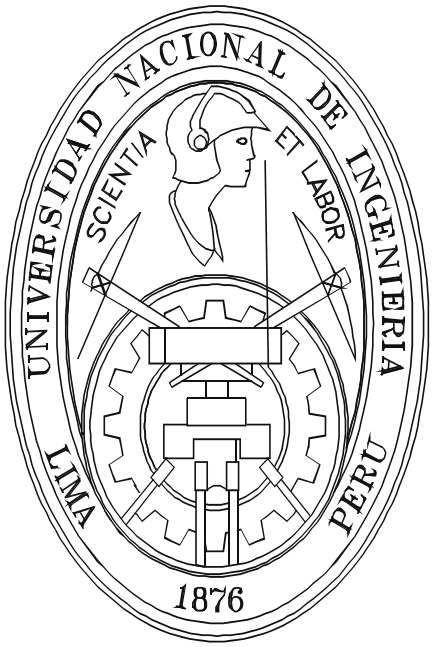
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

SECCION DE POSGRADO



INFLUENCIA DE LA ALTERACIÓN HIDROTERMAL EN LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO EN TALUDES DE TAJOS ABIERTOS

TESIS

Para optar el Grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Geotécnica

Ing. José Daniel Ale Véliz

Lima-Perú

2012

INFLUENCIA DE LA ALTERACIÓN HIDROTERMAL EN LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO EN TALUDES DE TAJOS ABIERTOS

Ing. José Daniel Ale Véliz

Presentado a la Sección de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Civil en cumplimiento parcial de los requerimientos para el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA GEOTÉCNICA

DE LA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

2012

Autor: Ing. José Daniel Ale Véliz

Recomendado: M.Sc.Ing. Carlos Huamán Egoavil

Asesor de la Tesis

Aceptado por: CE.Ing. Francisco Coronado del Aguila

Jefe de la Sección de Posgrado

2011; el autor autoriza a la UNI-FIC a reproducir la tesis en su totalidad o en partes.

Agradecimientos:

A mi asesor de tesis, Profesor Carlos Huamán, por el apoyo constante y las enseñanzas durante todos estos años de relación laboral y académica.

Al Jefe de la Sección del Posgrado de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería, Profesor Francisco Coronado, por iniciarme en mis estudios de posgrado.

A mi madre Isabel Véliz por su insistencia en la culminación del presente trabajo.

A mi novia Lisbeth Pimentel por su constante ayuda.

A la memoria mi querido abuelo Don José Ale Melchor.

CONTENIDO

Resumen 7
1. Introducción 8
2. Mineralización y Magmatismo 9
2.1. Introducción 9
2.2. Mineralización 9
2.2.1. Procesos Endógenos 9
2.2.2. Procesos Exógenos 10
2.3. Magmatismo 11
2.3.1. Magma 11
2.3.2. Fases de Consolidación de un Magma 12
2.4. Distribución de Yacimientos Minerales en Perú 12
3. Procesos de Alteración Hidrotermal 15
3.1. Alteración en Roca 15
3.2. Alteración Hidrotermal 15
3.3. Procesos Hidrotermales 15
3.4. Tipos de Alteración Hidrotermal 18
3.4.1. Propilítica (clorita, epidoto, actinolita) 18
3.4.2. Sericítica (sericita) 18
3.4.3. Potásica (biotita, K-feldespato, adularia) 18
3.4.4. Albítica (albita) 18
3.4.5. Silicificación (cuarzo) 19
3.4.6. Silicación (silicato y cuarzo) 19
3.4.7. Carbonatización (carbonatos) 19
3.4.8. Alunítica (alunita) 19
3.4.9. Argílica (minerales de arcilla) 19
3.4.10. Zeolítica (zeolita) 20
3.4.11. Serpentinización y Alteración de Talco (serpentina, talco) 20
3.4.12. Oxidación (óxidos) 20
3.4.13. Skarnificación 20
4. Clasificación del Macizo Rocoso 21
4.1. Introducción 21
4.2. Clasificación de Cargas Litostáticas – Terzaghi (1946) 21
4.3. Clasificación de Tiempo de Estabilidad – Stini y Lauffer (1958) 23
4.4. Índice de la Determinación de la Calidad de la Roca (RQD) – Deer (1967) 25
4.5. Clasificación de la Estructura de la Roca (RSR) – Wickham (1972) 27
4.5.1. Parámetro A, Geología 27
4.5.2. Parámetro B, Geometría 27
4.5.3. Parámetro C: Agua 27
4.6. Clasificación del Macizo Rocoso (RMR) – Bieniawski (1989) 29
4.7. Índice de Calidad de la Roca en Túneles (Q) – Barton (1974) 32
4.8. Índice de Resistencia Geológica (GSI) – Hoek y Brown (1980) 38
4.9. Índice del Macizo Rocoso (RMi) – Palmström (1995) 47
5. Resistencia de la Roca Intacta en Función de la Alteración Hidrotermal 52
5.1. Introducción 52
5.2. Determinación del Grado de Alteración de la Roca 52
5.3. Determinación de la Resistencia de la Roca 53
5.3.1. Resistencia a la Compresión Uniaxial (UCS) 53
5.3.2. Ensayo de Carga Puntual (PLT) 54
5.3.3. Relación entre la Resistencia a la Carga Puntual (Is) y la Resistencia a la Compresión Uniaxial (UCS) 55
5.4. Procesamiento de los Registros de Campo 58
6. Caso de Aplicación 68
6.1. Introducción 68

6.2. Obtención de la Resistencia Uniaxial No Confinada de la Roca..... 68
6.3. Clasificación del Macizo Rocoso en Función del Grado de Alteración..... 69
6.4. Análisis de Estabilidad de Taludes de un Tajo Abierto..... 81
7. Conclusiones..... 84
8. Recomendaciones..... 87
9. Referencias Bibliográficas..... 88

ANEXOS

Anexo A - Principales Yacimientos Minerales del Perú

Anexo B – Registro de Campo y Procesamiento de Data

Anexo C – Gráfica de Regresiones

Anexo D – Estadística

Anexo E – Análisis de Estabilidad de Taludes

RESUMEN

Los análisis de estabilidad de taludes difieren según se trate de suelos o rocas. Sin embargo, cuando se debe analizar la estabilidad de taludes de macizos rocosos alterados en los que su resistencia ha sido disminuida y se puede decir que se encuentra en el límite suelo-roca; esta alteración en roca puede darse por varios factores. En el Perú existen un gran número de yacimientos minerales los cuales han sido mineralizados mediante procesos hidrotermales. Estos procesos a parte de mineralizar una determinada zona, alteran a las rocas existentes, sobre las cuales posteriormente se deberán contruir estructuras mineras de importancia como túneles, tajos abiertos, pads de lixiviación, presas de relave, etc.

Este trabajo presenta una discusión sobre la influencia de la alteración hidrotermal en roca, y su importancia en la clasificación del macizo rocoso y el diseño de taludes de tajos abiertos. Partiendo de una breve reseña de los principales métodos de clasificación del macizo rocoso, de la revisión de información de registros de perforaciones diamantinas en yacimientos hidrotermales, y de la interpretación de los resultados de los ensayos de laboratorio (compresión uniaxial e índice de carga puntual). Se compara la resistencia de la roca intacta en función al grado de alteración del macizo rocoso, y se realiza una correlación de sus valores, para finalmente insertarlo en el análisis de estabilidad de taludes de tajo.

ABSTRACT

The slope stability analysis differs depending for soil and rocks. However, when we should analyze the slope stability of altered rock masses with their resistance decreased, we can say that we are in the soil-rock limit; this rock alteration can occur by several factors. In Peru there are a several number of mineral deposits which have been mineralized by hydrothermal processes. These processes mineralize a particular area, and also alter the existing rocks, where later on will build important mining structures such as tunnels, open pits, leach pads, tailings dams, etc.

This paper presents a discussion of the influence of hydrothermal alteration in rocks, and its importance in rock mass classification and design of slopes in open pits. Starting with a brief overview of the main methods of rock mass classification, review of information from diamond drillings logs in hydrothermal deposits, and the interpretation of the results of laboratory testing (uniaxial compressive and point load index). We compare the intact rock strength according to the degree of alteration of the rock mass, and perform a correlation of their values, and finally inserted into the analysis of open pit slope stability.

1 INTRODUCCIÓN

El objetivo de la presente tesis es encontrar una relación de la influencia de la alteración hidrotermal en la calidad del macizo rocoso en un yacimiento mineral, desde el punto de vista geomecánico a partir de la resistencia compresiva de la roca intacta, y el impacto de esta alteración en el diseño de los taludes de un tajo abierto.

Por su génesis, estos yacimientos han sido originados por procesos de mineralización, los cuales han modificado (en la mayoría de los casos desfavorablemente) las propiedades físicas y mecánicas de la roca caja que alberga los yacimientos, y sobre la cual se tendrán que diseñar los taludes del tajo, o la excavación subterránea que forma parte de la operación de una mina.

En el Capítulo 2 se realiza una breve descripción del fenómeno de mineralización de las rocas y los procesos de mineralización que se dan en la naturaleza, tanto exógenos como endógenos, haciendo énfasis en estos últimos debido al tema en estudio. En este capítulo también de define el proceso magmático, el magma y sus fases de consolidación.

En el Capítulo 3 se define el concepto de la alteración en rocas, y la alteración hidrotermal así como los procesos hidrotermales; además, se hace un repaso de los tipos de alteración hidrotermal más comunes en la naturaleza, presentando ejemplos de estos tipos en los yacimientos minerales del Perú.

En el Capítulo 4 se realiza una breve reseña de los principales métodos de clasificación del macizo rocoso en la historia de la mecánica de rocas, y se establece el impacto o influencia que tiene la alteración en las propiedades físicas y mecánicas de la roca intacta, y en consecuencia en la calidad del macizo rocoso.

En el Capítulo 5 se realiza una revisión de información de registros de investigaciones geotécnicas (perforaciones diamantinas) existentes en yacimientos hidrotermales, en especial la del grado de alteración de la roca (siguiendo la metodología de la ISRM); se realiza además la interpretación de los resultados de los ensayos de laboratorio de mecánica de rocas, en este caso en particular de los de resistencia a la compresión uniaxial e índice de carga puntual. Se realiza una comparación de la resistencia de la roca intacta en función al grado de alteración del macizo rocoso, y se proponen curvas de correlación mediante regresiones lineales, parabólicas, exponenciales y potenciales.

Finalmente, en el Capítulo 6, haciendo uso de la regresión exponencial se clasifican los tipos de roca analizados en el Capítulo 5 mediante el sistema GSI, y se obtienen los parámetros de las envolventes de resistencia a la resistencia al corte según el criterio de falla de Hoek-Brown. Como caso de aplicación de analiza una sección de un talud homogéneo.

2 MINERALIZACIÓN Y MAGMATISMO

2.1 Introducción

Para determinar la influencia de las alteraciones hidrotermales sobre la calidad de un macizo rocoso en términos de su resistencia, primero se debe conocer, qué factores y procesos generan este tipo de alteraciones, asociadas a un proceso de mineralización.

2.2 Mineralización

La mineralización es una suma de procesos naturales por los cuales los minerales son introducidos en las rocas, en mayor proporción a lo normal, en las rocas formando los depósitos minerales. Los depósitos minerales constituyen concentraciones anómalas de un elemento (o elementos) en la corteza terrestre (Evans, 1993). Cabe señalar, que si bien existe consenso respecto a los distintos procesos que pueden originar depósitos o yacimientos minerales, el origen de un tipo específico de yacimientos es en muchos casos controvertido y distintos autores tienen diferentes interpretaciones genéticas (Maksaev et al., 2007).

Los procesos de mineralización se pueden clasificar en: procesos endógenos y procesos exógenos. A continuación se describe brevemente cada uno de estos procesos.

2.2.1 Procesos Endógenos

Son aquellos procesos que tienen lugar por debajo de la superficie de la Tierra, tienen su origen en la liberación de su calor interno, y se manifiestan en una serie de fenómenos, algunos de los cuales pueden observarse directamente en la superficie (Higueras Higueras et al., 2005). Se mencionan algunos de estos procesos.

Cristalización magmática: Es la precipitación de minerales de mena (mineral del que se puede extraer un elemento, generalmente un metal) como constituyentes mayores o menores de las rocas ígneas en forma de granos diseminados o segregaciones. Los procesos normales de cristalización de magmas producen rocas volcánicas e intrusivas, algunas de las cuales pueden ser explotadas directamente, como por ejemplo como rocas ornamentales o como áridos para la construcción. Otras pueden contener minerales de importancia económica.

Se puede mencionar dentro de este tipo al granito, que es una roca enteramente cristalizada que se encuentra formando enormes masas conocidas como batolitos; su fraccionamiento natural es en bloques de forma rectangular, mediante grietas denominadas diaclasas que facilita su arranque. Se emplea en toda clase de obras por su gran resistencia; en el Perú abunda en Ancash, Arequipa, Lambayeque, Lima (Chilca) y Huancavelica (Villa Azul) en los diferentes plutones y batolitos del Perú (MINEM, 2001).

Segregación Magmática: Es la precipitación de minerales de mena por cristalización fraccionada y procesos relacionados durante la diferenciación magmática (formación de magmas de distintas composiciones). El término segregación magmática se utiliza para depósitos que han cristalizado directamente desde un magma.

Dentro de esta clasificación existen los que se forman por cristalización fraccionada que se encuentran comúnmente en rocas ígneas plutónicas, y aquellos producidos por la segregación de líquidos inmiscibles que se pueden encontrar asociados tanto a rocas plutónicas como volcánicas.

La cristalización fraccionada ocurre cuando un magma se enfría, empiezan a formarse en él cristales, empezando por los de aquellos minerales que tienen puntos de fusión más altos; frecuentemente estos cristales formados se separan del magma residual, cambiando su composición global. Un tipo diferente de segregación magmática involucra a la no miscibilidad de líquidos; un magma en enfriamiento algunas veces precipitará pequeñas partículas de un segundo magma que tiene una composición totalmente diferente. Estos dos magmas no se

mezclarán (no miscibles), y el principio químico que gobierna la precipitación es el mismo que gobierna la cristalización de un mineral a partir del magma: cuando la concentración de un mineral en particular dentro de un magma alcanza la saturación, la precipitación ocurre.

Como ejemplo, en el Perú se presenta este tipo de mineralización en la cromita de Tapo en la localidad de Tarma formada por la cristalización de una roca intrusiva ultramáfica (Tumialán, 2003), este yacimiento viene siendo explorado aproximadamente unos 40 años (Grandin et al.,1979); básicamente el uso de la cromita se asocia a la fabricación de materiales refractarios.

Hidrotermal: Es la depositación desde soluciones acuosas calientes, las cuales pueden tener origen magmático, metamórfico, meteórico, marino o de formación (connatas). La formación de muchos depósitos minerales metálicos involucra la participación de soluciones acuosas calientes. La mayor parte de los depósitos metálicos de la Cordillera de los Andes son de origen hidrotermal, los fluidos participantes en estos procesos se denominan soluciones hidrotermales y existen distintas evidencias que indican su importancia como mineralizadores.

En el Perú, este tipo de mineralización se encuentra en los yacimientos de Uchucchacua y Raura (Oyón), el yacimiento de plata de Cailloma (Arequipa), el yacimiento polimetálico de Hércules (Ancash), y las vetas San Rafael y Santa Bárbara (Puno), entre otros (Tumialán, 2003). Cabe resaltar los depósitos auríferos de Yanacocha (Teal y Benavides; 2010), de Pierina (Park-Li; 2005) y de Alto Chicama (Araneda; 2003).

Metamórfico: A través del metamorfismo regional y de contacto produciendo minerales industriales. Del metamorfismo de muchas rocas puede producirse materiales que tienen uso industrial directo y se explotan en canteras, tales como los mármoles (metamorfismo de contacto o regional de calizas y dolomitas) y las serpentinitas y menor de interés se presenta en otro tipo de rocas como los gneises (Higueras Higueras et al., 2005).

En el caso del mármol, los yacimientos que se pueden mencionar en el Perú son: las calizas negras marmolizadas en Virú (La Libertad), el mármol de Huaccramarca (Ayacucho), el yacimiento Sandra de Ulcumayo (Junín) entre otros (MINEM, 2001),

2.2.2 Procesos Exógenos

Son aquellos procesos que se generan por la exposición de las rocas a la acción de los agentes externos de nuestro planeta (atmósfera, hidrósfera) y que producen una serie de efectos como alteraciones, cambios bruscos de temperatura, disolución y transporte de componentes, entre otros. A continuación se describe algunos de estos procesos de manera breve.

Exhalativos superficiales volcanogénicos: Exhalación de soluciones hidrotermales en la superficie, usualmente en condiciones submarinas y originando cuerpos estratiformes de sulfuros metálicos. Existe un grupo de depósitos minerales llamados exhalativos que incluyen a los sulfuros masivos volcanogénicos, los que están asociados a secuencias volcánicas submarinas y a depósitos de sulfuros en secuencias sedimentarias. Actualmente existe consenso en que estos depósitos se forman por efluentes hidrotermales submarinos, aunque no hay consenso si las soluciones que precipitan los sulfuros en los fondos marinos corresponden a fluidos de derivación magmática o del agua marina en circulación.

Como parte de este tipo de yacimiento, se puede mencionar a los sulfuros masivos de la Cuenca Lancones ubicada en el Departamento de Piura (Ríos et al., 2008). Esta cuenca por sus características geológicas, mineralógicas y litológicas, puede ser considerada como el principal objetivo en la prospección por yacimientos vulcanogénicos de sulfuros masivos en el Perú (Ríos, 2004).

Sedimentación: Los procesos sedimentarios pueden dar origen a concentraciones de ciertos componentes de interés económico. Estos pueden ser alóctonos (clásticos), que son la concentración de minerales pesados y durables en sedimentos clásticos formando placeres. Los procesos autóctonos son la precipitación de minerales en ambientes sedimentarios adecuados, con o sin la intervención de organismos biológicos.

En parte de la llanura amazónica peruana (Madre de Dios) se ha producido la deposición de depósitos aluvio–fluviales, en los que están concentrados mayormente los yacimientos auríferos de placer (MINEM, 1997).

Meteorización: Puede ser residual, producto de la lixiviación de los elementos solubles de las rocas dejando concentraciones de elementos insolubles en el material restante; supergenos, producto de la lixiviación y la oxidación de elementos valiosos de la parte superior de depósitos minerales y su precipitación en profundidad con concentraciones más altas; y finalmente exóticos, producto de la lixiviación de elementos metálicos de depósitos primarios y transporte en solución en aguas subterráneas y re-deposición dentro de gravas y rocas a cierta distancia del depósito madre.

Yacimientos exóticos se pueden apreciar en la zona norte de Chile, productos de la migración lateral de sistemas porfiríticos (Munchmeyer, 1994).

2.3 Magmatismo

El magmatismo incluye los procesos implicados en la génesis y la evolución de los magmas (Higueras et al., 2005); los procesos magmáticos están altamente relacionados con en la generación de procesos de mineralización endógena, dentro de los cuales se encuentran los procesos hidrotermales. Por tal motivo, se definirá en qué consiste un proceso magmático y cuáles son sus principales características.

2.3.1 Magma

Se entiende por magma a una mezcla de material rocoso fundido, de composición preferentemente silícea que contiene gases, agua y minerales sólidos dispersos. Las rocas formadas por el enfriamiento de los magmas se llaman rocas ígneas.

- Si su enfriamiento y consolidación se producen en el interior de la tierra, reciben el nombre de plutónicas o intrusivas.
- Si estos procesos ocurren en la superficie terrestre se llaman rocas volcánicas.

El magma se genera por la fusión total o parcial de rocas profundas de la corteza inferior y del manto superior. Los materiales de estas zonas se encuentran en condiciones cercanas al punto de fusión, siendo lo más probable que sólo una pequeña fracción del material se encuentre fundida y que la mayor parte de las rocas siga en estado sólido, a este fenómeno se denomina fusión parcial.

La fracción fundida es un líquido menos denso que la fracción sólida a través de la que asciende. El magma se almacena en bolsas denominadas cámaras magmáticas a profundidades menores. Los factores físicos que condicionan la fusión de un magma son la presión y la temperatura, que a continuación se describen brevemente:

Presión: Se debe al peso de los materiales que tiene encima y aumenta proporcionalmente a su espesor y densidad. Un aumento de la presión provoca un aumento del punto de fusión de las rocas o minerales.

Temperatura: Se calcula que la temperatura en zonas profundas de la corteza continental debe oscilar entre 500º y 700 ºC, las temperaturas en el manto son mayores, calculándose que a unos 100 km de profundidad será del orden de los 1.500 ºC.

Para que se genere un magma es necesario que suba la temperatura o que descienda la presión.

2.3.2 Fases de la Consolidación de un Magma

Se producen tres fases sucesivas delimitadas por intervalos de temperatura y que presentan caracteres especiales.

Fase ortomagmática: Constituye la fase principal de la cristalización magmática. Abarca desde el origen del magma hasta que éste desciende su temperatura hasta los 500 ºC.

Fase pegmatítico-neumatolítica: Tras la fase ortomagmática queda un líquido residual rico en volátiles, a partir de este líquido se produce la cristalización de micas, feldespatos, minerales de tierras raras (berilo), y cuarzo y se originan las vetas pegmatíticas. Su temperatura media es de 500 ºC aproximadamente.

Fase hidrotermal: Entre 400 y 100 ºC una solución residual rica en agua, cuya fase más importante es la líquida, escapa por las grietas y las cavidades de las rocas vecinas. Parte de estas soluciones pueden llegar a la superficie en forma de géiseres, fuentes termales o fumarolas.

2.4 Distribución de Yacimientos Minerales en Perú

Del Atlas de Minería y Energía (MINEM, 2001) se puede obtener la distribución de los principales yacimientos minerales del Perú. La Figura 2.1 muestra la distribución de los principales yacimientos no metálicos, tales como yacimientos de caliza, yeso, arcilla, rocas ornamentales, carbón entre otros. La Figura 2.2 muestra los yacimientos metálicos de mayor importancia, tales como los de oro, estaño, cobre, plata, hierro, polimetálicos, entre otros.

La información detallada de la distribución de los yacimientos minerales mostrados en las Figuras 2.1 y 2.2, se muestran en el Anexo A.

Figura 2.1 – Principales Unidades de Producción Minera No Metálica (MINEM, 2001).

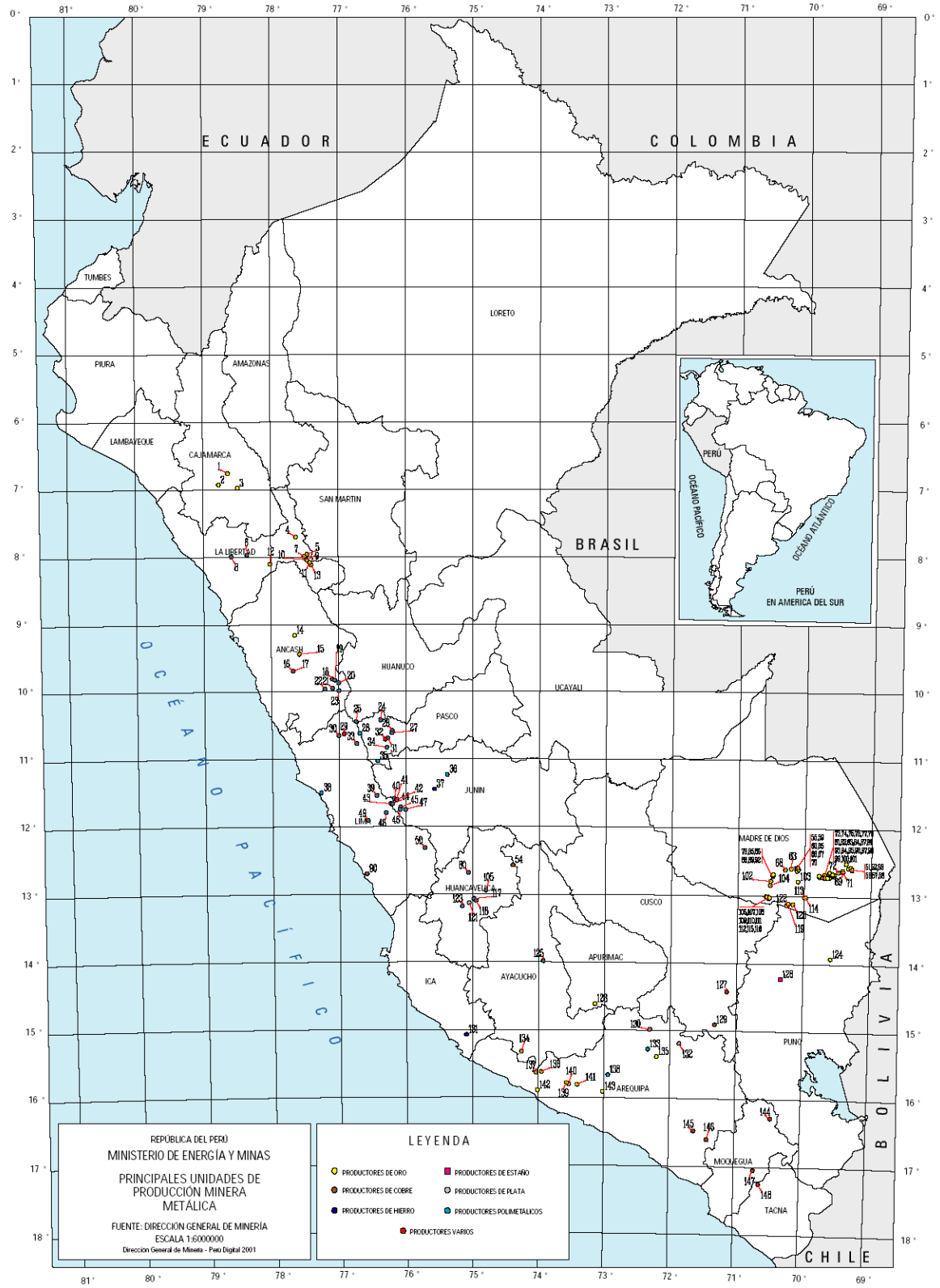


Figura 2.2 – Principales Unidades de Producción Minera Metálica (MINEM, 2001).

3 PROCESOS DE ALTERACIÓN HIDROTERMAL

3.1 Alteración en Roca

El término alteración implica modificaciones complejas de la roca pre-existente o primaria. Estas modificaciones abarcan cambios mineralógicos, texturales y de composición. El buen entendimiento de estas relaciones complejas, depende de un enfoque descriptivo sistemático multidisciplinario que incluye aspectos de vulcanología, geología de yacimientos, petrología, geoquímica, y mecánica de rocas. Desafortunadamente relativamente pocos estudios han integrado adecuadamente estos conjuntos de datos (Gifkins et al., 2005).

La integración de las observaciones de las propiedades físicas y de los datos geoquímicos es una poderosa herramienta en el estudio de las rocas alteradas. Las características físicas y las concentraciones de la parte inmóvil de las rocas alteradas pueden ayudar a identificar la roca original, donde los minerales y las texturas primarios son concluyentes (Paulick y McPhie, 1999; Barrett et al., 2001). Los cambios físicos y químicos que produjeron la alteración pueden ayudar a determinar el grado de alteración (es decir, la intensidad de alteración), el estilo de alteración (es decir, isoquímica versus metasomática) y a discriminar entre los procesos de alteración, como diagénesis, metamorfismo y alteración hidrotermal (Offler y Whitford, 1992; Gifkins y Allen, 2001). Además, este enfoque integrado puede conducir al desarrollo de guías de exploración hacia yacimientos minerales (Large et al., 2001).

3.2 Alteración Hidrotermal

El término “alteración hidrotermal” como su nombre lo dice, hace referencia al efecto de las aguas o fluidos de altas temperaturas sobre las rocas, las cuales se elevan desde la profundidad hacia la superficie. Estos fluidos hidrotermales son en su mayoría de origen magmático (Giggenbach, 1997). Implica una interacción química entre los elementos de la roca primaria y los elementos (iones disueltos en gran cantidad) llevados en solución a través del flujo hidrotermal (Fitcher, 2000; Zharikov et al., 2007). Si producto de esta interacción entre la roca primaria y el fluido hidrotermal hay sustracción o adición de compuestos químicos, se denomina metasomatismo (Zharikov et al., 2007). La alteración hidrotermal comúnmente está localizada dentro de un radio de unos pocos metros de las fallas o fracturas principales, y puede ocurrir a lo largo de zonas de un kilómetro de ancho o más (Whaltam, 2002).

Debido a los cambios químicos y además mineralógicos en la roca primaria, la alteración hidrotermal. Puede ser considerada como un proceso de transformación química y mineralógica de la roca primaria en un sistema termodinámico abierto. A pesar de existir estos cambios químicos y mineralógicos, no existe un cambio de volumen, por lo que es un proceso isócoro. En la naturaleza se reconocen variados tipos de alteración hidrotermal, caracterizados por asociaciones de minerales específicos. Los distintos tipos de alteración e intensidad son dependientes de factores tales como composición del fluido hidrotermal, la composición de la roca encajonante, la temperatura, la acidez (pH), la energía, la relación agua/roca y el tiempo de interacción, entre otros (Townley, 2005).

El principal producto de los procesos de alteración hidrotermal son por lo general nuevos minerales hidratados y débiles, por lo que, normalmente la roca alterada hidrotermalmente es significativamente más débil que la roca primaria.

3.3 Procesos Hidrotermales

Así como la cristalización avanza dentro de una intrusión ígnea, un líquido residual magmático se acumula. Los magmas de composición ácida (como el granito) son frecuentemente ricos en componentes volátiles y también pueden contener pequeñas cantidades de muchos metales.

Como producto de la cristalización y con la formación de minerales como el feldespato y el cuarzo, que forman la mayor parte de la roca resultante, los metales que originalmente estaban diseminados en todo el magma y no son incorporadas en los feldespatos y en los otros cristales, sino se concentran en los fluidos residuales. Estos también contienen a los componentes volátiles, y por lo tanto son capaces de contener el fluido a temperaturas lo más bajas posibles para que no ocurra el efecto de flujo de los elementos volátiles.

Si, a continuación, se forman fracturas tensionales en la parte exterior de la masa granítica (una vez solidificada) y de sus rocas adyacentes, así como ocurre en las extensas partes superiores (techo) de un magma ascendente o con la contracción de una intrusión al enfriarse; estas fracturas se convierten en canales dentro de los cuales los fluidos residuales migran, para ahí impregnar y alterar la roca en contacto con el granito. Se trata de un contacto metasomático (del griego: cambio de sustancia). Los minerales que se cristalizan directamente desde los fluidos pueden ser descritos como:

- Depósitos neumatolíticos, debido a la acción de emanaciones de gases a alta temperatura (600°C o más), incluida el agua en estado gaseoso; y

- Depósitos hidrotermales, debido a la operación de líquidos acuosos calientes, a temperaturas cercanas a 600°C a menores.

Es difícil establecer una distinción clara entre los minerales hidrotermales de mayor temperatura con aquellos de origen neumatolítico. Las reservas económicas se producen cuando estos depósitos se concentran en venas y otros vacíos. Las venas y vetas consisten en el relleno de las fisuras y de las fracturas desarrolladas en la parte externa de un cuerpo intrusivo o en la parte superior (techo) y en las rocas de respaldo o caja circundantes. Las venas que contienen los minerales metalíferos se denominan vetas. Los metales que están comúnmente asociados a esta forma en rocas ácidas, incluyen al cobre, al plomo, al zinc, al arsénico, al estaño, al tungsteno, al oro y a la plata.

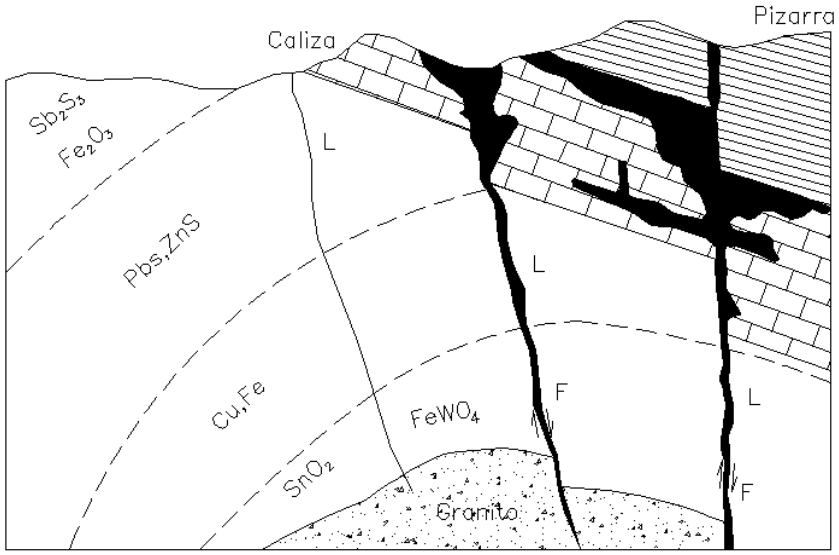


Figura 3.1 – Sección vertical ilustrando vetas (L) emanando de una intrusión profunda, con zonificación de depósitos minerales. F=falla, color negro=depósito mineral masivo (Blyth et al. 2006).

Los componentes volátiles, que consisten principalmente de vapor de agua pero a menudo también incluyen flúor, cloro, boro y otros gases, actúan como portadores de los metales en el área de mineralización alrededor de la intrusión. A medida que los fluidos salen hacia afuera a las zonas donde prevalecen las temperaturas más bajas y las presiones adecuadas, depositan por ejemplo (ver Figura 3.1), al estaño como casiterita (SnO_2); al tungsteno como wolframita [$(Fe,Mn)WO_4$]; y al cobre como calcopirita, ($CuFeS_2$). Por lo tanto las vetas de estaño (Sn) y tungsteno (W) pueden formarse dentro y alrededor de las masas graníticas; y pueden ser

considerados como de origen neumatolítico e hidrotermal. Los minerales tales como el cuarzo (SiO_2), la pirita (FeS_2), el topacio [$Al_2SiO_4(OH,F)_2$] y la turmalina [$(Na,Ca)(Al,Fe,Li)(Al,Mg,Mn)_6(BO_3)_3(Si_6O_{18}).(OH,F)_4$)] están comúnmente asociados a los minerales metalíferos en vetas. El hierro (Fe), el plomo (Pb) y el zinc (Zn) también pueden ser llevados hacia el exterior y depositados como hematita (Fe_2O_3), galena (PbS) y blenda o esfalerita (ZnS) en las juntas y las fracturas de las rocas más frías a distancias algo mayores de la fuente ígnea en depósitos hidrotermales.

Las últimas etapas de cristalización envuelven la circulación de abundantes cantidades de agua. Algunas provienen del magma, pero en mayor volumen provienen de la roca caja circundante y son atraídos hacia el magma por las celdas de convección extensivas que rodean la cámara magmática (ver Figura 3.2).

Pueden ser transferidas millones de toneladas de agua de esta manera y su contenido diluido de sólidos disueltos precipita para formar con el tiempo concentraciones de minerales de gran riqueza. Estos se fusionan naturalmente con los productos del contacto metasomático pero se extienden mucho más adentro de la roca circundante y han formado algunos de los más grandes y más importantes depósitos minerales. Una notación especial es la disolución de la caliza por fluidos hidrotermales (ver Figura 3.1).

Donde las fisuras y los poros son agrandados y rellenados, se forman los depósitos minerales diseminados; cuando las fracturas más grandes son ampliadas y las cavidades son creadas y rellenadas, se acumulan los depósitos masivos. Dichas reservas concentradas no se limitan a la caliza y pueden llenar los vacíos disponibles en cualquier roca, pero tienden a estar notablemente bien desarrolladas en estratos solubles. En Inglaterra la caliza carbonífera es roca encajonante de muchos depósitos tales como la galena (PbS), la blenda o esfalerita (ZnS) y la calcita ($CaCO_3$).

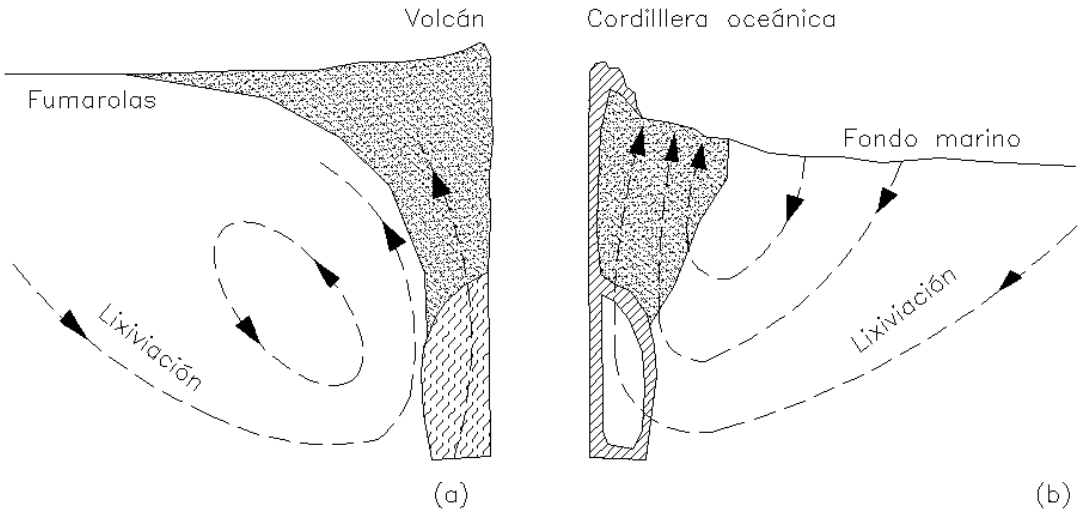


Figura 3.2 – Sección vertical ilustrando a través de (a) una intrusión continental, (b) cordillera oceánica, para ilustrar las celdas de convección (Blyth et al. 1988).

Los minerales generalmente formados bajo condiciones hidrotermales de alta temperatura son principalmente los sulfuros de hierro, cobre, plomo y zinc. Estos se forman en asociación con los minerales no-metálicos tales como el cuarzo (SiO_2), la fluorita (CaF_2), la calcita ($CaCO_3$) o la dolomita [$CaMg(CO_3)_2$]. Entre los depósitos formados a temperaturas intermedias algunos son vetas de plomo (Pb) y zinc (Zn), ciertas vetas de cuarzo aurífero y algunos depósitos de cobre (Cu) y pirita (FeS_2). El plomo (Pb) y el zinc (Zn) se encuentran comúnmente como sulfuros, la galena (PbS) y la blenda o esfalerita (ZnS), pero a veces en compuestos con arsénico (As) y antimonio (Sb), a menudo en asociación con la pirita (FeS_2) y el cuarzo (SiO_2), la calcita ($CaCO_3$), la fluorita (CaF_2) o la baritina ($BaSO_4$).

Los depósitos formados bajo condiciones hidrotermales de baja temperatura se producen a profundidades someras o superficiales y a menudo se asocian con las andesitas. Incluyen cierta presencia de oro, en el que el oro (junto con algo de plata) está combinado como un teluro. Los minerales de teluro de oro son extraídos en Kalgoorlie, Australia y fueron antiguamente extraídos en Cripple Creek, Colorado. El mercurio, combinado como cinabrio (HgS) y el antimonio, como estibina (Sb_2S_3), son otros dos ejemplos de minerales de fuentes hidrotermales de baja temperatura. A veces están asociados en vetas con minerales del grupo de la zeolita, lo que indica una temperatura de formación no mayor a 2000°C (Blyth y De Freitas 2006).

3.4 Tipos de Alteración Hidrotermal

Existen tantos tipos de alteración hidrotermal como tipos de yacimientos de minerales existen (Faulkner, 1992). Los siguientes son los más comunes:

3.4.1 Propilítica (clorita, epidoto)

La alteración propilítica vuelve a las rocas de color verde, debido a que los nuevos minerales formados son de este color. Estos minerales incluyen a la clorita, y el epidoto. Normalmente se forman de la descomposición de minerales con hierro y magnesio, tales como la biotita, los anfíboles o los piroxenos, aunque también puede reemplazar a los feldespatos. La alteración propilítica se produce a temperaturas relativamente bajas y formará generalmente una configuración distal con respecto a los otros tipos de alteración.

3.4.2 Sericítica (sericita)

La alteración sericítica altera la roca al mineral de sericita, el cual es una mica blanca de grano muy fino; por lo general se forma de la descomposición de los feldespatos, por lo que ésta sustituye a los feldespatos. En campo, su presencia en una roca puede ser detectada por la suavidad de la roca, ya que es fácilmente rayable; también tiene un aspecto bastante grasiento (cuando se presenta en abundancia), y su color mayormente es blanco, amarillento, marrón dorado o verdoso. La alteración sericítica implica condiciones de pH bajo (ácida). La alteración consistente en sericita + cuarzo se le llama alteración "fílica" o sericítica, la que asociada con depósitos de pórfido de cobre puede contener cantidades apreciables de pirita de grano fino diseminada, la cual está directamente asociada con el evento de la alteración.

3.4.3 Potásica (biotita, K-feldespato, adularia)

La alteración potásica es un tipo de alteración de temperatura relativamente alta que resulta del enriquecimiento de potasio; este tipo de alteración puede formarse antes de la cristalización completa del magma, como es evidenciada por los patrones de típicamente sinuosos y más bien discontinuos de las venas. La alteración potásica puede ocurrir en entornos plutónicos más profundos, donde se formará la ortoclasa, la biotita (mica de color negro), o en entornos poco profundos, entornos volcánicos donde la adularia es formada.

3.4.4 Albítica (albita)

La alteración albítica forma la albita, o la plagioclasa sódica, y su presencia es usualmente un indicativo del enriquecimiento de sodio (Na). Este tipo de alteración también es de relativamente alta temperatura; la mica blanca paragonita (rica en sodio) también se forma en ocasiones. No es común la presencia de albita en las rocas ígneas.

3.4.5 Silicificación (cuarzo)

La silicificación es la adición de sílice secundario (SiO_2), y es una de las alteraciones más comunes, que ocurre de muchos estilos diferentes. Uno de los estilos más comunes se llama "inundación silícea", que resulta del reemplazo de la roca con cuarzo microcristalino (cuarzo de grano fino); la porosidad de la roca facilitará este proceso. Otro estilo común de silicificación es la formación de fracturas cortamente espaciadas en una red o de forma "vetiforme enrejada", que están llenas de cuarzo. Las inundaciones silíceas y/o las vetas enrejadas a veces están presentes en la roca caja a lo largo de los márgenes de las venas de cuarzo. La silicificación puede ocurrir en una amplia gama de temperaturas, la temperatura es mayormente de alta temperatura.

3.4.6 Silicación (silicato y cuarzo)

La silicación es un término general para la adición de sílice mediante la formación de cualquier tipo de silicato; estos se forman comúnmente en asociación con el cuarzo. Los ejemplos incluyen la formación de la turmalina, la biotita o el granate. La silicación ocurre a alta temperatura. El ejemplo clásico es el reemplazo de la caliza (carbonato de calcio) por silicatos, formando un "skarn", que se suelen formar en el contacto de las intrusiones ígneas. Un subconjunto especial de silicación es un tipo de alteración llamado "greisenización", que es la formación de un tipo de roca llamada "greisen", la cual es una roca que contiene venas paralelas de cuarzo, muscovita y otros minerales (a menudo turmalina). Las venas paralelas se forman en la zona de techo de un plutón o en las rocas caja adyacentes (si hay fracturas abiertas). Con el veteado intenso, algunas rocas caja pueden ser completamente reemplazadas por nuevos minerales similares a los que forman las venas.

3.4.7 Carbonatización (carbonatos)

La carbonitización es un término general para la adición de cualquier tipo de carbonato; los más comunes son la calcita, la ankerita y la dolomita. La carbonatización también está generalmente asociada con la adición de otros minerales, algunos de los cuales incluyen el talco, la clorita, la sericita y la albita; la alteración de carbonato puede formar patrones zonales alrededor de depósitos minerales mayormente del tipo ricos en hierro que se producen próximos al depósito.

3.4.8 Alunítica (alunita)

La alteración alunítica está estrechamente asociada con ciertos ambientes de aguas termales; la alunita es un sulfato de aluminio y potasio hidratado que tiende a formar filones masivos en algunas zonas. La presencia de alunita sugiere que hubo un alto contenido de gas SO_4, el cual se cree que es el resultado de la oxidación de los sulfuros, está en los depósitos diseminados de oro de baja ley cerca de cuellos volcánicos como Yanacocha.

3.4.9 Argílica (minerales de arcilla)

La alteración argílica es la que introduce uno de cualquiera de la amplia variedad de minerales de arcilla, incluyendo la caolinita, la esmectita y la illita; la alteración argílica es generalmente un evento de mediana a baja temperatura, y algunos pueden ocurrir en condiciones atmosféricas. Los primeros signos de alteración argílica incluyen el blanqueamiento de los feldespatos. Una sub-categoría especial de alteración argílica es la "argílica avanzada", que consiste de caolinita + cuarzo + hematita + limonita, feldespatos lavados y modificados a sericita. La presencia de este ensamblaje sugiere condiciones de pH bajos (muy ácidos); en temperaturas más altas, la pirofilita (mica blanca) se forma en lugar de la caolinita.

3.4.10 *Zeolítica (zeolita)*

La alteración zeolítica a menudo está asociada con ambientes volcánicos, pero puede ocurrir a distancias considerables de los mismos; en entornos volcánicos, la zeolita reemplaza la matriz vítrea. Las zeolitas son minerales de baja temperatura, por lo que generalmente están formadas durante las etapas menguantes de la actividad volcánica, en ambientes cercanos a la superficie.

3.4.11 Serpentinización y Alteración de Talco (serpentina, talco)

La serpentinización forma serpentina, el cual se le reconoce por la suavidad, el aspecto ceroso, verdoso y a menudo en hábitos masivos; este tipo de alteración sólo es común cuando las rocas encajonantes son de composición máfica a ultramáfica. Estos tipos de rocas tienen contenidos de hierro y magnesio relativamente más altos; la serpentina es un mineral de temperatura relativamente baja. El talco es muy similar a la serpentina, pero su aspecto es ligeramente diferente (pálido a blanco); la alteración de talco indica que una mayor concentración de magnesio existió durante la cristalización.

3.4.12 Oxidación (óxidos)

La oxidación es simplemente la formación de cualquier tipo de óxido; los más comunes en formarse son la hematita y la limonita (óxidos de hierro), pero pueden formarse muchos tipos diferentes, dependiendo de los metales que están presentes. Los sulfuros son a menudo fácilmente meteorizados ya que son susceptibles a la oxidación y a su sustitución por óxidos de hierro. Los óxidos se forman más fácilmente en la superficie o en ambientes cerca de la superficie, donde el oxígeno de la atmósfera puede fácilmente intervenir; el rango de temperatura para la oxidación es variable, puede ocurrir en condiciones superficiales o atmosféricas, o esta puede ocurrir como resultado de la existencia de fluidos de baja a moderada temperatura.

3.4.13 *Skarnificación*

Consiste en el desarrollo de silicatos de Ca, Mg, Mn, Fe (wollastonita, granate, olivinos, piroxenos, uralita, escapolita, anfíboles), cuarzo y magnetita en calizas, dolomías, pizarras y esquistos calcáreos. El depósito mineral puede o no estar asociado con este proceso. Esta alteración puede ser esencialmente isoquímica con remoción de CO_2 y otras veces incluye la introducción de sílice, Mg, Fe y volátiles (F, Cl, B y H_2O), con una extensa pérdida de CO_2. Se le conoce como skarn o tactita indicado en 3.4.6 silicación.

4 CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

4.1 Introducción

En este capítulo se realiza una breve revisión de los principales métodos de clasificación de macizos rocosos mayormente usados en la práctica ingenieril para analizar la incidencia que tiene la alteración en el macizo rocoso. Se mencionan a continuación los principales métodos de clasificación desarrollados durante la historia de la mecánica de rocas, muchos de estos han sido desarrollados netamente para el diseño de túneles, pero igualmente se mencionarán sin entrar a detalles; podemos describir brevemente los siguientes:

- Clasificación de Cargas Litostáticas – Terzaghi (1946).
- Clasificación del Tiempo de Estabilidad – Stini y Lauffer (1958).
- Índice de la Determinación de la Calidad de Roca (RQD) – Deere (1967).
- Clasificación de la Estructura de la Roca (RSR) – Wickham (1972).
- Clasificación del Macizo Rocoso (RMR) – Bieniawski (1973, 1989).
- Índice de Calidad de la Roca en Túneles (Q) – Barton (1974).
- Índice de Resistencia Geológica (GSI) – Hoek y Brown (1980).
- Índice de Macizo Rocoso (RMi) – Palmström (1995)

4.2 Clasificación de Cargas Litostáticas – Terzaghi (1946)

La primera referencia a la utilización de la clasificación de un macizo rocoso para el diseño de soportes de un túnel se encuentra en un artículo de Terzaghi et al. (1946), en el que las cargas litostáticas, soportados por cimbras de acero, son estimadas en base a una clasificación descriptiva. Resulta interesante examinar las descripciones del macizo rocoso realizadas por Terzaghi, incluidas en su trabajo original, ya que él presta atención a características que dominan el comportamiento del macizo rocoso, especialmente en situaciones donde la gravedad constituye la fuerza motriz dominante. Las definiciones claras y concisas y las observaciones prácticas incluidas en estas descripciones son buenos ejemplos del tipo de información ingenieril y geológica, que son más útiles en un diseño (Hoek, 1988).

Terzaghi et al. (1946) realizó una clasificación cualitativa de la siguiente manera:

- Roca Intacta: No contiene discontinuidades ni fisuras. Por lo tanto, si se rompe, se rompe a través de la roca sana. Algunas astillas pueden caer desde el techo o bóveda después de varias horas o días de la voladura, como causa de un daño a la roca debido a la voladura. A esto se le conoce como una condición de desprendimiento. La roca dura e intacta puede encontrarse también en la condición de estallido que implica el desprendimiento espontáneo y violento de lajas de roca de los lados o del techo de túnel.

- Roca Estratificada: Consiste en estratos individuales con poca o ninguna resistencia a la separación a lo largo de los contactos entre los estratos. Los estratos pueden o no pueden estar debilitados por discontinuidades transversales. En este tipo de roca la condición de desprendimiento es bastante común.

- Roca Moderadamente Diaclasada: Contiene discontinuidades y grietas, pero los bloques entre las discontinuidades están localmente unidos o íntimamente encajados tal que las paredes verticales no requieren soporte lateral. En este tipo de rocas, pueden encontrarse condiciones tanto de estallido como de desprendimiento.

- Roca Agrietada en Bloques: Se compone de fragmentos de roca químicamente intactos o casi intactos que están completamente separados unos de otros e imperfectamente encajados. En estas rocas, las paredes verticales pueden requerir soporte lateral.

- Roca Triturada Químicamente Intacta: Tiene el comportamiento en función de cómo avanza la trituración. Si la mayoría o la totalidad de los fragmentos son tan pequeños como los granos de arena fina y una recementación no ha ocurrido, la roca triturada por debajo del nivel freático muestra las propiedades de una arena saturada.

- Roca Comprimida: La compresión avanza lentamente dentro del túnel sin un aumento de volumen perceptible. Una condición previa a la compresión es un alto porcentaje de partículas microscópicas y sub-microscópicas de minerales micáceos o minerales de arcilla con una baja capacidad de dilatación.

- Roca Expandida: La dilatación avanza dentro del túnel principalmente a causa de su propia expansión. La capacidad para dilatarse parece limitarse a aquellas rocas que contienen minerales de arcilla como la montmorillonita, con una alta capacidad de expansión.

En función a cada uno de estos tipos de roca Terzaghi propuso cual es la carga litostática sobre la bóveda de un túnel en función del ancho del mismo tal como se muestra en la Figura 4.1. La Tabla 4.1 muestra los valores asignados por Terzaghi a los componentes mostrados en la Figura 4.1,cabe recalcar que los valores fueron considerados en pies y que el ancho B_i de la roca que deslizará, dependerá del tipo de roca y de las dimensiones H_t (altura del túnel) y B (ancho del túnel).

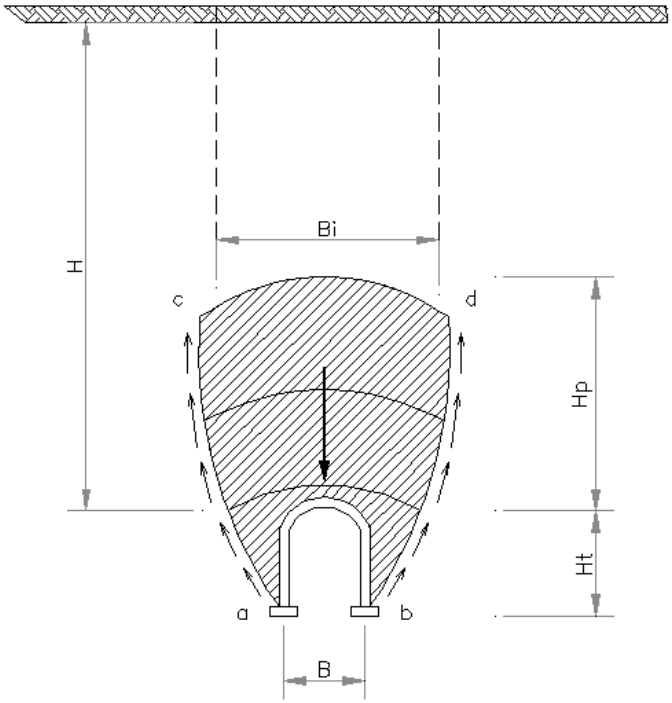


Figura 4.1 – Sección típica de un túnel usado en la clasificación de cargas litostáticas (Terzaghi et al. 1946).

Tabla 4.1 – Clasificación de Cargas Litostáticas (Terzaghi et al. 1946).

ESTADO DE LA ROCA	CARGA DE H_p (pies)*	OBSERVACIONES
1. Roca Intacta	0	Solo se necesitará refuerzo escaso si hay desprendimiento o estallido.
2. Roca Estratificada**	0 a 0.5 B	Refuerzo escaso más que nada como protección contra desprendimientos. La carga puede cambiar en forma errática de un punto a otro.
3. Roca Moderadamente Diaclasada	0 a 0.25 B	
4. Roca Medianamente Agrietada en Bloques	0.25 B a 0.35 (B + H_t)	No hay presión lateral.
5. Roca Muy Agrietada en Bloques	0.35 (B + H_t) a 1.10 (B + H_t)	Poca o ninguna presión lateral.
6. Roca Triturada Químicamente Intacta	1.10 (B + H_t)	Presiones laterales considerables. Los efectos de las infiltraciones hacia el piso del túnel requieren apoyo continuo para las partes bajas de los marcos o bien marcos circulares.
7. Roca Comprimida a Profundidad Moderada	1.10 (B + H_t) a 2.20 (B + H_t)	Considerable presión lateral. Se requiere plantilla apuntalada. Es preferible usar marcos circulares.
8. Roca Comprimida a Gran Profundidad	2.20 (B + H_t) a 4.50 (B + H_t)	
9. Roca Expandida	Hasta 250 pies independiente de (B + H_t)	Marcos circulares indispensables. En casos extremos úsese refuerzo elástico.

OBSERVACIONES:

** Se supone que el techo del túnel se encuentra bajo el nivel freático. Si se localiza permanentemente sobre el nivel freático, los valores que se indican en 4 y 6 podrán disminuirse en 50%.*

*** Algunas de las formaciones rocosas más comunes contienen capas de lutitas. Cuando no está meteorizada, la lutita verdadera no está peor que otras rocas estratificadas. Sin embargo la palabra lutita se aplica muchas veces a sedimentos arcillosos muy compactos que todavía no adquieren las propiedades de una roca. Esta mal llamada lutita puede comportarse en un túnel como una roca comprimida y aún expansiva. Si la formación consiste en una secuencia de capas horizontales de areniscas o caliza y de lutita inmadura, la excavación del túnel se complica muchas veces con una compresión progresiva de la roca en ambos lados del túnel, provocando un movimiento descendente del techo. Además, una baja resistencia al deslizamiento en los límites entre la tal lutita y la roca, probablemente reducirá mucho la capacidad de apuntalar que tiene la roca encima del techo. Por lo tanto en esta clase de deformaciones la presión sobre el techo puede ser tan grande como en una formación muy fracturada en bloques.*

4.3 Clasificación de Tiempo de Estabilidad – Stini y Lauffer (1958)

Lauffer (1958) a partir de las ideas de Stini (1950) propuso que el tiempo de estabilidad para un tramo de un túnel sin soporte está relacionado con la calidad del macizo rocoso en el tramo intervalo excavado. En un túnel, se define al tramo de un túnel sin soporte como el tramo del túnel o la distancia entre soportes cercanos, si esto es mayor que el intervalo de túnel (Lauffer, 1958). La clasificación original de Lauffer ya ha sido modificada por un sin número de autores, en particular por Pacher (1974), y ahora forma parte del enfoque general en la construcción de túneles conocido como el Nuevo Método Austríaco de Tunelería (NATM) (Golser, 1976).

La significancia del concepto de tiempo de estabilidad es que un aumento en el tramo de avance del túnel conduce a una reducción significativa del tiempo disponible para la instalación de un soporte. Por ejemplo, un pequeño túnel piloto puede construirse con éxito con un mínimo soporte, mientras que un tramo de túnel más grande en el mismo macizo rocoso no puede ser estable sin la instalación inmediata de un soporte sustancial. El nuevo método austriaco de construcción de túneles incluye una serie de técnicas para la

construcción de túneles seguros en condiciones en el que el tiempo de estabilidad es limitado antes de que ocurra la falla.

Estas técnicas incluyen el uso de pequeñas excavaciones y banqueteo o el uso de múltiples puntales para formar un anillo de refuerzo dentro del cual la mayor parte del túnel puede ser excavado. Estas técnicas son aplicables en rocas blandas como esquistos, filitas y lutitas en las que los problemas de contracción y expansión, descritos por Terzaghi, es probable que se produzcan. Las técnicas también son aplicables en la construcción de túneles en rocas excesivamente fracturadas, pero teniendo un gran cuidado en aplicación de estas técnicas a excavaciones en rocas duras, donde se producen diferentes mecanismos de falla.

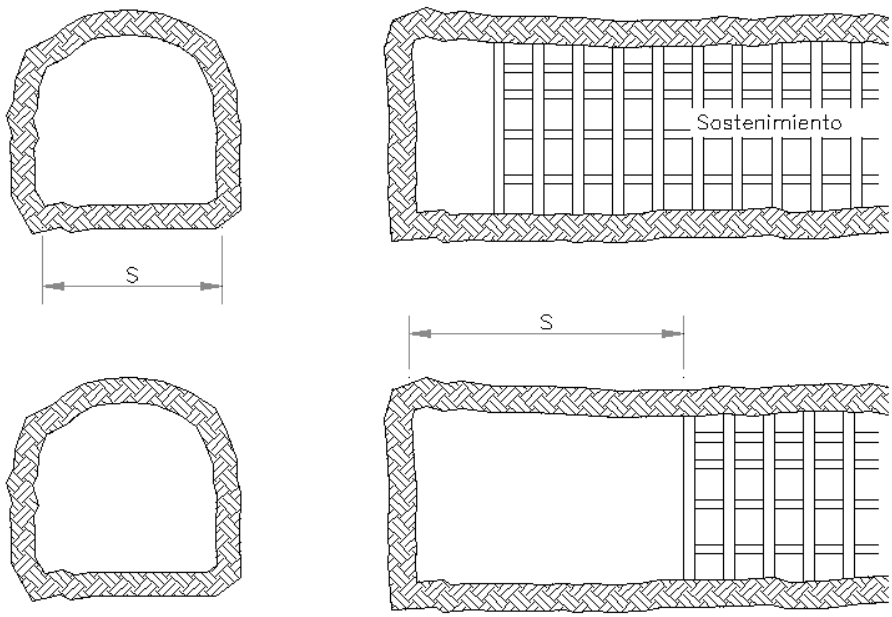


Figura 4.2 – Sección típica transversal y longitudinal de un túnel con tramo sin apoyo "s" (Hoek et al. 1998).

En el diseño de los soportes de las excavaciones en roca dura es prudente asumir que la estabilidad del macizo rocoso que rodea la excavación no es dependiente del tiempo. Por lo tanto, si una cuña estructuralmente definida está expuesta en el techo de una excavación, caerá tan pronto como se le quite la roca de apoyo. Esto puede ocurrir en el momento de la explosión o durante la posterior operación de limpieza.

