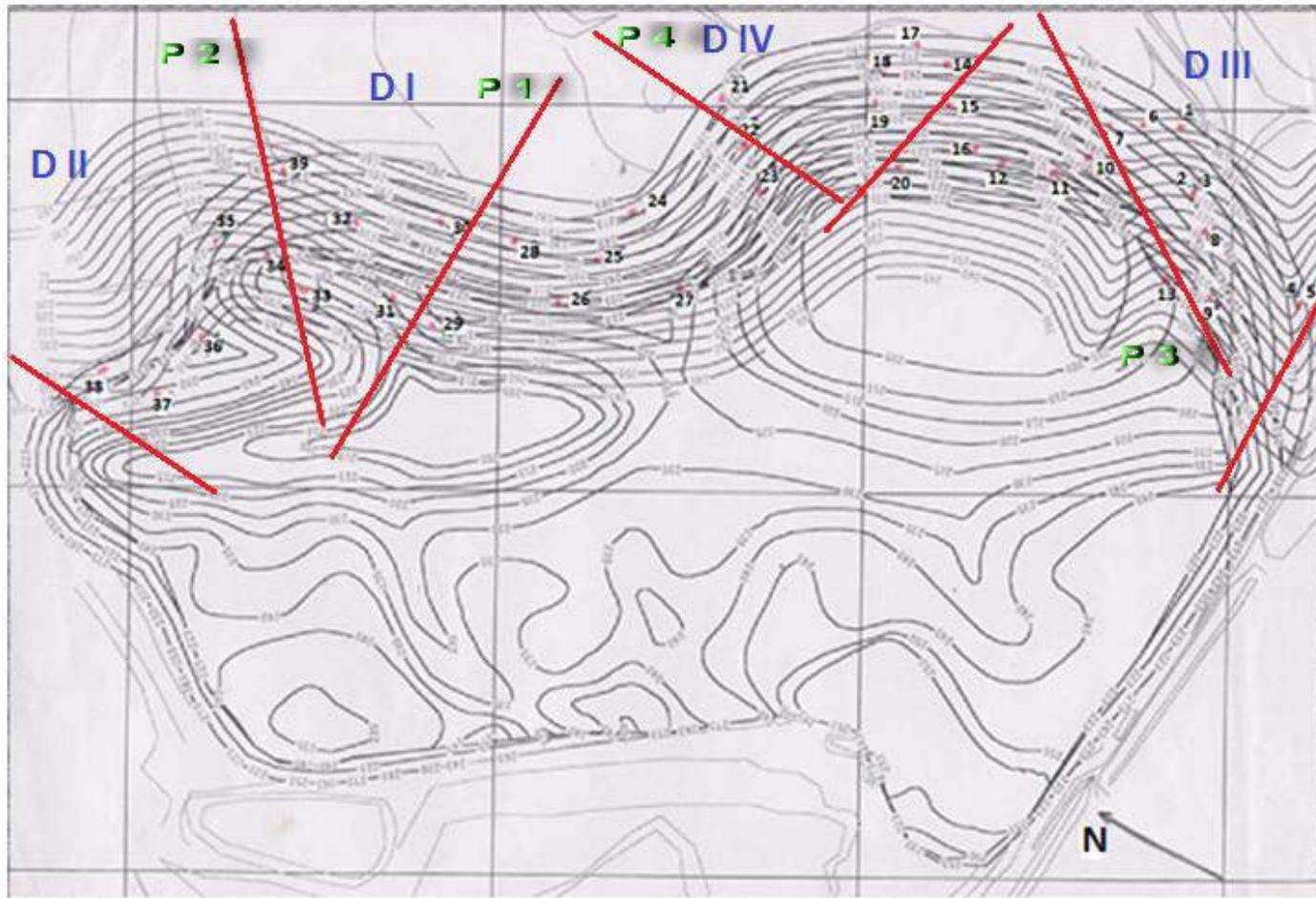
1.- Sobre la aplicación del método de elementos finitos en macizos rocosos, debo resaltar que estos materiales son por lo general discontinuos, anisotrópicos, no homogéneos y no elásticos, por ello debe considerarse las características y limitaciones del método. Siendo necesario profundizar los estudios, en el análisis de esfuerzos y deformaciones en la etapa de post-rotura.

2.- Así mismo, el módulo de elasticidad del terreno debe ser conocido con precisión, para realizar los cálculos tenso-deformacionales en el macizo rocoso. Para que el resultado de los análisis y/o cálculos con la aplicación del método de elementos finitos, se aproximen, mucho más al comportamiento geotécnico real del terreno o macizo rocoso en evaluación.

Anexos

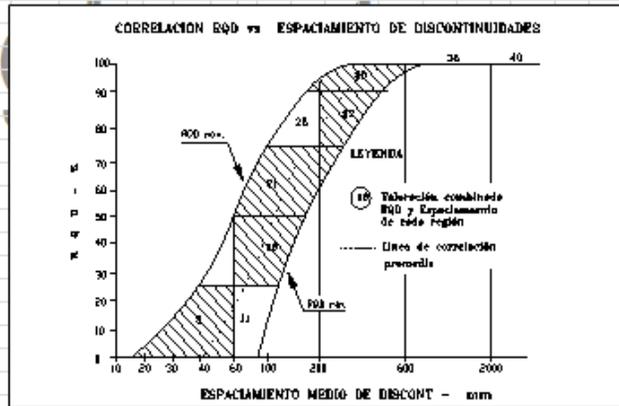
Anexo A

Ubicación de Estaciones de Mapeo - Dominios Estructurales (D) – Perfiles (P)



Anexo B
Mapeo Geomecánico RMR

DATOS DE MAPEO GEOMECANICO				LUGAR : Carriere De Caolin de Berria		POR: Ernesto Lopez Pomareda										
				LABOR : Talud Este del Tajo Abierto		FECHA: 16/04/2000										
Nº	ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO (mt)		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)											
	DIPS	DIPS DIRECTION	DESDE	HASTA												
1	36°	100°	0	2.36												
TIPO DE ROCA				FREC. FRACTURA	VALOR ESTIMADO											
A	%	B	%	C	%	DISC. /ml.										
CUARCITA				100		3										
TIPO	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO	RELLENO		COMENTARIOS	R. COMPRESION UNIAIAL (Mpa)									
ESTRUC.	DIP	DIP DIR	(cm)	TIPO	ESPESOR		R0D <=	RANGO DE VALORES		VALORACION						
D	15	27	0,2-0,6	R. Triturada	< 5 mm		>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25 (2) <5 (1) <1 (0)	1	7			
D	17	23	0,2-0,6	Limpia	Ninguno		90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	2	20			
D	27	15	0,06-0,2	Limpia	Ninguno		>2 (20)	0,6-2 (15)	0,2-0,6 (10)	0,06-0,2 (8)	<0,06 (5)	3	8			
D	23	152	0,2-0,6	Limpia	Ninguno		<1mm (6)	1-3 m. Larga (4)	3-10m (2)	10-20 m (1)	>20 m (0)	4A	6			
D	83	26	0,06-0,2	Limpia	Ninguno		Cerrada (6)	<0.1mm. Apert. (5)	0.1-1.0mm (4)	1-5 mm (1)	> 5 mm (0)	4B	6			
D	2	10	0,06-0,2	Limpia	Ninguno		Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Liq. rugosa (3)	Lira (1)	Espejo de falla (0)	4C	3			
							Limpia (6)	Dura <5mm (4)	Dura >5mm (2)	Suave < 5 mm (1)	Suave > 5 mm (0)	4D	6			
							Sana (6)	Liq. Intempo. (5)	Mad. Intempo. (3)	Muy Intempo. (2)	Descamputa (0)	4E	3			
							Seca (15)	Humeda (10)	Majada (7)	Gatosa (4)	Fluja (0)	5	15			
										VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =		74				
CLASE DE MACIZO ROCOSO																
RMR										100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0	I	
DESCRIPCION										I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA		
GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO				RANGO RESIS. COMP. Mps											
R1	Desconcha con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla				1,0 - 5,0											
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)				5 - 25											
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo				25 - 50											
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo				50 - 100											
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra				100 - 250											
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo				> 250											
GRADO	INDICE DE INTEMPERIZACION DESCRIPCION															
I SANA	Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás lig. De coloración sobre superficies de discontinuidades principales															
II LIGERO	La decoloración indica intemp. del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.															
III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.															
IV MUY INTEM.	Mas de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discont como núcleo rocoso.															
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descompto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.															
$RQD = 100 e^{(-0.1 \lambda)} \times (0.1 \lambda + 1) = 96 \%$																



ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
Mi	MINERAL
Ca	CALIZA
Pf	PORF. AND. DACT.
Bx	BRECHA
Tf	TUFO
Lv	LAVA DACT.

ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS	
D	SISTEMA DE DIACLASA
Fh	SISTEMA DE FALLAS
C	CONTACTO
MF	MICRO FALLA

ABREVI. ESPACIAMIENTO
1 > 2 m
2 0.6 - 2 m
3 0.2 - 0.6 m
4 0.06 - 0.2 m
5 < 0.06 m

ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO	
1 LIMPIO	7 CUARZO
2 CANTOS	8 OXIDOS
3 GUJARRO	9 YESO
4 GRAVA	10 ROC. TRITURADA
5 ARENA	11 OTROS
6 ARCILLA	

ABREVIATURAS DE ESPESOR DE RELLENO	
1 NINGUNO	
2 DURO < 5mm	
3 DURO > 5mm	
4 SUAVE < 5 mm	
5 SUAVE > 5 mm	

DATOS DE MAPEO GEOMECANICO							LUGAR : Carriere De Coailin de Berria		POR: Ernesto Lopez Pomareda					
							LABOR : Talud Este del Tajo Abierto		FECHA: 16/04/2000					
Nº		ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO (mt)		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)								
ESTACION		DIPS	DIPS DIRECTION	DESDE	HASTA									
2		35	151	0	3,45									
TIPO DE ROCA						PARAMETRO		RANGO DE VALORES			VALORACION			
A	%	B	%	C	%	DISC. /m.l.	VALOR ESTIMADO							
CUARCITA						100	2							
TIPO ESTRUCT.	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO (cm)	RELLENO		COMENTARIOS	R. COMPRESION UNIAIAL (Mpa)							
DIP	DIP DIR		TIPO	ESPEJOR	R. COMPRESION UNIAIAL (Mpa)		>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <10(1)			
D	70	221		R. Triturada	< 5 mm		90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	2	20	
D	13	24	0,2-0,6	R. Triturada	< 5 mm		>2 (20)	0,6-2 (15)	0,2-0,6 (10)	0,06-0,2 (8)	<0,06 (5)	3	10	
D	28	23	0,6-2	Limpia	Ninguno									
D	26	36	0,6-2	Limpia	Ninguno									
D	18	22	0,2-0,6	Limpia	Ninguno									
D	7	16	0,2-0,6	R. Triturada	< 5 mm									
							VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =					66		
							CLASE DE MACIZO ROCOSO							
							RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0	II	
							DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA		

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. Mpa
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con maz de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquivras de la muestra con el martillo	> 250

GRADO	INDICE DE INTEMPERIZACION DESCRIPCION
I SANA	Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás lig. De coloración sobre superficies de discontinuidades principales
II LIGERO	La decoloración indica intemp. del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.
III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.
IV MUY INTEM.	Mas de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discont como núcleo rocoso.
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descompto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.

ABREVIACION DE TIPO DE ROCA

Mi	MINERAL
Ca	CALIZA
Pf	PORF. AND. DACT.
Bx	BRECHA
Tf	TUFO
Lv	LAVA DACT.

ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS

D	SISTEMA DE DIACLASA
Fn	SISTEMA DE FALLAS
C	CONTACTO
Mf	MICRO FALLA

ABREVI. ESPACIAMIENTO

1	> 2 m
2	0,6 - 2 m
3	0,2 - 0,6 m
4	0,06 - 0,2 m
5	< 0,06 m

ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO

1	LIMPIO	7	CUARZO
2	CANTOS	8	OXIDOS
3	GUIJARRO	9	YESO
4	GRAYA	10	ROC. TRITURADA
5	ARENA	11	OTROS
6	ARCILLA		

ABREVIATURAS DE ESPESOR DE RELLENO

1	NINGUNO
2	DURO < 5mm
3	DURO > 5mm
4	SUAVE < 5 mm
5	SUAVE > 5 mm

$RQD = 100 e^{-(0.1 \lambda)} \times (0.1 \lambda + 1) = 98 \%$

CORRELACION RQD vs ESPACIAMIENTO DE DISCONTINUIDADES

DATOS DE MAPEO GEOMECANICO				LUGAR :	Carriere De Caolina de Berria				POR:	Ernesto Lopez Pomareda			
				LABOR :	Taled Este del Tajo Abierto				FECHA:	16/04/2000			
Nº		ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO (mt)		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)							
ESTACION		DIPS	DIPS DIRECTION	DESDE	HASTA	PARAMETRO					RANGO DE VALORES		VALORACION
3		40°	173°	0	3.64								
TIPO DE ROCA				FREC. FRACTURA									
A	%	B	%	C	%	DISC. / ml.							
CUARCITA				1									
TIPO ESTRUCT.	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO (cm)	RELLENO		COMENTARIOS							
D	DIP	DIP DIR		TIPO	ESPESOR								
	17	23		R. Triturada	< 5 mm								
R. COMPRESION UNIAIAL (Mpa)						>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	7	
RQD %						90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	2	20	
ESPACIAMIENTO (m)						>2 (20)	0,6-2 (15)	0,2-0,6 (10)	0,06-0,2 (8)	<0,06 (5)	3	15	
CONDICION DE APERTURA						<1m long. (6)	1-3 m Long. (4)	3-10m (2)	10-20 m (1)	>20 m (0)	4A	4	
DE RUGOSIDAD						Corrada (6)	<0,1mm apart. (5)	0,1-1,0mm (4)	1-5 mm (1)	>5 mm (0)	4B	4	
JUNTAS RELLENO						Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Liq. rugosa (3)	Lira (1)	Espejado de Falla (0)	4C	3	
INTEMPERIZA.						Limpia (6)	Dura <5mm (4)	Dura >5mm (2)	Suave <5mm (1)	Suave >5mm (0)	4D	2	
AGUA SUBTERRANEA						Sana (6)	Liq. Intempe. (5)	Mad. Intempe. (3)	Muy Intempe. (2)	Descampuerta (0)	4E	0	
						Soca (15)	Humeda (10)	Mojada (7)	Gotas (4)	Fluja (0)	5	15	
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =												70	
CLASE DE MACIZO ROCOSO													
RMR						100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0	II		
DESCRIPCION						I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA			
GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO				RANGO RESIS. COMP. Mps								
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla				1,0 - 5,0								
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)				5 - 25								
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo				25 - 50								
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo				50 - 100								
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra				100 - 250								
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo				> 250								
GRADO	INDICE DE INTEMPERIZACION DESCRIPCION												
I SANA	Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás lig. De coloración sobre superficies de discontinuidades principales												
II LIGERO	La decoloración indica intemp. del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.												
III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.												
IV MUY INTEM.	Mas de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discont como núcleo rocoso.												
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descompto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.												
$RQD = 100 e^{(-0.1 \lambda)} \times (0.1 \lambda + 1) = 100 \%$													

CORRELACION RQD vs ESPACIAMIENTO DE DISCONTINUIDADES

ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
Mi	MINERAL
Cz	CALIZA
Pf	PORF. AND. DACT.
Bx	BRECHA
Tf	TUFO
Lv	LAVA DACT.

ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS	
D	SISTEMA DE DIACLASA
Fn	SISTEMA DE FALLAS
C	CONTACTO
MF	MICRO FALLA

ABREVIA.	ESPACIAMIENTO
1	> 2 m
2	0,6 - 2 m
3	0,2 - 0,6 m
4	0,06 - 0,2 m
5	< 0,06 m

ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO	
1	LIMPIO
2	CANTOS
3	GUJARRO
4	GRAVA
5	ARENA
6	ARCILLA
7	CUARZO
8	OXIDOS
9	YESO
10	ROC. TRITURADA
11	OTROS

ABREVIATURAS DE ESPESOR DE RELLENO	
1	NINGUNO
2	DURO < 5mm
3	DURO > 5mm
4	SUAVE < 5 mm
5	SUAVE > 5 mm

DATOS DE MAPEO GEOMECANICO				LUGAR : Carriere De Caolin de Berria		POR: Ernesto Lopez Pomareda								
				LABOR : Taled Este del Tajo Abierto		FECHA: 16/04/2000								
N°	ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO (mt)		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)									
	ESTACION	DIPS	DIPS DIRECTION	DESDE	HASTA									
4	45'	152'	0	3.35										
TIPO DE ROCA				FREC. FRACTURA	PARAMETRO	RANGO DE VALORES			VALOR ESTIMADO					
A	%	B	%	C	%	DISC. /ml.	R. COMPRESION UNIAxIAL (Mpa)	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25 (2) <5 (1) <1 (0)	1	7
CUARCITA				100		3	RQD %	90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	2	20
TIPO ESTRUCT.	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO (cm)	RELLENO		COMENTARIOS	ESPACIAMIENTO (m)	RANGO DE VALORES			VALOR ESTIMADO			
	DIP	DIP DIR		TIPO	ESPESOR		PERSISTENCIA	>2 (20)	0,6-2 (15)	0,2-0,6 (10)	0,06-0,2 (8)	<0,06 (5)	3	8
D	83	15		R. Triturada	< 5 mm		CONDICION	<1 mlang. (6)	1-3 m Lang. (4)	3-10m (2)	10-20m (1)	>20 m (0)	4A	4
D	7	31	0,06-0,2	R. Triturada	< 5 mm		DE	Corrada (6)	<0,1mm apert. (5)	0,1-1,0mm (4)	1-5 mm (1)	> 5 mm (0)	4B	1
D	7	23	0,06-0,2	R. Triturada	< 5 mm		JUNTAS	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Liq. rugosa (3)	Lira (1)	Espejo de falla (0)	4C	3
D	31	7	0,2-0,6	R. Triturada	> 5 mm		RELLENO	Limpia (6)	Dura <5mm (4)	Dura >5mm (2)	Suave < 5 mm (1)	Suave > 5 mm (0)	4D	4
D	72	224	0,2-0,6	R. Triturada	> 5 mm		INTEMPERIZA.	Sana (6)	Liq. Intempe. (5)	Med. Intempe. (3)	Muy Intempe. (2)	Descompuesta (0)	4E	0
							AGUA SUBTERRANEA	Seca (15)	Humeda (10)	Majada (7)	Gatosa (4)	Fluja (0)	5	15
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =													62	
CLASE DE MACIZO ROCOSO														
RMR		100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0								II
DESCRIPCION		I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA								
GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO		RANGO RESIS. COMP. Mps											
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla		1,0 - 5,0											
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)		5 - 25											
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo		25 - 50											
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo		50 - 100											
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra		100 - 250											
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo		> 250											
GRADO	INDICE DE INTEMPERIZACION DESCRIPCION													
I SANA	Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás lig. De coloración sobre superficies de discontinuidades principales													
II LIGERO	La decoloración indica intemp. del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.													
III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.													
IV MUY INTEM.	Mas de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discont como núcleo rocoso.													
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descompto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.													
$RQD = 100 e^{-(0.1 \lambda)} \times (0.1 \lambda + 1) = 96 \%$														

ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
Mi	MINERAL
Cz	CALIZA
Pf	PORF. AND. DACT.
Bx	BRECHA
Tf	TUFO
Lv	LAVA DACT.

ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS	
D	SISTEMA DE DIACLASA
Fa	SISTEMA DE FALLAS
C	CONTACTO
MF	MICRO FALLA

ABREVI. ESPACIAMIENTO	
1	> 2 m
2	0,6 - 2 m
3	0,2 - 0,6 m
4	0,06 - 0,2 m
5	< 0,06 m

ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO			
1	LIMPIO	7	CUARZO
2	CANTOS	8	OXIDOS
3	GUJARRO	9	YESO
4	GRAVA	10	ROC. TRITURADA
5	ARENA	11	OTROS
6	ARCILLA		

ABREVIATURAS DE ESPESOR DE RELLENO	
1	NINGUNO
2	DURO < 5mm
3	DURO > 5mm
4	SUAVE < 5 mm
5	SUAVE > 5 mm

DATOS DE MAPEO GEOMECANICO				LUGAR : Carriere De Caolia de Berria		POR: Ernesto Lopez Pomareda																																														
				LABOR : Talud Este del Tajo Abierto		FECHA: 16/04/2000																																														
Nº	ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO (mt)		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)																																															
	ESTACION	DIPS	DIPS DIRECTION	DESDE	HASTA																																															
5	48°	175°	0	4.55																																																
TIPO DE ROCA				FREC. FRACTURA		PARAMETRO	RANGO DE VALORES				VALORACION																																									
A	%	B	%	C	%	R. COMPRE. UNIAIXIAL (Mpa)	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	7																																							
CUARCITA				2		RQD %	90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	2	20																																							
TIPO ESTRUCC.	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO (cm)	RELLENO		COMENTARIOS	ESPACIAMIENTO (m)					VALORACION																																								
	DIP	DIP DIR	TIPO	ESPESOR	PERSISTENCIA		APERTURA	RUGOSIDAD	RELLENO	INTEMPERIZA.	AGUA SUBTERRANEA																																									
D	70	220	0,6-2	Limpia	Ninguno	>2 (20)	<1m long. (6)	1-3 m Long. (4)	0,6-2 (15)	0,2-0,6 (10)	0,06-0,2 (8)	<0,06 (5)	3	15																																						
D	29	21	0,6-2	R. Triturada	< 5 mm	<1m long. (6)	Cerrada (6)	<0,1mm apart. (5)	0,1-1,0mm (4)	1-5 mm (1)	> 20 m (0)	4A	4																																							
D	72	223	0,6-2	R. Triturada	< 5 mm	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Liq. rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	> 5 mm (0)	4B	5																																							
D	16	30	0,6-2	R. Triturada	> 5 mm	Limpia (6)	Dura < 5mm (4)	Dura > 5mm (2)	Suave < 5mm (1)	Suave > 5mm (0)	> 5 mm (0)	4D	1																																							
						Sana (6)	Liq. Intempe. (5)	Mad. Intempe. (3)	Muy Intempe. (2)	Descompuesta (0)	> 5 mm (0)	4E	3																																							
						Saca (15)	Humeda (10)	Mojada (7)	Gotas (4)	Fluja (0)		5	15																																							
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =												73																																								
CLASE DE MACIZO ROCOSO												II																																								
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0																																															
DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA																																															
GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO		RANGO RESIS. COMP. Mpa																																																	
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla		1,0 - 5,0																																																	
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)		5 - 25																																																	
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo		25 - 50																																																	
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo		50 - 100																																																	
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra		100 - 250																																																	
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo		> 250																																																	
GRADO	INDICE DE INTEMPERIZACION DESCRIPCION		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">ABREVIACION DE TIPO DE ROCA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Mi</td><td>MINERAL</td></tr> <tr><td>Ca</td><td>CALIZA</td></tr> <tr><td>Pf</td><td>PORF. AND. DACT.</td></tr> <tr><td>Bx</td><td>BRECHA</td></tr> <tr><td>Tf</td><td>TUFO</td></tr> <tr><td>Lv</td><td>LAVA DACT.</td></tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>D</td><td>SISTEMA DE DIACLASA</td></tr> <tr><td>Fn</td><td>SISTEMA DE FALLAS</td></tr> <tr><td>C</td><td>CONTACTO</td></tr> <tr><td>MF</td><td>MICRO FALLA</td></tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ABREVIA. ESPACIAMIENTO</th> <th>ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO</th> <th>ABREVIATURAS DE ESPESOR DE RELLENO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1 > 2 m</td><td>1 LIMPIO</td><td>7 CUARZO</td></tr> <tr><td>2 0,6 - 2 m</td><td>2 CANTOS</td><td>8 OXIDOS</td></tr> <tr><td>3 0,2 - 0,6 m</td><td>3 GUIJARRO</td><td>9 YESO</td></tr> <tr><td>4 0,06 - 0,2 m</td><td>4 GRAVA</td><td>10 ROC. TRITURADA</td></tr> <tr><td>5 < 0,06 m</td><td>5 ARENA</td><td>11 OTROS</td></tr> <tr><td></td><td>6 ARCILLA</td><td></td></tr> </tbody> </table>					ABREVIACION DE TIPO DE ROCA		Mi	MINERAL	Ca	CALIZA	Pf	PORF. AND. DACT.	Bx	BRECHA	Tf	TUFO	Lv	LAVA DACT.	ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS		D	SISTEMA DE DIACLASA	Fn	SISTEMA DE FALLAS	C	CONTACTO	MF	MICRO FALLA	ABREVIA. ESPACIAMIENTO	ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO	ABREVIATURAS DE ESPESOR DE RELLENO	1 > 2 m	1 LIMPIO	7 CUARZO	2 0,6 - 2 m	2 CANTOS	8 OXIDOS	3 0,2 - 0,6 m	3 GUIJARRO	9 YESO	4 0,06 - 0,2 m	4 GRAVA	10 ROC. TRITURADA	5 < 0,06 m	5 ARENA	11 OTROS		6 ARCILLA	
ABREVIACION DE TIPO DE ROCA																																																				
Mi	MINERAL																																																			
Ca	CALIZA																																																			
Pf	PORF. AND. DACT.																																																			
Bx	BRECHA																																																			
Tf	TUFO																																																			
Lv	LAVA DACT.																																																			
ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS																																																				
D	SISTEMA DE DIACLASA																																																			
Fn	SISTEMA DE FALLAS																																																			
C	CONTACTO																																																			
MF	MICRO FALLA																																																			
ABREVIA. ESPACIAMIENTO	ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO	ABREVIATURAS DE ESPESOR DE RELLENO																																																		
1 > 2 m	1 LIMPIO	7 CUARZO																																																		
2 0,6 - 2 m	2 CANTOS	8 OXIDOS																																																		
3 0,2 - 0,6 m	3 GUIJARRO	9 YESO																																																		
4 0,06 - 0,2 m	4 GRAVA	10 ROC. TRITURADA																																																		
5 < 0,06 m	5 ARENA	11 OTROS																																																		
	6 ARCILLA																																																			
I SANA	Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás lig. De coloración sobre superficies de discontinuidades principales																																																			
II LIGERO	La decoloración indica intemp. del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.																																																			
III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.																																																			
IV MUY INTEM.	Mas de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discont como núcleo rocoso.																																																			
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descompto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.																																																			
$RQD = 100 e^{-(0.1 \lambda)} \times (0.1 \lambda + 1) = 98 \%$																																																				

DATOS DE MAPEO GEOMECANICO						LUGAR : Carriere De Caolin de Berria		POR: Ernesto Lopez Pomareda					
						LABOR : Talud Este del Tajo Abierto		FECHA: 16/04/2000					
Nº	ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO (mt)		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)								
	ESTACION	DIPS	DIPS DIRECTION	DESDE						HASTA			
6	50'	175'	0	5.27									
TIPO DE ROCA				FREC. FRACTURA	PARAMETRO	RANGO DE VALORES				VALORACION			
A	%	B	%	C	%	DISC. / ml.	VALOR ESTIMADO						
CUARCITA	100					3	R. COMPRES. UNIAIXIAL (Mpa)	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25 (2) <5 (1) <1 (0)	1 7
TIPO	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO	RELLENO		COMENTARIOS	ESPACIAMIENTO (m)						
ESTRUC.	DIP	DIP DIR	(cm)	TIPO	ESPESOR								
D	19	29		Cantos	Ninguno		R.D. %	90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	2 20
D	2	10	0,2-0,6	R. Triturada	> 5 mm		CONDICION DE PERSISTENCIA	>2 (20)	0,6-2 (15)	0,2-0,6 (10)	0,06-0,2 (8)	<0,06 (5)	3 15
D	45	25	0,2-0,6	R. Triturada	> 5 mm		CONDICION DE APERTURA	<1mlanq. (6)	1-3 m.Lanq. (4)	3-10m (2)	10-20 m (1)	>20 m (0)	4A 4
D	70	26	0,6-2	R. Triturada	< 5 mm		CONDICION DE RUGOSIDAD	Cerrada (6)	<0.1mm apart. (5)	0.1-1.0mm (4)	1-5 mm (1)	> 5 mm (0)	4B 5
D	67	24	0,6-2	R. Triturada	> 5 mm		JUNTAS DE RELLENO	Muy rugosa (6)	Ruqara (5)	Liq. ruqara (3)	Lira (1)	Espejo de falla (0)	4C 5
							INTEMPERIZA.	Limpia (6)	Dura <5mm (4)	Dura >5mm (2)	Suave <5 mm (1)	Suave >5 mm (0)	4D 0
							AGUA SUBTERRANEA	Sana (6)	Liq. Intempe. (5)	Mad. Intempe. (3)	Muy Intempe. (2)	Darcampuerta (0)	4E 0
								Seca (15)	Humeda (10)	Mojada (7)	Gotas (4)	Fluja (0)	5 15
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =												71	
CLASE DE MACIZO ROCOSO													
RMR	100 - 81		80 - 61		60 - 41		40 - 21		20 - 0				II
DESCRIPCION	I MUY BUENA		II BUENA		III REGULAR		IV MALA		V MUY MALA				

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. Mpa
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250

GRADO	INDICE DE INTEMPERIZACION DESCRIPCION
I SANA	Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás lig. De coloración sobre superficies de discontinuidades principales
II LIGERO	La decoloración indica intemp. del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.
III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.
IV MUY INTEM.	Mas de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discont como núcleo rocoso.
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descompto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.

ABREVI. ESPACIAMIENTO	ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO	ABREVIATURAS DE ESPESOR DE RELLENO
1 > 2 m	1 LIMPIO	7 CUARZO
2 0,6 - 2 m	2 CANTOS	8 OXIDOS
3 0,2 - 0,6 m	3 GUIJARRO	9 YESO
4 0,06 - 0,2 m	4 GRAYA	10 ROC. TRITURADA
5 < 0,06 m	5 ARENA	11 OTROS
	6 ARCILLA	

ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
Mi	MINERAL
Cz	CALIZA
Pf	PORF. AND. DACT.
Bx	BRECHA
Tf	TUFO
Lv	LAVA DACT.

ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS	
D	SISTEMA DE DIACLASA
Fh	SISTEMA DE FALLAS
C	CONTACTO
MF	MICRO FALLA

$$RQD = 100 e^{(-0.1 \lambda)} \times (0.1 \lambda + 1) = 96 \%$$

DATOS DE MAPEO GEOMECANICO								LUGAR : Carriere De Caolina de Berrica		POR: Ernesto Lopez Pomareda				
								LABOR : Taled Este del Tajo Abierto		FECHA: 16/04/2000				
Nº	ORIENTACION DE LA CARA				TRAMO (mt)		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)							
	ESTACION	DIPS	DIPS DIRECTION	DESDE	HASTA	PARAMETRO					VALORACION			
7	36	177	0	7.78										
TIPO DE ROCA								RANGO DE VALORES				VALOR ESTIMADO		
A		B		C										
CUARCITA		100		2										
TIPO ESTRU.	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO (cm)	RELLENO		COMENTARIOS	ESPACIAMIENTO (m)							
	DIP	DIP DIR		TIPO	ESPESOR		PERSISTENCIA	APERTURA	RUGOSIDAD	RELLENO	INTEMPERIZA.			
D	71	229		Limpia	Ninguno		<1m.lanq. (6)	<0.1mm.apert. (5)	Limpia (6)	Sana (6)				
D	80	80	0,6-2	Limpia	Ninguno		1-3 m.Lanq. (4)	0.1-1.0mm (4)	Dura <5mm (4)	Sana (6)				
D	85	37	0,6-2	R. Triturada	> 5 mm		Muy rugosa (6)	Liq. Intempe. (5)	Dura <5mm (4)	Sana (6)				
D	55	30	> 2	R. Triturada	< 5 mm			Liq. Intempe. (5)	Dura <5mm (4)	Sana (6)				
D	18	24	0,6-2	Limpia	Ninguno			Mad. Intempe. (3)	Dura <5mm (4)	Sana (6)				
D	77	227	0,2-0,6	R. Triturada	< 5 mm			Mad. Intempe. (3)	Dura <5mm (4)	Sana (6)				
							AGUA SUBTERRANEA							
							Saca (15)							
							Humeda (10)							
							Majada (7)							
							Gatosa (4)							
							Fluja (0)							
							VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =					79		
							CLASE DE MACIZO ROCOSO							
							RMR							
							100 - 81							
							80 - 61					II		
							60 - 41							
							40 - 21							
							20 - 0							
							DESCRIPCION							
							I MUY BUENA							
							II BUENA							
							III REGULAR							
							IV MALA							
							V MUY MALA							

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. Mpa
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250

GRADO	INDICE DE INTEMPERIZACION DESCRIPCION
I SANA	Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás lig. De coloración sobre superficies de discontinuidades principales
II LIGERO	La decoloración indica intemp. del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.
III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.
IV MUY INTEM.	Mas de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discont como núcleo rocoso.
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descompto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.

ABREVIAS. ESPACIAMIENTO

1 > 2 m

2 0.6 - 2 m

3 0.2 - 0.6 m

4 0.06 - 0.2 m

5 < 0.06 m

ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO

1 LIMPIO

2 CANTOS

3 GUIJARRO

4 GRAYA

5 ARENA

6 ARCILLA

ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO

7 CUARZO

8 OXIDOS

9 YESO

10 ROC. TRITURADA

11 OTROS

ABREVIATURAS DE ESPESOR DE RELLENO

1 NINGUNO

2 DURO < 5mm

3 DURO > 5mm

4 SUAVE < 5 mm

5 SUAVE > 5 mm

CORRELACION RQD vs ESPACIAMIENTO DE DISCONTINUIDADES

ABREVIACION DE TIPO DE ROCA

Mi	MINERAL
Ce	CALIZA
Pf	PORF. AND. DACT.
Bx	BRECHA
Tf	TUFO
Lv	LAVA DACT.

ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS

D	SISTEMA DE DIACLASA
Fh	SISTEMA DE FALLAS
C	CONTACTO
MF	MICRO FALLA

$RQD = 100 e^{(-0.1 \lambda)} \times (0.1 \lambda + 1) = 98 \%$

DATOS DE MAPEO GEOMECANICO				LUGAR : Carriere De Caolin de Berria		POR: Ernesto Lopez Pomareda						
				LABOR : Talud Este del Tajo Abierto		FECHA: 16/04/2000						
N°	ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO (mt)		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)							
	DIPS	DIPS DIRECTION	DESDE	HASTA								
8	38°	176°	0	4.44								
TIPO DE ROCA				PARAMETRO	RANGO DE VALORES				VALORACION			
A	%	B	%		C	%	VALOR ESTIMADO					
CUARCITA 100				R. COMPRES. UNIAxIAL (Mpa)	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25 (2) <5 (1) <1 (0)	1 7		
				RQD %	90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	2 20		
				ESPACIAMIENTO (m)	>2 (20)	0,6-2 (15)	0,2-0,6 (10)	0,06-0,2 (8)	<0,06 (5)	3 15		
TIPO ESTRUCT.	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO (cm)	RELLENO		COMENTARIOS	CONDICION DE JUNTAS		VALORACION			
	DIP	DIP DIR		TIPO	ESPESOR		APERTURA	RELLENO				
D	80	80		R. Triturada	< 5 mm		Sana (6)	<1mm (6)	<0,06 (5)	4A 6		
D	85	35	0,6-2	Limpia	Ninguno		Muyruga (6)	<0,1mm apert. (5)	0,1-1,0mm (4)	1-5 mm (1)	> 5 mm (0)	4B 4
D	8	23	0,2-0,6	R. Triturada	< 5 mm		Ruquera (5)	Liququera (3)	Lira (1)	Espejo de falla (0)	4C 3	
				INTEMPERIZA.	Sana (6)		Dura < 5mm (2)	Suave < 5mm (2)	Suave > 5mm (0)	4D 1		
				AGUA SUBTERRANEA	Soca (15)		Liq. Intempo. (5)	Mad. Intempo. (3)	Muy Intempo. (2)	Descompuesta (0)	4E 0	
							Majada (7)	Gatosa (4)	Flujo (0)	5 15		
				VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =						71		
				CLASE DE MACIZO ROCOSO					II			
				RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21		20 - 0		
				DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA			

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. Mpa
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250

GRADO	INDICE DE INTEMPERIZACION DESCRIPCION
I SANA	Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás lig. De coloración sobre superficies de discontinuidades principales
II LIGERO	La decoloración indica intemp. del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.
III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.
IV MUY INTEM.	Mas de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discont como núcleo rocoso.
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descompto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.

ABREVI. ESPACIAMIENTO	ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO	ABREVIATURAS DE ESPESOR DE RELLENO
1 > 2 m	1 LIMPIO	1 NINGUNO
2 0,6 - 2 m	2 CANTOS	2 DURO < 5mm
3 0,2 - 0,6 m	3 GUJARRO	3 DURO > 5mm
4 0,06 - 0,2 m	4 GRAYA	4 SUAVE < 5 mm
5 < 0,06 m	5 ARENA	5 SUAVE > 5 mm
	6 ARCILLA	
	7 CUARZO	
	8 OXIDOS	
	9 YESO	
	10 ROC. TRITURADA	
	11 OTROS	

ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
Mi	MINERAL
Cz	CALIZA
Pf	PORF. AND. DACT.
Bx	BRECHA
Tf	TUFO
Lv	LAVA DACT.

ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS	
D	SISTEMA DE DIACLASA
Fh	SISTEMA DE FALLAS
C	CONTACTO
MF	MICRO FALLA

$$RQD = 100 e^{-(0.1 \lambda)} \times (0.1 \lambda + 1) = 96 \%$$

DATOS DE MAPEO GEOMECANICO				LUGAR :	Carriere De Caolia de Berria				POR:	Ernesto Lopez Pomareda				
				LABOR :	Taled Este del Tajo Abierto				FECHA:	16/04/2000				
Nº	ORIENTACION DE LA CARA			TRAMO (mt)		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)								
ESTACION	DIPS	DIPS DIRECTION		DESDE	HASTA						VALORACION			
3	42'	176'		0	3,27									
TIPO DE ROCA						PARAMETRO	RANGO DE VALORES					VALORACION		
A	%	B	%	C	%	DISC./m.l.	VALOR ESTIMADO							
CUARCITA	100					3	R. COMPRES. UNIAIAL (Mpa)	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	7
TIPO						ESPACIAMIENTO (m)	RANGO DE VALORES					VALORACION		
ESTRUC.	DIP	DIP DIR	ESPACIAMIENTO (cm)	TIPO	ESPESOR	COMENTARIOS	RQD %	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25 (3)	2	20
D	12	25		R. Triturada	Ninguno		>2 (20)	0,6-2 (15)	0,2-0,6 (10)	0,06-0,2 (8)	<0,06 (5)	3	15	
D	75	76	0,06-0,2	R. Triturada	< 5 mm		<1mlong. (6)	1-3 m Long. (4)	3-10m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	4A	4	
D	72	224	0,2-0,6	Limpia	Ninguno		CONDICION DE APERTURA	<1mm.apt. (5)	0,1-1,0mm (4)	1-5 mm (1)	> 5 mm (0)	4B	6	
D	14	22	>2	R. Triturada	> 5 mm		DE RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C	3	
D	24	23	0,6-2	R. Triturada	Ninguno		JUNTAS RELLENO	Limpia (6)	Dura <5mm (4)	Dura >5mm (2)	Suave < 5mm (1)	Suave > 5mm (0)	4D	6
D	78	226	0,2-0,6	Limpia	Ninguno		INTEMPERIZA.	Sana (6)	Liq. Intempe. (5)	Mad. Intempe. (3)	Muy Intempe. (2)	Descompuesta (0)	4E	3
D	87	54	0,6-2	Limpia	Ninguno		AGUA SUBTERRANEA	Seca (15)	Humeda (10)	Mojada (7)	Gatosa (4)	Fluja (0)	5	15
D	75	228	0,6-2	Limpia	Ninguno		VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =					79		
D	17	22	>2	Limpia	Ninguno		CLASE DE MACIZO ROCOSO					II		
							RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21		20 - 0	
							DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA		

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. Mpa
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250

GRADO	INDICE DE INTEMPERIZACION DESCRIPCION
I SANA	Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás lig. De decoloración sobre superficies de discontinuidades principales
II LIGERO	La decoloración indica intemp. del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.
III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.
IV MUY INTEM.	Mas de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discont como núcleo rocoso.
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descompto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.

ABREVI. ESPACIAMIENTO	ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO	ABREVIATURAS DE ESPESOR DE RELLENO
1 > 2 m	1 LIMPIO	1 NINGUNO
2 0,6 - 2 m	2 CANTOS	2 DURO < 5mm
3 0,2 - 0,6 m	3 GUIJARRO	3 DURO > 5mm
4 0,06 - 0,2 m	4 GRAVA	4 SUAVE < 5 mm
5 < 0,06 m	5 ARENA	5 SUAVE > 5 mm
	6 ARCILLA	

ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
Mi	MINERAL
Cs	CALIZA
Pf	PORF. AND. DACT.
Bx	BRECHA
Tf	TUFO
Lv	LAVA DACT.

ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS	
D	SISTEMA DE DIACLASA
Fn	SISTEMA DE FALLAS
C	CONTACTO
MF	MICRO FALLA

$RQD = 100 e^{-(0.1 \lambda)} \times (0.1 \lambda + 1) = 96 \%$

DATOS DE MAPEO GEOMECANICO							LUGAR :	Carriere De Caolia de Berria					POR:	Ernesto Lopez Pomareda				
							LABOR :	Taled Este del Tajo Abierto					FECHA:	16/04/2000				
Nº	ORIENTACION DE LA CARA				TRAMO (mt)		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)											
	ESTACION	DIPS	DIPS DIRECTION	DESDE	HASTA			PARAMETRO		RANGO DE VALORES						VALORACION		
10	46'	230'		0	5.31													
TIPO DE ROCA							FREC. FRACTURA										VALOR ESTIMADO	
A	%	B	%	C	%	DISC. /ml.		R. COMPRES. UNIAIXIAL (Mpa)		>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	7		
CUARCITA							100		6		RQD %	90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	2	17
TIPO ESTRUCC.	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO (cm)	RELLENO		COMENTARIOS	ESPACIAMIENTO (m)								VALORACION			
	DIP	DIP DIR		TIPO	ESESOR		PERSISTENCIA	RANGO DE VALORES					VALOR ESTIMADO					
D	13	28	> 2	Limpia	Ninguno		>2 (20)	0,6-2 (15)	0,2-0,6 (10)	0,06-0,2 (8)	<0,06 (5)	3	15					
D	53	62		Limpia	Ninguno		<1mlanq. (6)	1-3 m Lanq. (4)	3-10m (2)	10-20 m (1)	>20 m (0)	4A	6					
D	2	10		Limpia	Ninguno		Cerrada (6)	<0,1mm apart. (5)	0,1-1,0mm (4)	1-5 mm (1)	> 5mm (0)	4B	6					
D	30	22		Limpia	Ninguno		Muyrugosa (6)	Rugosa (5)	Liq.rugosa (3)	Lira (1)	Espejo de falla (0)	4C	3					
D	53	18		Limpia	Ninguno		Limpia (6)	Dura <5mm (4)	Dura >5mm (2)	Suave < 5mm (1)	Suave > 5mm (0)	4D	6					
D	66	28		Limpia	Ninguno		Sana (6)	Liq.Intempe. (5)	Mad.Intempe. (3)	MuyIntempe. (2)	Darcampuerta (0)	4E	5					
							AGUA SUBTERRANEA		Secca (15)		Humeda (10)	Mojada (7)	Gatosa (4)	Fluja (0)	5	15		
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) = 80																		
CLASE DE MACIZO ROCOSO																		
							RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0	II					
							DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA						

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. Mpa
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250

GRADO	INDICE DE INTEMPERIZACION DESCRIPCION
I SANA	Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás lig. De coloración sobre superficies de discontinuidades principales
II LIGERO	La decoloración indica intemp. del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.
III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.
IV MUY INTEM.	Mas de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discont como núcleo rocoso.
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descompto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.

CORRELACION RQD vs ESPACIAMIENTO DE DISCONTINUIDADES

ABREVI. ESPACIAMIENTO	ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO	ABREVIATURAS DE ESPESOR DE RELLENO
1 > 2 m	1 LIMPIO	1 NINGUNO
2 0,6 - 2 m	2 CANTOS	2 DURO < 5mm
3 0,2 - 0,6 m	3 GUIJARRO	3 DURO > 5mm
4 0,06 - 0,2 m	4 GRAVA	4 SUAVE < 5 mm
5 < 0,06 m	5 ARENA	5 SUAVE > 5 mm
	6 ARCILLA	

ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
Mi	MINERAL
Ca	CALIZA
Pf	PORF. AND. DACT.
Bx	BRECHA
Tf	TUFO
Lv	LAVA DACT.

ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS	
D	SISTEMA DE DIACLASA
Fh	SISTEMA DE FALLAS
C	CONTACTO
MF	MICRO FALLA

$$RQD = 100 e^{-(0.1 \lambda)} \times (0.1 \lambda + 1) = 88 \%$$

DATOS DE MAPEO GEOMECANICO				LUGAR :	Carriere De Caolia de Berria	POR:	Ernesto Lopez Pomareda							
				LABOR :	Talud Este del Tajo Abierto	FECHA:	16/04/2000							
Nº	ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO (mt)		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)									
	ESTACION	DIPS	DIPS DIRECTION	DESDE	HASTA									
11	50°	200°	0	5.45	PARAMETRO	RANGO DE VALORES					VALORACION			
TIPO DE ROCA				FREC. FRACTURA						VALOR ESTIMADO				
A	%	B	%	C	%									
CUARCITA	100				2									
TIPO ESTRUCC.	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO (cm)	RELLENO		COMENTARIOS	ESPACIAMIENTO (m)							
	DIP	DIP DIR		TIPO	ESPESOR									
D	17	24		Limpia	Ninguno		>2 (20)	0,6-2 (15)	0,2-0,6 (10)	0,06-0,2 (8)	<0,06 (5)	3	15	
D	7	24	0,6-2	Limpia	Ninguno		<1mlong. (6)	1-3 m.Long. (4)	3-10m (2)	10-20 m (1)	>20 m (0)	4A	2	
D	74	229	> 2	Limpia	Ninguno		CONDICION APERTURA	Cerrada (6)	<0,1mm apart. (5)	0,1-1,0mm (4)	1-5 mm (1)	> 5mm (0)	4B	6
							DE RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Liq.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C	3
							JUNTAS RELLENO	Limpia (6)	Dura <5mm (4)	Dura 5mm (2)	Suave < 5mm (1)	Suave > 5mm (0)	4D	6
							INTEMPERIZA.	Sana (6)	Liq.Intempe. (5)	Mad.Intempe. (3)	Muy Intempe. (2)	Dorcampuerta (0)	4E	6
							AGUA SUBTERRANEA	Seca (15)	Humeda (10)	Mojada (7)	Gatosa (4)	Fluja (0)	5	15
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =											80			
CLASE DE MACIZO ROCOSO														
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0							II		
DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA									
GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO		RANGO RESIS. COMP. Mpa											
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla		1,0 - 5,0											
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)		5 - 25											
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo		25 - 50											
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo		50 - 100											
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra		100 - 250											
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo		> 250											
GRADO	INDICE DE INTEMPERIZACION DESCRIPCION													
I SANA	Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás lig. De coloración sobre superficies de discontinuidades principales													
II LIGERO	La decoloración indica intemp. del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.													
III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.													
IV MUY INTEM.	Mas de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discont como núcleo rocoso.													
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descompto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.													
RQD = 100 e^{-(0.1λ)}} x (0.1λ + 1) = 98 %														

ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
Mi	MINERAL
Ce	CALIZA
Pf	PORF. AND. DACT.
Bx	BRECHA
Tf	TUFO
Lv	LAVA DACT.

ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS	
D	SISTEMA DE DIACLASA
Fh	SISTEMA DE FALLAS
C	CONTACTO
MF	MICRO FALLA

ABREVIA.	ESPACIAMIENTO
1	> 2 m
2	0,6 - 2 m
3	0,2 - 0,6 m
4	0,06 - 0,2 m
5	< 0,06 m

ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO	
1	LIMPIO
2	CANTOS
3	GUIJARRO
4	GRAVA
5	ARENA
6	ARCILLA
7	CUARZO
8	OXIDOS
9	YESO
10	ROC. TRITURADA
11	OTROS

ABREVIATURAS DE ESPESOR DE RELLENO	
1	NINGUNO
2	DURO < 5mm
3	DURO > 5mm
4	SUAVE < 5mm
5	SUAVE > 5mm

DATOS DE MAPEO GEOMECANICO				LUGAR : Carriere De Caolina de Berrica		POR: Ernesto Lopez Pomareda								
				LABOR : Taled Este del Tajo Abierto		FECHA: 16/04/2000								
Nº ESTACION	ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO (mt)		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)									
	DIPS	DIPS DIRECTION	DESDE	HASTA										
12	48°	157°	0	3.03	RANGO DE VALORES					VALORACION				
TIPO DE ROCA				FREC. FRACTURA	PARAMETRO					VALOR ESTIMADO				
A	%	B	%	C	%	DISC. / ml.								
ESQUISTO	100					6								
TIPO ESTRUCC.	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO (cm)	RELLENO		COMENTARIOS	ESPACIAMIENTO (m)							
	DIP	DIP DIR		TIPO	ESPESOR		PERSISTENCIA	RANGO DE VALORES						
D	45	25		Limpia	Ninguno		>2 (20)	0,6-2 (15)	0,2-0,6 (10)	0,06-0,2 (8)	<0,06 (5)	3	10	
D	10	22	0,2-0,6	Limpia	Ninguno		<1mlang. (6)	1-3 m.Lang. (4)	3-10m (2)	10-20m (1)	>20 m (0)	4A	2	
D	72	224	0,2-0,6	Limpia	Ninguno		Cerrada (6)	<0,1mm apart. (5)	0,1-1,0mm (4)	1-5 mm (1)	> 5mm (0)	4B	6	
D	2	10	0,6-2	Limpia	Ninguno		Muyrugosa (6)	Rugosa (5)	Liq.rugosa (3)	Lira (1)	Espeja de falla (0)	4C	3	
D	30	26	> 2	Limpia	Ninguno		Limpia (6)	Dura<5mm (4)	Dura:5mm (2)	Suave< 5mm (1)	Suave> 5mm (0)	4D	6	
D	45	33	0,2-0,6	Limpia	Ninguno		Intemperiza. (6)	Sana (6)	Liq.Intempo. (5)	Mad.Intempo. (3)	MuyIntempo. (2)	Descompuesta (0)	4E	6
D	54	24	0,2-0,6	Limpia	Ninguno		AGUA SUBTERRANEA	Seca (15)	Humeda (10)	Mojada (7)	Gatosa (4)	Fluja (0)	5	15
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =												69		
CLASE DE MACIZO ROCOSO														
RMR					100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0					II
DESCRIPCION					I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA					

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. Mpa
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250

GRADO	INDICE DE INTEMPERIZACION DESCRIPCION
I SANA	Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás lig. De coloración sobre superficies de discontinuidades principales
II LIGERO	La decoloración indica intemp. del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.
III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.
IV MUY INTEM.	Mas de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discont como núcleo rocoso.
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descompto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.

CORRELACION RQD vs ESPACIAMIENTO DE DISCONTINUIDADES

ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
Mi	MINERAL
Ca	CALIZA
Pf	PORF. AND. DACT.
Bx	BRECHA
Tf	TUFO
Lv	LAVA DACT.

ABREVIAS. ESPACIAMIENTO		ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO		ABREVIATURAS DE ESPESOR DE RELLENO	
1	> 2 m	1	LIMPIO	1	NINGUNO
2	0,6 - 2 m	2	CANTOS	2	DURO < 5mm
3	0,2 - 0,6 m	3	GUIJARRO	3	DURO > 5mm
4	0,06 - 0,2 m	4	GRAYA	4	SUAVE < 5 mm
5	< 0,06 m	5	ARENA	5	SUAVE > 5 mm
		6	ARCILLA		
		7	CUARZO		
		8	OXIDOS		
		9	YESO		
		10	ROC. TRITURADA		
		11	OTROS		

$RQD = 100 e^{-(0.1 \lambda)} \times (0.1 \lambda + 1) = 88 \%$

DATOS DE MAPEO GEOMECANICO				LUGAR : Carriere De Caolia de Berria		POR: Ernesto Lopez Pomareda																				
				LABOR : Talud Este del Tajo Abierto		FECHA: 16/04/2000																				
Nº	ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO (mt)		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)																					
	ESTACION	DIPS	DIPS DIRECTION	DESDE	HASTA																					
13	36°	160°	0	14.73																						
TIPO DE ROCA				FREC. FRACTURA		VALOR ESTIMADO																				
A	%	B	%	C	%	VALOR ESTIMADO																				
ESQUISTO	100				2																					
TIPO ESTRUCC.	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO (cm)	RELLENO		COMENTARIOS	R. COMPRES. UNIAIXIAL (Mpa)																			
	DIP	DIP DIR		TIPO	ESPESOR																					
D	77	223		Limpia	Ninguno		>250 (15)																			
D	76	223	> 2	Limpia	Ninguno		100-250 (12)																			
D	12	28	0,2-0,6	Limpia	Ninguno		50-100 (7)																			
D	15	20	0,6-2	Limpia	Ninguno		25-50 (4)																			
D	16	23	0,6-2	Limpia	Ninguno		<25 (2) <5(1) <1(0)																			
D	30	12	0,6-2	Limpia	Ninguno		<25 (3) 2																			
							1	4																		
							2	20																		
							3	15																		
							4A	2																		
							4B	6																		
							4C	3																		
							4D	6																		
							4E	3																		
							5	15																		
							VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =																			
							74																			
							CLASE DE MACIZO ROCOSO																			
							RMR	100 - 81																		
								80 - 61																		
								60 - 41																		
								40 - 21																		
								20 - 0																		
							DESCRIPCION																			
							I MUY BUENA																			
							II BUENA																			
							III REGULAR																			
							IV MALA																			
							V MUY MALA																			
							II																			
GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO		RANGO RESIS. COMP. Mpa																							
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla		1,0 - 5,0																							
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)		5 - 25																							
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo		25 - 50																							
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo		50 - 100																							
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra		100 - 250																							
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo		> 250																							
GRADO	INDICE DE INTEMPERIZACION DESCRIPCION		<table border="1"> <thead> <tr> <th>ABREVI. ESPACIAMIENTO</th> <th>ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO</th> <th>ABREVIATURAS DE ESPESOR DE RELLENO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 > 2 m</td> <td>1 LIMPIO</td> <td>1 NINGUNO</td> </tr> <tr> <td>2 0,6 - 2 m</td> <td>2 CANTOS</td> <td>2 DURO < 5mm</td> </tr> <tr> <td>3 0,2 - 0,6 m</td> <td>3 GUIJARRO</td> <td>3 DURO > 5mm</td> </tr> <tr> <td>4 0,06 - 0,2 m</td> <td>4 GRAVA</td> <td>4 SUAVE < 5 mm</td> </tr> <tr> <td>5 < 0,06 m</td> <td>5 ARENA</td> <td>5 SUAVE > 5 mm</td> </tr> <tr> <td></td> <td>6 ARCILLA</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			ABREVI. ESPACIAMIENTO	ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO	ABREVIATURAS DE ESPESOR DE RELLENO	1 > 2 m	1 LIMPIO	1 NINGUNO	2 0,6 - 2 m	2 CANTOS	2 DURO < 5mm	3 0,2 - 0,6 m	3 GUIJARRO	3 DURO > 5mm	4 0,06 - 0,2 m	4 GRAVA	4 SUAVE < 5 mm	5 < 0,06 m	5 ARENA	5 SUAVE > 5 mm		6 ARCILLA	
ABREVI. ESPACIAMIENTO	ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO	ABREVIATURAS DE ESPESOR DE RELLENO																								
1 > 2 m	1 LIMPIO	1 NINGUNO																								
2 0,6 - 2 m	2 CANTOS	2 DURO < 5mm																								
3 0,2 - 0,6 m	3 GUIJARRO	3 DURO > 5mm																								
4 0,06 - 0,2 m	4 GRAVA	4 SUAVE < 5 mm																								
5 < 0,06 m	5 ARENA	5 SUAVE > 5 mm																								
	6 ARCILLA																									
I SANA	Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás lig. De coloración sobre superficies de discontinuidades principales																									
II LIGERO	La decoloración indica intemp. del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.																									
III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.																									
IV MUY INTEM.	Mas de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discont como núcleo rocoso.																									
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descompto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.																									
$RQD = 100 e^{-(0.1 \lambda)} \times (0.1 \lambda + 1) = 98 \%$																										

DATOS DE MAPEO GEOMECANICO								LUGAR : Carriere De Caolia de Berria		POR: Ernesto Lopez Pomareda																																		
								LABOR : Talud Este del Tajo Abierto		FECHA: 16/04/2000																																		
Nº	ORIENTACION DE LA CARA				TRAMO (mt)		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)																																					
	ESTACION	DIPS	DIPS DIRECTION		DESDE	HASTA																																						
14	40°	107°			0	2.76																																						
TIPO DE ROCA							PARAMETRO	RANGO DE VALORES				VALORACION																																
A	%	B	%	C	%	DISC. / ml.					VALOR ESTIMADO																																	
CUARCITA	100					2																																						
TIPO ESTRUCC.	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO (cm)	RELLENO		COMENTARIOS	ESPACIAMIENTO (m)																																					
	DIP	DIP DIR		TIPO	ESPESOR																																							
D	8	26		Limpia	Ninguno																																							
D	53	13	0,6-2	R. Triturada	< 5 mm																																							
D	75	225	0,6-2	Limpia	Ninguno																																							
							R. COMPRESION UNIAIAL (Mpa)	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	7																														
							RQD %	90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	2	20																														
							CONDICION DE JUNTAS																																					
							PERISTENCIA	<1mlong. (6)	1-3 m.Long. (4)	3-10m (2)	10-20 m (1)	>20 m (0)	4A	4																														
							APERTURA	Cerrada (6)	<0.1mm apart. (5)	0.1-1.0mm (4)	1-5 mm (1)	> 5mm (0)	4B	4																														
							RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Liq.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C	3																														
							RELLENO	Limpia (6)	Dura <5mm (4)	Dura 5mm (2)	Suave < 5mm (1)	Suave > 5mm (0)	4D	6																														
							INTEMPERIZA.	Sana (6)	Liq.Intempe. (5)	Mad.Intempe. (3)	Muy Intempe. (2)	Dorcampuerta (0)	4E	5																														
							AGUA SUBTERRANEA	Seca (15)	Humeda (10)	Mojada (7)	Gatosa (4)	Fluja (0)	5	15																														
							VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =					79																																
							CLASE DE MACIZO ROCOSO																																					
							RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0	II																															
							DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA																																
GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO					RANGO RESIS. COMP. Mpa																																						
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla					1,0 - 5,0																																						
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)					5 - 25																																						
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo					25 - 50																																						
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo					50 - 100																																						
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra					100 - 250																																						
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo					> 250																																						
GRADO	INDICE DE INTEMPERIZACION DESCRIPCION																																											
I SANA	Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás lig. De coloración sobre superficies de discontinuidades principales																																											
II LIGERO	La decoloración indica intemp. del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.																																											
III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.																																											
IV MUY INTEM.	Mas de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discont como núcleo rocoso.																																											
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descompto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.																																											
							CORRELACION RQD vs ESPACIAMIENTO DE DISCONTINUIDADES		ABREVIACION DE TIPO DE ROCA																																			
									<table border="1"> <tr><td>Mi</td><td>MINERAL</td></tr> <tr><td>Ce</td><td>CALIZA</td></tr> <tr><td>Pf</td><td>PORF. AND. DACT.</td></tr> <tr><td>Bx</td><td>BRECHA</td></tr> <tr><td>Tf</td><td>TUFO</td></tr> <tr><td>Lv</td><td>LAVA DACT.</td></tr> </table>			Mi	MINERAL	Ce	CALIZA	Pf	PORF. AND. DACT.	Bx	BRECHA	Tf	TUFO	Lv	LAVA DACT.																					
Mi	MINERAL																																											
Ce	CALIZA																																											
Pf	PORF. AND. DACT.																																											
Bx	BRECHA																																											
Tf	TUFO																																											
Lv	LAVA DACT.																																											
							ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS		ABREVIATURAS DE ESPESOR DE RELLENO																																			
							<table border="1"> <tr><td>D</td><td>SISTEMA DE DIACLASA</td></tr> <tr><td>Fh</td><td>SISTEMA DE FALLAS</td></tr> <tr><td>C</td><td>CONTACTO</td></tr> <tr><td>MF</td><td>MICRO FALLA</td></tr> </table>		D	SISTEMA DE DIACLASA	Fh	SISTEMA DE FALLAS	C	CONTACTO	MF	MICRO FALLA	<table border="1"> <tr><td>1</td><td>NINGUNO</td></tr> <tr><td>2</td><td>DURO < 5mm</td></tr> <tr><td>3</td><td>DURO > 5mm</td></tr> <tr><td>4</td><td>SUAVE < 5 mm</td></tr> <tr><td>5</td><td>SUAVE > 5 mm</td></tr> </table>			1	NINGUNO	2	DURO < 5mm	3	DURO > 5mm	4	SUAVE < 5 mm	5	SUAVE > 5 mm															
D	SISTEMA DE DIACLASA																																											
Fh	SISTEMA DE FALLAS																																											
C	CONTACTO																																											
MF	MICRO FALLA																																											
1	NINGUNO																																											
2	DURO < 5mm																																											
3	DURO > 5mm																																											
4	SUAVE < 5 mm																																											
5	SUAVE > 5 mm																																											
							ABREVI. ESPACIAMIENTO		ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO																																			
							<table border="1"> <tr><td>1</td><td>> 2 m</td></tr> <tr><td>2</td><td>0,6 - 2 m</td></tr> <tr><td>3</td><td>0,2 - 0,6 m</td></tr> <tr><td>4</td><td>0,06 - 0,2 m</td></tr> <tr><td>5</td><td>< 0,06 m</td></tr> </table>		1	> 2 m	2	0,6 - 2 m	3	0,2 - 0,6 m	4	0,06 - 0,2 m	5	< 0,06 m	<table border="1"> <tr><td>1</td><td>LIMPIO</td></tr> <tr><td>2</td><td>CANTOS</td></tr> <tr><td>3</td><td>GUIJARRO</td></tr> <tr><td>4</td><td>GRAVA</td></tr> <tr><td>5</td><td>ARENA</td></tr> <tr><td>6</td><td>ARCILLA</td></tr> <tr><td>7</td><td>CUARZO</td></tr> <tr><td>8</td><td>OXIDOS</td></tr> <tr><td>9</td><td>YESO</td></tr> <tr><td>10</td><td>ROC. TRITURADA</td></tr> <tr><td>11</td><td>OTROS</td></tr> </table>		1	LIMPIO	2	CANTOS	3	GUIJARRO	4	GRAVA	5	ARENA	6	ARCILLA	7	CUARZO	8	OXIDOS	9	YESO	10	ROC. TRITURADA	11	OTROS		
1	> 2 m																																											
2	0,6 - 2 m																																											
3	0,2 - 0,6 m																																											
4	0,06 - 0,2 m																																											
5	< 0,06 m																																											
1	LIMPIO																																											
2	CANTOS																																											
3	GUIJARRO																																											
4	GRAVA																																											
5	ARENA																																											
6	ARCILLA																																											
7	CUARZO																																											
8	OXIDOS																																											
9	YESO																																											
10	ROC. TRITURADA																																											
11	OTROS																																											
							$RQD = 100 e^{(-0.1 \lambda)} \times (0.1 \lambda + 1) = 98 \%$																																					

DATOS DE MAPEO GEOMECANICO								LUGAR : Carriere De Caolia de Berria		POR: Ernesto Lopez Pomareda			
								LABOR : Talud Este del Tajo Abierto		FECHA: 16/04/2000			
Nº	ORIENTACION DE LA CARA				TRAMO (mt)		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)						
	ESTACION	DIPS	DIPS DIRECTION		DESDE	HASTA							
15	40°	117°			0	3.27							
TIPO DE ROCA							PARAMETRO	RANGO DE VALORES				VALORACION	
A	%	B	%	C	%	DISC. / ml.					VALOR ESTIMADO		
CUARCITA	100					3							
TIPO ESTRUCC.	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO (cm)	RELLENO		COMENTARIOS	ESPACIAMIENTO (m)						
	DIP	DIP DIR		TIPO	ESPEJOR		>2 (20)	1-3 m. Lang. (4)	0.2-0.6 (10)	0.06-0.2 (8)	<0.06 (5)		
D	70	221		Limpia	Ninguno		<1mlang. (6)	1-3 m. Lang. (4)	3-10m (2)	10-20 m (1)	>20 m (0)	4A	4
D	43	60	0,2-0,6	R. Triturada	< 5 mm		Corrada (6)	<0.1mm apart. (5)	0.1-1.0mm (4)	1-5 mm (1)	> 5mm (0)	4B	4
D	15	24	0,2-0,6	Limpia	Ninguno		Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Liq. rugosa (3)	Lira (1)	Espejo de falla (0)	4C	3
D	70	30	0,6-2	R. Triturada	< 5 mm		Limpia (6)	Dura <5mm (4)	Dura 5mm (2)	Suave < 5mm (1)	Suave > 5mm (0)	4D	6
D	43	16	0,6-2	Limpia	Ninguno		Sana (6)	Liq. Intempe. (5)	Mad. Intempe. (3)	Muy Intempe. (2)	Dorcampuerta (0)	4E	5
D	2	10	0,2-0,6	Limpia	Ninguno		Seca (15)	Humeda (10)	Mojada (7)	Gatosa (4)	Fluja (0)	5	15
D	60	27	0,6-2	R. Triturada	< 5 mm		VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =					79	
							CLASE DE MACIZO ROCOSO					II	
							RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21		20 - 0
							DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA	
GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO					RANGO RESIS. COMP. Mpa.							
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla					1,0 - 5,0							
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)					5 - 25							
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo					25 - 50							
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo					50 - 100							
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra					100 - 250							
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo					> 250							
GRADO	INDICE DE INTEMPERIZACION DESCRIPCION												
I SANA	Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás lig. De coloración sobre superficies de discontinuidades principales												
II LIGERO	La decoloración indica intemp. del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.												
III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.												
IV MUY INTEM.	Mas de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discont como núcleo rocoso.												
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descompto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.												
$RQD = 100 e^{-(0.1 \lambda)} \times (0.1 \lambda + 1) = 96 \%$													

ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
Mi	MINERAL
Ce	CALIZA
Pf	PORF. AND. DACT.
Bx	BRECHA
Tf	TUFO
Lv	LAVA DACT.

ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS	
D	SISTEMA DE DIACLASA
Fh	SISTEMA DE FALLAS
C	CONTACTO
MF	MICRO FALLA

ABREVI. ESPACIAMIENTO	
1	> 2 m
2	0.6 - 2 m
3	0.2 - 0.6 m
4	0.06 - 0.2 m
5	< 0.06 m

ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO	
1	LIMPIO
2	CANTOS
3	GUIJARRO
4	GRAVA
5	ARENA
6	ARCILLA
7	CUARZO
8	OXIDOS
9	YESO
10	ROC. TRITURADA
11	OTROS

ABREVIATURAS DE ESPESOR DE RELLENO	
1	NINGUNO
2	DURO < 5mm
3	DURO > 5mm
4	SUAVE < 5 mm
5	SUAVE > 5 mm

DATOS DE MAPEO GEOMECANICO							LUGAR :	Carriere De Caolia de Berria					POR:	Ernesto Lopez Pomareda					
							LABOR :	Taled Este del Tajo Abierto					FECHA:	16/04/2000					
Nº	ORIENTACION DE LA CARA				TRAMO (mt)		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)												
	ESTACION	DIPS	DIPS DIRECTION	DESDE	HASTA	PARAMETRO					RANGO DE VALORES					VALORACION			
16	42'	110'	0	2.25	TIPO DE ROCA					RANGO DE VALORES					VALOR ESTIMADO				
A		%	B		%	C		%	FREC. FRACTURA	R. COMPRES. UNIAIXIAL (Mpa)					VALOR ESTIMADO				
ESQUISTO		100							2	RQD %	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	4		
TIPO ESTRUCC.	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO (cm)	RELLENO		COMENTARIOS	ESPACIAMIENTO (m)					VALORACION							
	DIP	DIP DIR		TIPO	ESPESOR		>2 (20)	0,6-2 (15)	0,2-0,6 (10)	0,06-0,2 (8)	<0,06 (5)	2	20						
D	5	27		R. Triturada	< 5 mm	CONDICION	PERSISTENCIA	<1m long. (6)	1-3 m Long. (4)	3-10m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	4A	6					
D	75	229	0,2-0,6	Limpia	Ninguno	DE	APERTURA	Cerrada (6)	<0,1mm apert. (5)	0,1-1,0mm (4)	1-5 mm (1)	> 5 mm (0)	4B	5					
						JUNTAS	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Liq. rugosa (3)	Lisa (1)	España de falla (0)	4C	3					
							RELLENO	Limpia (6)	Dura <5mm (4)	Dura >5mm (2)	Suave < 5mm (1)	Suave > 5mm (0)	4D	1					
							INTEMPERIZA.	Sana (6)	Liq. Intempe. (5)	Mad. Intempe. (3)	Muy Intempe. (2)	Descompuesta (0)	4E	3					
						AGUA SUBTERRANEA		Seca (15)	Humeda (10)	Mojada (7)	Gotas (4)	Fluja (0)	5	15					
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) = 67																			
CLASE DE MACIZO ROCOSO																			
RMR																			
DESCRIPCION																			
I MUY BUENA II BUENA III REGULAR IV MALA V MUY MALA II																			

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. Mpa
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250

GRADO	INDICE DE INTEMPERIZACION DESCRIPCION
I SANA	Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás lig. De coloración sobre superficies de discontinuidades principales
II LIGERO	La decoloración indica intemp. del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.
III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.
IV MUY INTEM.	Más de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discont como núcleo rocoso.
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descompto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.

ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
Mi	MINERAL
Ca	CALIZA
Pf	PORF. AND. DACT.
Bx	BRECHA
Tf	TUFO
Lv	LAVA DACT.

ABREVIA.	ESPACIAMIENTO
1	> 2 m
2	0,6 - 2 m
3	0,2 - 0,6 m
4	0,06 - 0,2 m
5	< 0,06 m

ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO	
1	LIMPIO
2	CANTOS
3	GUIJARRO
4	GRAVA
5	ARENA
6	ARCILLA
7	CUARZO
8	OXIDOS
9	YESO
10	ROC. TRITURADA
11	OTROS

ABREVIATURAS DE ESPESOR DE RELLENO	
1	NINGUNO
2	DURO < 5mm
3	DURO > 5mm
4	SUAVE < 5 mm
5	SUAVE > 5 mm

$$RQD = 100 e^{-(0.1 \lambda)} \times (0.1 \lambda + 1) = 98 \%$$

DATOS DE MAPEO GEOMECANICO				LUGAR :	Carriere De Caolin de Berria				POR:	Ernesto Lopez Pomareda			
				LABOR :	Taled Este del Tajo Abierto				FECHA:	16/04/2000			
N°	ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO (mt)		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)								
	ESTACION	DIPS	DIPS DIRECTION	DESDE	HASTA	PARAMETRO					RANGO DE VALORES		VALORACION
17	45°	246°	0	4.32									
TIPO DE ROCA				FREC. FRACTURA									
A	%	B	%	C	%	DISC. /ml.						VALOR ESTIMADO	
CUARCITA	100					1							
TIPO ESTRUCT.	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO (cm)	RELLENO		COMENTARIOS	R. COMPRESION UNIAIAL (MPa)						
	DIP	DIP DIR		TIPO	ESPESOR								
D	77	220		R. Triturada	< 5								
D	70	230	> 2	R. Triturada	< 5								
							CONDICION DE JUNTAS						
							PERSISTENCIA						
							APERTURA						
							RUGOSIDAD						
							RELLENO						
							INTEMPERIZA.						
							AGUA SUBTERRANEA						
							VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =					76	
							CLASE DE MACIZO ROCOSO						
							RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0	II
							DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA	

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. Mpa
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla	1.0 - 5.0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250

GRADO	INDICE DE INTEMPERIZACION DESCRIPCION
I SANA	Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás lig. De coloración sobre superficies de discontinuidades principales
II LIGERO	La decoloración indica intemp. del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.
III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.
IV MUY INTEM.	Mas de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discont como núcleo rocoso.
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descompto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.

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

CORRELACION RQD vs ESPACIAMIENTO DE DISCONTINUIDADES

ABREVI. ESPACIAMIENTO	ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO	ABREVIATURAS DE ESPESOR DE RELLENO
1 > 2 m	1 LIMPIO	1 NINGUNO
2 0.6 - 2 m	2 CANTOS	2 DURO < 5mm
3 0.2 - 0.6 m	3 GUJARRO	3 DURO > 5mm
4 0.06 - 0.2 m	4 GRAVA	4 SUAVE < 5 mm
5 < 0.06 m	5 ARENA	5 SUAVE > 5 mm
	6 ARCILLA	

ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
Mi	MINERAL
Cz	CALIZA
Pf	PORF. AND. DACT.
Bx	BRECHA
Tf	TUFO
Lv	LAVA DACT.

ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS	
D	SISTEMA DE DIACLASA
Fh	SISTEMA DE FALLAS
C	CONTACTO
MF	MICRO FALLA

DATOS DE MAPEO GEOMECANICO				LUGAR : Carriere De Caolin de Berria		POR: Ernesto Lopez Pomareda							
				LABOR : Taled Este del Tajo Abierto		FECHA: 16/04/2000							
N°	ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO (mt)		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)								
	DIPS	DIPS DIRECTION	DESDE	HASTA									
18	48°	244°	0	3.67									
TIPO DE ROCA				FREC. FRACTURA	PARAMETRO	RANGO DE VALORES			VALOR ESTIMADO				
A	%	B	%	C	%	DISC. /ml.							
CUARCITA	100					3							
TIPO ESTRUCT.	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO (cm)	RELLENO		COMENTARIOS	R.M.R. COMPRESION UNIAxIAL (Mpa)				VALORACION		
	DIP	DIP DIR		TIPO	ESPESOR		R. COMPRESION UNIAxIAL (Mpa)	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)		25-50 (4)	<25 (2) <5 (1) <1 (0)
D	70	220		R. Triturada	< 5		90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3) 2	20	
D	75	224	0,2-0,6	R. Triturada	< 5		>2 (20)	0,6-2 (15)	0,2-0,6 (10)	0,06-0,2 (8)	<0,06 (5) 3	15	
D	76	232	0,2-0,6	R. Triturada	< 5								
D	73	221	0,6-2	R. Triturada	< 5								
D	45	183	0,6-2	R. Triturada	< 5								
							AGUA SUBTERRANEA						
							Seca (15)	Humeda (10)	Majada (7)	Gatosa (4)	Fluja (0)	5	10
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =											73		
CLASE DE MACIZO ROCOSO													
RMR		100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0							
DESCRIPCION		I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA							
							II						

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. Mps
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250

GRADO	INDICE DE INTEMPERIZACION DESCRIPCION
I SANA	Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás lig. De coloración sobre superficies de discontinuidades principales
II LIGERO	La decoloración indica intemp. del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.
III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.
IV MUY INTEM.	Mas de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discont como núcleo rocoso.
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descompto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.

CORRELACION RQD vs ESPACIAMIENTO DE DISCONTINUIDADES

ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
Mi	MINERAL
Cz	CALIZA
Pf	PORF. AND. DACT.
Bx	BRECHA
Tf	TUFO
Lv	LAVA DACT.

ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS	
D	SISTEMA DE DIACLASA
Fa	SISTEMA DE FALLAS
C	CONTACTO
MF	MICRO FALLA

ABREVI. ESPACIAMIENTO	ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO	ABREVIATURAS DE ESPESOR DE RELLENO
1 > 2 m	1 LIMPIO	7 CUARZO
2 0,6 - 2 m	2 CANTOS	8 OXIDOS
3 0,2 - 0,6 m	3 GUJARRO	9 YESO
4 0,06 - 0,2 m	4 GRAVA	10 ROC. TRITURADA
5 < 0,06 m	5 ARENA	11 OTROS
	6 ARCILLA	

$$RQD = 100 e^{-(0.1 \lambda)} \times (0.1 \lambda + 1) = 96 \%$$

DATOS DE MAPEO GEOMECANICO				LUGAR : Carriere De Caolin de Berria		POR: Ernesto Lopez Pomareda																																				
				LABOR : Talud Este del Tajo Abierto		FECHA: 16/04/2000																																				
N°	ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO (mt)		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)																																					
	ESTACION	DIPS	DIPS DIRECTION	DESDE	HASTA																																					
19	36°	240°	0	4.51																																						
TIPO DE ROCA				FREC. FRACTURA	PARAMETRO	RANGO DE VALORES																																				
A	%	B	%	C	%	DISC. /ml.	VALOR ESTIMADO																																			
CUARCITA	100					3																																				
TIPO ESTRUCT.	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO (cm)	RELLENO		COMENTARIOS	VALORACION																																			
DIP	DIP DIR	TIPO	ESPESOR																																							
D	76	313		R. Triturada	< 5																																					
D	14	23	0,2-0,6	R. Triturada	> 5																																					
D	12	25	0,2-0,6	R. Triturada	< 5																																					
D	2	10	0,6-2	R. Triturada	< 5																																					
D	54	15	0,06-0,2	R. Triturada	> 5																																					
D	30	15	0,2-0,6	R. Triturada	> 5																																					
VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)																																										
R. COMPRESION UNIAIAL (Mpa)				RANGO DE VALORES																																						
R.M.R. >=				>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25 (2) <5 (1) <10 (0)																																		
R.M.R. <				90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)																																		
ESPACIAMIENTO (m)				>2 (20)	0,6-2 (15)	0,2-0,6 (10)	0,06-0,2 (8)	<0,06 (5)																																		
CONDICION DE JUNTAS				<1mlong. (6)	1-3m Long. (4)	3-10m (2)	10-20m (1)	>20m (0)																																		
PERSISTENCIA				Cerrada (6)	<0,1mm apert. (5)	0,1-1,0mm (4)	1-5 mm (1)	>5 mm (0)																																		
RUGOSIDAD				Muyrara (6)	Ruara (5)	Liquara (3)	Lira (1)	Espejado falla (0)																																		
RELLENO				Limpia (6)	Dura <5mm (4)	Dura >5mm (2)	Suave <5mm (1)	Suave >5mm (0)																																		
INTEMPERIZA.				Sana (6)	Liq. Intempo. (5)	Mad. Intempo. (3)	Muy Intempo. (2)	Descompuesta (0)																																		
AGUA SUBTERRANEA				Seca (15)	Humeda (10)	Majada (7)	Gatosa (4)	Fluja (0)																																		
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoracion 1 a 5) = 62																																										
CLASE DE MACIZO ROCOSO																																										
RMR				100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0																																		
DESCRIPCION				I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA																																		
II																																										
GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO		RANGO RESIS. COMP. Mpa																																							
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla		10 - 5,0																																							
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)		5 - 25																																							
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo		25 - 50																																							
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo		50 - 100																																							
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra		100 - 250																																							
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo		> 250																																							
GRADO	INDICE DE INTEMPERIZACION DESCRIPCION		<table border="1"> <thead> <tr> <th>ABREVIA. ESPACIAMIENTO</th> <th colspan="2">ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO</th> <th colspan="2">ABREVIATURAS DE ESPESOR DE RELLENO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 > 2 m</td> <td>1 LIMPIO</td> <td>7 CUARZO</td> <td>1 NINGUNO</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2 0,6 - 2 m</td> <td>2 CANTOS</td> <td>8 OXIDOS</td> <td>2 DURO < 5mm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3 0,2 - 0,6 m</td> <td>3 GUJARRO</td> <td>9 YESO</td> <td>3 DURO > 5mm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4 0,06 - 0,2 m</td> <td>4 GRAVA</td> <td>10 ROC. TRITURADA</td> <td>4 SUAVE < 5 mm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>5 < 0,06 m</td> <td>5 ARENA</td> <td>11 OTROS</td> <td>5 SUAVE > 5 mm</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>6 ARCILLA</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					ABREVIA. ESPACIAMIENTO	ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO		ABREVIATURAS DE ESPESOR DE RELLENO		1 > 2 m	1 LIMPIO	7 CUARZO	1 NINGUNO		2 0,6 - 2 m	2 CANTOS	8 OXIDOS	2 DURO < 5mm		3 0,2 - 0,6 m	3 GUJARRO	9 YESO	3 DURO > 5mm		4 0,06 - 0,2 m	4 GRAVA	10 ROC. TRITURADA	4 SUAVE < 5 mm		5 < 0,06 m	5 ARENA	11 OTROS	5 SUAVE > 5 mm			6 ARCILLA			
ABREVIA. ESPACIAMIENTO	ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO							ABREVIATURAS DE ESPESOR DE RELLENO																																		
1 > 2 m	1 LIMPIO	7 CUARZO						1 NINGUNO																																		
2 0,6 - 2 m	2 CANTOS	8 OXIDOS						2 DURO < 5mm																																		
3 0,2 - 0,6 m	3 GUJARRO	9 YESO						3 DURO > 5mm																																		
4 0,06 - 0,2 m	4 GRAVA	10 ROC. TRITURADA	4 SUAVE < 5 mm																																							
5 < 0,06 m	5 ARENA	11 OTROS	5 SUAVE > 5 mm																																							
	6 ARCILLA																																									
I SANA	Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás lig. De coloración sobre superficies de discontinuidades principales																																									
II LIGERO	La decoloración indica intemp. del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.																																									
III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.																																									
IV MUY INTEM.	Mas de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discont como núcleo rocoso.																																									
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descompto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.																																									
$RQD = 100 e^{-(0.1 \lambda)} \times (0.1 \lambda + 1) = 96 \%$																																										

DATOS DE MAPEO GEOMECANICO				LUGAR : Carriere De Caolin de Berria		POR: Ernesto Lopez Pomareda	
				LABOR : Talud Este del Tajo Abierto		FECHA: 16/04/2000	
Nº		ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO (mt)		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)	
ESTACION		DIPS	DIPS DIRECTION	DESDE	HASTA		
20		43°	248°	0	5.83		
TIPO DE ROCA				FREC. FRACTURA		PARAMETRO	
A		%	B	%	C	%	DISC. /ml.
ESQUISTO		100					2
TIPO		ORIENTACION		RELLENO		COMENTARIOS	
ESTRUC.	DIP	DIP DIR	ESPACIAMIENTO (cm)		TIPO	ESPESOR	
D	15	22			R. Triturada	< 5	
D	18	26	0,6-2		R. Triturada	> 5	
D	7	23	> 2		R. Triturada	< 5	
R. COMPRESION UNIAxIAL (Mpa)		>250 (15)		100-250 (12)		50-100 (7)	
RQD %		90-100 (20)		75-90 (17)		50-75 (13)	
ESPACIAMIENTO (m)		>2 (20)		0,6-2 (15)		0,2-0,6 (10)	
CONDICION DE JUNTAS		PERSISTENCIA		APERTURA		RUGOSIDAD	
R. COMPRESION UNIAxIAL (Mpa)		<1mlong. (6)		1-3 m.Leng. (4)		3-10m (2)	
R. COMPRESION UNIAxIAL (Mpa)		Corrada (6)		<0.1mm apart. (5)		0.1-1.0mm (4)	
R. COMPRESION UNIAxIAL (Mpa)		Muyrugosa (6)		Rugosa (5)		Liqurugosa (3)	
R. COMPRESION UNIAxIAL (Mpa)		Limpia (6)		Dura <5mm (4)		Dura >5mm (2)	
R. COMPRESION UNIAxIAL (Mpa)		Sana (6)		Liq.Intempe. (5)		Mad.Intempe. (3)	
R. COMPRESION UNIAxIAL (Mpa)		Seca (15)		Humeda (10)		Mojada (7)	
R. COMPRESION UNIAxIAL (Mpa)		Gatos (4)		Fluja (0)		5	
R. COMPRESION UNIAxIAL (Mpa)		VALOR TOTAL RMR (Suma de valoracion 1 a 5) =		68			
RMR		100 - 81		80 - 61		60 - 41	
DESCRIPCION		I MUY BUENA		II BUENA		III REGULAR	
DESCRIPCION		IV MALA		V MUY MALA		II	
GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO		RANGO RESIS. COMP. Mpa				
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla		1,0 - 5,0				
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)		5 - 25				
R3	No se raya ni desconcha con cuchilla. La muestra se rompe con golpe firme del martillo		25 - 50				
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo		50 - 100				
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra		100 - 250				
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo		> 250				
GRADO	INDICE DE INTEMPERIZACION DESCRIPCION						
I SANA	Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás lig. De coloración sobre superficies de discontinuidades principales						
II LIGERO	La decoloración indica intemp. del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.						
III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.						
IV MUY INTEM.	Mas de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discont como núcleo rocoso.						
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descompto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.						
$RQD = 100 e^{-(0.1 \lambda)} \times (0.1 \lambda + 1) = 98 \%$							
				ABREVIACION DE TIPO DE ROCA Mi MINERAL Ca CALIZA Pf PORF. AND. DACT. Bx BRECHA Tf TUFO Lv LAVA DACT.			
ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS D SISTEMA DE DIACLASA Fh SISTEMA DE FALLAS C CONTACTO MF MICRO FALLA				ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO 1 NINGUNO 2 DURO < 5mm 3 DURO > 5mm 4 SUAVE < 5 mm 5 SUAVE > 5 mm			
ABREVI. ESPACIAMIENTO 1 > 2 m 2 0,6 - 2 m 3 0,2 - 0,6 m 4 0,06 - 0,2 m 5 < 0,06 m		ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO 1 LIMPIO 2 CANTOS 3 GUIJARRO 4 GRAYA 5 ARENA 6 ARCILLA		ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO 7 CUARZO 8 OXIDOS 9 YESO 10 ROC. TRITURADA 11 OTROS			

DATOS DE MAPEO GEOMECANICO				LUGAR :	Carriere De Caolia de Berria				POR:	Ernesto Lopez Pomareda						
				LABOR :	Tald Este del Tajo Abierto				FECHA:	16/04/2000						
Nº	ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO (mt)		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)											
	ESTACION	DIPS	DIPS DIRECTION	DESDE	HASTA	PARAMETRO					RANGO DE VALORES		VALORACION			
21	42'	235'	0	4.98												
TIPO DE ROCA				FREC. FRACTURA									VALOR ESTIMADO			
A	%	B	%	C	%	DISC. /ml.										
CUARCITA	100					3										
TIPO ESTRUCT.	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO (cm)	RELLENO		COMENTARIOS	ESPACIAMIENTO (m)					VALORACION				
	DIP	DIP DIR		TIPO	ESPEJOR		PERSISTENCIA	APERTURA	RUGOSIDAD	RELLENO	INTEMPERIZA.					
D	73	233		Limpia	Ninguno		>2 (20)	<1mlong. (6)	Cerrada (6)	Muyrugosa (6)	Limpia (6)	Sana (6)	Soca (15)			
D	16	20	0,2-0,6	Limpia	Ninguno		0,6-2 (15)	1-3 m.Lana. (4)	<0.1mm apart. (5)	Ruqara (5)	Dura <5mm (4)	Liq.Intempe. (5)	Humeda (10)			
D	7	19	0,6-2	R. Triturada	< 5		0,2-0,6 (10)	3-10m. (2)	0.1-1.0mm (4)	Liq.ruqara (3)	Dura >5mm (2)	Mad.Intempe. (3)	Mojada (7)			
D	13	16	0,6-2	Limpia	Ninguno		0,06-0,2 (8)	10-20 m. (1)	1-5 mm (1)	Lira (1)	Suave < 5mm (1)	MuyIntempe. (2)	Gasea (4)			
D	12	24	0,6-2	Limpia	Ninguno		<0.06 (5)	> 20 m. (0)	> 5mm (0)	Espejo de falla (0)	Suave > 5mm (0)	Descampuerta (0)	Fluja (0)			
D	7	25	0,2-0,6	R. Triturada	< 5											
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =												73				
CLASE DE MACIZO ROCOSO												II				
RMR	100 - 81		80 - 61		60 - 41		40 - 21		20 - 0							
DESCRIPCION												I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. Mpa
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250

GRADO	INDICE DE INTEMPERIZACION DESCRIPCION
I SANA	Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás lig. De coloración sobre superficies de discontinuidades principales
II LIGERO	La decoloración indica intemp. del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.
III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.
IV MUY INTEM.	Más de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discont como núcleo rocoso.
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descompto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.

ABREVI. ESPACIAMIENTO	ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO	ABREVIATURAS DE ESPESOR DE RELLENO
1 > 2 m	1 LIMPIO	1 NINGUNO
2 0,6 - 2 m	2 CANTOS	2 DURO < 5mm
3 0,2 - 0,6 m	3 GUIJARRO	3 DURO > 5mm
4 0,06 - 0,2 m	4 GRAVA	4 SUAVE < 5 mm
5 < 0,06 m	5 ARENA	5 SUAVE > 5 mm
	6 ARCILLA	

ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
Mi	MINERAL
Ca	CALIZA
Pf	PORF. AND. DACT.
Bx	BRECHA
Tf	TUFO
Lv	LAVA DACT.

ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS	
D	SISTEMA DE DIACLASA
Fn	SISTEMA DE FALLAS
C	CONTACTO
MF	MICRO FALLA

$RQD = 100 e^{-(0.1 \lambda)} \times (0.1 \lambda + 1) = 96 \%$

DATOS DE MAPEO GEOMECANICO				LUGAR : Carriere De Caolin de Berria		POR: Ernesto Lopez Pomareda		
				LABOR : Talud Este del Tajo Abierto		FECHA: 16/04/2000		
Nº	ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO (mt)		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)			
ESTACION	DIPS	DIPS DIRECTION	DESDE	HASTA				
22	47°	230°	0	3.71				
TIPO DE ROCA				FREC. FRACTURA	PARAMETRO	RANGO DE VALORES		
A	%	B	%	C	%	DISC. /ml.	VALOR ESTIMADO	
ESQUISTO	100					4		
TIPO	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO	RELLENO		COMENTARIOS	R. COMPRES. UNIAxIAL (MPa)	
ESTRUC.	DIP	DIP DIR	(cm)	TIPO	ESPEJOR			
D	64	104	0,2-0,6	R. Triturada	< 5		>250 (15)	
D	64	104	0,2-0,6	Limpia	Ninguno		100-250 (12)	
D	11	28	0,2-0,6	Limpia	Ninguno		50-100 (7)	
D	16	21	0,06-0,2	R. Triturada	< 5		25-50 (4)	
D	19	28	0,6-2	R. Triturada	< 5		<25 (2) <5(1) <10(1)	
							ROD %	<25 (3) 2
							ESPACIAMIENTO (m)	>2 (20)
							CONDICION DE JUNTAS	<1mlanq. (6)
							PERISTENCIA	1-3 m Lanq. (4)
							APERTURA	0,2-0,6 (10)
							RUGOSIDAD	3-10m (2)
							RELLENO	10-20 m (1)
							INTEMPERIZA.	1-5 mm (1)
							AGUA SUBTERRANEA	> 5 mm (0)
							Sana (6)	4D 4
							Liq. Intempo. (5)	4E 5
							Humeda (10)	5 15
							Majada (7)	
							Gatosa (4)	
							Flujos (0)	
							VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =	74
							CLASE DE MACIZO ROCOSO	
							RMR	100 - 81
							DESCRIPCION	II BUENA
								III REGULAR
								IV MALA
								V MUY MALA
								II

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. Mpa
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla	10 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250

GRADO	INDICE DE INTEMPERIZACION DESCRIPCION
I SANA	Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás lig. De coloración sobre superficies de discontinuidades principales
II LIGERO	La decoloración indica intemp. del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.
III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.
IV MUY INTEM.	Mas de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discont como núcleo rocoso.
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descompto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.

ABREVI. ESPACIAMIENTO	ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO	ABREVIATURAS DE ESPESOR DE RELLENO
1 > 2 m	1 LIMPIO	1 NINGUNO
2 0,6 - 2 m	2 CANTOS	2 DURO < 5mm
3 0,2 - 0,6 m	3 GUIJARRO	3 DURO > 5mm
4 0,06 - 0,2 m	4 GRAVA	4 SUAVE < 5 mm
5 < 0,06 m	5 ARENA	5 SUAVE > 5 mm
	6 ARCILLA	
	7 CUARZO	
	8 OXIDOS	
	9 YESO	
	10 ROC. TRITURADA	
	11 OTROS	

ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
Mi	MINERAL
Ca	CALIZA
Pf	PORF. AND. DACT.
Bx	BRECHA
Tf	TUFO
Lv	LAVA DACT.

ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS	
D	SISTEMA DE DIACLASA
Fh	SISTEMA DE FALLAS
C	CONTACTO
MF	MICRO FALLA

$RQD = 100 e^{-(0.1 \lambda)} \times (0.1 \lambda + 1) = 94 \%$

DATOS DE MAPEO GEOMECANICO				LUGAR :	Carriere De Caolin de Berria				POR:	Ernesto Lopez Pomareda				
				LABOR :	Taled Este del Tajo Abierto				FECHA:	16/04/2000				
N°	ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO (mt)		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)									
	ESTACION	DIPS	DIPS DIRECTION	DESDE	HASTA									
23	35°	233°	0	4.44										
TIPO DE ROCA					PARAMETRO	RANGO DE VALORES					VALOR ESTIMADO	VALORACION		
A	%	B	%	C	%	DISC. /ml.	R. COMPRESION UNIAxIAL (Mpa)	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	4
ESQUISTO	100					2	RQD %	90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	2	20
TIPO DE ROCA					ESPACIAMIENTO (m)	RANGO DE VALORES					VALOR ESTIMADO	VALORACION		
TIPO	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO (cm)	RELLENO		COMENTARIOS	PERSISTENCIA	<1mlong. (6)	1-3m Long. (4)	3-10m (2)	10-20m (1)	>20 m (0)	4A	4
ESTRUC.	DIP	DIP DIR		TIPO	ESPESOR		CONDICION DE APERTURA	Cerrada (6)	<0.1mm apart. (5)	0.1-1.0mm (4)	1-5 mm (1)	> 5mm (0)	4B	5
D	90	330		R. Triturada	< 5	DE RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Liquisuga (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0) <th>4C</th> <th>5</th>	4C	5	
D	18	22	0,2-0,6	R. Triturada	< 5	JUNTAS RELLENO	Limpia (6)	Dura < 5mm (4)	Suave < 5mm (1)	Suave > 5mm (0) <th>4D</th> <th>4</th>	4D	4		
D	90	30	0,6-2	R. Triturada	< 5	INTEMPERIZA.	Sana (6)	Liq. Intempo. (5)	Med. Intempo. (3)	Descompuesta (0) <th>4E</th> <th>3</th>	4E	3		
D	76	225	0,6-2	R. Triturada	< 5	AGUA SUBTERRANEA	Seca (15)	Humeda (10)	Majada (7)	Gatosa (4)	Fluja (0) <th>5</th> <th>15</th>	5	15	
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =													75	
CLASE DE MACIZO ROCOSO														
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0									II
DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA									

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. Mpa
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250

GRADO	INDICE DE INTEMPERIZACION DESCRIPCION
I SANA	Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás lig. De coloración sobre superficies de discontinuidades principales
II LIGERO	La decoloración indica intemp. del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.
III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.
IV MUY INTEM.	Mas de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discont como núcleo rocoso.
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descompto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.

LEYENDA:
 (R) Taberación combinado RQD y Espaciamiento de cada región
 --- Línea de correlación propuesta

ABREVI. ESPACIAMIENTO	ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO	ABREVIATURAS DE ESPESOR DE RELLENO
1 > 2 m	1 LIMPIO	1 NINGUNO
2 0.6 - 2 m	2 CANTOS	2 DURO < 5mm
3 0.2 - 0.6 m	3 GUIJARRO	3 DURO > 5mm
4 0.06 - 0.2 m	4 GRAVA	4 SUAVE < 5 mm
5 < 0.06 m	5 ARENA	5 SUAVE > 5 mm
	6 ARCILLA	
	7 CUARZO	
	8 OXIDOS	
	9 YESO	
	10 ROC. TRITURADA	
	11 OTROS	

ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
Mi	MINERAL
Cz	CALIZA
Pf	PORF. AND. DACT.
Bx	BRECHA
Tf	TUFO
Lv	LAVA DACT.

ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS	
D	SISTEMA DE DIACLASA
Fh	SISTEMA DE FALLAS
C	CONTACTO
MF	MICRO FALLA

$RQD = 100 e^{-(0.1 \lambda)} \times (0.1 \lambda + 1) = 98 \%$

DATOS DE MAPEO GEOMECANICO				LUGAR : Carriere De Caolin de Berria		POR: Ernesto Lopez Pomareda							
				LABOR : Taled Este del Tajo Abierto		FECHA: 16/04/2000							
Nº	ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO (mt)		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)								
ESTACION	DIPS	DIPS DIRECTION	DESDE	HASTA									
24	40°	221°	0	3.38									
TIPO DE ROCA				FREC. FRACTURA	PARAMETRO	RANGO DE VALORES		VALORACION					
A	%	B	%	C	%	DISC. /ml.	R. COMPRESION UNIAxIAL (Mpa)	VALOR ESTIMADO					
CUARCITA	100					3	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	7
TIPO	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO (cm)	RELLENO		COMENTARIOS	ESPACIAMIENTO (m)	RANGO DE VALORES		VALORACION			
ESTRUC.	DIP	DIP DIR	TIPO	ESPEJOR	CONDICION DE JUNTAS		PERSISTENCIA	APERTURA	RUGOSIDAD	RELLENO	INTEMPERIZA.	AGUA SUBTERRANEA	
D	45	102		Limpia	Ninguno		<1mlanq. (6)	1-2m Lanq. (4)	3-10m (2)	10-20m (1)	>20 m (0)	4A	4
D	70	226	0,2-0,6	Limpia	Ninguno		Cerrada (6)	<0.1mm apart. (5)	0.1-1.0mm (4)	1-5 mm (1)	> 5mm (0)	4B	5
D	2	10	0,2-0,6	R. Triturada	< 5		Muy rugosa (6)	Ruqara (5)	Liqu rugosa (3)	Lira (1)	Espejo de falla (0)	4C	5
D	65	19	0,6-2	R. Triturada	< 5		Limpia (6)	Dura <5mm (4)	Dura >5mm (2)	Suave < 5 mm (1)	Suave > 5 mm (0)	4D	4
D	30	33	0,6-2	R. Triturada	< 5		Sana (6)	Liq. Intempe. (5)	Med. Intempe. (3)	Muy Intempe. (2)	Dorcampuerta (0)	4E	5
D	46	24	0,2-0,6	Limpia	Ninguno		Soca (15)	Humeda (10)	Majada (7)	Gatosa (4)	Fluja (0)	5	15
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =												75	
CLASE DE MACIZO ROCOSO													
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0								
DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA								

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. Mpa
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya ni desconcha con cuchilla. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250

GRADO	INDICE DE INTEMPERIZACION DESCRIPCION
I SANA	Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás lig. De coloración sobre superficies de discontinuidades principales
II LIGERO	La decoloración indica intemp. del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.
III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.
IV MUY INTEM.	Mas de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discont como núcleo rocoso.
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descompto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.

CORRELACION RQD vs ESPACIAMIENTO DE DISCONTINUIDADES

Y: RQD % (0 a 100)
X: ESPACIAMIENTO MEDIO DE DISCONT - mm (10 a 2000)

LEYENDA:
 (R) Taberación combinada RQD y Espaciamiento de cada región
 --- Línea de correlación propuesta

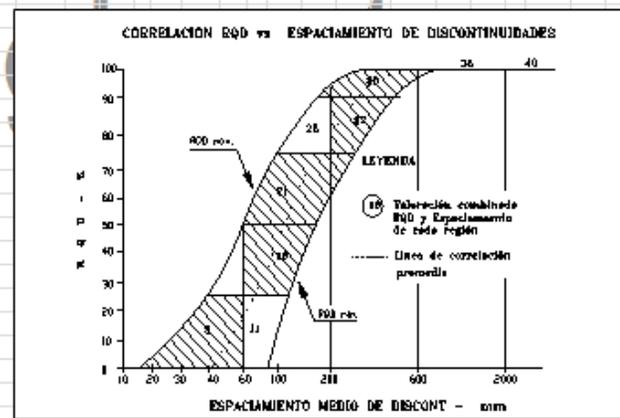
ABREVI. ESPACIAMIENTO	ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO	ABREVIATURAS DE ESPESOR DE RELLENO
1 > 2 m	1 LIMPIO	1 NINGUNO
2 0.6 - 2 m	2 CANTOS	2 DURO < 5mm
3 0.2 - 0.6 m	3 GUIJARRO	3 DURO > 5mm
4 0.06 - 0.2 m	4 GRAVA	4 SUAVE < 5 mm
5 < 0.06 m	5 ARENA	5 SUAVE > 5 mm
	6 ARCILLA	
	7 CUARZO	
	8 OXIDOS	
	9 YESO	
	10 ROC. TRITURADA	
	11 OTROS	

ABREVIACION DE TIPO DE ROCA
Mi MINERAL
Ca CALIZA
Pf PORF. AND. DACT.
Bx BRECHA
Tf TUFO
Lv LAVA DACT.

ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS
D SISTEMA DE DIACLASA
Fh SISTEMA DE FALLAS
C CONTACTO
MF MICRO FALLA

$RQD = 100 e^{-(0.1 \lambda)} \times (0.1 \lambda + 1) = 96 \%$

DATOS DE MAPEO GEOMECANICO				LUGAR : Carriere De Caolin de Berria		POR: Ernesto Lopez Pomareda		
				LABOR : Talud Este del Tajo Abierto		FECHA: 16/04/2000		
N°	ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO (mt)		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)			
	ESTACION	DIPS	DIPS DIRECTION	DESDE	HASTA			
25	42'	233'	0	2.91				
TIPO DE ROCA				FREC. FRACTURA	PARAMETRO	RANGO DE VALORES		
A	%	B	%	C	%	DISC. /ml.	VALOR ESTIMADO	
ESQUISTO	100					4		
TIPO	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO (cm)	RELLENO		COMENTARIOS	VALORACION	
ESTRUC.	DIP	DIP DIR		TIPO	ESPESOR			
D	8	26		Limpia	Ninguno			
D	43	183	0,2-0,6	R. Triturada	< 5			
D	75	210	0,2-0,6	R. Triturada	< 5			
D	90	335	< 0,06	R. Triturada	< 5			
VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)								
R. COMPRESION UNIAIAL (Mp-a)								
	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25 (2)	<5 (1)	<1 (0)	
RQD %	90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	<5 (3)	2	
ESPACIAMIENTO (m)	>2 (20)	0,6-2 (15)	0,2-0,6 (10)	0,06-0,2 (8)	<0,06 (5)	3	10	
CONDICION DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1mlong. (6)	1-3 m. Long. (4)	3-10m (2)	10-20 m (1)	>20 m (0)	4A	
	APERTURA	Cerrada (6)	<0.1mm apart. (5)	0.1-1.0mm (4)	1-5 mm (1)	> 5mm (0)	4B	
	RUGOSIDAD	Muyruguara (6)	Ruguara (5)	Liquiguara (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C	
	RELLENO	Limpia (6)	Dura < 5mm (4)	Dura > 5mm (2)	Suave < 5 mm (1)	Suave > 5 mm (0)	4D	
	INTEMPERIZA.	Sana (6)	Liq. Intempe. (5)	Med. Intempe. (3)	Muy Intempe. (2)	Descompuesta (0)	4E	
AGUA SUBTERRANEA	Seca (15)	Humeda (10)	Majada (7)	Gasea (4)	Fluja (0)	5	15	
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoracion 1 a 5) = 70								
CLASE DE MACIZO ROCOSO								
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0	II		
DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA			
GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO		RANGO RESIS. COMP. Mpa		ABREVIACION DE TIPO DE ROCA			
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla		1,0 - 5,0		Mi	MINERAL		
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)		5 - 25		Cz	CALIZA		
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo		25 - 50		Pf	PORF. AND. DACT.		
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo		50 - 100		Bx	BRECHA		
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra		100 - 250		Tf	TUFO		
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo		> 250		Lv	LAVA DACT.		
GRADO	INDICE DE INTEMPERIZACION DESCRIPCION		ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS					
I SANA	Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás lig. De coloración sobre superficies de discontinuidades principales		D	SISTEMA DE DIACLASA				
II LIGERO	La decoloración indica intemp. del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.		Fh	SISTEMA DE FALLAS				
III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.		C	CONTACTO				
IV MUY INTEM.	Mas de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discont como núcleo rocoso.		MF	MICRO FALLA				
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descompto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.				ABREVIATURAS DE ESPESOR DE RELLENO			
$RQD = 100 e^{(-0.1 \lambda)} \times (0.1 \lambda + 1) = 94 \%$			1	> 2 m		1	NINGUNO	
			2	0.6 - 2 m		2	DURO < 5mm	
			3	0.2 - 0.6 m		3	DURO > 5mm	
			4	0.06 - 0.2 m		4	SUAVE < 5 mm	
			5	< 0.06 m		5	SUAVE > 5 mm	
			ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO					
			1	LIMPIO		7	CUARZO	
			2	CANTOS		8	OXIDOS	
			3	GUIJARRO		9	YESO	
			4	GRAVA		10	ROC. TRITURADA	
			5	ARENA		11	OTROS	
			6	ARCILLA				



DATOS DE MAPEO GEOMECANICO				LUGAR : Carriere De Caolin de Berria		POR: Ernesto Lopez Pomareda									
				LABOR : Talud Este del Tajo Abierto		FECHA: 16/04/2000									
N°	ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO (mt)		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)										
	ESTACION	DIPS	DIPS DIRECTION	DESDE	HASTA										
26	36°	235°	0	5.67											
TIPO DE ROCA				FREQ. FRACTURA	PARAMETRO	RANGO DE VALORES		VALOR ESTIMADO	VALORACION						
A	%	B	%	C	%	DISC. /ml.	R. COMPRES. UNIAxIAL (MPa)	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	4	
ESQUISTO				100	2		RQD %	90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	2	20	
TIPO ESTRUCT.	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO (cm)	RELLENO		COMENTARIOS	ESPACIAMIENTO (m)	RANGO DE VALORES					VALORACION		
	DIP	DIP DIR	TIPO	ESPESOR	CONDICION DE JUNTAS		PERSISTENCIA	APERTURA	RUGOSIDAD	RELLENO	INTEMPERIZA.	AGUA SUBTERRANEA	VALOR ESTIMADO		
D	54	11	0,6-2	R. Triturada	< 5		>2 (20)	<1mlong. (6)	1-3 m Long. (4)	0,2-0,6 (10)	3-10m (2)	10-20 m (1)	>20 m (0)	4A	2
D	16	28	0,6-2	Limpia	Ninguno			Cerrada (6)	<0.1mm apert. (5)	0,1-1.0mm (4)	1-5 mm (1)	> 5 mm (0)	4B	6	
D	78	7	0,6-2	Limpia	Ninguno			Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Liquisuga (3)	Lira (1)	Espejo de falla (0)	4C	5	
D	73	223	0,6-2	R. Triturada	< 5			Limpia (6)	Dura >5mm (4)	Dura >5mm (2)	Suave < 5 mm (1)	Suave > 5 mm (0)	4D	4	
D	19	24	0,6-2	R. Triturada	< 5			Sana (6)	Liq. Intempo. (5)	Mad. Intempo. (3)	Muy Intempo. (2)	Descompuesta (0)	4E	3	
								Soca (15)	Humeda (10)	Majada (7)	Gatosa (4)	Flujo (0)	5	15	
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =													74		
CLASE DE MACIZO ROCOSO															
RMR		100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0								II	
DESCRIPCION		I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA									

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. Mpa
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250

GRADO	INDICE DE INTEMPERIZACION DESCRIPCION
I SANA	Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás lig. De coloración sobre superficies de discontinuidades principales
II LIGERO	La decoloración indica intemp. del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.
III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.
IV MUY INTEM.	Mas de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discont como núcleo rocoso.
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descompto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.

ABREVI. ESPACIAMIENTO	ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO	ABREVIATURAS DE ESPESOR DE RELLENO
1 > 2 m	1 LIMPIO	1 NINGUNO
2 0,6 - 2 m	2 CANTOS	2 DURO < 5mm
3 0,2 - 0,6 m	3 GUJARRO	3 DURO > 5mm
4 0,06 - 0,2 m	4 GRAYA	4 SUAVE < 5 mm
5 < 0,06 m	5 ARENA	5 SUAVE > 5 mm
	6 ARCILLA	
	7 CUARZO	
	8 OXIDOS	
	9 YESO	
	10 ROC. TRITURADA	
	11 OTROS	

ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
Mi	MINERAL
Cz	CALIZA
Pf	PORF. AND. DACT.
Bx	BRECHA
Tf	TUFO
Lv	LAVA DACT.

ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS	
D	SISTEMA DE DIACLASA
Fh	SISTEMA DE FALLAS
C	CONTACTO
MF	MICRO FALLA

$RQD = 100 e^{-(0.1 \lambda)} \times (0.1 \lambda + 1) = 98 \%$

DATOS DE MAPEO GEOMECANICO					LUGAR :	Carriere De Caolin de Berria	POR:	Ernesto Lopez Pomareda							
					LABOR :	Talud Este del Tajo Abierto	FECHA:	16/04/2000							
Nº	ORIENTACION DE LA CARA				TRAMO (mt)		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)								
ESTACION	DIPS	DIPS DIRECTION		DESDE	HASTA										
27	38°	206°		0	3.85										
TIPO DE ROCA						PARAMETRO	RANGO DE VALORES					VALORACION			
A	%	B	%	C	%		VALOR ESTIMADO								
ESQUISTO 100						DISC. /m.l.	3.85	R. COMPRES. UNIAxIAL (MPa)	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	4
TIPO ESTRUCC.	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO (cm)	RELLENO		COMENTARIOS	ROD %	>2 (20)	1-3 m. Lona. (4)	3-10m (2)	10-20 m (1)	>20 m (0)	4A	4	
	DIP	DIP DIR		TIPO	ESPEJOR		CONDICION DE APERTURA	<1mlonq. (6)	1-3 m. Lona. (4)	3-10m (2)	10-20 m (1)	>20 m (0)	4A	4	
D	20	22		Limpia	Ninguno	DE RUGOSIDAD	Cerrada (6)	<0.1mm apert. (5)	0.1-1.0mm (4)	1-5 mm (1)	>5 mm (0)	4B	6		
D	30	146	< 0,06	Limpia	Ninguno	JUNTAS RELLENO	Muyruquera (6)	Ruquera (5)	Liququera (3)	Lira (1)	Espejo de falla (0)	4C	5		
D	15	25	0,2-0,6	Limpia	Ninguno	INTEMPERIZA.	Limpia (6)	Dura <5mm (4)	Mod.<5mm (2)	Suave <5 mm (1)	Suave >5 mm (0)	4D	6		
						AGUA SUBTERRANEA	Sana (6)	Liq. Intempo. (5)	Mad. Intempo. (3)	Muy Intempo. (2)	Descompuerta (0)	4E	3		
							Soca (15)	Humeda (10)	Majada (7)	Gatosa (4)	Flujo (0)	5	15		
						VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =						83			
						CLASE DE MACIZO ROCOSO									
						RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0				
						DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA				

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. Mpa
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla	1.0 - 5.0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya ni desconcha con cuchilla. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250

GRADO	INDICE DE INTEMPERIZACION DESCRIPCION
I SANA	Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás lig. De coloración sobre superficies de discontinuidades principales
II LIGERO	La decoloración indica intemp. del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.
III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.
IV MUY INTEM.	Mas de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discont como núcleo rocoso.
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descompto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.

ABREVI. ESPACIAMIENTO	ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO	ABREVIATURAS DE ESPEJOR DE RELLENO
1 > 2 m	1 LIMPIO	1 NINGUNO
2 0.6 - 2 m	2 CANTOS	2 DURO < 5mm
3 0.2 - 0.6 m	3 GUJARRO	3 DURO > 5mm
4 0.06 - 0.2 m	4 GRAVA	4 SUAVE < 5 mm
5 < 0.06 m	5 ARENA	5 SUAVE > 5 mm
	6 ARCILLA	
	7 CUARZO	
	8 OXIDOS	
	9 YESO	
	10 ROC. TRITURADA	
	11 OTROS	

ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
Mi	MINERAL
Cz	CALIZA
Pf	PORF. AND. DACT.
Bx	BRECHA
Tf	TUFO
Lv	LAVA DACT.

ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS	
D	SISTEMA DE DIACLASA
Fh	SISTEMA DE FALLAS
C	CONTACTO
MF	MICRO FALLA

$$RQD = 100 e^{-0.1 \lambda} \times (0.1 \lambda + 1) = 94 \%$$

DATOS DE MAPEO GEOMECANICO				LUGAR : Carriere De Caolin de Berria		POR: Ernesto Lopez Pomareda								
				LABOR : Talud Este del Tajo Abierto		FECHA: 16/04/2000								
N°	ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO (mt)		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)									
	ESTACION	DIFS	DIFS DIRECTION	DESDE	HASTA									
28	35°	243°	0	3.75										
TIPO DE ROCA				FREC. FRACTURA	PARAMETRO	RANGO DE VALORES				VALORACION				
A	%	B	%	C	%	DISC. /ml.	VALOR ESTIMADO							
ESQUISTO	100					3	R. COMPRESION UNIAxIAL (Mpa)	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	4
TIPO	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO (cm)	RELLENO		COMENTARIOS	ESPACIAMIENTO (m)							
ESTRUC.	DIP	DIP DIR		TIPO	ESPEJOR			PERSISTENCIA	APERTURA	RUGOSIDAD	RELLENO	INTEMPERIZA.	AGUA SUBTERRANEA	
D	30	360		Limpia	Ninguno		<1mlong. (6)	Cerrada (6)	Muyrugosa (6)	Limpia (6)	Sana (6)	Seca (15)		
D	74	224	0,6-2	Limpia	Ninguno		1-3 m.Lonq. (4)	<0.1mm.apert. (5)	Ruqosa (5)	Limpia (6)	Sana (6)	Humeda (10)		
D	74	224	0,2-0,6	Limpia	Ninguno		3-10m. (2)	Liquzara (3)	Liquzara (3)	Limpia (6)	Sana (6)	Majeda (7)		
D	80	24	< 0,06	Limpia	Ninguno		10-20 m (1)	Lira (1)	Lira (1)	Limpia (6)	Sana (6)	Gataca (4)		
D	80	25	0,2-0,6	Limpia	Ninguno		>20 m (0)	Espejo de falla (0)	Espejo de falla (0)	Limpia (6)	Sana (6)	Fluja (0)		
D	65	24	0,2-0,6	Limpia	Ninguno		<0.06 (5)	>5 mm (0)	>5 mm (0)	Limpia (6)	Sana (6)			
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =													73	
CLASE DE MACIZO ROCOSO														
RMR		100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0								
DESCRIPCION		I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA								
GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO		RANGO RESIS. COMP. Mpa											
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla		1,0 - 5,0											
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)		5 - 25											
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo		25 - 50											
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo		50 - 100											
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra		100 - 250											
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo		> 250											
GRADO	INDICE DE INTEMPERIZACION DESCRIPCION													
I SANA	Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás lig. De coloración sobre superficies de discontinuidades principales													
II LIGERO	La decoloración indica intemp. del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.													
III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.													
IV MUY INTEM.	Mas de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discont como núcleo rocoso.													
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descompto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.													
$RQD = 100 e^{-(0.1 \lambda)} \times (0.1 \lambda + 1) = 96 \%$														

ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
Mi	MINERAL
Cz	CALIZA
Pf	PORF. AND. DACT.
Bx	BRECHA
Tf	TUFO
Lv	LAVA DACT.

ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS	
D	SISTEMA DE DIACLASA
Fh	SISTEMA DE FALLAS
C	CONTACTO
MF	MICRO FALLA

ABREVI. ESPACIAMIENTO
1 > 2 m
2 0.6 - 2 m
3 0.2 - 0.6 m
4 0.06 - 0.2 m
5 < 0.06 m

ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO	
1 LIMPIO	7 CUARZO
2 CANTOS	8 OXIDOS
3 GUIJARRO	9 YESO
4 GRAVA	10 ROC. TRITURADA
5 ARENA	11 OTROS
6 ARCILLA	

ABREVIATURAS DE ESPESOR DE RELLENO	
1 NINGUNO	
2 DURO < 5mm	
3 DURO > 5mm	
4 SUAVE < 5 mm	
5 SUAVE > 5 mm	

DATOS DE MAPEO GEOMECANICO				LUGAR : Carriere De Caolin de Berria		POR: Ernesto Lopez Pomareda							
				LABOR : Talud Este del Tajo Abierto		FECHA: 16/04/2000							
N°	ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO (mt)		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)								
	ESTACION	DIFS	DIFS DIRECTION	DESDE	HASTA								
29	50°	248°	0	6,25									
TIPO DE ROCA				FREC. FRACTURA	PARAMETRO	RANGO DE VALORES							
A	%	B	%	C	%	VALOR ESTIMADO							
ESQUISTO	100				DISC. /ml.								
					4								
TIPO	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO	RELLENO		COMENTARIOS	VALORACION						
ESTRUC.	DIP	DIP DIR	(cm)	TIPO	ESPESOR								
D	80	125		Limpia	Ninguno								
D	76	223	0,06-0,2	Limpia	Ninguno								
D	8	24	0,2-0,6	Limpia	Ninguno								
D	68	345	0,06-0,2	Limpia	Ninguno								
D	72	228	0,6-2	Limpia	Ninguno								
D	57	100	0,6-2	Limpia	Ninguno								
D	70	35	0,2-0,6	Limpia	Ninguno								
D	64	165	0,6-2	Limpia	Ninguno								
D	70	223	0,6-2	Limpia	Ninguno								
					R. COMPRESION UNIAxIAL (Mpa)	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	4	
					RQD %	90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	2	20	
					ESPACIAMIENTO (m)	>2 (20)	0,6-2 (15)	0,2-0,6 (10)	0,06-0,2 (8)	<0,06 (5)	3	15	
					CONDICION DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1mlong. (6)	1-3m.Lonq. (4)	3-10m (2)	10-20m (1)	>20 m (0)	4A	4
					DE RUGOSIDAD	APERTURA	Cerrada (6)	<0,1mm.apert. (5)	0,1-1,0mm (4)	1-5 mm (1)	>5 mm (0)	4B	6
					RELLENO	Muyrara (6)	Ruqara (5)	Liquqara (3)	Lira (1)	Espejo de falla (0)	4C	3	
					INTEMPERIZA.	Limpia (6)	Dura <5mm (4)	Dura >5mm (2)	Suave <5 mm (1)	Suave >5 mm (0)	4D	6	
					AGUA SUBTERRANEA	Sana (6)	Liq.Intempo. (5)	Mad.Intempo. (3)	MuyIntempo. (2)	Descompuesta (0)	4E	3	
						Soca (15)	Humeda (10)	Majeda (7)	Gatea (4)	Fluja (0)	5	15	
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =											76		
CLASE DE MACIZO ROCOSO													
					RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0	II		
					DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA			

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. Mpa
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250

GRADO	INDICE DE INTEMPERIZACION DESCRIPCION
I SANA	Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás lig. De coloración sobre superficies de discontinuidades principales
II LIGERO	La decoloración indica intemp. del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.
III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.
IV MUY INTEM.	Mas de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discont como núcleo rocoso.
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descompto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.