Es esencial que el soporte se instale lo antes posible, si es necesario para mantener una cuña en su lugar, o para mejorar el margen de seguridad, preferiblemente antes de que se retire la roca de apoyo a la cuña completa. Por otra parte, en una roca muy comprimida, la falla generalmente ser inducida por algún cambio en el campo de esfuerzos que rodean la excavación. La falla puede ocurrir gradualmente y manifestarse como desprendimiento o descascarillado o puede ocurrir repentinamente en un estallido de roca. En cualquier caso, el diseño del soporte debe tener en cuenta el cambio en el campo de esfuerzos en lugar de hacerlo con el tiempo de estabilidad de la excavación.

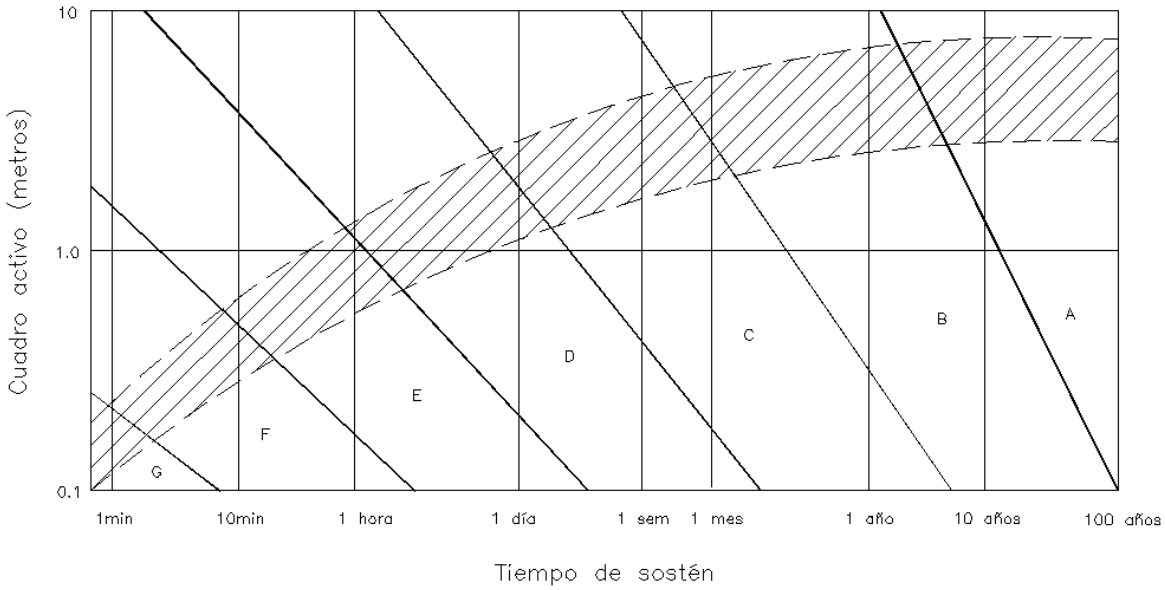


Figura 4.3 – Tiempo de estabilidad de un tramo "s" en función del tipo de roca (Hoek et al. 1998).

La Figura 4.2 muestra la sección transversal y longitudinal de un túnel con un tramo de longitud "s" sin apoyo, mientras que la Figura 4.3 muestra el tiempo de estabilidad de un tipo de roca (ver Tabla 4.2) en función de la longitud "s".

Tabla 4.2 – Tipo de Rocas (Lauffer, 1958).

CLASE	TIPO DE ROCA	CALIDAD DEL TERRENO
A	Roca sana	Muy bueno
B	Roca sana, compacta pero fracturada	Bueno
C	Roca bastante fracturada o algo alterada	Medio
D	Roca muy fracturada o bastante alterada o blanda	Mediocre
E	Roca triturada o muy alterada, conjuntos de rellenos de milonita. Terrenos arcillosos con fuertes empujes.	Malo
F	Características análogas a los suelos	Muy difícil, requiere métodos especiales
G		

En la Tabla 4.2 en la Clase E se puede leer el término que hace referencia a la roca muy alterada. Aunque no especifica el tipo de alteración ni su intensidad, en esta clasificación el factor de alteración de alteración ya se toma en cuenta en la clasificación del macizo rocoso.

4.4 Índice de la Determinación de la Calidad de la Roca (RQD) – Deere (1967)

El RQD fue desarrollado por Deere (1967) para proporcionar una estimación cuantitativa de la calidad del macizo rocoso de las muestras o testigos de las perforaciones. El RQD se define como el porcentaje de piezas de testigo de roca intactos a más de 100 mm (4 pulgadas) de longitud total de la muestra. La muestra debe ser al menos de tamaño NW (54.7 mm o 2,15 pulgadas de diámetro) y haberse extraída en un muestreador de pared doble. Los procedimientos correctos para la medición de la longitud de los testigos y el cálculo del RQD se resumen en la Figura 4.4.

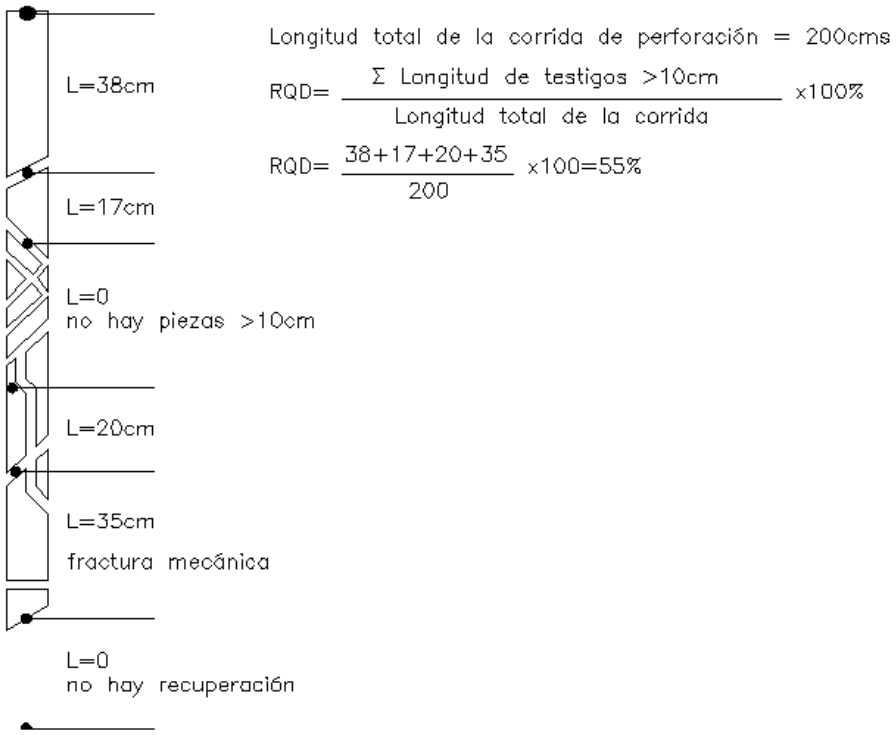


Figura 4.4 – Procedimiento del cálculo del RQD (Hoek et al. 1998).

Palmström (1982) sugiere que, cuando la extracción de testigos no es posible pero las trazas de las discontinuidades son visibles en una superficie expuesta o en alguna ventana o túnel de exploración, el valor del RQD puede ser estimado a partir del número de discontinuidades por unidad de volumen. La relación sugerida para macizos rocosos sin arcilla es:

$$RQD = 115 - 3.3 \times J_v$$

Donde:

Jv: Suma del número de discontinuidades por unidad de longitud a lo largo de cada discontinuidad, conocido como el conteo volumétrico de discontinuidades.

El RQD es un parámetro unidireccionalmente dependiente y su valor puede cambiar significativamente, dependiendo de la orientación de la excavación. El uso del conteo volumétrico de discontinuidades puede ser bastante útil para reducir esta dependencia direccional. El RQD está pensado para representar la calidad del macizo rocoso in situ. Cuando se utiliza testigos de perforación diamantina, se debe tener cuidado en asegurar que las fracturas, que han sido causadas por la manipulación o por el proceso de perforación, se identifiquen y se omitan al determinar el valor del RQD.

Cuando se utiliza la relación de Palmström en un mapeo superficial, las fracturas inducidas por la explosión no deben ser incluidas al estimar el valor de Jv. El RQD de Deere fue ampliamente utilizado, particularmente en los Estados Unidos, después de su introducción. Luego de esto Cording y Deere (1972), Merritt (1972) y Deere y Deere (1988) intentaron relacionar el valor del RQD a factores de la carga litostática de Terzaghi y a los requerimientos de pernos de soporte en los túneles. En el contexto de este debate, el uso más importante del RQD es como un componente de las clasificaciones de roca del RMR y del Q que se repasarán brevemente más adelante.

4.5 Clasificación de la Estructura de la Roca (RSR) – Wickham (1972)

Wickham (1972) describe un método cuantitativo para describir la calidad de un macizo rocoso y para la selección del soporte adecuado en base a su clasificación de la estructura de la roca (RSR). La mayoría casos históricos, usados en el desarrollo de este sistema, fueron en túneles relativamente pequeños, sostenidos por medio de sistemas de acero, aunque históricamente esta clasificación fue la primera en hacer referencia a soportes por medio de concreto lanzado. A pesar de esta limitación, vale la pena examinar el sistema RSR con cierto detalle, ya que demuestra la lógica involucrada en el desarrollo de un sistema de clasificación del macizo rocoso cuasi-cuantitativo y la utilización del índice resultante para la estimación de los soportes. La importancia del sistema RSR, en el contexto de este debate, es que introdujo el concepto de clasificación para cada uno de los componentes que se enumeran a continuación para así llegar a un valor numérico de RSR = A + B + C.

4.5.1 Parámetro A, Geología

La evaluación general de la estructura geológica basada en:

a) Origen de la roca (ígnea, metamórfica, sedimentaria).
b) Dureza de la roca (dura, media, suave, descompuesta).
c) Estructura geológica (masiva, ligeramente fallada/foliada, moderadamente fallada/foliada, intensamente fallada/foliada).

4.5.2 Parámetro B, Geometría

Los efectos del patrón de discontinuidad con respecto a la dirección del alineamiento del túnel en base a:

a) Espaciamiento de las discontinuidades.
b) Orientación de las discontinuidades (rumbo y buzamiento).
c) Dirección del alineamiento del túnel.

4.5.3 Parámetro C: Agua

El efecto de la infiltración de las aguas subterránea en base a:

a) La calidad del macizo rocoso en general en base a la combinación de A y B.
b) Condición de las discontinuidades (buena, regular, pobre).
c) Cantidad de infiltración de agua (en galones por minuto por 1000 pies de longitud de túnel).

Se debe tener en cuenta que la clasificación RSR utiliza unidades inglesas y que estas unidades se han mantenido en este tratado. Wickham propuso unas tablas (ver Tabla 4.3, 4.4 y 4.5) para poder evaluar cada uno de los parámetros para llegar al valor de RSR (valor máximo 100). Finalmente, la Figura 4.2 muestra una estimación de los soportes a partir del RSR para un túnel de 24 pies (7.3 m) de diámetro.

Tabla 4.3 – Clasificación de la Estructura de la Roca, Parámetro A (Wickham, 1972).

	TIPO DE ROCA				ESTRUCTURA GEOLOGICA			
	Dura	Media	Suave	Descompuesta	Masiva	Ligeramente Fallada/Foliada	Moderadamente Fallada/Foliada	Intensamente Fallada/Foliada
Ígnea	1	2	3	4				
Metamórfica	1	2	3	4				
Sedimentaria	2	3	4	4				
Tipo 1					30	22	15	9
Tipo 2					27	20	13	8
Tipo 3					24	18	12	7
Tipo 4					19	15	10	6

Tabla 4.4 – Clasificación de la Estructura de la Roca, Parámetro B (Wickham, 1972).

ESPACIAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO PERPENDICULAR AL EJE					DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO PARALELO AL EJE		
	DIRECCION DEL ALINEAMIENTO					DIRECCION DEL ALINEAMIENTO		
	Bi-direccional	Con el Buzamiento		Contra el Buzamiento		Cualquier Dirección		
	BUZAMIENTO PREDOMINANTE*					BUZAMIENTO PREDOMINANTE		
	Plana	Inclinada	Vertical	Inclinada	Vertical	Plana	Inclinada	Vertical
Muy pequeño, < 2”	9	11	13	10	12	9	9	7
Pequeño, 2-6”	13	16	19	15	17	14	14	11
Moderado, 6-12”	23	24	28	19	22	23	23	19
Moderado a grande, 1-2’	30	32	36	25	28	30	28	24
Grande a masivo, 2-4’	36	38	40	33	35	36	24	28
Masivo, >4’	40	43	45	37	40	40	38	34

OBSERVACIONES:
** Buzamiento: Plano, 0-20°; Inclinado, 20-50°; Vertical, 50-90°.*

Tabla 4.5 – Clasificación de la Estructura de la Roca, Parámetro C (Wickham, 1972).

INFILTRACION APROXIMADA EN GALONES POR MINUTO PARA UNA LONGITUD DE 1000 PIES DE TUNEL	SUMA DE PARAMETROS A+B					
	13-44			45-75		
	CONDICIÓN DE LA DISCONTINUIDAD*					
	Buena	Regular	Pobre	Buena	Regular	Pobre
Nada	22	18	12	25	22	18
Ligera, <200 gpm	19	15	9	23	19	14
Moderada, 200-1000 gpm	15	22	7	21	16	12
Alta, >1000 gpm	10	8	6	18	14	10

OBSERVACIONES:
** Condición de discontinuidad: Buena=cerrada o cementada; Regular=ligeramente alterada o meteorizada; Pobre=severamente alterada o meteorizada o abierta.*

El parámetro A correspondiente a la dureza de la roca, influye en la clasificación del macizo rocoso. La alteración de la roca afecta de alguna medida la resistencia de la roca intacta, por lo que se puede concluir que la alteración de la roca tiene alguna influencia en la clasificación del macizo rocoso en este sistema.

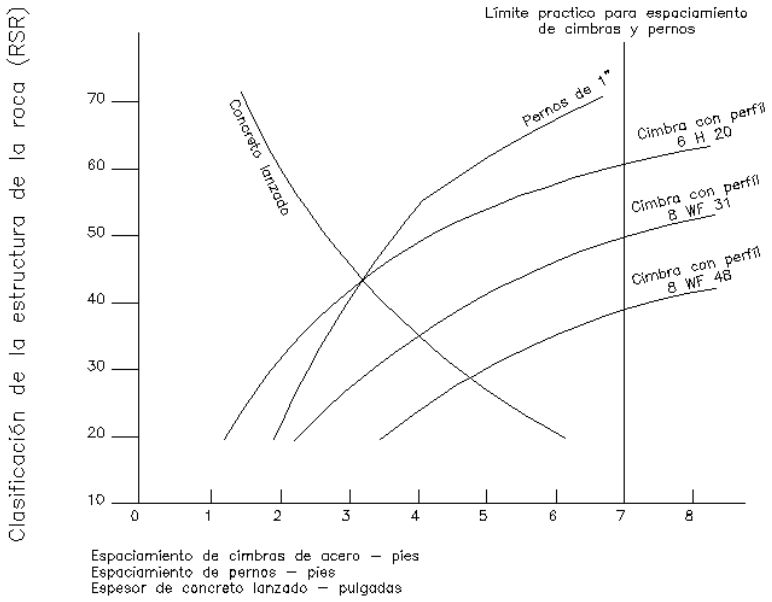


Figura 4.5 – Estimación de soportes para un túnel de 24 pies de diámetro por el RSR (Wackham, 1972).

4.6 Clasificación del Macizo Rocoso (RMR) – Bieniawski (1989)

La clasificación del macizo rocoso (RMR) o también llamada clasificación geomecánica, ha sido durante años sucesivamente revisado conforme se han obtenido más registros de casos examinados, es decir que se han hecho cambios significativos en los valores asignados a diferentes parámetros, con respecto a la versión original propuesta por Bieniawski (1976). La presente discusión se basa en la versión de realizada por el mismo Bieniawski (1989). En ambas versiones se realiza la estimación de la resistencia al macizo rocoso.

Los siguientes seis parámetros se utilizan para clasificar un macizo rocoso usando el sistema RMR:

1) Resistencia la compresión uniaxial (UCS), el cual se puede obtener directamente del ensayo de compresión uniaxial (ASTM D 2938-95), o mediante correlaciones con respecto al índice de carga puntual (ASTM D 5731-95), o mediante estimación en campo propuesto por la ISRM (1981) (ver Tabla 4.19).
2) Índice de la determinación de la calidad de la roca (RQD).
3) Espaciamiento de las discontinuidades.
4) Condición de las discontinuidades.
5) Condición del agua subterránea.
6) Orientación de las discontinuidades.

En la aplicación de este sistema, el macizo rocoso está dividido dentro de un número de regiones estructurales y cada región está clasificada por separado. Los límites de las regiones estructurales generalmente coinciden con una de las principales características estructurales tales como una falla o con un cambio en la litología. En algunos casos, los cambios significativos en el espaciamiento de las discontinuidades o de las características, dentro de un mismo tipo de roca, pueden necesitar de la división del macizo rocoso en una serie de

pequeñas regiones estructurales. El sistema de clasificación del macizo rocoso se presenta en la Tabla 4.6 a la Tabla 4.11, asignado valores para cada uno de los seis parámetros enumerados anteriormente. Estos valores se suman para dar un valor de RMR.

Tabla 4.6 – Parámetros de Clasificación y su Valoración (Bieniawski, 1989).

PARAMETRO			RANGO DE VALORES						
1	Resistencia de la roca intacta	Carga puntual (MPa)	>10	4-10	2-4	1-2	se recomienda ensayo de compresión uniaxial		
		Compresión uniaxial (MPa)	>250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5	<1
	Valoración		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD (%)		90-100	75-90	50-75	25-50	<25		
	Valoración		20	15	13	8	3		
3	Espaciamiento de discontinuidades (m)		>2	0.6-2	0.2-0.6	0.06-0.2	<0.06		
	Valoración		20	15	10	8	5		
4	Condición de discontinuidad (ver Tabla 4.10)		superficie muy rugosa, no continua, sin separación, paredes no alteradas	superficie ligeramente rugosa, separación < 1mm, paredes ligeramente alteradas	superficie ligeramente rugosa, separación > 1mm, paredes ligeramente alteradas	superficie de falla < 5mm de espesor, separación 1-5mm, continua	superficie suave > 5mm de espesor, separación > 5mm, continua		
	Valoración		30	25	20	10	0		
5	Agua subterránea	Infiltración por 10m de longitud de túnel (l/m)	no presenta	<10	10-25	25-125	>125		
		(Presión de agua en las discontinuidades) / (Esfuerzo principal σ)	0	<0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
		Condiciones generales	completamente seco	húmedo	saturado	goteo	flujo		
	Valoración		15	10	7	4	0		

Tabla 4.7 – Ajuste de Valoración por Orientación de Discontinuidades (ver Tabla 4.11) (Bieniawski, 1989).

RUMBO Y BUZAMIENTO		MUY FAVORABLE	FAVORABLE	REGULAR	DESFAVORABLE	MUY DESFAVORABLE
Valoración	Túneles y galerías	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

Tabla 4.8 – Clases de Macizos Rocosos a partir de la Valoración (Bieniawski, 1989).

Valoración	100-81	80-61	60-41	40-21	20-0
Número de clase	I	II	III	IV	V
Descripción	Roca muy buena	Roca buena	Roca regular	Roca pobre	Roca muy pobre

Tabla 4.9 – Significado de las Clases de Macizos Rocosos (Bieniawski, 1989).

Número de clase	I	II	III	IV	V
Tiempo promedio de estabilidad en pie	20 años para tramo de 15m	1 año para tramo de 10m	1 semana para tramo de 5m	10 horas para tramo de 2.5m	30 minutos para tramo de 1m
Cohesión del macizo rocoso (KPa)	>400	300-400	200-300	100-200	<100
Ángulo de fricción interno del macizo rocoso (°)	>45	35-45	25-35	15-25	<15

Tabla 4.10 – Guía para la Clasificación de la Condición de Discontinuidad (Bieniawski, 1989).

Persistencia de la discontinuidad	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m
Valoración	6	4	2	1	0
Separación	No presenta	<0.1mm	0.1-1.0mm	1-5mm	>5mm
Valoración	6	5	4	1	0
Rugosidad	Muy rugoso	Rugoso	Ligeramente rugoso	Liso	Fallado
Valoración	6	5	3	1	0
Relleno	No presenta	Relleno duro<5mm	Relleno duro>5mm	Relleno suave<5mm	Relleno suave>5mm
Valoración	6	4	2	2	0
Intemperismo / alteración	No intemperizada	Ligeramente intemperizada	Moderadamente intemperizada	Altamente intemperizada	Descompuesta
Valoración	6	5	3	1	0

Tabla 4.11 – Efecto del Rumbo y Buzamiento de las Discontinuidades en Túneles (Bieniawski, 1989).

RUMBO PERPENDICULAR AL EJE DEL TUNEL		RUMBO PARALELO AL EJE DEL TUNEL	
DIRECCION A FAVOR DEL BUZAMIENTO-BUZAMIENTO 45-90°	DIRECCION A FAVOR DEL BUZAMIENTO-BUZAMIENTO 20-45°	BUZAMIENTO 45-90°	BUZAMIENTO 20-45°
Muy favorable	Favorable	Muy desfavorable	Regular
DIRECCION EN CONTRA DEL BUZAMIENTO-BUZAMIENTO 45-90°	DIRECCION EN CONTRA DEL BUZAMIENTO-BUZAMIENTO 20-45°	BUZAMIENTO 0-20° INDEPENDIENTE DEL RUMBO	
Regular	Desfavorable	Regular	

Como se observa en las Tabla 4.6 el valor de RMR obtenida de esta, es comúnmente llamado RMR básico, el que una vez afectado o ajustados por los valores mostrados en la Tabla 4.7 nos da un valor de RMR que muchas veces se le denomina RMR corregido. La Tabla 4.8 realiza una clasificación del macizo rocoso según el valor del RMR corregido o ajustado; a partir de este valor se puede estimar un valor de cohesión y ángulo de fricción interno del macizo rocoso como se muestra en la Tabla 4.9. Los valores mostrados en esta tabla son referenciales y permiten de alguna poder analizar el macizo rocoso bajo los criterios de falla de Mohr-Coulomb, sin embargo, estos parámetros no consideran el estado de esfuerzos al que está sometido el macizo rocoso.

La Tabla 4.10 simplemente muestra detalladamente cómo se obtiene el valor de la condición de discontinuidad. Finalmente, la Tabla 4.11 muestra el efecto del rumbo y buzamiento de las discontinuidades en función de la dirección en el caso de túneles.

La alteración de la roca en esta clasificación tiene un efecto en los parámetros correspondientes a la dureza de la roca intacta y la condición de la discontinuidad. En el primer caso, se debe a que la resistencia de la roca intacta se ve afectada dependiendo del grado de alteración (usualmente disminuye el valor de la resistencia a la compresión uniaxial); el segundo parámetro afectado es la condición de discontinuidad, ya que las discontinuidades dependiendo del tipo de alteración, pueden perder rugosidad y presentar rellenos de materiales blandos.

4.7 Índice de Calidad de la Roca en Túneles (Q) – Barton (1974)

En base a una evaluación de un gran número de casos históricos de excavaciones subterráneas, Barton (1974) del Instituto Noruego de Geotecnia, propuso un índice de calidad de la roca en túneles (Q) para la determinación de las características del macizo rocoso y de los requerimientos de soporte de un túnel. El valor numérico del índice Q varía en una escala logarítmica desde 0.001 a un valor máximo de 1.000 y está definido por:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

Donde:
RQD: Índice de la determinación de la calidad de roca.
J_n: Número de familias de discontinuidades.
J_r: Número de rugosidad de discontinuidades.
J_a: Numero de alteración de discontinuidades.
J_w: Factor de reducción por agua.
SRF: Factor de reducción de esfuerzos.

Cada uno de estos factores son valuados en las Tablas 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16 y 4.17, respectivamente. Una vez conocidos estos valores, se calcula el valor de Q. La Tabla 4.17 muestra la clasificación del macizo rocoso en función de los valores del índice Q.

Tabla 4.12 – Índice de la Determinación de la Calidad de la Roca (Deere, 1967).

DESCRIPCIÓN DE LA ROCA	VALOR RQD (%)	NOTAS
Muy pobre	0-25	Si RQD≤10% se usará el valor de 10 en el cálculo de Q.
Pobre	25-50	
Regular	50-75	
Buena	75-90	
Excelente	90-100	

Tabla 4.13 – Número de Familias de Discontinuidades (Barton, 1974).

DESCRIPCIÓN DE LA ROCA	VALOR J_n	NOTA
Masiva, sin o con pocas discontinuidades	0.5-1.0	1. Para intersecciones usar ($3.0xJ_n$). 2. Para portales usar ($2.0xJ_n$).
Con una familia de discontinuidades	2	
Con una familia de discontinuidades mas aleatorias	3	
Con dos familias de discontinuidades	4	
Con dos familias de discontinuidades mas aleatorias	6	
Con tres familias de discontinuidades	9	
Con tres familias de discontinuidades mas aleatorias	12	
Con cuatro o más familias de discontinuidades, aleatorias, fuertemente fracturadas, etc.	15	
Roca triturada, apariencia de suelo	20	

Tabla 4.14 – Número de Rugosidad de Discontinuidades (Barton, 1974).

DESCRIPCIÓN DE LA ROCA	VALOR J_r	NOTA
PAREDES EN CONTACTO PAREDES EN CONTACTO CON DESPLAZAMIENTO DE CORTE MENOR A 10 cm		1. Añadir 1.0 si el espaciamiento medio de la junta representativa es mayor a 3m. 2. J_r=0.5 puede ser usado para discontinuidades planas, falladas teniendo alineaciones orientadas hacia la dirección de la resistencia mínima.
Discontinuidades no continuas	4	
Rugosa e irregular, ondulante	3	
Lisa ondulante	2	
Rugosa o irregular, plana	1.5	
Lisa, plana	1.0	
Fallada, plana	0.5	
PAREDES NO EN CONTACTO, DESPLAZADAS POR CORTE		
Zonas conteniendo minerales de arcilla con espesor suficiente para evitar el contacto	1.0	
Zonas arenosas, gravosas o trituradas con espesor suficiente para evitar el contacto	1.0	

Tabla 4.15 – Número de Alteración de Discontinuidades (Barton, 1974).

DESCRIPCIÓN DE LA ROCA	VALOR J_a	φ_r (°)	NOTA
PAREDES EN CONTACTO			1. Los valores de φ_r, el ángulo de fricción residual, son una guía aproximada de las propiedades mineralógicas de los productos de la alteración.
Bien selladas, duras, no suaves, relleno impermeable	0.75		
Discontinuidades no alteradas, superficies solo con manchas	1.0	25-35	
Discontinuidades ligeramente alteradas, con recubrimientos de minerales no suaves, partículas arenosas, libre de arcillas, roca desintegrada, etc.	2.0	25-30	
Recubrimientos limosos, o arcillo-arenosos, pequeñas fracciones de arcilla (no suaves)	3.0	20-25	
Recubrimientos de minerales de arcilla suaves o de bajas fricciones, como micas, caolinitas. También clorita, talco, yeso y grafito, etc., y una pequeña cantidad de arcillas expandibles. (Recubrimientos discontinuos de 1-2mm o menos de espesor)	4.0	8-16	
PAREDES EN CONTACTO CON DESPLAZAMIENTO DE CORTE MENOR A 10 cm			
Partículas arenosas, libres de arcilla, roca desintegrada, etc.	4.0	25-30	
Rellenos de minerales de arcilla fuertemente sobre-consolidada, no suaves (espesor continuo<5mm)	6.0	16-24	
Rellenos de minerales de arcilla mediana o pobremente sobre-consolidadas, suaves (espesor continuo<5mm)	8.0	12-16	
Rellenos de arcilla expansiva, como la montmorillonita (espesor continuo<5mm). Los valores de J_a dependen del porcentaje de partículas de arcillas expansivas, acceso al agua.	8.0-12.0	6-12	
PAREDES NO EN CONTACTO, DESPLAZADAS POR CORTE			
Zonas o bandas de roca desintegrada o triturada y arcilla fuertemente sobre-consolidada, no suave	6.0		
Zonas o bandas de roca desintegrada o triturada y arcilla mediana o pobremente sobre-consolidadas, suave	8.0		
Zonas o bandas de roca desintegrada o triturada y arcilla expansiva, como la montmorillonita	8.0-12.0	6-24	
Zonas o bandas de arcilla limosa o arenosa, pequeña fracción de arcilla, no suave	5.0		
Zonas o bandas de arcilla fuertemente sobre-consolidada, no suave, de espesor continuo	6.0		
Zonas o bandas de arcilla medianamente o pobremente sobre-consolidada, suave, de espesor continuo	10.0-13.0		
Zonas o bandas de arcilla expansiva, de espesor continuo	24.0		

Tabla 4.16– Factor de Reducción por Agua (Barton, 1974).

DESCRIPCIÓN DE LA ROCA	VALOR J_w	PRESIÓN DE AGUA (kg/cm^2)	NOTA
Excavación seca o infiltración menor, tal como <5 litros por minuto localmente	1.0	<1.0	1. Los valores de J_w considerados en (*) deben ser incrementados si hay drenaje. 2. Problemas especiales por presencia de hielo, no han sido considerados.
Infiltración o presión media, ocasionales lavados de los rellenos de las discontinuidades	0.66	1.0-2.5	
Gran infiltración o alta presión en roca competente con discontinuidades sin relleno(*)	0.5	2.5-10.0	
Gran infiltración o altas presiones(*)	0.33	2.5-10.0	
Alta presión o infiltración excepcional en voladura, disminuyendo con el tiempo(*)	0.2-0.1	>10	
Alta presión o infiltración excepcional(*)	0.1-0.05	>10	

Tabla 4.17 – Factor de Reducción de Esfuerzos (Barton, 1974).

DESCRIPCIÓN DE LA ROCA			VALOR SRF	NOTA
ZONAS DE DEBILIDAD INTERSECTANDO LA EXCAVACIÓN, EL CUAL PUEDE CAUSAR QUE LA ROCA SE SUELTE CUANDO EL TUNEL ES EXCAVADO				1. Reducir estos valores de SRF al 25-50% si la relevancia de la zona de corte solo influencia pero no intercepta la excavación. 2. Para esfuerzos vírgenes fuertemente anisotrópicos (si es medido): cuando $5 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 10$, reduce σ_c a $0.8\sigma_c$. Cuando $\sigma_1/\sigma_3 > 10$, se reduce σ_c y σ_t a $0.6\sigma_c$ y $0.6\sigma_t$, donde: σ_c es la resistencia a la compresión uniaxial y σ_t la resistencia a la tracción, y σ_1 y σ_3 son los esfuerzos principales mayor y menor respectivamente. 3. Pocos casos hay registrados donde la profundidad de corona debajo de la superficie es menor que el ancho del tramo. Se sugiere un incremento de SRF de 2.5 a 5 para tales casos (*).
Múltiples ocurrencias de zonas de debilidad conteniendo arcillas, o roca químicamente desintegrada, rodeado por roca muy suelta (cualquier profundidad)			10.0	
Únicas zonas de debilidad conteniendo arcillas, o roca químicamente desintegrada (profundidad de excavación<50m)			5.0	
Únicas zonas de debilidad conteniendo arcillas, o roca químicamente desintegrada (profundidad de excavación>50m)			2.5	
Múltiples zonas de corte en roca competente (libre de arcilla), rodeado por roca suelta (cualquier profundidad)			7.5	
Únicas zonas de corte en roca competente (libre de arcilla), rodeado por roca suelta (profundidad de excavación<50m)			5.0	
Únicas zonas de corte en roca competente (libre de arcilla), rodeado por roca suelta (profundidad de excavación>50m)			2.5	
Discontinuidades abiertas sueltas, altamente fracturada (cualquier profundidad)			5.0	
ROCA COMPETENTE, PROBLEMAS DE ESFUERZO EN ROCA	σ_c/σ_1	$\sigma_t.\sigma_1$		
Bajos esfuerzos, cerca de la superficie(*)	>200	>13	2.5	
Medianos esfuerzos	200-100	13-0.66	1.0	
Altos esfuerzos, estructura muy sellada (usualmente favorable a la estabilidad, puede ser inestable para la estabilidad de una pared)	10-5	0.66-0.33	0.5-2	
Voladura leve (roca masiva)	5-2.5	0.33-0.16	5-10	
Voladura intensa (roca masiva)	<2.5	<0.16	10-20	
ROCA COMPRIMIDA, FLUJO PLÁSTICO DE ROCA INCOMPETENTE BAJO LA INFLUENCIA DE ALTAS PRESIONES DE ROCA				
Leve presión compresiva en roca			5-10	
Alta presión compresiva en roca			10-20	
ROCA COMPRIMIDA, ACTIVIDAD DE EXPANSION QUÍMICA DEPENDIENDO DE LA PRESION DE AGUA				
Leve presión compresiva en roca			5-10	
Alta presión compresiva en roca			10-15	

Tabla 4.18 – Índice de la Calidad de la Roca en Túneles

DESCRIPCIÓN DE LA ROCA	VALOR Q
Excepcionalmente pobre	0.001-0.01
Extremadamente pobre	0.01-0.1
Muy pobre	0.1-1
Pobre	1-4
Regular	4-10
Buena	10-40
Muy buena	40-100
Extremadamente buena	100-400
Excepcionalmente buena	400-1000

NOTAS ADICIONALES SOBRE EL USO DE ESTAS TABLAS

Al hacer las estimaciones de la calidad del macizo rocoso (Q), deben seguirse las siguientes recomendaciones, adicionales a las notas que se muestran en las tablas:

1. *Cuando los testigos de roca de la perforación diamantina no están disponibles, puede estimarse el RQD a partir del número de discontinuidades por unidad de volumen, en el cual se añade el número de discontinuidades por metro para cada familia. Una simple relación puede utilizarse para convertir este número a RQD para el caso macizos rocosos libres de arcilla:*
   RQD = 115-3.3 Jv (aproximadamente), donde Jv = número total de discontinuidades por m^3 (0 < RQD < 100 para 35 > Jv > 4.5).
2. *El parámetro Jn que representa que el número de familias a menudo se verá afectado por la foliación, esquistosidad, exfoliación o estratificación arcillosa etc. Si están fuertemente desarrolladas, estas "juntas" paralelas obviamente deben contarse como una familia de discontinuidad completa. Sin embargo, si hay pocas "juntas" visibles, o si sólo son fracturas ocasionales en el testigo de roca debido a estas características, entonces será más apropiado contarlos como juntas "aleatorias al evaluar el Jn.*
3. *Los parámetros Jr y Ja (que representan la resistencia al corte) deben ser relevantes para la familia de juntas significativa más débil o las discontinuidades rellenas con arcilla en la zona determinada. Sin embargo, si se establece la familia de juntas o discontinuidad con el valor mínimo de Jr/Ja está orientado favorablemente para la estabilidad, entonces una segunda, familia de junta o discontinuidades orientada menos favorablemente a veces puede ser más importante y su valor de Jr/Ja más alto, se debe utilizar para evaluar Q. El valor de Jr/Ja en realidad debería referirse a la superficie más probable que pueda permitir que se inicie una falla.*
4. *Cuando un macizo rocoso contiene arcilla, debe evaluarse el factor SRF adecuado para cargas de desprendimiento. En tales casos la resistencia de la roca intacta es de poco interés. Sin embargo, cuando la presencia de discontinuidades es mínima y la arcilla está completamente ausente, la resistencia de la roca intacta puede convertirse en el eslabón más débil, y la estabilidad dependerá entonces de la relación esfuerzo-roca/resistencia-roca. Un campo de esfuerzos fuertemente anisotrópico es desfavorable para la estabilidad y se representa aproximadamente como en la Nota 2 de la Tabla 4.17.*
5. *La resistencia a la compresión y a la tracción (σ_c y σ_t) de la roca intacta deben evaluarse en condición saturada si esto es apropiado para las condiciones actuales y futuras. Una estimación muy conservadora de la resistencia debe hacerse para aquellas rocas que se deterioran cuando son expuestas a condiciones húmedas o saturadas.*

Como se puede ver en la Figura 4.6, se puede estimar en función del valor de Q, el tipo de soporte, aunque estos refuerzos están categorizados de la siguiente manera:

1) Sin soporte.
2) Perno aislado.
3) Sistema de pernos.

4) Sistema de pernos con concreto lanzado no reforzado de 40-100 mm.
5) Concreto lanzado con refuerzo de fibras, 50-90 mm, y pernos.
6) Concreto lanzado con refuerzo de fibras, 90-120 mm, y pernos.
7) Concreto lanzado con refuerzo de fibras, 120-150 mm, y pernos.
8) Concreto lanzado con refuerzo de fibras, >150 mm, con cerchas reforzadas con concreto lanzado y pernos.
9) Revestimiento de concreto.

Esta clasificación considera la alteración de la roca dentro del factor de reducción por alteración Ja de una manera directa. Indirectamente la alteración de la roca afecta a la clasificación del macizo rocoso en este sistema, en el parámetro de reducción de esfuerzos, ya que la resistencia a la compresión y a la tracción uniaxial de la roca se ve afectada bajo la influencia de la alteración.

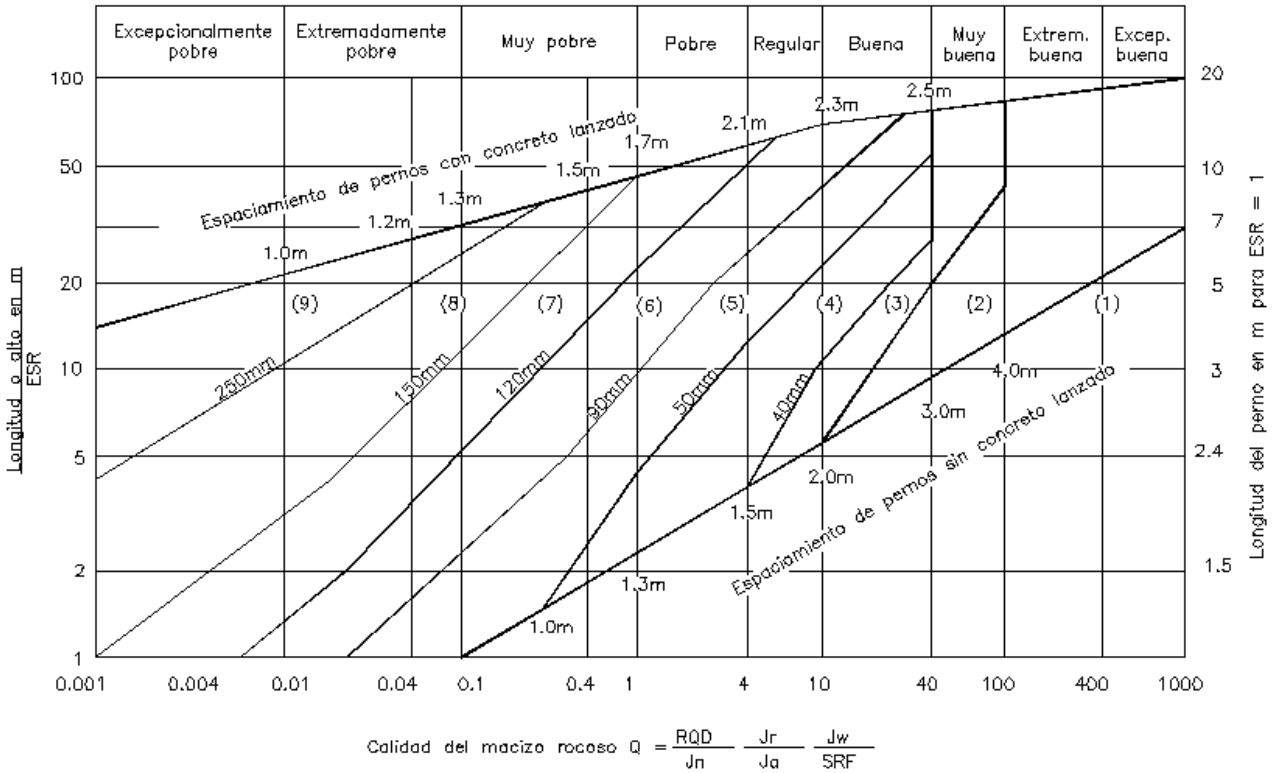


Figura 4.6 – Estimación de soportes según el índice de la calidad de la roca en túneles (Barton, 1974).

4.8 Índice de Resistencia Geológica (GSI) – Hoek y Brown (1980, 1988)

Antes de comentar acerca de este índice, se detallará en qué consiste el criterio de rotura propuesto por Hoek y Brown (1980), inicialmente propuesto para la roca intacta (Hoek, 1968) y luego extendido al macizo rocoso (Brown, 1970), y posteriormente actualizado introduciendo la idea de macizos rocosos alterados e inalterados (Hoek y Brown, 1988), y luego modificado para la caracterización de macizos de muy mala calidad (Hoek et al., 1992); este criterio es válido para macizos rocosos isotrópicos (Gonzalez de Vallejo, 2002), y tiene en cuenta de los factores que determinan la rotura de un medio rocoso a gran escala, como son la no linealidad con el nivel de tensiones, la influencia del tipo de roca y del estado del macizo rocoso, la relación entre la resistencia a la compresión y a la tracción, la disminución del ángulo de fricción interno con el aumento de la presión de confinamiento, la influencia de la excavación o voladura, etc. Como el criterio fue desarrollado inicialmente para su aplicación a macizos rocosos fracturados sin alterar con matriz rocosa resistente, asumiendo que los bloques de roca están en contacto unos con otros y que la resistencia del macizo está controlada por las discontinuidades. La resistencia del macizo sigue la siguiente expresión:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci}\sqrt{m\frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s}$$

Donde:

σ'_1 y σ'_3 son los esfuerzos principales efectivos mayor y menor en la rotura.
σ_{ci} es la resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta o matriz.
m y s son las y constantes adimensionales que dependen de las propiedades del macizo rocoso, del tipo de roca y de la frecuencia y características de las discontinuidades (s=1 en la roca intacta).

Existe una relación entre los esfuerzos principales mostrados en la anterior expresión, con los esfuerzos normal y de corte en la rotura deducida por Bray (1966), recopilada por Hoek (1983), Ucar (1986) y Londe (1988).

El valor de σ_{ic} debe obtenerse en ensayos de compresión uniaxial, o a partir de una estimación del ensayo de carga puntual, o a partir de una estimación en campo según la ISRM (ver Tabla 4.19).

Tabla 4.19 – Estimación en Campo de la Compresión Uniaxial en Suelos y Rocas (ISRM, 1981).

CLASE	DESCRIPCION	IDENTIFICACIÓN EN CAMPO	VALOR APROXIMADO DE COMPRESION UNIAXIAL (MPa)
S1	Arcilla muy blanda	El puño penetra fácilmente varios centímetros.	<0.025
S2	Arcilla débil	El dedo penetra fácilmente varios centímetros.	0.025-0.05
S3	Arcilla firme	Se necesita una pequeña presión para hincar el dedo.	0.05-0.1
S4	Arcilla rígida	Se necesita una fuerte presión para hincar el dedo	0.1-0.25
S5	Arcilla muy rígida	Con cierta presión puede marcarse con la uña.	0.25-0.5
S6	Arcilla dura	Se marca con dificultad al presionar con la uña.	>0.5
R0	Roca extremadamente blanda	Se puede marcar con la uña.	0.25-1
R1	Roca muy blanda	La roca se desmenuza con la punta del martillo. Con una navaja se talla fácilmente.	1-5
R2	Roca blanda	Se talla con dificultad con una navaja. Al golpear con la punta del martillo se producen pequeñas marcas.	5-25
R3	Roca moderadamente dura	No se puede tallar con la navaja. Puede fracturarse con un golpe fuerte de martillo.	25-50
R4	Roca dura	Se requiere más de un golpe de martillo para fracturarla.	50-100
R5	Roca muy dura	Se requieren muchos golpes con el martillo para fracturarla.	100-250
R6	Roca extremadamente dura	Al golpearlo con el martillo solo saltan esquirlas.	>250

Los valores de m y s pueden obtenerse a partir del valor del RMR, tal como sigue:

- Para macizos rocosos sin alterar o no disturbados por voladura:

$$m = m_i \times e^{\frac{RMR-100}{28}} \qquad s = e^{\frac{RMR-100}{9}}$$

- Para macizos rocosos alterados o disturbados por voladura:

$$m = m_i \times e^{\frac{RMR-100}{14}} \qquad s = e^{\frac{RMR-100}{6}}$$

Donde m_i es el valor correspondiente a la matriz rocosa, que se obtiene de los ensayos de compresión triaxial en roca (ASTM D2664) (los cuales difieren según el tipo de roca).

Existe una confusión en determinar cuando un macizo rocoso esta disturbado o no, ya que la disturbación abarca los efectos de la voladura y también los efectos de la alteración de la roca. El criterio mostrado, así como el cálculo de m y s, no proporcionan valores representativos para macizos rocosos alterados y de mala calidad, por ello Hoek (1994) desarrolló una nueva expresión valida también para macizos rocosos fracturados de mala calidad, con materiales blandos y alterados, como se muestra:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \times \left(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

Denominándose a esta expresión el termino de criterio generalizado, donde m_b, s y a dependen de las propiedades y características del macizo rocoso. La envolvente de Mohr, correspondiente a este criterio se expresa:

$$\tau = A \times \sigma_{ci} \times \left(\frac{\sigma_n - \sigma_{tm}}{\sigma_{ci}} \right)^B$$

Donde A y B son constantes del material, σ_n es el esfuerzo normal en el punto de interés y σ_{tm} es la resistencia a la tracción del macizo rocoso que viene dada por:

$$\sigma_{tm} = \frac{s \times \sigma_{ci}}{m_b}$$

Con el fin de ampliar el rango de este criterio generalizado a macizos rocosos de mala calidad, y emplear más parámetros geológicos para la evaluación de la resistencia (Hoek y Brown, 1997), se propuso el índice de resistencia geológico (GSI), que evalúa la calidad del macizo rocoso en función del grado y las características del fracturamiento, estructura geológica, tamaño de bloques y de la alteración de las discontinuidades (Hoek et al., 1992; Hoek, 1994; Hoek et al., 1995) (ver Tablas 4.20 y 4.21). Este índice fue posteriormente extendido a macizos rocosos débiles (Hoek et al., 1998; Hoek y Marinos, 2000; Marinos y Hoek, 2000, 2001).

Tabla 4.20 – Caracterización de Macizos Rocosos en Función del Fracturamiento y de la Condición de Discontinuidades (Hoek y Brown, 1997).

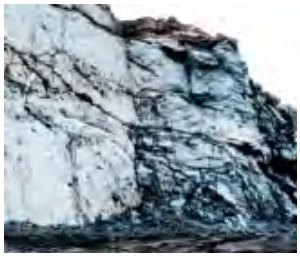
CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO PARA ESTIMAR SU RESISTENCIA Basándose en el aspecto de la roca elegir la categoría que mejor describe las condiciones del macizo previo a la excavación. Tener en cuenta que las voladuras pueden crear una impresión falsa sobre la calidad del macizo rocoso, en cuyo caso será necesario realizar algún tipo de ajuste por daños debido a voladuras; la observación de testigos de sondeos y de frentes de roca en zonas afectadas y no afectadas por voladuras puede ser de ayuda. Para la definición del grado de fracturación debe considerarse la relación entre el tamaño del bloque y la dimensión del frente de excavación.		CONDICIÓN DEL FRENTE	MUY BUENA (MB) Superficies muy rugosas sin alterar.	BUENA (B) Superficies rugosas ligeramente alteradas, con patinas de oxidación.	MEDIA (M) Superficies suaves moderadamente alteradas.	POBRE (P) Superficies muy alteradas con rellenos compactos conteniendo fragmentos rocosos.	MUY POBRE (MP) Superficies muy alteradas con rellenos arcillosos.
ESTRUCTURA							
	BLOQUES REGULARES (BR) Macizo rocoso sin alterar. Bloques en contacto de forma cúbica formados por tres familias de discontinuidades octogonales sin relleno.		BR/MB	BR/B	BR/M	BR/P	BR/MP
	BLOQUES IRREGULARES (BI) Macizo rocoso parcialmente alterado. Bloques en contacto de forma angular formados por cuatro o más familias de discontinuidades con rellenos con baja proporción de finos.		BI/MB	BI/B	BI/M	BI/P	BI/MP
	BLOQUES Y CAPAS (BC) Macizo rocoso parcialmente alterado. Bloques en contacto de forma angular formados por cuatro o más familias de discontinuidades con rellenos con baja proporción de finos.		BC/MB	BC/B	BC/M	BC/P	BC/MP
	FRACTURACIÓN INTENSA (FI) Macizo rocoso muy fracturado formado por bloques angulosos y redondeados con alto contenido de finos.		FI/MB	FI/B	FI/M	FI/P	FI/MP

Tabla 4.21 – Estimación del GSI (Hoek y Brown, 1997).

INDICE GEOLÓGICO DE RESISTENCIA (GSI) A partir de la clasificación obtenida en la Tabla 4.20 seleccionar el cuadro correspondiente en esta tabla y obtener el valor medio del índice GSI.	CONDICIÓN DEL FRENTE	MUY BUENA (MB) Superficies muy rugosas sin alterar.	BUENA (B) Superficies rugosas ligeramente alteradas, con patinas de oxidación.	MEDIA (M) Superficies suaves moderadamente alteradas.	POBRE (P) Superficies muy alteradas con rellenos compactos conteniendo fragmentos rocosos.	MUY POBRE (MP) Superficies muy alteradas con rellenos arcillosos.
ESTRUCTURA						
	BLOQUES REGULARES (BR) Macizo rocoso sin alterar. Bloques en contacto de forma cúbica formados por tres familias de discontinuidades octogonales sin relleno.	80	70			
	BLOQUES IRREGULARES (BI) Macizo rocoso parcialmente alterado. Bloques en contacto de forma angular formados por cuatro o más familias de discontinuidades con rellenos con baja proporción de finos.		60	50		
	BLOQUES Y CAPAS (BC) Macizo rocoso parcialmente alterado. Bloques en contacto de forma angular formados por cuatro o más familias de discontinuidades con rellenos con baja proporción de finos.			40	30	
	FRACTURACIÓN INTENSA (FI) Macizo rocoso muy fracturado formado por bloques angulosos y redondeados con alto contenido de finos.					20 10

A partir del uso del criterio de rotura de Hoek-Brown en casos de aplicación en macizo rocosos no alterados sometidos a voladura (Söberg et al., 2001; Pierce, 2001), en macizos alterados con diferentes radios de curvatura de excavación (Lorig y Varona, 2001), en taludes retroanalizados (Sonmez y Ulusay, 1999) y excavaciones retroanalizadas (Cheng y Liu, 1990). Se incluye al criterio de rotura el factor de disturbancia D (ver Tabla 4.22). Finalmente Hoek et al. (2002) actualizaron este criterio.

Tabla 4.22 – Guías para la Estimación del Factor D (Hoek et al., 2002).

APARIENCIA DEL MACIZO ROCOSO	DESCRIPCIÓN DEL MACIZO ROCOSO	VALOR D SUGERIDO
	Excelente calidad de voladura o excavación con tuneladora, TBM, con resultados de alteración mínima del macizo rocoso confinado circundante al túnel.	D=0
	Excavación mecánica o manual en macizos rocosos de mala calidad (sin voladuras) con una alteración mínima en el macizo circundante. Cuando aparezcan problemas de deformación en el piso durante el avance, la alteración puede ser severa a menos que se coloque una contrabóveda temporal, tal como se muestra en la fotografía.	D=0 D=0.5
	Voladura de muy mala calidad en un túnel en roca competente con daños locales severos, extendiéndose 2 o 3 m en el macizo circundante.	D=0.8
	Pequeñas voladuras de taludes de ingeniería civil dan lugar a pequeños daños en el macizo rocoso, particularmente si se usan voladuras de contorno como se muestra en el lado izquierdo de la fotografía. Sin embargo la liberación de tensiones resulta en alguna alteración.	D=0.7 Buena voladura D=1.0 Mala voladura
	Los taludes en las grandes minas a cielo abierto sufren alteraciones significativas debido a las grandes voladuras de producción y también debido a la relajación de tensiones al retirar el estéril de recubrimiento. En algunas rocas blandas la excavación puede llevarse a cabo mediante el ripeado y empuje con tractores de orugas y el grado de afección a los taludes será menor.	D=1.0 Voladura de producción D=0.7 Excavación mecánica

Los valores de m_b, s y a se obtienen mediante las siguientes expresiones:

$$m_b = m_i \times e^{\left(\frac{GSI-100}{28-14D}\right)}$$

$$s = e^{\left(\frac{GSI-100}{9-3D}\right)}$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6}\left(e^{-\frac{GSI}{15}} - e^{-\frac{20}{3}}\right)$$

- Para macizos rocosos con GSI>25 (de calidad buena a media) no disturbados:

$$s = e^{\frac{GSI-100}{9}} \qquad a = 0.5$$

- Para macizos rocosos con GSI<25 (de calidad mala a muy mala) no disturbados:

$$s = 0 \qquad a = 0.65 - \frac{GSI}{200}$$

El valor de GSI=25 es arbitrario. Para GSI>25 (macizos rocosos de calidad media a buena) este índice puede obtenerse a partir del valor del RMR (Bieniawski, 1989) mediante la siguiente correlación, en cuyo caso debe asignarse un valor de 15 para las condiciones de agua subterránea del macizo rocoso y un valor de 0 en el factor de ajuste para la orientación de las discontinuidades:

$$GSI = RMR - 5$$

En la aplicación del criterio de Hoek y Brown, y en la interpretación de los valores de resistencia obtenidos debe tenerse en cuenta:

- El criterio es válido únicamente para macizos rocosos con comportamiento isotrópico.
- El índice GSI se basa en estimaciones cualitativas, y en modelos simples que rara vez coinciden con las condiciones reales.
- Los resultados deben ser cotejados con otros métodos y, siempre que sea posible con datos de campo y análisis a posteriori o retroanálisis.

Al crear este criterio una envolvente no lineal (ver Figura 4.7), ya que varía en función al esfuerzo normal σ_n, la determinación de los valores de cohesión y ángulo de fricción del macizo rocoso no es inmediata; para poder convertirla en una envolvente lineal, simplemente se deberá trazar una tangente a la envolvente no lineal a un valor determinado de esfuerzo normal σ_n.

Esto da lugar a las siguientes expresiones:

$$\varphi' = \sin^{-1}\left[\frac{6\,a m_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6a m_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}}\right]$$

$$c' = \frac{\sigma_{ci}[(1+2a)s + (1-a)m_b\sigma'_{3n}](s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a)\sqrt{1 + \frac{6a m_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a)}}}$$

Donde Φ' es el ángulo de fricción interna, c' la cohesión y $\sigma'_{3n}=\sigma'_{3max}/\sigma_{ci}$

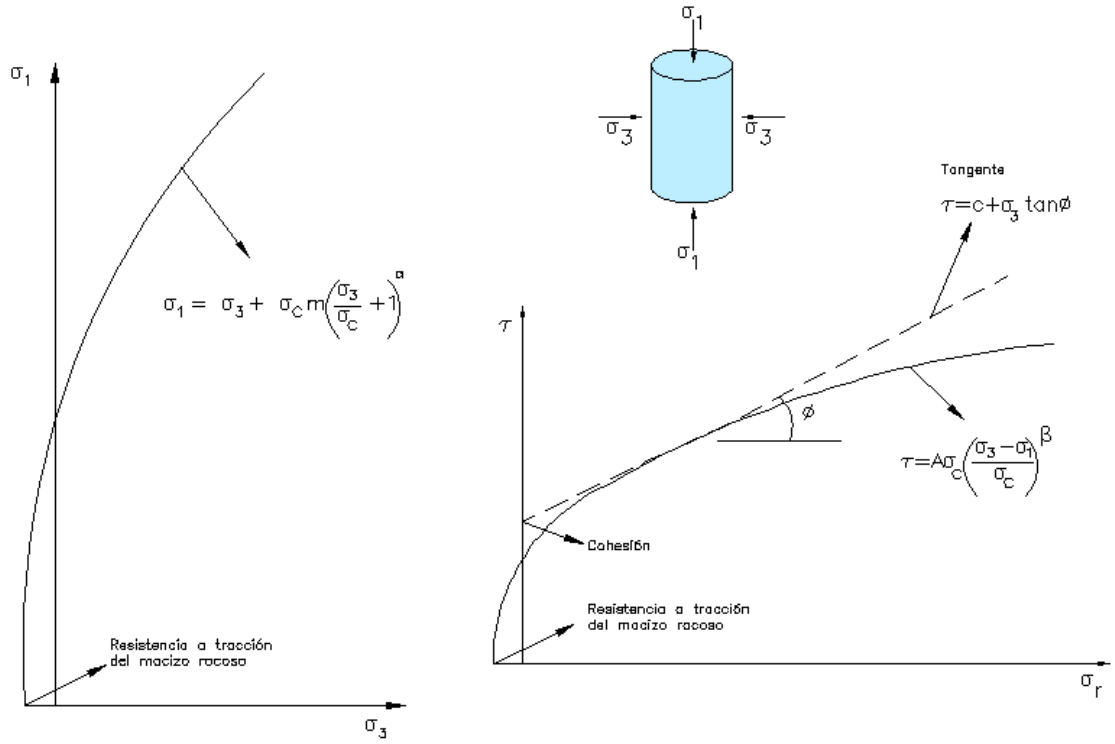


Figura 4.7 – Envolvente no lineal de Hoek y Brown (Gonzalez et al., 2002).

Cuando se quiere analizar macizos rocosos estratificados con presencia de una familia de discontinuidad, la resistencia del macizo rocoso dependerá de la orientación de los esfuerzos aplicados con respecto a la dirección de los planos de estratificación, y variará entre un valor mínimo correspondiente a la resistencia de estos planos y un valor máximo correspondiente a la matriz rocosa. En el caso de matrices blandas y anisotrópicas (rocas lutáceas y margas), las resistencias pueden presentar muy poca diferencia. En el caso de que la rotura esté a favor de los planos de estratificación, la resistencia del macizo rocoso estará dada por el criterio de Mohr-Coulomb:

$$\sigma'_1 = \frac{2c' + \sigma'_3[sen2\theta + tan\varphi' \times (1 - cos2\theta)]}{sen2\theta - tan\varphi' \times (1 + cos2\theta)}$$

Siendo θ el ángulo que forma la normal del plano de rotura con el esfuerzo principal mayor σ_1. Para valores de θ cercanos a 90° o menores que el ángulo de fricción del plano φ, no es posible que se produzca rotura a favor de los planos de estratificación, y el macizo rocoso producirá rotura a través de la matriz. Si esta matriz es isotrópica, la resistencia puede evaluarse aplicando el criterio de Hoek y Brown, considerando s=1:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci}\sqrt{m\frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + 1}$$

Cuando el macizo está afectado por dos o más familias de discontinuidades ortogonales entre sí, dependerá de la resistencia de las discontinuidades y del ángulo de incidencia de los esfuerzos con respecto a los planos de debilidad. Para cada posible orientación, será una de las familias de discontinuidades la que controle la resistencia del macizo rocoso en su conjunto, que se obtiene integrando las curvas de resistencia de cada familia (ver Figura 4.8).

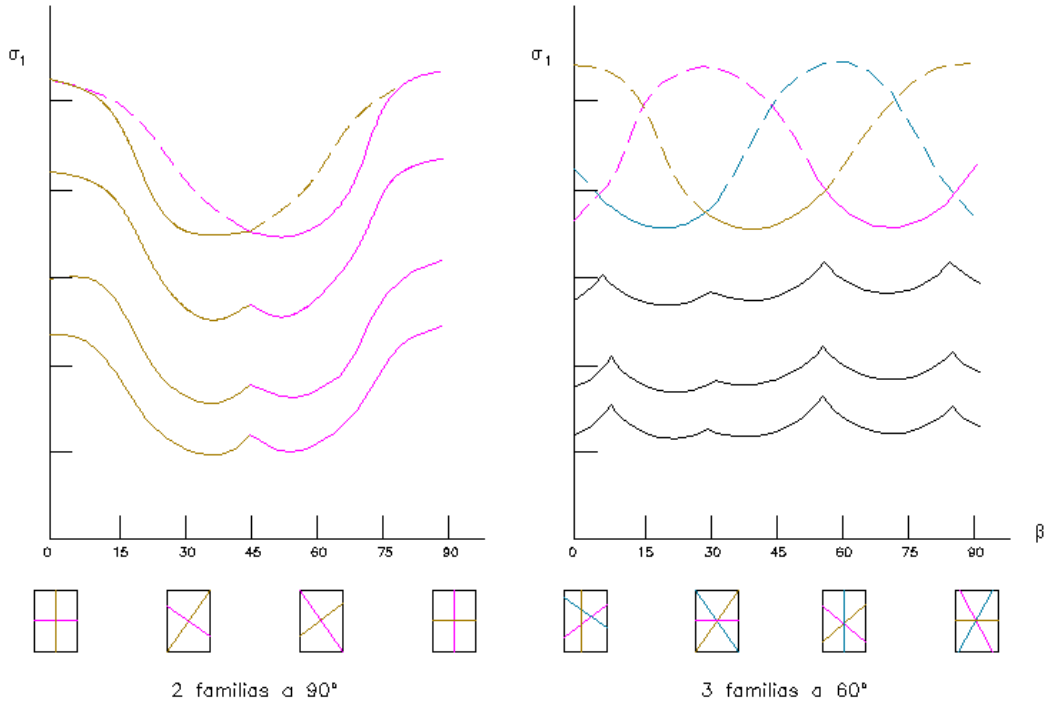


Figura 4.8 – Curvas representativas de la resistencia de macizos rocosos afectados por dos o tres familias de discontinuidades (Hoek y Brown, 1980).

En la curva correspondiente a tres familias de discontinuidades, se aprecia que el macizo no puede presentar rotura a través de la matriz rocosa, al prevalecer la orientación de las discontinuidades en cualquier dirección. La resistencia del macizo se va haciendo más uniforme al aumentar el número de familias.

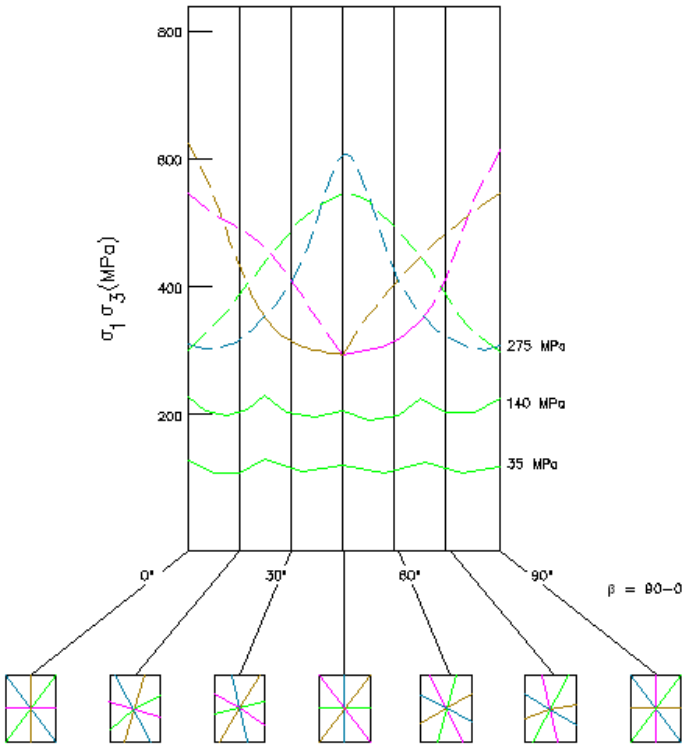


Figura 4.9 – Curvas hipotéticas representativas de la resistencia de macizos rocosos afectados por cuatro familias de discontinuidades (Hoek y Brown, 1980).

Si se supone la presencia de cuatro familias de discontinuidades, con iguales parámetros de resistencia y orientadas en el espacio a 45° entre ellas, la resistencia del macizo rocoso se representará por la superposición de las curvas de resistencia σ_1-β (β=90-θ) de cada familia, como queda reflejado en la Figura 4.9. La rotura siempre se formará a través de una de las cuatro familias, dependiendo de la orientación de los esfuerzos. Para cada orientación en el comportamiento del macizo rocoso está determinado por la resistencia más baja de las curvas individuales de cada familia. Como se aprecia en la curva de resistencia de la Figura 4.9, para un macizo rocoso con un número suficiente de discontinuidades, puede asumirse un comportamiento isotrópico.

4.9 Índice del Macizo Rocoso (RMi) – Palmström (1995)

El método fue desarrollado en la Universidad de Oslo, Noruega, y pide como datos de entrada, los principales rasgos que influencian las propiedades del macizo rocoso. Fue presentado inicialmente por Palmström (1995, 1996). El RMi puede utilizarse en varias aplicaciones, adicionales a su uso para el que fue desarrollado (estimación de sostenimiento):

1) Caracterización de la resistencia y deformabilidad del macizo rocoso.
2) Cálculo de las constantes del criterio de falla de Hoek y Brown para macizos rocosos.
3) Valoración o estimación del grado de penetración de máquinas tuneladoras a sección completa (TBM).

Este método al ser desarrollado para la estimación de sostenimiento de túneles, ha sido simplificado de tal manera que los parámetros de entrada son cuantificables de manera sencilla para de esta manera realizar un primer estimado del sostenimiento. Posteriormente, cuando los valores o valoraciones de los distintos factores que constituyen los datos de entrada, haya sido posible su observación o medida, puede hacerse una estimación más precisa del sostenimiento.

El índice del macizo rocoso (RMi) es un parámetro volumétrico que indica, de forma aproximada, la resistencia uniaxial a compresión de un macizo rocoso. Se expresa cómo:

Para rocas diaclasadas:

$$RMi = \sigma_c \cdot JP = 0.2\sqrt{jC} \cdot Vb^D \ (D = 0.37 \cdot jC^{0.2})$$

Para rocas masivas:

$$RMi = \sigma_c \cdot f_\sigma = \sigma_c(0.05/Db)^{0.2} \approx 0.5\sigma_c$$

Donde:

σ_c: La resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta, medida sobre muestras de 50 mm de diámetro.

jC: Factor de estado (o condición) de las diaclasas, el cual es una medida combinada de: el factor de tamaño y continuidad de las diaclasas (jL), el factor de rugosidad de las diaclasas (jR), y del factor de la alteración de las diaclasas; expresado como: jA

$$jC = jL \cdot \frac{jR}{jA}$$

Los valores correspondientes a estos parámetros se encuentran reflejados en la Tabla 4.23

Vb: El volumen del bloque medido o expresado en m^3; generalmente se utiliza el volumen promedio. ($Db = \sqrt[3]{Vb}$ representa el diámetro equivalente del bloque, medido en m).

JP: El parámetro del diaclasado, el cual incorpora los principales rasgos del macizo rocoso. Sus valores pueden encontrarse en el diagrama inferior de la Figura 4.10, o de la ecuación para rocas diaclasadas.

$$JP = 0.2\sqrt{jC} \cdot Vb^{D}$$

f_σ: El parámetro de la masividad

$$f_\sigma = (0.05/Db)^{0.2}$$

representa un ajuste por el efecto de escala en la resistencia a la compresión en una roca masiva. Generalmente existen rocas masivas cuando *Db > 2 m* aproximadamente, para el cual $f_\sigma \approx 0.5$. Cuando $JP < f_\sigma$ (esto es cuando *JP < 0.5* aproximadamente), se utiliza la ecuación de rocas diaclasadas. Véase la parte baja del diagrama de la Figura 4.10.

La Figura 4.11 muestra la conexión entre los parámetros de entrada utilizados en el sistema de clasificación RMi. Para las características más comunes de las diaclasas *jC = 1.*75, con lo cual se obtiene:

$$RMi = \sigma_c \cdot JP = \sigma_c \cdot 0.26\sqrt[3]{Vb}$$

La anterior ecuación, puede ser usada cuando, solo se disponga de información limitada sobre las condiciones del macizo rocoso.

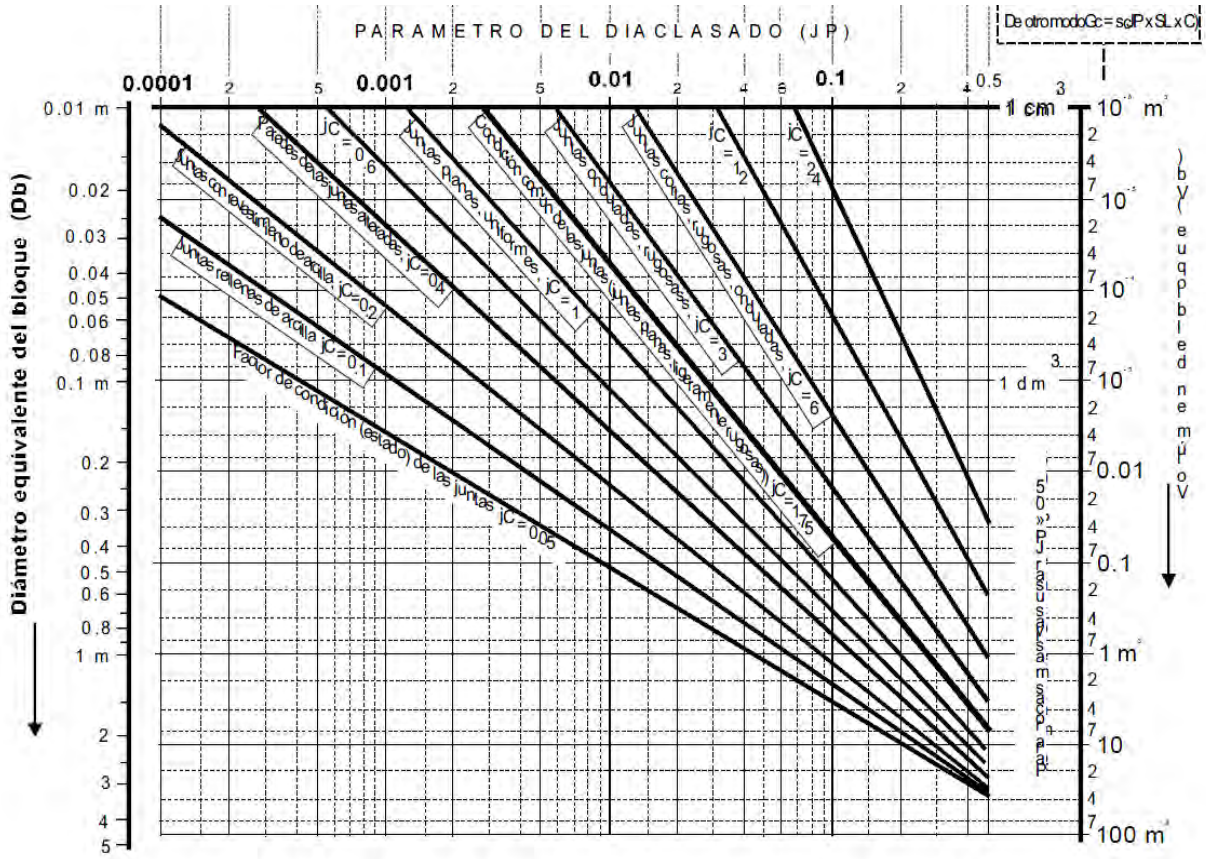


Figura 4.10 – El parámetro del diaclasado (JP) determinado a partir de Vb y jC (Palmström, 2000).

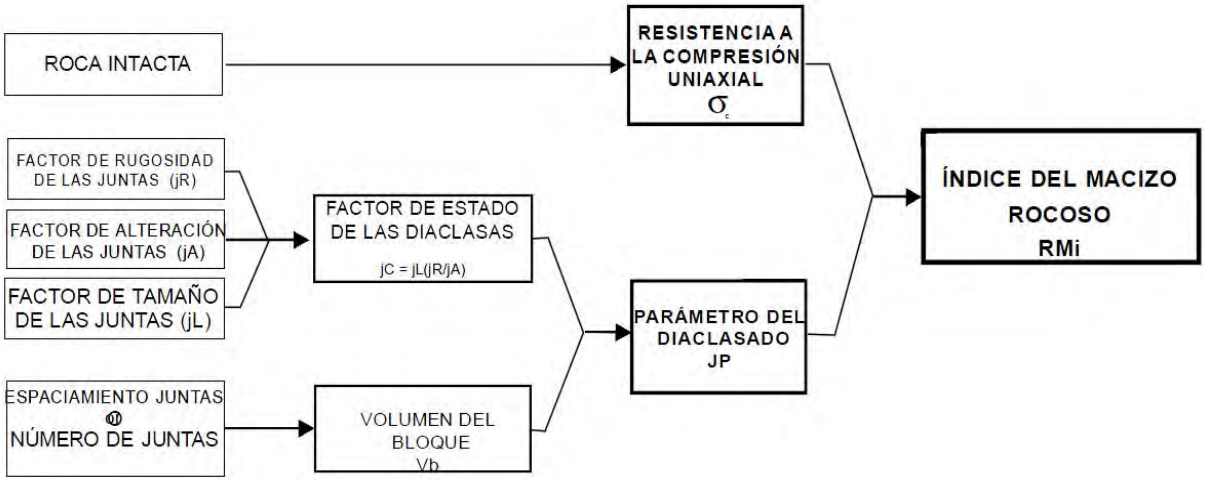


Figura 4.11 – Conexión entre los parámetros de entrada (Palmström, 2000).

Tabla 4.23– Valores y valoraciones de los parámetros de entrada del Rmi

<table>
<tr><th colspan="7">PARÁMETROS DE ENTRADA AL Rmi</th></tr>
<tr><td colspan="3">RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE, σ_c de la roca intacta</td><td colspan="2">Valor (en Mpa)</td><td>Obtenidos de ensayos de laboratorio (o asumidos de tablas)</td></tr>
<tr><td colspan="3">VOLUMEN DEL BLOQUE, Vb</td><td colspan="2">Valor (en m^3)</td><td>Medido visualmente en el sitio (o estimado de los testigos de la perforación</td></tr>
<tr><td colspan="3">FACTOR DE ESTADO (CONDICION) DE LAS DIACLASAS, jC</td><td colspan="2">$jC = jL \cdot \frac{jR}{jA}$</td><td>En la parte inferior se detallan los valores de jR, jA y jL</td></tr>
<tr><td colspan="3">FACTOR DE RUGOSIDAD DE JUNTAS, jR</td><td colspan="3">Las valoraciones de jR están basadas en Jr del sistema Q</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Suavidad del plano de junta a pequeña escala</td><td colspan="5">Ondulación del plano diaclasado a gran escala</td></tr>
<tr><td>Planar</td><td>Ligeramente ondulado</td><td>Ondulado</td><td>Altamente ondulado</td><td>Escalonado o entrelazado</td></tr>
<tr><td>Muy rugoso</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>6</td><td>6</td></tr>
<tr><td>Rugoso</td><td>1.5</td><td>2</td><td>3</td><td>4.5</td><td>6</td></tr>
<tr><td>Suave</td><td>1</td><td>1.5</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr>
<tr><td>Pulido o espejo de falla*</td><td>0.5</td><td>1</td><td>1.5</td><td>2</td><td>3</td></tr>
<tr><td colspan="6">Para diaclasas rellenas jR=1
Para diaclasas irregulares se sugiere una valoración jR=5
* Aplicar estas valoraciones a espejos de falla con posibles movimientos a través de estrías</td></tr>
<tr><td colspan="3">FACTOR DE ALTERACION DE JUNTAS, jA</td><td colspan="3">Las valoraciones de jA se basan en Ja del sistema Q</td></tr>
<tr><td rowspan="6">Contacto entre las paredes de la junta</td><td colspan="2">Características de las paredes de las juntas</td><td colspan="2">Condición</td><td>Contacto entre paredes</td></tr>
<tr><td rowspan="4">DIACLASAS (JUNTAS) LIMPIAS</td><td>Pegadas o soldadas</td><td colspan="2">Relleno de cuarzo, epidota, etc.</td><td>0.75</td></tr>
<tr><td>Roca inalterada (fresca)</td><td colspan="2">Sin cubierta o relleno, excepto decoloración (pátina de oxido)</td><td>1</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Superficies alteradas</td><td colspan="2">Un grado más de la alteración de la roca</td><td>2</td></tr>
<tr><td colspan="2">Dos grados más de alteración de la roca</td><td>4</td></tr>
<tr><td rowspan="2">CUBIERTOS O RELLENOS DE POCO ESPESOR</td><td>Materiales de fricción</td><td colspan="2">Arenas, limo, calcita, etc. Sin contenido de arcilla</td><td>3</td></tr>
<tr><td>Materiales cohesivos</td><td colspan="2">Arcilla, clorita, talco, etc.</td><td>4</td></tr>
<tr><td rowspan="5">Paredes de la junta con contacto parcial o sin contacto</td><td rowspan="2">Rellenos de:</td><td rowspan="2">Tipo</td><td>Contacto parcial entre paredes</td><td>No contacto entre paredes</td></tr>
<tr><td>Relleno fino (<5 mm)</td><td>Relleno grueso</td></tr>
<tr><td>Material friccional</td><td>Arena, limo, calcita, etc. (sin reblandecimiento)</td><td>4</td><td>8</td></tr>
<tr><td>Material duros y cohesivos</td><td>Relleno compacto de arcilla, clorita, talco, etc.</td><td>6</td><td>6 – 10</td></tr>
<tr><td>Materiales blandos y cohesivos</td><td>Arcillas de media a baja sobreconsolidación, clorita, talco, etc.</td><td>8</td><td>12</td></tr>
<tr><td>Materiales expansivos y arcillosos</td><td>Materiales de relleno que exhiben propiedades expansivas</td><td>8 – 12</td><td>13 – 20</td></tr>
</table>

Tabla 4.23– Valores y valoraciones de los parámetros de entrada del Rmi (continuación)

FACTOR DE TAMAÑO Y CONTINUIDAD DE LAS DIACLASAS (JUNTAS), jL				
Tipo	Longitud	Tamaño	Juntas Continuas	Juntas Discontinuas*
División de la estratificación o foliación	< 0.5 m	Muy corto	3	6
Diaclasas o juntas	0.1 – 1 m	Corto o pequeño	2	4
	1 – 10 m	Mediano	1	2
	10 – 30 m	Grande o largo	0.75	1.5
Junta (sellada), dique o cizalla**	> 30 m	Muy grande o largo	0.5	1
* Las juntas discontinuas acaban en roca masiva ** Frecuentemente son una singularidad y deben en este caso ser tratadas por separado				

La Tabla 4.24 muestra la clasificación de la calidad del macizo rocoso en función a los valores del RMi. La influencia de la alteración de la roca en este sistema, se ve directamente en el factor de alteración de juntas (jA), y de manera indirecta, en la resistencia a la compresión simple de la roca intacta.

Tabla 4.24 - Valores del RMi

CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO	VALOR RMi
Muy baja	< 0.01
Baja	0.01 – 0.1
Moderada	0.1 – 1
Alta	1 – 10
Muy alta	> 10

5 RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA EN FUNCIÓN DE LA ALTERACIÓN HIDROTERMAL

5.1 Introducción

Como parte de este trabajo, se ha realizado una revisión de numerosa información de investigación geotécnica realizada en macizos rocosos en yacimientos hidrotermales; estas investigaciones han formado parte de proyectos de diseño de taludes de tajos abiertos y demás instalaciones mineras, y han sido realizadas en parte personalmente por el autor, durante su trabajo en Vector Perú SAC.

Las investigaciones geotécnicas consistieron en perforaciones diamantinas, con recuperación de testigo; producto de esta investigación se realizaron una gran cantidad de toma de muestras o testigos de roca, los cuales han sido logueados o registrados con fines de realizar una caracterización geotécnica del macizo rocoso. Asimismo, muchos de estos testigos han sido ensayados en laboratorios de mecánica de rocas para de conocer sus propiedades física-mecánicas.

Los registros geotécnicos de campo realizados, incluyeron la determinación de la litología, medición de la recuperación del testigo, medición del RQD, medición del grado de fracturamiento de la roca, determinación de la condición de discontinuidades, determinación del grado de alteración de la roca acorde con la ISRM (1981), estimación en campo de la dureza de la roca y la toma de muestras; en las muestras llevadas a un laboratorio, se realizaron los ensayos de resistencia a la compresión uniaxial (ASTM D2938), índice de carga puntual (ASTM D5731), propiedades físicas de la roca (ASTM C 127) y compresión triaxial (ASTM D2664).

Para el presente trabajo se ha recopilado más de 600 resultados de laboratorio con sus respectivos registros geotécnicos de campo. Estos resultados corresponden, tanto al ensayo de resistencia a la compresión uniaxial, como al ensayo de determinación del índice de carga puntual; estos ensayos han sido agrupados con respecto a su litología, y a su vez en función de su grado alteración. A partir de este agrupamiento se ha realizado una caracterización de la roca en función a su grado de alteración; a continuación se detalla este procedimiento.

5.2 Determinación del Grado de Alteración de la Roca

Los registros del grado de alteración de la roca en todas las muestras ensayadas, han seguido la metodología propuesta por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM) con una ligera modificación como se muestra en la Tabla 5.1. Esta modificación consiste en la asignación de letras y valores numéricos en lugar de la asignación con números romanos usada por la ISRM; está asignación mediante letras, además tiene subdivisiones para una evaluación más detallada.

Como se puede observar en la Tabla 5.1, para poder realizar una comparación más exacta se le ha asignado una valoración a cada grado de alteración de la roca, para de esta manera poder crear una escala de alteración de 0 a 15, que nos permitirá realizar una correlación numérica con mayor facilidad.

Cabe recalcar que la tabla propuesta por la ISRM se refiere a la meteorización y a la alteración; en nuestro caso, al realizarse todas estas perforaciones dentro de un yacimiento mineral, y las muestras de estas perforaciones han sido obtenidas de profundidades importantes, el factor de meteorización se considera poco significativo; es decir, solamente se está considerando que la degradación de la roca se debe a alteración, y en nuestro en particular, tomando en cuenta los yacimientos estudiados, se considera alteración hidrotermal.

Tabla 5.1 – Determinación del Grado de Alteración de la Roca (ISRM, 1981)

GRADO DE ALTERACIÓN (ISRM)	TERMINO	DESCRIPCIÓN	GRADO DE ALTERACIÓN (VECTOR PERU SAC)		VALOR NUMÉRICO ASIGNADO
I	Fresco	No aparece signos visibles de alteración, tal vez ligera decoloración en las grandes superficies de discontinuidad.	F	F	15
				F-	14
II	Ligeramente alterado	Todo el macizo rocoso está decolorado por la alteración. La decoloración indica alteración del macizo rocoso y de las superficies de discontinuidad.	E	E+	13
				E	12
				E-	11
III	Moderadamente alterado	Menos de la mitad del macizo rocoso aparece descompuesto o transformado en suelo. La roca fresca o decolorada aparece de forma continua o como núcleos aislados.	D	D+	10
				D	9
				D-	8
IV	Altamente alterado	Más de la mitad del macizo rocoso aparece descompuesto o transformado en suelo. La roca fresca o decolorada aparece de forma discontinua o como núcleos aislados.	C	C+	7
				C	6
				C-	5
V	Completamente alterado	Todo el macizo rocoso se ha descompuesto o transformado en suelo. Se conserva la estructura original del macizo rocoso.	B	B+	4
				B	3
				B-	2
VI	Suelo residual	Todo el material rocoso se ha transformado en suelo. Se ha destruido la estructura del macizo rocoso.	A	A+	1
				A	0

5.3 Determinación de la Resistencia de la Roca

Para la determinación de la resistencia de la roca, si bien en los registros geotécnicos de campo se realizo una estimación de la resistencia de la roca in-situ siguiendo la recomendación de la ISRM (1979), esta estimación no se ha tomado en cuenta, debido a su subjetividad en la toma de datos, que muchas veces depende de la experiencia de quien haga los registros. Los valores tomados en cuenta corresponden a los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión uniaxial e índice de carga puntual. En los primeros el valor resultante del ensayo es tomado directamente como el valor de la resistencia de la roca; en el caso del índice de carga puntual, los resultados de los ensayos deberán ser procesados y transformados a valores de resistencia a la compresión uniaxial equivalente. A continuación repasaremos brevemente cada uno de estos dos ensayos, y cuál es la relación entre ellos.

5.3.1 Resistencia a la Compresión Uniaxial (UCS)

La resistencia a la compresión uniaxial (UCS) es sin duda la propiedad geotécnica que más a menudo es citada en la práctica de ingeniería de rocas. Ampliamente se entiende como un índice general que da una primera aproximación del rango de consideraciones que probablemente deben ser tomadas en cuenta dentro de una variedad de problemas de ingeniería incluyendo soportes de techo de túneles, diseño de puntales y técnicas de excavación (Hoek, 1977). Para la mayoría de problemas de diseño, una aproximación razonable del UCS es suficiente. Esto se debe en parte a la alta variabilidad de las mediciones del UCS. Por otra parte, las pruebas son costosas, y requieren preparar cuidadosamente los

especímenes para asegurarse que las caras de contacto con el equipo sean totalmente paralelas.

Según la ISRM en la realización de este ensayo se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Los testigos deben ser cilíndricos, y la relación entre el alto y el diámetro del testigo debe estar en el rango 2.5-3.0; el diámetro del testigo debe ser de al menos 10 veces el tamaño del grano de la muestra.
- La discontinuidad de la superficie a ensayar debe tener una inclinación menor a 0.02 mm.
- Los especímenes deben ser ensayados antes de los 30 días de haber sido extraídos, para evitar alteraciones a las condiciones intrínsecas de la roca.
- Las cargas deben ser aplicadas a un ritmo constante de 0.5-1.0 MPa/s.

Este ensayo se realiza en conformidad con los procedimientos dados en la norma ASTM D2938, con una longitud de 2 veces el diámetro del testigo mediante el uso de testigos de tamaño NX como mínimo. Se recomiendan de 3 a 5 ensayos UCS en un tipo de roca para lograr una buena significación estadística de los resultados. Si la longitud de la muestra es mayor a 2 veces el diámetro, la ASTM recomienda un factor de corrección que se aplica el valor de UCS determinado a partir de los ensayos. La Figura 5.1 muestra una fotografía del equipo con el que se realiza este ensayo.

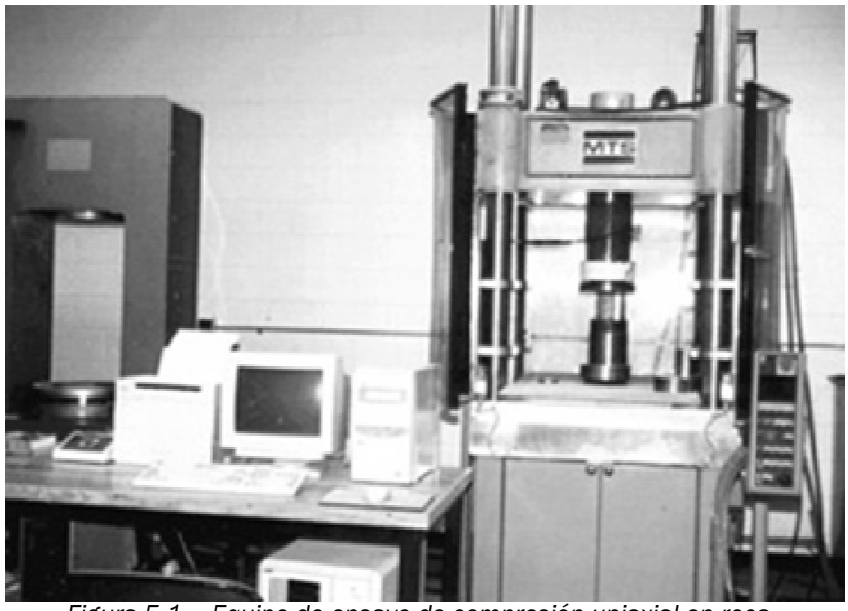


Figura 5.1 – Equipo de ensayo de compresión uniaxial en roca.

La resistencia a la compresión uniaxial de un testigo de roca es calculada dividiendo la carga máxima en la falla por el área transversal del testigo:

—

Donde:
UCS: resistencia uniaxial de la roca.
F: carga máxima en la falla.
A: área transversal del testigo.

5.3.2 Ensayo de Carga Puntual (PLT)

Este ensayo es una alternativa atractiva al UCS porque puede proporcionar datos similares a un menor costo. El PLT se ha utilizado en los análisis geotécnicos durante muchos años. El PLT implica la compresión de una muestra de roca entre prensas de acero cónicas hasta que

se produzca falla. El equipo para este ensayo consta de un marco rígido, dos prensas de carga puntual, un pistón hidráulico con medidor de presión y un dispositivo para medir la distancia entre los puntos de aplicación de la carga.

La Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM, 1985) estableció los procedimientos básicos para pruebas y cálculos del índice de resistencia de carga puntual. Hay tres tipos básicos de pruebas de carga puntual: axial, diametral y de bloque. Las pruebas diametrales y axiales se llevan a cabo en muestras de testigos de perforación de roca. En la prueba de axial, el testigo se carga en paralelo a su eje longitudinal, y esta prueba es la más comparable a una prueba de UCS. La prueba de carga puntual permite determinar el índice de resistencia de carga puntual no corregida (Is). Debe ser corregida al diámetro equivalente estándar (D_e) de 50 mm. Si el testigo que se está ensayando está "cerca" de 50 mm de diámetro (como un testigo NX), no es necesaria la corrección. El procedimiento para la corrección de tamaño puede obtenerse gráficamente o matemáticamente, tal como describe los procedimientos de la ISRM.

Figura 5.2 – Equipo de ensayo de carga puntual en roca.

Tal como se muestra en la norma ASTM D5731, el valor de la Is_{50} se determina mediante la siguiente ecuación:

$$Is_{50} = \frac{P}{D_e^2}$$

Donde:
P: carga de falla (presión x área del pistón).
D_e: diámetro del núcleo equivalente.

5.3.3 *Relación entre la Resistencia a la Carga Puntual (Is) y la Resistencia a la Compresión Uniaxial (UCS)*

Como se mencionó anteriormente, a menudo se usa el ensayo PLT en sustitución del ensayo UCS, debido a su rapidez y su menor costo (Palmström, 1995). Como señaló Hoek (1977), la mecánica del PLT realmente causa que la roca falle a tracción, por lo tanto, la precisión del uso del PLT para predecir un valor confiable de UCS, depende de la relación entre el UCS y la resistencia a la tracción de la roca; debido a esto, Hoek y Brown (1980), mencionaron que se puede llegar a una estimación razonable de la resistencia a la compresión uniaxial de la roca a partir de la prueba de carga puntual.

Los primeros estudios acerca de esta relación (Bieniawski, 1975; Broch y Franklin, 1972) se llevaron a cabo en rocas duras y resistentes, y se encontró que la relación entre el valor de UCS y la resistencia a la carga puntual podría expresarse como:

$$UCS = Is \times K = Is_{50} \times K_{50}$$

Donde K y K_{50} es el "factor de conversión" considerando el valor Is y Is_{50}, respectivamente. Inicialmente se propuso un valor K_{50}=24, aunque posteriores estudios encontraron que este valor no es tan universal como se esperaba y que en su lugar existe un amplio rango de factores de conversión. La Tabla 5.2 resume resultados publicados obtenidos para distintos tipos de roca. La mayoría de estas estimaciones coloca el factor conversión en un rango entre 16 y 24, con valores más bajos para algunas pizarras y lodolitas. Para rocas más frágiles, la relación es de aproximadamente 10. Sin embargo, para lodolitas y arcillitas blandas, la proporción puede estar más cerca de 5. Esto implica que los resultados de PLT quizá deban interpretarse de forma diferente para las rocas más débiles.

Por otro lado, autores como Greminger (1982) y Seshagiri Rao et al. (1987), encontraron que el factor de conversión K50 generalmente varía entre 15 y 25, pero a veces puede variar entre 10 y 50 especialmente para rocas anisotrópicas, por lo que errores de hasta el 100% son posibles en el uso de un valor de correlación arbitrario para predecir de UCS a partir de los resultados de PLT.

En 1982 Greminger encontró que la estimación de la resistencia a la compresión uniaxial en rocas anisotrópicas puede conducir a errores significativos, como se muestra en la Figura 5.3.

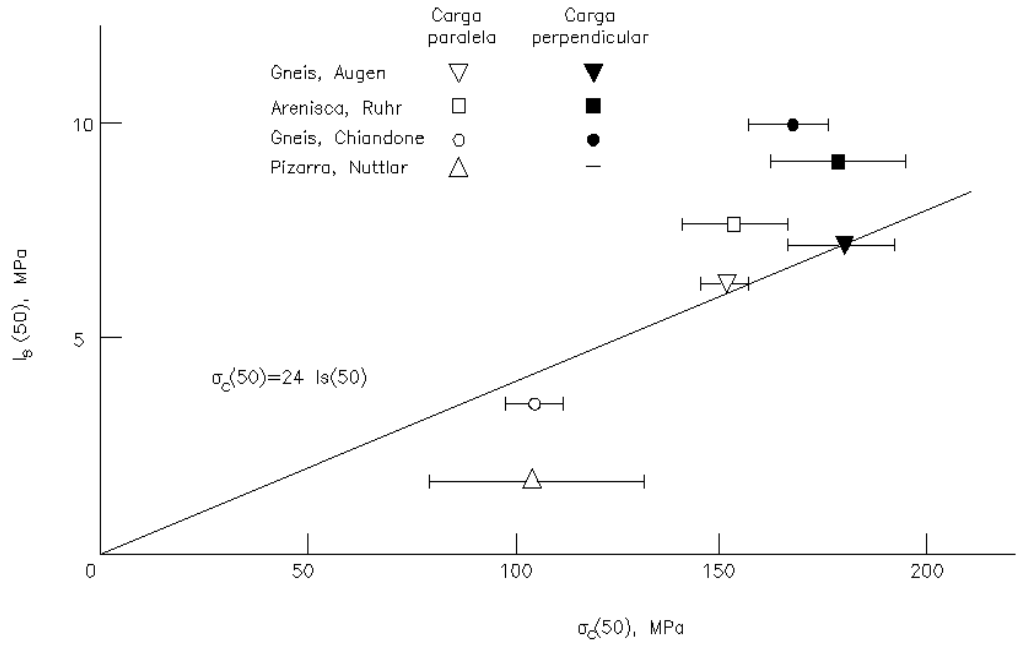


Figura 5.3 – Relación entre los resultados de los ensayos UCS y PLT (Greminger, 1982).

Por otro lado Seshagiri Rao et al. (18987) sostuvieron que no puede establecerse ninguna relación general entre UCS y Is_{50}. También Hansen (1988) opinó lo mismo a partir de numerosos ensayos realizados en la Universidad Técnica de Noruega. La tendencia, por lo tanto, parece ser que el factor K o K_{50} es mayor para rocas resistentes. Basándose en los resultados anteriores se sugiere, donde ninguna otra información está disponible, Palmström (1995) sugiere utilizar los valores de K_{50} que se presentan en la Tabla 5.2.

Generalmente se asume que el ensayo UCS es el estándar en lo que respecta a la determinación de la resistencia de la roca a la compresión, ya que en realidad, los ensayos UCS proporcionan una estimación “verdadera”. La precisión de esta estimación depende de la dispersión natural en los resultados del ensayo UCS (desviación estándar) y del número de pruebas realizadas (Rusnak et al., 2000).

Tabla 5.2 – Comparación entre los Resultados de los Ensayos PLT y UCS

REFERENCIA	TIPO DE ROCA	NUMEROS DE ENSAYOS	FACTOR DE CONVERSIÓN	COMENTARIOS
Das (1995)	Limolitas	Sin referencia	K_{50}=14.7	Bloques, testigos frescos y antiguos
	Areniscas/Limolitas	Sin referencia	K_{50}=18.0	
	Pizarras/Lodolitas	Sin referencia	K_{50}=12.6	
Vallejo et al. (1989)	Areniscas	420 PLT, 21 UCS	K_{50}=17.4	Roca recién volada, muestras de bloques irregulares
	Pizarra	1100 PLT, 55 UCS	K_{50}=12.6	
Smith (1997)	Material dragado	Sin referencia	K_{50}=8.0	UCS<1000 psi
	Material dragado	Sin referencia	K_{50}=15.0	UCS<3500 psi
	Areniscas/Calizas	Sin referencia	K_{50}=24.0	UCS>6000 psi
Broch y Franklin (1972)	Varios	Sin referencia	K_{50}=23.7	11 tipos de roca
Carter y Sneddon (1977)	Yacimiento de carbón	1000 PLT, 68 UCS	K_{50}=21.0-22.0	3 unidades ensayadas
O'Rourke (1988)	Rocas sedimentarias	66	K_{50}=30.0	Muestras de una perforación
Hassani et al. (1980)	Rocas sedimentarias	1000	K_{50}=29.0	
Singh y Singh (1993)	Cuarcitas	65	K_{50}=23.4	
Read et al. (1980)	Rocas sedimentarias	Sin referencia	K_{50}=20.0	Referencia en Choi y Hong (1998)
Bieniawski (1975)	Areniscas	160	K_{50}=23.9	
Rusnak (1998)	Yacimiento de carbón	386	K_{50}=20.0	
Jenny y Bell (1991)	Yacimiento de carbón	Sin referencia	K_{50}=14.1	Principalmente areniscas
Franklin (1970)	Varias	Sin referencia	K=16	
Indian Standards (1978)	Varias	Sin referencia	K=22	
Hoek y Brown (1980)	Varias	Sin referencia	K=14+0.175D	D es el diámetro o espesor del testigo
Greminger (1982)	Varias	Sin referencia		ver Figura 5.3
ISRM (1985)	Varias	Sin referencia	K_{50}=20-25	
Brook (1985)	Varias	Sin referencia	K_{50}=22	
Ghosh y Srivastra (1991)	Varias	Sin referencia	K_{50}=16	
Seshagiri Rao et al. (1987)	Areniscas	Sin referencia	K_{50}=14	UCS=80 MPa
			K_{50}=12	UCS=43 MPa
			K_{50}=14	UCS=24 MPa
			K_{50}=11	UCS=6 MPa
ASTM, 2008	Varias	Sin referencia	K_{50}=17.5 – 24.5	Dependiendo del diámetro de la muestra.

Tabla 5.2 – Comparación entre los Resultados de los Ensayos PLT y UCS (continuación)

REFERENCIA	TIPO DE ROCA	NUMEROS DE ENSAYOS	FACTOR DE CONVERSIÓN	COMENTARIOS
Palmström, 1995	Varias	Sin referencia	K_{50}=14	UCS=25-50 MPa, Is_{50}=1.8-3.5 MPa. Bieniawski sugiere que no se realicen pruebas de carga puntual en macizos rocosos con resistencia a la compresión menor a 25 MPa
			K_{50}=16	UCS=50-100 MPa, Is_{50}=3.5-6.0 MPa
			K_{50}=20	UCS=100-200 MPa, Is_{50}=6.0-10.0 MPa
			K_{50}=25	UCS>200 MPa, Is_{50}>10.0 MPa

En general, la variabilidad en la determinación de un factor de correlación entre los ensayos PLT-UCS puede atribuirse a tres motivos:

1) La inexactitud en la estimación de la verdadera resistencia a la compresión uniaxial obtenida de las pruebas UCS.
2) La inexactitud en la estimación de la verdadera resistencia a la carga puntual obtenida de las pruebas PLT.
3) Las diferencias reales entre los dos ensayos.

Muchos de los estudios que se resumen en la Tabla 5.2 compararon una serie de ensayos PLT con un solo ensayo UCS. Con un diseño experimental, gran parte de la dispersión en los resultados podrían ser realmente atribuible a la inexactitud de los ensayos UCS.

5.4 Procesamiento de los Registros de Campo

Para este procesamiento, se han tomado datos reales de registros de perforaciones geotécnicas de campo, en donde se han realizado ensayos de laboratorio tanto de resistencia a la carga puntual como de resistencia a la compresión uniaxial no confinada; para de esta manera poder realizar una comparación entre el grado de alteración de las muestras (Tabla 5.1) y su resistencia a la compresión uniaxial no confinada, haciendo uso de las correlaciones de Palmström (1995) de la Tabla 5.2 para el caso de los ensayos de carga puntual.

Cabe recalcar que se ha tomado información solo de registros donde se indica la presencia de alguna alteración del tipo hidrotermal, así como de los informes de geología local de los proyectos de donde se obtuvieron los datos; el Anexo B muestra en las hojas resúmenes de los registros y el procesamiento de datos. Del procesamiento de los datos se han obtenido correlaciones entre la valoración del grado de alteración (VA) y la resistencia a la compresión uniaxial no confinada (UCS); luego se realizaron regresiones del tipo lineal, parabólica, exponencial y potencial. La Tabla 5.3 muestra las correlaciones obtenidas con sus respectivos valores de correlación.

Tabla 5.3 – Relación entre Grado de Alteración y Resistencia a la Compresión Uniaxial No Confinada

TIPO DE REGRESIÓN	EXPRESION MATEMÁTICA	TIPO DE ROCA	PARÁMETROS			R^2
			a	b	c	
Lineal	$UCS = a + b \times VA$	Piroclásticas	-40.83	9.52	-	0.55
		Lávicas	-136.51	24.98	-	0.54
		Sub-Volcánicas	-113.02	21.79	-	0.53
		Intrusivas	-116.39	22.10	-	0.60
		Gneiss	-59.02	14.13	-	0.47
		Arenisca-Cuarcita	-89.76	23.48	-	0.64
		Calcáreas	-67.13	14.45	-	0.50
Parabólica	$UCS = a + b \times VA + c \times VA^2$	Piroclásticas	24.48	-13.97	1.61	0.82
		Lávicas	66.83	-32.15	3.46	0.75
		Sub-Volcánicas	46.19	-22.01	2.70	0.71
		Intrusivas	69.97	-23.13	2.56	0.84
		Gneiss	33.07	-9.55	1.40	0.54
		Arenisca-Cuarcita	43.35	-12.16	2.05	0.70
		Calcáreas	41.34	-15.27	1.84	0.79
Exponencial	$UCS = a \times b^{VA} - 1$	Piroclásticas	0.83	1.42	-	0.72
		Lávicas	2.11	1.41	-	0.63
		Sub-Volcánicas	1.31	1.48	-	0.63
		Intrusivas	4.41	1.34	-	0.70
		Gneiss	5.73	1.28	-	0.60
		Arenisca-Cuarcita	6.75	1.31	-	0.64
		Calcáreas	2.50	1.38	-	0.64
Potencial	$UCS = a \times (VA + 1)^b - 1$	Piroclásticas	0.20	2.02	-	0.59
		Lávicas	0.41	2.11	-	0.56
		Sub-Volcánicas	0.12	2.60	-	0.58
		Intrusivas	0.32	2.31	-	0.69
		Gneiss	0.65	1.95	-	0.64
		Arenisca-Cuarcita	0.58	2.20	-	0.67
		Calcáreas	0.26	2.27	-	0.62

NOTA:
Las rocas piroclásticas están conformadas por tobas y areniscas tobáceas.
Las rocas lávicas están compuestas por andesitas y dacitas.
Las rocas sub-volcánicas están compuestas por pórfidos andesíticos.
Las rocas intrusivas están compuestas por granodioritas y dioritas.
Las rocas calcáreas están compuestas por calizas y mármoles.

En el Anexo C se muestran las gráficas de las regresiones calculadas anteriormente y su procesamiento para cada uno de los tipos de roca analizados; el Anexo D describe brevemente los fundamentos estadísticos de cada uno de los métodos de regresión utilizados. Como se observa en la Tabla 5.3, por lo general las curvas de forma parabólica son las que estadísticamente presentan un mayor factor de correlación R^2, aunque como se muestra en el Anexo C, las curvas de forma exponencial son las que mejor se ajustan a los datos de campo, con valores de correlación aceptables, especialmente en el rango de bajos valores de alteración.

Bajo esta premisa, se procede a utilizar la curva de forma exponencial, y se agrupan todos los casos estudiados de varios tipos de roca en una sola gráfica, tal como se muestra en la Figura 5.4.

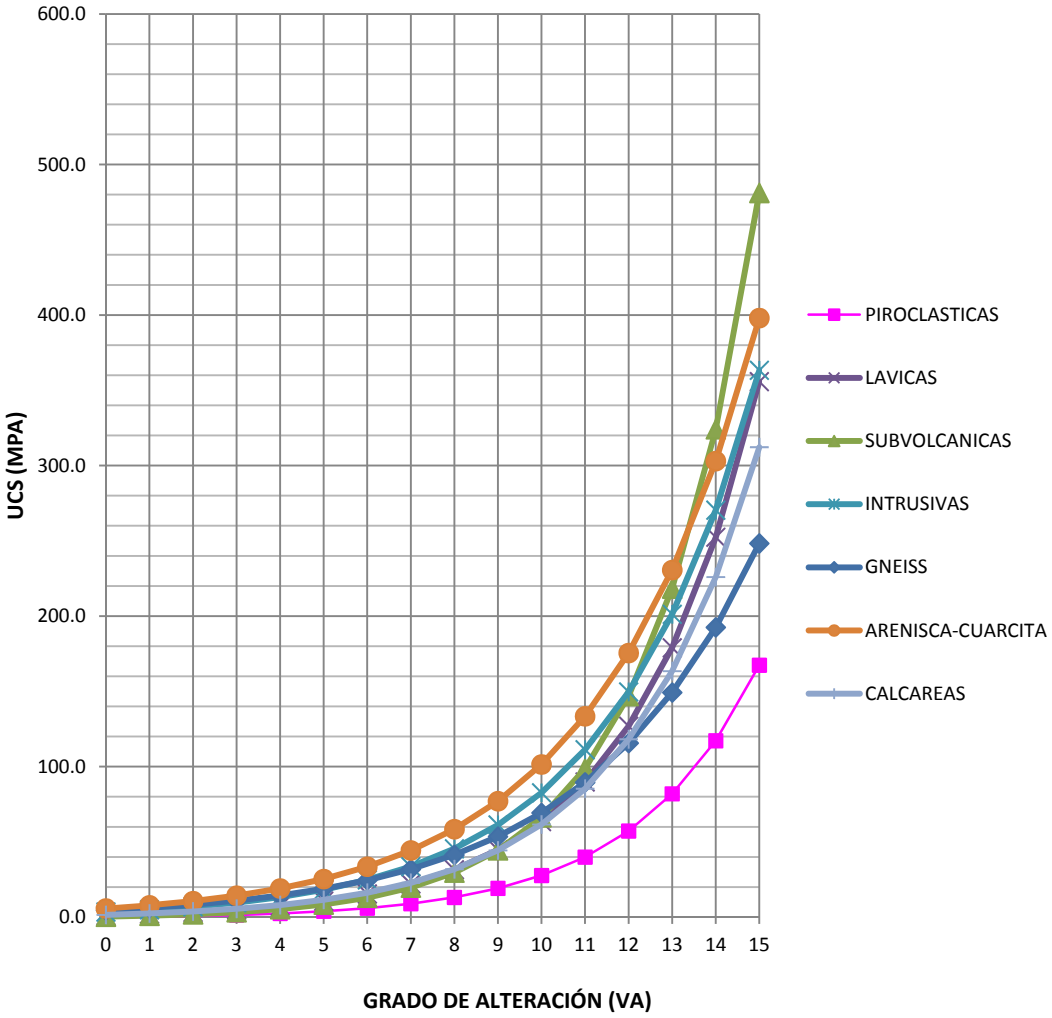


Figura 5.4 – Relación empírica entre el la resistencia a la compresión uniaxial no confinada (UCS) y el grado de alteración (VA) en casos de alteración hidrotermal para distintas litologías.

Finalmente se puede representar la resistencia a la compresión uniaxial no confinada (UCS) de cada tipo de roca analizada en función del grado de alteración definido por la ISRM, como se muestra en las Figuras 5.5, 5.6, 5.7, 5.8, 5.9, 5.10 y 5.11, de acuerdo del tipo de regresión más ajustado a los datos.

Esta correlación se propone en el presente trabajo para ser aplicada a las litologías investigadas y a los tipos de alteración hidrotermal que producen una degradación de la calidad de la roca.

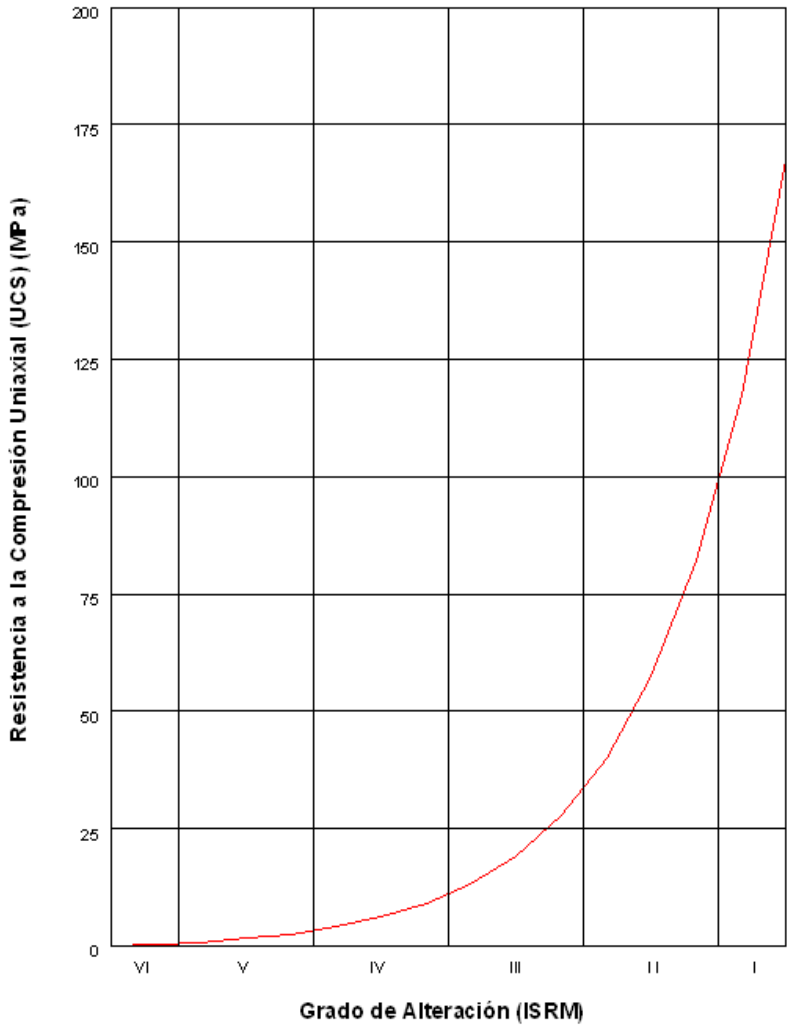


Figura 5.5 – Regresión exponencial: Resistencia a la compresión uniaxial no confinada (UCS) versus grado de alteración (ISRM) – Rocas piroclásticas.

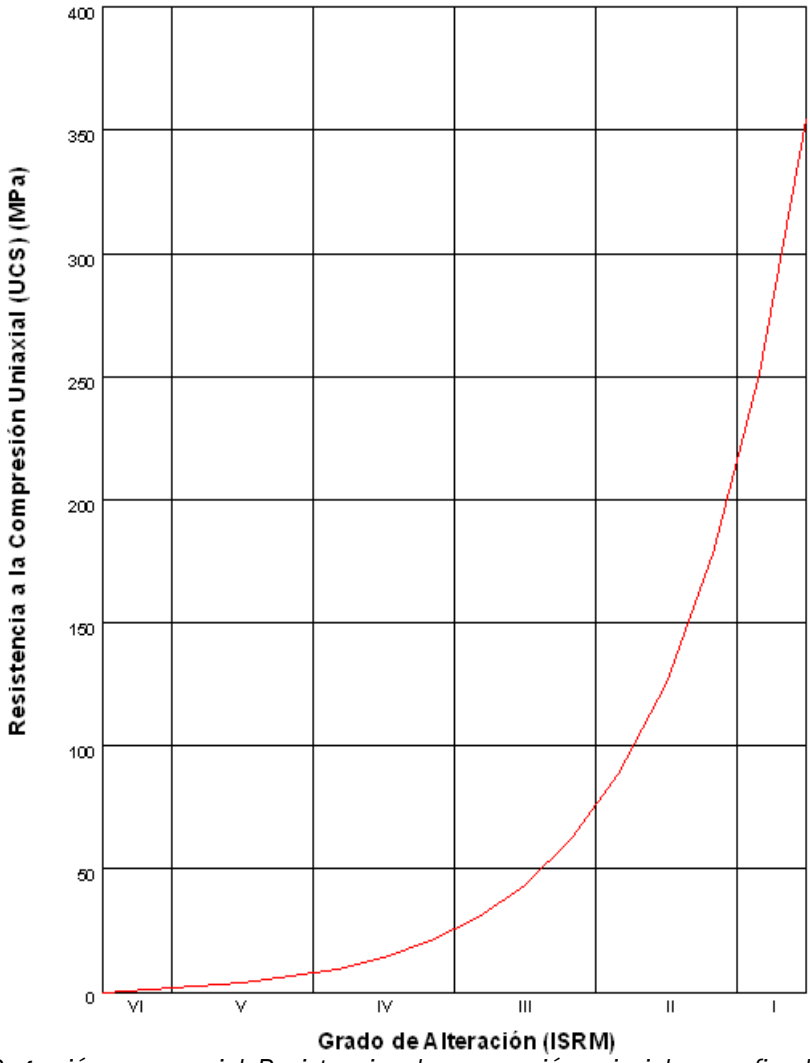


Figura 5.6 – Regresión exponencial: Resistencia a la compresión uniaxial no confinada (UCS) versus grado de alteración (ISRM) – Rocas lávicas.

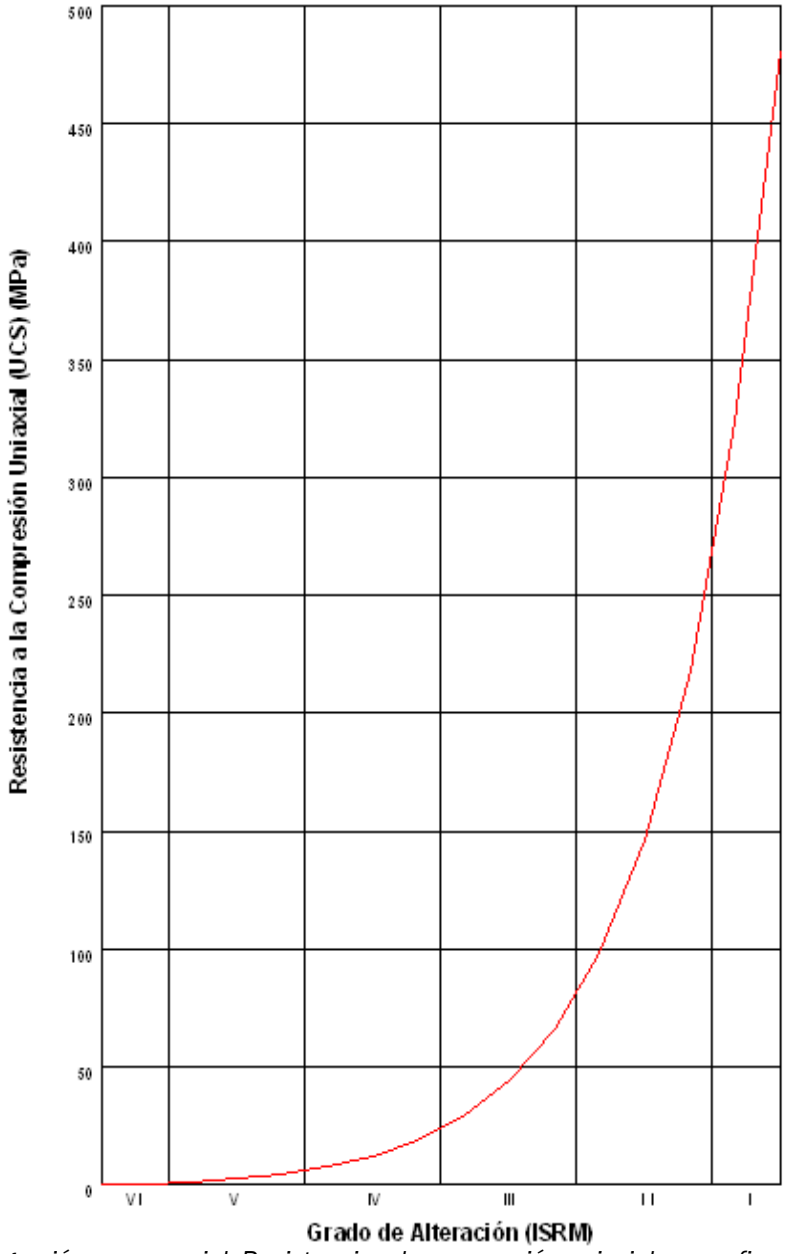


Figura 5.7 – Regresión exponencial: Resistencia a la compresión uniaxial no confinada (UCS) versus grado de alteración (ISRM) – Rocas subvolcánicas.

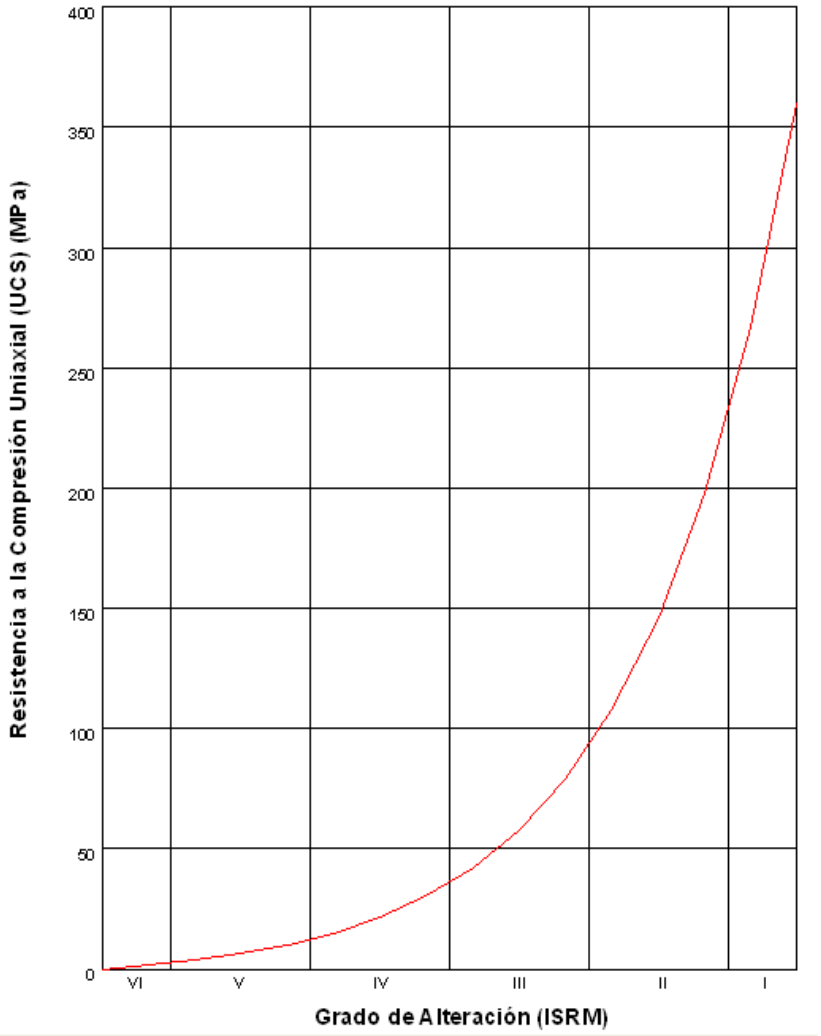


Figura 5.8 – Regresión exponencial: Resistencia a la compresión uniaxial no confinada (UCS) versus grado de alteración (ISRM) – Rocas intrusivas.