LEGENDA:
 (R) Taberación combinado RQD y Espaciamiento de cada región
 --- Línea de correlación propuesta

ABREVI. ESPACIAMIENTO	ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO	ABREVIATURAS DE ESPESOR DE RELLENO
1 > 2 m	1 LIMPIO	1 NINGUNO
2 0,6 - 2 m	2 CANTOS	2 DURO < 5mm
3 0,2 - 0,6 m	3 GUIJARRO	3 DURO > 5mm
4 0,06 - 0,2 m	4 GRAVA	4 SUAVE < 5 mm
5 < 0,06 m	5 ARENA	5 SUAVE > 5 mm
	6 ARCILLA	
	7 CUARZO	
	8 OXIDOS	
	9 YESO	
	10 ROC. TRITURADA	
	11 OTROS	

ABREVIACION DE TIPO DE ROCA
Mi MINERAL
Cz CALIZA
Pf PORF. AND. DACT.
Bx BRECHA
Tf TUFO
Lv LAVA DACT.

ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS
D SISTEMA DE DIACLASA
Fh SISTEMA DE FALLAS
C CONTACTO
MF MICRO FALLA

$RQD = 100 e^{-(0.1 \lambda)} \times (0.1 \lambda + 1) = 94 \%$

DATOS DE MAPEO GEOMECANICO				LUGAR : Carriere De Caolin de Berria		POR: Ernesto Lopez Pomareda							
				LABOR : Talud Este del Tajo Abierto		FECHA: 16/04/2000							
N°	ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO (mt)		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)								
	ESTACION	DIPS	DIPS DIRECTION	DESDE	HASTA								
30	40°	258°	0	4.44									
TIPO DE ROCA				FREC. FRACTURA		PARAMETRO							
A	%	B	%	C	%	RANGO DE VALORES					VALOR ESTIMADO		
ESQUISTO	100				4	R. COMPRES. UNIAxIAL (MPa)							
						RQD %	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	4
							90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	2	20
							>2 (20)	0,6-2 (15)	0,2-0,6 (10)	0,06-0,2 (8)	<0,06 (5)	3	10
TIPO ESTRUCT.	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO (cm)	RELLENO		COMENTARIOS	CONDICION DE JUNTAS					VALORACION	
	DIP	DIP DIR		TIPO	ESPESOR		PERSISTENCIA	APERTURA	RUGOSIDAD	RELLENO	INTEMPERIZA.		
D	19	24	0,2-0,6	R. Triturada	< 5	<1mlong. (6)	1-3 m Long. (4)	3-10m (2)	10-20 m (1)	>20 m (0)	4A	1	
D	7	22	0,2-0,6	R. Triturada	< 5	Cerrada (6)	<0.1mm apert. (5)	0,1-1.0mm (4)	1-5 mm (1)	> 5 mm (0)	4B	4	
D	19	27	0,6-2	Limpia	Ninguno	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Liquisuga (3)	Lira (1)	Espejo de falla (0)	4C	3	
D	25	30	0,2-0,6	Limpia	Ninguno	Dura < 5mm (4)	Dura > 5mm (4)	Dura > 5mm (2)	Suave < 5 mm (1)	Suave > 5 mm (0)	4D	6	
D	2	10	0,2-0,6	Limpia	Ninguno	Liq. Intempe. (5)	Mad. Intempe. (3)	Muy Intempe. (2)	Descompuesta (0)	4E	3		
D	40	23	0,6-2	Limpia	Ninguno	AGUA SUBTERRANEA	Seca (15)	Humeda (10)	Majada (7)	Gatosa (4)	Flujo (0)	5	15
D	60	30	0,6-2	Limpia	Ninguno	VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =					66		
D	46	28	0,2-0,6	Limpia	Ninguno	CLASE DE MACIZO ROCOSO					II		
D	67	14	0,2-0,6	Limpia	Ninguno	RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21		20 - 0	
						DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA		

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. Mpa
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250

GRADO	INDICE DE INTEMPERIZACION DESCRIPCION
I SANA	Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás lig. De coloración sobre superficies de discontinuidades principales
II LIGERO	La decoloración indica intemp. del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.
III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.
IV MUY INTEM.	Mas de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discont como núcleo rocoso.
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descompto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.

ABREVI. ESPACIAMIENTO	ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO	ABREVIATURAS DE ESPESOR DE RELLENO
1 > 2 m	1 LIMPIO	1 NINGUNO
2 0,6 - 2 m	2 CANTOS	2 DURO < 5mm
3 0,2 - 0,6 m	3 GUJARRO	3 DURO > 5mm
4 0,06 - 0,2 m	4 GRAVA	4 SUAVE < 5 mm
5 < 0,06 m	5 ARENA	5 SUAVE > 5 mm
	6 ARCILLA	
	7 CUARZO	
	8 OXIDOS	
	9 YESO	
	10 ROC. TRITURADA	
	11 OTROS	

ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
Mi	MINERAL
Cz	CALIZA
Pf	PORF. AND. DACT.
Bx	BRECHA
Tf	TUFO
Lv	LAVA DACT.

ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS	
D	SISTEMA DE DIACLASA
Fh	SISTEMA DE FALLAS
C	CONTACTO
MF	MICRO FALLA

$RQD = 100 e^{-(0.1 \lambda)} \times (0.1 \lambda + 1) = 94 \%$

DATOS DE MAPEO GEOMECANICO				LUGAR : Carriere De Caolin de Berria		POR: Ernesto Lopez Pomareda	
				LABOR : Talud Este del Tajo Abierto		FECHA: 16/04/2000	
N°	ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO (mt)		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)		
	ESTACION	DIPS	DIPS DIRECTION	DESDE	HASTA		
31	42'	253'	0	2.47			
TIPO DE ROCA				FREC. FRACTURA		VALOR ESTIMADO	
A	%	B	%	C	%	DISC. /ml.	
ESQUISTO	100				6		
TIPO ESTRUCT.	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO (cm)	RELLENO		COMENTARIOS	R. COMPRES. UNIAxIAL (MPa)
	DIP	DIP DIR		TIPO	ESPESOR		
D	75	225		Limpia	Ninguno		>250 (15)
D	8	23	0,2-0,6	Limpia	Ninguno		100-250 (12)
D	15	27	0,6-2	Limpia	Ninguno		50-100 (7)
D	18	16	0,2-0,6	Limpia	Ninguno		25-50 (4)
D	2	10	0,2-0,6	Limpia	Ninguno		<25(2) <5(1) <1(0)
D	74	23	0,2-0,6	Limpia	Ninguno		1 < 4
D	90	25	0,6-2	Limpia	Ninguno		2 < 17
D	73	22	0,2-0,6	Limpia	Ninguno		3 < 10
PARAMETRO							
RANGO DE VALORES							
CONDICION DE JUNTAS							
AGUA SUBTERRANEA							
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) = 65							
CLASE DE MACIZO ROCOSO							
DESCRIPCION							
						II	

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. Mpa
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250

GRADO	INDICE DE INTEMPERIZACION DESCRIPCION
I SANA	Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás lig. De coloración sobre superficies de discontinuidades principales
II LIGERO	La decoloración indica intemp. del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.
III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.
IV MUY INTEM.	Mas de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discont como núcleo rocoso.
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descompto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.

ABREVI. ESPACIAMIENTO	ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO	ABREVIATURAS DE ESPESOR DE RELLENO
1 > 2 m	1 LIMPIO	1 NINGUNO
2 0,6 - 2 m	2 CANTOS	2 DURO < 5mm
3 0,2 - 0,6 m	3 GUJARRO	3 DURO > 5mm
4 0,06 - 0,2 m	4 GRAVA	4 SUAVE < 5 mm
5 < 0,06 m	5 ARENA	5 SUAVE > 5 mm
	6 ARCILLA	

ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
Mi	MINERAL
Cz	CALIZA
Pf	PORF. AND. DACT.
Bx	BRECHA
Tf	TUFO
Lv	LAVA DACT.

ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS	
D	SISTEMA DE DIACLASA
Fh	SISTEMA DE FALLAS
C	CONTACTO
MF	MICRO FALLA

$RQD = 100 e^{-(0.1 \lambda)} \times (0.1 \lambda + 1) = 88 \%$

DATOS DE MAPEO GEOMECANICO						LUGAR :	Carriere De Caolina de Berria				POR:	Ernesto Lopez Pomareda			
						LABOR :	Taled Este del Tajo Abierto				FECHA:	16/04/2000			
N°	ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO (mt)		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)										
	ESTACION	DIPS	DIPS DIRECTION	DESDE	HASTA	PARAMETRO					RANGO DE VALORES		VALORACION		
32	48°	138°	0	2.15											
TIPO DE ROCA				FREC. FRACTURA		PARAMETRO					RANGO DE VALORES		VALOR ESTIMADO	VALORACION	
A	%	B	%	C	%	DISC. / ml.	R. COMPRES. UNIAIXIAL (Mpa)	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25 (2) <5 (1) <1 (0)	1	4	
ESQUISTO	100					4	RQD %	90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	2	20	
TIPO ESTRUCC.	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO (cm)	RELLENO		COMENTARIOS	ESPACIAMIENTO (m)					RANGO DE VALORES		VALORACION	
	DIP	DIP DIR		TIPO	ESESOR		>2 (20)	0,6-2 (15)	0,2-0,6 (10)	0,06-0,2 (8)	<0,06 (5)	3	10		
D	16	22		Limpia	Ninguno		PERSISTENCIA	<1mlang. (6)	1-3 mLang. (4)	3-10m (2)	10-20 m (1)	>20 m (0)	4A	2	
D	13	27	0,2-0,6	Limpia	Ninguno		CONDICION DE APERTURA	Cerrada (6)	<0,1mm oport. (5)	0,1-1,0mm (4)	1-5 mm (1)	>5 mm (0)	4B	6	
D	14	23	<0,06	Limpia	Ninguno		DE RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Liq. rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C	3	
D	70	223	0,2-0,6	Limpia	Ninguno		JUNTAS RELLENO	Limpia (6)	Dura <5mm (4)	Dura >5mm (2)	Suave <5mm (1)	Suave >5mm (0)	4D	6	
							INTEMPERIZA.	Sana (6)	Liq. Intempe. (5)	Mad. Intempe. (3)	Muy Intempe. (2)	Descamputa (0)	4E	3	
							AGUA SUBTERRANEA	Seca (15)	Humeda (10)	Mojada (7)	Gotas (4)	Fluja (0)	5	15	
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =													63		
CLASE DE MACIZO ROCOSO															
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0										II
DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA										

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. Mpa
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya ni desconcha con cuchilla. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250

GRADO	INDICE DE INTEMPERIZACION DESCRIPCION
I SANA	Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás lig. De coloración sobre superficies de discontinuidades principales
II LIGERO	La decoloración indica intemp. del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.
III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.
IV MUY INTEM.	Mas de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discont como núcleo rocoso.
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descompto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.

ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
Mi	MINERAL
Cz	CALIZA
Pf	PORF. AND. DACT.
Bx	BRECHA
Tf	TUFO
Lv	LAVA DACT.

ABREVIA.	ESPACIAMIENTO
1	> 2 m
2	0,6 - 2 m
3	0,2 - 0,6 m
4	0,06 - 0,2 m
5	< 0,06 m

ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO	
1	LIMPIO
2	CANTOS
3	GUIJARRO
4	GRAVA
5	ARENA
6	ARCILLA
7	CUARZO
8	OXIDOS
9	YESO
10	ROC. TRITURADA
11	OTROS

ABREVIATURAS DE ESPESOR DE RELLENO	
1	NINGUNO
2	DURO < 5mm
3	DURO > 5mm
4	SUAVE < 5 mm
5	SUAVE > 5 mm

$$RQD = 100 e^{-(0.1 \lambda)} \times (0.1 \lambda + 1) = 94 \%$$

DATOS DE MAPEO GEOMECANICO				LUGAR : Carriere De Caolin de Berria		POR: Ernesto Lopez Pomareda								
				LABOR : Talud Este del Tajo Abierto		FECHA: 16/04/2000								
N°	ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO (mt)		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)									
	ESTACION	DIPS	DIPS DIRECTION	DESDE	HASTA									
33	43'	190'	0	3.93										
TIPO DE ROCA				FREC. FRACTURA	PARAMETRO	RANGO DE VALORES				VALORACION				
A	%	B	%	C	%	DISC. /ml.								
ESQUISTO	100					2								
TIPO ESTRUCT.	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO (cm)	RELLENO		COMENTARIOS	VALOR ESTIMADO				VALORACION			
	DIP	DIP DIR		TIPO	ESPEJOR		R. COMPRES. UNIAxIAL (MPa)	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)		25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	
D	11	25		Limpia	Ninguno		R0D %	90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	2	20
D	17	26	0,6-2	Limpia	Ninguno		ESPACIAMIENTO (m)	>2 (20)	0,6-2 (15)	0,2-0,6 (10)	0,06-0,2 (8)	<0,06 (5)	3	15
D	19	23	0,6-2	Limpia	Ninguno		CONDICION DE PERSISTENCIA	<1mlong. (6)	1-3 m Long. (4)	3-10m (2)	10-20 m (1)	>20 m (0)	4A	2
D	80	38	0,6-2	Limpia	Ninguno		CONDICION DE APERTURA	Cerrada (6)	<0.1mm apert. (5)	0.1-1.0mm (4)	1-5 mm (1)	>5 mm (0)	4B	6
							DE RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Liq.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C	5
							JUNTAS RELLENO	Limpia (6)	Dura <5mm (4)	Dura >5mm (2)	Suave <5 mm (1)	Suave >5 mm (0)	4D	6
							INTEMPERIZA.	Sana (6)	Liq.Intempo. (5)	Med.Intempo. (3)	Muy Intempo. (2)	Descompuesta (0)	4E	3
							AGUA SUBTERRANEA	Seca (15)	Humeda (10)	Majada (7)	Gatosa (4)	Flujo (0)	5	10
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =											71			
CLASE DE MACIZO ROCOSO											II			
RMR	100 - 81		80 - 61		60 - 41		40 - 21		20 - 0					
DESCRIPCION	I MUY BUENA		II BUENA		III REGULAR		IV MALA		V MUY MALA					

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. Mpa
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250

GRADO	INDICE DE INTEMPERIZACION DESCRIPCION
I SANA	Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás lig. De coloración sobre superficies de discontinuidades principales
II LIGERO	La decoloración indica intemp. del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.
III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.
IV MUY INTEM.	Mas de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discont como núcleo rocoso.
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descompto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.

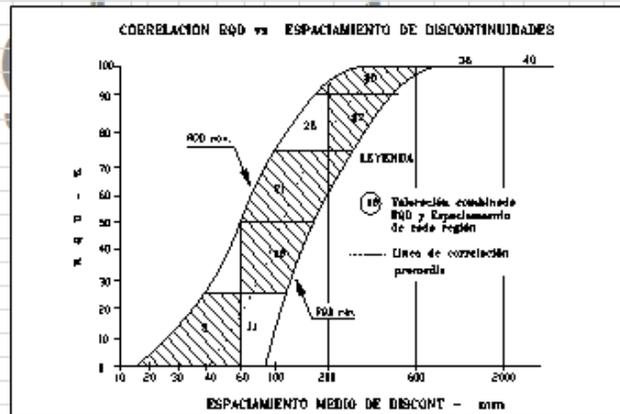
$RQD = 100 e^{-(0.1 \lambda)} \times (0.1 \lambda + 1) = 98 \%$

ABREVI. ESPACIAMIENTO	ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO	ABREVIATURAS DE ESPESOR DE RELLENO
1 > 2 m	1 LIMPIO	1 NINGUNO
2 0,6 - 2 m	2 CANTOS	2 DURO < 5mm
3 0,2 - 0,6 m	3 GUJARRO	3 DURO > 5mm
4 0,06 - 0,2 m	4 GRAVA	4 SUAVE < 5 mm
5 < 0,06 m	5 ARENA	5 SUAVE > 5 mm
	6 ARCILLA	
	7 CUARZO	
	8 OXIDOS	
	9 YESO	
	10 ROC. TRITURADA	
	11 OTROS	

ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
Mi	MINERAL
Cz	CALIZA
Pf	PORF. AND. DACT.
Bx	BRECHA
Tf	TUFO
Lv	LAVA DACT.

ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS	
D	SISTEMA DE DIACLASA
Fh	SISTEMA DE FALLAS
C	CONTACTO
MF	MICRO FALLA

DATOS DE MAPEO GEOMECANICO				LUGAR : Carriere De Caolia de Berria		POR: Ernesto Lopez Pomareda					
				LABOR : Taled Este del Tajo Abierto		FECHA: 16/04/2000					
Nº	ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO (mt)		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)						
ESTACION	DIPS	DIPS DIRECTION	DESDE	HASTA							
34	46°	185°	0	5.82							
TIPO DE ROCA				FREC. FRACTURA	PARAMETRO	RANGO DE VALORES					
A	%	B	%	C	%	VALOR ESTIMADO	VALORACION				
ESQUISTO	100			DISC. /ml.							
				3							
TIPO	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO	RELLENO		COMENTARIOS					
ESTRUC.	DIP	DIP DIR	(cm)	TIPO	ESPESOR						
D	18	22		Limpia	Ninguno						
D	64	66	0,2-0,6	Limpia	Ninguno						
D	64	66	0,2-0,6	Limpia	< 5						
D	9	25	0,2-0,6	Limpia	Ninguno						
D	74	229	< 0,06	Limpia	Ninguno						
D	73	56	0,6-2	Limpia	Ninguno						
D	71	225	0,6-2	Limpia	< 5						
D	69	229	0,6-2	Limpia	< 5						
R.COMPRE.UNIAXIAL (Mpa)					>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	4
R.Q.D. %					90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	2	20
ESPACIAMIENTO (m)					>2 (20)	0,6-2 (15)	0,2-0,6 (10)	0,06-0,2 (8)	<0,06 (5)	3	15
CONDICION DE JUNTAS					<1m lanq. (6)	1-3 m Lanq. (4)	3-10m (2)	10-20 m (1)	>20 m (0)	4A	2
PERSISTENCIA					Cerrada (6)	<0,1mm apart. (5)	0,1-1,0mm (4)	1-5 mm (1)	> 5mm (0)	4B	6
RUGOSIDAD					Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Liq.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C	5
RELLENO					Limpia (6)	Dura <5mm (4)	Dura >5mm (2)	Suave <5mm (1)	Suave >5mm (0)	4D	6
INTEMPERIZA.					Sana (6)	Liq.Intempe. (5)	Mad.Intempe. (3)	Muy Intempe. (2)	Darcampuerta (0)	4E	3
AGUA SUBTERRANEA					Seca (15)	Humeda (10)	Mojada (7)	Gotea (4)	Fluja (0)	5	15
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =										76	
CLASE DE MACIZO ROCOSO										II	
RMR					100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0		
DESCRIPCION					I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA		
GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO			RANGO RESIS. COMP. Mpa							
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla			1,0 - 5,0							
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)			5 - 25							
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo			25 - 50							
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo			50 - 100							
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra			100 - 250							
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo			> 250							
GRADO	INDICE DE INTEMPERIZACION DESCRIPCION										
I SANA	Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás lig. De coloración sobre superficies de discontinuidades principales										
II LIGERO	La decoloración indica intemp. del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.										
III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.										
IV MUY INTEM.	Mas de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discont como núcleo rocoso.										
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descompto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.										
$RQD = 100 e^{-(0.1 \lambda)} \times (0.1 \lambda + 1) = 96 \%$											



ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
Mi	MINERAL
Ca	CALIZA
Pf	PORF. AND. DACT.
Bx	BRECHA
Tf	TUFO
Lv	LAVA DACT.

ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS	
D	SISTEMA DE DIACLASA
Fh	SISTEMA DE FALLAS
C	CONTACTO
MF	MICRO FALLA

ABREVIA.	ESPACIAMIENTO
1	> 2 m
2	0.6 - 2 m
3	0.2 - 0.6 m
4	0.06 - 0.2 m
5	< 0.06 m

ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO	
1	LIMPIO
2	CANTOS
3	GUIJARRO
4	GRAVA
5	ARENA
6	ARCILLA
7	CUARZO
8	OXIDOS
9	YESO
10	ROC. TRITURADA
11	OTROS

ABREVIATURAS DE ESPESOR DE RELLENO	
1	NINGUNO
2	DURO < 5mm
3	DURO > 5mm
4	SUAVE < 5 mm
5	SUAVE > 5 mm

DATOS DE MAPEO GEOMECANICO				LUGAR : Carriere De Caolin de Berria		POR: Ernesto Lopez Pomareda									
				LABOR : Talud Este del Tajo Abierto		FECHA: 16/04/2000									
N°	ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO (mt)		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)										
	ESTACION	DIPS	DIPS DIRECTION	DESDE	HASTA										
35	44'	135'	0	3.35											
TIPO DE ROCA				FREC. FRACTURA		PARAMETRO									
A	%	B	%	C	%	RANGO DE VALORES					VALOR ESTIMADO				
ESQUISTO 100						DISC. /ml. 3									
TIPO ESTRUCT.	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO (cm)	RELLENO		COMENTARIOS	R.M.R. COMPRESION UNIAxIAL (MPa)								
	DIP	DIP DIR		TIPO	ESPEJOR		>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25 (2) <5 (1) <10 (0)	1			
D	73	224		R. Triturada	< 5										
D	76	35	0,2-0,6	R. Triturada	< 5										
D	12	28	0,2-0,6	Limpia	Ninguno										
D	75	65	0,6-2	Limpia	Ninguno										
						R.M.R. RQD					VALORACION				
						>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25 (2) <5 (1) <10 (0)	1	4			
						90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	2	20			
						>2 (20)	0,6-2 (15)	0,2-0,6 (10)	0,06-0,2 (8)	<0,06 (5)	3	10			
						<1mlong. (6)	1-3 m Long. (4)	3-10m (2)	10-20 m (1)	>20 m (0)	4A	2			
						Cerrada (6)	<0.1mm apert. (5)	0.1-1.0mm (4)	1-5 mm (1)	>5 mm (0)	4B	4			
						Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Liq. rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C	5			
						Limpia (6)	Dura >5mm (4)	Dura >5mm (2)	Suave <5 mm (1)	Suave >5 mm (0)	4D	4			
						Sana (6)	Liq. Intempe. (5)	Mad. Intempe. (3)	Muy Intempe. (2)	Descompuesta (0)	4E	3			
						Seca (15)	Humeda (10)	Majada (7)	Gatosa (4)	Flujo (0)	5	15			
						VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =					67				
						CLASE DE MACIZO ROCOSO					II				
						100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0					
						DESCRIPCION					I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. Mpa
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250

GRADO	INDICE DE INTEMPERIZACION DESCRIPCION
I SANA	Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás lig. De coloración sobre superficies de discontinuidades principales
II LIGERO	La decoloración indica intemp. del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.
III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.
IV MUY INTEM.	Mas de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discont como núcleo rocoso.
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descompto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.

VALORACION COMBINADA RQD y Espaciamiento de cada región

ABREVI. ESPACIAMIENTO	ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO	ABREVIATURAS DE ESPESOR DE RELLENO
1 > 2 m	1 LIMPIO	1 NINGUNO
2 0,6 - 2 m	2 CANTOS	2 DURO < 5mm
3 0,2 - 0,6 m	3 GUJARRO	3 DURO > 5mm
4 0,06 - 0,2 m	4 GRAVA	4 SUAVE < 5 mm
5 < 0,06 m	5 ARENA	5 SUAVE > 5 mm
	6 ARCILLA	
	7 CUARZO	
	8 OXIDOS	
	9 YESO	
	10 ROC. TRITURADA	
	11 OTROS	

ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
Mi	MINERAL
Cz	CALIZA
Pf	PORF. AND. DACT.
Bx	BRECHA
Tf	TUFO
Lv	LAVA DACT.

ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS	
D	SISTEMA DE DIACLASA
Fh	SISTEMA DE FALLAS
C	CONTACTO
MF	MICRO FALLA

$RQD = 100 e^{-(0.1 \lambda)} \times (0.1 \lambda + 1) = 96 \%$

DATOS DE MAPEO GEOMECANICO				LUGAR : Carriere De Caolin de Berria		POR: Ernesto Lopez Pomareda																																																							
				LABOR : Taled Este del Tajo Abierto		FECHA: 16/04/2000																																																							
N°	ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO (mt)		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)																																																								
	DIPS	DIPS DIRECTION	DESDE	HASTA																																																									
36	48°	165°	0	5.45																																																									
TIPO DE ROCA				FREC. FRACTURA		VALOR ESTIMADO																																																							
A	%	B	%	C	%	VALORACION																																																							
ESQUISTO	100				2																																																								
TIPO	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO (cm)	RELLENO		COMENTARIOS	R. COMPRESION UNIAxIAL (Mpa)																																																						
	DIP	DIP DIR		TIPO	ESPEJOR																																																								
D	58	360		Limpia	Ninguno																																																								
D	76	227	0,2-0,6	Limpia	Ninguno																																																								
D	90	336	0,6-2	Limpia	Ninguno																																																								
D	40	193	0,6-2	R. Triturada	< 5																																																								
D	70	226	0,6-2	Limpia	Ninguno																																																								
PARAMETRO																																																													
RANGO DE VALORES																																																													
CONDICION DE JUNTAS																																																													
AGUA SUBTERRANEA																																																													
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) = 75																																																													
CLASE DE MACIZO ROCOSO																																																													
RMR																																																													
DESCRIPCION																																																													
<table border="1"> <tr> <th>GRADO</th> <th>INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO</th> <th>RANGO RESIS. COMP. Mpa</th> </tr> <tr> <td>R1</td> <td>Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla</td> <td>1,0 - 5,0</td> </tr> <tr> <td>R2</td> <td>Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)</td> <td>5 - 25</td> </tr> <tr> <td>R3</td> <td>No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo</td> <td>25 - 50</td> </tr> <tr> <td>R4</td> <td>La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo</td> <td>50 - 100</td> </tr> <tr> <td>R5</td> <td>Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra</td> <td>100 - 250</td> </tr> <tr> <td>R6</td> <td>Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo</td> <td>> 250</td> </tr> </table>								GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. Mpa	R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0	R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25	R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50	R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100	R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250	R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250																																	
GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. Mpa																																																											
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0																																																											
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25																																																											
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50																																																											
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100																																																											
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250																																																											
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250																																																											
<table border="1"> <tr> <th>GRADO</th> <th>INDICE DE INTEMPERIZACION DESCRIPCION</th> </tr> <tr> <td>I SANA</td> <td>Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás lig. De coloración sobre superficies de discontinuidades principales</td> </tr> <tr> <td>II LIGERO</td> <td>La decoloración indica intemp. del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.</td> </tr> <tr> <td>III MODERADA</td> <td>Menos de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.</td> </tr> <tr> <td>IV MUY INTEM.</td> <td>Mas de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discont como núcleo rocoso.</td> </tr> <tr> <td>V DESCOMPU.</td> <td>Todo el material rocoso esta descompto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.</td> </tr> </table>								GRADO	INDICE DE INTEMPERIZACION DESCRIPCION	I SANA	Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás lig. De coloración sobre superficies de discontinuidades principales	II LIGERO	La decoloración indica intemp. del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.	III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.	IV MUY INTEM.	Mas de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discont como núcleo rocoso.	V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descompto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.																																										
GRADO	INDICE DE INTEMPERIZACION DESCRIPCION																																																												
I SANA	Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás lig. De coloración sobre superficies de discontinuidades principales																																																												
II LIGERO	La decoloración indica intemp. del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.																																																												
III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.																																																												
IV MUY INTEM.	Mas de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discont como núcleo rocoso.																																																												
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descompto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.																																																												
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>ABREVIACION DE TIPO DE ROCA</p> <table border="1"> <tr><td>Mi</td><td>MINERAL</td></tr> <tr><td>Ca</td><td>CALIZA</td></tr> <tr><td>Pf</td><td>PORF. AND. DACT.</td></tr> <tr><td>Bx</td><td>BRECHA</td></tr> <tr><td>Tf</td><td>TUFO</td></tr> <tr><td>Lv</td><td>LAVA DACT.</td></tr> </table> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS</p> <table border="1"> <tr><td>D</td><td>SISTEMA DE DIACLASA</td></tr> <tr><td>Fh</td><td>SISTEMA DE FALLAS</td></tr> <tr><td>C</td><td>CONTACTO</td></tr> <tr><td>MF</td><td>MICRO FALLA</td></tr> </table> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO</p> <table border="1"> <tr><td>1</td><td>LIMPIO</td><td>7</td><td>CUARZO</td></tr> <tr><td>2</td><td>CANTOS</td><td>8</td><td>OXIDOS</td></tr> <tr><td>3</td><td>GUIJARRO</td><td>9</td><td>YESO</td></tr> <tr><td>4</td><td>GRAVA</td><td>10</td><td>ROC. TRITURADA</td></tr> <tr><td>5</td><td>ARENA</td><td>11</td><td>OTROS</td></tr> <tr><td>6</td><td>ARCILLA</td><td></td><td></td></tr> </table> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>ABREVIATURAS DE ESPESOR DE RELLENO</p> <table border="1"> <tr><td>1</td><td>NINGUNO</td></tr> <tr><td>2</td><td>DURO < 5mm</td></tr> <tr><td>3</td><td>DURO > 5mm</td></tr> <tr><td>4</td><td>SUAVE < 5 mm</td></tr> <tr><td>5</td><td>SUAVE > 5 mm</td></tr> </table> </div> </div>								Mi	MINERAL	Ca	CALIZA	Pf	PORF. AND. DACT.	Bx	BRECHA	Tf	TUFO	Lv	LAVA DACT.	D	SISTEMA DE DIACLASA	Fh	SISTEMA DE FALLAS	C	CONTACTO	MF	MICRO FALLA	1	LIMPIO	7	CUARZO	2	CANTOS	8	OXIDOS	3	GUIJARRO	9	YESO	4	GRAVA	10	ROC. TRITURADA	5	ARENA	11	OTROS	6	ARCILLA			1	NINGUNO	2	DURO < 5mm	3	DURO > 5mm	4	SUAVE < 5 mm	5	SUAVE > 5 mm
Mi	MINERAL																																																												
Ca	CALIZA																																																												
Pf	PORF. AND. DACT.																																																												
Bx	BRECHA																																																												
Tf	TUFO																																																												
Lv	LAVA DACT.																																																												
D	SISTEMA DE DIACLASA																																																												
Fh	SISTEMA DE FALLAS																																																												
C	CONTACTO																																																												
MF	MICRO FALLA																																																												
1	LIMPIO	7	CUARZO																																																										
2	CANTOS	8	OXIDOS																																																										
3	GUIJARRO	9	YESO																																																										
4	GRAVA	10	ROC. TRITURADA																																																										
5	ARENA	11	OTROS																																																										
6	ARCILLA																																																												
1	NINGUNO																																																												
2	DURO < 5mm																																																												
3	DURO > 5mm																																																												
4	SUAVE < 5 mm																																																												
5	SUAVE > 5 mm																																																												
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>ABREVA. ESPACIAMIENTO</p> <table border="1"> <tr><td>1</td><td>> 2 m</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.6 - 2 m</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.2 - 0.6 m</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.06 - 0.2 m</td></tr> <tr><td>5</td><td>< 0.06 m</td></tr> </table> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO</p> <table border="1"> <tr><td>1</td><td>LIMPIO</td><td>7</td><td>CUARZO</td></tr> <tr><td>2</td><td>CANTOS</td><td>8</td><td>OXIDOS</td></tr> <tr><td>3</td><td>GUIJARRO</td><td>9</td><td>YESO</td></tr> <tr><td>4</td><td>GRAVA</td><td>10</td><td>ROC. TRITURADA</td></tr> <tr><td>5</td><td>ARENA</td><td>11</td><td>OTROS</td></tr> <tr><td>6</td><td>ARCILLA</td><td></td><td></td></tr> </table> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>ABREVIATURAS DE ESPESOR DE RELLENO</p> <table border="1"> <tr><td>1</td><td>NINGUNO</td></tr> <tr><td>2</td><td>DURO < 5mm</td></tr> <tr><td>3</td><td>DURO > 5mm</td></tr> <tr><td>4</td><td>SUAVE < 5 mm</td></tr> <tr><td>5</td><td>SUAVE > 5 mm</td></tr> </table> </div> </div>								1	> 2 m	2	0.6 - 2 m	3	0.2 - 0.6 m	4	0.06 - 0.2 m	5	< 0.06 m	1	LIMPIO	7	CUARZO	2	CANTOS	8	OXIDOS	3	GUIJARRO	9	YESO	4	GRAVA	10	ROC. TRITURADA	5	ARENA	11	OTROS	6	ARCILLA			1	NINGUNO	2	DURO < 5mm	3	DURO > 5mm	4	SUAVE < 5 mm	5	SUAVE > 5 mm										
1	> 2 m																																																												
2	0.6 - 2 m																																																												
3	0.2 - 0.6 m																																																												
4	0.06 - 0.2 m																																																												
5	< 0.06 m																																																												
1	LIMPIO	7	CUARZO																																																										
2	CANTOS	8	OXIDOS																																																										
3	GUIJARRO	9	YESO																																																										
4	GRAVA	10	ROC. TRITURADA																																																										
5	ARENA	11	OTROS																																																										
6	ARCILLA																																																												
1	NINGUNO																																																												
2	DURO < 5mm																																																												
3	DURO > 5mm																																																												
4	SUAVE < 5 mm																																																												
5	SUAVE > 5 mm																																																												
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>GRADO</p> <table border="1"> <tr> <th>GRADO</th> <th>INDICE DE INTEMPERIZACION DESCRIPCION</th> </tr> <tr> <td>I SANA</td> <td>Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás lig. De coloración sobre superficies de discontinuidades principales</td> </tr> <tr> <td>II LIGERO</td> <td>La decoloración indica intemp. del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.</td> </tr> <tr> <td>III MODERADA</td> <td>Menos de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.</td> </tr> <tr> <td>IV MUY INTEM.</td> <td>Mas de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discont como núcleo rocoso.</td> </tr> <tr> <td>V DESCOMPU.</td> <td>Todo el material rocoso esta descompto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.</td> </tr> </table> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>CORRELACION RQD vs ESPACIAMIENTO DE DISCONTINUIDADES</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>ABREVIACION DE TIPO DE ROCA</p> <table border="1"> <tr><td>Mi</td><td>MINERAL</td></tr> <tr><td>Ca</td><td>CALIZA</td></tr> <tr><td>Pf</td><td>PORF. AND. DACT.</td></tr> <tr><td>Bx</td><td>BRECHA</td></tr> <tr><td>Tf</td><td>TUFO</td></tr> <tr><td>Lv</td><td>LAVA DACT.</td></tr> </table> </div> </div>								GRADO	INDICE DE INTEMPERIZACION DESCRIPCION	I SANA	Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás lig. De coloración sobre superficies de discontinuidades principales	II LIGERO	La decoloración indica intemp. del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.	III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.	IV MUY INTEM.	Mas de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discont como núcleo rocoso.	V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descompto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.	Mi	MINERAL	Ca	CALIZA	Pf	PORF. AND. DACT.	Bx	BRECHA	Tf	TUFO	Lv	LAVA DACT.																														
GRADO	INDICE DE INTEMPERIZACION DESCRIPCION																																																												
I SANA	Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás lig. De coloración sobre superficies de discontinuidades principales																																																												
II LIGERO	La decoloración indica intemp. del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.																																																												
III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.																																																												
IV MUY INTEM.	Mas de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discont como núcleo rocoso.																																																												
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descompto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.																																																												
Mi	MINERAL																																																												
Ca	CALIZA																																																												
Pf	PORF. AND. DACT.																																																												
Bx	BRECHA																																																												
Tf	TUFO																																																												
Lv	LAVA DACT.																																																												
<p>ABREVIACION DE TIPO DE ROCA</p> <table border="1"> <tr><td>Mi</td><td>MINERAL</td></tr> <tr><td>Ca</td><td>CALIZA</td></tr> <tr><td>Pf</td><td>PORF. AND. DACT.</td></tr> <tr><td>Bx</td><td>BRECHA</td></tr> <tr><td>Tf</td><td>TUFO</td></tr> <tr><td>Lv</td><td>LAVA DACT.</td></tr> </table>								Mi	MINERAL	Ca	CALIZA	Pf	PORF. AND. DACT.	Bx	BRECHA	Tf	TUFO	Lv	LAVA DACT.																																										
Mi	MINERAL																																																												
Ca	CALIZA																																																												
Pf	PORF. AND. DACT.																																																												
Bx	BRECHA																																																												
Tf	TUFO																																																												
Lv	LAVA DACT.																																																												
<p>ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS</p> <table border="1"> <tr><td>D</td><td>SISTEMA DE DIACLASA</td></tr> <tr><td>Fh</td><td>SISTEMA DE FALLAS</td></tr> <tr><td>C</td><td>CONTACTO</td></tr> <tr><td>MF</td><td>MICRO FALLA</td></tr> </table>								D	SISTEMA DE DIACLASA	Fh	SISTEMA DE FALLAS	C	CONTACTO	MF	MICRO FALLA																																														
D	SISTEMA DE DIACLASA																																																												
Fh	SISTEMA DE FALLAS																																																												
C	CONTACTO																																																												
MF	MICRO FALLA																																																												
<p>ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO</p> <table border="1"> <tr><td>1</td><td>LIMPIO</td><td>7</td><td>CUARZO</td></tr> <tr><td>2</td><td>CANTOS</td><td>8</td><td>OXIDOS</td></tr> <tr><td>3</td><td>GUIJARRO</td><td>9</td><td>YESO</td></tr> <tr><td>4</td><td>GRAVA</td><td>10</td><td>ROC. TRITURADA</td></tr> <tr><td>5</td><td>ARENA</td><td>11</td><td>OTROS</td></tr> <tr><td>6</td><td>ARCILLA</td><td></td><td></td></tr> </table>								1	LIMPIO	7	CUARZO	2	CANTOS	8	OXIDOS	3	GUIJARRO	9	YESO	4	GRAVA	10	ROC. TRITURADA	5	ARENA	11	OTROS	6	ARCILLA																																
1	LIMPIO	7	CUARZO																																																										
2	CANTOS	8	OXIDOS																																																										
3	GUIJARRO	9	YESO																																																										
4	GRAVA	10	ROC. TRITURADA																																																										
5	ARENA	11	OTROS																																																										
6	ARCILLA																																																												
<p>ABREVIATURAS DE ESPESOR DE RELLENO</p> <table border="1"> <tr><td>1</td><td>NINGUNO</td></tr> <tr><td>2</td><td>DURO < 5mm</td></tr> <tr><td>3</td><td>DURO > 5mm</td></tr> <tr><td>4</td><td>SUAVE < 5 mm</td></tr> <tr><td>5</td><td>SUAVE > 5 mm</td></tr> </table>								1	NINGUNO	2	DURO < 5mm	3	DURO > 5mm	4	SUAVE < 5 mm	5	SUAVE > 5 mm																																												
1	NINGUNO																																																												
2	DURO < 5mm																																																												
3	DURO > 5mm																																																												
4	SUAVE < 5 mm																																																												
5	SUAVE > 5 mm																																																												
<p>RQD = 100 e^{-(0.1 λ)} x (0.1 λ + 1) = 98 %</p>																																																													

DATOS DE MAPEO GEOMECANICO							LUGAR :	Carriere De Caolin de Berria			POR:	Ernesto Lopez Pomareda	
							LABOR :	Tald Estre del Tajo Abierto			FECHA:	16/04/2000	
Nº	ORIENTACION DE LA CARA			TRAMO (mt)		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)							
ESTACION	DIPS	DIPS DIRECTION	DESDE	HASTA									
37	36'	154'	0	5,53									
TIPO DE ROCA				FREC. FRACTURA	PARAMETRO	RANGO DE VALORES					VALOR ESTIMADO		
A	%	B	%	C	%	DISC. /ml.	R. COMPRES. UNIAIAL (Mpa)	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) .5(1) <1(0)	
ESQUISTO	100					3	RQD %	90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	
TIPO ESTRUCT.	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO (cm)	RELLENO		COMENTARIOS	ESPACIAMIENTO (m)	RANGO DE VALORES					VALORACION
DIP	DIP DIR	TIPO	ESPEJOR	PERSISTENCIA	APERTURA		RUGOSIDAD	RELLENO	INTEMPERIZA.	AGUA SUBTERRANEA	VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =		
D	80	100	0,6-2	Limpia	Ninguno		<1ml.aq. (6)	1-3 m.Lana. (4)	3-10m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	4A	2
D	87	42	< 0,06	Limpia	Ninguno		Corrada (6)	<0.1mm.apert. (5)	0.1-1.0mm (4)	1-5 mm (1)	> 5mm (0)	4B	6
D	75	212	0,6-2	Limpia	Ninguno		Muyruqara (6)	Ruqara (5)	Liq.ruqara (3)	Lira (1)	Espejo de falla (0)	4C	3
D	80	4	< 0,06	Limpia	Ninguno		Limpia (6)	Dura <5mm (4)	Duras 5mm (2)	Suave < 5mm (1)	Suave > 5mm (0)	4D	6
D	80	50	0,6-2	Limpia	Ninguno		Sana (6)	Liq.Intempo. (5)	Mad.Intempo. (3)	Muy Intempo. (2)	Descampuerta (0)	4E	3
D	80	50	0,6-2	Limpia	Ninguno		Saca (15)	Humeda (10)	Majada (7)	Gatosa (4)	Fluja (0)	5	15
D	65	40	0,6-2	Limpia	Ninguno								
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =													74
CLASE DE MACIZO ROCOSO													
							RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0	II
							DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA	

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. Mpa
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquizas de la muestra con el martillo	> 250

GRADO	INDICE DE INTEMPERIZACION DESCRIPCION
I SANA	Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás lig. De coloración sobre superficies de discontinuidades principales
II LIGERO	La decoloración indica intemp. del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.
III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.
IV MUY INTEM.	Mas de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discont como núcleo rocoso.
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descompto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.

ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
Mi	MINERAL
Cz	CALIZA
Pf	PORF. AND. DACT.
Bx	BRECHA
Tf	TUFO
Lv	LAVA DACT.

ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS	
D	SISTEMA DE DIACLASA
Fn	SISTEMA DE FALLAS
C	CONTACTO
MF	MICRO FALLA

ABREVI. ESPACIAMIENTO	ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO	ABREVIATURAS DE ESPESOR DE RELLENO
1 > 2 m	1 LIMPIO	7 CUARZO
2 0,6 - 2 m	2 CANTOS	8 OXIDOS
3 0,2 - 0,6 m	3 GUIJARRO	9 YESO
4 0,06 - 0,2 m	4 GRAVA	10 ROC. TRITURADA
5 < 0,06 m	5 ARENA	11 OTROS
	6 ARCILLA	

ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS	
D	SISTEMA DE DIACLASA
Fn	SISTEMA DE FALLAS
C	CONTACTO
MF	MICRO FALLA

$$RQD = 100 e^{-(0.1 \lambda)} \times (0.1 \lambda + 1) = 96 \%$$

DATOS DE MAPEO GEOMECANICO				LUGAR : Carriere De Caolin de Berria		POR: Ernesto Lopez Pomareda								
				LABOR : Taled Este del Tajo Abierto		FECHA: 16/04/2000								
N°	ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO (mt)		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)									
	DIPS	DIPS DIRECTION	DESDE	HASTA										
38	38°	205°	0	8.31										
TIPO DE ROCA				FREC. FRACTURA	PARAMETRO	RANGO DE VALORES		VALOR ESTIMADO						
A	%	B	%	C	%	DISC./m.	R. COMPRES. UNIAIAL (Mpa)	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	4
ESQUISTO	100					3	RQD %	90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	2	20
TIPO ESTRUCT.	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO (cm)	RELLENO		COMENTARIOS	ESPACIAMIENTO (m)	RANGO DE VALORES					VALORACION	
	DIP	DIP DIR		TIPO	ESPESOR		PERSISTENCIA	>2 (20)	0,6-2 (15)	0,2-0,6 (10)	0,06-0,2 (8)	<0,06 (5)		3
D	12	23		Limpia	Ninguno		CONDICION	<1m lanq. (6)	1-3 m Lanq. (4)	3-10m (2)	10-20 m (1)	>20 m (0)	4A	1
D	85	35	0,6-2	Limpia	Ninguno		DE	Corrada (6)	<0.1mm apart. (5)	0.1-1.0mm (4)	1-5 mm (1)	> 5 mm (0)	4B	6
D	7	30	0,2-0,6	Limpia	Ninguno		RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Liq. rugosa (3)	Lira (1)	Espejo de falla (0)	4C	3
D	90	62	0,06-0,2	Limpia	Ninguno		RELLENO	Limpia (6)	Dura < 5mm (4)	Dura > 5mm (2)	Suave < 5mm (1)	Suave > 5mm (0)	4D	6
D	75	220	0,6-2	Limpia	Ninguno		JUNTAS	Sana (6)	Liq. Intempe. (5)	Mad. Intempe. (3)	Muy Intempe. (2)	Dorsampuerta (0)	4E	3
D	15	31	> 2	Limpia	Ninguno		INTEMPERIZA.	Sana (6)	Liq. Intempe. (5)	Mad. Intempe. (3)	Muy Intempe. (2)	Dorsampuerta (0)	4E	3
							AGUA SUBTERRANEA	Seca (15)	Humeda (10)	Majada (7)	Gatosa (4)	Fluja (0)	5	15
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =													73	
CLASE DE MACIZO ROCOSO														
RMR		100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0								
DESCRIPCION		I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA								
GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO			RANGO RESIS. COMP. Mps										
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla			1,0 - 5,0										
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)			5 - 25										
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo			25 - 50										
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo			50 - 100										
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra			100 - 250										
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo			> 250										
GRADO	INDICE DE INTEMPERIZACION DESCRIPCION													
I SANA	Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás lig. De coloración sobre superficies de discontinuidades principales													
II LIGERO	La decoloración indica intemp. del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.													
III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.													
IV MUY INTEM.	Mas de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discont como núcleo rocoso.													
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descompto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.													
$RQD = 100 \frac{e^{-(0.1 \lambda)}}{e^{-(0.1 \lambda + 1)}} = 96 \%$														

ABREVIACION DE TIPO DE ROCA	
Mi	MINERAL
Cz	CALIZA
Pf	PORF. AND. DACT.
Bx	BRECHA
Tf	TUFO
Lv	LAVA DACT.

ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS	
D	SISTEMA DE DIACLASA
Fa	SISTEMA DE FALLAS
C	CONTACTO
MF	MICRO FALLA

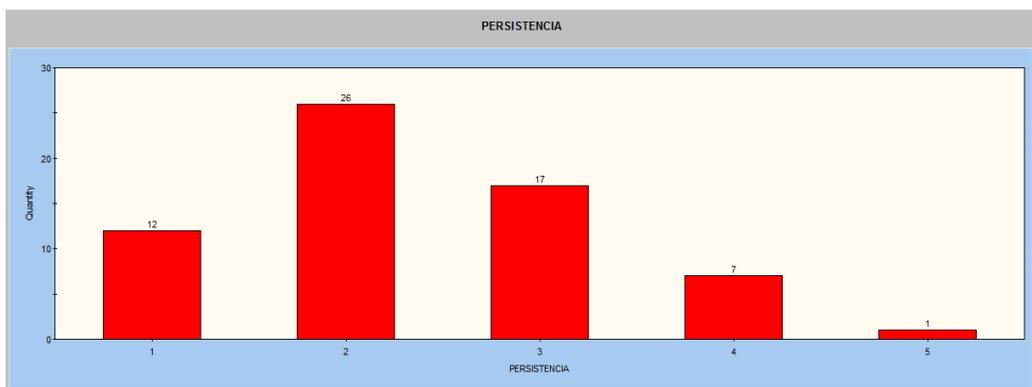
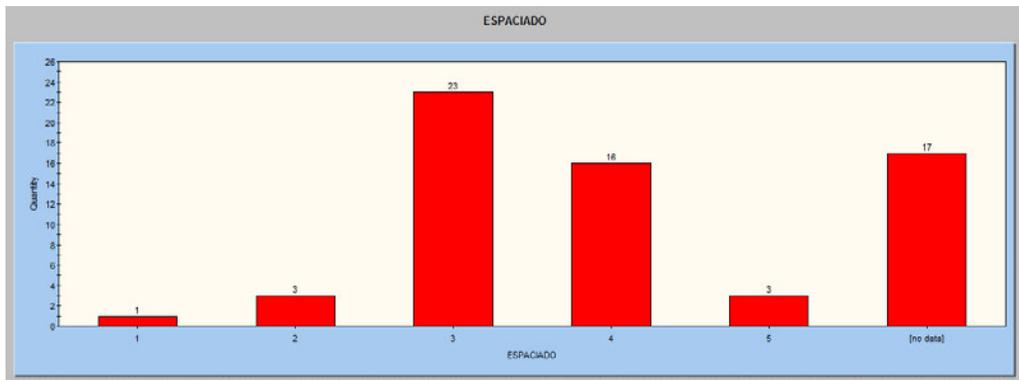
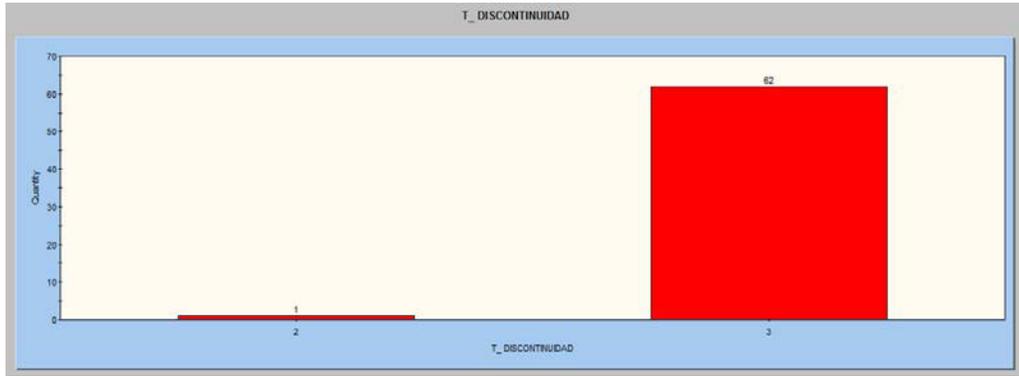
ABREVI. ESPACIAMIENTO	
1	> 2 m
2	0.6 - 2 m
3	0.2 - 0.6 m
4	0.06 - 0.2 m
5	< 0.06 m

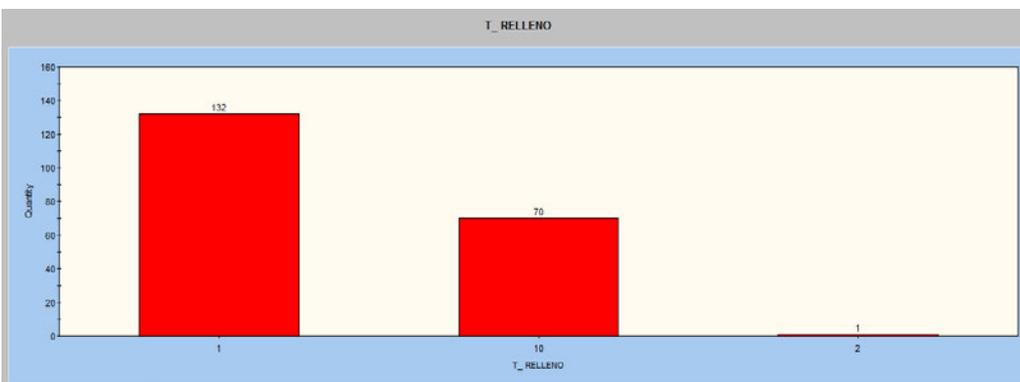
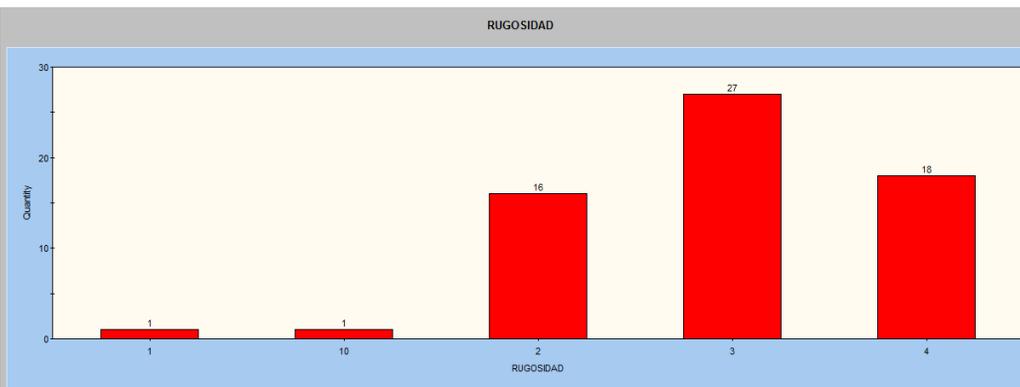
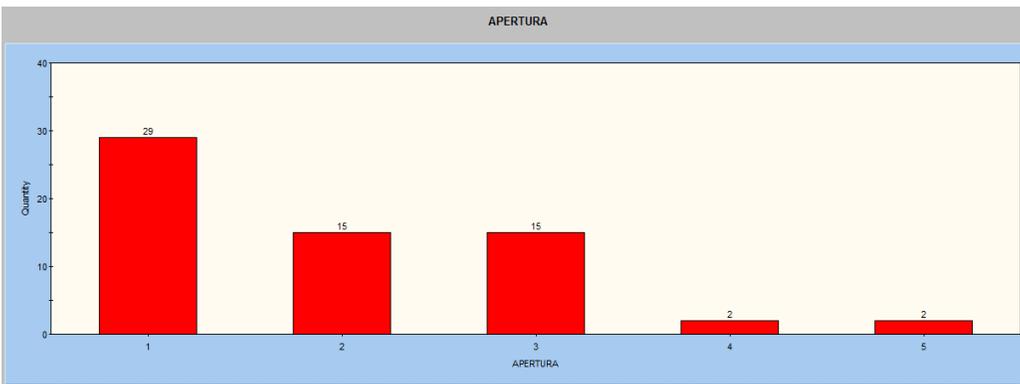
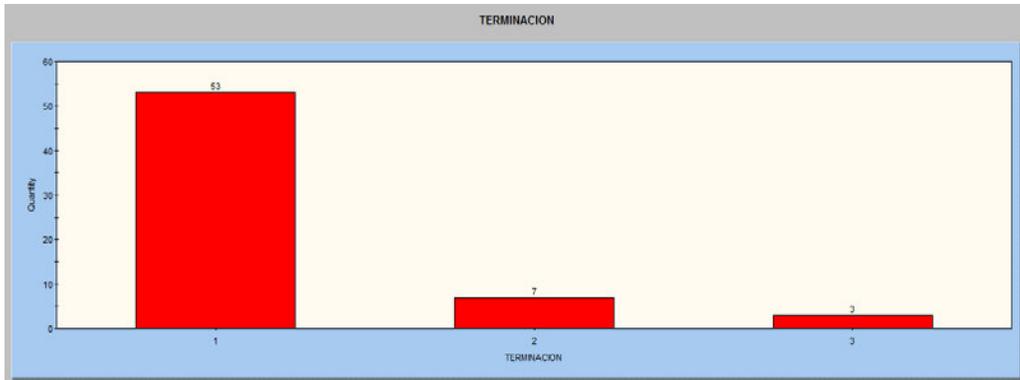
ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO			
1	LIMPIO	7	CUARZO
2	CANTOS	8	OXIDOS
3	GUJARRO	9	YESO
4	GRAVA	10	ROC. TRITURADA
5	ARENA	11	OTROS
6	ARCILLA		

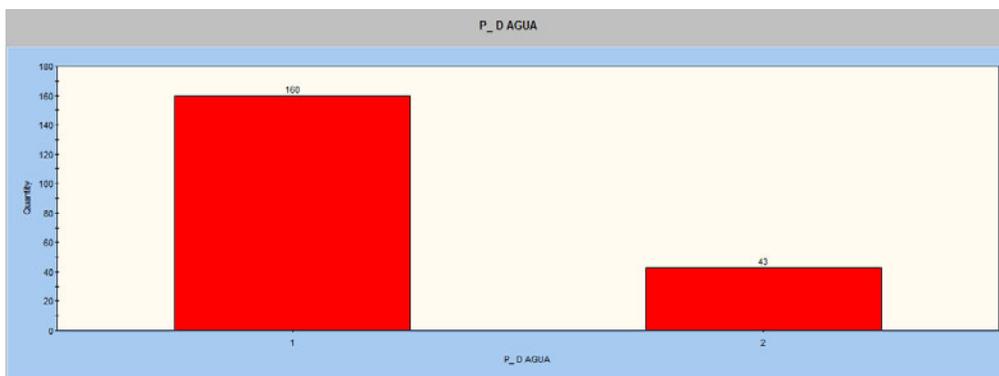
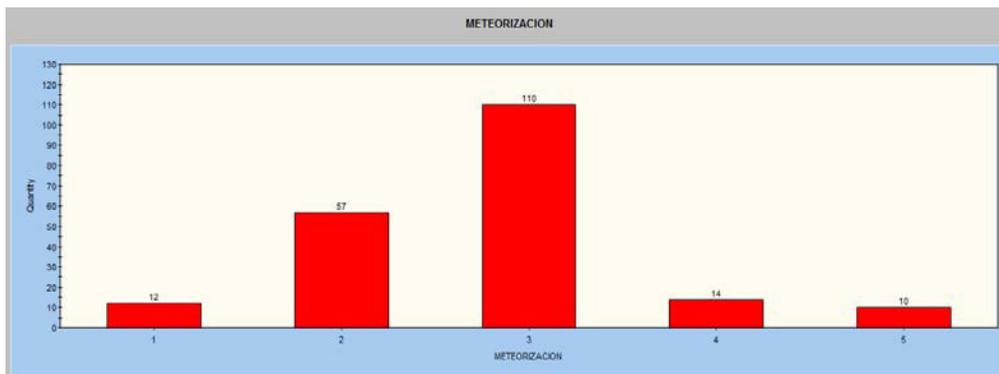
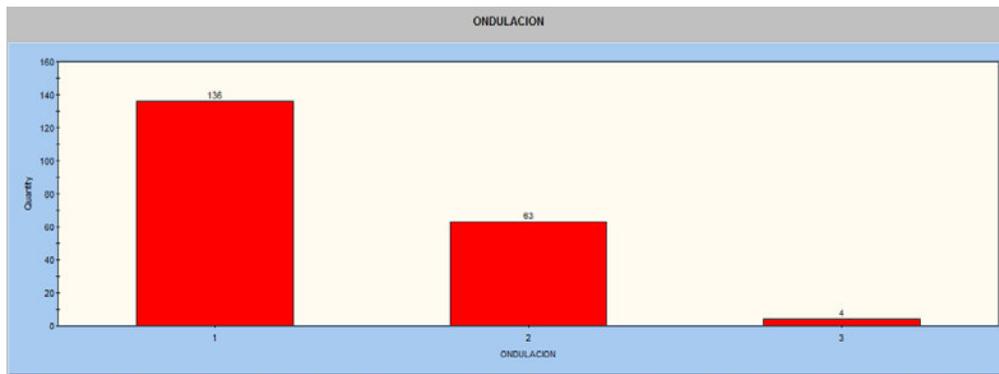
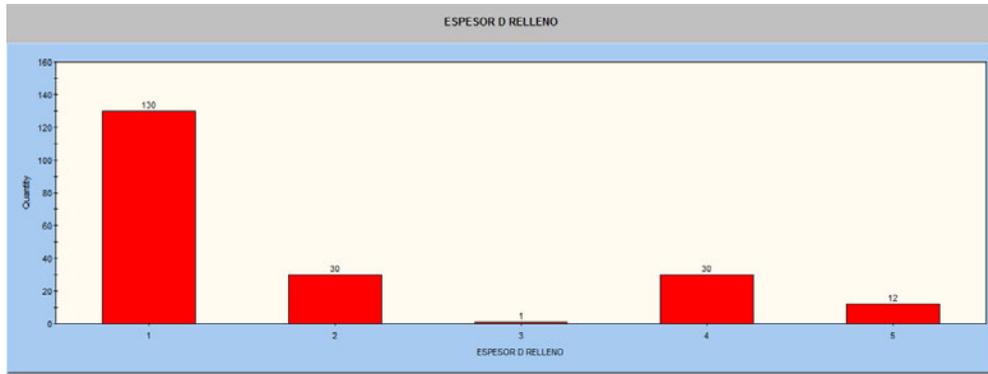
ABREVIATURAS DE ESPESOR DE RELLENO	
1	NINGUNO
2	DURO < 5mm
3	DURO > 5mm
4	SUAVE < 5 mm
5	SUAVE > 5 mm

DATOS DE MAPEO GEOMECANICO							LUGAR :	Carriere De Caolin de Berria				POR:	Ernesto Lopez Pomareda																																																									
							LABOR :	Taled Este del Tajo Abierto				FECHA:	16/04/2000																																																									
Nº	ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO (mt)		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)																																																																	
	ESTACION	DIPS	DIPS DIRECTION	DESDE	HASTA	PARAMETRO					RANGO DE VALORES		VALORACION																																																									
33	41'	205'	0	163																																																																		
TIPO DE ROCA							FREQ. FRACTURA	R. COMPRESION UNIAIAL (Mpa)					VALOR ESTIMADO																																																									
A	%	B	%	C	%	DISC. /ml.		>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	4																																																								
ESQUISTO	100					6	R0D >	90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	2	17																																																								
TIPO ESTRUCC.	ORIENTACION		ESPACIAMIENTO (cm)	RELLENO		COMENTARIOS	ESPACIAMIENTO (m)					VALORACION																																																										
DIP	DIP DIR	TIPO	ESPEJOR	CONDICION					VALORACION																																																													
D	20	353		Limpia	Ninguno		PERSISTENCIA	<1m.lanq. (6)	1-3 m.Lanq. (4)	3-10m (2)	10-20 m (1)	>20 m (0)	4A	1																																																								
D	75	30	0,2-0,6	Limpia	Ninguno		APERTURA	Cerrada (6)	<0.1mm.apert. (5)	0.1-1.0mm (4)	1-5 mm (1)	>5mm (0)	4B	6																																																								
D	2	8	0,06-0,2	Limpia	Ninguno		RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Ruqara (5)	Liq.rugosa (3)	Lira (1)	Espejo de falla (0)	4C	3																																																								
D	87	24	0,6-2	Limpia	Ninguno		RELLENO	Limpia (6)	Dura <5mm (4)	Dura >5mm (2)	Suave <5mm (1)	Suave >5mm (0)	4D	6																																																								
D	75	21	>2	Limpia	Ninguno		INTEMPERIZA.	Sana (6)	Liq.intempo. (5)	Mad.intempo. (3)	Muy intempo. (2)	Descompuesta (0)	4E	3																																																								
D	80	10	0,2-0,6	Limpia	Ninguno		AGUA SUBTERRANEA	Seca (15)	Humeda (10)	Majeda (7)	Gatosa (4)	Fluja (0)	5	15																																																								
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =													65																																																									
CLASE DE MACIZO ROCOSO																																																																						
							RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0	II																																																									
							DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA																																																										
GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO					RANGO RESIS. COMP. Mpa																																																																
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla					1,0 - 5,0																																																																
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)					5 - 25																																																																
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo					25 - 50																																																																
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo					50 - 100																																																																
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra					100 - 250																																																																
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo					> 250																																																																
GRADO	INDICE DE INTEMPERIZACION DESCRIPCION					<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">ABREVIACION DE TIPO DE ROCA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Mi</td><td>MINERAL</td></tr> <tr><td>Cz</td><td>CALIZA</td></tr> <tr><td>Pf</td><td>PORF. AND. DACT.</td></tr> <tr><td>Bx</td><td>BRECHA</td></tr> <tr><td>Tf</td><td>TUFO</td></tr> <tr><td>Lv</td><td>LAVA DACT.</td></tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>D</td><td>SISTEMA DE DIACLASA</td></tr> <tr><td>Fn</td><td>SISTEMA DE FALLAS</td></tr> <tr><td>C</td><td>CONTACTO</td></tr> <tr><td>Mf</td><td>MICRO FALLA</td></tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ABREVI. ESPACIAMIENTO</th> <th>ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO</th> <th>ABREVIATURAS DE ESPESOR DE RELLENO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1 > 2 m</td><td>1 LIMPIO</td><td>1 NINGUNO</td></tr> <tr><td>2 0,6 - 2 m</td><td>2 CANTOS</td><td>2 DURO < 5mm</td></tr> <tr><td>3 0,2 - 0,6 m</td><td>3 GUIJARRO</td><td>3 DURO > 5mm</td></tr> <tr><td>4 0,06 - 0,2 m</td><td>4 GRAVA</td><td>4 SUAVE < 5 mm</td></tr> <tr><td>5 < 0,06 m</td><td>5 ARENA</td><td>5 SUAVE > 5 mm</td></tr> <tr><td></td><td>6 ARCILLA</td><td></td></tr> <tr><td></td><td>7 CUARZO</td><td></td></tr> <tr><td></td><td>8 OXIDOS</td><td></td></tr> <tr><td></td><td>9 YESO</td><td></td></tr> <tr><td></td><td>10 ROC. TRITURADA</td><td></td></tr> <tr><td></td><td>11 OTROS</td><td></td></tr> </tbody> </table>					ABREVIACION DE TIPO DE ROCA		Mi	MINERAL	Cz	CALIZA	Pf	PORF. AND. DACT.	Bx	BRECHA	Tf	TUFO	Lv	LAVA DACT.	ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS		D	SISTEMA DE DIACLASA	Fn	SISTEMA DE FALLAS	C	CONTACTO	Mf	MICRO FALLA	ABREVI. ESPACIAMIENTO	ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO	ABREVIATURAS DE ESPESOR DE RELLENO	1 > 2 m	1 LIMPIO	1 NINGUNO	2 0,6 - 2 m	2 CANTOS	2 DURO < 5mm	3 0,2 - 0,6 m	3 GUIJARRO	3 DURO > 5mm	4 0,06 - 0,2 m	4 GRAVA	4 SUAVE < 5 mm	5 < 0,06 m	5 ARENA	5 SUAVE > 5 mm		6 ARCILLA			7 CUARZO			8 OXIDOS			9 YESO			10 ROC. TRITURADA			11 OTROS	
ABREVIACION DE TIPO DE ROCA																																																																						
Mi	MINERAL																																																																					
Cz	CALIZA																																																																					
Pf	PORF. AND. DACT.																																																																					
Bx	BRECHA																																																																					
Tf	TUFO																																																																					
Lv	LAVA DACT.																																																																					
ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS																																																																						
D	SISTEMA DE DIACLASA																																																																					
Fn	SISTEMA DE FALLAS																																																																					
C	CONTACTO																																																																					
Mf	MICRO FALLA																																																																					
ABREVI. ESPACIAMIENTO	ABREVIATURAS DE TIPOS DE RELLENO	ABREVIATURAS DE ESPESOR DE RELLENO																																																																				
1 > 2 m	1 LIMPIO	1 NINGUNO																																																																				
2 0,6 - 2 m	2 CANTOS	2 DURO < 5mm																																																																				
3 0,2 - 0,6 m	3 GUIJARRO	3 DURO > 5mm																																																																				
4 0,06 - 0,2 m	4 GRAVA	4 SUAVE < 5 mm																																																																				
5 < 0,06 m	5 ARENA	5 SUAVE > 5 mm																																																																				
	6 ARCILLA																																																																					
	7 CUARZO																																																																					
	8 OXIDOS																																																																					
	9 YESO																																																																					
	10 ROC. TRITURADA																																																																					
	11 OTROS																																																																					
I SANA	Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás lig. De coloración sobre superficies de discontinuidades principales																																																																					
II LIGERO	La decoloración indica intemp. del material rocoso y superf. de disc. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.																																																																					
III MODERADA	Menos de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.																																																																					
IV MUY INTEM.	Mas de la mitad del mat. rocoso esta descompto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discont como núcleo rocoso.																																																																					
V DESCOMPU.	Todo el material rocoso esta descompto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.																																																																					
$RQD = 100 e^{-(0.1 \lambda)} \times (0.1 \lambda + 1) = 88 \%$																																																																						

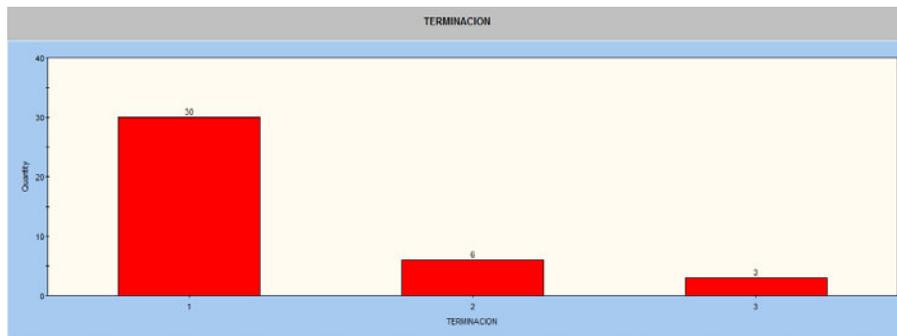
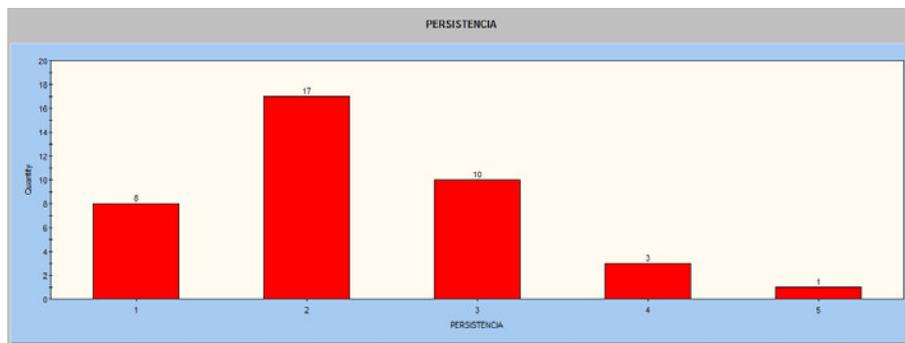
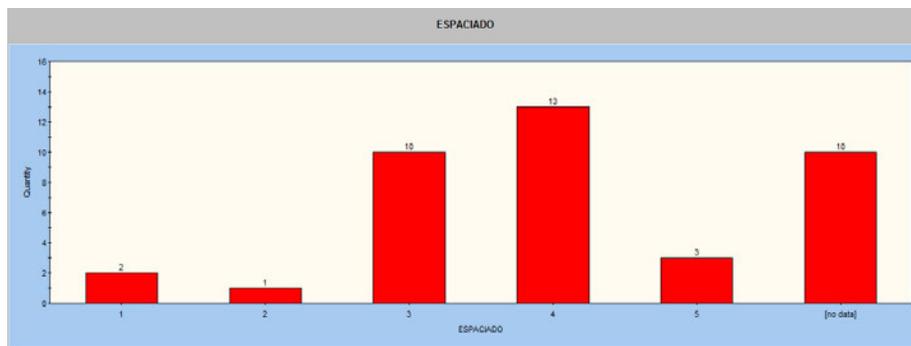
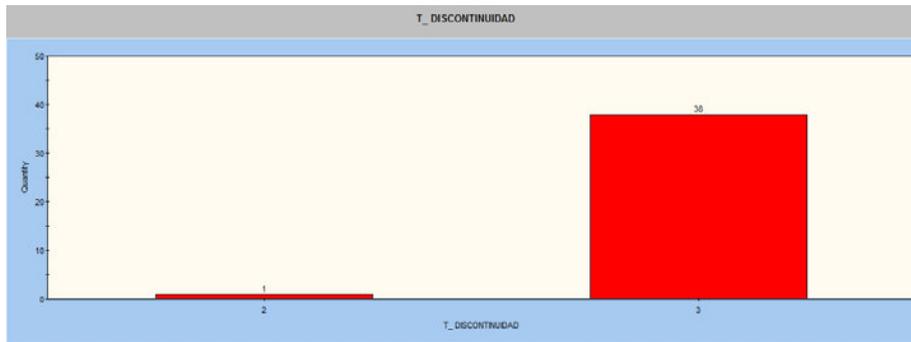
Anexo C
Estadística Parámetros Geo-estructurales
Familia A

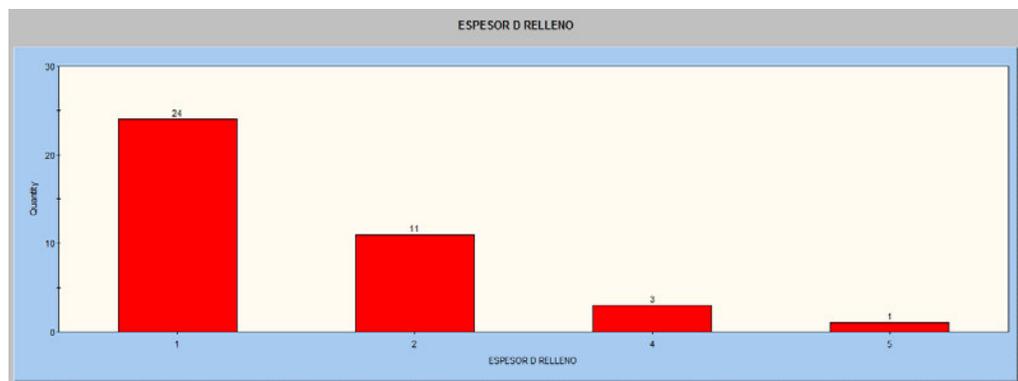
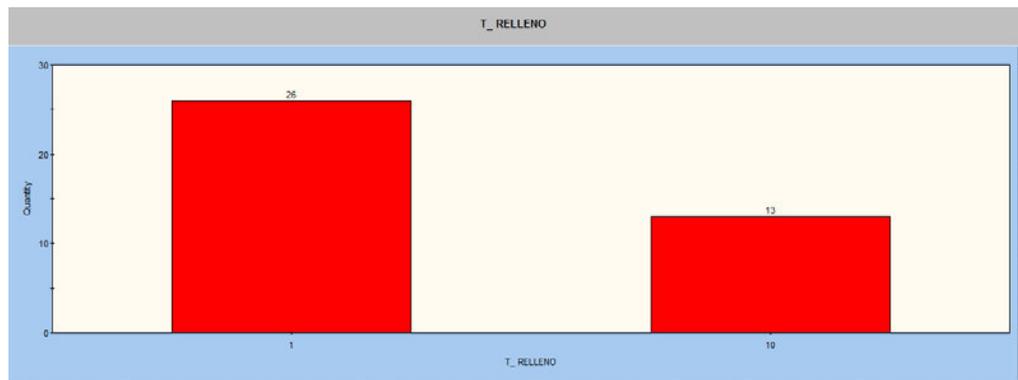
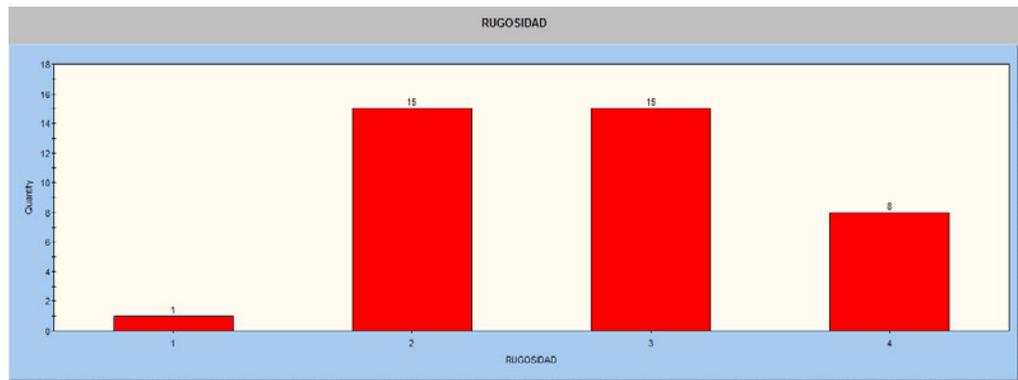
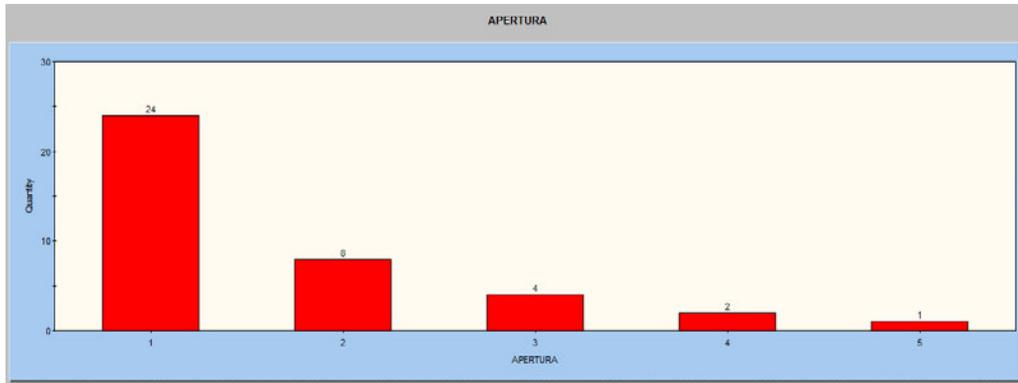


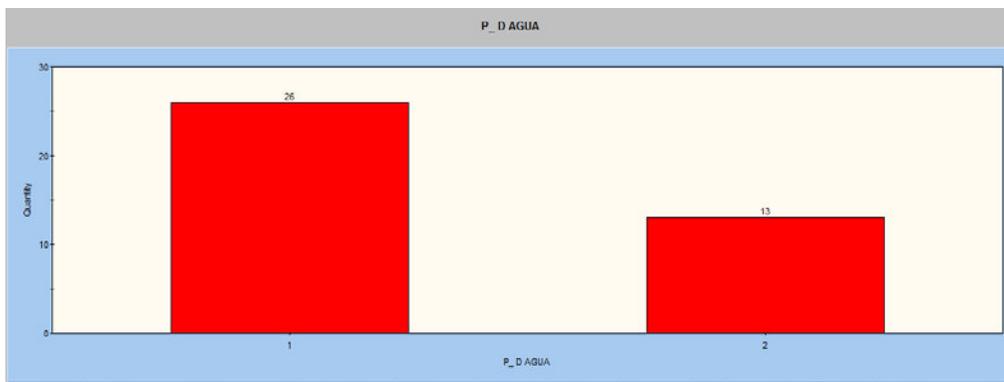
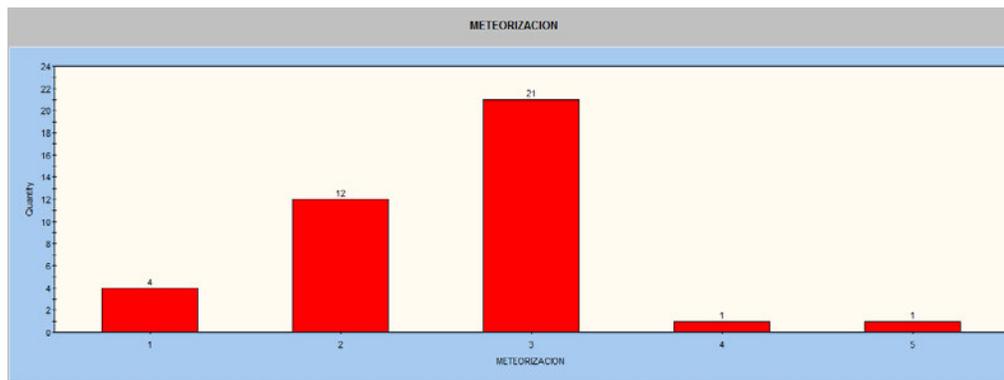
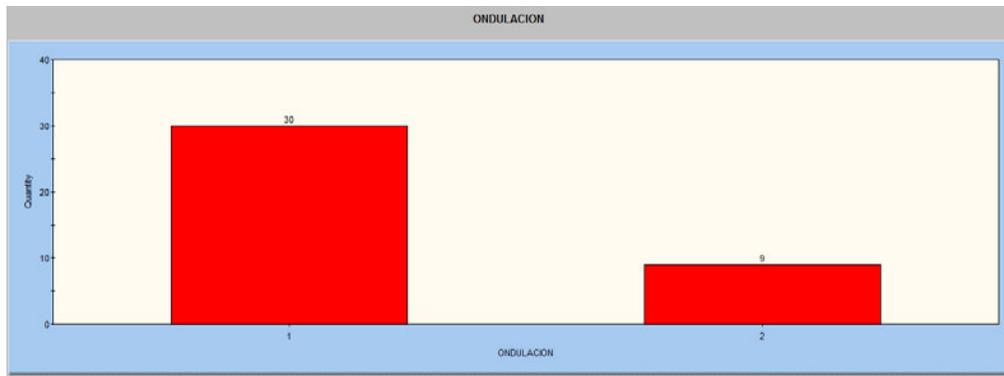




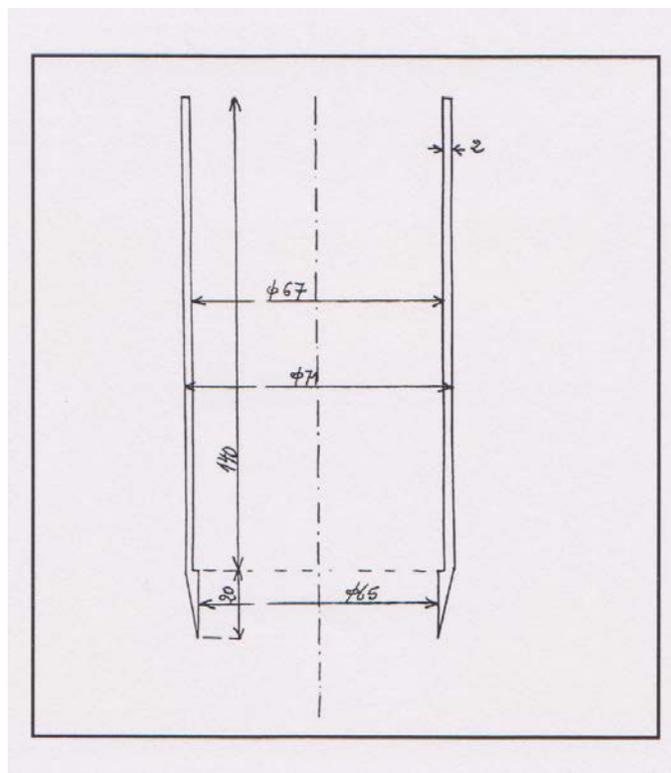
Estadística Parámetros Geo-estructurales Familia B







Anexo D
Equipo Diseñado Para la Toma de Muestras



Reseña

Equipo Diseñado Para la Toma de Muestras

La toma de muestras para los ensayos de laboratorio, es de gran importancia en todo trabajo de investigación geotécnico. La muestra debe ser la más representativa posible del macizo rocoso, conservando sus propiedades o características.