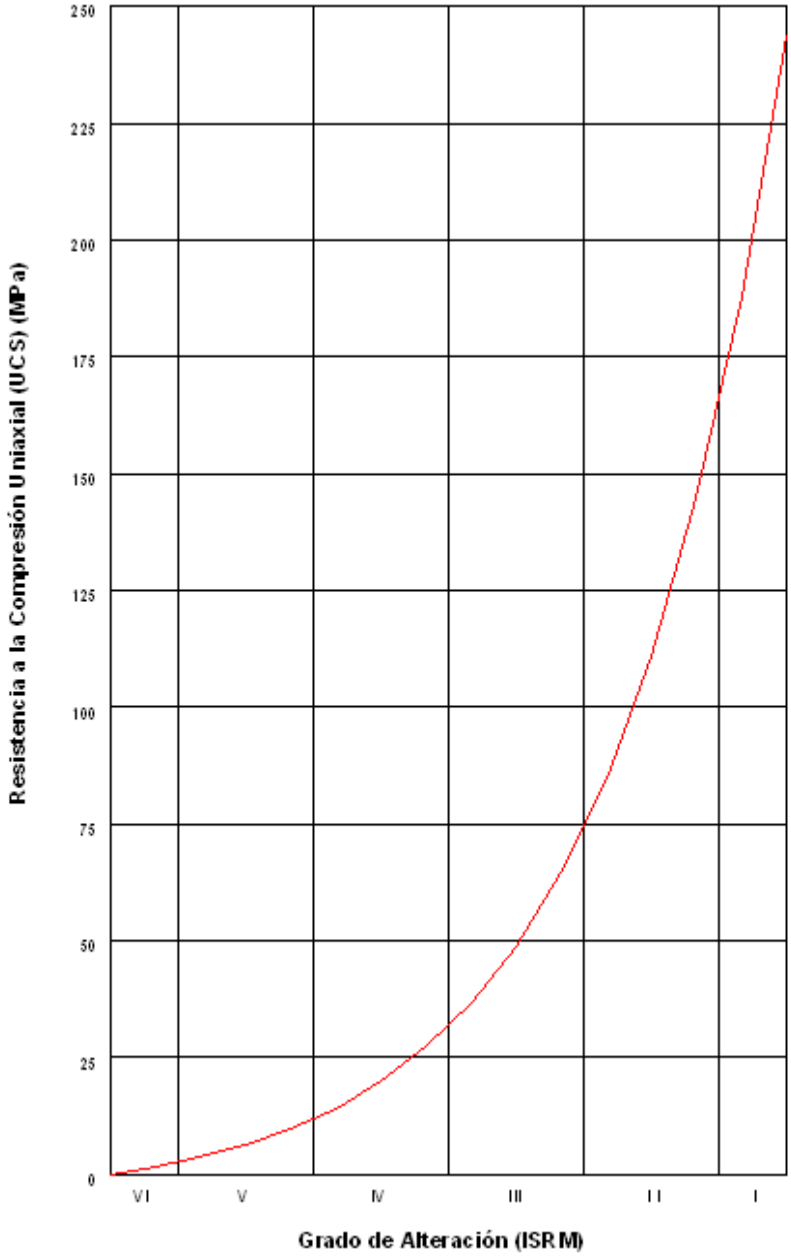


Figura 5.9 – Regresión exponencial: Resistencia a la compresión uniaxial no confinada (UCS) versus grado de alteración (ISRM) – Gneiss.

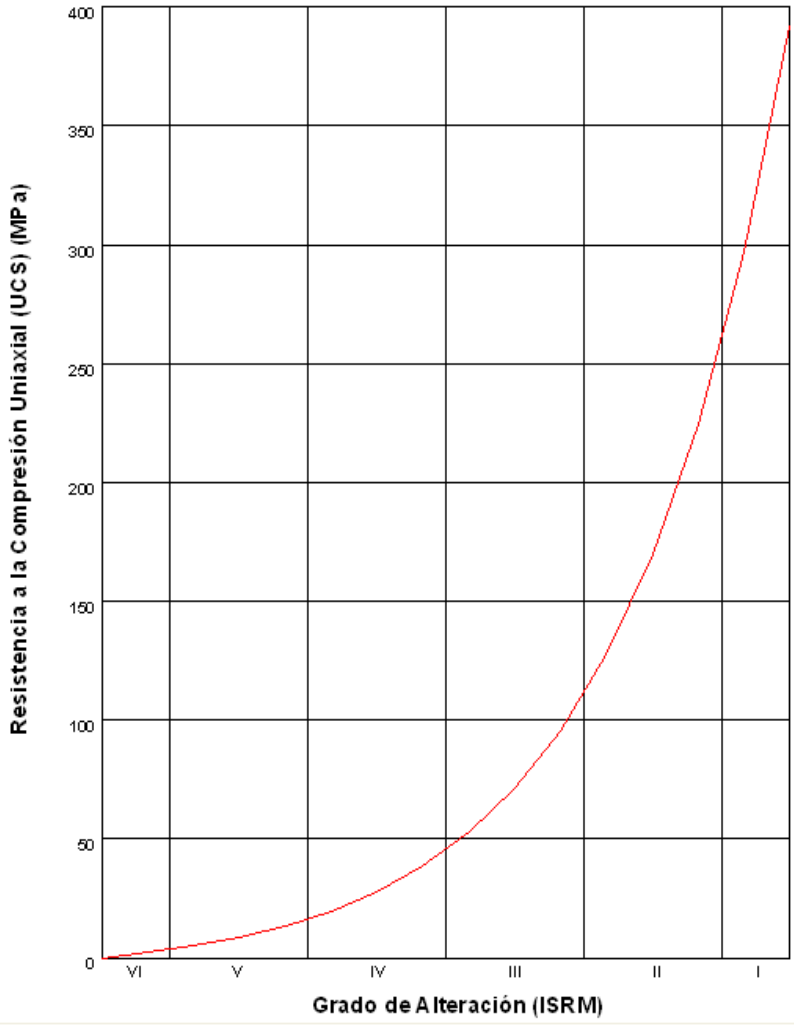


Figura 5.10 – Regresión exponencial: Resistencia a la compresión uniaxial no confinada (UCS) versus grado de alteración (ISRM) – Areniscas.

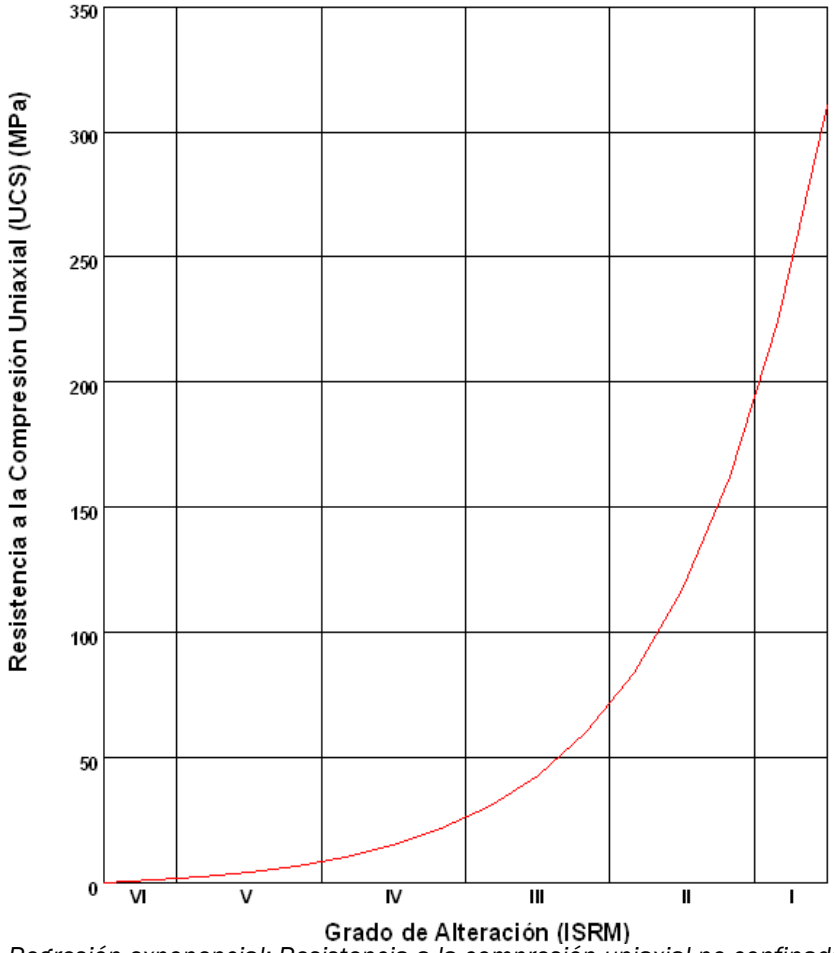


Figura 5.11 – Regresión exponencial: Resistencia a la compresión uniaxial no confinada (UCS) versus grado de alteración (ISRM) – Caliza.

6 CASO DE APLICACIÓN

6.1 Introducción

Una vez determinada una relación entre el grado de alteración hidrotermal de los tipos analizados y la resistencia a la compresión uniaxial no confinada en la roca, en este capítulo se procede a realizar la clasificación de un macizo rocoso alterado por efecto hidrotermal. Como caso de aplicación se toma el diseño de taludes de un tajo abierto localizado en una zona de mineralización del tipo hidrotermal; se clasificará la roca mediante la clasificación GSI para posteriormente obtener las envolventes de resistencia al corte según el criterio de falla de Hoek-Brown, extendido al caso de macizos rocosos fracturados.

6.2 Obtención de la Resistencia Uniaxial No Confinada de la Roca

Para este caso en particular, la variación de la resistencia a la compresión uniaxial no confinada (UCS) para cada tipo de roca analizado, usando la información obtenida de la Figura 5.4, es la que se muestra en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1 – Resistencia a la Compresión Uniaxial No Confinada en Función al Grado de Alteración

GRADO DE ALTERACIÓN (VA)	UCS (MPa)						
	PIROCLASTICAS	LAVICAS	SUBVOLCANICAS	INTRUSIVAS	GNEISS	ARENISCA CUARCITA	CALIZA
0	-0.2	1.1	0.3	3.4	4.6	5.8	1.5
1	0.2	2.0	0.9	4.9	6.2	7.9	2.4
2	0.7	3.2	1.9	6.9	8.3	10.6	3.8
3	1.4	4.9	3.3	9.7	10.9	14.3	5.6
4	2.4	7.3	5.3	13.3	14.4	19.0	8.1
5	3.9	10.7	8.4	18.2	18.8	25.3	11.5
6	6.0	15.4	12.9	24.8	24.5	33.5	16.2
7	8.9	22.1	19.6	33.6	31.9	44.3	22.8
8	13.1	31.5	29.6	45.4	41.3	58.5	31.9
9	19.1	44.8	44.4	61.3	53.6	77.0	44.3
10	27.7	63.5	66.3	82.6	69.3	101.4	61.6
11	39.9	89.8	98.7	111.2	89.5	133.4	85.3
12	57.2	126.8	146.9	149.7	115.6	175.5	118.2
13	81.9	179.0	218.3	201.2	149.2	230.6	163.5
14	117.2	252.4	324.2	270.4	192.5	303.0	226.0
15	167.3	355.8	481.1	363.3	248.3	398.0	312.2

Debido a que se está considerando que a una valoración de grado de alteración de 0, la resistencia es nula, se deberán ajustar los valores mostrados en la Tabla 6.1. La Tabla 6.2 muestra los valores corregidos de la resistencia a la compresión uniaxial no confinada de la roca en función del grado de alteración.

Se considerará los siguientes tipos de roca en este caso de aplicación:

- Rocas piroclásticas conformadas por tobas y areniscas tobáceas.
- Rocas lávicas compuestas por andesitas y dacitas.
- Rocas sub-volcánicas compuestas por pórfidos andesíticos.
- Rocas intrusivas compuestas por granodioritas y dioritas.
- Gneiss.
- Areniscas y cuarcitas.
- Rocas calcáreas compuestas por calizas y mármoles.

Tabla 6.2 – Resistencia a la Compresión Uniaxial No Confinada en Función al Grado de Alteración - Ajustada

GRADO DE ALTERACIÓN (VA)	UCS (MPa)						
	PIROCLASTICAS	LAVICAS	SUBVOLCANICAS	INTRUSIVAS	GNEISS	ARENISCA CUARCITA	CALIZA
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1	0.4	0.9	0.6	1.5	1.6	2.1	0.9
2	0.9	2.1	1.6	3.5	3.7	4.9	2.3
3	1.6	3.8	3.0	6.2	6.4	8.5	4.1
4	2.6	6.2	5.0	9.9	9.8	13.3	6.6
5	4.1	9.6	8.1	14.8	14.2	19.5	10.0
6	6.1	14.3	12.6	21.4	19.9	27.8	14.8
7	9.1	21.0	19.3	30.2	27.3	38.5	21.3
8	13.3	30.4	29.3	42.0	36.8	52.7	30.4
9	19.3	43.7	44.1	57.9	49.0	71.3	42.8
10	27.8	62.4	66.0	79.2	64.7	95.7	60.1
11	40.0	88.7	98.4	107.8	84.9	127.7	83.9
12	57.4	125.7	146.6	146.2	111.0	169.7	116.7
13	82.1	177.9	218.0	197.8	144.6	224.9	162.0
14	117.3	251.3	323.9	267.0	187.9	297.2	224.5
15	167.5	354.6	480.8	359.9	243.7	392.2	310.7

6.3 Clasificación del Macizo Rocoso en Función del Grado de Alteración

Para el caso aplicación, para la obtención de los valores de GSI, se considerará una condición intermedia en el fracturamiento de la estructura del macizo rocoso, es decir que el valor del GSI varía entre 17 y 63, si es que se considera una relación lineal entre el grado de alteración y la variación del valor de la condición de frente del GSI. En la Tabla 4.21, se puede notar este rango de valores.

La resistencia de la roca intacta no influye directamente en la obtención del parámetro, pero sí en el valor del parámetro de condición de las discontinuidades; según lo mostrado en la Tabla 4.21, podemos obtener la variación del GSI en función al grado de alteración como se muestra en las Tablas 6.4, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8, 6.9 y 6.10. Una vez conocidos los valores del GSI, obtenemos los parámetros del criterio de falla de Hoek-Brown, considerando una variación del parámetro m_i (valores sugeridos por Hoek y Brown, 1980 y Hoek, 2007) como se muestra en la Tabla 6.3.

Tan igual como la condición de frente, el parámetro mi tendrá variación en su valor con respecto a los niveles de alteración hidrotermal de la roca, por tal motivo se utiliza una variación lineal de este valor.

Tabla 6.3 – Valores típicos de m_i para algunas diferentes tipos de roca, (Hoek 2007).

TIPO DE ROCA	CLASE	GRUPO	TEXTURA			
			GRUESA	MEDIA	FINA	MUY FINA
Sedimentarias	Clásticas		Conglomerado (22±3) * Brecha (19±5)	Arenisca (17±4)	Limonita (7±2) Greywacka (18±3)	Arcillita (4±2) Lutita (6±2) Mármol (7±2)
	No clásticas	Orgánicas	Talco (7±2)			
		Carbonatadas	Caliza cristalina (12±2)	Caliza esparítica (10±2)	Caliza micrítica (9±2)	Dolomita (9±3)
		Evaporíticas		Yeso (8±2)	Anhidrita (12±2)	
Metamórficas	No foliadas		Mármol (9±3)	Hornfels (19±4) Meta-areniscas (26±6)	Cuarcita (20±3)	
	Ligeramente foliadas		Migmatita (29±3)	Anfibolita (26±6)		
	Foliadas **		Gneis (28±5)	Esquisto (12±3)	Filita (7±3)	Pizarra (7±4)
Ígneas	Plutónicas	Claras	Granito (32±3)	Diorita (25±5)		
			Granodiorita (29±3)			
		Oscuras	Gabro (27±3)	Dolerita (16±5)		
			Norita (20±5)			
	Hipabisales		Pórfido (20±5)		Diabasa (15±5)	Peridotita (25±5)
	Volcánicas	Lávicas		Riolita (25±5) Andesita (25±5)	Dacita (25±3) Basalto (25±5)	Obsidiana (19±3)
		Piroclásticas	Aglomerado (19±3)	Brecha (19±5)	Tufo (13±5)	

Nota:

* *Los conglomerados y brechas pueden presentar un amplio rango de valores de m_i dependiendo de la naturaleza del material cementante y del grado de cementación, de tal modo que puede variar desde valores similares a los de la arenisca a valores usados para sedimentos finos.*

** *Estos valores son para especímenes de roca intacta ensayados normales a la foliación o estratificación. El valor de m_i será significativamente diferente si la falla ocurre a lo largo de un plano débil.*

Tabla 6.4 – Variación del GSI en Función del Grado de Alteración y los Parámetros del Criterio de Falla de Hoek-Brown – Rocas Piroclásticas

VA	UCS (MPa)	GSI	m_i	m_b	s	a
0	0.00	17	8.00	0.413	0.0001	0.553
1	0.35	20	8.67	0.499	0.0001	0.544
2	0.86	23	9.33	0.600	0.0002	0.535
3	1.58	26	10.00	0.717	0.0003	0.529
4	2.60	29	10.67	0.853	0.0004	0.523
5	4.05	32	11.33	1.011	0.0005	0.519
6	6.13	35	12.00	1.195	0.0008	0.516
7	9.09	38	12.67	1.407	0.0011	0.513
8	13.30	42	13.33	1.652	0.0015	0.510
9	19.30	45	14.00	1.936	0.0021	0.508
10	27.85	48	14.67	2.263	0.0030	0.507
11	40.03	51	15.33	2.639	0.0042	0.505
12	57.38	54	16.00	3.073	0.0059	0.504
13	82.11	57	16.67	3.571	0.0083	0.504
14	117.33	60	17.33	4.144	0.0117	0.503
15	167.52	63	18.00	4.802	0.0164	0.502

NOTA:
Las rocas piroclásticas están conformadas por tobas y areniscas tobáceas.

Tabla 6.5 – Variación del GSI en Función del Grado de Alteración y los Parámetros del Criterio de Falla de Hoek-Brown – Rocas Lávicas

VA	UCS (MPa)	GSI	m_i	m_b	s	a
0	0.00	17	20.00	1.032	0.0001	0.553
1	0.86	20	20.67	1.190	0.0001	0.544
2	2.07	23	21.33	1.370	0.0002	0.535
3	3.77	26	22.00	1.577	0.0003	0.529
4	6.17	29	22.67	1.812	0.0004	0.523
5	9.55	32	23.33	2.082	0.0005	0.519
6	14.31	35	24.00	2.389	0.0008	0.516
7	21.00	38	24.67	2.740	0.0011	0.513
8	30.43	42	25.33	3.139	0.0015	0.510
9	43.70	45	26.00	3.595	0.0021	0.508
10	62.38	48	26.67	4.114	0.0030	0.507
11	88.69	51	27.33	4.705	0.0042	0.505
12	125.72	54	28.00	5.377	0.0059	0.504
13	177.87	57	28.67	6.143	0.0083	0.504
14	251.28	60	29.33	7.013	0.0117	0.503
15	354.65	63	30.00	8.003	0.0164	0.502

NOTA:
Las rocas lávicas están compuestas por andesitas y dacitas.

Tabla 6.6 – Variación del GSI en Función del Grado de Alteración y los Parámetros del Criterio de Falla de Hoek-Brown – Rocas Sub-Volcánicas

VA	UCS (MPa)	GSI	m_i	m_b	s	a
0	0.00	17	20.00	1.032	0.0001	0.553
1	0.63	20	20.67	1.190	0.0001	0.544
2	1.57	23	21.33	1.370	0.0002	0.535
3	2.96	26	22.00	1.577	0.0003	0.529
4	5.02	29	22.67	1.812	0.0004	0.523
5	8.08	32	23.33	2.082	0.0005	0.519
6	12.61	35	24.00	2.389	0.0008	0.516
7	19.33	38	24.67	2.740	0.0011	0.513
8	29.29	42	25.33	3.139	0.0015	0.510
9	44.06	45	26.00	3.595	0.0021	0.508
10	65.96	48	26.67	4.114	0.0030	0.507
11	98.44	51	27.33	4.705	0.0042	0.505
12	146.59	54	28.00	5.377	0.0059	0.504
13	217.99	57	28.67	6.143	0.0083	0.504
14	323.85	60	29.33	7.013	0.0117	0.503
15	480.82	63	30.00	8.003	0.0164	0.502

NOTA:
Las rocas sub-volcánicas están compuestas por pórfidos andesíticos.

Tabla 6.7 – Variación del GSI en Función del Grado de Alteración y los Parámetros del Criterio de Falla de Hoek-Brown – Rocas Intrusivas

VA	UCS (MPa)	GSI	m_i	m_b	s	a
0	0.00	17	26.00	1.342	0.0001	0.553
1	1.51	20	26.40	1.520	0.0001	0.544
2	3.53	23	26.80	1.721	0.0002	0.535
3	6.25	26	27.20	1.949	0.0003	0.529
4	9.90	29	27.60	2.207	0.0004	0.523
5	14.79	32	28.00	2.498	0.0005	0.519
6	21.36	35	28.40	2.827	0.0008	0.516
7	30.18	38	28.80	3.199	0.0011	0.513
8	42.01	42	29.20	3.619	0.0015	0.510
9	57.90	45	29.60	4.093	0.0021	0.508
10	79.22	48	30.00	4.628	0.0030	0.507
11	107.84	51	30.40	5.233	0.0042	0.505
12	146.25	54	30.80	5.915	0.0059	0.504
13	197.80	57	31.20	6.686	0.0083	0.504
14	267.00	60	31.60	7.555	0.0117	0.503
15	340.09	63	32.00	8.536	0.0164	0.502

NOTA:
Las rocas intrusivas están compuestas por granodioritas y dioritas.

Tabla 6.8 – Variación del GSI en Función del Grado de Alteración y los Parámetros del Criterio de Falla de Hoek-Brown - Gneiss

VA	UCS (MPa)	GSI	m_i	m_b	s	a
0	0.00	17	23.00	1.187	0.0001	0.553
1	1.61	20	23.67	1.362	0.0001	0.544
2	3.68	23	24.33	1.563	0.0002	0.535
3	6.35	26	25.00	1.792	0.0003	0.529
4	9.79	29	25.67	2.052	0.0004	0.523
5	14.23	32	26.33	2.349	0.0005	0.519
6	19.94	35	27.00	2.688	0.0008	0.516
7	27.29	38	27.67	3.073	0.0011	0.513
8	36.76	42	28.33	3.511	0.0015	0.510
9	48.97	45	29.00	4.010	0.0021	0.508
10	64.69	48	29.67	4.577	0.0030	0.507
11	84.94	51	30.33	5.221	0.0042	0.505
12	111.03	54	31.00	5.954	0.0059	0.504
13	144.64	57	31.67	6.786	0.0083	0.504
14	187.93	60	32.33	7.730	0.0117	0.503
15	243.70	63	33.00	8.803	0.0164	0.502

Tabla 6.9 – Variación del GSI en Función del Grado de Alteración y los Parámetros del Criterio de Falla de Hoek-Brown – Arenisca-Cuarcita

VA	UCS (MPa)	GSI	m_i	m_b	s	a
0	0.00	17	13.00	0.671	0.0001	0.553
1	2.11	20	13.53	0.779	0.0001	0.544
2	4.88	23	14.07	0.904	0.0002	0.535
3	8.51	26	14.60	1.046	0.0003	0.529
4	13.28	29	15.13	1.210	0.0004	0.523
5	19.55	32	15.67	1.398	0.0005	0.519
6	27.76	35	16.20	1.613	0.0008	0.516
7	38.55	38	16.73	1.859	0.0011	0.513
8	52.71	42	17.27	2.140	0.0015	0.510
9	71.29	45	17.80	2.461	0.0021	0.508
10	95.68	48	18.33	2.828	0.0030	0.507
11	127.69	51	18.87	3.247	0.0042	0.505
12	169.70	54	19.40	3.726	0.0059	0.504
13	224.85	57	19.93	4.271	0.0083	0.504
14	297.23	60	20.47	4.893	0.0117	0.503
15	392.23	63	21.00	5.602	0.0164	0.502

Tabla 6.10 – Variación del GSI en Función del Grado de Alteración y los Parámetros del Criterio de Falla de Hoek-Brown – Rocas Calcáreas

VA	UCS (MPa)	GSI	m_i	m_b	s	a
0	0.00	17	5.00	0.258	0.0001	0.553
1	0.95	20	5.40	0.311	0.0001	0.544
2	2.26	23	5.80	0.373	0.0002	0.535
3	4.07	26	6.20	0.444	0.0003	0.529
4	6.56	29	6.60	0.528	0.0004	0.523
5	10.00	32	7.00	0.625	0.0005	0.519
6	14.75	35	7.40	0.737	0.0008	0.516
7	21.31	38	7.80	0.866	0.0011	0.513
8	30.36	42	8.20	1.016	0.0015	0.510
9	42.84	45	8.60	1.189	0.0021	0.508
10	60.07	48	9.00	1.388	0.0030	0.507
11	83.85	51	9.40	1.618	0.0042	0.505
12	116.67	54	9.80	1.882	0.0059	0.504
13	161.96	57	10.20	2.186	0.0083	0.504
14	224.46	60	10.60	2.534	0.0117	0.503
15	310.71	63	11.00	2.934	0.0164	0.502

NOTA:
Las rocas calcáreas están compuestas por calizas y mármoles.

Conocidos los parámetros m_b, s y a del criterio de falla de Hoek-Brown para cada litología considerada, se generan las envolventes de resistencia al corte tal como se explica en el Capítulo 4. Las Figuras 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7 y 6.8 muestran las envolventes de resistencia al corte dependiendo del grado de alteración VA de los casos analizados.

Para el presente trabajo, en la obtención de las envolventes de resistencia al corte se ha utilizado el programa de cómputo Roclab de Rocscience, Inc. en su versión 1.031, con la ayuda de la guía de usuario. Roclab provee una implementación simple e intuitiva del criterio de falla de Hoek-Brown (Hoek et al., 2002; Hoek y Diederichs, 2006; Hoek, 2006), permitiendo fácilmente la obtención de resultados confiables de las propiedades del macizo rocoso, y visualizar los efectos del cambio de los parámetros del macizo en las envolventes de resistencia.

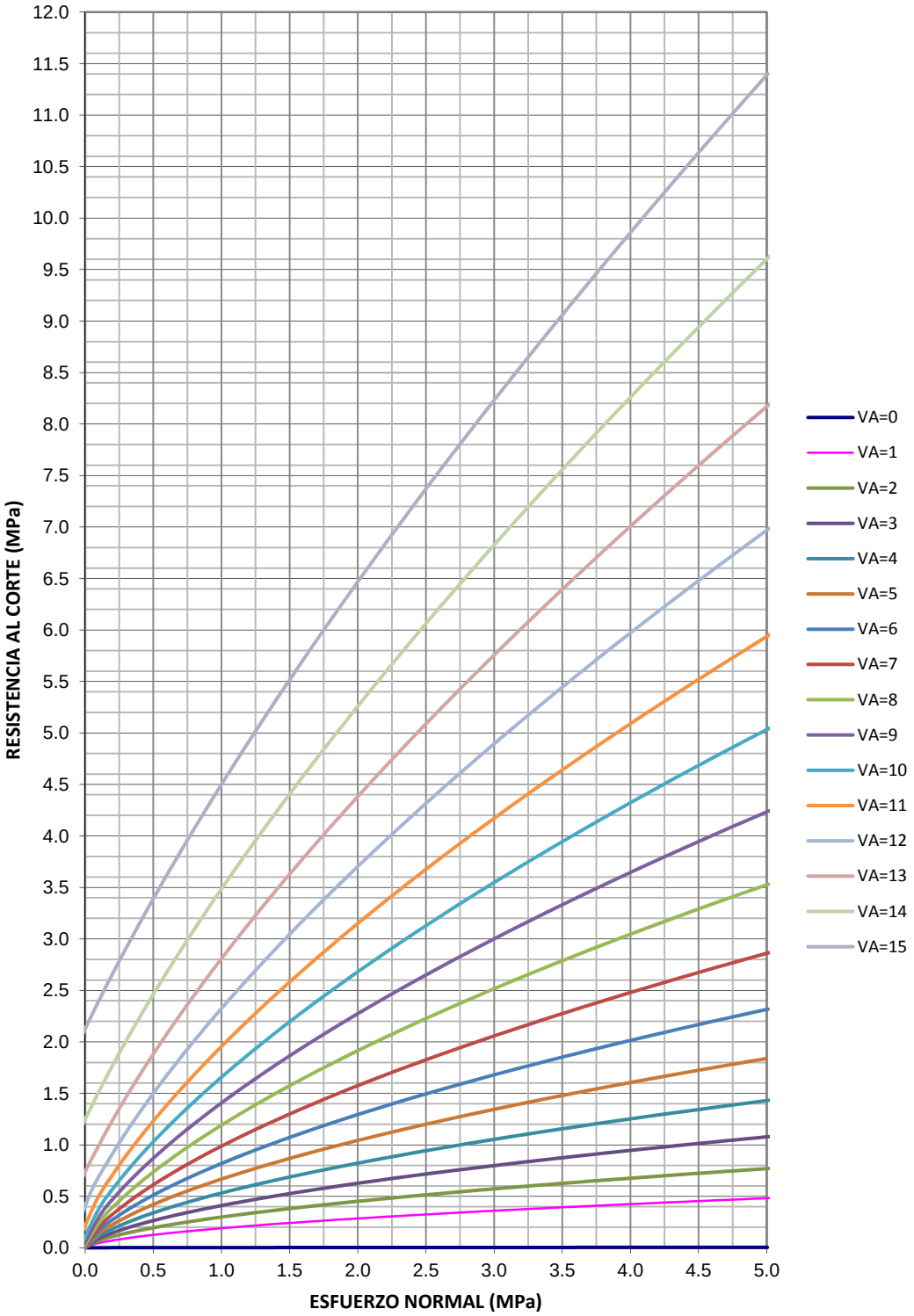


Figura 6.2 – Envolvente de resistencia al corte según el criterio de falla de Hoek-Brown dependiendo del grado de alteración hidrotermal – Rocas Piroclásticas.

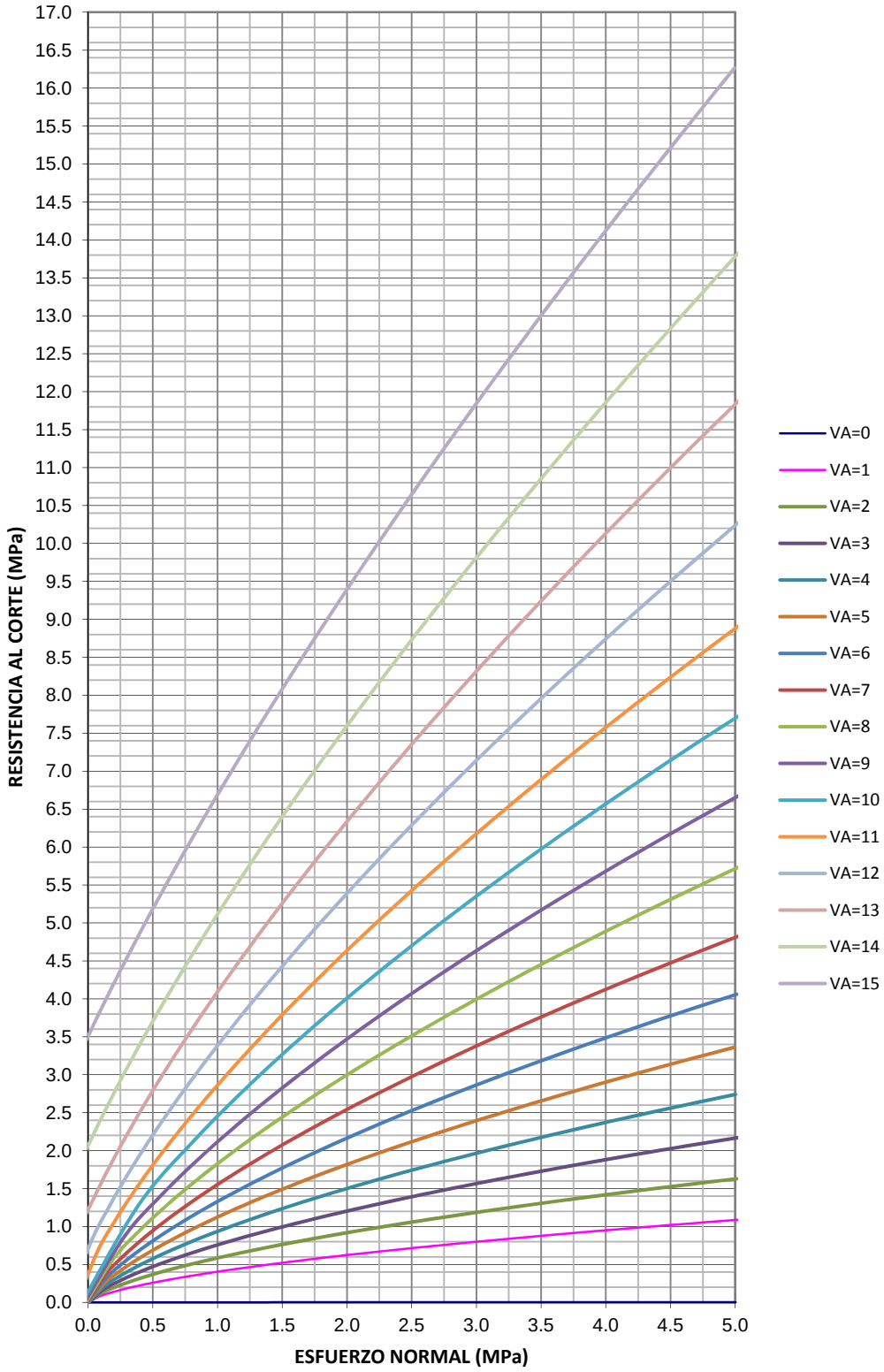


Figura 6.3 – Envolvente de resistencia al corte según el criterio de falla de Hoek-Brown dependiendo del grado de alteración hidrotermal – Rocas Lávicas.

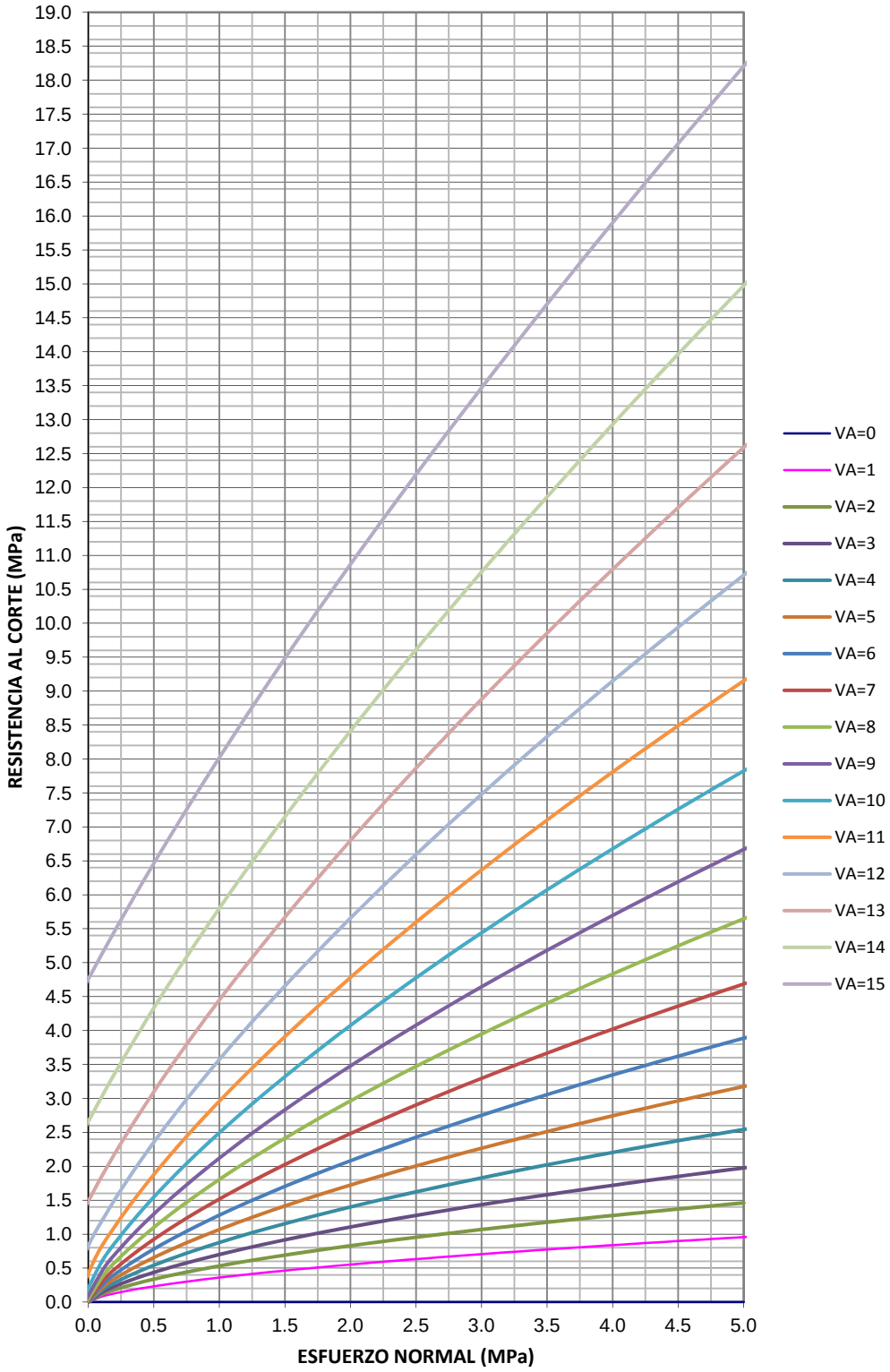


Figura 6.4 – Envolvente de resistencia al corte según el criterio de falla de Hoek-Brown dependiendo del grado de alteración hidrotermal – Rocas Sub-volcánicas.

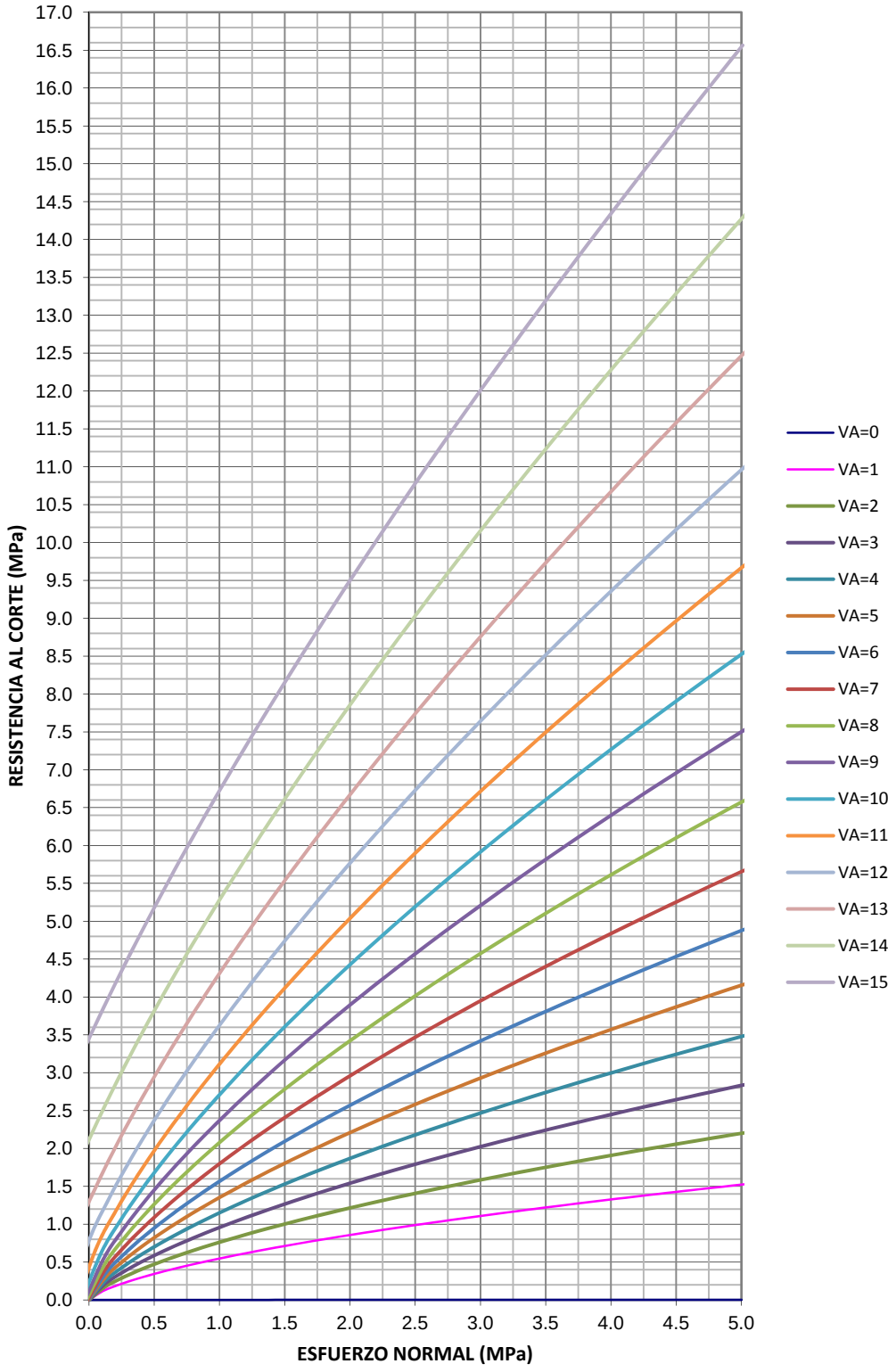


Figura 6.5 – Envolvente de resistencia al corte según el criterio de falla de Hoek-Brown dependiendo del grado de alteración hidrotermal – Rocas Intrusivas.

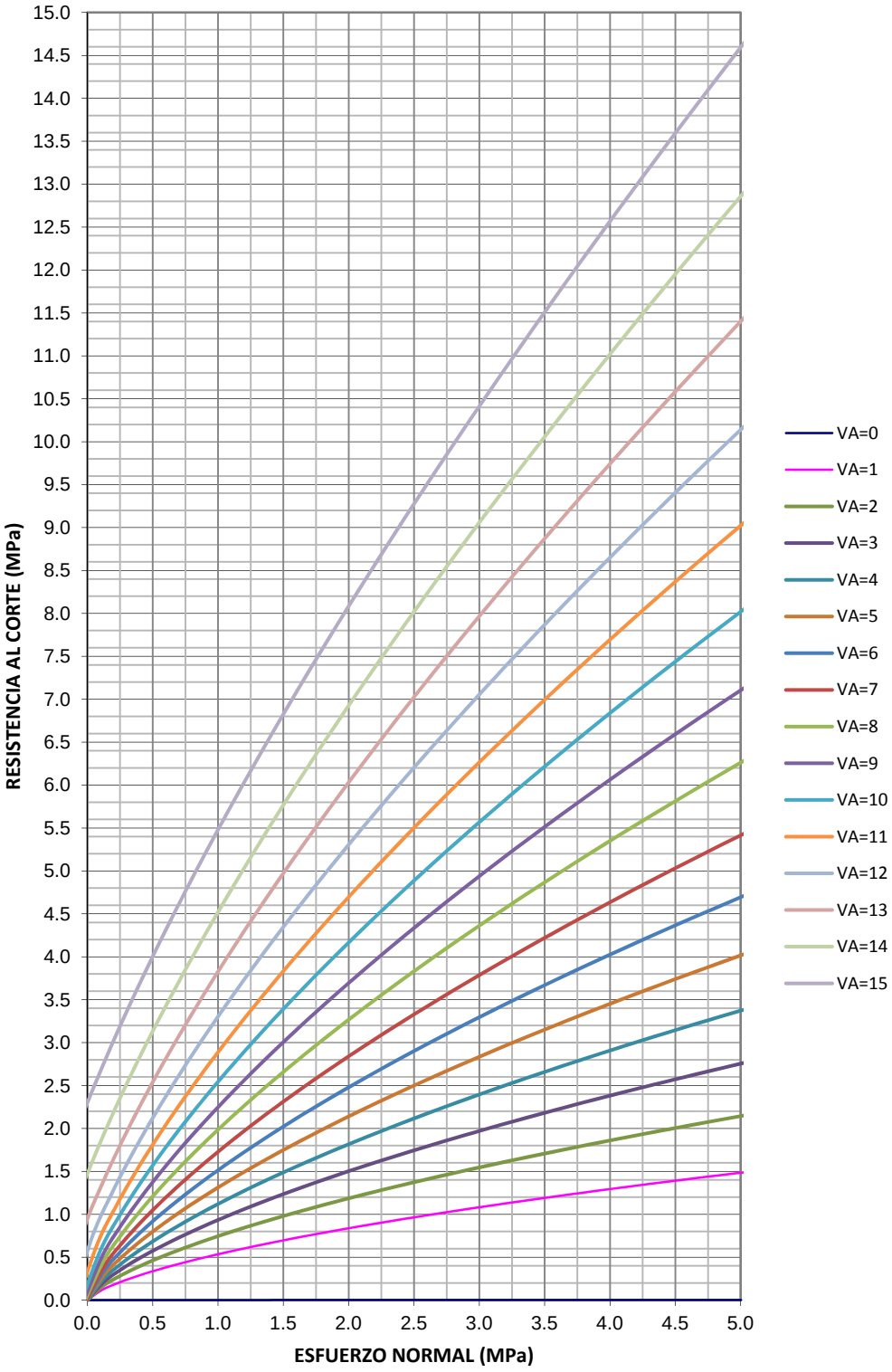


Figura 6.6 – Envolvente de resistencia al corte según el criterio de falla de Hoek-Brown dependiendo del grado de alteración hidrotermal - Gneiss.

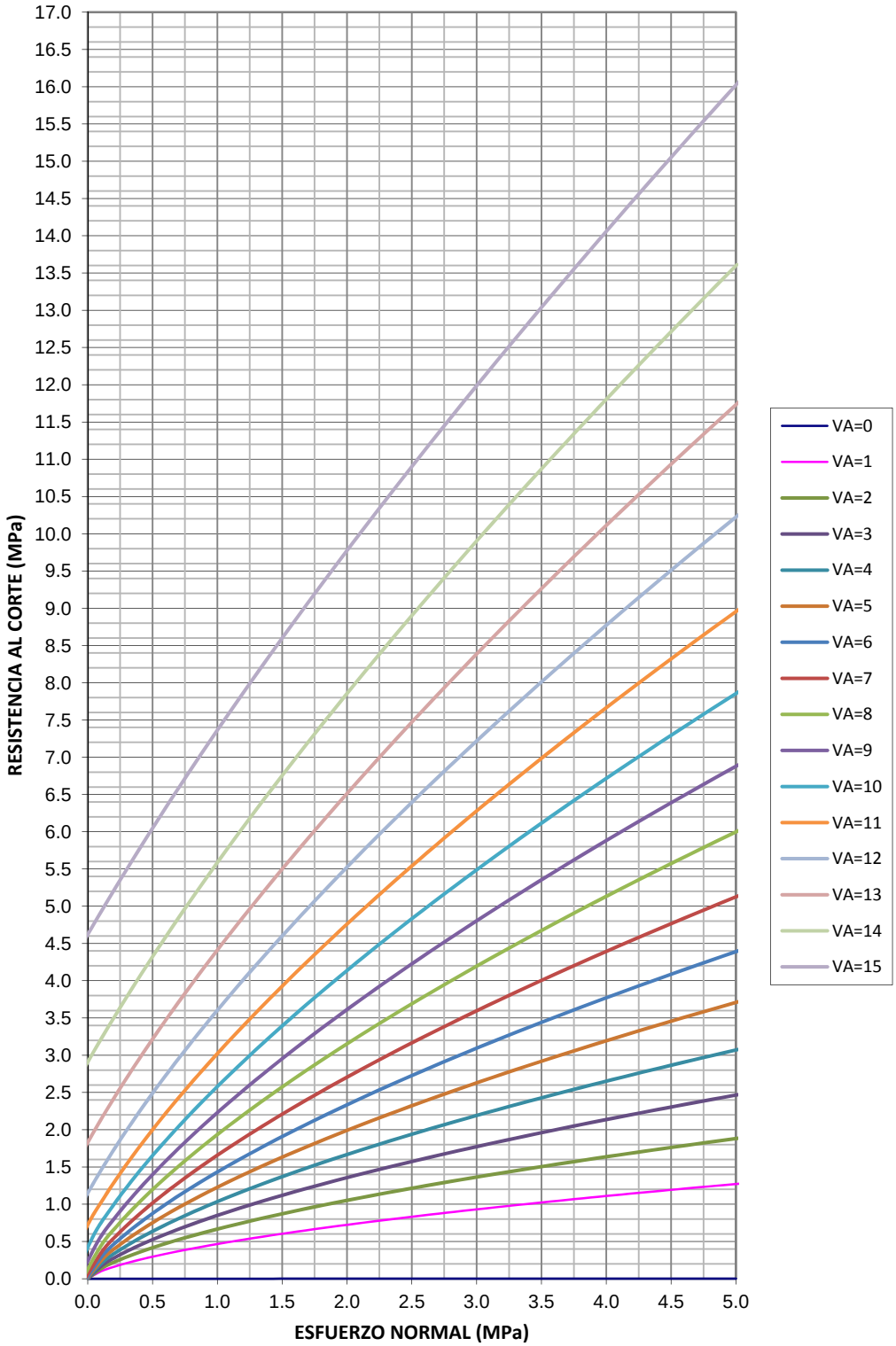


Figura 6.7 – Envolvente de resistencia al corte según el criterio de falla de Hoek-Brown dependiendo del grado de alteración hidrotermal – Arenisca-Cuarcita.

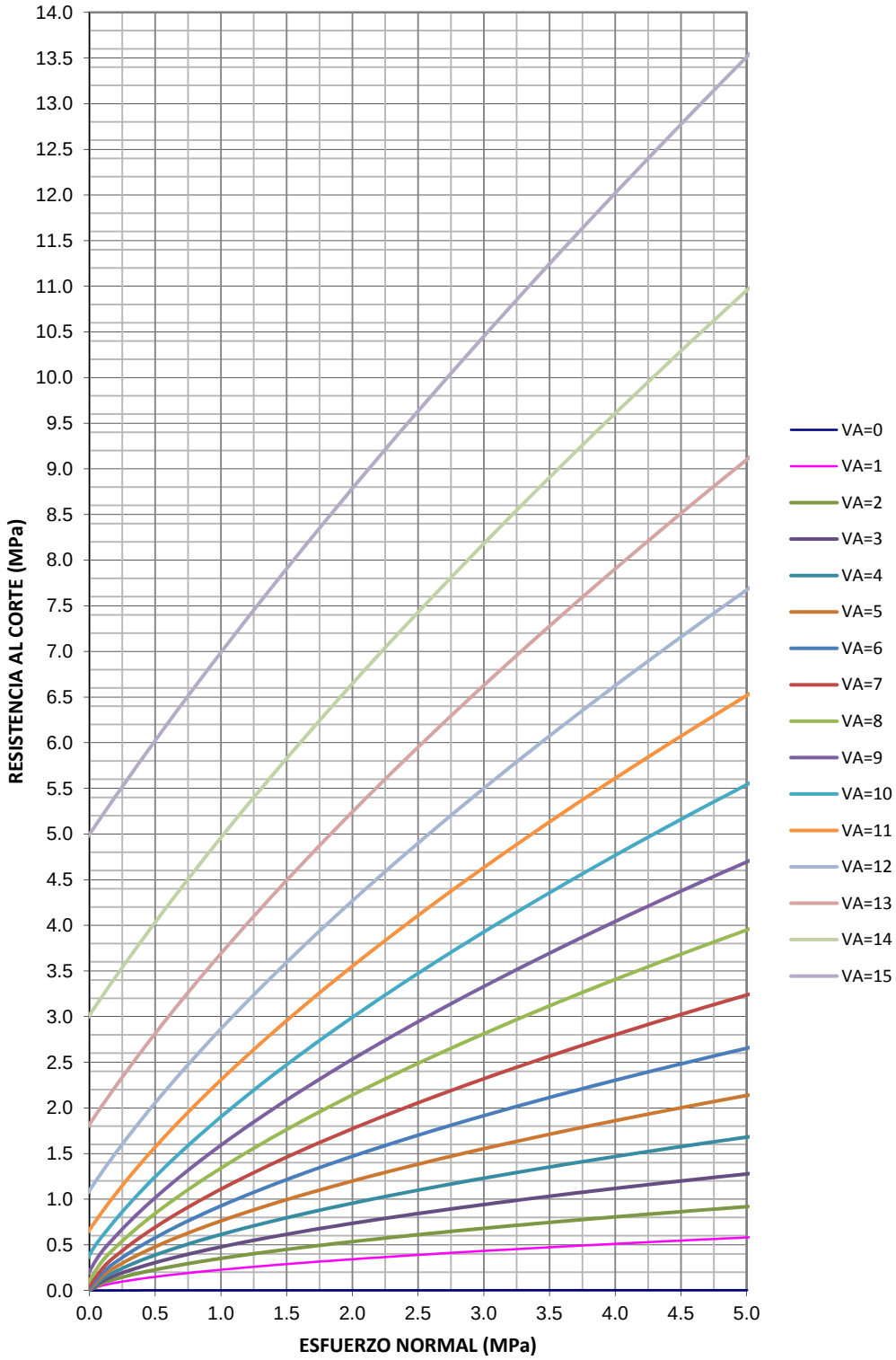


Figura 6.8 – Envolvente de resistencia al corte según el criterio de falla de Hoek-Brown dependiendo del grado de alteración hidrotermal - Rocas Calcáreas.

6.4 *Análisis de Estabilidad de Taludes de un Tajo Abierto*

Para desarrollar el análisis de estabilidad de taludes por la metodología de equilibrio límite, se toma como caso de aplicación un tajo abierto íntegramente emplazado sobre tobas totalmente alteradas hidrotermalmente. Se analizaron secciones con taludes de tajo de 15°, 20°, 25° y 30°, considerando una variación en sus propiedades geotécnicas de resistencia

en función del grado de alteración VA, es decir las envolventes de resistencia al corte mostradas en la Figura 6.2 para rocas piroclásticas

La Tabla 6.12 muestra los resultados de los análisis de estabilidad de taludes realizados al caso de aplicación, los cuales se muestran en el Anexo E. Estos análisis han sido realizados utilizando el programa de cómputo Slide del Rocsience en su versión 5.016; Slide analiza la estabilidad de superficies de deslizamiento usando métodos de equilibrio límite de dovelas verticales.

Para los análisis de estabilidad de taludes realizados en el presente trabajo, se ha configurado el programa de cómputo con el método de equilibrio límite de Spencer. Además, no se ha considerado en el cálculo la variación del peso específico del material en función del grado de alteración; el peso especifico utilizado en todos los cálculos es de 20.17 kN/m^3 para toba, el cual se mantiene constante en todos los análisis. Las propiedades geotécnicas de los materiales son resumidas en la Tabla 6.11 que se muestra a continuación.

Tabla 6.11 – Propiedades Geotécnicas de los Materiales

MATERIAL	PESO ESPECIFICO (kN/m^3)	ENVOLVENTE DE RESISTENCIA
Toba Analizada	20.17	Ver Figuras 6.2

La Figura 6.10 muestra gráficamente los resultados obtenidos que se muestran en la Tabla 6.12, donde se resalta un valor de factor de seguridad de 1.5 como mínimo para considerar estable un talud en condición estática.

De los resultados mostrados en la Tabla 6.12 y que se encuentran graficados en la Figura 6.10 se puede observar que el factor de seguridad aumenta en valor de manera exponencial para valores de grado de alteración VA altos. Además, se observa también que para taludes de menor ángulo se tiene valores de factor de seguridad mayores para el mismo grado de alteración VA.

Tabla 6.12 – Factor de Seguridad en Función del Ángulo del Talud y el Grado de Alteración

VA	FACTOR DE SEGURIDAD			
	15°	20°	25°	30°
1	1.258	0.984	0.819	0.733
2	1.947	1.519	1.254	1.119
3	2.629	2.043	1.691	1.499
4	3.359	2.604	2.153	1.904
5	4.151	3.217	2.650	2.338
6	5.036	3.898	3.207	2.827
7	6.032	4.666	3.838	3.386
8	7.181	5.555	4.580	4.045
9	8.536	6.618	5.469	4.849
10	10.207	7.948	6.585	5.887
11	12.396	9.689	8.055	7.282
12	15.322	12.065	10.101	9.197
13	19.492	15.450	13.014	11.984
14	25.789	20.583	17.550	16.265
15	35.701	28.504	24.580	22.949

En este caso en particular, se observa que para grados de alteración intermedios (VA entre 5 y 10) la diferencia entre los valores de los factores de seguridad es marcada, caso que no pasa para valores extremos.

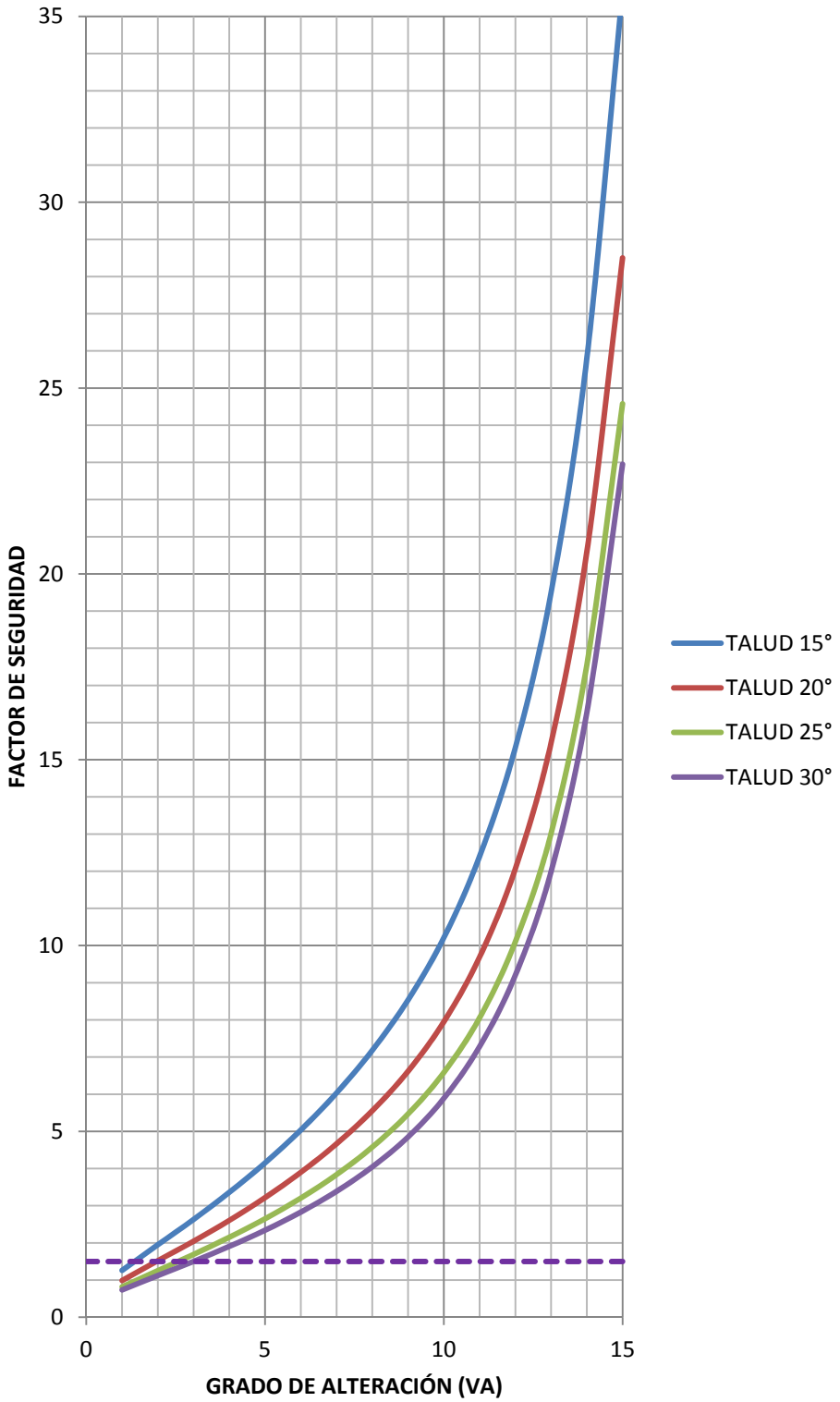


Figura 6.10 – Factor de seguridad en función del grado de alteración para cada tipo de talud.

7 CONCLUSIONES

Durante el desarrollo de este trabajo se llegó a las siguientes conclusiones, las cuales se han agrupado en orden a los capítulos de la presente tesis:

Mineralización y Magmatismo

- La mineralización es una suma de procesos naturales que forman los depósitos minerales, los cuales constituyen concentraciones anómalas de un elemento (o elementos) en una roca existente, por lo tanto genera un cambio en sus propiedades .
- Los procesos de mineralización se pueden clasificar en procesos endógenos y procesos exógenos, debido a agentes internos y externos, respectivamente físicas y químicas.
- Los procesos exógenos se originan por la liberación del calor interno (del magma), entre ellos podemos mencionar: cristalización magmática, segregación magmática, hidrotermal y metamórfica.
- Los procesos endógenos son generados por agentes externos del ambiente que producen efectos como alteraciones, cambios bruscos de temperatura, disolución y transporte de componentes; se pueden mencionar los siguientes: exhalativos superficiales volcanogénicos, sedimentación y meteorización.
- El magma es una mezcla de material rocoso fundido que al enfriarse forman las rocas ígneas; se genera por la fusión total o parcial de rocas profundas de la corteza inferior y del manto superior. La roca fundida se comporta como un líquido que asciende a través de la roca sólida para después disminuir su temperatura o enfriarse.
- La ascensión y enfriamiento del magma se realiza en tres fases: ortomagmática (desciende la temperatura hasta 500°C), pegmatítica-neumatolítica (temperatura media de 500°C) e hidrotermal (entre 400°C y 100°C).

Procesos de Alteración Hidrotermal

- Se denomina alteración hidrotermal a diversos procesos que afectan a las rocas, generalmente relacionados con el agua a temperaturas y presiones menores que las del metamorfismo.
- El término meteorización, implica una alteración principalmente debido a las aguas provenientes de las lluvias, es decir una característica de cerca de la superficie.
- El término de alteración hidrotermal, involucra agua a altas temperaturas elevándose desde la profundidad, normalmente de origen volcánico; además implica sustitución química de los elementos de la roca existente por otros elementos llevados en solución por el flujo hidrotermal. Existen varios tipos de alteración hidrotermal, dependientes de factores como: composición del fluido hidrotermal, composición de la roca huésped, temperatura, pH, energía, relación agua/roca y tiempo de interacción, etc.; entre los tipos de alteración hidrotermal podemos mencionar: propilítica, sericítica, potásica, albitica, silicificación, silicación, carbonatización, alunítica, argílica, zeolítica, serpentinización, oxidación, skarnificación, entre otros.

Clasificación del Macizo Rocoso

- Los principales métodos de clasificación desarrollados durante la historia de la mecánica de rocas, muchos de estos han sido desarrollados netamente para el diseño de túneles; se pueden mencionar los siguientes: Clasificación de Cargas Litostáticas (Terzaghi, 1946), Clasificación del Tiempo de Estabilidad (Stini y Lauffer, 1958), Índice de la Determinación de la Calidad de Roca RQD (Deere, 1967), Clasificación de la Estructura de la Roca RSR (Wickham, 1972), Clasificación del Macizo Rocoso RMR (Bieniawski, 1989), Índice de Calidad de la Roca en Túneles Q (Barton, 1974), Índice de Resistencia Geológica GSI (Hoek y Brown, 1980), entre otros.

Resistencia de la Roca Intacta en Función de la Alteración Hidrotermal

- Se ha realizado una revisión de numerosas investigaciones geotécnicas en yacimientos hidrotermales consistente en perforaciones diamantinas, donde se registró: litología, tipo

de alteración, recuperación del testigo, RQD, grado de fracturamiento de la roca, condición de discontinuidades, grado de alteración de la roca (según la ISRM), y la dureza de la roca en campo.

- Dentro de las investigaciones recopiladas se realizó toma de muestras de roca, para ser enviadas a un laboratorio de mecánica de rocas a manera de conocer sus propiedades física-mecánicas; se realizaron ensayos de resistencia a la compresión uniaxial, índice de carga puntual, propiedades físicas de la roca y compresión triaxial. Para el caso en particular del presente estudio, se utilizaron los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión uniaxial y a la carga puntual.
- Los registros del grado de alteración de la roca en todas las muestras ensayadas, han seguido la metodología propuesta por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM) variando el grado de alteración de I a VI. Para poder realizar una comparación más exacta se le ha asignado una valoración a cada grado de alteración de la roca, en una escala de alteración de 0 a 15, que permite realizar una correlación numérica mucho más fácil.
- La metodología propuesta por la ISRM se refiere tanto a la meteorización y a la alteración, la influencia de la meteorización se descarta al tratarse de investigaciones geotécnicas dentro de un yacimiento mineral, a profundidades importantes; se considera que la degradación de la roca se debe a alteración, y en este caso particular a la alteración hidrotermal debido a los yacimientos registrados.
- Para la determinación de la resistencia de la roca, se realizaron ensayos de resistencia a la compresión uniaxial e índice de carga puntual; aunque en este último, los resultados de los ensayos deberán ser procesados y transformados a valores de resistencia a la compresión uniaxial.
- Para relacionar los resultados de la prueba de resistencia a la carga puntual con los de la resistencia a la compresión uniaxial no confinada, se consideró la recomendación de Palmström, 1995 donde describe que el valor de K50 es: 14 (Is50 entre 1.8 y 3.5 MPa), 16 (Is50 entre 3.5 y 6.0 MPa), 20 (Is50 entre 6.0 y 10.0 MPa) y 25 (Is50 mayor a 10.0 MPa).
- Se realizó una agrupación de los casos analizados según litología como sigue: rocas piroclásticas, rocas lávicas, rocas sub-volcánicas, rocas intrusivas, gneises, areniscas-cuarcitas y rocas calcáreas. En cada uno de estos grupos se realizó una comparación y correlación entre el grado de alteración y la resistencia a la compresión uniaxial, mediante regresiones lineales, parabólicas, exponenciales y potenciales.
- Se determinó que las regresiones exponenciales son las que mejor se ajustan a los datos reales, con coeficientes de determinación R^2 de 0.88, 0.74, 0.69, 0.71, 0.75, 0.64 y 0.64, para rocas piroclásticas, rocas lávicas, rocas sub-volcánicas, rocas intrusivas, gneises, areniscas-cuarcitas y rocas calcáreas, respectivamente.

Caso de Aplicación

- Se realizó la variación de la clasificación de los macizos rocosos en el sistema de clasificación GSI. La condición de frente, y el parámetro mi se varió linealmente con la variación del grado de alteración, mientras que la resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta se obtuvo de las curvas de correlación obtenidas.
- La clasificación GSI no varía con la resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta, pero si con el grado de alteración del frente; para una condición de fracturamiento intermedia, el valor de GSI varia de 17 a 63 en función al grado de alteración de las superficies de discontinuidades o de frente que se han directamente relacionado con el grado de alteración del macizo rocoso.
- Se obtuvieron parámetros del envolventes de resistencia al corte según el criterio de falla de Hoek-Brown; en el caso particular se realizaron los análisis de estabilidad de taludes considerando la envolvente no lineal de resistencia al esfuerzo de corte propuesta por Hoek-Brow, considerando una variación de los valores del parámetro mi dentro del rango sugerido por Hoek.

- Del caso de aplicación, un proyecto de diseño de taludes de un tajo abierto en tobas (rocas piroclásticas), se realizaron los análisis de estabilidad de taludes utilizando secciones reales del proyecto en mención con taludes de 15°, 20°, 25° y 30°. Los resultados muestran que en todos los casos para rocas muy alteradas los taludes se muestran inestables, considerando como valor del factor de seguridad mínimo a 1.5, en condiciones estáticas.
- El factor de seguridad aumenta en valor de manera exponencial para valores de grado de alteración VA altos.
- Para taludes de menor ángulo se tiene valores de factor de seguridad mayores para el mismo grado de alteración VA.
- Para grados de alteración intermedios (VA entre 5 y 10) la diferencia entre los valores de los factores de seguridad es marcada, caso que no pasa para valores extremos.

8 RECOMENDACIONES

A partir del procesamiento de la información de los registros de campo de las investigaciones geotécnicas y de los resultados de ensayos de laboratorio, así como de la investigación bibliográfica, se pueden recoger las siguientes recomendaciones.

- Durante la investigación geotécnica, la determinación del grado de alteración del macizo rocoso debe guardar cierta relación con la resistencia de la roca intacta que se mide en campo. Se recomienda seguir los métodos recomendados por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas.
- La determinación del grado de alteración del macizo rocoso es un factor subjetivo dentro del registro geotécnico de una perforación, ya que puede variar en función al criterio del supervisor de campo. Por tal razón se recomienda que los registros se realicen por personal de experiencia.
- La determinación directa de la resistencia de la roca mediante el ensayo de compresión uniaxial no confinada, es el método más confiable, por lo que se recomienda su uso.
- La determinación indirecta de la resistencia de la roca mediante el ensayo de carga puntual no es recomendado, ya que existe mucha incertidumbre en la relación K_{50} entre ambos ensayos que durante mucho tiempo fue asignada con el valor de 24. Se recomienda no usar este valor indiscriminadamente.
- Existen en la literatura relaciones entre los ensayos de compresión uniaxial no confinada y carga puntual, se recomienda que cada vez que se realice un ensayo de resistencia a la compresión en un testigo de roca, se realicen el mayor numero de ensayos de carga puntual, para de esta manera poder tener más información acerca del valor de K_{50} para un determinado tipo de roca.
- Se recomienda un mejor estudio de la variación del parámetro m_i del criterio de falla de Hoek-Brown en función del grado de alteración de la roca.
- Debido a que las alteraciones hidrotermales están presentes en la gran mayoría de los yacimientos minerales en el Perú, y que los tajos abiertos, botaderos de desmonte, presas de relave, pads de lixiviación, entre otros, por su operatividad deben estar emplazados en la zona mineralizada, se recomienda un estudio a detalle de la influencia de cada tipo de alteración hidrotermal en las propiedades de la roca existente.
- Se recomienda estudios de la variación de las propiedades físicas-mecánicas de la roca, tales como velocidad de onda de corte, módulo de elasticidad, resistencia a la compresión no confinada, en función a la variación de la estructura química, geoquímica y mineralógica de la roca, para de esta manera poder realizar una mejor zonificación geotécnica en función a los modelos geológicos de alteraciones.

9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1) American Society for Testing and Materials; *"D2938-95 Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Intact Rock Core Specimens"*.
2) American Society for Testing and Materials; *"D5731-95 Standard Test Method for Determination of the Point Load Strength Index of Rock and Application to Rock Strength Classifications"*.
3) American Society for Testing and Materials; *"C127-88 Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate"*.
4) American Society for Testing and Materials; *"D2664 Standard Test Method for Triaxial Compressive Strength of Undrained Rock Core Specimens without Pore Pressure Measurements"*.
5) Araneda, R. (2003); *"Alto Chicama Project, Quiruvilca District La Libertad Department, Peru"*; ProEXPLO 2003 Conference.
6) Barrett, T.J., MacLean, W.H. y Tennant, S.C. (2001); *"Volcanic Sequence and Alteration at the Parys Mountain Volcanic-Hosted Massive Sulfide Deposit, Wales, United Kingdom: Applications of Immobile Element Lithogeochemistry"*; Economic Geology, Volume 96, pp. 1279-1305.
7) Barton, N.R., (1974); *"A Review of the Shear Strength of Filled Discontinuities in Rock"*; Proceedings of Rock Mechanics Meeting; Oslo, Norway.
8) Bieniawski, Z.T. (1975); *"The Point Load Test in Geotechnical Practice"*; Engineering Geology, Volume 9, Issue 1, pp. 1-11.
9) Bieniawski, Z.T. (1976); *"Rock Mass Classification in Rock Engineering"*, In "Exploration for Rock Engineering"; Proceedings of the Symposium of Rock Mechanics, pp. 97-106.
10) Bieniawski, Z.T. (1989). *"Engineering Rock Mass Classification"*; Wiley; New York, USA.
11) Blyth F.G.H. y De Freitas, M.H. (2006); *"A Geology for Engineers"*; Seventh Edition; Elsevier Butterworth Heinemann; Oxford, UK.
12) Bray, J.W. (1966); "*Limiting Equilibrium of Fractured and Jointed Rock Masses"*; Proceedings of the First Congress of the International Society for Rock Mechanics, Lisbon, 1966, volume 3, pp. 531-536.
13) Bronch, E. y Franklin, J.A. (1972); *"The Point Load Strength Test"*; International Journal of Rock Mechanics, Mining Science and Geomechanics, Volume 9, pp. 669-697.
14) Brook, N. (1985); *"The Equivalent Core Diameter Method of Size and Shape Correction in Point Load Testing"*; International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, Volume 22, Issue 2, pp. 61-70.
15) Brown, E.T. (1970); *"Strength of Models of Rock with Intermittent Joints"*; Journal of Soil Mechanics Foundation Division, ASCE 96, SM6, pp. 1935–1949.
16) Carter, P.G. y Sneddon, M. (1977); *"Comparison of Schmidt Hammer, Point Load and Unconfined Compression Tests in Carboniferous Strata"*; Proceeding of a Conference on Rock Engineering, University of New Castle; Tyne, England; pp. 197-210.
17) Cheng, Y., y Liu, S. (1990); *"Power Caverns of the Mingtan Pumped Storage Project, Taiwan"*. In Comprehensive Rock Engineering. (Editor J.A. Hudson), Oxford: Pergamon, 5, pp. 111–132.
18) Cording, E.J. y Deere D.U. (1972); *"Rock Tunnel Supports and Field Measurements"*; Proceedings of Rapid Excavation and Tunnelling Conference, pp. 601-622.
19) Das, B.M. (1985); *"Evaluation of the Point Load Strength for Soft Rock Classification"*; Proceeding of the 4th International Conference on Ground Control in Mining; Morgantown, West Virginia, USA; pp. 220-226.
20) Deer, D.U., Hendron, A.J., Patton, F.D. y Cording, E.J. (1967); *"Design of Surface and Near Surface Construction in Rock"*, In "Failure and Breakage of Rock"; Proceedings of 8th US Symposium of Rock Mechanics, pp. 237-302.
21) Deere, D.U. y Deere, D.W. (1988); *"The Rock Quality Designation (RQD) Index in Practice"*, In "Rock Classification Systems for Engineering Purposes"; American Society for Testing and Materials Special Publication, Volume 984, pp. 91-101.

22) Evans, A. M. (1993); "Ore Geology and Industrial Minerals – An Introduction"; Third Edition; Blackwell Science; Oxford, UK.
23) Faulkner, E.L. (1992); *"Introduction to Prospecting"*; Geological Survey Branch, Mineral Resources Division, Ministry of Energy, Mines and Petroleum Resources; British Columbia, Canada.
24) Franklin, J.A. (1970); *"Observations and Tests for Engineering Description and Mapping Rocks"*; Proceedings of 4th International Congress on Rock Mechanics, International Society of Rock Mechanics, Beograd, Serbia.
25) Ghosh, D.K. y Srivastava, M. (1991); *"Point-Load Strength: An Index for Classification of Rock Material"*; Bulletin of the International Association of Engineering Geology, No. 44, pp. 27-33.
26) Gifkins, C.C. y Allen, R.L. (2001); *"Textural and Chemical Characteristics of Diagenetic and Hydrothermal Alteration in Glassy Volcanic Rocks: Examples from the Mount Read Volcanics, Tasmania"*; Economy Geology, Volume 96, pp. 973-1002.
27) Gifkins, C., Herrmann, W., y Large, R. (2005); *"Altered Volcanic Rocks – A Guide to Description and Interpretation"*; Centre Ore Deposit Research, University of Tasmania, Hobart.
28) Giggenbach, W.F. (1997), "*The Origin and Evolution of Fluids in Magmatic-Hydrothermal Systems*," Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits, 3rd edition, H.L. Barnes editors, John Wiley and Sons, New York, USA.
29) Gonzalez de Vallejo, L.E., Welsh, R.A. y Robinson, M.K. (1989); *"Correlation Between Unconfined Compressive and Point Load Strength for Appalachian Rocks"*; The 30th U.S. Symposium on Rock Mechanics (USRMS), June 19 - 22, 1989; Morgantown, West Virginia, USA.
30) González de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L. y Oteo, C., (2002); *"Ingeniería Geológica"*; Editorial Prentice Hall, Madrid, España.
31) Grandin, G. y Zegarra Navarro, J. (1979); *"Las Rocas Ultrabásicas en el Perú, las Intrusiones Lenticulares y los Sills de la Región Huánuco-Monzón"*; Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, Tomo 63, pp. 99-115.
32) Greminger, M. (1982); *"Experimental Studies of the Influence of Rock Anisotropy on Size and Shape Effects in Point-Load Testing"*; International Journal of Rock Mechanics, Mining Science and Geomechanics, Volume 19, pp. 241-246.
33) Golser, J. (1976); *"The New Austrian Tunneling Method (NATM), Theoretical Background & Practical Experiences"*. 2nd Shotcrete conference; Easton, USA.
34) Higueras Higueras, P. y Oyarzun Muñoz, R. (2005); *"Yacimientos Minerales"*; Guía On-Line; Universidad de Castilla – La Mancha; España.
35) International Society of Rock Mechanics (1981); "*Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring*".
36) Hansen, T.H. (1988); *"Rock Properties"*; Norwegian Rock and Soil Association, Publication N° 5, 3 pp.
37) Hassani, F.P., Whittaker, B.N. y Scoble, M.J. (1980); *"Application of the Point Load Index Test to Strength Determination of Rock, Proposals for a New Size Correlation Chart"*; Proceeding of the 21st US Symposium on Rock Mechanics (USRMS); Rolla, Missouri, USA.
38) Hoek, E. (2006); *"A Brief History of the Hoek-Brown Failure Criterion"*; documento no publicado.
39) Hoek, E. (1968); "*Brittle failure of rock*"; Rock Mechanics in Engineering Practice (Editors K.G. Stagg and O.C. Zienkiewicz); Wiley; pp. 99–124; London, UK.
40) Hoek, E. (2007); *"Practical Rock Engineering"*; www.rocsience.com.
41) Hoek, E. (1977); *"Rock Mechanics Laboratory Testing in the Context of a Consulting Engineering Organization"*; International Journal of Rock Mechanics, Mining Science and Geomechanics, Volume 14, pp. 93-101.
42) Hoek, E. (1983); "*Strength of Jointed Rock Masses*"; 23rd Rankine Lecture. Géotechnique 33 (3), pp. 187–223.

43) Hoek, E. (1994); *"Strength of Rocks and Rock Masses"*; News Journal of International Society of Rock Mechanics, Volume 2, N° 2, pp. 4-16.
44) Hoek, E. y Brown, E.T. (1980); *"Empirical Strength Criterion for Rock Masses"*; Journal of Geotechnical Engineering Division; ASCE 106: GT9; pp 1013-1035.
45) Hoek, E. y Brown, E.T. (1997); "*Practical Estimates or Rock Mass Strength*"; International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences & Geomechanics Abstracts; 34 (8), pp. 1165–1186.
46) Hoek, E., Carranza-Torres, C.T. y Corkum, B. (2002); *"Hoek-Brown Failure Criterion – 2002 Edition"*; Proceedings of North American Rock Mechanics Society Meeting; Toronto, Canada.
47) Hoek, E., Kaiser, P.K. y Bawden, W.F. (1998*); "Support Underground Excavations in Hard Rock"*; Taylor and Francis / Balkema; Rotterdam, The Netherlands.
48) Hoek, E y Brown, E.T. (1988); "*The Hoek-Brown Failure Criterion — a 1988 Update*"; Proceedings of 15 th Canadian Rock Mechanics Symposium (Editor J.C. Curran), pp. 31–38. Toronto, Department of Civil Engineering, University of Toronto.
49) Hoek, E. y Brown, E.T. (2002); *"Underground Excavations in Rock"*; First Edition; Taylor and Francis Group; London, UK.
50) Hoek, E. y Diederichs, M.S. (2006); *"Empirical Estimation of Rock Mass Modulus"*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Volume 43, pp. 203–215.
51) Hoek, E., Kaiser P.K. y Bawden W.F. (1995); "*Support of Underground Excavations in Hard Rock*"; Rotterdam, Balkema.
52) Hoek, E. y Marinos, P. (2000); "*Predicting Tunnel Squeezing*"; Tunnels and Tunnelling International, Part 1 – November 2000, Part 2 – December, 2000.
53) Hoek, E., Marinos, P. y Benissi, M. (1998); "*Applicability of the Geological Strength Index (GSI) Classification for Very Weak and Sheared Rock Masses. The case of the Athens Schist Formation"*; Bulletin of Engineering Geology Environmental 57 (2), pp. 151–160.
54) Hoek, E., Wood D. y Shah, S, (1992); "*A Modified Hoek-Brown Criterion for Jointed Rock Masses"*; Proceedings of Rock Characterization, Symposium of International Society of Rock Mechanics Eurock' 92, (Editor J.A. Hudson), pp. 209–214. London, UK.
55) Indian Standards; (1978). *"Methods for Determination of Point Load Strength Index of Rocks"*.
56) International Society of Rock Mechanics (1981); *"Suggested Methods for Determining the UCS and Deformability of Rock Materials"*.
57) International Society of Rock Mechanics (1985); *"Suggested Method for Determining Point Load Strength"*.
58) Jermy, C.A. y Bell, F.G. (1991); *"Coal bearing strata and the stability of coal mines in South Africa"*; Paper in Proceedings of the 7th International Congress on Rock Mechanics, International Society of Rock Mechanics; Aachen, Germany; pp. 1125-1131.
59) Large, R.R., Allen, R.L., Blake, M.D. y Herrmann, W. (2001); *"Hydrothermal Alteration and Volatile Element Halos for the Rosebery K-Lens Volcanic-Hosted Massive Sulfide Deposit, Western Tasmania"*; Economy Geology, Volume 96, pp. 1055-1072.
60) Large, R.R., McPhie, J., Gemmell, J.B., Herrmann, W. y Davidson, G.J. (2001); *"The Spectrum of Ore Deposit Types, Volcanic Environments, Alteration Halos, and Related Exploration Vectors in Submarine Volcanic Successions: Some Examples in Australia"*; Economy Geology, Volume 96, pp. 913-938.
61) Lauffer, H. (1958); *"Gebirgsklassifizierung für den Stollenbau"*; Geologie en Bauwesen, Volume 24, N° 1, pp. 46–51.
62) Londe, P. (1988); "*Discussion on the Determination of the Shear Stress Failure in Rock Masses"*; ASCE Journal of Geotechnical Engineering Division, 14, (3), pp. 374–376.
63) Lorig, L., y Varona, P. (2001); "*Practical Slope-Stability Analysis Using Finite-Difference Codes"*; Slope Stability in Surface Mining. (Editors W.A. Hustrulid, M.J. McCarter and D.J.A.Van Zyl); Littleton: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc., pp. 115–124.

64) Maksaev, V., Townley, B.K., Palacios, C. y Camus, F. (2007); *"Metallic Ore Deposits"*, en: Moreno T. y Gibbons, W. "The Geology of Chile"; The Geological Society; London, UK; pp. 179-199.
65) Marinos. P, y Hoek, E. (2001); "*Estimating the Geotechnical Properties of Heterogeneous Rock Masses such as Flysch*"; Bulletin of the International Association of Engineering Geologists.
66) Marinos, P. y Hoek, E. (2000); "*GSI—A Geologically Friendly Tool for Rock Mass Strength Estimation*"; Proceedings Geology Engineering 2000 Conference, Melbourne.
67) Merrit, A.H. (1972); *"Geologic Prediction for Underground Excavations"*; Proceedings of North American Rapid Excavation Tunneling Conference; Chicago, USA; pp. 115-132.
68) Ministerio de Energía y Minas (1997); *"Evaluación Ambiental Territorial – Cuenca Madre de Dios"*; Dirección General de Asuntos Ambientales.
69) Ministerio de Energía y Minas (2001); *"Atlas de la Pequeña Minería en Perú"*; Dirección General de Minería.
70) Morgenstern, N.R. y Price, V.E. (1967); *"A Numerical Method for Solving the Equations of Stability of General Slip Surfaces"*; The Computer Journal, Great Britain, Volume 9, N° 4, pp. 388-393.
71) Munchmeyer, C. (1994); "Los Depósitos Exóticos: Productos de Migración Lateral Asociadas a Sistemas Porfíricos"; 7mo Congreso Geológico Chileno, Actas Volumen II, pp. 1602 – 1606.
72) O'Rourke, J.E. (1988); *"Rock Index Properties for Geoengineering Design in Underground Development"*; SME preprint 88-48; 5 pp.
73) Offler, R. y Whitford, D.J. (1992); *"Wall-Rock Alteration and Metamorphism of a Volcanic-Hosted Massive Sulfide Deposit at Que River, Tasmania: Petrology and Mineralogy";* Economic Geology, Volume 87, pp. 686-705.
74) Palmström A. (1996); *"Characterizing Rock Masses by the RMi for Use in Practical Rock Engineering";* Part 1: Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 11, Nº 2, pp. 175-186. Part 2: Volume 11, Nº 3, pp. 287-303.
75) Palmström A. (2000); *"Recent Developments in Rock Support Estimates by the RMi";* Journal of Rock Mechanics and Tunnelling Technology, Volume 6, Nº 1, pp. 1-19.
76) Palmström, A. (1995); "*RMi-A Rock Mass Characterization System for Rock Engineering Purposes*"; PhD Thesis, Department of Geology, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, University of Oslo; Oslo, Norway.
77) Palmström, A. (1982); *"The Volumetric Joint Count - A Useful and Simple Measure of the Degree of Rock Jointing"*; Proceedings of 4th Congress of International Association of Engineering Geology; Delhi, India; pp. 221-228.
78) Pacher, F., Rabcewicz, L. y Golser, J. (1974); *"Zum der seitigen Stand der Gebirgsklassifizierung in Stollen-und Tunnelbau"*; Proceedings of 22nd Geomechanics Colloquia; Salzburg, Austria, pp. 51-58.
79) Park-Li, B.C. (2005); "*Paragenesis, hydrothermal alteration, and geochemistry of multiple stages of hydrothermal mineralization at the Pierina Gold Deposit, northern Peru*"; University of Nevada, Reno, USA, 101 pp.
80) Paulick, H., y McPhie, J. (1999); *"Facies Architecture of the Felsic Lava-Dominated Host Sequence to the Thalanga Massive Sulfide Deposit, Lower Ordovician, Northern Queensland"*; Australian Journal of Earth Sciences, Volume 46, pp. 391-405.
81) Pierce, M., Brandshaugg, T., y Ward, M. (2001); *"Slope Stability Assessment at the Main Cresson Mine"*. Slope Stability in Surface Mining. (Editors W.A. Hustrulid, M.J. McCarter and D.J.A. Van Zyl); Littleton: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc., pp. 239–250.
82) Read, J.R.L., Thornton P.N. y Regan, W.M. (1980); *"A Regional Approach to the Point Load Test"*; Proceeding of the Australia-New Zealand Geomechanics Conference, Volume 2, pp. 35-39.
83) Ríos Carranza, A.M. (2004); *"Estudio del Metalotecto Lancones y su Potencial por Yacimientos de Sulfuros Masivos. Piura-Perú. Descripción, Interpretación y Potencial"*.

Tesis Doctoral. ETSI Minas, Universidad Politécnica de Madrid. 2 volumenes, 224 y 140 pp.

84) Ríos Carranza, A.M., Castroviejo Bolibar, R. y García Jimenez, J.M. (2008); *"Los Sulfuros Masivos Volcanogénicos de la Cuenca Lancones (Perú)"*; Geogaceta N°44, Sociedad Geológica de España.
85) Rocsience Inc. (2002); *"Roclab User´s Guide"*; www.rocsience.com
86) Rocsience Inc. (2005); *"Slide User´s Guide"*; www.rocsience.com
87) Rusnak, J.A. (1998); *"Application of the Coal Mine Roof Rating, Derived from Drill Core. In the Roof Support Design of a Coal Belt Conveyor Tunnel"*; Proceeding of the 17th International Conference on Ground Control in Mining, Morgantown, West Virginia, USA; pp. 221-230.
88) Rusnak, J.A. y Mark, C. (2000); *"Using the Point Load Test to Determine the Uniaxial Compressive Strength of Coal Measure Rock"*; Proceedings of the 19th International Conference on Ground Control in Mining; Morgantown, West Virginia; pp. 362-371.
89) Seshagiri Rao, K., Venkatappa Rao G. y Ramamurthu T. (1987); *"A Comparative Evaluation of Rock Strength Measures"*; Discussion of paper by K.L. Gunsallus and F.H. Kulhawy, "A comparative evaluation of rock strength measures"; International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts, Volume 24, No. 3, pp. 193-196.
90) Singh, V.K. y Singh, D.P. (1993); *"Correlation between Point Load Index and Compressive Strength for Quartzite Rocks"*; Geotechnical and Geological Engineering, Volume 11, pp. 269-272.
91) Smith, H.J. (1997); *"The Point Load Test for Weak Rock in Dredging Applications"*; International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Volume 34, Issues 3-4, April-June, pp. 295.e1-295.e13.
92) Söberg, J., Sharp, J.C., y Malorey, D.J. (2001); *"Slope Stability at Aznalcóllar"*. Slope Stability in Surface Mining. (Editors W. A. Hustrulid, M. J. McCarter and D.J.A. Van Zyl); Littleton: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc., pp. 183–202.
93) Sonmez, H., y Ulusay, R. (1999); "*Modifications to the Geological Strength Index (GSI) and their Applicability to the Stability of Slopes*"; International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 36 (6), pp. 743–760.
94) Stini, J. (1950); *"Tunnelbaugeologie"*; Springer Verlag; Vienna, Austria.
95) Terzaghi, K., Proctor, R.V. y White, T.L. (1946); *"Rock Tunneling with Steel Supports"*; Commercial Shearing and Stamping Co.
96) Teal, L. y Benavides, A. (2010). *"History and Geologic Overview of the Yanacocha Mining District, Cajamarca, Peru"*; Economic Geology, November 2010, Volume 105, N°7 pp. 1173-1190.
97) Townley, B.K. (2005); *"Yacimientos Minerales y Procesos Geológicos"*; Departamento de Geología – Universidad de Chile; Santiago, Chile.
98) Tumialán De La Cruz, P. H. (2003); *"Compendio de Yacimientos Minerales del Perú"*; INGEMMET; Lima, Perú.
99) Ucar, R. (1986); "*Determination of Shear Failure Envelope in Rock Masses*"; Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE. 112, (3), pp. 303–315.
100) Waltham, T. (2002); *"Foundations of Engineering Geology"*; Second Edition; Taylor and Francis Group; London, UK.
101) Wickham, G.E. (1972); *"Support Determination Based on Geologic Predictions"*; Proceedings of Rapid Excavations & Tunneling Conference, pp. 43-64.
102) Zharikov, V.A., Pertsev, N.N., Rusinov, V.L., Callegari, E. y Fettes, D.J. (2007); *"Metasomatism and Metasomatic Rocks"*; Fettes, D. & Desmons, J. editors: Metamorphic Rocks: A Classification and Glossary of Terms. New York, Cambridge University Press, pp. 58–69.

ANEXO A - PRINCIPALES YACIMIENTOS MINERALES DEL PERÚ

PRINCIPALES UNIDADES DE PRODUCCIÓN MINERA NO METÁLICA

ORDEN	UNIDAD	EMPRESA	SUSTANCIA	LONGITUD	LATITUD	DISTRITO	PROVINCIA	DEPARTAMENTO
1	PITUSO MI VECINO	MINERALES ANDINOS S.A.	BENTONITA	81º 01 26	04º 49 24	VICHAYAL	PAITA	PIURA
2	CERRO BLANCO	CIA.MRA.AGREGADOS CALCAREOS S.A	BENTONITA	81º 01 28	04º 49 58	VICHAYAL	PAITA	PIURA
3	GALLINAZO II	RAMIREZ GARRIDO MIGUEL E.	ARENA (Gruesa/Fina)	80º 45 43	05º 07 18	MIGUEL CHECA	SULLANA	PIURA
4	ANA MARIA	RODRIGUEZ LICHTENHELDT JOSE H.	CALIZA	80º 36 13	05º 09 08	CASTILLA	PIURA	PIURA
5	BAGUA	CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.	PUZOLANA	78º 32 23	05º 42 45	BAGUA GRANDE	UTCUBAMBA	AMAZONAS
6	RIOJA	CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.	ARCILLA CALIZA	77º 19 49	05º 56 53	NUEVA CAJAMARCA	RIOJA	SAN MARTIN
7	BAYOVAR N° 2	EMP.MRA.REG.GRAU BAYOVAR S.A	ROCA FOSFORICA(MNRAL)	80º 50 53	06º 04 07	SECHURA	SECHURA	PIURA
8	CERPAC	CIA.MRA.LAS CAMELIAS S.A.	FELDESPATOS	78º 01 04	06º 50 41	BALSAS	CHACHAPOYAS	AMAZONAS
9	EL INCA ATAHUALPA	SMRL.EL INCA ATAHUALPA DE CAJAMARCA	MAT.CONT.(Grava/Arena)	78º 31 35	07º 07 41	CAJAMARCA	CAJAMARCA	CAJAMARCA
10	EL PARAJE	CIA.MRA.LAS CAMELIAS S.A.	ARCILLA	78º 22 19	07º 11 08	LLACANORA	CAJAMARCA	CAJAMARCA
11	LA PROVIDENCIA I	ROJAS MERINO MARTIN	CAOLIN	78º 20 50	07º 11 20	NAMORA	CAJAMARCA	CAJAMARCA
12	LAVASIL 1	BRIONES CABRERA FACUNDO	SILICE	78º 18 23	07º 11 52	NAMORA	CAJAMARCA	CAJAMARCA
13	JULISSA A	CIA.MRA.LAS CAMELIAS S.A.	ARCILLA	79º 08 19	07º 13 25	YONAN	CONTUMAZA	CAJAMARCA
14	TEMBLADERA	CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.	CALIZA	79º 07 00	07º 14 44	YONAN	CONTUMAZA	CAJAMARCA
15	PACASMAYO	CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.	ARCILLA	79º 31 40	07º 22 47	PACASMAYO	PACASMAYO	LA LIBERTAD
16	SAN PEDRO 2	CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.	MAT.CONT.(Grava/Arena)	79º 27 51	07º 26 34	SAN PEDRO DE LLOC	PACASMAYO	LA LIBERTAD
17	CESAR II	CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.	CARBON ANTRACITA	78º 38 31	07º 31 55	CASCAS	GRAN CHIMU	LA LIBERTAD
18	LOMA LARGA	SMRL. LOMA LARGA	CARBON ANTRACITA	78º 27 50	07º 42 02	HUARANCHAL	OTUZCO	LA LIBERTAD
19	AVE FENIX I	CIA.MRA.LAS CAMELIAS S.A.	ARCILLA	78º 00 47	07º 45 54	HUAMACHUCO	SANCHEZ CARRION	LA LIBERTAD
20	BETTY	SMRL.BETTY DE TRUJILLO	ARCILLA REFRACTARIA	78º 01 19	07º 46 02	HUAMACHUCO	SANCHEZ CARRION	LA LIBERTAD
21	RENEE	SMRL.RENEE-TRUJILLO	ARCILLA REFRACTARIA	78º 00 37	07º 48 23	HUAMACHUCO	SANCHEZ CARRION	LA LIBERTAD
22	SANTA CRUZ R.	ALZAMORA GIRALDO ROMULO	YESO	77º 42 52	09º 10 20	RANRAHIRCA	YUNGAY	ANCASH
23	EL MILAGRO L.H	HUAMAN VDA.DE CABALLERO LUCIOLA	YESO	77º 42 45	09º 10 28	RANRAHIRCA	YUNGAY	ANCASH
24	SANTA ISABEL N° 1 R.S.	SALDAÑA CHAVEZ RONALD	MAT.CONT.(Grava/Arena)	78º 27 41	09º 11 23	NEPEÑA	SANTA	ANCASH
25	CONCHITA N*2	SMRL.CONCHITA N°2 DE HUARAZ	CONCHUELAS	78º 28 48	09º 12 18	SAMANCO	SANTA	ANCASH
26	GRAN FORTUNA M	CALDERON VALDERRAMA BERARDO	HORMIGON	78º 28 06	09º 12 34	SAMANCO	SANTA	ANCASH
27	SANTA DELFINA DOS	SALDAÑA CHAVEZ RONALD	MAT.CONT.(Grava/Arena)	78º 27 39	09º 13 39	SAMANCO	SANTA	ANCASH
28	SANTA DELFINA	SALDAÑA CHAVEZ RONALD	MAT.CONT.(Grava/Arena)	78º 26 55	09º 13 48	SAMANCO	SANTA	ANCASH
29	SATF-I	TORRES FLORES SERGIO ALBERTO	CALIZA	77º 38 38	09º 14 57	TINCO	CARHUAZ	ANCASH
30	FATIMA DE CASMA	CIA.MRA.AGREGADOS CALCAREOS S.A	CALIZA	78º 06 34	09º 18 42	BUENA VISTA ALTA	CASMA	ANCASH
31	LOMA BLANCA	CIA.MRA.LOMA BLANCA SRL.	ARCILLA	77º 33 34	09º 21 06	PARIAHUANCA	CARHUAZ	ANCASH
32	CANTERA LAS PALMAS	CIELO MALPARTIDA VICTOR	ARENA (Gruesa/Fina)	75º 58 31	09º 26 34	M. DAMASO BERAUN	LEONCIO PRADO	HUANUCO
33	SAN ILDEFONSO	MARMOLES Y GRANITOS S.A.	MARMOL	77º 29 58	09º 46 18	TICAPAMPA	RECUAY	ANCASH
34	CANTERA KAREM	SAAVEDRA DE FABIAN MARIA ELENA	MAT.CONT.(Grava/Arena)	76º 16 21	09º 56 06	HUANUCO	HUANUCO	HUANUCO
35	LOS UNIDOS	BARRUETA GONZALES JUAN	HORMIGON PIEDRA-CONSTRUCCION	76º 15 15	09º 56 17	HUANUCO	HUANUCO	HUANUCO
36	LOS UNIDOS N° 2	BARRUETA GONZALES JUAN	ARENA (Gruesa/Fina) HORMIGON	76º 15 44	09º 56 22	HUANUCO	HUANUCO	HUANUCO
37	ANDABAMBA	MOSQUEIRA CERVANTES MIGUEL ANGEL	MAT.CONT.(Grava/Arena)	76º 14 10	09º 59 54	HUANUCO	HUANUCO	HUANUCO
38	SAN ISIDRO	SRLTDA.SAN ISIDRO	MARMOL	76º 24 04	10º 10 43	CAYNA	AMBO	HUANUCO
39	HUARCO	CIA.MRA.AGREGADOS CALCAREOS S.A	SILICE	77º 17 55	10º 14 12	CAJACAY	BOLOGNESI	ANCASH
40	SANTA ROSA DE CHACOS	CIA.MRA.BARIMAYO S.A.	BARITINA MINERAL	76º 10 47	10º 22 55	SAN RAFAEL	AMBO	HUANUCO
41	ACUMULACION SAN ROQUE N° 2	SUAREZ ORBEZO AUGURIO	LIMONITAS (OCRE)	76º 11 30	10º 24 43	HUARIACA	PASCO	PASCO
42	MILKA N° 7	SUAREZ ORBEZO AUGURIO	YESO	76º 10 43	10º 27 20	HUARIACA	PASCO	PASCO
43	INDUSTRIA	FREUNDT ORIHUELA VICTOR	DOLOMITA	76º 19 06	10º 31 02	SANTA ANA DE TUSI	D.A. CARRION	PASCO
44	MINASA	MRA.GAZUNA S.A.	CARBON ANTRACITA	76º 48 01	10º 33 59	OYON	OYON	LIMA
45	LA ESTRELLA N° 100 DE GORGOR	SMRL.CONDOR DE GORGOR 100 DE LIMA	FELDESPATOS	76º 57 38	10º 36 34	CAJATAMBO	CAJATAMBO	LIMA
46	GEOLOGOS DEL 2000	SMRL.CALDERON N° 2 DE LIMA	DOLOMITA	76º 55 10	10º 37 24	GORGOR	CAJATAMBO	LIMA
47	SOCAVONERA N° 1	SMRL.HALCON DE GORGOR N° 20 DE LIMA	CALIZA	76º 55 49	10º 37 29	GORGOR	CAJATAMBO	LIMA
48	GAZUNA	DELGADO RUIZ CONEJO EFRAIN	CARBON ANTRACITA	76º 48 12	10º 37 40	OYON	OYON	LIMA
49	POR SI ACASO N° 10	SMRL.POR SI ACASO N° 10 DE LIMA	DOLOMITA	76º 54 38	10º 37 54	GORGOR	CAJATAMBO	LIMA
50	EL LATINO	SMRL.EL LATINO	CARBON	76º 43 47	10º 40 52	OYON	OYON	LIMA
51	EL METALURGISTA	FREUNDT ORIHUELA VICTOR	RELAVES (TRATABLE)	76º 16 18	10º 41 12	SIMON BOLIVAR	PASCO	PASCO
52	TERESITA	ROBLES MEDRANO MOISES	ARENA (Gruesa/Fina)	76º 18 44	10º 43 48	SIMON BOLIVAR	PASCO	PASCO
53	ROSA BLANCA	CIA.MRA.AGREGADOS CALCAREOS S.A	SILICE	76º 03 46	10º 44 52	NINACACA	PASCO	PASCO
54	FLOR DE LOTO	CIA.MRA.LAS CAMELIAS S.A.	CAOLIN	76º 08 21	10º 49 11	NINACACA	PASCO	PASCO
55	AZUCAR III	CIA.MRA.CHURIN S.A.	YESO	76º 52 31	10º 50 13	PACHANGARA	OYON	LIMA
56	ALEJANDRA B	CIA.NAC.DE MARMOLES S.A.(CNM)	ANDESITA	75º 54 56	11º 03 11	JUNIN	JUNIN	JUNIN
57	LA MONA	CIA.MINERA LAFAYETTE S.A.	CALIZA	76º 10 36	11º 14 36	MARCAPOMACOCHA	YAULI	JUNIN
58	BLANCA NIEVES IV	MARMOLES Y GRANITOS S.A.	MARMOL	76º 10 18	11º 15 24	MARCAPOMACOCHA	YAULI	JUNIN
59	LOS CUATRO ASTUDILLOS	CIA.MRA.AGREGADOS CALCAREOS S.A	TRAVERTINO	76º 10 11	11º 15 26	MARCAPOMACOCHA	YAULI	JUNIN
60	SALINAS DE HUACHO	EMP. DE LA SAL S.A.(EMSAL)	SAL COMUN	77º 35 06	11º 17 23	HUACHO	HUAURA	LIMA
61	LA TORMENTA	CIA.MRA.LAS CAMELIAS S.A.	SILICE TALCO MAT.CONT.(Grava/Arena)	75º 36 19	11º 18 11	PALCA	TARMA	JUNIN
62	SAN PEDRO	SMRL.SAN PEDRO DE HUANCAYO	BARITINA MINERAL	75º 34 37	11º 19 14	PALCA	TARMA	JUNIN
63	PATAY	CIA.MRA.AGREGADOS CALCAREOS S.A	BARITINA MINERAL	75º 34 35	11º 19 20	PALCA	TARMA	JUNIN
64	SILICAL	CIA.MRA.AGREGADOS CALCAREOS S.A	SILICE	75º 54 55	11º 21 50	LA UNION	TARMA	JUNIN
65	ANDINO A DE HUANCAYO	CEMENTO ANDINO S.A.	CALIZA YESO	75º 46 48	11º 22 38	LA UNION	TARMA	JUNIN
66	ANDINO B DE HUANCAYO	CEMENTO ANDINO S.A.	LIMONITAS (OCRE)	75º 46 55	11º 22 40	LA UNION	TARMA	JUNIN
67	FORTUNITA	CIA.MRA.LAS CAMELIAS S.A.	FELDESPATOS	75º 50 29	11º 23 47	TARMA	TARMA	JUNIN
68	CANTERA CHARO	CIA.MINERA BUNYAC S.A.	CALIZA	75º 44 54	11º 24 53	TARMA	TARMA	JUNIN
69	MINAS HALCON	PARCO CAMPOS ROBERTO	BARITINA MINERAL	75º 34 30	11º 26 32	TAPO	TARMA	JUNIN
70	SAN CAMILO	CIA.MRA.AGREGADOS CALCAREOS S.A	CALIZA	76º 15 29	11º 35 10	CHICLA	HUAROCHIRI	LIMA
71	ICHU	CIA.MRA.LAS CAMELIAS S.A.	ARCILLA	76º 11 41	11º 36 40	CHICLA	HUAROCHIRI	LIMA
72	ESTRELLA III-86	ESTRELLA IZAGUIRRE AURELIO	MAT.CONT.(Grava/Arena)	75º 49 36	11º 37 28	LA OROYA	YAULI	JUNIN
73	LOS TRES AMIGOS	CHURAMPI ESPIRITU ARTURO	SILICE	75º 45 38	11º 41 32	LA OROYA	YAULI	JUNIN
74	ALBERTINO	CIA.NAC.DE MARMOLES S.A.(CNM)	CALIZA	75º 44 27	11º 43 57	LA OROYA	YAULI	JUNIN
75	TRINCHERPE	CALERA CUT-OFF S.A.C.	CALIZA	75º 43 60	11º 44 27	LA OROYA	YAULI	JUNIN
76	JAIME	CIA.MRA.AGREGADOS CALCAREOS S.A	CALIZA	75º 43 46	11º 44 36	CURICACA	JAUJA	JUNIN
77	CHACAPALPA	MARMOLES Y GRANITOS S.A.	TRAVERTINO	75º 43 27	11º 44 51	CURICACA	JAUJA	JUNIN
78	BETA-1	CIA.MRA.SIERRA CENTRAL S.A.	SILICE	75º 42 42	11º 44 57	CURICACA	JAUJA	JUNIN
79	EDUARDO SEGUNDO AUGUSTA	CIA.INV.MRAS.AGRICS.LURIN S.A.	CALIZA	76º 17 17	11º 44 50	SAN MATEO	HUAROCHIRI	LIMA
80	SILVIA PATRICIA -76	GARCIA CASTILLO CLELIA J.	SILICE	75º 41 10	11º 45 58	CURICACA	JAUJA	JUNIN
81	SAN ANDRES	CHURAMPI ESPIRITU ARTURO	SILICE	75º 33 60	11º 46 39	MARCO	JAUJA	JUNIN
82	LA PERLA 1-79	MENDOZA CASTRO HUMBERTO	YESO	75º 43 34	11º 46 42	CANCHAYLLO	JAUJA	JUNIN
83	VIRGEN DEL ROSARIO 78	SMRL.VIRGEN DEL ROSARIO 78 DE HUANCAYO	ARCILLA	75º 41 13	11º 47 07	CURICACA	JAUJA	JUNIN
84	PEDREGAL N° 31	CIA.MRA.SACACO S.A.-SAMINCO	SILICE	75º 32 58	11º 47 56	PARCO	JAUJA	JUNIN
85	CRUZ DEL NORTE N° 8	MINERA CARABAYLLO S.A.	ARCILLA	77º 06 23	11º 48 22	ANCON	LIMA	LIMA
86	SAN ANDRES	LAZARO CAMPOS AVELINO	ARCILLA ARENA (Gruesa/Fina)	77º 06 23	11º 48 59	PUENTE PIEDRA	LIMA	LIMA
87	LOS PRIMOS-85	SMRL.LOS PRIMOS 85 DE LIMA	MAT.CONT.(Grava/Arena)	77º 01 08	11º 49 13	CARABAYLLO	LIMA	LIMA
88	COMICSA 567	CIA.MRA.LAS CAMELIAS S.A.	ARCILLA	77º 02 15	11º 49 13	CARABAYLLO	LIMA	LIMA
89	ARENAL EL TARO	SMRL.ARENAL EL TARO DE LIMA	ARCILLA ARENA (Gruesa/Fina)	77º 05 52	11º 49 21	PUENTE PIEDRA	LIMA	LIMA
90	SOLEDAD I	SMRL.SOLEDAD I DE LIMA	ARCILLA MAT.CONT.(Grava/Arena)	77º 04 55	11º 49 28	CARABAYLLO	LIMA	LIMA
91	VASCONIA	SMRL.LA CAMPANA DE HUANCAYO	ARCILLA	77º 05 08	11º 49 44	CARABAYLLO	LIMA	LIMA
92	ARENERA SAN PEDRO	PILLACA QUISPE MANUEL	ARENA (Gruesa/Fina)	77º 06 56	11º 50 16	VENTANILLA	CALLAO	LIMA
93	JESUS PODEROSO	URCO GARCIA BERTHA	TALCO	75º 12 32	11º 50 47	QUILCAS	HUANCAYO	JUNIN
94	BLANQUITA	TRANSPALA MINERA S.A.	PIEDRA TRITURADA	76º 58 40	11º 50 41	CARABAYLLO	LIMA	LIMA
95	VIRGEN DE FATIMA	INDUSTRIAS MINERAS MAGAL SRLTDA.	TALCO	75º 07 43	11º 51 49	QUILCAS	HUANCAYO	JUNIN
96	EL MILAGRO	MARMOLES Y GRANITOS S.A.	MARMOL	75º 15 45	11º 52 13	QUICHUAY	HUANCAYO	JUNIN
97	PORVENIR	MRA.CENTRO S.A.	CALIZA	75º 16 45	11º 53 08	QUICHUAY	HUANCAYO	JUNIN
98	DANY	ROMAÑA NAVARRO EDGAR	MAT.CONT.(Grava/Arena)	77º 06 58	11º 54 04	VENTANILLA	CALLAO	LIMA
99	INVERSIONES BUENAVENTURA SA	INVERSIONES BUENAVENTURA S.A.	MAT.CONT.(Grava/Arena)	76º 56 47	11º 55 13	S.J. DE LURIGANCHO	LIMA	LIMA
100	PREVISION 8	UNION DE CONCRETERAS S.A.	MAT.CONT.(Grava/Arena)	76º 53 11	11º 56 46	SAN ANTONIO	HUAROCHIRI	LIMA
101	SORPRESA 16	MARMOLES Y GRANITOS S.A.	MARMOL	75º 37 29	11º 59 55	CANCHAYLLO	JAUJA	JUNIN
102	VICTOR 76	BAQUERIZO MELLANO MARCELINA	YESO	75º 28 45	12º 00 55	SAN JOSE DE QUERO	CONCEPCION	JUNIN
103	PIEDRA LIMPIA	MRA.LA GLORIA S.A.	MAT.CONT.(Grava/Arena)	76º 51 01	12º 00 52	ATE	LIMA	LIMA
104	PROVEEDORA 2DA.	SMRL.YESERA GARAY HNOS.	YESO	75º 25 17	12º 01 27	CHAMBARA	CONCEPCION	JUNIN
105	ERNESTO J.D.L.	AGREGADOS SANTA CLARA S.A.	PIEDRA-CONSTRUCCION	76º 52 02	12º 02 05	ATE	LIMA	LIMA
106	ARENERA SAN MARTIN DE PORRAS	SUC.ENRIQUE OYAGUE MARIATEGUI	MAT.CONT.(Grava/Arena)	76º 54 34	12º 02 40	ATE	LIMA	LIMA
107	DON PEPE 74	MELGAREJO VERGARA SEGUNDO JOSE GABRIEL	MAT.CONT.(Grava/Arena)	76º 50 39	12º 04 26	CIENEGUILLA	LIMA	LIMA
108	PORTACHUELO	ESPINOZA LAVALLE MANUEL	MAT.CONT.(Grava/Arena)	76º 52 20	12º 05 05	PACHACAMAC	LIMA	LIMA
109	PADRE FRAY PEDRO URRACA	HUAMANI ATUNGA FROILAN	MAT.CONT.(Grava/Arena)	76º 50 43	12º 05 09	CIENEGUILLA	LIMA	LIMA
110	MI BEATITA	SANTA CATHERINA S.A.	MAT.CONT.(Grava/Arena)	76º 52 54	12º 05 36	PACHACAMAC	LIMA	LIMA
111	ATOCONGO	CEMENTOS LIMA S.A.	CALIZA	76º 54 14	12º 11 18	V.M. DEL TRIUNFO	LIMA	LIMA
112	CONQUISTADORES 4TO.	REFRACTARIOS RIVARA S.A.	ARCILLA REFRACTARIA	75º 17 17	12º 12 27	CHONGOS BAJOS	CHUPACA	JUNIN
113	SANTA ROSA	CIA.MRA.AGREGADOS CALCAREOS S.A	ARCILLA	76º 50 14	12º 12 32	PACHACAMAC	LIMA	LIMA
114	MERCEDES 85	MRA.DOÑA HERMINIA S.A.	BENTONITA	75º 16 26	12º 14 12	CHONGOS BAJOS	CHUPACA	JUNIN
115	LOMO DE CORVINA	CIA.MRA.LUREN S.A.	ARENA (Gruesa/Fina)	76º 56 60	12º 14 01	VILLA EL SALVADOR	LIMA	LIMA
116	LAPUNTA	CIA.MRA.AGREGADOS CALCAREOS S.A	SILICE	76º 41 29	12º 14 34	PUNTA HERMOSA	LIMA	LIMA
117	MERCEDES 84	MRA.DOÑA HERMINIA S.A.	BENTONITA	75º 15 40	12º 15 07	COLCA	HUANCAYO	JUNIN
118	RUBILA	REFRACTARIOS RIVARA S.A.	ARCILLA REFRACTARIA	75º 16 19	12º 15 11	CHONGOS BAJOS	CHUPACA	JUNIN
119	FRANCISCO	REFRACTARIOS RIVARA S.A.	ARCILLA REFRACTARIA	75º 17 24	12º 16 18	CHICCHE	HUANCAYO	JUNIN
120	AMELIA	REFRACTARIOS PERUANOS S.A.	ARCILLA REFRACTARIA	75º 17 39	12º 16 34	CHICCHE	HUANCAYO	JUNIN
121	STA.MARTHA DE LURIN	CHANCADORA LIMATAMBO S.A.	MAT.CONT.(Grava/Arena)	76º 50 29	12º 16 13	LURIN	LIMA	LIMA
122	CHONGOS ALTO DE HUANCAYO	CIA.MRA.LAS CAMELIAS S.A.	ARCILLA	75º 16 45	12º 17 19	CHICCHE	HUANCAYO	JUNIN
123	COLCA-CHONGOS ALTO	REFRACTARIOS PERUANOS S.A.	ARCILLA REFRACTARIA	75º 15 37	12º 18 08	CHICCHE	HUANCAYO	JUNIN
124	LAIVE	SOMINBOR S.A.	CALIZA	75º 19 26	12º 20 16	CHONGOS ALTO	HUANCAYO	JUNIN
125	YESERA INES DOS	FERNANDEZ ASTETE RICARDINA	YESO	75º 02 03	12º 24 25	ACOSTAMBO	TAYACAJA	HUANCAVELICA
126	CHILCA	CIA.MRA.LUREN S.A.	CALIZA	76º 44 28	12º 29 28	CHILCA	CAÑETE	LIMA
127	SAN FELIPE	MARMOLES Y GRANITOS S.A.	MARMOL	76º 42 12	12º 29 58	CHILCA	CAÑETE	LIMA
128	MERCEDES	MARMOLES Y GRANITOS S.A.	TRAVERTINO	76º 41 53	12º 30 25	CHILCA	CAÑETE	LIMA
129	ZEUS - 7	SOC.MRA.AYACUCHANA S.A.	DIATOMITA	74º 13 42	13º 11 03	CARMEN ALTO	HUAMANGA	AYACUCHO
130	HUACHONES 2000	COMUNID.CAMPES.YANACONA	CALIZA	72º 03 35	13º 22 30	CHINCHERO	URUBAMBA	CUSCO
131	VICTOR RAUL	CASAPINO DEL CASTILLO VICTOR	CALIZA	72º 03 47	13º 26 17	CHINCHERO	URUBAMBA	CUSCO
132	MANZANAPATA KEHUAR 98	OLAVE SANA DOMINGA	YESO	72º 08 31	13º 26 21	ANTA	ANTA	CUSCO