En la realización del proceso de toma de muestras (testigos) en la zona del caolín, se presentó el inconveniente que las muestras se fracturaban durante el procedimiento, siendo necesario utilizar un equipo que no generara vibración en el proceso perforación. Se procedió a diseñar el equipo que se indica. El cual consiste de un pistón el cual es accionado por la fuerza que ejerce la presión de una bomba hidráulica de funcionamiento manual. El pistón permite introducir en el terreno el útil o dispositivo de corte. (En el anexo D, se muestra las dimensiones del dispositivo de corte). Con este equipo se tomó las muestras en la zona de caolín, adecuadas para realizar las pruebas o ensayos de laboratorio cuyos resultados se utilizan en el desarrollo de la presente memoria de tesis.

Anexo E
Toma de Muestras en el Tajo



Anexo F
Ensayos de Laboratorio



Anexo G
Mapeo Geomecánico en el Tajo



Anexo H

Foto Aérea del Tajo Abierto

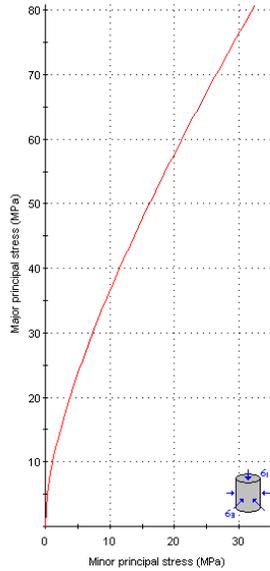


Anexo I

Propiedades de la Masa Rocosa

GRANITO

Analysis of Rock Strength using RocLab

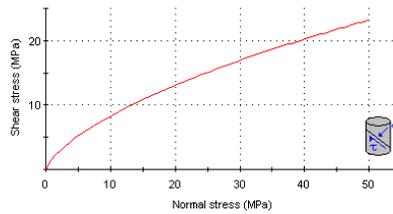


Hoek-Brown Classification
 intact uniaxial compressive strength = 130 MPa
 GSI = 45 mi = 29 Disturbance factor = 1

Hoek-Brown Criterion
 mb = 0.570 s = 0.0001 a = 0.508

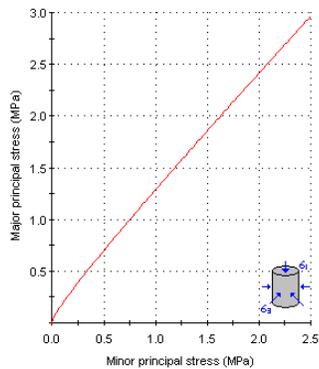
Mohr-Coulomb Fit
 cohesion = 4.251 MPa friction angle = 22.00 deg

Rock Mass Parameters
 tensile strength = -0.024 MPa
 uniaxial compressive strength = 1.234 MPa
 global strength = 12.604 MPa
 modulus of deformation = 3749.47 MPa



CAOLIN

Analysis of Rock Strength using RocLab

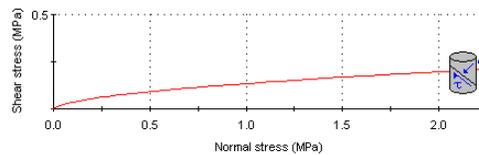


Hoek-Brown Classification
 intact uniaxial compressive strength = 10 MPa
 GSI = 28 mi = 2 Disturbance factor = 1

Hoek-Brown Criterion
 mb = 0.012 s = 6.14e-6 a = 0.526

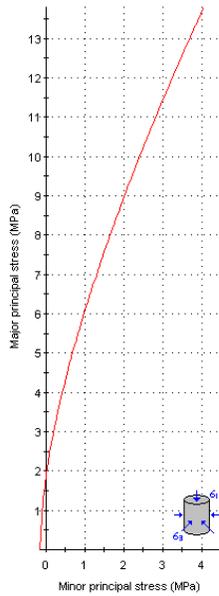
Mohr-Coulomb Fit
 cohesion = 0.054 MPa friction angle = 4.06 deg

Rock Mass Parameters
 tensile strength = -0.005 MPa
 uniaxial compressive strength = 0.018 MPa
 global strength = 0.116 MPa
 modulus of deformation = 445.63 MPa



Dominio Estructural I

Analysis of Rock Strength using RocLab



Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 89 MPa
 GSI = 54 mi = 7 Disturbance factor = 1

Hoek-Brown Criterion

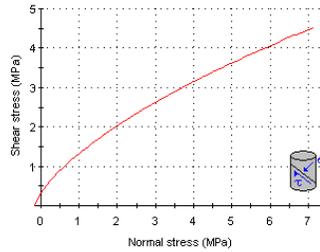
mb = 0.262 s = 0.0005 a = 0.504

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.845 MPa friction angle = 28.74 deg

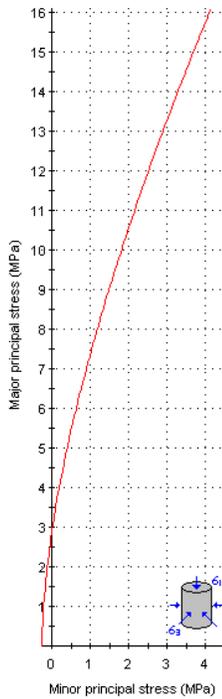
Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.159 MPa
 uniaxial compressive strength = 1.863 MPa
 global strength = 6.072 MPa
 modulus of deformation = 5938.34 MPa



Dominio Estructural II

Analysis of Rock Strength using RocLab



Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 89 MPa
 GSI = 59 mi = 7 Disturbance factor = 1

Hoek-Brown Criterion

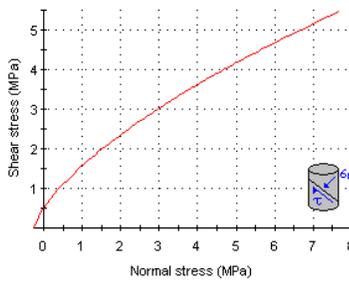
mb = 0.374 s = 0.0011 a = 0.503

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 1.041 MPa friction angle = 31.46 deg

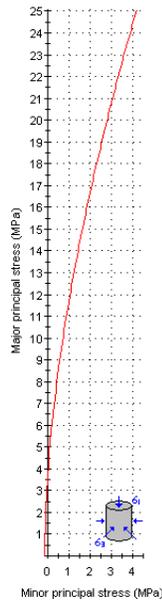
Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.256 MPa
 uniaxial compressive strength = 2.861 MPa
 global strength = 7.430 MPa
 modulus of deformation = 7918.90 MPa



Dominio Estructural III

Analysis of Rock Strength using RocLab

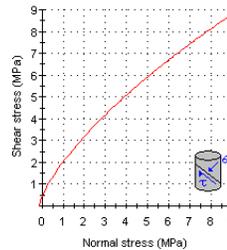


Hoek-Brown Classification
 intact uniaxial compressive strength = 122 MPa
 GSI = 58 $m_i = 17$ Disturbance factor = 1

Hoek-Brown Criterion
 $m_b = 0.846$ $s = 0.0009$ $a = 0.503$

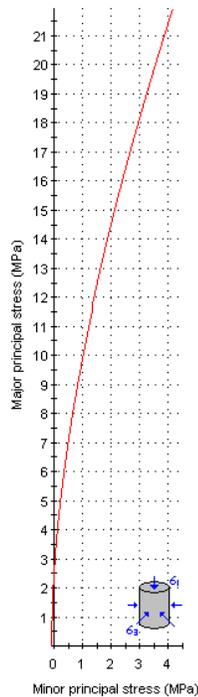
Mohr-Coulomb Fit
 cohesion = 1.363 MPa friction angle = 41.28 deg

Rock Mass Parameters
 tensile strength = -0.131 MPa
 uniaxial compressive strength = 3.501 MPa
 global strength = 14.965 MPa
 modulus of deformation = 7924.47 MPa



Dominio Estructural IV

Analysis of Rock Strength using RocLab

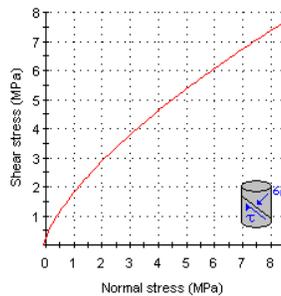


Hoek-Brown Classification
 intact uniaxial compressive strength = 122 MPa
 GSI = 54 $m_i = 17$ Disturbance factor = 1

Hoek-Brown Criterion
 $m_b = 0.636$ $s = 0.0005$ $a = 0.504$

Mohr-Coulomb Fit
 cohesion = 1.191 MPa friction angle = 38.96 deg

Rock Mass Parameters
 tensile strength = -0.090 MPa
 uniaxial compressive strength = 2.553 MPa
 global strength = 12.832 MPa
 modulus of deformation = 6294.63 MPa



Anexo J

Métodos de Análisis Por Equilibrio Límite

Método	Superficies de falla	Equilibrio	Características
Ordinario o de Fellenius (Fellenius 1927)	Circulares	De fuerzas	Este método no tiene en cuenta las fuerzas entre las dovelas y no satisface equilibrio de fuerzas, tanto para la masa deslizada como para dovelas individuales. Sin embargo, este método es muy utilizado por su procedimiento simple. Muy impreciso para taludes planos con alta presión de poros. Factores de seguridad bajos.
Bishop simplificado (Bishop 1955)	Circulares	De momentos	Asume que todas las fuerzas de cortante entre dovelas son cero. Reduciendo el número de incógnitas. La solución es sobredeterminada debido a que no se establecen condiciones de equilibrio para una dovela.
Janbú Simplificado (Janbú 1968)	Cualquier forma de superficie de falla.	De fuerzas	Al igual que Bishop asume que no hay fuerza de cortante entre dovelas. La solución es sobredeterminada que no satisface completamente las condiciones de equilibrio de momentos. Sin embargo, Janbú utiliza un factor de corrección F_0 para tener en cuenta este posible error. Los factores de seguridad son bajos.
Sueco Modificado. U.S. Army Corps of Engineers (1970)	Cualquier forma de la superficie de falla.	De fuerzas	Supone que las fuerzas tienen la misma dirección que la superficie del terreno. Los factores de seguridad son generalmente altos.
Lowe y Karafiath (1960)	Cualquier forma de la superficie de falla.	De fuerzas	Asume que las fuerzas entre partículas están inclinados a un ángulo igual al promedio de la superficie del terreno y las bases de las dovelas. Esta simplificación deja una serie de incógnitas y no satisface el equilibrio de momentos. Se considera el más preciso de los métodos de equilibrio de fuerzas.
Spencer (1967)	Cualquier forma de la superficie de falla.	Momentos y fuerzas	Asume que la inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada tajada. Rigurosamente satisface el equilibrio estático asumiendo que la fuerza resultante entre tajadas tiene una inclinación constante pero desconocida.
Morgenstern y Price (1965)	Cualquier forma de la superficie de falla.	Momentos y fuerzas	Asume que las fuerzas laterales siguen un sistema predeterminado. El método es muy similar al método Spencer con la diferencia que la inclinación de la resultante de las fuerzas entre dovelas se asume que varía de acuerdo a una función arbitraria.
Sarma (1973)	Cualquier forma de la superficie de falla.	Momentos y fuerzas	Asume que las magnitudes de las fuerzas verticales siguen un sistema predeterminado. Utiliza el método de las dovelas para calcular la magnitud de un coeficiente sísmico requerido para producir la falla. Esto permite desarrollar una relación entre el coeficiente sísmico y el factor de seguridad. El factor de seguridad estático corresponde al caso de cero coeficiente sísmico. Satisface todas las condiciones de equilibrio; sin embargo, la superficie de falla correspondiente es muy diferente a la determinada utilizando otros procedimientos más convencionales.

Anexo K

Datos de entrada para el Software Slide

Slide Analysis Information

Document Name

File Name: Slide P IV.sli

Project Settings

Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Failure Direction: Left to Right

Units of Measurement: SI Units

Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m³

Groundwater Method: Water Surfaces

Data Output: Standard

Calculate Excess Pore Pressure: Off

Allow Ru with Water Surfaces or Grids: Off

Random Numbers: Pseudo-random Seed

Random Number Seed: 10116

Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Analysis Methods

Analysis Methods used:

Bishop simplified

Janbu simplified

Janbu corrected

Spencer

Number of slices: 25

Tolerance: 0.005

Maximum number of iterations: 50

Surface Options

Surface Type: Circular

Radius increment: 10

Minimum Elevation: Not Defined

Composite Surfaces: Disabled

Reverse Curvature: Create Tension Crack

Loading

Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.15

Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.225

Material Properties

Material: D I

Strength Type: Hoek-Brown

Unit Weight: 28 kN/m³

Unconfined Compressive Strength (intact): 89000 kPa

m: 0.262

s: 0.0005

Water Surface: None

Material: D II

Strength Type: Hoek-Brown

Unit Weight: 28 kN/m³

Unconfined Compressive Strength (intact): 89000 kPa

m: 0.374

s: 0.0011

Water Surface: None

Material: D III

Strength Type: Hoek-Brown

Unit Weight: 26.5 kN/m³

Unconfined Compressive Strength (intact): 122000 kPa

m: 0.846

s: 0.0009

Water Surface: None

Material: D IV

Strength Type: Hoek-Brown

Unit Weight: 26.5 kN/m³

Unconfined Compressive Strength (intact): 122000 kPa

m: 0.636

s: 0.0005

Water Surface: None

Anexo L

Datos de entrada para el Software Phase

Phase2 Analysis Information

Phase2 - Finite Element Analysis of Excavations in Rock

Project Summary

- File Name: Proyecto a 60 grados Plastico con caolin.fea
- Last saved with Phase2 version: 8.005
- Project Title: Phase2 - Finite Element Analysis of Excavations in Rock

General Settings

- Single stage model
- Analysis Type: Plane Strain
- Solver Type: Gaussian Elimination
- Units: Metric, stress as MPa

Analysis Options

- Maximum Number of Iterations: 3000
- Tolerance: 0.001
- Number of Load Steps: Automatic
- Convergence Type: Absolute Energy
- Tensile Failure: Reduces Shear Strength

Groundwater Analysis

- Method: Piezometric Lines
- Pore Fluid Unit Weight: 0.00981 MN/m3
- Probability: None

Field Stress

- Field stress: gravity
- Ground surface elevation: 5 m
- Unit weight of overburden: 0 MN/m3
- Total stress ratio (horizontal/vertical in-plane): 1
- Total stress ratio (horizontal/vertical out-of-plane): 1
- Locked-in horizontal stress (in-plane): 0
- Locked-in horizontal stress (out-of-plane): 0

Mesh

- Mesh type: uniform
- Element type: 3 noded triangles
- Number of elements: 1230
- Number of nodes: 682

Mesh Quality

- All elements are of good quality

Poor quality elements defined as:

- Side length ratio (maximum / minimum) > 30.00
- Minimum interior angle < 2.0 degrees
- Maximum interior angle > 175.0 degrees

Material: Cuarzita

Color	
Initial element loading	field stress & body force
Unit weight	0.0265 MN/m3
Elastic type	isotropic
Young's modulus	6294.63 MPa
Poisson's ratio	0.16
Failure criterion	Hoek-Brown
Material type	Plastic
Dilation Parameter	0
Compressive strength	122 MPa
mb parameter	0.636
s parameter	0.0005
Residual mb parameter	0.636
Residual s parameter	0.0005
Piezo to use	None
Ru value	0

Material: Esquisto

Color	
Initial element loading	field stress & body force
Unit weight	0.028 MN/m3
Elastic type	isotropic
Young's modulus	5938.34 MPa
Poisson's ratio	0.11
Failure criterion	Hoek-Brown
Material type	Plastic
Dilation Parameter	0
Compressive strength	89 MPa
mb parameter	0.262
s parameter	0.0005
Residual mb parameter	0.262
Residual s parameter	0.0005
Piezo to use	None
Ru value	0

Material: Granito

Color	
Initial element loading	field stress & body force
Unit weight	0.0285 MN/m ³
Elastic type	isotropic
Young's modulus	3749.47 MPa
Poisson's ratio	0.28
Failure criterion	Hoek-Brown
Material type	Plastic
Dilation Parameter	0
Compressive strength	130 MPa
mb parameter	0.57
s parameter	0.0001
Residual mb parameter	0.57
Residual s parameter	0.0001
Piezo to use	None
Ru value	0

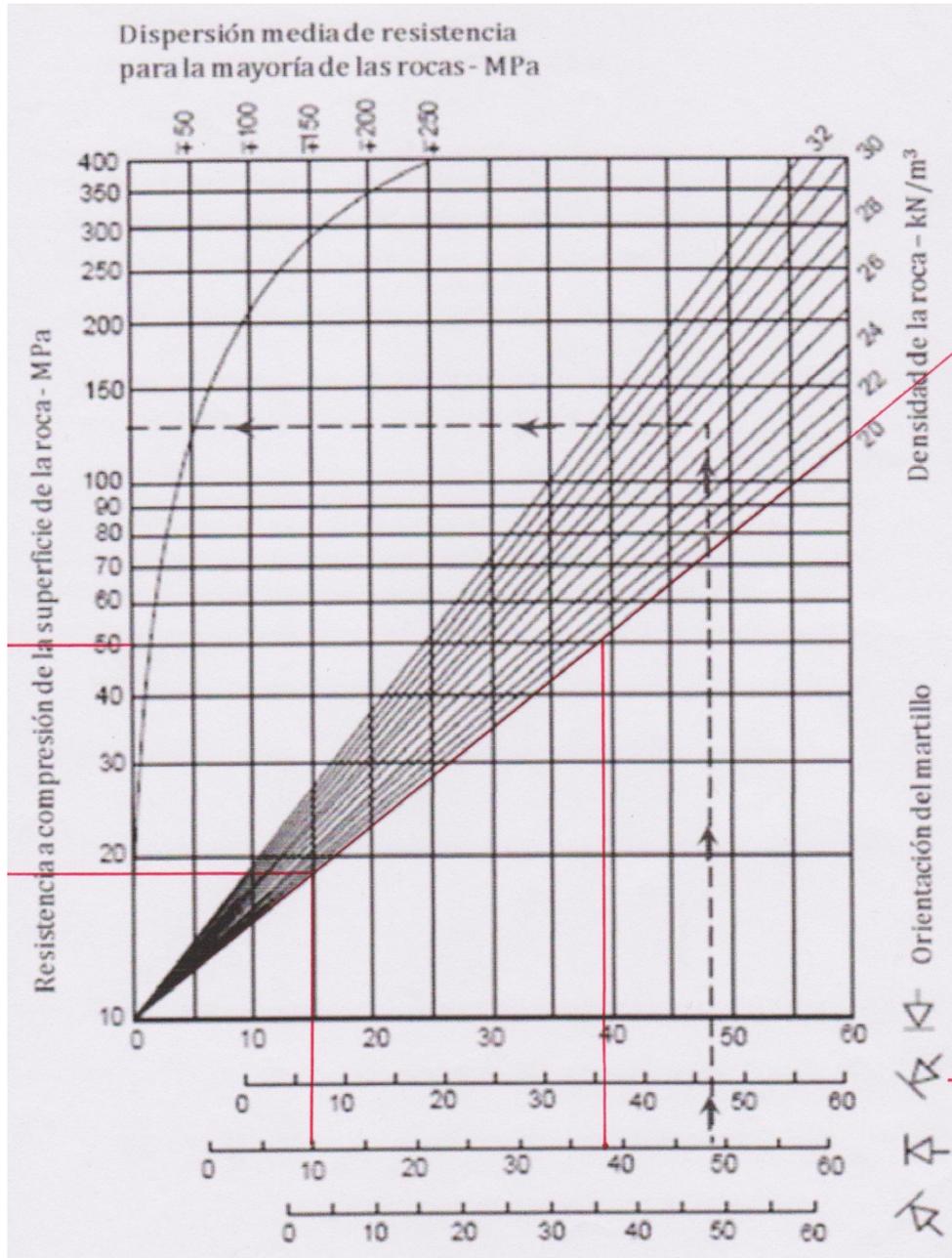
Material: Caolín

Color	
Initial element loading	field stress & body force
Unit weight	0.0172 MN/m ³
Elastic type	isotropic
Young's modulus	445.63 MPa
Poisson's ratio	0.056
Failure criterion	Hoek-Brown
Material type	Plastic
Dilation Parameter	0
Compressive strength	10 MPa
mb parameter	0.012
s parameter	6.14e-006
Residual mb parameter	0.012
Residual s parameter	6.14e-006
Piezo to use	None
Ru value	0

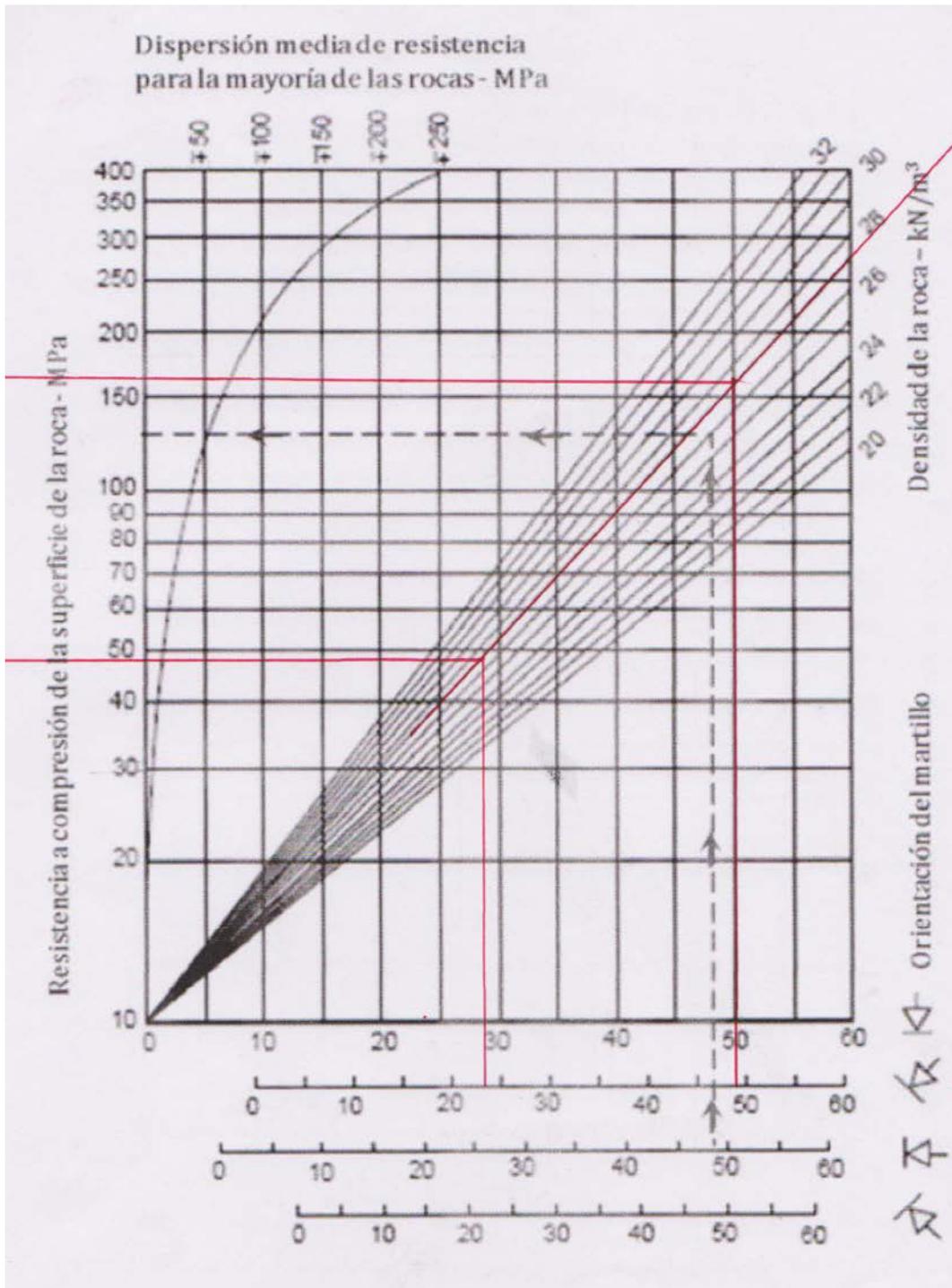
Anexo M

Determinación de la resistencia a la compresión con el martillo Schmidt

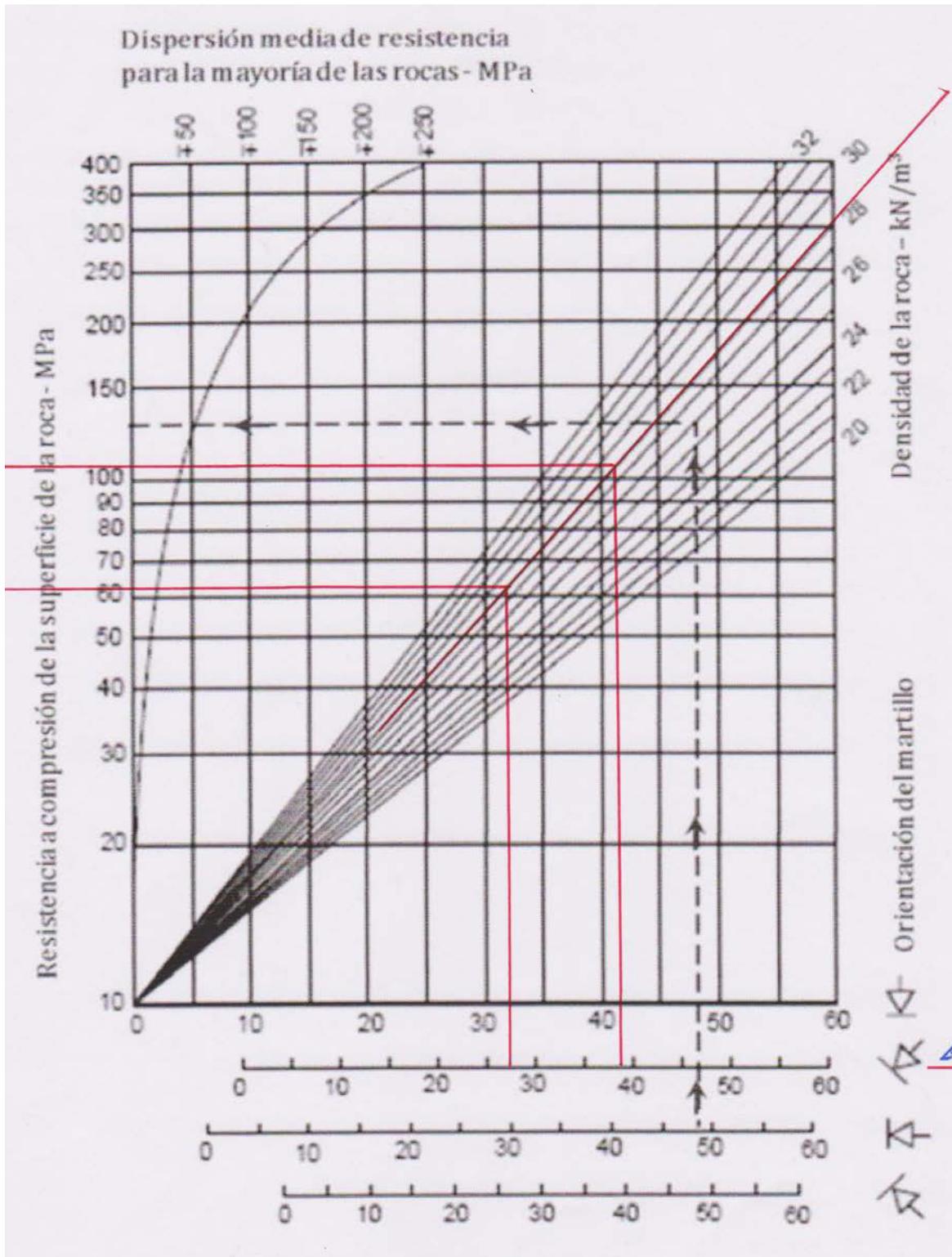
Resistencia a la compresión del Caolín (MPa)



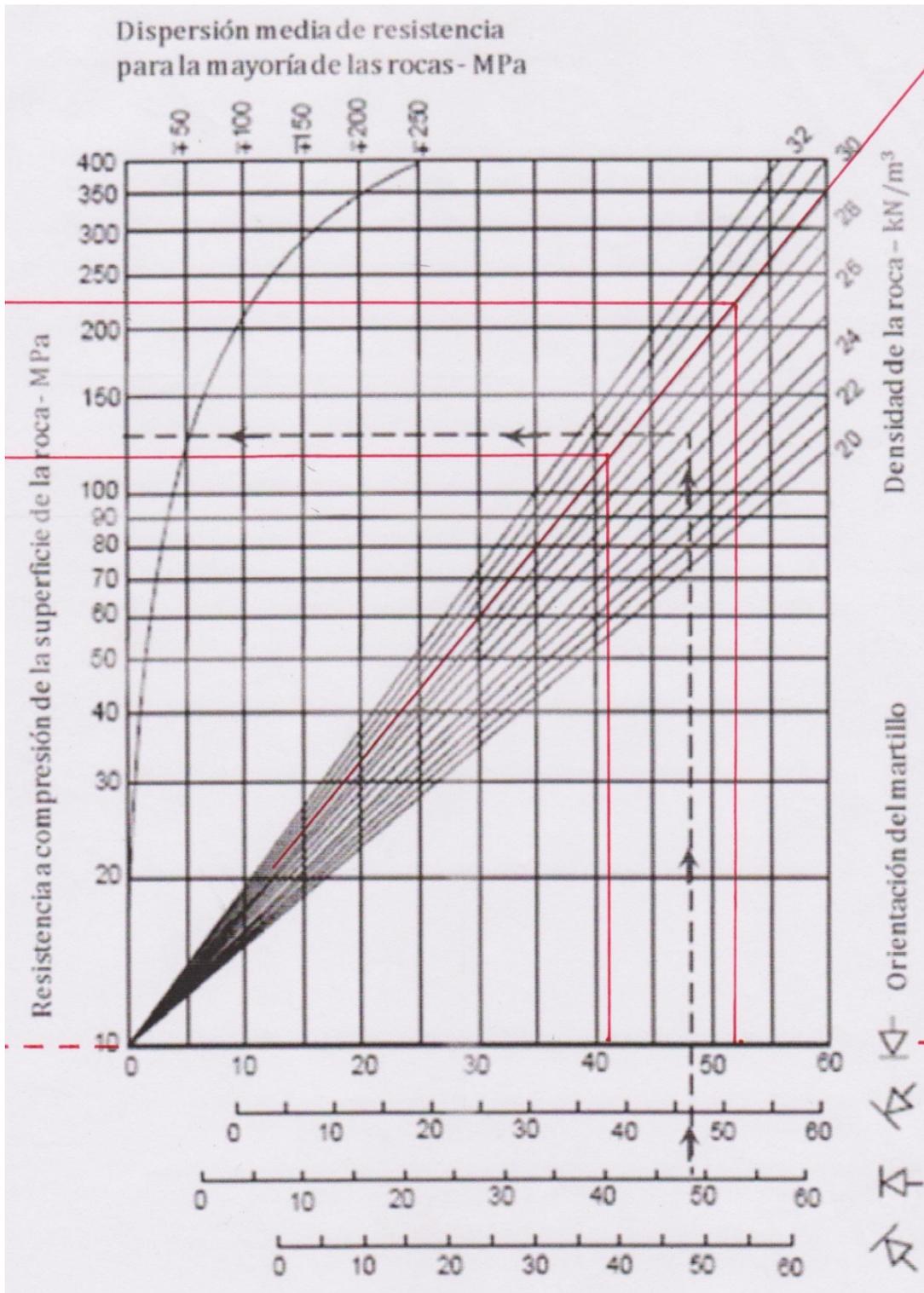
Resistencia a la compresión de la Cuarcita (MPa)



Resistencia a la compresión del Esquisto (MPa)



Resistencia a la compresión del Granito (MPa)



Bibliografía

- 1. Diego Alberto Salas Palma,* **Abril 2011**
Análisis de estabilidad del diseño del rajo del proyecto Angostura,
- 2. Mario Orlando Morales Cárdenas* **Mayo 2009**
Caracterización geotécnica y determinación de ángulos de talud en yacimiento Franke.
- 3. Evert Hoek* **Edición 2006**
Practical rock engineering
- 4. Juan Miguel Armas Sagoya* **Enero 2004**
Cartografía geológica estructural del valle de Huizachal, como base para el análisis de estabilidad del talud de la carretera, Rumbo Nuevo, México.
- 5. Hoek – Brown* **Edición 2002**
Criterio de rotura
- 6. Jorge Eduardo Hurtado Gomez* **Edición 2002**
Introducción al análisis estructural por elementos Finitos.
- 7. Ernesto Sabino, Lopez Pomareda.* **Junio 2001**
elpomareda2000@gmail.com
Étude de l'influence des discontinuités géologiques par modèles continus
These de MSc., a l'INPL
- 8. Ahmed Hosni* **Notas de Curso 2000**
Application de la méthode des éléments finis à l'étude de stabilité des ouvrages souterrains
- 9. Ernesto Sabino Lopez Pomareda* **Junio 2000**
elpomareda3000@hotmail.com
Étude géotechnique de la pente finale de la carrière de kaolin de Berrien.
Unité à ciel ouvert en Bretagne. Mémoire d'études dans le centre de géotechnique et d'exploitation du sous-sol de l'École des Mines de Paris.
- 10. F. Hadj – Hassen* **Enero. 2000**
La Mécanique des roches appliquée à la mine
- 11. P. Piguet* **Edición 2000**
Evaluation of slope stability by numerical methods
- 12. Fernando Herrera Rodríguez* **Edición 2000**
Análisis de la estabilidad de taludes
Ernesto Sabino LOPEZ POMAREDA

- 13. Anna Laura Nunez** **Edición 2000**
Análisis de la estabilidad de taludes mineros por métodos numéricos
- 14. John Hudson – John Harrison** **Edición 2000**
Engineering rock mechanics
- 15. Jacques Fine** **Diciembre 1998**
Le soutènement des galeries minières
- 16. M. Benjui** **Edición 1996**
Les travaux souterrains in France
- 17. Fair Hurts** **Edición 1993**
Analysis and desing in rock mechanic
- 18. Al Heib M.** **Junio 1993**
Les nouvelles méthodes de modélisation numérique et le volume d'influence des exploitations minières en condition complexes.
These de Doctorat à l'INPL
- 19. Cundall – Hart.** **Junio 1992**
Numerical modelling of discontinue comprehensive rock engineering.
- 20. Arif I.** **Junio 1991**
Modélisation des milieux anisotropes et fractures. Application à l'exploitation ardoisière. Thèse de Doctorat à l'INPL
- 21. Rode N.** **Junio 1991**
Caractérisation et modélisation des massifs rocheux fractures en blocs.
Thèse de Doctorat à INPL
- 22. P. Piguet** **Edición 1990**
La modélisation numérique en mécanique des roches
- 23. Baroudi H.** **Marzo 1990**
Aspects méthodologiques dans la modélisation pour éléments discrets en massif rocheux fractures.
- 24. Anderson – Richards.** **Julio. 1987**
Slope stability, geotechnical engineering and geomorphology.
- 25. Hoek – Bray** **Edición Jun. 1981**
Rock slope engineering

Apéndices

Apéndice A

Detalles del software Roc lab (Roc data)

Es un programa de computación que permite determinar los parámetros de resistencia del macizo rocoso, de acuerdo al criterio de rotura generalizado de Hoek-Brown. Uno de los mayores obstáculos que se encuentran en el campo de los modelos numéricos en la mecánica de rocas (geotecnia), es el problema de la definición de datos referentes a las propiedades de los macizos rocosos.

El programa puede ajustar también el criterio de falla lineal de Mohr-Coulomb, y otros criterios de falla, tales como: el criterio de falla no lineal, Barton- Bandis y el modelo de Power Curve de esfuerzo para poner a prueba los datos. Rocklab incluye un sistema de tablas para estimar parámetros de esfuerzo típico para rocas y diferentes tipos de suelo. Esta característica, combinada con una interfaz intuitiva, brinda rápida respuesta a las entradas del usuario, e inmediato trazado de las curvas de esfuerzo, facilita los estudios paramétricos del comportamiento de esfuerzos.

La utilidad de los modelos constitutivos elaborados del material y de los programas de análisis numéricos de avanzada disponibles actualmente, está enormemente limitada si no se dispone de datos fiables referentes a las propiedades del macizo rocoso. La última versión del criterio de rotura de Hoek-Brown, conjuntamente con su implementación en el programa RocLab, da un paso considerable en la dirección adecuada para remediar tal situación. Algunos de los puntos anteriormente confusos en el criterio de rotura de Hoek-Brown quedan ahora resueltos, entre ellos se destacan:

- La aplicabilidad del criterio a macizos rocosos muy poco resistentes, y
- El cálculo de los parámetros equivalentes del criterio de Mohr-Coulomb, a partir de los de la envolvente de rotura de Hoek-Brown.

El programa RocLab, proporciona una puesta a punto sencilla e intuitiva del criterio de rotura de Hoek-Brown, que permite al usuario una fácil obtención de estimaciones fiables de propiedades del macizo rocoso, así como también la visualización de los efectos que el cambio de parámetros del macizo rocoso produce sobre la envolvente de rotura.

La tarea de determinar propiedades del macizo rocoso no es normalmente un fin en sí mismo. Esta tarea se realiza para proporcionar datos de entrada a los programas de análisis numérico, que requieren definición de las propiedades del material para ejecutar cálculos de estabilidad o análisis de tensiones.

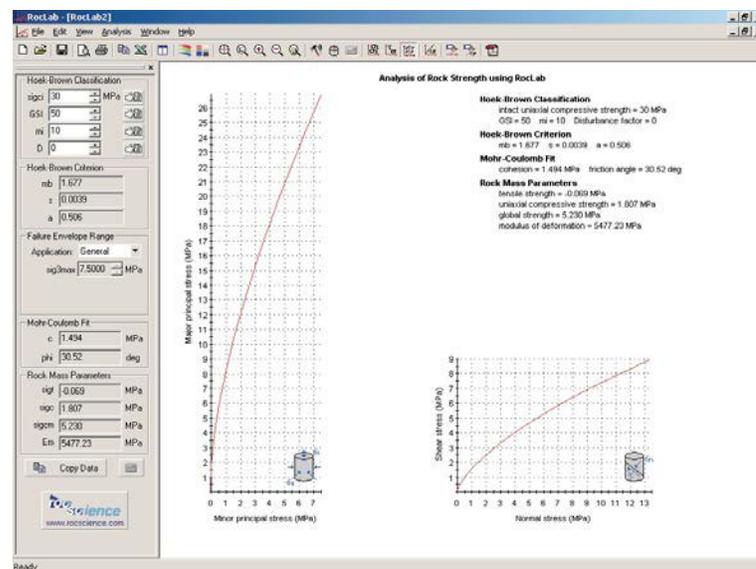
Las propiedades determinadas por RocLab se pueden emplear como datos de entrada en programas de análisis numérico tales como Phase2 (análisis de elementos finitos y diseño de soportes para excavaciones) o Slide (análisis de estabilidad de taludes mediante equilibrio límite).

Con el programa RocLab se pueden realizar las siguientes tareas:

Determinar Parámetros de Resistencia

Determinar los parámetros de resistencia generalizados de Hoek-Brown, como: (mb, s y a), basados en la introducción de los siguientes datos:

- La resistencia a la compresión no confinada de la roca intacta (σ_{ci})
- El parámetro de la roca intacta (m_i)
- El índice de resistencia geológica GSI
- El factor de perturbación D



Mayor información, así como el software se encuentra disponible, en el sitio de internet de Rocscience (www.rocscience.com)

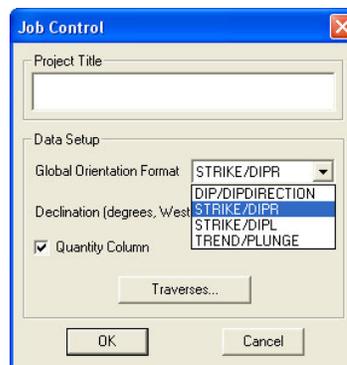
Apéndice B

Detalles del software Dips

Es un software diseñado para el análisis interactivo de orientación basado en los datos geológicos. Diseñado para realizar análisis y visualizar información estructural de igual modo que si usáramos proyecciones estereográficas. Permite el trazado, Análisis y Presentación de Datos estructurales utilizando técnicas de proyección estereográfica. El programa tiene un conjunto de herramientas capaces de realizar diferentes aplicaciones. DIPS permite al usuario analizar y visualizar datos estructurales usando las mismas técnicas de una proyección estereográfica manual. Además, cuenta con características de cómputo estadístico de la orientación de grupos (familias de discontinuidades) proporcionando una orientación media realizando el análisis cuantitativo y cualitativo. DIPS ha sido diseñado para el análisis de aspectos relacionados con la ingeniería de análisis de estructuras de roca, sin embargo, el formato libre del archivo de datos DIPS permite el análisis de datos basados de cualquier orientación.

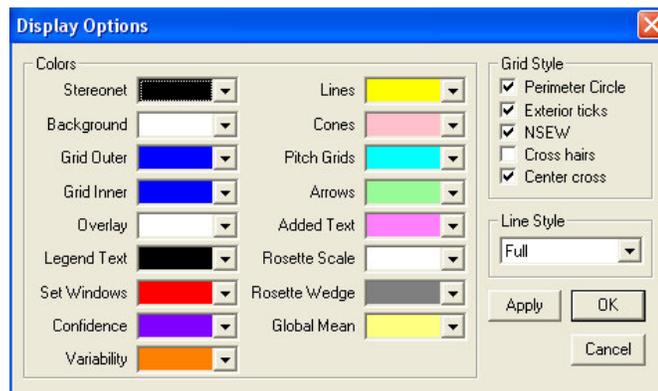
Para ingresar datos de estructuras en DIPS, debemos generar un archivo (FILE->NEW), de este modo se generará una planilla tipo excel con dos columnas y cien filas. En caso de que el número de filas no fuese suficiente, DIPS permite agregar nuevas filas de igual modo que si fuera un archivo excel.

Por defecto las columnas vienen configuradas para recibir valores de dip y dip direction, sin embargo es posible cambiar el tipo de dato a ingresar, pudiendo elegir entre las siguientes opciones: dip/dipdirection, strike/dipr, strike/dipl y trend/plunge.



Una vez ingresados los datos, es posible visualizarlos al interior de una red estereográfica yendo a VIEW->POLE PLOT. De este modo se abrirá una nueva ventana con la red estereográfica y los polos ploteados en ellas. Realizando click derecho sobre la red aparecerán varias opciones, y entre las que nos interesan tenemos:

- DISPLAY OPTIONS, en donde el usuario puede configurar los colores de la red, grillas, polos, fondo, etc.



- STERENET OPCIONES, en donde se configura el tipo de proyección, es decir se puede elegir entre una red equiangular o equiareal, y adicionalmente seleccionar el hemisferio en donde plotear los polos.



EN VIEW->ALL PLANES, es posible seleccionar si se desea visualizar solo los polos, solo planos o ambos juntos. Además

TOOLS->STEREONET OVERLAY, nos permite visualizar la grilla completa de la proyección estereográfica.

DIPS, también permite agregar planos de forma directa a la red estereográfica, para esto, y una vez abierta la ventana de POLE PLOT, vamos a SELECT->ADD PLANE, luego paseamos el mouse por sobre la red y observaremos que a medida que el mouse se mueve, el polo del nuevo plano se moverá a nuestra voluntad y la traza del plano se irá configurando dinámicamente. Para que esta adición manual de planos presente mayor precisión, en la esquina inferior derecha aparecerá la posición del cursor en términos de dip/dip direction o trend/plunge

Trend / Plunge	336/40
Strike / Dip Right	203/74

Así cómo es posible agregar planos de modo manual, DIPS también permite agregar conos a la red, los cuales serán observados como trazas circulares y pueden representar límites toppling y el ángulo de fricción. Para realizar esto se debe ir a TOOLS->ADD CONE y posteriormente desplazar el mouse a la posición de la red en donde establecer el cono.

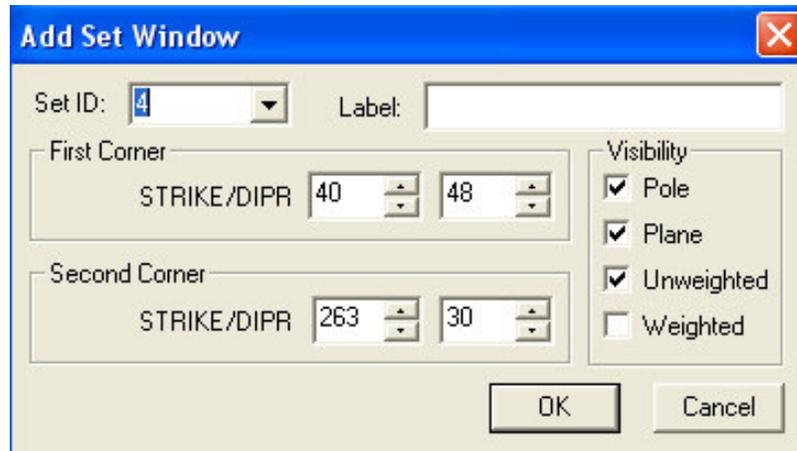
Realizado esto una nueva ventana se abrirá indicando el trend y plung del cono, los cuales aún son modificables, de igual modo que el 3er parámetro angular que da razón de la abertura del cono.

Otra utilidad del programa es que permite plotear la densidad de polos, para esto es necesario hacer click en VIEW->CONTOUR PLOT. Esta función permite identificar de manera rápida aglomeraciones de polos, los cuales pueden estar relacionados a través de set estructurales.

Para seleccionar set, existen dos formas dependiendo de cómo se sitúen estos al interior de la red estereográfica, la más común es usando SETS->ADD SET

WINDOWS y luego hacer click en la red para iniciar el área de set y click nuevamente para terminarla.

Una vez terminada el área se abrirá una pequeña ventana en donde se le asignará una ID al set (cada set debe tener uno y solo un ID), además es posible asignarle una etiqueta, así como reasignar los valores de rumbo y buzamiento que definen el set.



Una vez realizado esto, la tabla tipo excel agregará una nueva columna con el nombre Set, en donde hará referencia a las estructuras que pertenezcan al set 1 u otro según sea el caso. Si alguno de los sets creados es necesario eliminarlo, esto se realiza yendo a SETS->EDIT SET, allí seleccionaremos los ID del set creado y luego eliminar. Para mayores detalles el Software, presenta una ventana Help, en donde se encontrara el manual de uso.

Apéndice C

Detalles del software Slide

Es un programa de estabilidad de taludes en 2D para la evaluación de la estabilidad de superficies de falla circulares o no circulares en el suelo o laderas rocosas. Modelos complejos también pueden ser creados y analizados de forma rápida. Cargas externas, aguas subterráneas y soportes pueden todos ser modelados en una variedad de maneras.

Analiza la estabilidad de las superficies de deslizamiento utilizando el criterio de dovelas verticales de los métodos de equilibrio límite. Las superficies de deslizamiento individuales pueden ser analizadas o métodos de búsqueda pueden ser aplicados para localizar la superficie de deslizamiento crítica para un talud dado.

Las características incluyen:

- Los métodos de búsqueda de superficies críticas para superficies de deslizamiento circulares o no circulares.
- Análisis con los métodos de Bishop, Janbu, Spencer, GLE / Morgenstern-Price, y otros métodos de análisis.
- Materiales múltiples. Materiales Anisotrópicos, materiales no lineal Mohr-Coulomb, y otros modelos de esfuerzo.
- Las aguas subterráneas - superficies piezoeléctricas, factores R_u , presión de poros, o el análisis de elementos finitos de filtraciones.
- Análisis probabilístico de estabilidad de taludes
- Carga Externa: lineal, distribuido o sísmica
- Apoyo y/o anclaje de suelo, abrazaderas, geotextiles, pilotes y otras como el análisis de la fuerza de apoyo o sostenimiento necesario. Retro-Análisis de la fuerza de soporte requerida.
- Ver cualquiera o todas las superficies generadas por búsqueda.
- Los resultados de los análisis detallados pueden ser trazados para superficies de deslizamiento individuales.

Con el programa Slide se pueden desarrollar correctamente un sistema de elementos finitos completo, el modelamiento permanente del estado de las aguas subterráneas y un programa de análisis e interpretación de datos.

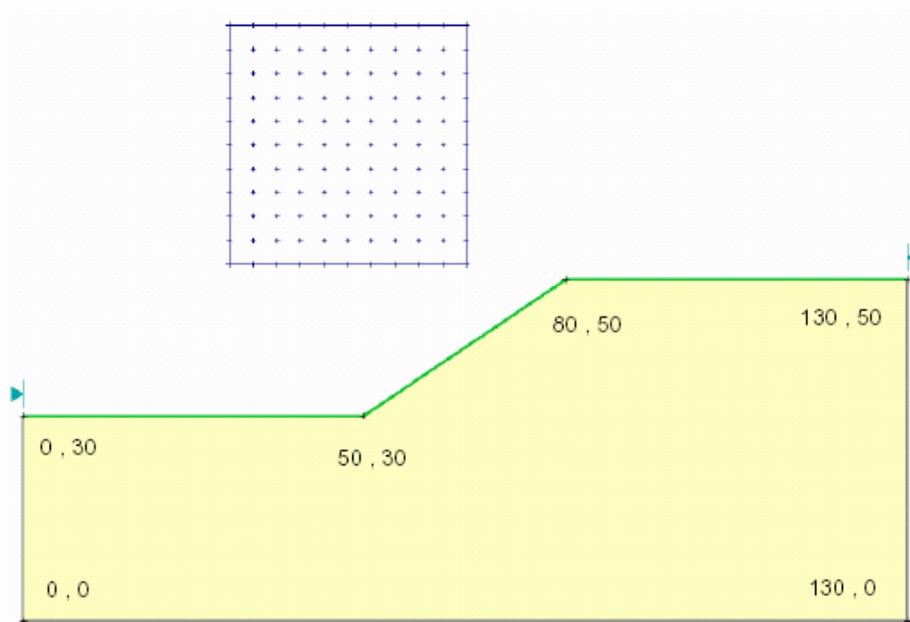
El análisis de las aguas subterráneas en Slide, permite al usuario definir y analizar fácilmente un problema de las aguas subterráneas, usando el mismo modelo que para el problema de la estabilidad de taludes. Los límites del problema sólo es necesario definir una vez, y se utilizará tanto para el análisis de aguas subterráneas y el análisis de estabilidad de taludes.

Slide, también tiene capacidades de un extenso análisis probabilístico. En un análisis de estabilidad de taludes probabilístico, el usuario puede asignar distribuciones estadísticas para ingresar parámetros, tales como las propiedades del material, propiedades del soporte, cargas, ubicación de nivel freática, etc. Los parámetros resultantes del análisis serán muy confiables luego de asignar una distribución estadística a uno o más parámetros de modelos ingresados.

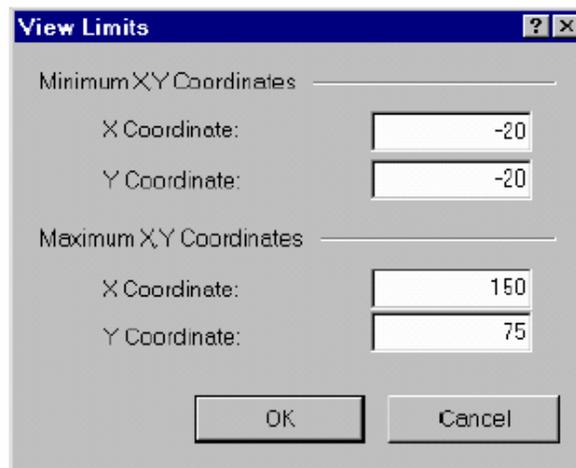
Estos resultados pertenecerán a una distribución de factores de seguridad, desde el punto de vista de la probabilidad de falla (o indicio de confiabilidad) para que el talud pueda ser calculado.

El análisis probabilístico de la estabilidad de un talud debería ser visto como un complemento aproximado al análisis tradicional de cálculo (factor de seguridad). Una gran cantidad de información valiosa puede ser obtenida a partir de un análisis probabilístico de la pendiente.

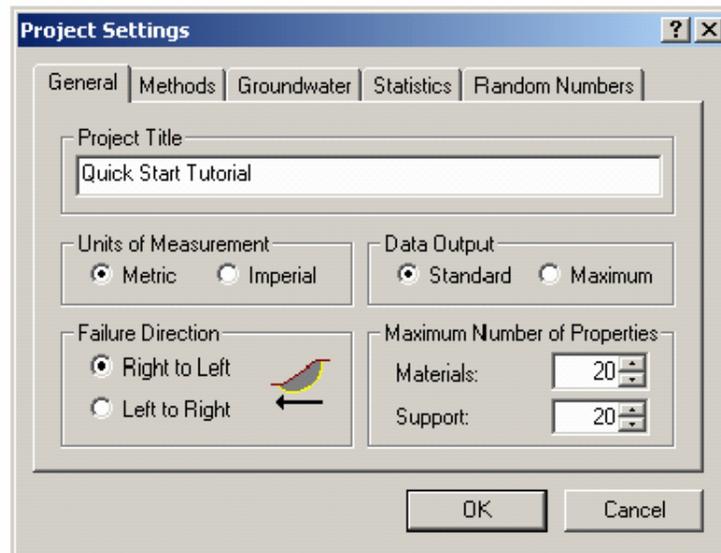
Se presenta a continuación las diferentes ventadas que presenta el software para configurar el modelo, ingreso de parámetros geotécnicos y los resultados obtenidos.



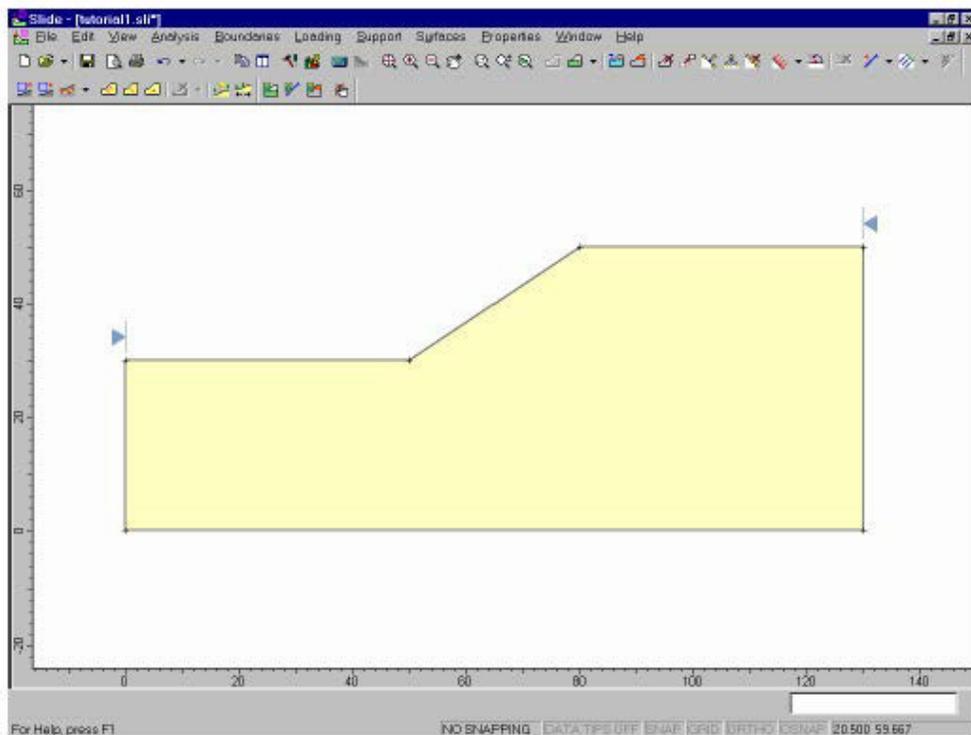
Creación de un modelo



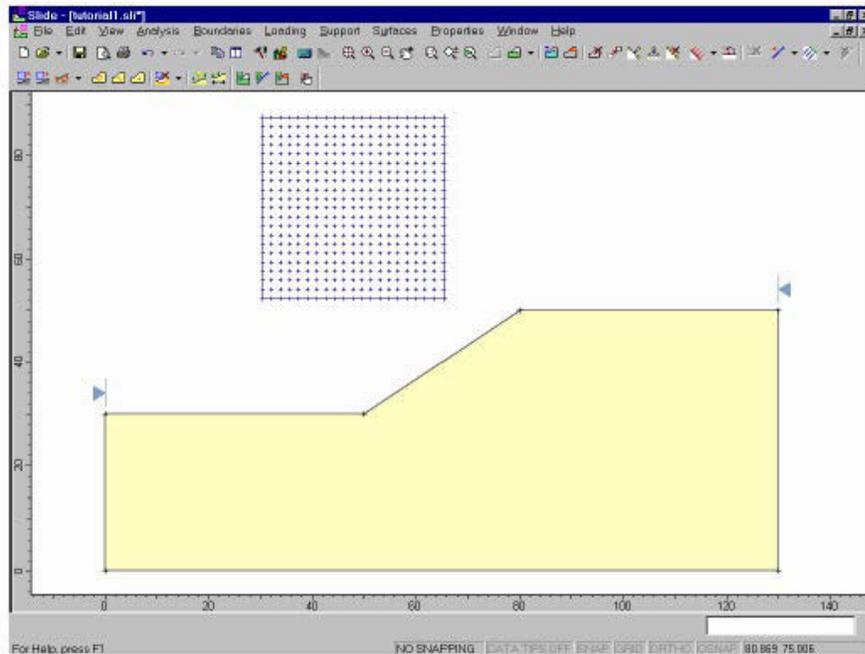
Limites del modelo



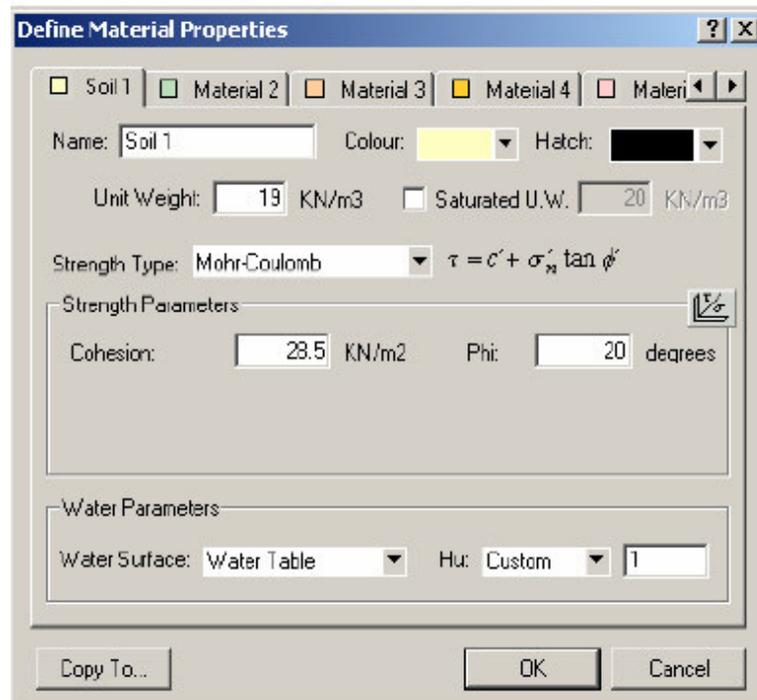
Configuración del proyecto



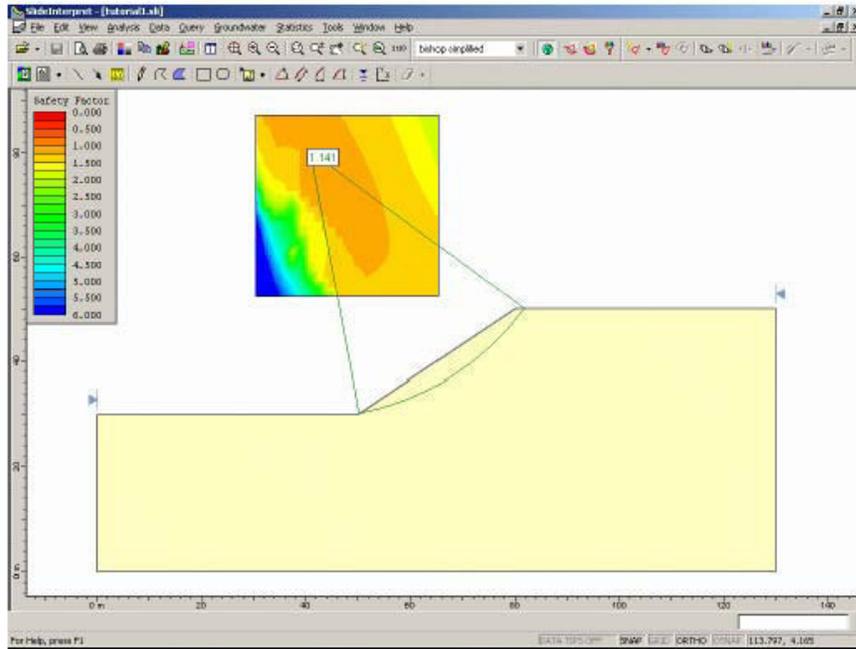
Contorno externo



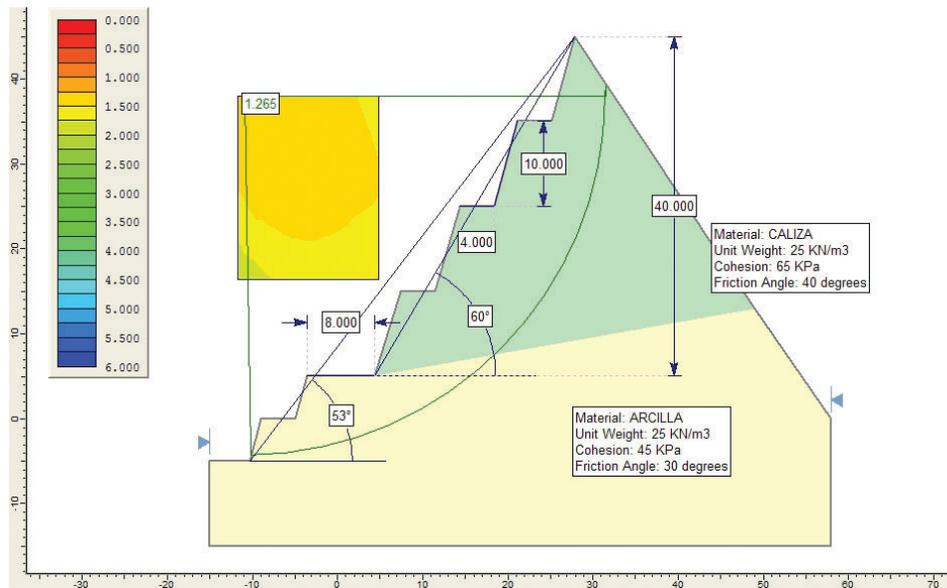
Cuadrícula de centro de desplazamiento



Ingreso de parámetros geotécnicos



Resultados del análisis considerando un solo material



Resultados del análisis considerando dos materiales

Para mayores detalles el Software, presenta una ventana Help, en donde se encontrara el manual de uso.

Apéndice D

Detalles del software Phase

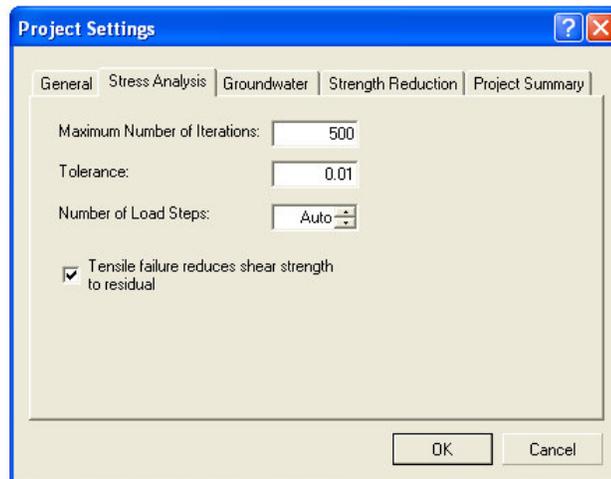
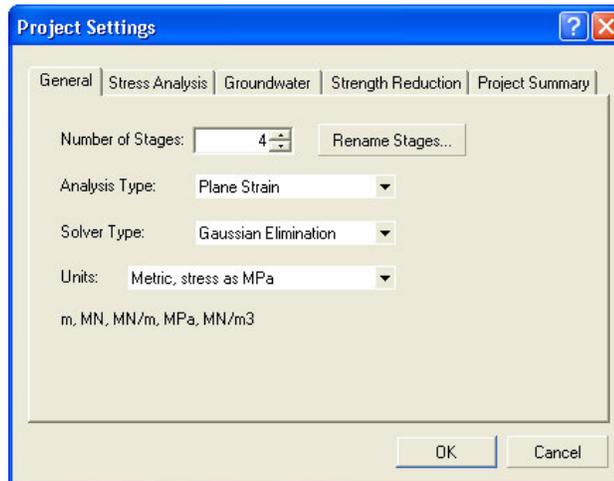
Es un programa en 2 dimensiones para el análisis de esfuerzos, utilizando el método de elementos finitos ya sean análisis plásticos o elásticos, en excavaciones subterráneas o de superficie en roca o en suelos.

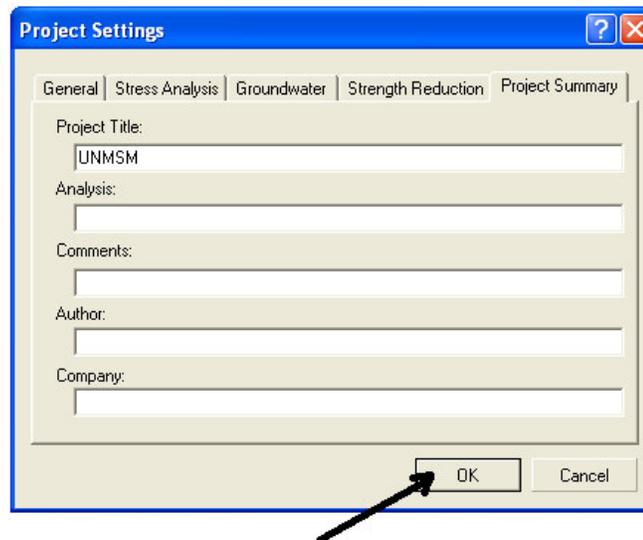
Se puede utilizar para una amplia gama de proyectos de ingeniería. El software incluye una función de elemento de filtración de agua subterránea y análisis de estabilidad del talud. Varios modelos complejos pueden ser fácilmente creados y rápidamente analizados, por ejemplo, los túneles en roca débil, cavernas subterráneas, minas a cielo abierto (pendientes de taludes). Phase, ofrece también opciones de modelado de materiales para la aplicación en suelos. La aparición de fallas crea una variedad de otros problemas que pueden abordarse como el modelado explícito de las juntas (por ejemplo, las juntas naturales en la roca o causados por el hombre). Una gran variedad de tipos de soporte para rocas y el suelo puede ser modelada. Se puede incluir tipos de pernos de anclaje, pernos en cable, split sets y tiebacks. Elementos de línea se pueden aplicar en el modelado de shotcrete, capas de concreto, sistema de aceros, paredes de contención de estructuras, etc. Pilas pueden ser modeladas usando una combinación de líneas y elementos comunes, utilizando la nueva opción de interfaz estructural. Phase incluye el estado de equilibrio, análisis de elementos finitos de filtración de las aguas subterráneas está incluido en el programa. No hay necesidad de usar un programa separado para las aguas subterráneas. La presión de poros está determinada, así como el flujo y gradiente, todo basado en las condiciones hidráulicas definidas por el usuario como las condiciones límite y conductividad del material. La presión de poros es automáticamente incorporada al análisis de esfuerzos. La presión de poros también puede ser modelado utilizando las capas freáticas, factor (ru). Una de las nuevas características de Phase, es la estabilidad de los taludes mediante la reducción de la fuerza de cizallamiento (SSR). Esta

opción está totalmente automatizada y puede utilizarse con cualquier parámetro de fuerza de Mohr-Coulomb o Hoek-Brown. Modelo de taludes pueden ser importados de Slide y calculado por Phase2, lo que permite una fácil comparación de limitar el equilibrio de elementos finitos y resultados.

Configuración del proyecto

Cuando estamos creando un modelo por etapas la primera cosa que se debe recordar es programar el número de etapas en Project Settings o programación de proyectos, esto afecta en las opciones de modelaje subsecuentes esto porque algunas opciones de modelaje actúan de forma diferente si su modelo es de una sola etapa (el número de etapas = 1) o múltiple etapas (número de etapas mayor a uno).





En el cuadro de diálogo Configuración del proyecto, bajo la ficha General, introduzca número de etapas = 4. Establecer el sistema métrico de unidades, como el esfuerzo MPa. Seleccione la ficha Análisis del Esfuerzo y entrará Tolerancia = .01. Seleccione la pestaña de Resumen del proyecto y entrar un Título del Proyecto. Hemos establecido la Tolerancia = 0,01 para este ejemplo, para ahorrar tiempo cuando nosotros corramos el análisis. La tolerancia controla que tan lejos se permite que proceda la instalación plástica y por lo tanto controla la exactitud de la solución final, una tolerancia 0.01 nos dará una solución suficientemente exacta.

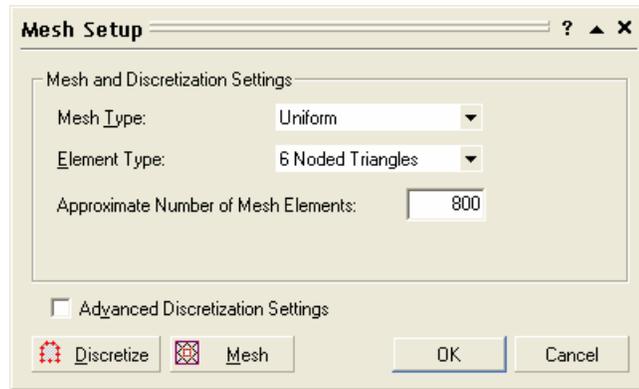
Límites.

Este modelo sólo requiere de un límite exterior para definir la geometría. Seleccione la opción Añadir exterior en los límites y entrar en el menú de las coordenadas.

Malla.

Generar la malla de elementos finitos. Antes de hacer esto, vamos a definir los parámetros (tipo de malla, número de elementos, el tipo de elemento) utilizado en el proceso de mallado.

1. Seleccione la opción de instalación de malla en el menú de malla.



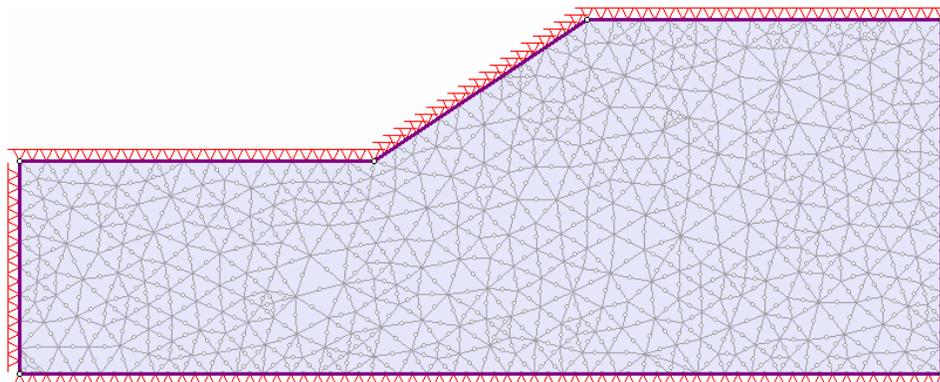
2. En el programa de instalación de malla, se indica el tipo de malla en este caso uniforme, el tipo de elemento a 6 Nodos Triángulos y el número de elementos a 800.

3. Cerrar el diálogo Configuración de malla, seleccione el botón OK.

El número de elementos depende de la complejidad de su modelo. Si se trata de un modelo simple, 800 elementos están bien.

Si el modelo es más complicado, entonces el valor por defecto 1500 elementos deben ser adecuados. Siempre se puede probar diferentes densidades de malla para asegurarse de que se está utilizando elementos suficientes para capturar el comportamiento correcto.

Malla de talud ejecutada por la elección de la opción discretizar y mallar de la barra de herramientas o el menú de malla. Se muestra una malla y las condiciones de límites por defecto



Condiciones a los límites

Ahora podemos establecer las condiciones límite. La porción de la frontera exterior en representación de la superficie del suelo debe ser libre de moverse en cualquier dirección.

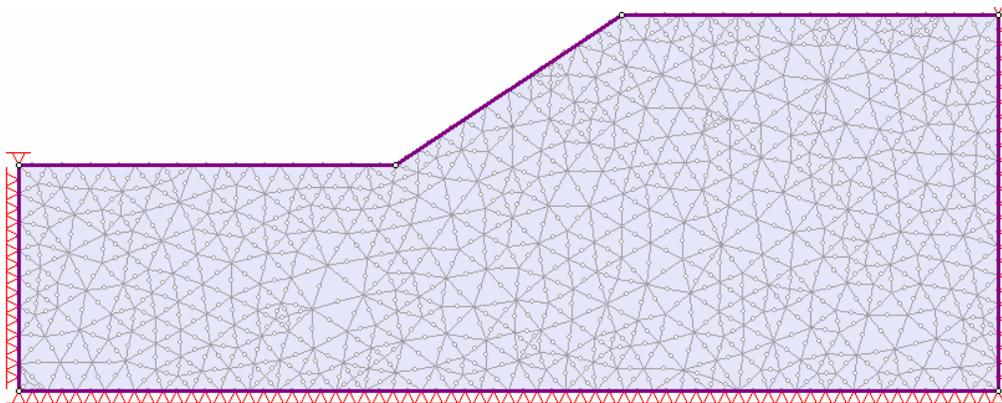
1. Seleccione la libre opción en el menú de desplazamientos.
2. Utilice el ratón para seleccionar la línea de tres segmentos de la definición de la superficie del suelo del talud.
3. Haga clic con el botón de selección y seleccione Hecho.

Sugerencia: También puede hacer clic derecho sobre un límite para definir sus condiciones de límite. La superficie del talud es ahora libre, sin embargo, este proceso también ha liberado los vértices en la parte superior izquierda y superior derecha de las esquinas del modelo. Dado que estos bordes deben ser limitados, tenemos que asegurarnos de que estas dos esquinas están restringidas.

Vamos a usar el botón derecho del ratón para asignar accesos directos a condiciones límite:

1. Clic con el botón derecho del ratón directamente en el vértice. Del menú seleccione la opción restringir X, Y
2. Clic con el botón derecho del ratón directamente en el siguiente vértice. Del menú seleccione la opción restringir X, Y.