PRINCIPALES UNIDADES DE PRODUCCIÓN MINERA METÁLICA

ORDEN	UNIDAD	EMPRESA	SUSTANCIA	LONGITUD	LATITUD	DISTRITO	PROVINCIA	DEPARTAMENTO
1	COLORADA	CIA.MRA.SAN NICOLAS S.A.	ORO	78º 37 44	06º 44 60	HUALGAYOC	HUALGAYOC	CAJAMARCA
2	SIPAN	CIA.MINERA SIPAN S.A.C.	ORO	78º 45 57	06º 55 13	LLAPA	SAN MIGUEL	CAJAMARCA
3	CHAUPILOMA SUR	MRA.YANACOCHA S.R.L.	ORO	78º 29 10	06º 58 12	ENCAÑADA	CAJAMARCA	CAJAMARCA
4	PODEROSA DE TRUJILLO	CIA.MRA.PODEROSA S.A.	ORO	77º 37 50	07º 41 45	PATAZ	PATAZ	LA LIBERTAD
5	CULEBRILLAS	CIA.AURIF.REAL AVENTURA S.A.	ORO	77º 27 40	07º 57 19	PARCOY	PATAZ	LA LIBERTAD
6	QUIRUVILCA	PAN AMERICAN SILVER S.A.C.	POLIMETALICO	78º 21 05	07º 57 42	QUIRUVILCA	S. DE CHUCO	LA LIBERTAD
7	ZAMBO	CONS.MRO.HORIZONTE S.A.	ORO	77º 30 11	07º 58 59	PARCOY	PATAZ	LA LIBERTAD
8	CAROLA	ALFARO CABALLERO SEGUNDO LUIS	POLIMETALICO	78º 34 60	07º 59 13	SALPO	OTUZCO	LA LIBERTAD
9	RETAMAS	MRA.AURIF.RETAMAS S.A.	ORO	77º 28 10	08º 01 47	PARCOY	PATAZ	LA LIBERTAD
10	PARCOY DE TRUJILLO	CONS.MRO.HORIZONTE S.A.	ORO	77º 27 53	08º 02 18	PARCOY	PATAZ	LA LIBERTAD
11	SANTA BARBARA	SMRL.SANTA BARBARA DE TRUJILLO	ORO	77º 25 18	08º 04 33	BULDIBUYO	PATAZ	LA LIBERTAD
12	SEÑOR DE LOS MILAGROS	CIA.MRA.AURIF.SANTA ROSA S.A.	ORO	78º 00 44	08º 05 59	ANGASMARCA	S. DE CHUCO	LA LIBERTAD
13	ESTRELLA DE PATAZ N° 4	CIA.MRA.BULDIBUYO S.A.	ORO	77º 24 15	08º 06 38	BULDIBUYO	PATAZ	LA LIBERTAD
14	NUEVA CALIFORNIA	CIA.MRA.NUEVA CALIFORNIA S.A.	ORO	77º 39 08	09º 08 59	YUNGAY	YUNGAY	ANCASH
15	PIERINA	MRA. BARRICK MISQUICHILCA S.A.	ORO	77º 35 00	09º 26 38	JANGAS	HUARAZ	ANCASH
16	AMAPOLA 5	SMRL.AMAPOLA 5 DE HUARAZ	POLIMETALICO	77º 40 41	09º 41 35	LA MERCED	AIJA	ANCASH
17	ADMIRADA ATILA	VIZCARRA SMITH RAUL ERNESTO	POLIMETALICO	77º 40 37	09º 41 41	LA MERCED	AIJA	ANCASH
18	PUCARRAJO	MINERA HUALLANCA S.A.C.	POLIMETALICO	77º 05 51	09º 48 47	HUALLANCA	BOLOGNESI	ANCASH
19	DOMINGO SAVIO	SMRL.DOMINGO SAVIO DE HUANUCO	POLIMETALICO	77º 03 22	09º 49 52	HUALLANCA	BOLOGNESI	ANCASH
20	SANTA LUISA	CIA.MRA.SANTA LUISA S.A.	POLIMETALICO	77º 00 06	09º 52 08	HUALLANCA	BOLOGNESI	ANCASH
21	PACHAPAQUI	MRA.PACHAPAQUI S.A.	POLIMETALICO	77º 05 29	09º 57 07	AQUIA	BOLOGNESI	ANCASH
22	AQUIA	SMRL.MAGISTRAL DE HUARAZ S.A.C.	POLIMETALICO	77º 12 19	09º 57 28	AQUIA	BOLOGNESI	ANCASH
23	SAN MARTIN DE PORRES JM	CC Y S CORPORATION S.A.	POLIMETALICO	76º 59 50	09º 59 10	HUALLANCA	BOLOGNESI	ANCASH
24	SANTA ANA DE TUSI	SMRL.SANTA ANA DE TUSI DE CERRO DE PASCO	POLIMETALICO	76º 22 43	10º 25 00	SANTA ANA DE TUSI	D.A. CARRION	PASCO
25	RAURA	CIA.MRA.RAURA S.A.	POLIMETALICO	76º 44 32	10º 26 35	SAN MIGUEL DE CAURI	LAURICOCHA	HUANUCO
26	ATACOCHA	CIA.MRA.ATACOCHA S.A.	POLIMETALICO	76º 12 18	10º 34 42	S.F.D.A. DE YARUSYACA	PASCO	PASCO
27	MILPO N° 1	CIA.MRA.MILPO S.A.	POLIMETALICO	76º 12 26	10º 36 44	S.F.D.A. DE YARUSYACA	PASCO	PASCO
28	UCHUCCHACUA	CIA.DE MINAS BUENAVENTURA S.A.A.	POLIMETALICO	76º 41 18	10º 37 06	OYON	OYON	LIMA
29	CALDERON N° 2	SMRL.CALDERON N° 2 DE LIMA	ANTIMONIO	76º 55 13	10º 37 22	GORGOR	CAJATAMBO	LIMA
30	ALFREDO	SOC.MINERA LAS CUMBRES S.R.L.	POLIMETALICO	77º 00 01	10º 39 08	GORGOR	CAJATAMBO	LIMA
31	CERRO DE PASCO	EMPRESA MINERA PARAGSHA S.A.C.	POLIMETALICO	76º 16 28	10º 41 11	SIMON BOLIVAR	PASCO	PASCO
32	ANTON	CIA.MRA.AURIF.AUREX S.A.	RELAVES (TRATABLE)	76º 18 34	10º 42 19	SIMON BOLIVAR	PASCO	PASCO
33	ISCAYCRUZ	EMPMRA.ISCAYCRUZ S.A.	POLIMETALICO	76º 44 00	10º 46 13	OYON	OYON	LIMA
34	COLQUIJIRCA	SOC.MRA.EL BROCAL S.A.	POLIMETALICO	76º 17 07	10º 49 32	SIMON BOLIVAR	PASCO	PASCO
35	ANIMON	EMPADMINISTRADORA CHUNGAR S.A.C.	POLIMETALICO	76º 25 19	11º 01 35	HUAYLLAY	PASCO	PASCO
36	SAN VICENTE	CIA.MRA.SAN IGNACIO DE MOROCOCHA S.A.	POLIMETALICO	75º 22 52	11º 13 39	VITOC	CHANCHAMAYO	JUNIN
37	MINAS HALCON	PARCO CAMPOS ROBERTO	HIERRO	75º 34 30	11º 26 32	TAPO	TARMA	JUNIN
38	MARIA TERESA	MRA.COLQUISIRI S.A.	POLIMETALICO	77º 16 06	11º 29 38	HUARAL	HUARAL	LIMA
39	EL CAMINO	NUEVA CONDOR S.A.	POLIMETALICO	76º 26 15	11º 32 02	HUANZA	HUAROCHIRI	LIMA
40	TICLIO	VOLCAN CIA.MINERA S.A.A.	POLIMETALICO	76º 10 36	11º 35 08	MOROCOCHA	YAULI	JUNIN
41	AUSTRIA DUVAZ	SOC.MRA.AUSTRIA DUVAZ S.A.	POLIMETALICO	76º 08 18	11º 35 36	MOROCOCHA	YAULI	JUNIN
42	MOROCOCHA	EMPMRA.DEL CENTRO DEL PERU S.A.	POLIMETALICO	76º 08 27	11º 35 53	MOROCOCHA	YAULI	JUNIN
43	CASAPALCA	EMPRESA MINERA YAULIYACU S.A.	POLIMETALICO	76º 13 45	11º 39 27	CHICLA	HUAROCHIRI	LIMA
44	AMERICANA	CIA.MRA.CASAPALCA S.A.C.	POLIMETALICO	76º 12 17	11º 39 34	CHICLA	HUAROCHIRI	LIMA
45	CARAHUACRA	VOLCAN CIA.MINERA S.A.A.	POLIMETALICO	76º 04 45	11º 42 24	YAULI	YAULI	JUNIN
46	SAN CRISTOBAL	VOLCAN CIA.MINERA S.A.A.	POLIMETALICO	76º 05 31	11º 44 39	YAULI	YAULI	JUNIN
47	ANDAYCHAGUA	VOLCAN CIA.MINERA S.A.A.	POLIMETALICO	76º 00 17	11º 44 46	HUAY-HUAY	YAULI	JUNIN
48	MINA CORICANCHA	MINERA LIZANDRO PROAÑO S.A	POLIMETALICO	76º 17 54	11º 47 33	SAN MATEO	HUAROCHIRI	LIMA
49	GRACIELA	PERUBAR S.A.	POLIMETALICO	76º 34 10	11º 54 21	S.C.DE COCACHACRA	HUAROCHIRI	LIMA
50	YAURICOCHA	EMPMRA.DEL CENTRO DEL PERU S.A.	POLIMETALICO	75º 43 02	12º 18 38	ALIS	YAUYOS	LIMA
51	ROSA YANETH NAYDA	SAIRE HUALLPATINCO FORTUNATO	GRAVAS AURIFERAS	69º 22 38	12º 30 04	TAMBOPATA	TAMBOPATA	MADRE DE DIOS
52	YULY2000	SAIRE HUALLPATINCO FORTUNATO	GRAVAS AURIFERAS	69º 22 55	12º 30 20	TAMBOPATA	TAMBOPATA	MADRE DE DIOS
53	ANA ISABEL III	MOLINA MOLLINEDO SINFOROSO	GRAVAS AURIFERAS	69º 18 47	12º 33 36	TAMBOPATA	TAMBOPATA	MADRE DE DIOS
54	COBRIZA	DOE RUN PERU S.R.LTDA.	COBRE	74º 23 34	12º 33 56	SAN PEDRO DE CORIS	CHURCAMPA	HUANCAVELICA
55	LA VOLUNTAD DE DIOS 97	SMRL. LA VOLUNTAD DE DIOS-97	GRAVAS AURIFERAS	70º 06 33	12º 34 00	MADRE DE DIOS	MANU	MADRE DE DIOS
56	MARCO TULIO	GUTIERREZ CACERES BEATRIZ	GRAVAS AURIFERAS	69º 20 46	12º 34 19	TAMBOPATA	TAMBOPATA	MADRE DE DIOS
57	DRAGON	SMRL.DRAGON DE MADRE DE DIOS	GRAVAS AURIFERAS	69º 17 59	12º 34 23	TAMBOPATA	TAMBOPATA	MADRE DE DIOS
58	EVANGELINA	DIAZ BAÑOS NICOLAS	GRAVAS AURIFERAS	69º 20 18	12º 34 25	TAMBOPATA	TAMBOPATA	MADRE DE DIOS
59	AGUSTIN IV	ALVAREZ CHOQUEHUANCA AGUSTIN	GRAVAS AURIFERAS	70º 07 40	12º 34 33	MANU	MANU	MADRE DE DIOS
60	ROSA AURORA I	LUQUE GALLEGOS JUANA	GRAVAS AURIFERAS	70º 06 33	12º 34 33	MADRE DE DIOS	MANU	MADRE DE DIOS
61	ANA ISABEL II	MOLINA MOLLINEDO SINFOROSO	GRAVAS AURIFERAS	69º 17 33	12º 34 53	TAMBOPATA	TAMBOPATA	MADRE DE DIOS
62	SAN ISIDRO	MIRAGE MINERACION IND.COM.LTDA.	GRAVAS AURIFERAS	69º 17 34	12º 35 15	TAMBOPATA	TAMBOPATA	MADRE DE DIOS
63	REY DE ORO	SMRL.REY DE ORO DE MADRE DE DIOS	GRAVAS AURIFERAS	70º 12 10	12º 35 09	MADRE DE DIOS	MANU	MADRE DE DIOS
64	YESSICA	CATTANEO NATALIO	GRAVAS AURIFERAS	69º 17 24	12º 35 46	TAMBOPATA	TAMBOPATA	MADRE DE DIOS
65	SOLAR II	MIRANDA VIZCARRA HUGO RAIME	GRAVAS AURIFERAS	70º 05 44	12º 35 38	MADRE DE DIOS	MANU	MADRE DE DIOS
66	SAN JOSE I	PORRAS BAZAN EFRAIN	GRAVAS AURIFERAS	70º 07 25	12º 35 44	MANU	MANU	MADRE DE DIOS
67	SAMUEL III	HUALLPA QUISPE FRANCISCO	GRAVAS AURIFERAS	70º 06 50	12º 36 11	MADRE DE DIOS	MANU	MADRE DE DIOS
68	EL PACAL II	LINAREZ LOZANO HUARTE	GRAVAS AURIFERAS	70º 17 32	12º 36 09	MANU	MANU	MADRE DE DIOS
69	LOS REBELDES	SMRL.LOS REBELDES DE MADRE DE DIOS	GRAVAS AURIFERAS	69º 25 52	12º 36 21	TAMBOPATA	TAMBOPATA	MADRE DE DIOS
70	YANETH II	HUALLPA QUISPE FRANCISCO	GRAVAS AURIFERAS	70º 06 51	12º 37 16	MADRE DE DIOS	MANU	MADRE DE DIOS
71	KARINA H-1	HERRERA URIZAR MIGUEL	GRAVAS AURIFERAS	69º 25 35	12º 37 37	TAMBOPATA	TAMBOPATA	MADRE DE DIOS
72	ALEX	SMRL. ALEX DE MADRE DE DIOS	GRAVAS AURIFERAS	69º 29 26	12º 38 03	LABERINTO	TAMBOPATA	MADRE DE DIOS
73	SOL DE MAYO	ROMERO RODRIGUEZ EULOGIO AMADO	GRAVAS AURIFERAS	69º 37 34	12º 38 10	LABERINTO	TAMBOPATA	MADRE DE DIOS
74	SOL DE MAYO I	ROMERO RODRIGUEZ EDILBERTO RAUL	GRAVAS AURIFERAS	69º 38 07	12º 38 59	LABERINTO	TAMBOPATA	MADRE DE DIOS
75	PLAYA LUNA	LUNA CAMACHO EFRAIN SILVESTRE	GRAVAS AURIFERAS	69º 34 56	12º 39 45	LABERINTO	TAMBOPATA	MADRE DE DIOS
76	JOSHED II	BOLIVAR MANRIQUE RICARDO	GRAVAS AURIFERAS	69º 33 30	12º 39 57	LABERINTO	TAMBOPATA	MADRE DE DIOS
77	ALGAMARCA I	SMRL. ALGAMARCA I	GRAVAS AURIFERAS	69º 41 60	12º 40 04	LABERINTO	TAMBOPATA	MADRE DE DIOS
78	PLAYA VENADO 4	MATHEUS BEJAR HILDA ELSA	GRAVAS AURIFERAS	70º 28 07	12º 40 25	MADRE DE DIOS	MANU	MADRE DE DIOS
79	MARGOT I	SMRL. MARGOT I	GRAVAS AURIFERAS	69º 42 33	12º 40 36	LABERINTO	TAMBOPATA	MADRE DE DIOS
80	MARTA	MINERA MARTHA S.A.	POLIMETALICO	75º 03 44	12º 40 41	HUANDO	TAYACAJA	HUANCAVELICA
81	PUQUIANO DE ORO	LOBO PARIONA SANTOS	GRAVAS AURIFERAS	69º 34 10	12º 40 49	LABERINTO	TAMBOPATA	MADRE DE DIOS
82	AMIQUE	SMRL.AMIQUE	GRAVAS AURIFERAS	69º 47 12	12º 41 07	LABERINTO	TAMBOPATA	MADRE DE DIOS
83	RICHARD I	BOLIVAR MANRIQUE RICARDO	GRAVAS AURIFERAS	69º 33 26	12º 41 10	LABERINTO	TAMBOPATA	MADRE DE DIOS
84	RECIO III	CAHUANA QUISPE REYNALDO	GRAVAS AURIFERAS	69º 37 18	12º 41 09	LABERINTO	TAMBOPATA	MADRE DE DIOS
85	PLAYA VENADO 1	MATHEUS BEJAR HILDA ELSA	GRAVAS AURIFERAS	70º 28 41	12º 40 57	MADRE DE DIOS	MANU	MADRE DE DIOS
86	SAN JUAN DE AREQUIPA	MINAS OCOÑA S.A.	ORO	70º 28 41	12º 40 57	MADRE DE DIOS	MANU	MADRE DE DIOS
87	VILMA II	CANGANA MERINO ROSA HERMELINDA	GRAVAS AURIFERAS	69º 34 47	12º 41 13	LABERINTO	TAMBOPATA	MADRE DE DIOS
88	PLAYA VENADO 3	MATHEUS BEJAR HILDA ELSA	GRAVAS AURIFERAS	70º 28 08	12º 41 14	MADRE DE DIOS	MANU	MADRE DE DIOS
89	PLAYA VENADO	MATHEUS BEJAR HILDA ELSA	GRAVAS AURIFERAS	70º 28 41	12º 41 30	MADRE DE DIOS	MANU	MADRE DE DIOS
90	CONDESTABLE	CIA.MRA.CONDESTABLE S.A.	COBRE	76º 35 24	12º 41 32	MALA	CAÑETE	LIMA
91	MARJORIE	BECERRA CALDERON JULIO	GRAVAS AURIFERAS	69º 46 42	12º 42 13	INAMBARI	TAMBOPATA	MADRE DE DIOS
92	PLAYA VENADO 2	MATHEUS BEJAR HILDA ELSA	GRAVAS AURIFERAS	70º 28 41	12º 42 02	MADRE DE DIOS	MANU	MADRE DE DIOS
93	PLAYA CANAAN I	SMRL.PLAYA CANAAN I DE M.DIOS	GRAVAS AURIFERAS	69º 37 20	12º 42 23	LABERINTO	TAMBOPATA	MADRE DE DIOS
94	F.E.C. TRES	CONDO MASCA NESTOR ALEJANDRO	GRAVAS AURIFERAS	69º 43 34	12º 42 28	LABERINTO	TAMBOPATA	MADRE DE DIOS
95	PLAYA DIANA NORTE	RIOS TORRES ANDRES	GRAVAS AURIFERAS	69º 37 53	12º 42 30	LABERINTO	TAMBOPATA	MADRE DE DIOS
96	PLAYA N° 3	PACHECO MAGIN FROILAN	GRAVAS AURIFERAS	69º 39 24	12º 42 33	LABERINTO	TAMBOPATA	MADRE DE DIOS
97	PLAYA N° 1	PACHECO MAGIN GERMAN	GRAVAS AURIFERAS	69º 41 55	12º 42 37	LABERINTO	TAMBOPATA	MADRE DE DIOS
98	PLOK CONDORITO I	VILLALOBOS BLAS DE DIAZ ELINORA	GRAVAS AURIFERAS	69º 39 19	12º 42 47	LABERINTO	TAMBOPATA	MADRE DE DIOS
99	PLAYA N° 4	PACHECO MAGIN GERMAN	GRAVAS AURIFERAS	69º 42 06	12º 42 50	LABERINTO	TAMBOPATA	MADRE DE DIOS
100	PLAYA N° 2	PACHECO MAGIN MANUEL	GRAVAS AURIFERAS	69º 41 05	12º 42 52	LABERINTO	TAMBOPATA	MADRE DE DIOS
101	PLAYA DIANA	RIOS TORRES ANDRES	GRAVAS AURIFERAS	69º 37 50	12º 42 54	LABERINTO	TAMBOPATA	MADRE DE DIOS
102	SANTA LUCIA DOS	SMRL. SANTA LUCIA DOS	GRAVAS AURIFERAS	70º 30 22	12º 46 22	MADRE DE DIOS	MANU	MADRE DE DIOS
103	PLAYA CANAAN	SMRL.PLAYA CANAAN DE MADRE DE DIOS	GRAVAS AURIFERAS	70º 05 51	12º 46 35	INAMBARI	TAMBOPATA	MADRE DE DIOS
104	PLAYA ALEXANDRA	DIAZ QUISPE DANIEL	GRAVAS AURIFERAS	70º 30 57	12º 50 10	MADRE DE DIOS	MANU	MADRE DE DIOS
105	JULCANI	CIA.DE MINAS BUENAVENTURA S.A.A.	POLIMETALICO	74º 48 01	12º 56 22	CCOCHACCASA	ANGARAES	HUANCAVELICA
106	CHAVINSA 1-E	SMRL.CHAVINSA N° 1-A	GRAVAS AURIFERAS	70º 33 53	12º 59 22	MADRE DE DIOS	MANU	MADRE DE DIOS
107	CHAVINSA Nº 1-A	SMRL.CHAVINSA N° 1-A	GRAVAS AURIFERAS	70º 34 08	12º 59 46	MADRE DE DIOS	MANU	MADRE DE DIOS
108	CHAVINSA 1-J	SMRL.CHAVINSA N° 1-A	GRAVAS AURIFERAS	70º 34 21	13º 00 07	MADRE DE DIOS	MANU	MADRE DE DIOS
109	CHAVINSA 1-I	SMRL.CHAVINSA N° 1-A	GRAVAS AURIFERAS	70º 33 53	13º 00 07	MADRE DE DIOS	MANU	MADRE DE DIOS
110	9 DE SETIEMBRE	SMRL.9 DE SETIEMBRE DE MADRE DE DIOS	GRAVAS AURIFERAS	70º 34 16	13º 00 18	MADRE DE DIOS	MANU	MADRE DE DIOS
111	CHAVINSA 1-H	SMRL.CHAVINSA N° 1-A	GRAVAS AURIFERAS	70º 34 08	13º 00 18	MADRE DE DIOS	MANU	MADRE DE DIOS
112	CHAVINSA 1-C	SMRL.CHAVINSA N° 1-A	GRAVAS AURIFERAS	70º 34 30	13º 00 18	MADRE DE DIOS	MANU	MADRE DE DIOS
113	FATIMA	HUAMAN DE AUQUIPATA BALBINA	GRAVAS AURIFERAS	69º 59 59	13º 00 40	INAMBARI	TAMBOPATA	MADRE DE DIOS
114	PLAYA TAURO G.C.	CUADROS MOLLEDO GREGORIO	GRAVAS AURIFERAS	69º 58 37	13º 00 41	INAMBARI	TAMBOPATA	MADRE DE DIOS
115	LA ESPERANZA	BACA FERNANDEZ ANDRES SATURNINO	GRAVAS AURIFERAS	70º 31 39	13º 01 02	MADRE DE DIOS	MANU	MADRE DE DIOS
116	CECILIO GREGORIA	BACA FERNANDEZ CECILIO	GRAVAS AURIFERAS	70º 31 59	13º 01 55	MADRE DE DIOS	MANU	MADRE DE DIOS
117	HUACHOCOLPA-UNO	CIA.MRA.CAUDALOSA S.A.	POLIMETALICO	74º 58 46	13º 03 51	HUACHOCOLPA	HUANCAVELICA	HUANCAVELICA
118	RECUPERADA	CIA.DE MINAS BUENAVENTURA S.A.A.	POLIMETALICO	74º 56 55	13º 05 34	HUACHOCOLPA	HUANCAVELICA	HUANCAVELICA
119	TRES BOCAS MALINOWSKI	CALLO MAMANI CECILIO	GRAVAS AURIFERAS	70º 14 27	13º 06 29	INAMBARI	TAMBOPATA	MADRE DE DIOS
120	COLMENA DOS	CALLO MAMANI CECILIO	GRAVAS AURIFERAS	70º 10 06	13º 06 39	INAMBARI	TAMBOPATA	MADRE DE DIOS
121	EL PALOMO	CIA.MRA.EL PALOMO S.A.	PLATA	75º 03 03	13º 07 42	SANTA ANA	CASTROVIRREYNA	HUANCAVELICA
122	FUNDO LOS ANGELES	HURTADO DE CHAVEZ IRENE TICA	GRAVAS AURIFERAS	70º 15 60	13º 07 34	INAMBARI	TAMBOPATA	MADRE DE DIOS
123	SAN GENARO	CASTROVIRREYNA CIA.MRA. S.A.	POLIMETALICO	75º 09 21	13º 10 23	SANTA ANA	CASTROVIRREYNA	HUANCAVELICA
124	ARARAT 1	SMRL.ARARAT 1	ORO	69º 35 33	13º 54 40	LIMBANI	SANDIA	PUNO
125	CATALINA HUANCA	CIA.MRA.UYUCCASA S.A.	POLIMETALICO	73º 55 47	13º 58 42	CANARIA	VICTOR FAJARDO	AYACUCHO
126	SAN RAFAEL	MINSUR S.A.	ESTAÑO	70º 19 55	14º 13 07	ANTAUTA	MELGAR	PUNO
127	COBRE INCA	MALDONADO GALLARDO ARTURO FAUSTO	COBRE	71º 08 49	14º 24 47	MARANGANI	CANCHIS	CUSCO
128	SELENE	CIA.MINERA SELENE S.A.C.	ORO	73º 08 36	14º 36 35	COTARUSE	AYMARAES	APURIMAC
129	TINTAYA	BHP TINTAYA S.A.	SULFURO DE COBRE	71º 19 24	14º 54 09	ESPINAR	ESPINAR	CUSCO
130	ARCATA	MINAS DE ARCATA S.A.	PLATA	72º 18 28	14º 58 51	CAYARANI	CONDESUYOS	AREQUIPA
131	CPS-1	SHOUGANG HIERRO PERU S.A.A.	HIERRO	75º 05 37	15º 04 18	MARCONA	NAZCA	ICA
132	SAN CRISTOBAL	CIA.MRA.DE CAYLLOMA S.A.	PLATA	71º 51 25	15º 11 12	CAYLLOMA	CAYLLOMA	AREQUIPA
133	ORCOPAMPA	CIA.DE MINAS BUENAVENTURA S.A.A.	POLIMETALICO	72º 19 59	15º 16 25	ORCOPAMPA	CASTILLA	AREQUIPA
134	SAN LUIS 192	AURIF.KORIJAQUI S.A.	ORO	74º 15 17	15º 18 60	SANCOS	LUCANAS	AYACUCHO
135	GERDI APACHETA	MRA.SHILA S.A.	ORO	72º 12 03	15º 23 09	CHACHAS	CASTILLA	AREQUIPA
136	TAMBOJASA	CIA.MRA.CARAVELI S.A.	ORO	73º 57 11	15º 36 60	HUANUHUANU	CARAVELI	AREQUIPA
137	LA CAPITANA	CIA.MRA.CARAVELI S.A.	ORO	74º 02 15	15º 37 39	HUANUHUANU	CARAVELI	AREQUIPA
138	BARRENO	MINAS ARIRAHUA S.A.	POLIMETALICO	72º 56 20	15º 39 26	YANAQUIHUA	CONDESUYOS	AREQUIPA
139	LA ESPERANZA DEL INCA	LUDEÑA COLQUEHUANCA EDGARDO GASPAR	ORO	73º 34 09	15º 46 41	ATICO	CARAVELI	AREQUIPA
140	UNIDAD AURIFERA CALPA	MRA.AURIF.CALPA S.A.	ORO	73º 32 11	15º 47 40	ATICO	CARAVELI	AREQUIPA
141	CARAVELI	INVERSIONES MRAS.DEL SUR S.A.	ORO	73º 24 19	15º 48 05	CARAVELI	CARAVELI	AREQUIPA
142	SAN FRANCISCO N° 5	TRAUTEN SASS FRANCISCO PEDRO	ORO	74º 00 43	15º 53 21	CHAPARRA	CARAVELI	AREQUIPA
143	SAN PEDRO N° 1	CIA.MRA.SAN PEDRO DE CORONGO S.A.	ORO	73º 01 05	15º 54 18	RIO GRANDE	CONDESUYOS	AREQUIPA
144	RIO AMARILLO I	BAUTISTA SANTOS ISIDORO	COBRE	70º 27 19	16º 16 32	ICHUÑA	G.S. CARRION	MOQUEGUA
145	CERRO VERDE	SOC.MRA.CERRO VERDE S.A.A.	COBRE	71º 37 21	16º 28 23	UCHUMAYO	AREQUIPA	AREQUIPA
146	ESPINAL UNO N° 8	BARDALES FERNANDEZ ALFREDO	COBRE	71º 25 19	16º 35 57	YARABAMBA	AREQUIPA	AREQUIPA
147	CUAJONE	SOUTHERN PERU COPPER CORPORATION	SULFURO DE COBRE	70º 42 20	17º 02 28	TORATA	MARISCAL NIETO	MOQUEGUA
148	TOQUEPALA	SOUTHERN PERU COPPER CORPORATION	PORFIDO DE COBRE	70º 37 05	17º 14 34	ILABAYA	JORGE BASADRE	TACNA

PRINCIPALES UNIDADES DE PRODUCCIÓN MINERA NO METÁLICA

ORDEN	UNIDAD	EMPRESA	SUSTANCIA	LONGITUD	LATITUD	DISTRITO	PROVINCIA	DEPARTAMENTO
133	VICTOR RAUL INGENIEROS	CASAPINO DEL CASTILLO VICTOR	CALIZA	72º 03 21	13º 26 34	CHINCHERO	URUBAMBA	CUSCO
134	MORRO BLANCO TERCERO	SOTOMAYOR DE PALOMINO LIVIA.	YESO	71º 49 20	13º 27 27	SAN SALVADOR	CALCA	CUSCO
135	CUSIHUAMAN 95	CUSIHUAMAN QUISPE GRACIANO	YESO	72º 03 31	13º 27 22	CACHIMAYO	ANTA	CUSCO
136	SANTA MARTHA	BELLOTA ATAYUPANQUI TEOFILO	PIEDRA-CONSTRUCCION	71º 53 24	13º 27 34	TARAY	CALCA	CUSCO
137	MIRIAM YOVANI	JAQUE LIÑAN JULIA	YESO	72º 03 01	13º 28 20	CACHIMAYO	ANTA	CUSCO
138	PIEDRA DURA	SMRL. PIEDRA DURA DE CUSCO	PIEDRA-CONSTRUCCION	72º 00 16	13º 28 40	CUSCO	CUSCO	CUSCO
139	ROSA NATIVIDAD	SMRL.ROSA NATIVIDAD	ARCILLA	71º 57 06	13º 32 47	SAN SEBASTIAN	CUSCO	CUSCO
140	PUKA ORCCO	LADRILLOS Y TEJAS SAN JERONIMO EPS.	ARCILLA	71º 53 32	13º 33 03	SAN JERONIMO	CUSCO	CUSCO
141	EL REY DE LA BLANCA I	SMRL. EL REY DE LA BLANCA I	YESO	71º 42 09	13º 34 02	CAICAY	PAUCARTAMBO	CUSCO
142	VIRGEN DEL CARMEN 88	CONDORI HUILLCAHUAMAN MARIA L.	YESO	71º 43 04	13º 34 06	CAICAY	PAUCARTAMBO	CUSCO
143	CARMEN BONITA V	ABRILL MUÑOZ LUIS ROLANDO	ANDESITA	71º 42 43	13º 34 34	LUCRE	QUISPICANCHI	CUSCO
144	SAN CRISTOBAL DE HUAMBUTIO	GARCIA SANTA CRUZ CRISOSTOMO	YESO	71º 42 45	13º 34 57	ANDAHUAYLILLAS	QUISPICANCHI	CUSCO
145	FRANCISCA IV	CONDORI AQUINO CIRO	YESO	71º 43 11	13º 35 11	LUCRE	QUISPICANCHI	CUSCO
146	MARINA	GARCIA MIRANDA MARINA	YESO	71º 43 50	13º 35 38	LUCRE	QUISPICANCHI	CUSCO
147	SAN JUAN DE BUANBUTIO	CORDOVA BARRIENTOS JUAN.	YESO	71º 42 48	13º 35 39	ANDAHUAYLILLAS	QUISPICANCHI	CUSCO
148	JULIA	LAGOS MENDOZA JAVIER	YESO	71º 42 24	13º 35 41	ANDAHUAYLILLAS	QUISPICANCHI	CUSCO
149	LAZARO 90	AYMITUMA FLORES VICENTE	ARCILLA	71º 33 11	13º 36 46	CCATCA	QUISPICANCHI	CUSCO
150	LA ESPERANZA 87	VALVERDE CHIPA AUGUSTO	ARCILLA	72º 51 22	13º 37 00	ABANCAY	ABANCAY	APURIMAC
151	FLOR DE MELCHORITA	MENDOZA QUISPE GABINO	YESO	71º 41 59	13º 36 50	ANDAHUAYLILLAS	QUISPICANCHI	CUSCO
152	ALEJANDRO	MENDOZA QUISPE CECILIO	YESO	71º 41 50	13º 37 02	ANDAHUAYLILLAS	QUISPICANCHI	CUSCO
153	LAS DUNAS Nº2	SIUCHO APAC JULIAN	YESO	76º 08 32	13º 38 15	SAN CLEMENTE	PISCO	ICA
154	LA SUERTE	CIA.MRA.AGREGADOS CALCAREOS S.A	DIATOMITA	76º 10 32	13º 39 08	SAN CLEMENTE	PISCO	ICA
155	EL CARMEN	CAHUANA AZURIN AUGUSTO	ARENA (Gruesa/Fina)	72º 55 50	13º 39 56	ABANCAY	ABANCAY	APURIMAC
156	EL JOTA N* 4-A	SMRL.EL JOTA N°4-A	MAT.CONT.(Grava/Arena)	72º 54 55	13º 40 21	ABANCAY	ABANCAY	APURIMAC
157	VIRGEN DEL CARMEN 95	HUMPIRE AUCCAPURI MODESTA	YESO	71º 38 21	13º 40 35	HUARO	QUISPICANCHI	CUSCO
158	ESCORPION 1000	SMRL. ESCORPION 1000	MAT.CONT.(Grava/Arena)	72º 54 54	13º 41 26	PICHIRHUA	ABANCAY	APURIMAC
159	CONSTRUMAT	SMRL. CONSTRUMAT	YESO	71º 36 09	13º 42 30	URCOS	QUISPICANCHI	CUSCO
160	SANTA MARIA DE TOCCOCCACCA	QUISPE ROSADA ALEJANDRO	YESO	71º 35 37	13º 43 52	URCOS	QUISPICANCHI	CUSCO
161	ARMINTA	ARMINTA QUIÑONES ALEJANDRO	YESO	71º 29 08	13º 59 39	CHECACUPE	CANCHIS	CUSCO
162	SAN RAFAELITO	MINSUR S.A.	CALIZA	75º 37 47	14º 02 48	LOS AQUIJES	ICA	ICA
163	AUQUISA DOS	RODRIGUEZ ANAYA MARIA CANDELARIA	PUZOLANA	71º 21 21	14º 10 02	SAN PEDRO	CANCHIS	CUSCO
164	PIEDRAS AZULES	CIA.MRA.AGREGADOS CALCAREOS S.A	CALIZA	76º 00 43	14º 12 59	ICA	ICA	ICA
165	DAVID JACINTO	APARICIO CAMINO AUGUSTA	YESO	71º 12 07	14º 20 57	MARANGANI	CANCHIS	CUSCO
166	PRISMA I	HEIN SITTLER MARK	YESO	75º 36 44	14º 25 19	OCUCAJE	ICA	ICA
167	LA NEGRA	CIA.MRA.AGREGADOS CALCAREOS S.A	CALIZA	75º 11 03	14º 27 12	RIO GRANDE	PALPA	ICA
168	LOS PERROS	SALES NATURALES S.A.	YESO	75º 36 28	14º 27 46	OCUCAJE	ICA	ICA
169	CPS-1	SHOUGANG HIERRO PERU S.A.A.	CUARCITA	75º 05 37	15º 04 18	MARCONA	NAZCA	ICA
170	MARIA	CIA.NAC.DE MARMOLES S.A.(CNM)	DOLOMITA	75º 08 41	15º 19 48	MARCONA	NAZCA	ICA
171	SAN JUAN N° 1	CIA.MRA.AGREGADOS CALCAREOS S.A	CALIZA	75º 10 59	15º 21 25	MARCONA	NAZCA	ICA
172	SEÑOR DE LOS MILAGROS 2	CANELO POZO PEDRO ALEJANDRO	CONCHUELAS	74º 54 08	15º 29 55	LOMAS	CARAVELI	AREQUIPA
173	CARACOTO	CEMENTO SUR S.A.	CALIZA PUZOLANA LIMONITAS (OCRE)	70º 07 42	15º 34 04	CARACOTO	SAN ROMAN	PUNO
174	SEÑOR DE KULLAHUA	PINEDA DE BARRA VICENTA	ARCILLA	69º 59 58	15º 53 14	PUNO	PUNO	PUNO
175	CHILI N° 1	YURA S.A.	CALIZA	71º 48 01	16º 09 36	YURA	AREQUIPA	AREQUIPA
176	TRIUNFO Nº 13	EMP. MINERA MATAGRAYO E.I.R.L.	PIEDRA LAJA	71º 41 11	16º 10 17	YURA	AREQUIPA	AREQUIPA
177	SORPRESA 80	SALAS TORRELLI LEONIDAS	CUARCITA	71º 42 02	16º 11 23	YURA	AREQUIPA	AREQUIPA
178	9 DE DICIEMBRE	ZEVALLOS DELGADO LUIS	PIEDRA LAJA	71º 42 54	16º 13 16	YURA	AREQUIPA	AREQUIPA
179	REHABILITACION N° 12	YURA S.A.	PIZARRA	71º 42 45	16º 13 51	YURA	AREQUIPA	AREQUIPA
180	REHABILITACION N° 34	YURA S.A.	PUZOLANA	71º 41 43	16º 16 25	YURA	AREQUIPA	AREQUIPA
181	AMPLIACION PRIMERA TORRENTERA	SOC.MRA.AMPLIACION PRIMERA TORRENTERA	ARENA (Gruesa/Fina)	71º 29 08	16º 21 31	MIRAFLORES	AREQUIPA	AREQUIPA
182	FLOR BLANCA AREQUIPA	IDME GUTIERREZ PRUDENCIO	SILLAR	71º 36 25	16º 21 50	CERRO COLORADO	AREQUIPA	AREQUIPA
183	BORAX	CIA.MRA.UBINAS S.A.	ULEXITA	71º 07 52	16º 22 28	S.J. DE TARUCANI	AREQUIPA	AREQUIPA
184	SANTA INES 400	MANRIQUE VDA.DE BUTILER MARGARITA	DIATOMITA	71º 25 50	16º 23 57	CHIGUATA	AREQUIPA	AREQUIPA
185	SANTA INES N 200	MANRIQUE VDA.DE BUTILER MARGARITA	DIATOMITA	71º 25 08	16º 24 27	CHIGUATA	AREQUIPA	AREQUIPA
186	ANDREA I-88	SOC.MRA.CELITE DEL PERU S.A.	DIATOMITA	71º 19 30	16º 35 33	POLOBAYA	AREQUIPA	AREQUIPA
187	DON MANUEL I	CIA.MRA.LAS CAMELIAS S.A.	FELDESPATOS	72º 24 60	16º 42 11	QUILCA	CAMANA	AREQUIPA
188	SIPINA	CIA.MRA.AGREGADOS CALCAREOS S.A	FELDESPATOS MICA	72º 18 38	16º 43 17	QUILCA	CAMANA	AREQUIPA
189	DIEGUITO	ANTONIO DE COL S.A.C.	SILICE	71º 27 52	17º 15 46	PACOCHA	ILO	MOQUEGUA
190	MICALACO	CIA.MINERA MICALACO S.R.LTDA.	SILICE	70º 35 07	17º 18 21	ILABAYA	JORGE BASADRE	TACNA
191	DOMENICA UNO	ANTONIO DE COL S.A.C.	ARCILLA	70º 59 16	17º 19 56	MOQUEGUA	MARISCAL NIETO	MOQUEGUA
192	MARIA ALEJANDRA	SMRL.MARIA ALEJANDRA DE TACNA	SILICE	70º 04 15	17º 41 09	ESTIQUE	TARATA	TACNA
193	VIRGEN DE LAS PEÑAS II	YANQUI CURIS MARIO	SILICE	69º 53 31	17º 44 11	PALCA	TACNA	TACNA
194	SANTA FORTUNATA TRES	SMRL.SANTA FORTUNATA TRES	SILICE	69º 53 12	17º 46 29	PALCA	TACNA	TACNA
195	VEINTE DE JULIO	NINA CONDE FORTUNATO DEMETRIO	SILICE	69º 52 22	17º 47 34	PALCA	TACNA	TACNA
196	VIRGEN DE LAS PEÑAS	SMRL.VIRGEN DE LAS PEÑAS DE TACNA	SILICE	70º 06 56	17º 47 39	PACHIA	TACNA	TACNA
197	VEINTITRES DE FEBRERO	NINA CONDE FORTUNATO DEMETRIO	SILICE	69º 51 48	17º 47 50	PALCA	TACNA	TACNA
198	FATIMA I	SMRL.FATIMA I DE TACNA	SILICE	70º 06 59	17º 49 08	PACHIA	TACNA	TACNA
199	ASUNTA	SMRL.ASUNTA DE TACNA	SILICE	70º 08 17	17º 49 28	PACHIA	TACNA	TACNA
200	LOURDES	SMRL.LOURDES DE TACNA	SILICE	70º 05 55	17º 50 29	PACHIA	TACNA	TACNA
201	MARIA CRISTINA	SMRL.MARIA CRISTINA DE TACNA	SILICE	70º 05 58	17º 50 45	PACHIA	TACNA	TACNA
202	MIGUEL ALONSO	SOC.MRA.MIGUEL ALONSO S.C.R.LTDA.	SILICE	70º 05 24	17º 50 45	PACHIA	TACNA	TACNA
203	SAMUEL SEBASTIAN	CORNEJO CHACON JORGE ALBERTO HECTOR	SILICE	71º 00 52	17º 50 19	ITE	JORGE BASADRE	TACNA
204	SATURNO II	CORNEJO CHACON JORGE ALBERTO HECTOR	SILICE	71º 00 18	17º 50 35	ITE	JORGE BASADRE	TACNA
205	EMILIO MIGUEL	EMP.MRA.EMILIO MIGUEL S.C.R.LTDA.	SILICE	70º 05 58	17º 51 18	PACHIA	TACNA	TACNA
206	PROVIDENCIA	NIETO BECERRA FEDERICO FELIX	SILICE	70º 00 36	17º 53 46	PACHIA	TACNA	TACNA
207	SANTA LUCIA N° 15	ANTONIO DE COL S.A.C.	CONCHUELAS	70º 54 12	17º 56 03	ITE	JORGE BASADRE	TACNA

ANEXO B – REGISTRO DE CAMPO Y PROCESAMIENTO DE DATA

ROCAS PIROCLASTICAS

ID	TALADRO	MUESTRA	PROFUNDIDAD	LITOLOGIA	TIPO ALTERACION	GRADO ALTERACION	VALORACION (VA)	Is(50) (Mpa)	K50	UCS (Mpa)
1	bre-73	1	49.70	TUFO CENIZA	ARGILITIZACION	D	9.00	3.61	14.00	50.54
2	bre-73	3	60.15	TUFO CENIZA	ARGILITIZACION	E+	13.00	8.36	20.00	167.20
3	bre-73	5	80.18	TUFO CENIZA	ARGILITIZACION	F-	14.00	8.32	20.00	166.40
4	bre-73	7	87.50	TUFO CENIZA LAMINAR	ARGILITIZACION	E	12.00	5.54	16.00	88.67
5	bre-73	9	105.62	TUFO LITICO	ARGILITIZACION	E	12.00	5.00	16.00	80.00
6	bre-73	11	111.15	TUFO CENIZA LAMINAR	ARGILITIZACION	E	12.00	4.38	16.00	70.00
7	bre-73	4	114.70	TUFO CENIZA	ARGILITIZACION	B	3.00			0.09
8	bre-76	1	20.82	TUFO LITICO	ARGILITIZACION	D+	10.00			38.41
9	bre-76	4	148.75	BRECHA TUFACEA	ARGILITIZACION	C-	5.00			29.19
10	bre-80	5	56.35	TUFO CENIZA	ARGILITIZACION	D	9.00			26.40
11	bre-80	4	135.55	TUFO LITICO	ARGILITIZACION	D	9.00			10.08
12	bre-81	2	97.70	TUFO LITICO	ARGILITIZACION	B	3.00			0.90
13	es-04		43.67	TUFO CENIZA LAMINAR	ARGILITIZACION	B	3.00	0.06	14.00	0.84
14	es-04		61.41	ARENISCA TUFACEA	ARGILITIZACION	B	3.00	0.07	14.00	0.98
15	es-05		9.04	TUFO LITICO	ARGILITIZACION	C	6.00	0.61	14.00	8.54
16	es-05		9.20	TUFO LITICO	ARGILITIZACION	C	6.00	0.70	14.00	9.80
17	es-06		10.55	TUFO LITICO	ARGILITIZACION	B	3.00	0.19	14.00	2.66
18	es-06		13.95	TUFO LITICO	ARGILITIZACION	C	6.00	0.28	14.00	3.92
19	bp-201		11.71	TUFO LITICO	ARGILITIZACION	C	6.00	0.63	14.00	8.82
20	bp-302		8.70	TUFO LITICO	ARGILITIZACION	C	6.00	0.30	14.00	4.20
21	bp-302		8.75	TUFO LITICO	ARGILITIZACION	C	6.00	0.33	14.00	4.62
22	bp-501		10.14	TUFO CENIZA LAMINAR	ARGILITIZACION	B	3.00	0.19	14.00	2.66
23	bp-501		17.60	ARENISCA TUFACEA	ARGILITIZACION	B-	2.00	0.03	14.00	0.42
24	bp-502		12.72	TUFO CENIZA LAMINAR	ARGILITIZACION	A+	1.00	0.18	14.00	2.52
25	bp-502		23.23	ARENISCA TUFACEA	ARGILITIZACION	B	3.00	0.18	14.00	2.52
26	J07-101		43.95	VOLCANICO CLASTICO	ARGILITIZACION	D-	8.00	0.24	14.00	3.36
27	J07-101		51.13	VOLCANICO CLASTICO	ARGILITIZACION	D	9.00	3.64	14.00	50.96
28	J07-101		53.42	VOLCANICO CLASTICO	ARGILITIZACION	D-	8.00	0.14	14.00	1.96
29	J07-103		34.55	TUFO LITICO	ARGILITIZACION	E-	11.00	1.71	14.00	23.92
30	J07-104		7.17	TUFO LITICO	ARGILITIZACION	D	9.00	4.26	16.00	68.16
31	J07-104		12.14	TUFO LITICO	ARGILITIZACION	D+	10.00	5.20	16.00	83.20
32	J07-104		22.64	TUFO LITICO	ARGILITIZACION	E-	11.00	2.76	14.00	38.64
33	J07-104		30.23	TUFO LITICO	ARGILITIZACION	E-	11.00	3.37	14.00	47.18
34	J07-106		28.70	TUFO LITICO	ARGILITIZACION	D	9.00	0.22	14.00	3.08
35	J07-106		36.57	TUFO LITICO	ARGILITIZACION	D-	8.00	0.75	14.00	10.50
36	J07-201		37.51	TUFO LITICO	ARGILITIZACION	D	9.00	0.61	14.00	8.54
37	J07-202		29.10	TUFO LITICO	ARGILITIZACION	D-	8.00	0.27	14.00	3.78
38	J07-202		32.79	TUFO LITICO	ARGILITIZACION	D-	8.00	0.10	14.00	1.40
39	J07-301		28.73	TUFO LITICO	ARGILITIZACION	D	9.00	0.48	14.00	6.72
40	J07-301		41.28	TUFO LITICO	ARGILITIZACION	D	9.00	0.69	14.00	9.66
41	PZ-01		42.40	TUFO	ARGILITIZACION	D-	8.00	0.99	14.00	13.86
42	PZ-09		54.00	TUFO	ARGILITIZACION	C+	7.00	0.53	14.00	7.42
43	PZ-19		84.44	TUFO	ARGILITIZACION	D+	10.00	4.99	16.00	79.84
						A	0.00			0.00
						F	15.00			175.00

PROCESO ROCAS PIROCLASTICAS

X (VA)	Y (UCS)	ni	x^2	y^2	xy	x^3	x^4	x^2y	Y=y+1	Y'=lnY	Y'^2	xY'	X=x+1	X'=lnX	X'Y'	X'^2
9.00	50.54	1	81.00	2554.29	454.86	729.00	6561.00	4093.74	51.54	3.94	15.54	35.48	10.00	2.30	9.08	5.30
13.00	167.20	1	169.00	27955.84	2173.60	2197.00	28561.00	28256.80	168.20	5.13	26.27	66.63	14.00	2.64	13.53	6.96
14.00	166.40	1	196.00	27688.96	2329.60	2744.00	38416.00	32614.40	167.40	5.12	26.22	71.69	15.00	2.71	13.87	7.33
12.00	88.67	1	144.00	7861.78	1064.00	1728.00	20736.00	12768.00	89.67	4.50	20.21	53.95	13.00	2.56	11.53	6.58
12.00	80.00	1	144.00	6400.00	960.00	1728.00	20736.00	11520.00	81.00	4.39	19.31	52.73	13.00	2.56	11.27	6.58
12.00	70.00	1	144.00	4900.00	840.00	1728.00	20736.00	10080.00	71.00	4.26	18.17	51.15	13.00	2.56	10.93	6.58
3.00	0.09	1	9.00	0.01	0.28	27.00	81.00	0.83	1.09	0.09	0.01	0.26	4.00	1.39	0.12	1.92
10.00	38.41	1	100.00	1475.33	384.10	1000.00	10000.00	3841.00	39.41	3.67	13.50	36.74	11.00	2.40	8.81	5.75
5.00	29.19	1	25.00	852.06	145.95	125.00	625.00	729.75	30.19	3.41	11.61	17.04	6.00	1.79	6.11	3.21
9.00	26.40	1	81.00	696.96	237.60	729.00	6561.00	2138.40	27.40	3.31	10.96	29.79	10.00	2.30	7.62	5.30
9.00	10.08	1	81.00	101.61	90.72	729.00	6561.00	816.48	11.08	2.41	5.78	21.65	10.00	2.30	5.54	5.30
3.00	0.90	1	9.00	0.81	2.70	27.00	81.00	8.11	1.90	0.64	0.41	1.93	4.00	1.39	0.89	1.92
3.00	0.84	1	9.00	0.71	2.52	27.00	81.00	7.56	1.84	0.61	0.37	1.83	4.00	1.39	0.85	1.92
3.00	0.98	1	9.00	0.96	2.94	27.00	81.00	8.82	1.98	0.68	0.47	2.05	4.00	1.39	0.95	1.92
6.00	8.54	1	36.00	72.93	51.24	216.00	1296.00	307.44	9.54	2.26	5.09	13.53	7.00	1.95	4.39	3.79
6.00	9.80	1	36.00	96.04	58.80	216.00	1296.00	352.80	10.80	2.38	5.66	14.28	7.00	1.95	4.63	3.79
3.00	2.66	1	9.00	7.08	7.98	27.00	81.00	23.94	3.66	1.30	1.68	3.89	4.00	1.39	1.80	1.92
6.00	3.92	1	36.00	15.37	23.52	216.00	1296.00	141.12	4.92	1.59	2.54	9.56	7.00	1.95	3.10	3.79
6.00	8.82	1	36.00	77.79	52.92	216.00	1296.00	317.52	9.82	2.28	5.22	13.71	7.00	1.95	4.45	3.79
6.00	4.20	1	36.00	17.64	25.20	216.00	1296.00	151.20	5.20	1.65	2.72	9.89	7.00	1.95	3.21	3.79
6.00	4.62	1	36.00	21.34	27.72	216.00	1296.00	166.32	5.62	1.73	2.98	10.36	7.00	1.95	3.36	3.79
3.00	2.66	1	9.00	7.08	7.98	27.00	81.00	23.94	3.66	1.30	1.68	3.89	4.00	1.39	1.80	1.92
2.00	0.42	1	4.00	0.18	0.84	8.00	16.00	1.68	1.42	0.35	0.12	0.70	3.00	1.10	0.39	1.21
1.00	2.52	1	1.00	6.35	2.52	1.00	1.00	2.52	3.52	1.26	1.58	1.26	2.00	0.69	0.87	0.48
3.00	2.52	1	9.00	6.35	7.56	27.00	81.00	22.68	3.52	1.26	1.58	3.78	4.00	1.39	1.74	1.92
8.00	3.36	1	64.00	11.29	26.88	512.00	4096.00	215.04	4.36	1.47	2.17	11.78	9.00	2.20	3.24	4.83
9.00	50.96	1	81.00	2596.92	458.64	729.00	6561.00	4127.76	51.96	3.95	15.61	35.55	10.00	2.30	9.10	5.30
8.00	1.96	1	64.00	3.84	15.68	512.00	4096.00	125.44	2.96	1.09	1.18	8.68	9.00	2.20	2.38	4.83
11.00	23.92	1	121.00	572.01	263.08	1331.00	14641.00	2893.92	24.92	3.22	10.34	35.37	12.00	2.48	7.99	6.17
9.00	68.16	1	81.00	4645.79	613.44	729.00	6561.00	5520.96	69.16	4.24	17.95	38.13	10.00	2.30	9.75	5.30
10.00	83.20	1	100.00	6922.24	832.00	1000.00	10000.00	8320.00	84.20	4.43	19.65	44.33	11.00	2.40	10.63	5.75
11.00	38.64	1	121.00	1493.05	425.04	1331.00	14641.00	4675.44	39.64	3.68	13.54	40.48	12.00	2.48	9.14	6.17
11.00	47.18	1	121.00	2225.95	518.98	1331.00	14641.00	5708.78	48.18	3.87	15.02	42.62	12.00	2.48	9.63	6.17
9.00	3.08	1	81.00	9.49	27.72	729.00	6561.00	249.48	4.08	1.41	1.98	12.65	10.00	2.30	3.24	5.30
8.00	10.50	1	64.00	110.25	84.00	512.00	4096.00	672.00	11.50	2.44	5.97	19.54	9.00	2.20	5.37	4.83
9.00	8.54	1	81.00	72.93	76.86	729.00	6561.00	691.74	9.54	2.26	5.09	20.30	10.00	2.30	5.19	5.30
8.00	3.78	1	64.00	14.29	30.24	512.00	4096.00	241.92	4.78	1.56	2.45	12.52	9.00	2.20	3.44	4.83
8.00	1.40	1	64.00	1.96	11.20	512.00	4096.00	89.60	2.40	0.88	0.77	7.00	9.00	2.20	1.92	4.83
9.00	6.72	1	81.00	45.16	60.48	729.00	6561.00	544.32	7.72	2.04	4.18	18.39	10.00	2.30	4.71	5.30
9.00	9.66	1	81.00	93.32	86.94	729.00	6561.00	782.46	10.66	2.37	5.60	21.30	10.00	2.30	5.45	5.30
8.00	13.86	1	64.00	192.10	110.88	512.00	4096.00	887.04	14.86	2.70	7.28	21.59	9.00	2.20	5.93	4.83
7.00	7.42	1	49.00	55.06	51.94	343.00	2401.00	363.58	8.42	2.13	4.54	14.91	8.00	2.08	4.43	4.32
10.00	79.84	1	100.00	6374.43	798.40	1000.00	10000.00	7984.00	80.84	4.39	19.29	43.92	11.00	2.40	10.53	5.75
0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
15.00	175.00	1	225.00	30625.00	2625.00	3375.00	50625.00	39375.00	176.00	5.17	26.73	77.56	16.00	2.77	14.34	7.69
342.00	**1417.56**	**45.00**	**3156.00**	**136882.51**	**16072.55**	**32088.00**	**348744.00**	**191863.52**	**1462.56**	**112.81**	**379.02**	**1054.41**	**387.00**	**91.41**	**257.23**	**199.57**
X	**Y**	**ni**	**x^2**	**y^2**	**xy**	**x^3**	**x^4**	**x^2y**	**Y=y+1**	**Y'=lnY**	**Y'^2**	**XY'**	**X=x+1**	**X'=lnX**	**X'Y'**	**X'^2**

N=	45.00
MediaX=	7.60
MediaY=	31.50

Var(X)=	12.37	desv(x)=	3.52
Var(Y)=	2049.50	desv(y)=	45.27
Cov(X,Y)=	117.76		

REGRESION LINEAL

La recta de regresión es

Y=	-40.83	+	X*	9.52

El coeficiente de correlación lineal vale

R=	0.74

El coeficiente de determinación vale

R^2=	0.55

REGRESION PARABOLICA

Matriz=	sum y	N	sum x	sumx^2	1417.56	45.00	342.00	3156.00	1417.56
	sum xy	sumx	sumx^2	sumx^3	16072.55	342.00	3156.00	32088.00	16072.55
	sumxy^2	sumx`2	sumx^3	sumx^4	191863.52	3156.00	32088.00	348744.00	191863.52

delta1=	5827334574	a=	24.48

Determinante de la matriz =			238014720

Término independiente	24.48	= a
Término en X	-13.97	= b
Término en X^2	1.61	= c

delta2	1417.56	45.00	3156.00
	16072.55	342.00	32088.00
	191863.52	3156.00	348744.00

delta2=	-3325753303	b=	-13.97

delta3=	384213196	c=	1.61

La parábola de regresión es

Y=	a+bX+cX^2

El coeficiente de determinación vale

R^2=1-var(e)/var(y)

var(e)=(sumY^2-a*sumY-b*sumXY-c*sumX^2Y)/N

var(e)= 378.7182478

R^2=	0.82
R=	0.90

REGRESION EXPONENCIAL Y = a * b^X ln Y= ln a + X * ln b Y' = a' + X * b'

N=	45.00
Media X=	7.60
Media Y'=	2.51

Var(X)=	12.37	desv(X)=	3.52
Var(Y')=	2.14	desv(Y')=	1.46
Cov(X,Y')=	4.38		

Para obtener el ajuste exponencial, hacemos un ajuste lineal a los datos (X,lnY)=(X,Y')

La recta de regresión de Y' sobre X es:

		Y'=	a'	+	X*	b'
La recta de regresión es		Y'=	-0.18	+	X*	0.35
El coeficiente de correlación lineal vale		R=	0.85			
El coeficiente de determinación vale		R^2=	0.72			

Luego la ecuación para la regresión exponencial se obtiene: Y=a*b^X

siendo a=e^a' y b=e^b' Por tanto

a=	0.83
b=	1.42

REGRESION POTENCIAL Y = a * X^b ln Y= ln a + b * ln X Y' = a' + b' * X'

N=	45.00
Media X'=	2.03
Media Y'=	2.51

Var(X')=	0.31	desv(x)=	0.56
Var(Y')=	2.14	desv(y)=	1.46
Cov(X',Y')=	0.62		

Para obtener el ajuste potencial, hacemos un ajuste lineal a los datos (ln X,ln Y)=(X' ,Y')

La recta de regresión de Y' sobre X' es:

		Y'=	a'	+	X' *	b'
La recta de regresión es		Y'=	-1.60	+	X' *	2.02
El coeficiente de correlación lineal vale		R=	0.77			
El coeficiente de determinación vale		R^2=	0.59			

Luego la ecuación para la regresión potencial se obtiene: Y=a*b^X

siendo a=e^a' y b=b' Por tanto

a=	0.20
b=	2.02

REGRESIONES				
VA	LINEAL	PARABOLICA	EXPONENCIAL	POTENCIAL
	UCS	UCS	UCS	UCS
0.0	-40.8	24.5	-0.2	-0.8
1.0	-31.3	12.1	0.2	-0.2
2.0	-21.8	3.0	0.7	0.9
3.0	-12.3	-2.9	1.4	2.3
4.0	-2.8	-5.6	2.4	4.2
5.0	6.8	-5.0	3.9	6.6
6.0	16.3	-1.2	6.0	9.3
7.0	25.8	5.8	8.9	12.5
8.0	35.3	16.0	13.1	16.2
9.0	44.8	29.5	19.1	20.2
10.0	54.3	46.2	27.7	24.7
11.0	63.9	66.1	39.9	29.7
12.0	73.4	89.3	57.2	35.1
13.0	82.9	115.6	81.9	40.9
14.0	92.4	145.3	117.2	47.2
15.0	101.9	178.1	167.3	53.9

ROCAS LAVICAS

ID	TALADRO	MUESTRA	PROFUNDIDAD	LITOLOGIA	TIPO ALTERACION	GRADO ALTERACION	VALORACION	Is(50) (Mpa)	K50	UCS (Mpa)
1	C06-06		11.70	DACITA	ARGILITIZACION	C-	5.00	1.54	14.00	21.56
2	C06-06		20.57	DACITA	ARGILITIZACION	B+	4.00	0.91	14.00	12.74
3	C06-06		46.26	DACITA	ARGILITIZACION	C-	5.00	1.29	14.00	18.06
4	C06-07		3.00	ANDESITA	ARGILITIZACION	D	9.00	3.70	16.00	59.20
5	C06-07		13.40	ANDESITA	ARGILITIZACION	E	12.00	3.57	14.00	49.98
6	C06-07		20.00	ANDESITA	ARGILITIZACION	D	9.00	0.38	14.00	5.32
7	C06-07		33.65	ANDESITA	ARGILITIZACION	C+	7.00	0.88	14.00	12.32
8	C06-07		50.20	ANDESITA	ARGILITIZACION	E	12.00	6.66	20.00	133.20
9	J07-102		4.29	DACITA	ARGILITIZACION	D	9.00	2.29	14.00	32.06
10	J07-102		12.95	DACITA	ARGILITIZACION	C	6.00	0.94	14.00	13.16
11	J07-103		6.75	DACITA	ARGILITIZACION	D-	8.00	4.12	16.00	65.92
12	J07-103		20.81	DACITA	ARGILITIZACION	D+	10.00	6.30	20.00	126.00
13	J07-105		23.87	DACITA	ARGILITIZACION	D	9.00	0.74	14.00	10.36
14	J07-301		11.36	DACITA	ARGILITIZACION	D-	8.00	0.53	14.00	7.42
15	J07-401		11.19	ANDESITA	ARGILITIZACION	E-	11.00	5.50	16.00	88.00
16	J07-401		23.92	ANDESITA	ARGILITIZACION	C+	7.00	0.96	14.00	13.44
17	J07-401		37.19	ANDESITA	ARGILITIZACION	C	6.00	1.19	14.00	16.66
18	J07-402		5.45	ANDESITA	ARGILITIZACION	D+	10.00	1.81	14.00	25.34
19	J07-402		16.73	ANDESITA	ARGILITIZACION	D+	10.00	2.66	14.00	37.24
20	J07-403		4.50	ANDESITA	ARGILITIZACION	D+	10.00	3.85	16.00	61.60
21	J07-403		11.45	ANDESITA	ARGILITIZACION	D	9.00	1.30	14.00	18.20
22	J07-403		21.73	ANDESITA	ARGILITIZACION	D	9.00	0.65	14.00	9.10
23	PZ-14		115.65	ANDESITA	ARGILITIZACION	D-	8.00	3.70	16.00	59.20
24	PIT-02		240.62	DACITA	POTASICA	C+	7.00	5.51	16.00	88.16
25	PIT-02		245.07	DACITA	POTASICA	C	6.00	3.49	14.00	48.86
26	GL07-501		18.60	ANDESITA	FILITICA	C+	7.00	2.92	14.00	40.83
27	GL07-701		48.78	ANDESITA	FILITICA	C+	7.00	3.88	16.00	62.00
28	TS-01		79.98	ANDESITA	POTASICA	E	12.00	9.13	20.00	182.50
29	TS-01		80.06	ANDESITA	POTASICA	E	12.00	11.90	25.00	297.56
30	TD-04		3.45	ANDESITA	POTASICA	F-	14.00	15.14	25.00	378.55
31	TD-04		3.94	ANDESITA	POTASICA	E-	11.00	5.94	16.00	95.03
32	TD-04		4.57	ANDESITA	POTASICA	E-	11.00	9.41	20.00	188.22
33	TD-04		83.60	ANDESITA	POTASICA	E+	13.00	12.15	25.00	303.81
34	TD-04		83.73	ANDESITA	POTASICA	E	12.00	9.55	20.00	190.99
35	TD-04		102.58	ANDESITA	POTASICA	D	9.00	3.64	16.00	58.19
36	TD-04		102.66	ANDESITA	POTASICA	E	12.00	6.02	20.00	120.50
						A	0.00			0.00
						F	15.00			380.00

PROCESO ROCAS LAVICAS

X (VA)	Y (UCS)	ni	x^2	y^2	xy	x^3	x^4	x^2y	Y=y+1	Y'=lnY	Y'^2	xY'	X=x+1	X'=lnX	X'Y'	X'^2
5.00	21.56	1	25.00	464.83	107.80	125.00	625.00	539.00	22.56	3.12	9.71	15.58	6.00	1.79	5.58	3.21
4.00	12.74	1	16.00	162.31	50.96	64.00	256.00	203.84	13.74	2.62	6.87	10.48	5.00	1.61	4.22	2.59
5.00	18.06	1	25.00	326.16	90.30	125.00	625.00	451.50	19.06	2.95	8.69	14.74	6.00	1.79	5.28	3.21
9.00	59.20	1	81.00	3504.64	532.80	729.00	6561.00	4795.20	60.20	4.10	16.79	36.88	10.00	2.30	9.44	5.30
12.00	49.98	1	144.00	2498.00	599.76	1728.00	20736.00	7197.12	50.98	3.93	15.46	47.18	13.00	2.56	10.08	6.58
9.00	5.32	1	81.00	28.30	47.88	729.00	6561.00	430.92	6.32	1.84	3.40	16.59	10.00	2.30	4.25	5.30
7.00	12.32	1	49.00	151.78	86.24	343.00	2401.00	603.68	13.32	2.59	6.70	18.12	8.00	2.08	5.38	4.32
12.00	133.20	1	144.00	17742.24	1598.40	1728.00	20736.00	19180.80	134.20	4.90	24.00	58.79	13.00	2.56	12.57	6.58
9.00	32.06	1	81.00	1027.84	288.54	729.00	6561.00	2596.86	33.06	3.50	12.24	31.48	10.00	2.30	8.06	5.30
6.00	13.16	1	36.00	173.19	78.96	216.00	1296.00	473.76	14.16	2.65	7.02	15.90	7.00	1.95	5.16	3.79
8.00	65.92	1	64.00	4345.45	527.36	512.00	4096.00	4218.88	66.92	4.20	17.67	33.63	9.00	2.20	9.24	4.83
10.00	126.00	1	100.00	15876.00	1260.00	1000.00	10000.00	12600.00	127.00	4.84	23.47	48.44	11.00	2.40	11.62	5.75
9.00	10.36	1	81.00	107.33	93.24	729.00	6561.00	839.16	11.36	2.43	5.91	21.87	10.00	2.30	5.60	5.30
8.00	7.42	1	64.00	55.06	59.36	512.00	4096.00	474.88	8.42	2.13	4.54	17.04	9.00	2.20	4.68	4.83
11.00	88.00	1	121.00	7744.00	968.00	1331.00	14641.00	10648.00	89.00	4.49	20.15	49.38	12.00	2.48	11.15	6.17
7.00	13.44	1	49.00	180.63	94.08	343.00	2401.00	658.56	14.44	2.67	7.13	18.69	8.00	2.08	5.55	4.32
6.00	16.66	1	36.00	277.56	99.96	216.00	1296.00	599.76	17.66	2.87	8.24	17.23	7.00	1.95	5.59	3.79
10.00	25.34	1	100.00	642.12	253.40	1000.00	10000.00	2534.00	26.34	3.27	10.70	32.71	11.00	2.40	7.84	5.75
10.00	37.24	1	100.00	1386.82	372.40	1000.00	10000.00	3724.00	38.24	3.64	13.28	36.44	11.00	2.40	8.74	5.75
10.00	61.60	1	100.00	3794.56	616.00	1000.00	10000.00	6160.00	62.60	4.14	17.11	41.37	11.00	2.40	9.92	5.75
9.00	18.20	1	81.00	331.24	163.80	729.00	6561.00	1474.20	19.20	2.95	8.73	26.59	10.00	2.30	6.80	5.30
9.00	9.10	1	81.00	82.81	81.90	729.00	6561.00	737.10	10.10	2.31	5.35	20.81	10.00	2.30	5.32	5.30
8.00	59.20	1	64.00	3504.64	473.60	512.00	4096.00	3788.80	60.20	4.10	16.79	32.78	9.00	2.20	9.00	4.83
7.00	88.16	1	49.00	7772.19	617.12	343.00	2401.00	4319.84	89.16	4.49	20.16	31.43	8.00	2.08	9.34	4.32
6.00	48.86	1	36.00	2387.30	293.16	216.00	1296.00	1758.96	49.86	3.91	15.28	23.46	7.00	1.95	7.61	3.79
7.00	40.83	1	49.00	1667.36	285.83	343.00	2401.00	2000.83	41.83	3.73	13.94	26.14	8.00	2.08	7.76	4.32
7.00	62.00	1	49.00	3844.00	434.00	343.00	2401.00	3038.00	63.00	4.14	17.17	29.00	8.00	2.08	8.62	4.32
12.00	182.50	1	144.00	33306.70	2190.01	1728.00	20736.00	26280.18	183.50	5.21	27.17	62.55	13.00	2.56	13.37	6.58
12.00	297.56	1	144.00	88543.80	3570.76	1728.00	20736.00	42849.09	298.56	5.70	32.48	68.39	13.00	2.56	14.62	6.58
14.00	378.55	1	196.00	143296.71	5299.64	2744.00	38416.00	74194.92	379.55	5.94	35.27	83.15	15.00	2.71	16.08	7.33
11.00	95.03	1	121.00	9031.63	1045.38	1331.00	14641.00	11499.22	96.03	4.56	20.84	50.21	12.00	2.48	11.34	6.17
11.00	188.22	1	121.00	35427.71	2070.45	1331.00	14641.00	22774.92	189.22	5.24	27.49	57.67	12.00	2.48	13.03	6.17
13.00	303.81	1	169.00	92302.29	3949.57	2197.00	28561.00	51344.38	304.81	5.72	32.71	74.36	14.00	2.64	15.09	6.96
12.00	190.99	1	144.00	36476.57	2291.86	1728.00	20736.00	27502.33	191.99	5.26	27.64	63.09	13.00	2.56	13.49	6.58
9.00	58.19	1	81.00	3386.62	523.75	729.00	6561.00	4713.77	59.19	4.08	16.65	36.73	10.00	2.30	9.40	5.30
12.00	120.50	1	144.00	14519.99	1445.99	1728.00	20736.00	17351.85	121.50	4.80	23.04	57.60	13.00	2.56	12.31	6.58
0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
15.00	380.00	1	225.00	144400.00	5700.00	3375.00	50625.00	85500.00	381.00	5.94	35.32	89.14	16.00	2.77	16.48	7.69
341.00	**3331.30**	**38.00**	**3395.00**	**680770.37**	**38262.26**	**35993.00**	**401555.00**	**460058.31**	**3369.30**	**144.98**	**615.10**	**1415.64**	**379.00**	**84.69**	**339.59**	**196.57**
X	**Y**	**ni**	**x^2**	**y^2**	**xy**	**x^3**	**x^4**	**x^2y**	**Y=y+1**	**Y'=lnY**	**Y'^2**	**XY'**	**X=x+1**	**X'=lnX**	**X'Y'**	**X'^2**

N=	38.00
MediaX=	8.97
MediaY=	87.67

Var(X)=	8.82	desv(x)=	2.97
Var(Y)=	10229.74	desv(y)=	101.14
Cov(X,Y)=	220.22		

REGRESION LINEAL

La recta de regresión es	Y=	-136.51	+	X*	24.98
El coeficiente de correlación lineal vale	R=	0.73			
El coeficiente de determinación vale	R^2=	0.54			

REGRESION PARABOLICA

Matriz	sum y	N	sum x	sumx^2	3331.30	38.00	341.00	3395.00	3331.30
	sum xy	sumx	sumx^2	sumx^3	38262.26	341.00	3395.00	35993.00	38262.26
	sumxy^2	sumx`2	sumx^3	sumx^4	460058.31	3395.00	35993.00	401555.00	460058.31

delta1=	5982930189	a=	66.83

Determinante de la matriz=		89521128	

		3331.30	38.00	3395.00	
delta2		38262.26	341.00	35993.00	
		460058.31	3395.00	401555.00	
delta2=	-2878051548	b=	-32.15		

Término independiente	66.83	= a	
Término en X	-32.15	= b	
Término en X^2	3.46	= c	

delta3=	309951563.7	c=	3.46

La parábola de regresión es Y= a+bX+cX^2

El coeficiente de determinación vale R^2=1-var(e)/var(y)

var(e)=(sumY^2-a*sumY-b*sumXY-c*sumX^2Y)/N

var(e)= 2509.667001

R^2=	0.75
R=	0.87

REGRESION EXPONENCIAL Y = a * b^X ln Y= ln a + X * ln b Y' = a' + X * b'

N=	38.00
Media X=	8.97
Media Y'=	3.82

Var(X)=	8.82	desv(X)=	2.97
Var(Y')=	1.63	desv(Y')=	1.28
Cov(X,Y')=	3.02		

Para obtener el ajuste exponencial, hacemos un ajuste lineal a los datos (X,lnY)=(X,Y')

La recta de regresión de Y' sobre X es:

	Y'=	a'	+	X*	b'
La recta de regresión es	Y'=	0.75	+	X*	0.34
El coeficiente de correlación lineal vale	R=	0.80			
El coeficiente de determinación vale	R^2=	0.63			

Luego la ecuación para la regresión exponencial se obtiene: Y=a*b^X

siendo a=e^a' y b=e^b' Por tanto

a=	2.11
b=	1.41

REGRESION POTENCIAL Y = a * X^b ln Y= ln a + b * ln X Y' = a' + b' * X'

N=	38.00	Var(X')=	0.21	desv(x)=	0.45
Media X'=	2.23	Var(Y')=	1.63	desv(y)=	1.28
Media Y'=	3.82	Cov(X',Y')=	0.43		

Para obtener el ajuste potencial, hacemos un ajuste lineal a los datos (ln X,ln Y)=(X' ,Y')

La recta de regresión de Y' sobre X' es:

	Y'=	a'	+	X' *	b'
La recta de regresión es	Y'=	-0.88	+	X' *	2.11
El coeficiente de correlación lineal vale	R=	0.75			
El coeficiente de determinación vale	R^2=	0.56			

Luego la ecuación para la regresión potencial se obtiene: Y=a*b^X

siendo a=e^a' y b=b' Por tanto

a=	0.41
b=	2.11

REGRESIONES				
VA	LINEAL	PARABOLICA	EXPONENCIAL	POTENCIAL
	UCS	UCS	UCS	UCS
0.0	-136.5	66.8	1.1	-0.6
1.0	-111.5	38.1	2.0	0.8
2.0	-86.5	16.4	3.2	3.2
3.0	-61.6	1.5	4.9	6.7
4.0	-36.6	-6.4	7.3	11.3
5.0	-11.6	-7.4	10.7	17.1
6.0	13.4	-1.4	15.4	24.0
7.0	38.4	11.4	22.1	32.1
8.0	63.3	31.2	31.5	41.5
9.0	88.3	57.9	44.8	52.0
10.0	113.3	91.6	63.5	63.8
11.0	138.3	132.1	89.8	76.9
12.0	163.3	179.6	126.8	91.2
13.0	188.3	234.0	179.0	106.8
14.0	213.2	295.4	252.4	123.6
15.0	238.2	363.6	355.8	141.8

ROCAS SUBVOLCANICAS

ID	TALADRO	MUESTRA	PROFUNDIDAD	LITOLOGIA	TIPO ALTERACION	GRADO ALTERACION	VALORACION	Is(50) (Mpa)	K50	UCS (Mpa)
1	tmg-06	24	229.83	PORFIDO DACITICO	ARGILITIZACION	D-	8.00	3.22	14.00	45.15
2	tmg-06	25	234.65	PORFIDO DACITICO	ARGILITIZACION	E-	11.00	3.61	16.00	57.74
3	tmg-06	26	241.80	PORFIDO DACITICO	ARGILITIZACION	C	6.00	1.29	14.00	18.07
4	tmg-03	2	41.12	PORFIDO DACITICO	ARGILITIZACION	D-	8.00	2.36	14.00	33.01
5	tmg-03	6	46.61	PORFIDO DACITICO	ARGILITIZACION	D+	10.00			32.28
6	ta-01	d01	9.20	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	D	9.00	3.11	14.00	43.54
7	ta-01	d07	39.41	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	D-	8.00	2.41	14.00	33.74
8	ta-01	d10	50.17	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	D	9.00	3.02	14.00	42.28
9	ta-01	a07	71.32	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	C	6.00			6.82
10	ta-01	d16	80.23	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	C	6.00			7.67
11	ta-01	d18	90.36	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	C	6.00	0.38	14.00	5.32
12	ta-02	a04	44.75	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	D+	10.00	2.05	14.00	28.70
13	ta-02	d08	49.65	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	E+	13.00	10.91	25.00	272.75
14	ta-02	d10	56.55	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	D+	10.00	1.87	14.00	26.18
15	ta-06	a02	15.88	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	D+	10.00	1.80	14.00	25.20
16	ta-06	d05	28.82	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	D	9.00			28.58
17	ta-06	a03	29.90	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	D	9.00	2.36	14.00	33.04
18	ta-06	d07	36.00	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	D+	10.00	4.72	16.00	75.52
19	ta-06	a05	54.32	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	C	6.00			21.60
20	ta-06	d11	56.97	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	C+	7.00	0.97	14.00	13.58
21	ta-06	d14	69.78	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	D-	8.00	1.38	14.00	19.32
22	ta-06	a10	102.87	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	D	9.00	4.89	16.00	78.24
23	ta-06	d21	105.98	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	D	9.00	1.82	14.00	25.48
24	ta-07	d06	27.45	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	C	6.00			29.03
25	ta-07	a04	37.95	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	C	6.00	1.99	14.00	27.86
26	ta-07	d08	38.35	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	C	6.00	2.48	14.00	34.72
27	ta-07	a05	44.20	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	C+	7.00			18.29
28	ta-07	a06	55.70	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	D	9.00	1.94	14.00	27.16
29	ta-07	d12	60.60	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	C+	7.00			29.33
30	ta-07	d13	65.30	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	C	6.00			26.13
31	ta-07	d19	91.05	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	C+	7.00	1.58	14.00	22.12
32	ta-07	a12	113.90	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	C	6.00	2.02	14.00	28.28
33	ta-07	d25	117.50	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	C+	7.00	1.58	14.00	22.12
34	ta-08	a05	60.85	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	C	6.00	0.66	14.00	9.24
35	ta-08	a07	83.50	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	D	9.00	1.22	14.00	17.08
36	ta-08	d11	115.05	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	C+	7.00	0.73	14.00	10.22
37	ta-08	a11	121.55	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	D	9.00	1.09	14.00	15.26
38	ta-09	d03	30.40	PORFIDO ANDESITICO	SILICIFICACION	D	9.00	0.63	14.00	8.82
39	ta-09	a03	30.60	PORFIDO ANDESITICO	SILICIFICACION	D	9.00	0.55	14.00	7.70
40	ta-09	d08	79.90	PORFIDO ANDESITICO	SILICIFICACION	D	9.00	4.55	14.00	63.70
41	tan-02		22.45	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	E+	13.00	10.67	25.00	266.67
42	tan-04		4.75	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	D-	8.00	8.96	20.00	179.17
43	tan-05		22.30	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	D-	8.00	6.83	20.00	136.67
44	tan-06		12.25	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	D-	8.00	1.79	14.00	25.08
45	tan-07		13.00	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	D-	8.00	3.58	16.00	57.33
46	tan-08		7.05	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	E-	11.00	3.42	14.00	47.83
47	tan-09		11.00	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	C	6.00	1.58	14.00	22.17
48	tan-09		25.90	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	C	6.00	0.46	14.00	6.42

49	tan-10		5.30	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	C	6.00	1.79	14.00	25.08
50	tan-10		15.70	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	C	6.00	1.21	14.00	16.92
51	tan-10		33.00	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	C+	7.00	2.96	14.00	41.42
52	vcn-01	m05	38.65	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	B	3.00			2.98
53	vcn-01	m06	74.70	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	C	6.00			2.06
54	vcn-03	m06	60.55	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	B-	2.00			0.34
55	vcn-04	m03	48.50	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	B	3.00			0.11
56	vcn-05	m06	54.00	PORFIDO ANDESITICO	PROPILITIZACION	C	6.00			3.41
57	cn-102	d2	13.80	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	C-	5.00	0.13	14.00	1.75
58	cn-102	a2	16.90	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	C	6.00	4.96	16.00	79.33
59	cn-103	d1	20.45	PORFIDO ANDESITICO	ARGILITIZACION	C-	5.00	0.25	14.00	3.50
60	PS-01		8.10	PORFIDO ANDESITICO	FILITICA	C+	7.00	4.00	16.00	64.05
61	PS-01		8.24	PORFIDO ANDESITICO	FILITICA	C+	7.00	2.19	14.00	30.62
62	PS-01		9.93	PORFIDO ANDESITICO	FILITICA	D-	8.00	5.74	16.00	91.83
63	PS-01		14.66	PORFIDO ANDESITICO	FILITICA	C	6.00	1.33	14.00	18.57
64	PS-01		16.48	PORFIDO ANDESITICO	FILITICA	C+	7.00	3.54	16.00	56.58
65	PS-01		17.09	PORFIDO ANDESITICO	FILITICA	D	9.00	7.56	20.00	151.21
66	PS-01		23.25	PORFIDO ANDESITICO	FILITICA	D	9.00	6.51	20.00	130.11
67	PS-01		23.32	PORFIDO ANDESITICO	FILITICA	D	9.00	7.19	20.00	143.87
68	PS-01		27.14	PORFIDO ANDESITICO	FILITICA	D	9.00	5.72	16.00	91.46
69	PS-01		32.60	PORFIDO ANDESITICO	FILITICA	D	9.00	1.46	14.00	20.39
70	PS-04		7.85	PORFIDO ANDESITICO	FILITICA	E	12.00	9.60	20.00	192.06
71	PS-04		8.53	PORFIDO ANDESITICO	FILITICA	E	12.00	9.81	20.00	196.19
72	PS-04		17.25	PORFIDO ANDESITICO	FILITICA	F	15.00	14.54	25.00	363.51
73	PS-04		27.46	PORFIDO ANDESITICO	FILITICA	E	12.00	10.58	25.00	264.47
						A	0.00			0.00
						F	15.00			300.00

PROCESO ROCAS SUBVOLCANICAS

X (VA)	Y (UCS)	ni	x^2	y^2	xy	x^3	x^4	x^2y	Y=y+1	Y'=lnY	Y'^2	xY'	X=x+1	X'=lnX	X'Y'	X'^2
8.00	45.15	1	64.00	2038.17	361.17	512.00	4096.00	2889.35	46.15	3.83	14.68	30.65	9.00	2.20	8.42	4.83
11.00	57.74	1	121.00	3333.58	635.11	1331.00	14641.00	6986.19	58.74	4.07	16.59	44.80	12.00	2.48	10.12	6.17
6.00	18.07	1	36.00	326.44	108.41	216.00	1296.00	650.43	19.07	2.95	8.69	17.69	7.00	1.95	5.74	3.79
8.00	33.01	1	64.00	1089.61	264.07	512.00	4096.00	2112.59	34.01	3.53	12.44	28.21	9.00	2.20	7.75	4.83
10.00	32.28	1	100.00	1042.00	322.80	1000.00	10000.00	3228.00	33.28	3.50	12.28	35.05	11.00	2.40	8.40	5.75
9.00	43.54	1	81.00	1895.73	391.86	729.00	6561.00	3526.74	44.54	3.80	14.41	34.17	10.00	2.30	8.74	5.30
8.00	33.74	1	64.00	1138.39	269.92	512.00	4096.00	2159.36	34.74	3.55	12.59	28.38	9.00	2.20	7.80	4.83
9.00	42.28	1	81.00	1787.60	380.52	729.00	6561.00	3424.68	43.28	3.77	14.20	33.91	10.00	2.30	8.68	5.30
6.00	6.82	1	36.00	46.51	40.92	216.00	1296.00	245.52	7.82	2.06	4.23	12.34	7.00	1.95	4.00	3.79
6.00	7.67	1	36.00	58.83	46.02	216.00	1296.00	276.12	8.67	2.16	4.67	12.96	7.00	1.95	4.20	3.79
6.00	5.32	1	36.00	28.30	31.92	216.00	1296.00	191.52	6.32	1.84	3.40	11.06	7.00	1.95	3.59	3.79
10.00	28.70	1	100.00	823.69	287.00	1000.00	10000.00	2870.00	29.70	3.39	11.50	33.91	11.00	2.40	8.13	5.75
13.00	272.75	1	169.00	74392.56	3545.75	2197.00	28561.00	46094.75	273.75	5.61	31.50	72.96	14.00	2.64	14.81	6.96
10.00	26.18	1	100.00	685.39	261.80	1000.00	10000.00	2618.00	27.18	3.30	10.91	33.02	11.00	2.40	7.92	5.75
10.00	25.20	1	100.00	635.04	252.00	1000.00	10000.00	2520.00	26.20	3.27	10.67	32.66	11.00	2.40	7.83	5.75
9.00	28.58	1	81.00	816.82	257.22	729.00	6561.00	2314.98	29.58	3.39	11.47	30.48	10.00	2.30	7.80	5.30
9.00	33.04	1	81.00	1091.64	297.36	729.00	6561.00	2676.24	34.04	3.53	12.44	31.75	10.00	2.30	8.12	5.30
10.00	75.52	1	100.00	5703.27	755.20	1000.00	10000.00	7552.00	76.52	4.34	18.81	43.38	11.00	2.40	10.40	5.75
6.00	21.60	1	36.00	466.56	129.60	216.00	1296.00	777.60	22.60	3.12	9.72	18.71	7.00	1.95	6.07	3.79
7.00	13.58	1	49.00	184.42	95.06	343.00	2401.00	665.42	14.58	2.68	7.18	18.76	8.00	2.08	5.57	4.32
8.00	19.32	1	64.00	373.26	154.56	512.00	4096.00	1236.48	20.32	3.01	9.07	24.09	9.00	2.20	6.62	4.83
9.00	78.24	1	81.00	6121.50	704.16	729.00	6561.00	6337.44	79.24	4.37	19.12	39.35	10.00	2.30	10.07	5.30
9.00	25.48	1	81.00	649.23	229.32	729.00	6561.00	2063.88	26.48	3.28	10.73	29.49	10.00	2.30	7.54	5.30
6.00	29.03	1	36.00	842.74	174.18	216.00	1296.00	1045.08	30.03	3.40	11.57	20.41	7.00	1.95	6.62	3.79
6.00	27.86	1	36.00	776.18	167.16	216.00	1296.00	1002.96	28.86	3.36	11.31	20.17	7.00	1.95	6.54	3.79
6.00	34.72	1	36.00	1205.48	208.32	216.00	1296.00	1249.92	35.72	3.58	12.79	21.45	7.00	1.95	6.96	3.79
7.00	18.29	1	49.00	334.52	128.03	343.00	2401.00	896.21	19.29	2.96	8.76	20.72	8.00	2.08	6.15	4.32
9.00	27.16	1	81.00	737.67	244.44	729.00	6561.00	2199.96	28.16	3.34	11.14	30.04	10.00	2.30	7.69	5.30
7.00	29.33	1	49.00	860.25	205.31	343.00	2401.00	1437.17	30.33	3.41	11.64	23.88	8.00	2.08	7.10	4.32
6.00	26.13	1	36.00	682.78	156.78	216.00	1296.00	940.68	27.13	3.30	10.89	19.80	7.00	1.95	6.42	3.79
7.00	22.12	1	49.00	489.29	154.84	343.00	2401.00	1083.88	23.12	3.14	9.86	21.98	8.00	2.08	6.53	4.32
6.00	28.28	1	36.00	799.76	169.68	216.00	1296.00	1018.08	29.28	3.38	11.40	20.26	7.00	1.95	6.57	3.79
7.00	22.12	1	49.00	489.29	154.84	343.00	2401.00	1083.88	23.12	3.14	9.86	21.98	8.00	2.08	6.53	4.32
6.00	9.24	1	36.00	85.38	55.44	216.00	1296.00	332.64	10.24	2.33	5.41	13.96	7.00	1.95	4.53	3.79
9.00	17.08	1	81.00	291.73	153.72	729.00	6561.00	1383.48	18.08	2.89	8.38	26.05	10.00	2.30	6.67	5.30
7.00	10.22	1	49.00	104.45	71.54	343.00	2401.00	500.78	11.22	2.42	5.85	16.92	8.00	2.08	5.03	4.32
9.00	15.26	1	81.00	232.87	137.34	729.00	6561.00	1236.06	16.26	2.79	7.78	25.10	10.00	2.30	6.42	5.30
9.00	8.82	1	81.00	77.79	79.38	729.00	6561.00	714.42	9.82	2.28	5.22	20.56	10.00	2.30	5.26	5.30
9.00	7.70	1	81.00	59.29	69.30	729.00	6561.00	623.70	8.70	2.16	4.68	19.47	10.00	2.30	4.98	5.30
9.00	63.70	1	81.00	4057.69	573.30	729.00	6561.00	5159.70	64.70	4.17	17.39	37.53	10.00	2.30	9.60	5.30
13.00	266.67	1	169.00	71111.11	3466.67	2197.00	28561.00	45066.67	267.67	5.59	31.25	72.67	14.00	2.64	14.75	6.96
8.00	179.17	1	64.00	32100.69	1433.33	512.00	4096.00	11466.67	180.17	5.19	26.98	41.55	9.00	2.20	11.41	4.83
8.00	136.67	1	64.00	18677.78	1093.33	512.00	4096.00	8746.67	137.67	4.92	24.25	39.40	9.00	2.20	10.82	4.83
8.00	25.08	1	64.00	629.17	200.67	512.00	4096.00	1605.33	26.08	3.26	10.64	26.09	9.00	2.20	7.17	4.83
8.00	57.33	1	64.00	3287.11	458.67	512.00	4096.00	3669.33	58.33	4.07	16.53	32.53	9.00	2.20	8.93	4.83
11.00	47.83	1	121.00	2288.03	526.17	1331.00	14641.00	5787.83	48.83	3.89	15.12	42.77	12.00	2.48	9.66	6.17
6.00	22.17	1	36.00	491.36	133.00	216.00	1296.00	798.00	23.17	3.14	9.88	18.86	7.00	1.95	6.12	3.79
6.00	6.42	1	36.00	41.17	38.50	216.00	1296.00	231.00	7.42	2.00	4.01	12.02	7.00	1.95	3.90	3.79

6.00	25.08	1	36.00	629.17	150.50	216.00	1296.00	903.00	26.08	3.26	10.64	19.57	7.00	1.95	6.35	3.79
6.00	16.92	1	36.00	286.17	101.50	216.00	1296.00	609.00	17.92	2.89	8.33	17.31	7.00	1.95	5.62	3.79
7.00	41.42	1	49.00	1715.34	289.92	343.00	2401.00	2029.42	42.42	3.75	14.04	26.23	8.00	2.08	7.79	4.32
3.00	2.98	1	9.00	8.88	8.94	27.00	81.00	26.82	3.98	1.38	1.91	4.14	4.00	1.39	1.91	1.92
6.00	2.06	1	36.00	4.24	12.36	216.00	1296.00	74.16	3.06	1.12	1.25	6.71	7.00	1.95	2.18	3.79
2.00	0.34	1	4.00	0.11	0.68	8.00	16.00	1.36	1.34	0.29	0.09	0.58	3.00	1.10	0.32	1.21
3.00	0.11	1	9.00	0.01	0.33	27.00	81.00	0.99	1.11	0.10	0.01	0.31	4.00	1.39	0.14	1.92
6.00	3.41	1	36.00	11.63	20.46	216.00	1296.00	122.76	4.41	1.48	2.20	8.90	7.00	1.95	2.89	3.79
5.00	1.75	1	25.00	3.06	8.75	125.00	625.00	43.75	2.75	1.01	1.02	5.06	6.00	1.79	1.81	3.21
6.00	79.33	1	36.00	6293.78	476.00	216.00	1296.00	2856.00	80.33	4.39	19.24	26.32	7.00	1.95	8.54	3.79
5.00	3.50	1	25.00	12.25	17.50	125.00	625.00	87.50	4.50	1.50	2.26	7.52	6.00	1.79	2.69	3.21
7.00	64.05	1	49.00	4102.96	448.38	343.00	2401.00	3138.66	65.05	4.18	17.43	29.23	8.00	2.08	8.68	4.32
7.00	30.62	1	49.00	937.81	214.37	343.00	2401.00	1500.56	31.62	3.45	11.93	24.18	8.00	2.08	7.18	4.32
8.00	91.83	1	64.00	8433.14	734.66	512.00	4096.00	5877.26	92.83	4.53	20.53	36.25	9.00	2.20	9.96	4.83
6.00	18.57	1	36.00	344.83	111.42	216.00	1296.00	668.50	19.57	2.97	8.84	17.84	7.00	1.95	5.79	3.79
7.00	56.58	1	49.00	3201.79	396.09	343.00	2401.00	2772.63	57.58	4.05	16.43	28.37	8.00	2.08	8.43	4.32
9.00	151.21	1	81.00	22864.39	1360.89	729.00	6561.00	12247.99	152.21	5.03	25.25	45.23	10.00	2.30	11.57	5.30
9.00	130.11	1	81.00	16928.72	1170.99	729.00	6561.00	10538.94	131.11	4.88	23.78	43.88	10.00	2.30	11.23	5.30
9.00	143.87	1	81.00	20699.21	1294.85	729.00	6561.00	11653.65	144.87	4.98	24.76	44.78	10.00	2.30	11.46	5.30
9.00	91.46	1	81.00	8365.12	823.15	729.00	6561.00	7408.34	92.46	4.53	20.49	40.74	10.00	2.30	10.42	5.30
9.00	20.39	1	81.00	415.82	183.52	729.00	6561.00	1651.72	21.39	3.06	9.38	27.57	10.00	2.30	7.05	5.30
12.00	192.06	1	144.00	36887.97	2304.75	1728.00	20736.00	27656.99	193.06	5.26	27.70	63.16	13.00	2.56	13.50	6.58
12.00	196.19	1	144.00	38492.37	2354.34	1728.00	20736.00	28252.04	197.19	5.28	27.92	63.41	13.00	2.56	13.55	6.58
15.00	363.51	1	225.00	132137.18	5452.60	3375.00	50625.00	81789.02	364.51	5.90	34.79	88.48	16.00	2.77	16.35	7.69
12.00	264.47	1	144.00	69944.50	3173.64	1728.00	20736.00	38083.71	265.47	5.58	31.15	66.98	13.00	2.56	14.32	6.58
0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
15.00	300.00	1	225.00	90000.00	4500.00	3375.00	50625.00	67500.00	301.00	5.71	32.57	85.61	16.00	2.77	15.82	7.69
591.00	**4404.04**	**75.00**	**5161.00**	**708202.56**	**45686.26**	**48837.00**	**498325.00**	**510192.17**	**4479.04**	**253.03**	**977.84**	**2192.35**	**666.00**	**159.62**	**566.23**	**350.38**
X	**Y**	**ni**	**x^2**	**y^2**	**xy**	**x^3**	**x^4**	**x^2y**	**Y=y+1**	**Y'=lnY**	**Y'^2**	**XY'**	**X=x+1**	**X'=lnX**	**X'Y'**	**X'^2**

N=	75.00
MediaX	7.88
MediaY	58.72

Var(X)	6.72	desv(x)	2.59
Var(Y)	5994.61	desv(y)	77.42
Cov(X,Y)	146.43		

REGRESION LINEAL

La recta de regresión es	Y=	-113.02	+ X*	21.79
El coeficiente de correlación lineal vale	R=	0.73		
El coeficiente de determinación vale	R^2=	0.53		

REGRESION PARABOLICA

Matriz	sum y	N	sum x	sumx^2	4404.04	75.00	591.00	5161.00	4404.04
	sum xy	sumx	sumx^2	sumx^3	45686.26	591.00	5161.00	48837.00	45686.26
	sumxy^2	sumx`2	sumx^3	sumx^4	510192.17	5161.00	48837.00	498325.00	510192.17

delta1	1.881E+10	a=	46.19

Determinante de la matriz=	407212868

Término independiente	46.19	= a
Término en X	-22.01	= b
Término en X^2	2.70	= c

	4404.04	75.00	5161.00
delta2	45686.26	591.00	48837.00
	510192.17	5161.00	498325.00
delta2	-8961723485	b=	-22.01

delta3	1100372032	c=	2.70

La parábola de regresión es Y= a+bX+cX^2

El coeficiente de determinación vale R^2=1-var(e)/var(y)

var(e)=(sumY^2-a*sumY-b*sumXY-c*sumX^2Y)/N

var(e)= 1754.24708

Luego R^2=	0.71
R=	0.84

REGRESION EXPONENCIAL Y = a * b^X ln Y= ln a + X * ln b Y' = a' + X * b'

N=	75.00	Var(X)	6.72	desv(X)	2.59
Media X	7.88	Var(Y')	1.66	desv(Y')	1.29
Media Y'	3.37	Cov(X,Y')	2.65		

Para obtener el ajuste exponencial, hacemos un ajuste lineal a los datos (X,lnY)=(X,Y')

La recta de regresión de Y' sobre X es:

	Y'=	a'	+	X*	b'
La recta de regresión es	Y'=	0.27	+	X*	0.39
El coeficiente de correlación lineal vale	R=	0.79			
El coeficiente de determinación vale	R^2=	0.63			

Luego la ecuación para la regresión exponencial se obtiene: Y=a*b^X

siendo a=e^a' y b=e^b' Por tanto

a=	1.31
b=	1.48

REGRESION POTENCIAL Y = a * X^b ln Y= ln a + b * ln X Y' = a' + b' * X'

N=	75.00	Var(X')	0.14	desv(x)	0.38
Media X'	2.13	Var(Y')	1.66	desv(y)	1.29
Media Y'	3.37	Cov(X',Y')	0.37		

Para obtener el ajuste potencial, hacemos un ajuste lineal a los datos (ln X,ln Y)=(X' ,Y')

La recta de regresión de Y' sobre X' es:

		Y'=	a'	+	X' *	b'
La recta de regresión es		Y'=	-2.15	+	X' *	2.60
El coeficiente de correlación lineal vale		R=	0.76			
El coeficiente de determinación vale		R^2=	0.58			

Luego la ecuación para la regresión potencial se obtiene: Y=a*b^X

siendo a=e^a' y b=b' Por tanto

a=	0.12
b=	2.60

REGRESIONES				
VA	LINEAL	PARABOLICA	EXPONENCIAL	POTENCIAL
	UCS	UCS	UCS	UCS
0.0	-113.0	46.2	0.3	-0.9
1.0	-91.2	26.9	0.9	-0.3
2.0	-69.4	13.0	1.9	1.0
3.0	-47.6	4.5	3.3	3.2
4.0	-25.8	1.4	5.3	6.6
5.0	-4.0	3.7	8.4	11.2
6.0	17.7	11.4	12.9	17.2
7.0	39.5	24.5	19.6	24.7
8.0	61.3	43.1	29.6	33.9
9.0	83.1	67.0	44.4	44.9
10.0	104.9	96.3	66.3	57.8
11.0	126.7	131.1	98.7	72.7
12.0	148.5	171.2	146.9	89.8
13.0	170.3	216.8	218.3	109.0
14.0	192.1	267.7	324.2	130.6
15.0	213.9	324.1	481.1	154.6

ROCAS INTRUSIVAS

ID	TALADRO	MUESTRA	PROFUNDIDAD	LITOLOGIA	TIPO ALTERACION	GRADO ALTERACION	VALORACION	Is(50) (Mpa)	K50	UCS (Mpa)
1	1x-02	m4	49.70	GRANODIORITA	FILITICA	F-	14.00	11.87	25.00	296.75
2	1x-03	m1	12.20	GRANODIORITA	FILITICA	E+	13.00	9.82	20.00	196.40
3	1x-03	m5	58.12	GRANODIORITA	FILITICA	E-	11.00	6.18	20.00	123.60
4	1x-04	m1	9.30	GRANODIORITA	FILITICA	E+	13.00	13.06	25.00	326.50
5	1x-04	m3	29.70	GRANODIORITA	FILITICA	E+	13.00	11.71	25.00	292.75
6	1x-04	m5	48.04	GRANODIORITA	FILITICA	E+	13.00	12.64	25.00	316.00
7	ltg-01	33	173.76	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	E	12.00			136.11
8	ltg-02	26	204.97	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	D	9.00			113.92
9	ltg-02	27	210.72	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	D	9.00			46.23
10	ltg-05	2	47.57	DIORITA	CLORITICA	D-	8.00	3.39	14.00	47.48
11	ltg-05	5	65.26	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	D-	8.00	2.62	14.00	36.62
12	ltg-05	7	72.24	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	C+	7.00	2.18	14.00	30.45
13	ltg-05	9	73.87	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	C+	7.00			31.34
14	ltg-05	10	76.14	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	D-	8.00	3.23	14.00	45.28
15	ltg-05	12	95.50	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	C	6.00	2.14	14.00	29.89
16	ltg-05	17	125.88	DIORITA	CLORITICA	D-	8.00	5.23	16.00	83.76
17	ltg-05	18	125.98	DIORITA	CLORITICA	D-	8.00	4.72	16.00	75.47
18	ltg-05	21	163.08	DIORITA	CLORITICA	D	9.00	3.27	14.00	45.73
19	ltg-05	22	177.32	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	D	9.00	5.90	16.00	94.44
20	ltg-05	23	180.75	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	D-	8.00	1.89	14.00	26.46
21	ltg-05	24	183.90	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	D	9.00	3.05	14.00	42.72
22	ltg-05	26	194.40	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	D	9.00	4.70	16.00	75.24
23	ltg-05	28	199.50	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	E-	11.00	6.53	20.00	130.54
24	ltg-05	30	203.27	DIORITA	CLORITICA	D	9.00	4.68	16.00	74.83
25	ltg-05	31	207.00	DIORITA	CLORITICA	D-	8.00	4.82	16.00	77.06
26	ltg-05	31	207.00	DIORITA	CLORITICA	D-	8.00	7.09	16.00	113.40
27	ltg-05	31	207.00	DIORITA	CLORITICA	D-	8.00	5.95	16.00	95.23
28	ltg-05	32	210.63	DIORITA	CLORITICA	D	9.00			109.03
29	ltg-05	33	211.94	DIORITA	CLORITICA	E	12.00	9.15	20.00	182.94
30	ltg-05	33	211.94	DIORITA	CLORITICA	D	9.00	5.16	16.00	82.53
31	ltg-05	33	211.94	DIORITA	CLORITICA	D	9.00	7.15	20.00	143.05
32	ltg-05	39	220.53	DIORITA	CLORITICA	E	12.00	5.88	16.00	94.11
33	ltg-05	41	231.86	DIORITA	CLORITICA	E-	11.00	7.38	20.00	147.67
34	ltg-05	45	259.80	DIORITA	CLORITICA	E+	13.00	7.28	20.00	145.61
35	ltg-05	47	269.38	DIORITA	CLORITICA	D	9.00	6.35	20.00	126.97
36	ltg-05	47	269.38	DIORITA	CLORITICA	D	9.00	3.47	14.00	48.52
37	ltg-05	47	269.38	DIORITA	CLORITICA	D	9.00	4.91	16.00	78.52
38	ltg-05	48	271.15	DIORITA	CLORITICA	E+	13.00	10.20	25.00	255.00
39	ltg-05	50	274.70	DIORITA	CLORITICA	E	12.00	7.05	20.00	141.04
40	ltg-05	51	284.40	DIORITA	CLORITICA	E-	11.00	8.37	20.00	167.47
41	ltg-05	52	291.62	DIORITA	CLORITICA	E-	11.00	7.52	20.00	150.35
42	ltg-05	54	292.44	DIORITA	CLORITICA	E-	11.00	4.77	16.00	76.26
43	tmg-01	1	20.65	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	D-	8.00	4.14	16.00	66.27
44	tmg-01	11	27.30	DIORITA	CLORITICA	D+	10.00			45.53
45	tmg-01	2	29.78	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	C	6.00	1.42	14.00	19.93
46	tmg-01	4	34.19	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	D+	10.00	2.85	14.00	39.84
47	tmg-01	5	54.60	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	D-	8.00	4.73	16.00	75.69
48	tmg-01	6	58.31	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	D	9.00	2.87	14.00	40.23

49	tmg-01	8	65.50	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	C+	7.00	2.84	14.00	39.73
50	tmg-01	9	68.68	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	D+	10.00	5.69	16.00	91.05
51	tmg-01	10	75.64	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	D-	8.00	2.22	14.00	31.05
52	tmg-01	11	78.90	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	D+	10.00	3.19	14.00	44.69
53	tmg-01	12	82.34	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	C	6.00	2.08	14.00	29.16
54	tmg-01	13	83.88	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	E-	11.00	6.37	20.00	127.38
55	tmg-01	14	87.80	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	C+	7.00	2.54	14.00	35.62
56	tmg-01	15	90.01	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	E-	11.00	4.92	16.00	78.77
57	tmg-01	16	92.92	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	E-	11.00	4.42	16.00	70.77
58	tmg-01	18	97.66	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	D	9.00	4.70	16.00	75.15
59	tmg-01	20	102.39	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	D	9.00	3.92	16.00	62.75
60	tmg-01	21	106.86	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	D	9.00	3.86	16.00	61.82
61	tmg-01	22	109.96	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	D	9.00	2.47	14.00	34.62
62	tmg-01	23	112.37	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	D	9.00	3.56	16.00	57.00
63	tmg-01	24	115.66	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	D	9.00	3.12	14.00	43.68
64	tmg-01	25	118.38	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	D	9.00	3.31	14.00	46.36
65	tmg-01	26	118.95	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	D-	8.00	4.24	16.00	67.80
66	tmg-01	27	123.82	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	D	9.00	3.69	16.00	59.02
67	tmg-01	28	125.74	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	D+	10.00	3.50	16.00	55.99
68	tmg-01	29	130.75	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	D	9.00	5.00	16.00	80.06
69	tmg-01	30	132.45	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	D	9.00	2.57	14.00	36.05
70	tmg-01	33	151.83	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	D	9.00	3.03	14.00	42.42
71	tmg-01	34	152.70	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	C+	7.00	2.53	14.00	35.41
72	tmg-01	35	156.53	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	D	9.00	4.18	16.00	66.83
73	tmg-01	36	157.94	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	D	9.00	6.18	20.00	123.66
74	tmg-01	37	161.02	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	D	9.00	3.02	14.00	42.25
75	tmg-01	50	215.95	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	E	12.00	3.70	16.00	59.13
76	tmg-02	2	9.11	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	E	12.00	8.90	20.00	177.92
77	tmg-02	3	22.25	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	C+	7.00	2.22	14.00	31.06
78	tmg-02	4	29.00	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	C	6.00	1.89	14.00	26.51
79	tmg-02	6	48.88	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	E	12.00	4.39	16.00	70.17
80	tmg-02	7	64.49	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	C+	7.00	2.64	14.00	36.89
81	tmg-02	8	72.20	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	C	6.00	2.19	14.00	30.64
82	tmg-02	9	72.95	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	C+	7.00	5.53	16.00	88.47
83	tmg-02	12	84.75	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	E-	11.00	6.60	20.00	131.92
84	tmg-02	13	87.17	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	C-	5.00	1.09	14.00	15.31
85	tmg-02	15	105.82	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	C	6.00	1.45	14.00	20.24
86	tmg-02	19	125.13	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	E-	11.00	5.28	16.00	84.50
87	tmg-02	20	126.97	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	E-	11.00	4.28	16.00	68.48
88	tmg-02	29	187.00	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	C	6.00	1.62	14.00	22.69
89	tmg-02	30	189.45	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	C+	7.00	2.96	14.00	41.42
90	tmg-02	33	200.09	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	C	6.00	1.27	14.00	17.72
91	tmg-02	34	206.80	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	E	12.00	8.21	20.00	164.12
92	tmg-02	35	211.30	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	E	12.00	9.34	20.00	186.82
93	tmg-02	36	215.63	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	C+	7.00	3.32	14.00	46.53
94	tmg-02	40	232.98	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	C+	7.00	3.21	14.00	44.95
95	tmg-02	41	236.65	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	C+	7.00	3.06	14.00	42.84
96	tmg-02	42	240.34	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	C+	7.00	2.27	14.00	31.75
97	tmg-02	43	242.42	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	E	12.00	3.89	16.00	62.21
98	tmg-02	45	249.18	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	E	12.00	6.44	20.00	128.86

99	tmg-04	3	25.37	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	C	6.00	1.98	14.00	27.77
100	tmg-04	4	32.84	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	C+	7.00	1.48	14.00	20.73
101	tmg-04	5	34.77	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	C+	7.00	1.21	14.00	16.97
102	tmg-04	6	36.31	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	C+	7.00	1.51	14.00	21.19
103	tmg-04	7	38.70	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	C+	7.00	1.56	14.00	21.77
104	tmg-04	8	51.35	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	D-	8.00	1.21	14.00	16.92
105	tmg-04	9	58.29	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	C+	7.00	1.95	14.00	27.32
106	tmg-04	4	60.65	DIORITA	CLORITICA	C+	7.00			110.45
107	tmg-04	10	60.82	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	C+	7.00	4.23	16.00	67.71
108	tmg-04	11	66.75	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	D-	8.00	1.95	14.00	27.25
109	tmg-04	12	74.00	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	C+	7.00	5.54	16.00	88.64
110	tmg-04	13	76.72	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	C+	7.00	2.73	14.00	38.26
111	tmg-04	20	108.45	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	C+	7.00	3.28	14.00	45.90
112	tmg-05	7	116.77	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	C+	7.00	2.00	14.00	28.01
113	tmg-05	8	118.23	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	C	6.00	2.69	14.00	37.60
114	tmg-05	9	131.91	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	C+	7.00	1.16	14.00	16.22
115	tmg-05	10	133.01	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	C+	7.00	1.29	14.00	18.10
116	tmg-06	8	144.76	DIORITA	CLORITICA	C	6.00			10.79
117	tmg-07	14	168.10	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	D-	8.00	2.06	14.00	28.81
118	tmg-08	15	182.24	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	D	9.00	3.19	14.00	44.72
119	tmg-05	16	187.83	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	D	9.00	4.32	16.00	69.09
120	tmg-05	17	191.78	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	C	6.00	2.43	14.00	33.97
121	tmg-05	18	197.37	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	C	6.00	1.63	14.00	22.77
122	tmg-06	6	36.42	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	D+	10.00	6.08	20.00	121.68
123	tmg-06	8	70.80	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	D-	8.00	3.59	16.00	57.39
124	tmg-06	12	132.10	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	D+	10.00	4.07	16.00	65.05
125	tmg-06	18	204.14	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	D+	10.00	4.13	16.00	66.15
126	tmg-06	19	207.05	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	E-	11.00	6.86	20.00	137.27
127	tmg-06	20	212.27	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	C+	7.00	2.78	14.00	38.98
128	tmg-06	21	214.62	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	E-	11.00	5.90	16.00	94.35
129	tmg-06	22	217.98	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	C+	7.00	2.52	14.00	35.30
130	tmg-06	23	220.93	DIORITA HORNBLENDICA	CLORITICA	C	6.00	2.08	14.00	29.15
131	PIT-02		153.36	DIORITA	POTASICA	C-	5.00	1.67	14.00	23.33
132	PIT-02		153.80	DIORITA	POTASICA	C	6.00	3.46	14.00	48.42
133	DH-501		8.00	GRANODIORITA	FILITICA	C	6.00	1.26	14.00	17.64
134	DH-501		16.60	GRANODIORITA	FILITICA	C	6.00	4.92	14.00	68.88
135	DH-502		9.28	GRANODIORITA	FILITICA	C	6.00	1.28	14.00	17.92
136	DH-503		14.80	GRANODIORITA	FILITICA	C	6.00	1.26	14.00	17.64
						A	0.00			0.00
						F	15.00			350.00

PROCESO ROCAS INTRUSIVAS

X (VA)	Y (UCS)	ni	x^2	y^2	xy	x^3	x^4	x^2y	Y=y+1	Y'=lnY	Y'^2	xY'	X=x+1	X'=lnX	X'Y'	X'^2
14.00	296.75	1	196.00	88060.56	4154.50	2744.00	38416.00	58163.00	297.75	5.70	32.45	79.75	15.00	2.71	15.43	7.33
13.00	196.40	1	169.00	38572.96	2553.20	2197.00	28561.00	33191.60	197.40	5.29	27.93	68.71	14.00	2.64	13.95	6.96
11.00	123.60	1	121.00	15276.96	1359.60	1331.00	14641.00	14955.60	124.60	4.83	23.28	53.08	12.00	2.48	11.99	6.17
13.00	326.50	1	169.00	106602.25	4244.50	2197.00	28561.00	55178.50	327.50	5.79	33.54	75.29	14.00	2.64	15.28	6.96
13.00	292.75	1	169.00	85702.56	3805.75	2197.00	28561.00	49474.75	293.75	5.68	32.29	73.88	14.00	2.64	15.00	6.96
13.00	316.00	1	169.00	99856.00	4108.00	2197.00	28561.00	53404.00	317.00	5.76	33.16	74.87	14.00	2.64	15.20	6.96
12.00	136.11	1	144.00	18525.93	1633.32	1728.00	20736.00	19599.84	137.11	4.92	24.21	59.05	13.00	2.56	12.62	6.58
9.00	113.92	1	81.00	12977.77	1025.28	729.00	6561.00	9227.52	114.92	4.74	22.51	42.70	10.00	2.30	10.92	5.30
9.00	46.23	1	81.00	2137.21	416.07	729.00	6561.00	3744.63	47.23	3.86	14.86	34.70	10.00	2.30	8.88	5.30
8.00	47.48	1	64.00	2254.78	379.88	512.00	4096.00	3039.01	48.48	3.88	15.06	31.05	9.00	2.20	8.53	4.83
8.00	36.62	1	64.00	1341.35	293.00	512.00	4096.00	2343.97	37.62	3.63	13.16	29.02	9.00	2.20	7.97	4.83
7.00	30.45	1	49.00	927.36	213.17	343.00	2401.00	1492.18	31.45	3.45	11.89	24.14	8.00	2.08	7.17	4.32
7.00	31.34	1	49.00	982.20	219.38	343.00	2401.00	1535.66	32.34	3.48	12.08	24.33	8.00	2.08	7.23	4.32
8.00	45.28	1	64.00	2049.88	362.21	512.00	4096.00	2897.64	46.28	3.83	14.70	30.68	9.00	2.20	8.43	4.83
6.00	29.89	1	36.00	893.59	179.36	216.00	1296.00	1076.15	30.89	3.43	11.77	20.58	7.00	1.95	6.68	3.79
8.00	83.76	1	64.00	7015.01	670.05	512.00	4096.00	5360.36	84.76	4.44	19.71	35.52	9.00	2.20	9.76	4.83
8.00	75.47	1	64.00	5695.89	603.77	512.00	4096.00	4830.15	76.47	4.34	18.81	34.70	9.00	2.20	9.53	4.83
9.00	45.73	1	81.00	2091.60	411.61	729.00	6561.00	3704.46	46.73	3.84	14.78	34.60	10.00	2.30	8.85	5.30
9.00	94.44	1	81.00	8918.84	849.96	729.00	6561.00	7649.61	95.44	4.56	20.78	41.03	10.00	2.30	10.50	5.30
8.00	26.46	1	64.00	700.00	211.66	512.00	4096.00	1693.28	27.46	3.31	10.97	26.50	9.00	2.20	7.28	4.83
9.00	42.72	1	81.00	1824.59	384.44	729.00	6561.00	3459.94	43.72	3.78	14.27	34.00	10.00	2.30	8.70	5.30
9.00	75.24	1	81.00	5661.26	677.17	729.00	6561.00	6094.55	76.24	4.33	18.78	39.01	10.00	2.30	9.98	5.30
11.00	130.54	1	121.00	17039.66	1435.90	1331.00	14641.00	15794.86	131.54	4.88	23.81	53.67	12.00	2.48	12.12	6.17
9.00	74.83	1	81.00	5598.79	673.43	729.00	6561.00	6060.83	75.83	4.33	18.74	38.96	10.00	2.30	9.97	5.30
8.00	77.06	1	64.00	5939.01	616.52	512.00	4096.00	4932.16	78.06	4.36	18.99	34.86	9.00	2.20	9.57	4.83
8.00	113.40	1	64.00	12858.55	907.16	512.00	4096.00	7257.32	114.40	4.74	22.46	37.92	9.00	2.20	10.41	4.83
8.00	95.23	1	64.00	9068.80	761.84	512.00	4096.00	6094.74	96.23	4.57	20.86	36.53	9.00	2.20	10.03	4.83
9.00	109.03	1	81.00	11887.54	981.27	729.00	6561.00	8831.43	110.03	4.70	22.10	42.31	10.00	2.30	10.82	5.30
12.00	182.94	1	144.00	33465.67	2195.23	1728.00	20736.00	26342.82	183.94	5.21	27.19	62.58	13.00	2.56	13.38	6.58
9.00	82.53	1	81.00	6810.81	742.75	729.00	6561.00	6684.74	83.53	4.43	19.58	39.83	10.00	2.30	10.19	5.30
9.00	143.05	1	81.00	20462.70	1287.43	729.00	6561.00	11586.88	144.05	4.97	24.70	44.73	10.00	2.30	11.44	5.30
12.00	94.11	1	144.00	8855.83	1129.26	1728.00	20736.00	13551.18	95.11	4.55	20.75	54.66	13.00	2.56	11.68	6.58
11.00	147.67	1	121.00	21807.71	1624.42	1331.00	14641.00	17868.59	148.67	5.00	25.02	55.02	12.00	2.48	12.43	6.17
13.00	145.61	1	169.00	21203.37	1892.98	2197.00	28561.00	24608.73	146.61	4.99	24.88	64.84	14.00	2.64	13.16	6.96
9.00	126.97	1	81.00	16121.86	1142.75	729.00	6561.00	10284.72	127.97	4.85	23.54	43.67	10.00	2.30	11.17	5.30
9.00	48.52	1	81.00	2354.56	436.71	729.00	6561.00	3930.43	49.52	3.90	15.23	35.12	10.00	2.30	8.99	5.30
9.00	78.52	1	81.00	6164.87	706.65	729.00	6561.00	6359.85	79.52	4.38	19.15	39.38	10.00	2.30	10.08	5.30
13.00	255.00	1	169.00	65022.86	3314.95	2197.00	28561.00	43094.29	256.00	5.55	30.75	72.09	14.00	2.64	14.63	6.96
12.00	141.04	1	144.00	19892.78	1692.50	1728.00	20736.00	20310.01	142.04	4.96	24.56	59.47	13.00	2.56	12.71	6.58
11.00	167.47	1	121.00	28044.74	1842.12	1331.00	14641.00	20263.34	168.47	5.13	26.28	56.39	12.00	2.48	12.74	6.17
11.00	150.35	1	121.00	22603.74	1653.80	1331.00	14641.00	18191.80	151.35	5.02	25.20	55.22	12.00	2.48	12.47	6.17
11.00	76.26	1	121.00	5815.94	838.89	1331.00	14641.00	9227.74	77.26	4.35	18.90	47.82	12.00	2.48	10.80	6.17
8.00	66.27	1	64.00	4391.89	530.17	512.00	4096.00	4241.36	67.27	4.21	17.71	33.67	9.00	2.20	9.25	4.83
10.00	45.53	1	100.00	2072.98	455.30	1000.00	10000.00	4553.00	46.53	3.84	14.75	38.40	11.00	2.40	9.21	5.75
6.00	19.93	1	36.00	397.09	119.56	216.00	1296.00	717.38	20.93	3.04	9.25	18.25	7.00	1.95	5.92	3.79
10.00	39.84	1	100.00	1587.55	398.44	1000.00	10000.00	3984.41	40.84	3.71	13.76	37.10	11.00	2.40	8.90	5.75
8.00	75.69	1	64.00	5728.94	605.52	512.00	4096.00	4844.15	76.69	4.34	18.83	34.72	9.00	2.20	9.54	4.83
9.00	40.23	1	81.00	1618.32	362.05	729.00	6561.00	3258.49	41.23	3.72	13.83	33.47	10.00	2.30	8.56	5.30