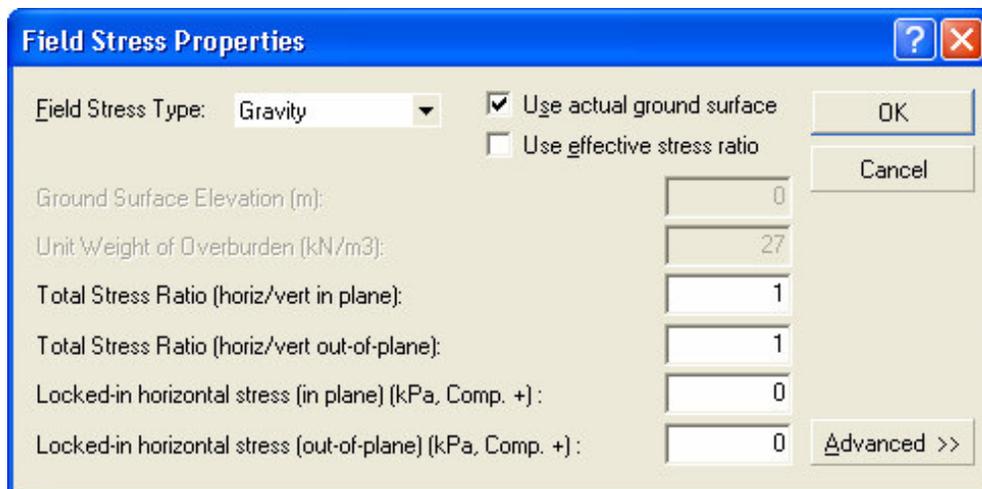
El desplazamiento de las condiciones de frontera son correctamente aplicadas. Se muestra la condición de límite libre aplicado a la superficie del terreno



Esfuerzo en el terreno

Se define el esfuerzo in-situ sobre el terreno.

1. Seleccione la opción de Esfuerzos en el terreno en el menú de carga.
2. Cambie el campo tipo de esfuerzo constante de la gravedad (esfuerzo gravitacional de distribución en todo el talud).
3. Comprobar la utilización real de la casilla superficie de la tierra. Al utilizar esta opción, el programa determinará automáticamente la superficie del suelo por encima de todos los elementos finitos verticales y define el esfuerzo vertical en el elemento sobre la base del peso del material por encima de ella.
4. Deje el coeficientes de esfuerzos horizontales como 1, es decir, el esfuerzo inicial hidrostático (es decir, el esfuerzo horizontal = esfuerzo vertical). Si conoce los coeficientes de esfuerzos horizontales al hacer su propio modelo de talud, puede utilizar esta información. Sin embargo, la distribución de esfuerzos horizontales en un talud, rara vez se conoce, por lo que abandonar por defecto el campo de los esfuerzos hidrostáticos ha demostrado ser una buena hipótesis.



Propiedades del material

Definir las propiedades del material del suelo que comprende el talud. Seleccione Definir Materiales de la barra de herramientas o el menú Propiedades.

Hasta el tipo de nombre. Asegúrese de que el elemento de carga inicial se establece en el esfuerzo sobre el terreno y el Cuerpo Técnico (tanto el esfuerzo in-situ y el peso material libre se aplican). En este caso se tiene 19 kN/m³ para la unidad de Peso. Para las propiedades elásticas: 50000 kPa para el Módulo de Young y el 0,4 para el coeficiente de Poisson.

Parámetros de resistencia, asegúrese de que el criterio de falla se establece en Mohr-Coulomb. Ajuste el tipo de material de plástico, es decir, el material puede dar / no. Ajuste la resistencia a la tracción a 5 kPa (igual que la cohesión). Ajuste el máximo y Cohesión residual a 5 kPa. Ajuste el máximo y el ángulo de fricción residual a 30°. Deje el ángulo de dilatación a 0 ° (sin aumento de volumen cuando los estado de flujo no asociados, son cortados). Pulse el botón OK para guardar las propiedades y cerrar el cuadro de diálogo.

The screenshot shows the 'Define Material Properties' dialog box with the following settings:

- Name:** Till
- Material Colour:** (Blue)
- Initial Element Loading:** Field Stress & Body Force
- Unit Weight (kN/m3):** 19
- Elastic Properties:**
 - Elastic Type:** Isotropic
 - Young's Modulus (kPa):** 50000
 - Poisson's Ratio:** 0.4
 - E1 (kPa):** 20000
 - E2 (kPa):** 20000
 - Ez (kPa):** 20000
 - v12:** 0.2
 - v1z:** 0.2
 - v2z:** 0.2
- Strength Parameters:**
 - Failure Criterion:** Mohr Coulomb
 - Material Type:** Plastic
 - Tensile Strength (kPa):** 5
 - Dilation Angle (deg):** 0
 - Fric. Angle (peak) (deg):** 30
 - Fric. Angle (resid) (deg):** 30
 - Cohesion (peak) (kPa):** 5
 - Cohesion (resid) (kPa):** 5
- Stage Properties:** (unchecked)
- Datum Dependent:** (unchecked)
- Unsaturation Shear Strength:**
 - Phi b:** 0
 - Air Entry (kPa):** 0

Se ha completado la definición del modelo. Guardar el modelo utilizando la opción Guardar en el menú Archivo.

Calculo

Ejecutar el modelo utilizando la opción Calcular en el menú Análisis. El análisis debe tomar en virtud de unos pocos minutos para correr. Una vez ha terminado el modelo de cálculo (Cálculo de diálogo se cierra), seleccione la opción Interpretar en el menú de análisis para ver los resultados.

Después de seleccionar la opción Interpretar, el programa se inicia y el muestra los resultados de los análisis.

Para mayores detalles el Software, presenta una ventana Help, en donde se encontrara el manual de uso.

Apéndice E

Nociones de la teoría Elástica.

Se dice que un cuerpo perfectamente elástico es aquel que recupera su forma después de retirar las fuerzas que actúan sobre él. Esta hipótesis se cumple con diferente grado de aproximación para la mayoría de materiales, si las fuerzas no superan un umbral definido. En caso contrario, se induce en el cuerpo un comportamiento plástico. Por otra parte, la elasticidad puede ser de tipo lineal o no lineal, dependiendo si se cumple o no el principio de superposición, es decir, si hay proporcionalidad entre las tensiones y las deformaciones (o ley de Hooke).

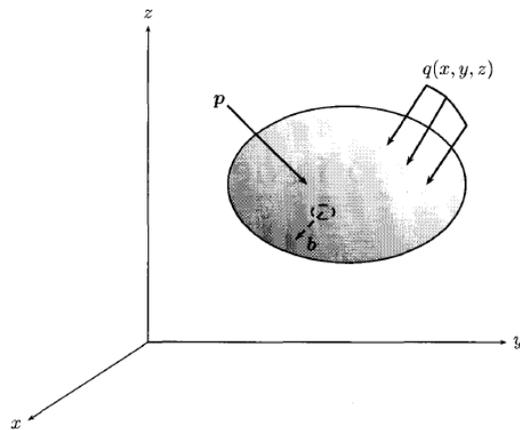
Tensiones.

a) Fuerzas Superficiales y Másicas.

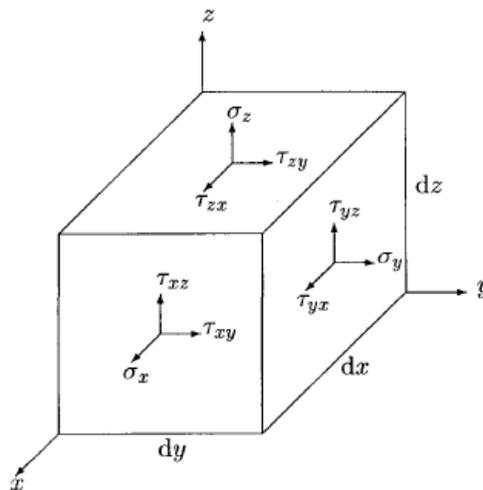
Consideremos el cuerpo mostrado en el gráfico siguiente, donde se distinguen las dos clases de fuerzas:

Fuerzas Superficiales, que se aplican sobre la superficie y pueden ser concentradas (en el gráfico se denotan por p) o distribuidas (simbolizadas con la letra q). La forma de la distribución de estas últimas es arbitraria y puede depender de una, dos o tres dimensiones.

Fuerzas Másicas, se denotan por b . Todo cuerpo presenta una fuerza interna distribuida en el espacio, dada por el propio peso. Si el eje vertical se denota por z , esta fuerza b_z , apuntará en la dirección negativa del eje y , en general, su valor en cada punto dependerá de las coordenadas del mismo, en virtud que la densidad del cuerpo puede ser variable, se denota en general por $b_z(x, y, z)$. La fuerza de gravedad es un caso particular de las llamadas fuerzas másicas denotada en el gráfico por b . El nombre de estas fuerzas se deriva del hecho de que su valor depende estrechamente de la masa del cuerpo.



Por efecto de las fuerzas descritas, se presentan tensiones de dos tipos: normales y tangenciales. El siguiente grafico muestra un cubo elemental infinitesimal, sobre el cual son aplicadas todas las componentes de las tensiones en las tres dimensiones. Las tensiones normales se denotan por σ , mientras que las tensiones tangenciales por τ ; de estas, el primer subíndice indica el eje ortogonal a la cara sobre la cual se encuentran los vectores, mientras que el segundo indica la dirección de la tensión respectiva, una tensión normal es positiva cuando produce tracción y negativa si produce compresión, en caso de tensiones tangenciales, la tensión es positiva si tanto la normal a la cara donde se encuentra aplicada así como el vector de la tensión en ella tienen direcciones positivas o negativas (todas las tensiones que aparecen en el grafico son positivas).



Es fácil demostrar que las tensiones tangenciales se reducen a tres. Al plantear las ecuaciones de equilibrio sobre las fuerzas del gráfico se pueden despreciar las fuerzas másicas, ya que son proporcionales al volumen del cuerpo, $dx dy dz$, mientras que las fuerzas tangenciales son proporcionales a $dx dy$, por lo que las fuerzas másicas son infinitésimos de un orden superior al de las fuerzas superficiales indicadas. Tomando momentos con respecto al origen de coordenadas se tiene:

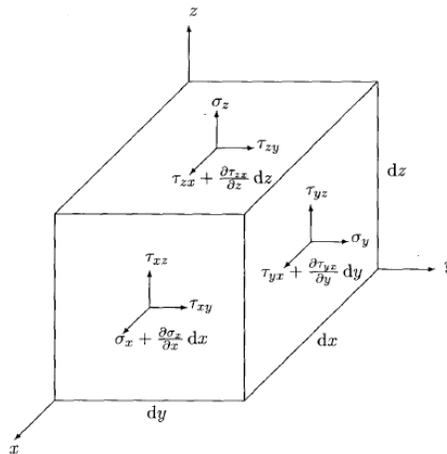
$$\tau_{yz}(dx dz) dy = \tau_{zy}(dx dy) dz$$

Donde, los productos contenidos entre paréntesis indican el área de la cara sobre la cual se aplican las fuerzas, de aquí resulta que: $\tau_{yz} = \tau_{zy}$ Por lo tanto:

$$\tau_{xy} = \tau_{yx}, \quad \tau_{xz} = \tau_{zx}, \quad \tau_{yz} = \tau_{zy}$$

b) Ecuaciones de Equilibrio.

Las tensiones introducidas en el punto anterior guardan entre si varias relaciones de equilibrio que es necesario formular, ya que son útiles para las deducciones posteriores. Consideremos el cuerpo infinitesimal de la siguiente gráfica. Al aplicar las leyes de equilibrio en el sentido del eje x se obtiene:



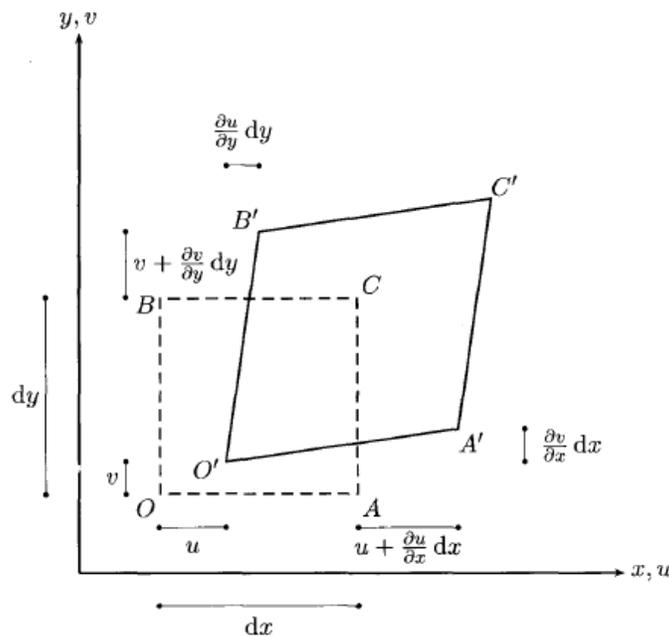
$$\begin{aligned} & \left(\sigma_x + \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} dx \right) dy dz - \sigma_x dy dz + \left(\tau_{yx} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} dy \right) dx dz \\ & - \tau_{yx} dx dz + \left(\tau_{zx} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} dz \right) dx dy - \tau_{zx} dx dy \\ & + f_x = 0 \end{aligned}$$

Donde, f_x es la componente en el sentido x de la resultante de las fuerzas externas y másicas. Al cancelar algunos términos y hacer un desarrollo similar para los ejes y, z ; se llega a las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + f_x &= 0 \\ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + f_y &= 0 \\ \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + f_z &= 0 \end{aligned}$$

Deformaciones

Consideremos un cuerpo con vínculos y apoyos suficientes que eviten su deslizamiento. Una suposición adicional es que el cuerpo sufre deformaciones pequeñas, ya que la suposición de grandes deformaciones nos alejaría de la hipótesis de linealidad. Denotemos por $u, v, y w$ las deformaciones del material en las direcciones x, y, z , respectivamente. La grafica siguiente muestra la posición deformada de las dos aristas de una de las caras del cubo infinitesimal de la figura de tensiones.



Si la longitud de la arista OA era inicialmente dx , después de la deformación es igual a:

$$u + \frac{\partial u}{\partial x} dx$$

De donde se tendría que la deformación unitaria de las aristas es:

$$\epsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}, \quad \epsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}, \quad \epsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z}$$

Tal como lo indica la gráfica, la forma inicial del cubo también se altera de manera angular.

El movimiento vertical del punto A es:

$$v + \frac{\partial v}{\partial x} dx$$

Mientras que el movimiento horizontal de punto B es:

$$u + \frac{\partial u}{\partial y} dy$$

Esto indica que la deformación angular en el plano xy es la suma de las distorsiones angulares de las dos caras:

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}$$

Análogamente:

$$\gamma_{xz} = \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x}, \quad \gamma_{yz} = \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y}$$

Para los fines de cálculo por el método de elementos finitos, es conveniente representar el conjunto de las seis deformaciones (tres longitudinales y tres angulares) en la forma matricial.

$$\underbrace{\begin{pmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \epsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{xz} \\ \gamma_{yz} \end{pmatrix}}_{\epsilon} = \underbrace{\begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial z} \\ \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} & 0 \\ \frac{\partial}{\partial z} & 0 & \frac{\partial}{\partial x} \\ 0 & \frac{\partial}{\partial z} & \frac{\partial}{\partial y} \end{pmatrix}}_{L} \underbrace{\begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix}}_{\psi(x,y,z)}$$

Dónde: L, es el operador diferencial definido de manera que el producto de sus elementos por u, v, y w da como resultado la derivada parcial correspondiente.

Teniendo en consideración que: en la modelización numérica se realiza un análisis tenso – deformacional del macizo rocoso, se presenta a continuación la ecuación matricial de desplazamiento en función de las tensiones o esfuerzos, con su respectiva resolución matricial.

Como se menciona en el capítulo I, de la presente memoria de tesis, el desarrollo de los métodos numéricos se ha facilitado con el uso de las computadoras. Esto debido a que cada ecuación de desplazamiento obtenida es aplicada a cada sub dominio o elemento finito conectado entre sí mediante los nodos. Al considerar una mayor cantidad de nodos o elementos (sub dominios), se obtiene una mayor precisión en los cálculos pero realizar esta operación para cada elemento manualmente sería totalmente tedioso y el procedimiento de cálculo sería largo.

Ecuación Matricial de Desplazamiento.

$$\begin{pmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \epsilon_z \\ \delta_{yz} \\ \delta_{xz} \\ \delta_{xy} \end{pmatrix} = (1/E) \begin{pmatrix} 1 & -\nu & -\nu & 0 & 0 & 0 \\ -\nu & 1 & -\nu & 0 & 0 & 0 \\ -\nu & -\nu & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2(1+\nu) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2(1+\nu) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2(1+\nu) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{yz} \\ \tau_{xz} \\ \tau_{xy} \end{pmatrix}$$

Dónde:

- ε Desplazamiento Longitudinal
- δ Desplazamiento Transversal
- ν Coeficiente de Poisson
- E Módulo de Young
- σ Tensión (esfuerzo) Normal
- τ Tensión (esfuerzo) Tangencial

Resolviendo tenemos:

$$\epsilon_x = 1/E (\sigma_x - \nu (\sigma_y + \sigma_z))$$

$$\epsilon_y = 1/E (\sigma_y - \nu (\sigma_x + \sigma_z))$$

$$\epsilon_z = 1/E (\sigma_z - \nu (\sigma_x + \sigma_y))$$

$$\delta_{yz} = 1/E (2 (1 + \nu) \tau_{yz})$$

$$\delta_{xz} = 1/E (2 (1 + \nu) \tau_{xz})$$

$$\delta_{xy} = 1/E (2 (1 + \nu) \tau_{xy})$$

Aplicando, la ecuación matricial de desplazamiento de la ley de Hooke generalizada

$$\begin{vmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \epsilon_z \end{vmatrix} = (1/E) \begin{vmatrix} 1 & -\nu & -\nu \\ -\nu & 1 & -\nu \\ -\nu & -\nu & 1 \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \end{vmatrix}$$

Resolviendo tenemos:

$$\epsilon_x = 1/E (\sigma_x - \nu (\sigma_y + \sigma_z)) \quad (1)$$

$$\epsilon_y = 1/E (\sigma_y - \nu (\sigma_x + \sigma_z)) \quad (2)$$

$$\epsilon_z = 1/E (\sigma_z - \nu (\sigma_x + \sigma_y)) \quad (3)$$

La ley de Hooke conjuntamente con el coeficiente de elasticidad (o de Young) y la relación de Poisson proporcionan una manera simple de relacionar las tensiones (esfuerzos) y las deformaciones. En vista que la ley de Hooke, establece una proporcionalidad entre los esfuerzos y las deformaciones resulta posible aplicar el principio de superposición para obtener el efecto conjunto de las tensiones σ_x , σ_y y σ_z , como se aprecia en las expresiones algebraicas 1, 2 y 3.

Apéndice F
Data del Mapeo Geotécnico.

Nro.	Datacia	Tipo	Orientación		Espacido	Persistencia	Terminación	Apertura	Rugosidad	Relleno		Ondulación	Meteorización	Agua	Observaciones
										Tipo	Espesor				
D i s c o n t i n u i d a d	Distancia a la intersección de la disconth. (m)	1.- Fallas	Rumbo	Euzambant. (°)	1.- < 2 cm	1.- < 1 m	1.- Otra	1.- Cenada	1.- Muy rugos	1.- Limpia	1.- Ninguno	1.- Plana	1.- Sana	1.- Seco	
		2.- Plegamiento			2.- 2-6 cm	2.- 1-3 m	Discon	2.- < 0.1mm	2.- Rugosa	3.- Gujaro	2.- Duro<5mm	2.- Poco ondul	2.- Ligera	2.- Hmedo	
		3.- Diaclasas			3.- 6-20 cm	3.- 3-10 m	2.- Roca	3.- 0.1-0.5 mm	3.- Lig. Rugos	4.- Grava	3.- Duro>5mm	3.- Ondulada	3.- Moderadamente	3.- Mojado	
		4.- Estratos			4.- 20-60	4.- 10-20 m	Intacta	4.- 0.5-2.5 mm	4.- Poco rugos	5.- Arena	4.- Suave<5mm	3.- Ondulada	4.- Muy	4.- Goteo	
		5.- ZonalCorte			5.- 0.6-2 m	5.- >20 m	3.- Contin	5.- 2.5-10 mm	5.- Lisas	6.- Arcilla	5.- Suave>5mm	4.- Escalona	5.- Descompuesta	5.- Flujo	
		6.- Diques			6.- 2-6 m			6.- > 10 mm	6.- Espejo falla	7.- Cuzco		4.- Escalona			
		7.- PlandFoliac			7.- > 6 m					8.- Ozidos					
		8.- Conlitológ								9.- Yeso					
		9.- Venillas								10.- Roca Triturada					
		10.- Otros								11.- Otros					
1	0.62	3	N63°W	15°NE		1	1	4	3	10	4	2	3	1	
2	0.87	3	N67°W	17°NE	4	1	1	1	4	1	1	2	3	1	
3	1.64	3	S75°E	27°NE	5	1	1	1	4	1	1	2	3	1	
4	1.72	3	S62°W	23°NE	4	1	1	1	4	1	1	2	3	1	
5	1.86	3	N64°W	83°NE	5	1	1	1	4	1	1	2	3	1	
6	2.11	3	N80°W	2°NE	5	1	1	1	4	1	1	2	3	1	
7	0.07	3	S49°E	70°SW		1	1	4	3	10	4	2	4	1	
8	0.58	3	N66°W	19°NE	4	2	1	4	2	10	4	2	4	2	
9	1.27	3	N61°W	28°NE	5	2	1	4	2	1	1	2	5	2	
10	2.11	3	S6°W	26°SE	5	2	1	5	3	1	1	2	4	1	
11	2.65	3	N68°W	18°NE	4	2	1	5	3	1	1	2	5	2	
12	3.13	3	N74°W	7°NE	4	1	1	5	2	10	4	2	5	2	
13	0.69	3	N67°W	17°NE		2	1	4	3	10	4	2	5	1	
14	0.55	3	N75°W	83°NE		2	1	5	2	10	4	2	3	1	
15	1.31	3	N59°W	7°NE	5	3	1	4	3	10	4	2	4	1	
16	2.18	3	N67°W	7°NE	5	2	1	4	3	10	4	2	5	1	
17	2.55	3	N83°W	3°NE	4	1	1	5	2	10	5	3	5	2	
18	3.09	3	S46°E	72°SW	4	2	1	5	3	10	5	2	5	2	
19	0.18	3	S50°E	70°SW		2	1	4	2	1	1	1	2	1	

elpomareda3000@hotmail.com / elpomareda2000@gmail.com

20	0.87	3	N69°W	29°NE	5	3	2	1	2	10	4	1	4	1	
21	2.22	3	S47°E	72°SW	5	2	1	3	3	10	4	1	3	1	
22	3.09	3	N60°W	16°NE	5	2	2	3	2	10	5	1	3	1	
23	0.11	3	N61°W	19°NE		2	2	4	10	2	1	3	2	1	
24	0.64	3	N80°W	2°NE	4	1	1	5	2	10	5	3	5	2	
25	1.10	3	N65°W	45°NE	4	2	1	5	3	10	5	2	5	2	
26	1.53	3	N64°W	70°NE	5	2	1	3	3	10	4	1	3	1	
27	3.16	3	N66°W	67°NE	5	2	2	3	2	10	5	1	3	1	
28	0.44	3	S41°E	71°SW		1	1	1	3	1	1	1	2	2	
29	1.09	3	N10°W	80°NE	5	1	1	1	2	1	1	2	3	1	
30	2.25	3	N53°W	85°NE	5	2	1	5	2	10	5	2	4	1	
31	5.53	3	N0°E	55°E	6	2	1	4	3	10	4	3	3	1	
32	6.44	3	N66°W	18°NE	5	2	1	1	3	1	1	2	2	1	
33	6.84	3	S43°E	77°SW	4	1	1	4	3	10	4	2	3	1	
34	2.22	3	N10°W	80°NE		2	1	4	2	10	4	2	4	1	
35	3.13	3	N55°W	85°NE	5	1	1	1	3	1	1	2	2	1	
36	3.16	3	N67°W	8°NE	2	1	1	4	3	10	4	2	3	1	
37	0.51	3	N65°W	12°NE		2	1	4	3	10	4	2	3	1	
38	0.65	3	N14°W	75°NE	3	1	1	4	2	10	4	2	3	1	
39	1.24	3	S46°E	72°SW	4	2	1	1	3	1	1	1	2	1	
40	3.27	3	N68°W	14°NE	6	3	3	5	3	10	5	1	3	1	
41	4.55	3	N61°W	24°NE	5	2	1	4	3	10	4	1	4	1	
42	4.58	3	S44°E	78°SW	2	1	1	1	3	1	1	2	2	1	
43	5.35	3	N36°W	87°NE	5	2	1	1	3	1	1	2	2	1	
44	6.98	3	S42°E	75°SW	5	1	1	1	3	1	1	2	3	1	
45	7.13	3	N68°W	17°NE	3	1	1	1	3	1	1	2	2	1	
46	0.55	3	N62°W	13°NE		1	1	1	3	1	1	2	3	1	
47	4.22	3	N28°W	53°NE	6	2	1	1	3	1	1	2	2	1	
48	4.63	3	N80°W	2°NE	2	1	1	1	3	1	1	2	2	1	
49	4.92	3	N68°W	90°NE	5	2	1	1	3	1	1	2	2	1	
50	5.13	3	N72°W	53°NE	5	1	1	1	3	1	1	2	3	1	

51	5.20	3	N62°W	66°NE	3	1	1	1	3	1	1	2	2	1	
52	0.65	3	N66°W	17°NE		3	1	1	4	1	1	1	1	1	
53	1.56	3	N66°W	7°NE	5	4	1	1	4	1	1	1	1	1	
54	3.60	3	S41°E	74°SW	6	3	1	1	4	1	1	1	1	1	
55	1.60	3	N65°W	45°NE		3	1	1	4	1	1	2	1	1	
56	1.82	3	N68°W	10°NE	4	3	1	1	4	1	1	1	1	1	
57	2.36	3	S46°E	72°SW	4	3	1	1	4	1	1	2	1	1	
58	2.42	3	N80°W	2°NE	5	4	1	1	4	1	1	1	1	1	
59	2.61	3	N64°W	90°NE	6	3	1	1	4	1	1	1	1	1	
60	2.88	3	N57°W	45°NE	4	3	1	1	4	1	1	1	1	1	
61	3.00	3	N66°W	54°NE	4	3	1	1	4	1	1	2	1	1	
62	0.44	3	S47°E	77°SW		3	1	1	4	1	1	2	1	1	
63	10.18	3	S41°E	76°SW	7	3	1	1	4	1	1	2	1	1	
64	10.44	3	N62°W	12°NE	4	3	1	4	4	1	1	2	2	1	
65	11.49	3	N70°W	15°NE	5	3	1	5	4	1	1	1	3	1	
66	12.91	3	N61°W	16°NE	5	3	1	4	4	1	1	1	3	1	
67	14.36	3	N78°W	90°NE	5	3	1	1	4	1	1	1	2	1	
68	0.33	3	N64°W	8°NE		2	1	4	4	1	1	1	2	1	
69	1.09	3	N77°W	53°NE	5	2	1	4	4	10	4	1	3	1	
70	1.89	3	S45°E	75°SW	5	1	1	2	4	1	1	1	2	2	
71	0.87	3	S49°E	70°SW		1	1	1	4	1	1	1	2	1	
72	1.16	3	N30°W	49°NE	4	2	1	4	4	10	4	1	3	2	
73	1.71	3	N66°W	15°NE	4	2	1	1	4	1	1	1	2	1	
74	2.11	3	N60°W	70°NE	5	2	1	4	4	10	4	1	3	1	
75	2.42	3	N74°W	49°NE	5	1	1	2	4	1	1	1	2	2	
76	3.05	3	N80°W	2°NE	4	2	1	1	4	1	1	1	2	1	
77	3.16	3	N63°W	60°NE	5	2	1	4	4	10	4	1	3	1	
78	1.27	2	N63°W	5°NE		2	1	2	4	10	4	1	3	2	
79	1.78	2	S41°E	75°SW	4	1	1	1	4	1	1	1	2	1	
80	0.55	3	S50°E	77°SW		2	1	2	3	10	2	1	3	2	

81	3.49	3	S40°E	70°SW	6	2	3	1	2	10	2	1	3	2	
82	0.98	3	S50°E	70°SW		2	3	2	4	10	2	1	2	2	
83	1.42	3	S46°E	75°SW	4	2	1	1	2	10	2	1	3	2	
84	1.71	3	S38°E	76°SW	4	2	2	1	2	10	2	1	3	2	
85	3.09	3	S49°E	73°SW	5	3	3	2	3	10	2	1	3	2	
86	3.27	3	S81°E	45°SW	3	2	1	4	2	10	5	1	3	2	
87	0.44	3	N43°E	76°NW		1	1	1	3	10	4	1	3	2	
88	1.02	3	N67°W	14°NE	4	2	1	3	3	10	5	1	3	2	
89	1.35	3	N65°W	12°NE	4	1	1	1	4	10	4	2	3	2	
90	2.16	3	N80°W	2°NE	5	3	3	2	3	10	2	1	3	2	
91	2.41	3	N75°W	54°NE	3	2	1	4	2	10	5	1	3	2	
92	3.60	3	N75°W	90°NE	4	2	1	3	3	10	5	1	3	2	
93	0.47	3	N68°W	15°NE		3	3	2	4	10	2	1	2	2	
94	1.09	3	N64°W	18°NE	5	3	3	3	3	10	3	1	3	2	
95	4.51	3	N67°W	7°NE	6	3	2	2	3	10	4	2	3	2	
96	0.87	3	S37°E	73°SW		2	1	3	3	1	1	1	3	2	
97	1.09	3	N70°W	16°NE	4	2	1	2	3	1	1	2	3	2	
98	1.89	3	N71°W	7°NE	5	2	1	3	3	10	2	1	4	2	
99	2.62	3	N74°W	13°NE	5	2	1	3	1	1	1	1	2	2	
100	4.04	3	N66°W	12°NE	5	2	1	2	3	1	1	1	2	1	
101	4.36	3	N65°W	7°NE	4	2	1	1	2	10	4	1	3	1	
102	0.73	3	S14°W	64°SE		1	1	2	2	10	2	2	5	1	
103	1.09	3	S14°W	64°SE	4	1	2	4	3	1	1	1	2	1	
104	1.31	3	N62°W	11°NE	4	1	2	4	3	1	1	1	2	1	
105	1.42	3	N69°W	16°NE	3	2	1	2	2	10	2	1	3	1	
106	2.73	3	N62°W	19°NE	5	1	2	2	2	10	2	1	4	1	
107	0.62	3	S60°W	90°NW		2	1	2	2	10	2	1	3	1	
108	0.98	3	N68°W	18°NE	4	2	1	2	2	10	2	1	3	1	
109	2.80	3	S0°W	90°E	5	2	2	2	2	10	2	1	4	1	
110	3.42	3	S45°E	76°SW	5	2	2	2	2	10	2	1	3	1	

111	1.67	3	S12°W	45°SE		2	1	1	2	1	1	1	2	1	
112	2.04	3	S44°E	70°SW	4	2	1	1	2	1	1	1	2	1	
113	2.60	3	N80°W	2°NE	4	2	1	2	2	10	2	1	3	1	
114	2.92	3	N71°W	65°NE	5	2	2	2	2	10	2	1	4	1	
115	3.11	3	N57°W	90°NE	5	2	2	2	2	10	2	1	3	1	
116	3.26	3	N66°W	46°NE	4	2	1	1	2	1	1	1	2	1	
117	1.05	3	N64°W	8°NE		2	1	1	2	1	1	2	2	1	
118	1.27	3	S81°E	49°SW	4	4	1	2	2	10	2	1	3	1	
119	1.60	3	S60°E	75°SW	4	2	1	2	2	10	2	1	3	1	
120	1.75	3	S65°W	90°NW	3	2	1	2	2	10	2	1	3	1	
121	0.65	3	N79°W	54°NE		2	1	2	2	10	2	1	3	1	
122	2.65	3	N62°W	16°NE	5	1	1	1	2	1	1	2	2	1	
123	3.56	3	N83°W	78°NE	5	3	1	1	2	1	1	1	2	1	
124	4.25	3	S41°E	73°SW	5	3	1	2	2	10	2	1	3	1	
125	4.91	3	N66°W	19°NE	5	1	1	1	2	10	2	1	3	1	
126	0.58	3	N68°W	20°NE		1	1	1	2	1	1	2	2	1	
127	2.80	3	S56°W	90°SE	6	2	2	1	2	1	1	2	3	1	
128	3.27	3	N65°W	15°NE	4	2	2	1	2	1	1	1	3	1	
129	0.29	3	N90°E	90°N		2	2	1	2	1	1	1	2	1	
130	1.53	3	S46°E	74°SW	5	2	2	1	2	1	1	1	3	1	
131	1.96	3	S46°E	74°SW	4	2	2	1	2	1	1	1	3	1	
132	2.14	3	N66°W	80°NE	6	2	2	1	2	1	1	2	3	1	
133	2.26	3	N65°W	80°NE	4	2	2	1	2	1	1	1	3	1	
134	3.13	3	N66°W	65°NE	4	2	2	1	2	1	1	1	3	1	
135	0.76	3	S35°W	80°SE		2	2	1	2	1	1	1	2	1	
136	0.84	3	S41°E	76°SW	3	2	2	1	2	1	1	1	3	1	
137	1.16	3	N66°W	8°NE	4	1	1	1	3	1	1	1	3	2	
138	1.27	3	S75°W	68°NW	3	3	1	4	3	1	1	1	2	1	
139	1.93	3	S42°E	72°SW	5	3	1	5	3	1	1	1	3	1	
140	2.87	3	S10°W	57°SE	5	2	1	5	3	1	1	1	2	1	

141	3.24	3	S5°W	70°SE	4	4	1	4	4	1	1	1	3	1	
142	4.58	3	S75°W	64°SE	5	4	1	1	1	1	1	1	3	1	
143	5.38	3	S47°E	70°SW	5	2	1	1	3	1	1	1	3	1	
144	0.15	3	N66°W	19°NE		2	1	4	4	10	4	1	3	1	
145	0.69	3	N68°W	7°NE	4	4	1	4	4	10	4	1	3	1	
146	2.07	3	N63°W	19°NE	5	4	1	4	3	1	1	1	2	1	
147	2.44	3	N60°W	25°NE	4	2	1	4	3	1	1	1	3	1	
148	2.60	3	N80°W	2°NE	4	4	1	4	4	1	1	1	3	1	
149	3.12	3	N67°W	40°NE	5	4	1	1	1	1	1	1	3	1	
150	3.24	3	N60°W	60°NE	5	2	1	1	3	1	1	1	3	1	
151	3.62	3	N62°W	46°NE	4	2	1	4	3	1	1	1	3	1	
152	4.10	3	N76°W	67°NE	4	4	1	4	4	1	1	1	3	1	
153	0.51	3	S45°E	77°SW		2	1	1	3	1	1	1	2	1	
154	0.80	3	N67°W	8°NE	4	2	1	1	3	1	1	1	3	2	
155	1.56	3	N63°W	15°NE	5	4	1	1	3	1	1	1	3	2	
156	1.89	3	N74°W	18°NE	4	5	1	1	4	1	1	1	2	1	
157	2.10	3	N80°W	2°NE	4	2	1	4	3	1	1	1	3	1	
158	2.21	3	N61°W	74°NE	4	4	1	4	4	1	1	1	3	1	
159	2.30	3	N65°W	90°NE	5	4	1	1	3	1	1	1	3	2	
160	2.42	3	N68°W	73°NE	4	5	1	1	4	1	1	1	2	1	
161	0.51	3	N68°W	16°NE		2	1	1	4	1	1	1	2	1	
162	1.05	3	N63°W	19°NE	4	3	1	1	4	1	1	1	3	1	
163	1.09	3	N61°W	14°NE	2	3	1	1	4	1	1	1	2	1	
164	1.45	3	S41°E	70°SW	4	4	1	1	3	1	1	1	3	2	
165	0.62	3	N65°W	11°NE		3	1	1	2	1	1	1	3	1	
166	1.24	3	N64°W	17°NE	5	3	1	1	2	1	1	1	3	2	
167	2.33	3	N67°W	19°NE	5	2	1	1	3	1	1	1	3	2	
168	3.64	3	S8°W	80°SE	5	1	1	1	2	1	1	1	3	1	
169	0.29	3	N68°W	18°NE		2	1	1	2	1	1	1	2	1	
170	0.76	3	N24°W	64°NE	4	2	1	1	2	1	1	1	2	1	

171	1.09	3	N24°W	64°NE	4	3	1	2	2	1	2	1	3	1	
172	1.49	3	N65°W	9°NE	4	3	2	1	2	1	1	1	3	1	
173	1.53	3	S41°E	74°SW	2	3	2	2	2	1	1	1	3	1	
174	2.58	3	N34°W	73°NE	5	3	1	2	2	1	1	1	3	1	
175	4.36	3	S45°E	71°SW	5	2	1	1	1	1	2	1	2	2	
176	5.64	3	S41°E	69°SW	5	4	1	1	2	1	2	1	2	1	
177	1.09	3	S46°E	73°SW		3	1	4	2	10	2	1	3	1	
178	1.42	3	S5°W	76°SE	4	3	1	4	2	10	2	1	3	2	
179	1.93	3	N62°W	12°NE	4	4	1	2	3	1	1	1	3	1	
180	2.87	3	N25°W	75°NE	5	5	1	2	3	1	1	1	2	1	
181	0.25	3	N90°E	58°N		4	1	1	2	1	1	1	2	1	
182	0.69	3	S43°E	76°SW	4	4	1	1	2	1	1	1	2	1	
183	1.53	3	S66°W	90°NW	5	2	1	1	2	1	1	1	3	1	
184	3.09	3	S77°E	40°SW	5	3	1	4	2	10	4	1	3	1	
185	5.09	3	S44°E	70°SW	5	3	1	1	2	1	1	1	3	2	
186	0.80	3	S10°W	80°SE		2	1	1	3	1	1	1	2	1	
187	1.93	3	N48°W	87°NE	5	2	1	1	3	1	1	2	3	1	
188	1.94	3	S58°E	75°SW	1	4	1	1	3	1	1	1	2	1	
189	2.76	3	N86°W	80°NE	5	3	1	1	3	1	1	1	3	1	
190	4.36	3	N40°W	80°NE	5	3	1	1	3	1	1	1	3	1	
191	4.98	3	N50°W	65°NE	5	3	1	1	3	1	1	1	3	1	
192	0.80	3	N67°W	12°NE		3	1	3	3	1	1	1	2	1	
193	2.76	3	N55°W	85°NE	5	3	1	3	3	1	1	1	3	1	
194	3.20	3	N60°W	7°NE	4	4	1	1	3	1	1	2	3	1	
195	3.21	3	N28°W	90°NE	3	4	1	1	3	1	1	2	2	1	
196	5.13	3	S50°E	75°SW	5	5	1	1	3	1	1	2	3	1	
197	8.04	3	N59°W	15°NE	6	4	1	1	3	1	1	2	3	1	
198	0.55	3	N89°E	20°SW		3	1	1	3	1	1	2	3	1	
199	0.98	3	N0°	75°E	4	4	1	1	2	1	1	2	4	1	
200	1.10	3	N82°W	2°NE	3	4	1	1	3	1	1	2	2	1	
201	1.22	3	N66°W	87°NE	5	5	1	1	3	1	1	2	3	1	
202	1.41	3	N69°W	75°NE	6	4	1	1	3	1	1	2	3	1	
203	1.50	3	N80°W	80°NE	4	4	1	1	2	1	1	2	4	1	