7.00	39.73	1	49.00	1578.66	278.13	343.00	2401.00	1946.89	40.73	3.71	13.74	25.95	8.00	2.08	7.71	4.32
10.00	91.05	1	100.00	8290.71	910.53	1000.00	10000.00	9105.33	92.05	4.52	20.45	45.22	11.00	2.40	10.84	5.75
8.00	31.05	1	64.00	964.03	248.39	512.00	4096.00	1987.13	32.05	3.47	12.02	27.74	9.00	2.20	7.62	4.83
10.00	44.69	1	100.00	1996.97	446.88	1000.00	10000.00	4468.75	45.69	3.82	14.61	38.22	11.00	2.40	9.16	5.75
6.00	29.16	1	36.00	850.08	174.94	216.00	1296.00	1049.62	30.16	3.41	11.60	20.44	7.00	1.95	6.63	3.79
11.00	127.38	1	121.00	16226.44	1401.21	1331.00	14641.00	15413.35	128.38	4.86	23.57	53.41	12.00	2.48	12.06	6.17
7.00	35.62	1	49.00	1268.84	249.35	343.00	2401.00	1745.42	36.62	3.60	12.96	25.20	8.00	2.08	7.49	4.32
11.00	78.77	1	121.00	6204.81	866.48	1331.00	14641.00	9531.24	79.77	4.38	19.18	48.17	12.00	2.48	10.88	6.17
11.00	70.77	1	121.00	5008.40	778.47	1331.00	14641.00	8563.18	71.77	4.27	18.26	47.01	12.00	2.48	10.62	6.17
9.00	75.15	1	81.00	5647.55	676.35	729.00	6561.00	6087.17	76.15	4.33	18.77	38.99	10.00	2.30	9.98	5.30
9.00	62.75	1	81.00	3937.49	564.75	729.00	6561.00	5082.71	63.75	4.15	17.26	37.39	10.00	2.30	9.57	5.30
9.00	61.82	1	81.00	3821.91	556.39	729.00	6561.00	5007.55	62.82	4.14	17.14	37.26	10.00	2.30	9.53	5.30
9.00	34.62	1	81.00	1198.85	311.62	729.00	6561.00	2804.58	35.62	3.57	12.77	32.16	10.00	2.30	8.23	5.30
9.00	57.00	1	81.00	3249.08	513.01	729.00	6561.00	4617.06	58.00	4.06	16.49	36.54	10.00	2.30	9.35	5.30
9.00	43.68	1	81.00	1908.08	393.13	729.00	6561.00	3538.21	44.68	3.80	14.44	34.20	10.00	2.30	8.75	5.30
9.00	46.36	1	81.00	2149.27	417.24	729.00	6561.00	3755.18	47.36	3.86	14.88	34.72	10.00	2.30	8.88	5.30
8.00	67.80	1	64.00	4596.99	542.41	512.00	4096.00	4339.27	68.80	4.23	17.90	33.85	9.00	2.20	9.30	4.83
9.00	59.02	1	81.00	3483.38	531.18	729.00	6561.00	4780.63	60.02	4.09	16.77	36.85	10.00	2.30	9.43	5.30
10.00	55.99	1	100.00	3134.58	559.87	1000.00	10000.00	5598.74	56.99	4.04	16.34	40.43	11.00	2.40	9.69	5.75
9.00	80.06	1	81.00	6410.14	720.57	729.00	6561.00	6485.13	81.06	4.40	19.32	39.56	10.00	2.30	10.12	5.30
9.00	36.05	1	81.00	1299.51	324.44	729.00	6561.00	2919.95	37.05	3.61	13.05	32.51	10.00	2.30	8.32	5.30
9.00	42.42	1	81.00	1799.77	381.81	729.00	6561.00	3436.32	43.42	3.77	14.22	33.94	10.00	2.30	8.68	5.30
7.00	35.41	1	49.00	1254.06	247.89	343.00	2401.00	1735.23	36.41	3.59	12.92	25.16	8.00	2.08	7.48	4.32
9.00	66.83	1	81.00	4465.64	601.43	729.00	6561.00	5412.86	67.83	4.22	17.78	37.95	10.00	2.30	9.71	5.30
9.00	123.66	1	81.00	15291.46	1112.93	729.00	6561.00	10016.35	124.66	4.83	23.29	43.43	10.00	2.30	11.11	5.30
9.00	42.25	1	81.00	1785.07	380.25	729.00	6561.00	3422.25	43.25	3.77	14.19	33.90	10.00	2.30	8.67	5.30
12.00	59.13	1	144.00	3496.40	709.56	1728.00	20736.00	8514.77	60.13	4.10	16.78	49.16	13.00	2.56	10.51	6.58
12.00	177.92	1	144.00	31655.85	2135.05	1728.00	20736.00	25620.61	178.92	5.19	26.90	62.24	13.00	2.56	13.30	6.58
7.00	31.06	1	49.00	965.01	217.45	343.00	2401.00	1522.17	32.06	3.47	12.03	24.27	8.00	2.08	7.21	4.32
6.00	26.51	1	36.00	702.70	159.05	216.00	1296.00	954.31	27.51	3.31	10.99	19.89	7.00	1.95	6.45	3.79
12.00	70.17	1	144.00	4923.22	841.99	1728.00	20736.00	10103.85	71.17	4.27	18.19	51.18	13.00	2.56	10.94	6.58
7.00	36.89	1	49.00	1360.99	258.24	343.00	2401.00	1807.69	37.89	3.63	13.21	25.44	8.00	2.08	7.56	4.32
6.00	30.64	1	36.00	938.97	183.86	216.00	1296.00	1103.14	31.64	3.45	11.93	20.73	7.00	1.95	6.72	3.79
7.00	88.47	1	49.00	7827.72	619.32	343.00	2401.00	4335.24	89.47	4.49	20.20	31.46	8.00	2.08	9.34	4.32
11.00	131.92	1	121.00	17402.16	1451.09	1331.00	14641.00	15961.99	132.92	4.89	23.91	53.79	12.00	2.48	12.15	6.17
5.00	15.31	1	25.00	234.26	76.53	125.00	625.00	382.64	16.31	2.79	7.79	13.96	6.00	1.79	5.00	3.21
6.00	20.24	1	36.00	409.61	121.43	216.00	1296.00	728.60	21.24	3.06	9.34	18.33	7.00	1.95	5.95	3.79
11.00	84.50	1	121.00	7139.46	929.45	1331.00	14641.00	10223.93	85.50	4.45	19.79	48.93	12.00	2.48	11.05	6.17
11.00	68.48	1	121.00	4689.62	753.29	1331.00	14641.00	8286.18	69.48	4.24	17.99	46.65	12.00	2.48	10.54	6.17
6.00	22.69	1	36.00	514.75	136.13	216.00	1296.00	816.77	23.69	3.16	10.02	18.99	7.00	1.95	6.16	3.79
7.00	41.42	1	49.00	1715.21	289.91	343.00	2401.00	2029.34	42.42	3.75	14.04	26.23	8.00	2.08	7.79	4.32
6.00	17.72	1	36.00	313.84	106.29	216.00	1296.00	637.75	18.72	2.93	8.58	17.58	7.00	1.95	5.70	3.79
12.00	164.12	1	144.00	26936.13	1969.47	1728.00	20736.00	23633.61	165.12	5.11	26.08	61.28	13.00	2.56	13.10	6.58
12.00	186.82	1	144.00	34900.78	2241.81	1728.00	20736.00	26901.72	187.82	5.24	27.41	62.83	13.00	2.56	13.43	6.58
7.00	46.53	1	49.00	2165.11	325.72	343.00	2401.00	2280.01	47.53	3.86	14.91	27.03	8.00	2.08	8.03	4.32
7.00	44.95	1	49.00	2020.70	314.67	343.00	2401.00	2202.66	45.95	3.83	14.65	26.79	8.00	2.08	7.96	4.32
7.00	42.84	1	49.00	1834.89	299.85	343.00	2401.00	2098.95	43.84	3.78	14.29	26.46	8.00	2.08	7.86	4.32
7.00	31.75	1	49.00	1007.88	222.23	343.00	2401.00	1555.61	32.75	3.49	12.17	24.42	8.00	2.08	7.25	4.32
12.00	62.21	1	144.00	3870.62	746.57	1728.00	20736.00	8958.86	63.21	4.15	17.19	49.76	13.00	2.56	10.64	6.58
12.00	128.86	1	144.00	16604.88	1546.32	1728.00	20736.00	18555.83	129.86	4.87	23.68	58.40	13.00	2.56	12.48	6.58

6.00	27.77	1	36.00	770.91	166.59	216.00	1296.00	999.55	28.77	3.36	11.28	20.16	7.00	1.95	6.54	3.79
7.00	20.73	1	49.00	429.77	145.12	343.00	2401.00	1015.82	21.73	3.08	9.48	21.55	8.00	2.08	6.40	4.32
7.00	16.97	1	49.00	288.09	118.81	343.00	2401.00	831.69	17.97	2.89	8.35	20.22	8.00	2.08	6.01	4.32
7.00	21.19	1	49.00	449.00	148.33	343.00	2401.00	1038.29	22.19	3.10	9.61	21.70	8.00	2.08	6.45	4.32
7.00	21.77	1	49.00	473.99	152.40	343.00	2401.00	1066.79	22.77	3.13	9.77	21.88	8.00	2.08	6.50	4.32
8.00	16.92	1	64.00	286.19	135.34	512.00	4096.00	1082.70	17.92	2.89	8.33	23.09	9.00	2.20	6.34	4.83
7.00	27.32	1	49.00	746.54	191.26	343.00	2401.00	1338.83	28.32	3.34	11.18	23.41	8.00	2.08	6.95	4.32
7.00	110.45	1	49.00	12199.20	773.15	343.00	2401.00	5412.05	111.45	4.71	22.22	33.00	8.00	2.08	9.80	4.32
7.00	67.71	1	49.00	4584.47	473.96	343.00	2401.00	3317.73	68.71	4.23	17.89	29.61	8.00	2.08	8.80	4.32
8.00	27.25	1	64.00	742.37	217.97	512.00	4096.00	1743.77	28.25	3.34	11.16	26.73	9.00	2.20	7.34	4.83
7.00	88.64	1	49.00	7857.60	620.50	343.00	2401.00	4343.51	89.64	4.50	20.21	31.47	8.00	2.08	9.35	4.32
7.00	38.26	1	49.00	1463.99	267.83	343.00	2401.00	1874.84	39.26	3.67	13.47	25.69	8.00	2.08	7.63	4.32
7.00	45.90	1	49.00	2106.57	321.28	343.00	2401.00	2248.97	46.90	3.85	14.81	26.94	8.00	2.08	8.00	4.32
7.00	28.01	1	49.00	784.40	196.05	343.00	2401.00	1372.35	29.01	3.37	11.34	23.57	8.00	2.08	7.00	4.32
6.00	37.60	1	36.00	1413.45	225.57	216.00	1296.00	1353.45	38.60	3.65	13.35	21.92	7.00	1.95	7.11	3.79
7.00	16.22	1	49.00	263.13	113.55	343.00	2401.00	794.84	17.22	2.85	8.10	19.92	8.00	2.08	5.92	4.32
7.00	18.10	1	49.00	327.71	126.72	343.00	2401.00	887.03	19.10	2.95	8.70	20.65	8.00	2.08	6.13	4.32
6.00	10.79	1	36.00	116.42	64.74	216.00	1296.00	388.44	11.79	2.47	6.09	14.80	7.00	1.95	4.80	3.79
8.00	28.81	1	64.00	829.94	230.47	512.00	4096.00	1843.75	29.81	3.39	11.52	27.16	9.00	2.20	7.46	4.83
9.00	44.72	1	81.00	2000.03	402.50	729.00	6561.00	3622.46	45.72	3.82	14.61	34.40	10.00	2.30	8.80	5.30
9.00	69.09	1	81.00	4773.96	621.84	729.00	6561.00	5596.60	70.09	4.25	18.06	38.25	10.00	2.30	9.79	5.30
6.00	33.97	1	36.00	1154.15	203.84	216.00	1296.00	1223.02	34.97	3.55	12.63	21.33	7.00	1.95	6.92	3.79
6.00	22.77	1	36.00	518.43	136.61	216.00	1296.00	819.69	23.77	3.17	10.04	19.01	7.00	1.95	6.17	3.79
10.00	121.68	1	100.00	14804.89	1216.75	1000.00	10000.00	12167.53	122.68	4.81	23.13	48.10	11.00	2.40	11.53	5.75
8.00	57.39	1	64.00	3293.82	459.13	512.00	4096.00	3673.07	58.39	4.07	16.54	32.54	9.00	2.20	8.94	4.83
10.00	65.05	1	100.00	4230.98	650.46	1000.00	10000.00	6504.60	66.05	4.19	17.56	41.90	11.00	2.40	10.05	5.75
10.00	66.15	1	100.00	4376.21	661.53	1000.00	10000.00	6615.29	67.15	4.21	17.70	42.07	11.00	2.40	10.09	5.75
11.00	137.27	1	121.00	18842.20	1509.94	1331.00	14641.00	16609.30	138.27	4.93	24.30	54.22	12.00	2.48	12.25	6.17
7.00	38.98	1	49.00	1519.44	272.86	343.00	2401.00	1910.02	39.98	3.69	13.60	25.82	8.00	2.08	7.67	4.32
11.00	94.35	1	121.00	8902.10	1037.86	1331.00	14641.00	11416.46	95.35	4.56	20.77	50.13	12.00	2.48	11.33	6.17
7.00	35.30	1	49.00	1245.81	247.07	343.00	2401.00	1729.51	36.30	3.59	12.90	25.14	8.00	2.08	7.47	4.32
6.00	29.15	1	36.00	849.56	174.88	216.00	1296.00	1049.30	30.15	3.41	11.60	20.44	7.00	1.95	6.63	3.79
5.00	23.33	1	25.00	544.44	116.67	125.00	625.00	583.33	24.33	3.19	10.19	15.96	6.00	1.79	5.72	3.21
6.00	48.42	1	36.00	2344.17	290.50	216.00	1296.00	1743.00	49.42	3.90	15.21	23.40	7.00	1.95	7.59	3.79
6.00	17.64	1	36.00	311.17	105.84	216.00	1296.00	635.04	18.64	2.93	8.56	17.55	7.00	1.95	5.69	3.79
6.00	68.88	1	36.00	4744.45	413.28	216.00	1296.00	2479.68	69.88	4.25	18.04	25.48	7.00	1.95	8.26	3.79
6.00	17.92	1	36.00	321.13	107.52	216.00	1296.00	645.12	18.92	2.94	8.64	17.64	7.00	1.95	5.72	3.79
6.00	17.64	1	36.00	311.17	105.84	216.00	1296.00	635.04	18.64	2.93	8.56	17.55	7.00	1.95	5.69	3.79
0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
15.00	350.00	1	225.00	122500.00	5250.00	3375.00	50625.00	78750.00	351.00	5.86	34.35	87.91	16.00	2.77	16.25	7.69
1199.00	**10441.08**	**138.00**	**11137.00**	**1380059.54**	**106622.94**	**109475.00**	**1133041.00**	**1148420.41**	**10579.08**	**557.56**	**2341.70**	**5056.13**	**1337.00**	**308.71**	**1274.05**	**702.19**
X	**Y**	**ni**	**x^2**	**y^2**	**xy**	**x^3**	**x^4**	**x^2y**	**Y=y+1**	**Y'=lnY**	**Y'^2**	**XY'**	**X=x+1**	**X'=lnX**	**X'Y'**	**X'^2**

N=	138.00
MediaX	8.69
MediaY	75.66

Var(X)	5.21	desv(x)	2.28
Var(Y)	4275.99	desv(y)	65.39
Cov(X,Y)	115.27		

REGRESION LINEAL

La recta de regresión es	Y=	-116.39	+	X*	22.10
El coeficiente de correlación lineal vale	R=	0.77			
El coeficiente de determinación vale	R^2=	0.60			

REGRESION PARABOLICA

	sum y	N	sum x	sumx^2	10441.08	138.00	1199.00	11137.00	10441.08
Matriz	sum xy	sumx	sumx^2	sumx^3	106622.94	1199.00	11137.00	109475.00	106622.94
	sumxy^2	sumx`2	sumx^3	sumx^4	1148420.41	11137.00	109475.00	1133041.00	1148420.41

delta1	6.7286E+10	a=	69.97

Determinante de la matriz=	961585752		

Término independiente	69.97	= a
Término en X	-23.13	= b
Término en X^2	2.56	= c

	10441.08	138.00	11137.00
delta2	106622.94	1199.00	109475.00
	1148420.41	11137.00	1133041.00
delta2	-2.2241E+10	b=	-23.13

delta3	2462231608	c=	2.56

La parábola de regresión es Y= a+bX+cX^2

El coeficiente de determinación vale R^2=1-var(e)/var(y)

var(e)=(sumY^2-a*sumY-b*sumXY-c*sumX^2Y)/N

var(e)= 1268.02413

Luego R^2=	0.70
R=	0.84

REGRESION EXPONENCIAL

Y = a * b^X ln Y= ln a + X * ln b Y' = a' + X * b'

N=	138.00
Media X	8.69
Media Y'	4.04

Var(X)	5.21	desv(X)	2.28
Var(Y')	0.64	desv(Y')	0.80
Cov(X,Y')	1.53		

Para obtener el ajuste exponencial, hacemos un ajuste lineal a los datos (X,lnY)=(X,Y')

La recta de regresión de Y' sobre X es:

	Y'=	a'	+	X*	b'
La recta de regresión es	Y'=	1.48	+	X*	0.29
El coeficiente de correlación lineal vale	R=	0.84			
El coeficiente de determinación vale	R^2=	0.70			

Luego la ecuación para la regresión exponencial se obtiene: Y=a*b^X

siendo a=e^a' y b=e^b'	Por tanto	a=	4.41
		b=	1.34

REGRESION POTENCIAL $Y = a * X^b$ $\ln Y = \ln a + b * \ln X$ $Y' = a' + b' * X'$

N=	138.00
Media X'	2.24
Media Y'	4.04

Var(X')	0.08	desv(x)	0.29
Var(Y')	0.64	desv(y)	0.80
Cov(X',Y')	0.19		

Para obtener el ajuste potencial, hacemos un ajuste lineal a los datos (ln X,ln Y)=(X' ,Y')

La recta de regresión de Y' sobre X' es:

	Y'=	a'	+	X' *	b'
La recta de regresión es	Y'=	-1.12	+	X' *	2.31
El coeficiente de correlación lineal vale	R=	0.83			
El coeficiente de determinación vale	R^2=	0.69			

Luego la ecuación para la regresión potencial se obtiene: Y=a*b^X

siendo a=e^a' y b=b' Por tanto

a=	0.32
b=	2.31

REGRESIONES				
VA	LINEAL	PARABOLICA	EXPONENCIAL	POTENCIAL
	UCS	UCS	UCS	UCS
0.0	-116.4	70.0	3.4	-0.7
1.0	-94.3	49.4	4.9	0.6
2.0	-72.2	34.0	6.9	3.1
3.0	-50.1	23.6	9.7	7.0
4.0	-28.0	18.4	13.3	12.3
5.0	-5.9	18.3	18.2	19.3
6.0	16.2	23.4	24.8	28.0
7.0	38.3	33.5	33.6	38.5
8.0	60.4	48.8	45.4	50.9
9.0	82.5	69.2	61.3	65.1
10.0	104.7	94.7	82.6	81.4
11.0	126.8	125.4	111.2	99.7
12.0	148.9	161.1	149.7	120.2
13.0	171.0	202.0	201.2	142.8
14.0	193.1	248.0	270.4	167.6
15.0	215.2	299.2	363.3	194.7

GNEISS

ID	TALADRO	MUESTRA	PROFUNDIDAD	LITOLOGIA	TIPO ALTERACION	GRADO ALTERACION	VALORACION	Is(50) (Mpa)	K50	UCS (Mpa)
1	1x-01	m1	10.70	GNEISS	FILITICA	C+	7.00	3.05	14.0	42.70
2	1x-01	m3	29.20	GNEISS	FILITICA	E	12.00	7.33	20.0	146.60
3	1x-01	m5	48.40	GNEISS	FILITICA	E	12.00	7.58	20.0	151.60
4	1x-05	m1	15.80	GNEISS	FILITICA	C	6.00	0.88	14.0	12.32
5	1x-06	m1	17.45	GNEISS	FILITICA	B+	4.00	0.59	14.0	8.26
6	ltg-01	8	78.94	GNEISS	CLORITICA	C	6.00	1.95	14.00	27.30
7	ltg-01		79.81	GNEISS	CLORITICA	D-	8.00			66.47
8	ltg-01	13	86.90	GNEISS	CLORITICA	C	6.00	1.19	14.00	16.67
9	ltg-01	15	96.25	GNEISS	CLORITICA	C	6.00	1.33	14.00	18.60
10	ltg-01	17	100.53	GNEISS	CLORITICA	D+	10.00	2.09	14.00	29.26
11	ltg-01	22	109.84	GNEISS	CLORITICA	D	9.00	3.12	14.00	43.70
12	ltg-01	26	128.25	GNEISS	CLORITICA	D+	10.00	1.08	14.00	15.10
13	ltg-01	26	128.25	GNEISS	CLORITICA	D+	10.00	1.60	14.00	22.41
14	ltg-01	26	128.25	GNEISS	CLORITICA	D+	10.00	1.34	14.00	18.76
15	ltg-01	44	260.85	GNEISS	CLORITICA	E	12.00	8.57	20.00	171.49
16	ltg-01	46	275.43	GNEISS	CLORITICA	E	12.00	6.88	20.00	137.64
17	ltg-02	22	90.37	GNEISS	CLORITICA	C	6.00	1.44	14.00	20.16
18	ltg-03	8	16.62	GNEISS	CLORITICA	C-	5.00	1.89	14.00	26.44
19	ltg-03	9	18.90	GNEISS	CLORITICA	C-	5.00	2.25	14.00	31.55
20	ltg-03	11	24.10	GNEISS	CLORITICA	C	6.00	4.05	16.00	64.73
21	ltg-03	12	24.93	GNEISS	CLORITICA	C	6.00	4.17	16.00	66.67
22	ltg-03	13	30.30	GNEISS	CLORITICA	C+	7.00	1.24	14.00	17.33
23	ltg-03	16	38.85	GNEISS	CLORITICA	C-	5.00	1.62	14.00	22.63
24	ltg-03	17	40.09	GNEISS	CLORITICA	D-	8.00	1.93	14.00	26.99
25	ltg-03	20	62.62	GNEISS	CLORITICA	D-	8.00	2.68	14.00	37.48
26	ltg-03	21	67.48	GNEISS	CLORITICA	D-	8.00	3.12	14.00	43.66
27	ltg-03	22	69.53	GNEISS	CLORITICA	C+	7.00	1.61	14.00	22.57
28	ltg-03	24	76.16	GNEISS	CLORITICA	D+	10.00	6.28	20.00	125.54
29	ltg-03	25	80.21	GNEISS	CLORITICA	D	9.00	6.08	20.00	121.54
30	ltg-03	26	90.91	GNEISS	CLORITICA	D+	10.00	5.16	26.00	134.14
31	ltg-03	27	94.31	GNEISS	CLORITICA	D-	8.00	2.03	14.00	28.40
32	ltg-03	2	104.68	GNEISS	CLORITICA	D-	8.00			22.23
33	ltg-03	30	109.71	GNEISS	CLORITICA	E	12.00	5.90	16.00	94.42
34	ltg-03	31	111.63	GNEISS	CLORITICA	E	12.00	5.28	16.00	84.49
35	ltg-04	8	33.65	GNEISS	CLORITICA	C+	7.00	3.05	14.00	42.72
36	ltg-04	11	63.62	GNEISS	CLORITICA	E	12.00	6.68	20.00	133.59
37	ltg-04	12	65.57	GNEISS	CLORITICA	E-	11.00	6.34	20.00	126.74
38	ltg-04	15	97.32	GNEISS	CLORITICA	C+	7.00	4.67	16.00	74.75
39	ltg-04	16	101.00	GNEISS	CLORITICA	D	9.00	6.22	20.00	124.32
40	ltg-04	20	109.58	GNEISS	CLORITICA	E-	11.00	5.64	16.00	90.16
41	ltg-04	23	115.11	GNEISS	CLORITICA	D+	10.00	4.64	16.00	74.24
42	ltg-04		117.18	GNEISS	CLORITICA	D-	8.00			33.01
43	ltg-04	26	122.42	GNEISS	CLORITICA	E-	11.00	5.47	16.00	87.46
44	ltg-04		123.17	GNEISS	CLORITICA	D-	8.00			34.41
45	ltg-04	28	126.92	GNEISS	CLORITICA	E	12.00	5.77	16.00	92.27
46	ltg-04	30	154.67	GNEISS	CLORITICA	D+	10.00	3.54	16.00	56.67
47	ltg-04	32	190.88	GNEISS	CLORITICA	E-	11.00	2.95	14.00	41.35
48	ltg-04	32	190.88	GNEISS	CLORITICA	E-	11.00	2.51	14.00	35.10

49	ltg-04	32	190.88	GNEISS	CLORITICA	E-	11.00	2.73	14.00	38.22
50	ltg-04	34	245.37	GNEISS	CLORITICA	C	6.00	2.16	14.00	30.30
51	ltg-06	5	119.43	GNEISS	CLORITICA	D-	8.00	3.85	16.00	61.57
52	ltg-06	7	140.20	GNEISS	CLORITICA	E-	11.00	7.93	20.00	158.58
53	ltg-06	16	208.92	GNEISS	CLORITICA	E-	11.00	7.96	20.00	159.23
54	ltg-06		284.62	GNEISS	CLORITICA	D+	10.00			56.07
55	ltg-06	30	299.90	GNEISS	CLORITICA	E	12.00	4.05	20.00	81.05
56	tmg-01	38	165.41	GNEISS	CLORITICA	D	9.00	3.23	14.00	45.25
57	tmg-01	39	166.51	GNEISS	CLORITICA	D	9.00	3.27	14.00	45.78
58	tmg-01	40	168.99	GNEISS	CLORITICA	D	9.00	5.99	16.00	95.90
59	tmg-01	44	183.16	GNEISS	CLORITICA	D	9.00	3.33	14.00	46.68
60	tmg-01	45	185.40	GNEISS	CLORITICA	D	9.00	5.89	16.00	94.20
61	tmg-01	46	187.39	GNEISS	CLORITICA	D	9.00	4.55	16.00	72.88
62	tmg-02	22	138.53	GNEISS	CLORITICA	E	12.00	8.69	20.00	173.84
63	tmg-02		143.37	GNEISS	CLORITICA	C+	7.00			46.60
64	tmg-02	24	143.62	GNEISS	CLORITICA	E	12.00	5.72	16.00	91.49
65	tmg-02	25	154.62	GNEISS	CLORITICA	D+	10.00	7.68	20.00	153.64
66	tmg-02	26	156.79	GNEISS	CLORITICA	D+	10.00	7.38	20.00	147.51
67	tmg-02	37	225.57	GNEISS	CLORITICA	E	12.00	4.34	16.00	69.46
68	tmg-02	47	269.20	GNEISS	CLORITICA	C	6.00	1.37	14.00	19.24
69	tmg-02	48	287.93	GNEISS	CLORITICA	E+	13.00	10.50	25.00	262.53
70	tmg-02	49	292.74	GNEISS	CLORITICA	E	12.00	7.75	20.00	154.94
71	tmg-02	50	297.78	GNEISS	CLORITICA	D-	8.00	5.92	16.00	94.73
72	tmg-03	5	76.63	GNEISS	CLORITICA	D	9.00	4.05	16.00	64.82
73	tmg-03	6	81.89	GNEISS	CLORITICA	D	9.00	4.08	16.00	65.30
74	tmg-03	8	97.82	GNEISS	CLORITICA	D	9.00	2.91	14.00	40.72
75	tmg-03		99.45	GNEISS	CLORITICA	C	6.00			34.35
76	tmg-03	9	104.02	GNEISS	CLORITICA	D	9.00	3.80	16.00	60.84
77	tmg-03	11	126.54	GNEISS	CLORITICA	C+	7.00	2.25	14.00	31.47
78	tmg-03	12	130.24	GNEISS	CLORITICA	D+	10.00	5.75	16.00	91.96
79	tmg-03	13	138.37	GNEISS	CLORITICA	C	6.00	2.25	14.00	31.49
80	tmg-03	14	153.20	GNEISS	CLORITICA	C	6.00	1.98	14.00	27.74
81	tmg-03	17	182.72	GNEISS	CLORITICA	C+	7.00	2.16	14.00	30.25
82	tmg-03	22	220.43	GNEISS	CLORITICA	C	6.00	2.04	14.00	28.53
83	tmg-03	23	224.73	GNEISS	CLORITICA	C+	7.00	2.97	14.00	41.58
84	tmg-03	24	233.76	GNEISS	CLORITICA	D-	8.00	3.35	14.00	46.89
85	tmg-03	27	249.90	GNEISS	CLORITICA	D	9.00	5.54	16.00	88.57
86	tmg-04	1	10.61	GNEISS	CLORITICA	D	9.00	3.87	16.00	61.97
87	tmg-04	14	82.97	GNEISS	CLORITICA	E-	11.00	4.34	16.00	69.42
88	tmg-04	15	87.10	GNEISS	CLORITICA	D+	10.00	4.63	16.00	74.13
89	tmg-04	16	87.20	GNEISS	CLORITICA	D+	10.00	4.93	16.00	78.91
90	tmg-04	17	92.48	GNEISS	CLORITICA	D+	10.00	3.65	16.00	58.33
91	tmg-04	18	96.88	GNEISS	CLORITICA	D	9.00	2.57	16.00	41.18
92	tmg-04	19	102.18	GNEISS	CLORITICA	D+	10.00	2.98	16.00	47.67
93	tmg-04	21	113.12	GNEISS	CLORITICA	E	12.00	5.78	16.00	92.54
94	tmg-04	22	119.03	GNEISS	CLORITICA	E	12.00	4.74	16.00	75.78
95	tmg-04	25	134.16	GNEISS	CLORITICA	D	9.00	2.94	14.00	41.15
96	tmg-04	26	138.31	GNEISS	CLORITICA	D-	8.00	4.08	16.00	65.29
97	tmg-04	27	141.70	GNEISS	CLORITICA	D	9.00	3.81	16.00	60.89
98	tmg-04	28	150.75	GNEISS	CLORITICA	E	12.00	4.95	16.00	79.18

99	tmg-04	29	156.10	GNEISS	CLORITICA	D	9.00	3.40	16.00	54.41
100	tmg-04	30	159.10	GNEISS	CLORITICA	E	12.00	5.71	16.00	91.42
101	tmg-04	32	167.47	GNEISS	CLORITICA	D+	10.00	2.50	14.00	35.06
102	tmg-04	33	173.81	GNEISS	CLORITICA	E-	11.00	5.02	16.00	80.35
103	tmg-04	35	198.83	GNEISS	CLORITICA	D+	10.00			110.60
104	tmg-04	37	202.89	GNEISS	CLORITICA	D	9.00	4.41	16.00	70.55
105	tmg-04	38	211.40	GNEISS	CLORITICA	D	9.00	2.88	14.00	40.30
106	tmg-04	39	221.72	GNEISS	CLORITICA	D	9.00	4.10	16.00	65.64
107	tmg-04	43	247.60	GNEISS	CLORITICA	E	12.00	4.71	16.00	75.30
108	tmg-05	25	246.06	GNEISS	CLORITICA	C	6.00	2.26	14.00	31.57
109	tmg-06	2	14.34	GNEISS	CLORITICA	D-	8.00	3.05	14.00	42.65
110	tmg-06	3	19.26	GNEISS	CLORITICA	C+	7.00	3.10	14.00	43.46
111	tmg-06	5	30.85	GNEISS	CLORITICA	D-	8.00	2.86	14.00	40.01
112	tmg-06	4	32.97	GNEISS	CLORITICA	C	6.00			14.47
113	tmg-06	7	38.52	GNEISS	CLORITICA	C+	7.00	2.13	14.00	29.82
114	tmg-06	11	125.49	GNEISS	CLORITICA	C	6.00	1.78	14.00	24.97
115	tmg-06	13	137.68	GNEISS	CLORITICA	C-	5.00	1.51	14.00	21.13
						A	0.00			0.00
						F	15.00			275.00

PROCESO GNEISS

X	Y	ni	x^2	y^2	xy	x^3	x^4	x^2y	Y=y+1	Y'=lnY	Y'^2	xY'	X=x+1	X'=lnX	X'Y'	X'^2
7.00	42.70	1	49.00	1823.29	298.90	343.00	2401.00	2092.30	43.70	3.78	14.27	26.44	8.00	2.08	7.85	4.32
12.00	146.60	1	144.00	21491.56	1759.20	1728.00	20736.00	21110.40	147.60	4.99	24.95	59.93	13.00	2.56	12.81	6.58
12.00	151.60	1	144.00	22982.56	1819.20	1728.00	20736.00	21830.40	152.60	5.03	25.28	60.33	13.00	2.56	12.90	6.58
6.00	12.32	1	36.00	151.78	73.92	216.00	1296.00	443.52	13.32	2.59	6.70	15.54	7.00	1.95	5.04	3.79
4.00	8.26	1	16.00	68.23	33.04	64.00	256.00	132.16	9.26	2.23	4.95	8.90	5.00	1.61	3.58	2.59
6.00	27.30	1	36.00	745.29	163.80	216.00	1296.00	982.80	28.30	3.34	11.17	20.06	7.00	1.95	6.50	3.79
8.00	66.47	1	64.00	4418.26	531.76	512.00	4096.00	4254.08	67.47	4.21	17.74	33.69	9.00	2.20	9.25	4.83
6.00	16.67	1	36.00	277.96	100.03	216.00	1296.00	600.19	17.67	2.87	8.25	17.23	7.00	1.95	5.59	3.79
6.00	18.60	1	36.00	345.96	111.60	216.00	1296.00	669.60	19.60	2.98	8.85	17.85	7.00	1.95	5.79	3.79
10.00	29.26	1	100.00	855.89	292.56	1000.00	10000.00	2925.55	30.26	3.41	11.63	34.10	11.00	2.40	8.18	5.75
9.00	43.70	1	81.00	1910.04	393.34	729.00	6561.00	3540.02	44.70	3.80	14.44	34.20	10.00	2.30	8.75	5.30
10.00	15.10	1	100.00	228.12	151.04	1000.00	10000.00	1510.37	16.10	2.78	7.72	27.79	11.00	2.40	6.66	5.75
10.00	22.41	1	100.00	502.30	224.12	1000.00	10000.00	2241.20	23.41	3.15	9.94	31.53	11.00	2.40	7.56	5.75
10.00	18.76	1	100.00	351.86	187.58	1000.00	10000.00	1875.79	19.76	2.98	8.90	29.84	11.00	2.40	7.15	5.75
12.00	171.49	1	144.00	29407.29	2057.83	1728.00	20736.00	24693.92	172.49	5.15	26.53	61.80	13.00	2.56	13.21	6.58
12.00	137.64	1	144.00	18943.85	1651.64	1728.00	20736.00	19819.68	138.64	4.93	24.32	59.18	13.00	2.56	12.65	6.58
6.00	20.16	1	36.00	406.34	120.95	216.00	1296.00	725.68	21.16	3.05	9.31	18.31	7.00	1.95	5.94	3.79
5.00	26.44	1	25.00	699.29	132.22	125.00	625.00	661.10	27.44	3.31	10.97	16.56	6.00	1.79	5.93	3.21
5.00	31.55	1	25.00	995.27	157.74	125.00	625.00	788.70	32.55	3.48	12.13	17.41	6.00	1.79	6.24	3.21
6.00	64.73	1	36.00	4190.37	388.40	216.00	1296.00	2330.39	65.73	4.19	17.52	25.11	7.00	1.95	8.14	3.79
6.00	66.67	1	36.00	4445.41	400.04	216.00	1296.00	2400.26	67.67	4.21	17.76	25.29	7.00	1.95	8.20	3.79
7.00	17.33	1	49.00	300.36	121.32	343.00	2401.00	849.21	18.33	2.91	8.46	20.36	8.00	2.08	6.05	4.32
5.00	22.63	1	25.00	512.21	113.16	125.00	625.00	565.80	23.63	3.16	10.00	15.81	6.00	1.79	5.67	3.21
8.00	26.99	1	64.00	728.64	215.95	512.00	4096.00	1727.57	27.99	3.33	11.10	26.66	9.00	2.20	7.32	4.83
8.00	37.48	1	64.00	1405.00	299.87	512.00	4096.00	2398.94	38.48	3.65	13.32	29.20	9.00	2.20	8.02	4.83
8.00	43.66	1	64.00	1906.55	349.31	512.00	4096.00	2794.50	44.66	3.80	14.43	30.39	9.00	2.20	8.35	4.83
7.00	22.57	1	49.00	509.62	158.02	343.00	2401.00	1106.16	23.57	3.16	9.99	22.12	8.00	2.08	6.57	4.32
10.00	125.54	1	100.00	15759.16	1255.36	1000.00	10000.00	12553.55	126.54	4.84	23.43	48.41	11.00	2.40	11.61	5.75
9.00	121.54	1	81.00	14772.68	1093.89	729.00	6561.00	9844.97	122.54	4.81	23.12	43.28	10.00	2.30	11.07	5.30
10.00	134.14	1	100.00	17993.94	1341.41	1000.00	10000.00	13414.15	135.14	4.91	24.07	49.06	11.00	2.40	11.76	5.75
8.00	28.40	1	64.00	806.37	227.17	512.00	4096.00	1817.39	29.40	3.38	11.43	27.05	9.00	2.20	7.43	4.83
8.00	22.23	1	64.00	494.17	177.84	512.00	4096.00	1422.72	23.23	3.15	9.89	25.16	9.00	2.20	6.91	4.83
12.00	94.42	1	144.00	8914.67	1133.01	1728.00	20736.00	13596.12	95.42	4.56	20.78	54.70	13.00	2.56	11.69	6.58
12.00	84.49	1	144.00	7137.74	1013.82	1728.00	20736.00	12165.86	85.49	4.45	19.79	53.38	13.00	2.56	11.41	6.58
7.00	42.72	1	49.00	1825.16	299.05	343.00	2401.00	2093.37	43.72	3.78	14.27	26.44	8.00	2.08	7.86	4.32
12.00	133.59	1	144.00	17846.11	1603.07	1728.00	20736.00	19236.87	134.59	4.90	24.03	58.83	13.00	2.56	12.57	6.58
11.00	126.74	1	121.00	16061.89	1394.09	1331.00	14641.00	15335.00	127.74	4.85	23.52	53.35	12.00	2.48	12.05	6.17
7.00	74.75	1	49.00	5587.42	523.24	343.00	2401.00	3662.70	75.75	4.33	18.73	30.29	8.00	2.08	9.00	4.32
9.00	124.32	1	81.00	15455.76	1118.89	729.00	6561.00	10070.02	125.32	4.83	23.34	43.48	10.00	2.30	11.12	5.30
11.00	90.16	1	121.00	8129.09	991.78	1331.00	14641.00	10909.54	91.16	4.51	20.36	49.64	12.00	2.48	11.21	6.17
10.00	74.24	1	100.00	5511.15	742.37	1000.00	10000.00	7423.71	75.24	4.32	18.67	43.21	11.00	2.40	10.36	5.75
8.00	33.01	1	64.00	1089.66	264.08	512.00	4096.00	2112.64	34.01	3.53	12.44	28.21	9.00	2.20	7.75	4.83
11.00	87.46	1	121.00	7648.74	962.03	1331.00	14641.00	10582.30	88.46	4.48	20.09	49.31	12.00	2.48	11.14	6.17
8.00	34.41	1	64.00	1184.05	275.28	512.00	4096.00	2202.24	35.41	3.57	12.72	28.54	9.00	2.20	7.84	4.83
12.00	92.27	1	144.00	8513.16	1107.20	1728.00	20736.00	13286.42	93.27	4.54	20.57	54.43	13.00	2.56	11.63	6.58
10.00	56.67	1	100.00	3211.37	566.69	1000.00	10000.00	5666.90	57.67	4.05	16.44	40.55	11.00	2.40	9.72	5.75
11.00	41.35	1	121.00	1709.72	454.84	1331.00	14641.00	5003.21	42.35	3.75	14.03	41.21	12.00	2.48	9.31	6.17
11.00	35.10	1	121.00	1231.90	386.08	1331.00	14641.00	4246.91	36.10	3.59	12.86	39.45	12.00	2.48	8.91	6.17

11.00	38.22	1	121.00	1461.04	420.46	1331.00	14641.00	4625.06	39.22	3.67	13.46	40.36	12.00	2.48	9.12	6.17
6.00	30.30	1	36.00	917.98	181.79	216.00	1296.00	1090.73	31.30	3.44	11.86	20.66	7.00	1.95	6.70	3.79
8.00	61.57	1	64.00	3791.32	492.59	512.00	4096.00	3940.72	62.57	4.14	17.11	33.09	9.00	2.20	9.09	4.83
11.00	158.58	1	121.00	25148.73	1744.42	1331.00	14641.00	19188.61	159.58	5.07	25.73	55.80	12.00	2.48	12.60	6.17
11.00	159.23	1	121.00	25354.07	1751.53	1331.00	14641.00	19266.78	160.23	5.08	25.77	55.84	12.00	2.48	12.61	6.17
10.00	56.07	1	100.00	3143.84	560.70	1000.00	10000.00	5607.00	57.07	4.04	16.36	40.44	11.00	2.40	9.70	5.75
12.00	81.05	1	144.00	6568.97	972.59	1728.00	20736.00	11671.08	82.05	4.41	19.42	52.89	13.00	2.56	11.30	6.58
9.00	45.25	1	81.00	2047.80	407.27	729.00	6561.00	3665.46	46.25	3.83	14.70	34.51	10.00	2.30	8.83	5.30
9.00	45.78	1	81.00	2095.86	412.03	729.00	6561.00	3708.23	46.78	3.85	14.79	34.61	10.00	2.30	8.85	5.30
9.00	95.90	1	81.00	9197.30	863.12	729.00	6561.00	7768.11	96.90	4.57	20.92	41.16	10.00	2.30	10.53	5.30
9.00	46.68	1	81.00	2178.74	420.09	729.00	6561.00	3780.83	47.68	3.86	14.93	34.78	10.00	2.30	8.90	5.30
9.00	94.20	1	81.00	8873.91	847.81	729.00	6561.00	7630.32	95.20	4.56	20.76	41.00	10.00	2.30	10.49	5.30
9.00	72.88	1	81.00	5310.97	655.89	729.00	6561.00	5902.99	73.88	4.30	18.51	38.72	10.00	2.30	9.91	5.30
12.00	173.84	1	144.00	30219.58	2086.05	1728.00	20736.00	25032.64	174.84	5.16	26.67	61.97	13.00	2.56	13.25	6.58
7.00	46.60	1	49.00	2171.56	326.20	343.00	2401.00	2283.40	47.60	3.86	14.92	27.04	8.00	2.08	8.03	4.32
12.00	91.49	1	144.00	8371.02	1097.92	1728.00	20736.00	13175.03	92.49	4.53	20.49	54.33	13.00	2.56	11.61	6.58
10.00	153.64	1	100.00	23604.34	1536.37	1000.00	10000.00	15363.70	154.64	5.04	25.41	50.41	11.00	2.40	12.09	5.75
10.00	147.51	1	100.00	21759.63	1475.11	1000.00	10000.00	14751.15	148.51	5.00	25.01	50.01	11.00	2.40	11.99	5.75
12.00	69.46	1	144.00	4825.30	833.57	1728.00	20736.00	10002.87	70.46	4.26	18.11	51.06	13.00	2.56	10.91	6.58
6.00	19.24	1	36.00	370.25	115.45	216.00	1296.00	692.70	20.24	3.01	9.05	18.05	7.00	1.95	5.85	3.79
13.00	262.53	1	169.00	68922.32	3412.90	2197.00	28561.00	44367.67	263.53	5.57	31.07	72.46	14.00	2.64	14.71	6.96
12.00	154.94	1	144.00	24005.20	1859.23	1728.00	20736.00	22310.80	155.94	5.05	25.50	60.59	13.00	2.56	12.95	6.58
8.00	94.73	1	64.00	8973.38	757.82	512.00	4096.00	6062.59	95.73	4.56	20.81	36.49	9.00	2.20	10.02	4.83
9.00	64.82	1	81.00	4201.07	583.34	729.00	6561.00	5250.07	65.82	4.19	17.53	37.68	10.00	2.30	9.64	5.30
9.00	65.30	1	81.00	4264.48	587.73	729.00	6561.00	5289.54	66.30	4.19	17.59	37.75	10.00	2.30	9.66	5.30
9.00	40.72	1	81.00	1657.92	366.46	729.00	6561.00	3298.12	41.72	3.73	13.92	33.58	10.00	2.30	8.59	5.30
6.00	34.35	1	36.00	1179.92	206.10	216.00	1296.00	1236.60	35.35	3.57	12.71	21.39	7.00	1.95	6.94	3.79
9.00	60.84	1	81.00	3702.07	547.60	729.00	6561.00	4928.41	61.84	4.12	17.01	37.12	10.00	2.30	9.50	5.30
7.00	31.47	1	49.00	990.20	220.27	343.00	2401.00	1541.91	32.47	3.48	12.11	24.36	8.00	2.08	7.24	4.32
10.00	91.96	1	100.00	8456.77	919.61	1000.00	10000.00	9196.07	92.96	4.53	20.54	45.32	11.00	2.40	10.87	5.75
6.00	31.49	1	36.00	991.72	188.95	216.00	1296.00	1133.70	32.49	3.48	12.12	20.89	7.00	1.95	6.77	3.79
6.00	27.74	1	36.00	769.50	166.44	216.00	1296.00	998.63	28.74	3.36	11.28	20.15	7.00	1.95	6.53	3.79
7.00	30.25	1	49.00	915.03	211.75	343.00	2401.00	1482.22	31.25	3.44	11.85	24.09	8.00	2.08	7.16	4.32
6.00	28.53	1	36.00	813.75	171.16	216.00	1296.00	1026.95	29.53	3.39	11.46	20.31	7.00	1.95	6.59	3.79
7.00	41.58	1	49.00	1728.97	291.07	343.00	2401.00	2037.46	42.58	3.75	14.07	26.26	8.00	2.08	7.80	4.32
8.00	46.89	1	64.00	2198.43	375.10	512.00	4096.00	3000.79	47.89	3.87	14.97	30.95	9.00	2.20	8.50	4.83
9.00	88.57	1	81.00	7844.47	797.12	729.00	6561.00	7174.09	89.57	4.50	20.21	40.46	10.00	2.30	10.35	5.30
9.00	61.97	1	81.00	3839.87	557.70	729.00	6561.00	5019.30	62.97	4.14	17.16	37.28	10.00	2.30	9.54	5.30
11.00	69.42	1	121.00	4819.78	763.67	1331.00	14641.00	8400.38	70.42	4.25	18.10	46.80	12.00	2.48	10.57	6.17
10.00	74.13	1	100.00	5495.70	741.33	1000.00	10000.00	7413.30	75.13	4.32	18.66	43.19	11.00	2.40	10.36	5.75
10.00	78.91	1	100.00	6226.27	789.07	1000.00	10000.00	7890.67	79.91	4.38	19.19	43.81	11.00	2.40	10.50	5.75
10.00	58.33	1	100.00	3402.58	583.32	1000.00	10000.00	5833.16	59.33	4.08	16.67	40.83	11.00	2.40	9.79	5.75
9.00	41.18	1	81.00	1696.09	370.65	729.00	6561.00	3335.87	42.18	3.74	14.00	33.68	10.00	2.30	8.62	5.30
10.00	47.67	1	100.00	2272.11	476.67	1000.00	10000.00	4766.66	48.67	3.88	15.09	38.85	11.00	2.40	9.32	5.75
12.00	92.54	1	144.00	8564.50	1110.54	1728.00	20736.00	13326.42	93.54	4.54	20.60	54.46	13.00	2.56	11.64	6.58
12.00	75.78	1	144.00	5742.49	909.35	1728.00	20736.00	10912.21	76.78	4.34	18.84	52.09	13.00	2.56	11.13	6.58
9.00	41.15	1	81.00	1693.30	370.35	729.00	6561.00	3333.13	42.15	3.74	14.00	33.67	10.00	2.30	8.61	5.30
8.00	65.29	1	64.00	4262.31	522.29	512.00	4096.00	4178.33	66.29	4.19	17.59	33.55	9.00	2.20	9.22	4.83
9.00	60.89	1	81.00	3707.74	548.02	729.00	6561.00	4932.19	61.89	4.13	17.02	37.13	10.00	2.30	9.50	5.30
12.00	79.18	1	144.00	6269.27	950.15	1728.00	20736.00	11401.74	80.18	4.38	19.22	52.61	13.00	2.56	11.25	6.58

9.00	54.41	1	81.00	2960.91	489.73	729.00	6561.00	4407.55	55.41	4.01	16.12	36.13	10.00	2.30	9.24	5.30
12.00	91.42	1	144.00	8358.25	1097.08	1728.00	20736.00	13164.98	92.42	4.53	20.49	54.32	13.00	2.56	11.61	6.58
10.00	35.06	1	100.00	1229.38	350.63	1000.00	10000.00	3506.25	36.06	3.59	12.85	35.85	11.00	2.40	8.60	5.75
11.00	80.35	1	121.00	6456.08	883.85	1331.00	14641.00	9722.32	81.35	4.40	19.35	48.39	12.00	2.48	10.93	6.17
10.00	110.60	1	100.00	12232.36	1106.00	1000.00	10000.00	11060.00	111.60	4.71	22.23	47.15	11.00	2.40	11.31	5.75
9.00	70.55	1	81.00	4977.16	634.94	729.00	6561.00	5714.47	71.55	4.27	18.24	38.43	10.00	2.30	9.83	5.30
9.00	40.30	1	81.00	1624.10	362.70	729.00	6561.00	3264.31	41.30	3.72	13.84	33.49	10.00	2.30	8.57	5.30
9.00	65.64	1	81.00	4308.43	590.75	729.00	6561.00	5316.73	66.64	4.20	17.63	37.79	10.00	2.30	9.67	5.30
12.00	75.30	1	144.00	5669.89	903.58	1728.00	20736.00	10843.01	76.30	4.33	18.79	52.02	13.00	2.56	11.12	6.58
6.00	31.57	1	36.00	996.80	189.43	216.00	1296.00	1136.59	32.57	3.48	12.13	20.90	7.00	1.95	6.78	3.79
8.00	42.65	1	64.00	1818.65	341.16	512.00	4096.00	2729.32	43.65	3.78	14.26	30.21	9.00	2.20	8.30	4.83
7.00	43.46	1	49.00	1888.72	304.22	343.00	2401.00	2129.51	44.46	3.79	14.40	26.56	8.00	2.08	7.89	4.32
8.00	40.01	1	64.00	1600.64	320.06	512.00	4096.00	2560.51	41.01	3.71	13.79	29.71	9.00	2.20	8.16	4.83
6.00	14.47	1	36.00	209.38	86.82	216.00	1296.00	520.92	15.47	2.74	7.50	16.43	7.00	1.95	5.33	3.79
7.00	29.82	1	49.00	889.52	208.77	343.00	2401.00	1461.41	30.82	3.43	11.75	24.00	8.00	2.08	7.13	4.32
6.00	24.97	1	36.00	623.50	149.82	216.00	1296.00	898.92	25.97	3.26	10.61	19.54	7.00	1.95	6.34	3.79
5.00	21.13	1	25.00	446.41	105.64	125.00	625.00	528.21	22.13	3.10	9.59	15.48	6.00	1.79	5.55	3.21
0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
15.00	275.00	1	225.00	75625.00	4125.00	3375.00	50625.00	61875.00	276.00	5.62	31.59	84.31	16.00	2.77	15.58	7.69
1041.00	**7844.00**	**117.00**	**9905.00**	**800421.78**	**79044.60**	**98985.00**	**1030433.00**	**832783.29**	**7961.00**	**464.86**	**1915.28**	**4298.88**	**1158.00**	**263.79**	**1070.45**	**606.13**
X	**Y**	**ni**	**x^2**	**y^2**	**xy**	**x^3**	**x^4**	**x^2y**	**Y=y+1**	**Y'=lnY**	**Y'^2**	**XY'**	**X=x+1**	**X'=lnX**	**X'Y'**	**X'^2**

N=	117.00
MediaX	8.90
MediaY	67.04

Var(X)	5.49	desv(x)	2.34
Var(Y)	2346.49	desv(y)	48.44
Cov(X,Y)	79.09		

REGRESION LINEAL

La recta de regresión es	Y=	-61.04	+ X*	14.40
El coeficiente de correlación lineal vale	R=	0.70		
El coeficiente de determinación vale	R^2=	0.49		

REGRESION PARABOLICA

Matriz	sum y	N	sum x	sumx^2	7844.00	117.00	1041.00	9905.00	7844.00
	sum xy	sumx	sumx^2	sumx^3	79044.60	1041.00	9905.00	98985.00	79044.60
	sumxy^2	sumx`2	sumx^3	sumx^4	832783.29	9905.00	98985.00	1030433.00	832783.29

delta1	2.2182E+10	a=	34.51

Determinante de la matriz=			642711232

Término independiente	34.51	= a
Término en X	-10.20	= b
Término en X^2	1.46	= c

delta2	7844.00	117.00	9905.00
	79044.60	1041.00	98985.00
	832783.29	9905.00	1030433.00

delta2	-6556410454	b=	-10.20

delta3	936022308	c=	1.46

La parábola de regresión es | Y= a+bX+cX^2

El coeficiente de determinación vale

R^2=1-var(e)/var(y)

var(e)=(sumY^2-a*sumY-b*sumXY-c*sumX^2Y)/N

var(e)= 1053.04602

Luego R^2=	0.55
R=	0.74

REGRESION EXPONENCIAL Y = a * b^X ln Y= ln a + X * ln b Y' = a' + X * b'

N=	117.00	Var(X)	5.49	desv(X)	2.34
Media X	8.90	Var(Y')	0.58	desv(Y')	0.76
Media Y'	3.97	Cov(X,Y')	1.39		

Para obtener el ajuste exponencial, hacemos un ajuste lineal a los datos (X,lnY)=(X,Y')

La recta de regresión de Y' sobre X es:

	Y'=	a'	+	X*	b'
La recta de regresión es	Y'=	1.72	+	X*	0.25
El coeficiente de correlación lineal vale	R=	0.78			
El coeficiente de determinación vale	R^2=	0.60			

Luego la ecuación para la regresión exponencial se obtiene: Y=a*b^X

siendo a=e^a' y b=e^b' Por tanto

a=	5.58
b=	1.29

REGRESION POTENCIAL Y = a * X^b ln Y= ln a + b * ln X Y' = a' + b' * X'

N=	117.00	Var(X')	0.10	desv(x)	0.31
Media X'	2.25	Var(Y')	0.58	desv(y)	0.76
Media Y'	3.97	Cov(X',Y')	0.19		

Para obtener el ajuste potencial, hacemos un ajuste lineal a los datos (ln X,ln Y)=(X' ,Y')

La recta de regresión de Y' sobre X' es:

	Y'=	a'	+	X' *	b'
La recta de regresión es	Y'=	-0.46	+	X' *	1.97
El coeficiente de correlación lineal vale	R=	0.80			
El coeficiente de determinación vale	R^2=	0.64			

Luego la ecuación para la regresión potencial se obtiene: Y=a*b^X

siendo a=e^a' y b=b' Por tanto

a=	0.63
b=	1.97

REGRESIONES				
VA	LINEAL	PARABOLICA	EXPONENCIAL	POTENCIAL
	UCS	UCS	UCS	UCS
0.0	-61.0	34.5	4.6	-0.4
1.0	-46.6	25.8	6.2	1.5
2.0	-32.3	19.9	8.3	4.5
3.0	-17.9	17.0	10.9	8.6
4.0	-3.5	17.0	14.4	14.0
5.0	10.9	19.9	18.8	20.4
6.0	25.3	25.7	24.5	28.0
7.0	39.7	34.5	31.9	36.7
8.0	54.1	46.1	41.3	46.5
9.0	68.5	60.7	53.6	57.4
10.0	82.9	78.1	69.3	69.4
11.0	97.3	98.5	89.5	82.6
12.0	111.7	121.8	115.6	96.8
13.0	126.1	148.0	149.2	112.2
14.0	140.5	177.1	192.5	128.6
15.0	154.9	209.2	248.3	146.1

ROCAS ARENISCA CUARCITA

ID	TALADRO	MUESTRA	PROFUNDIDAD	LITOLOGIA	TIPO ALTERACION	GRADO ALTERACION	VALORACION	Is(50) (Mpa)	K50	UCS (Mpa)
1	DH-101		6.90	ARENISCA	FILITICA	B	3.00	0.46	14.00	6.44
2	DH-102		8.28	ARENISCA	FILITICA	B	3.00	0.28	14.00	3.92
3	DH-103		8.79	CUARCITA	FILITICA	D-	8.00	1.14	14.00	15.96
4	DH-201		10.16	ARENISCA	FILITICA	C+	7.00	0.46	14.00	6.44
5	DH-202		5.25	ARENISCA	FILITICA	B+	4.00	0.90	14.00	12.60
6	DH-301		10.48	ARENISCA	FILITICA	C+	7.00	0.78	14.00	10.92
7	DH-302		6.69	ARENISCA	FILITICA	C+	7.00	2.06	14.00	28.84
8	GN-10		6.26	CUARCITA	FILITICA	E	12.00	8.03	20.00	160.60
9	GN-10		22.57	CUARCITA	FILITICA	E+	13.00	13.84	25.00	346.00
10	GN-10		41.96	CUARCITA	FILITICA	C	6.00	7.20	20.00	144.00
11	GN-11		37.20	CUARCITA	FILITICA	D	9.00	4.14	16.00	66.24
12	GN-11		48.20	CUARCITA	FILITICA	E	12.00	7.71	20.00	154.20
13	NF-01		10.30	ARENISCA	FILITICA	B+	4.00	1.56	14.00	21.84
14	NF-01		21.77	ARENISCA	FILITICA	B+	4.00	2.83	14.00	39.62
15	NF-01		34.05	ARENISCA	FILITICA	B	3.00	0.86	14.00	12.04
16	FAC-01		8.10	CUARCITA	FILITICA	E-	11.00	9.78	20.00	195.60
17	FAC-01		21.40	CUARCITA	FILITICA	D	9.00	5.29	16.00	84.64
18	FAC-01		47.78	CUARCITA	FILITICA	D	9.00	3.62	16.00	57.92
19	FAC-02		7.86	ARENISCA	FILITICA	B+	4.00	3.06	14.00	42.84
20	FAC-02		19.35	CUARCITA	FILITICA	E	12.00	11.07	25.00	276.75
21	FAC-02		41.55	CUARCITA	FILITICA	F-	14.00	13.88	25.00	347.00
22	FAC-06		8.85	ARENISCA	FILITICA	C	6.00	4.02	16.00	64.32
23	FAC-06		34.48	ARENISCA	FILITICA	C+	7.00	4.17	16.00	66.72
24	FAC-06		56.82	ARENISCA	FILITICA	E	12.00	8.35	20.00	167.00
25	PIT-01		11.64	ARENISCA	POTASICA	C	6.00	1.52	14.00	21.28
26	PIT-01		18.25	ARENISCA	POTASICA	C	6.00	1.52	14.00	21.28
27	PIT-01		97.17	ARENISCA	POTASICA	C	6.00	2.38	14.00	33.32
28	PIT-01		94.45	ARENISCA	POTASICA	C+	7.00	1.38	14.00	19.32
29	PIT-01		150.67	CUARCITA	POTASICA	C	6.00	5.54	16.00	88.64
30	PIT-01		151.53	CUARCITA	POTASICA	C	6.00	2.38	14.00	33.32
31	PIT-01		201.49	ARENISCA	POTASICA	C	6.00	5.26	16.00	84.16
32	PIT-01		203.32	ARENISCA	POTASICA	C	6.00	6.42	20.00	128.40
33	PIT-02		56.60	ARENISCA	POTASICA	C	6.00	2.02	14.00	28.28
34	PIT-02		58.66	ARENISCA	POTASICA	C	6.00	3.39	14.00	47.46
35	PIT-02		103.60	ARENISCA	POTASICA	C	6.00	1.47	14.00	20.58
36	PIT-02		104.00	CUARCITA	POTASICA	C	6.00	6.09	20.00	121.80
37	HYD-02		69.14	ARENISCA	POTASICA	C	6.00	3.23	14.00	45.22
38	HYD-02		69.28	ARENISCA	POTASICA	C	6.00	3.59	16.00	57.44
39	GL07-400		13.90	ARENISCA	FILITICA	D	9.00	1.66	14.00	23.24
40	GL07-400		23.30	ARENISCA	FILITICA	D	9.00	2.22	14.00	31.08
41	GL07-400		34.60	ARENISCA	FILITICA	D+	10.00	4.80	16.00	76.80
42	GL07-401		21.83	CUARCITA	FILITICA	C	6.00	3.41	14.00	47.74
43	GL07-401		69.72	CUARCITA	FILITICA	C	6.00	3.77	16.00	60.32
44	GL07-402		16.35	ARENISCA	FILITICA	E+	13.00	6.19	20.00	123.80
45	GL07-402		24.20	ARENISCA	FILITICA	E	12.00	1.49	14.00	20.86
46	GL07-402		37.10	ARENISCA	FILITICA	D	9.00	5.32	16.00	85.12
47	GL07-501		4.24	ARENISCA	FILITICA	D-	8.00	2.37	14.00	33.18
48	GL07-701		7.15	ARENISCA	FILITICA	C	6.00	0.79	14.00	11.06
49	GL07-701		85.35	CUARCITA	FILITICA	D	9.00	5.41	16.00	86.56
50	TS-01		6.50	CUARCITA	FILITICA	C-	5.00	4.49	16.00	107.76

51	TS-01		17.58	CUARCITA	FILITICA	E+	13.00	12.45	25.00	298.82
52	TS-01		18.87	CUARCITA	FILITICA	E-	11.00	6.41	20.00	153.72
53	TS-01		18.88	CUARCITA	FILITICA	E-	11.00	4.30	16.00	103.19
54	TS-01		28.31	CUARCITA	FILITICA	E+	13.00	7.17	20.00	172.18
55	TS-01		28.68	CUARCITA	FILITICA	E+	13.00	5.66	16.00	135.74
56	TS-01		43.74	CUARCITA	FILITICA	E+	13.00	9.51	20.00	228.13
57	TS-01		43.82	CUARCITA	FILITICA	E+	13.00	2.96	14.00	70.99
58	TS-01		44.94	CUARCITA	FILITICA	E+	13.00	10.21	25.00	244.97
59	TS-01		54.46	CUARCITA	FILITICA	F-	14.00	11.95	25.00	286.70
60	TS-01		54.91	CUARCITA	FILITICA	F-	14.00	15.00	25.00	359.89
61	TS-01		61.27	CUARCITA	FILITICA	F-	14.00	8.81	20.00	211.49
62	TS-01		61.68	CUARCITA	FILITICA	E	12.00	11.72	25.00	281.36
63	TS-01		94.27	ARENISCA	FILITICA	E	12.00	8.61	20.00	206.52
64	TS-01		95.39	ARENISCA	FILITICA	E+	13.00	5.92	16.00	142.18
65	TS-02		21.50	CUARCITA	FILITICA	D	9.00	5.55	16.00	133.17
66	TS-02		21.97	CUARCITA	FILITICA	D	9.00	4.12	16.00	98.94
67	TS-02		31.77	CUARCITA	FILITICA	D	9.00	5.13	16.00	123.02
68	TS-02		48.45	CUARCITA	FILITICA	D	9.00	4.27	16.00	102.52
69	TS-02		48.55	CUARCITA	FILITICA	D	9.00	6.38	20.00	153.17
70	TS-02		59.75	CUARCITA	FILITICA	E-	11.00	9.20	20.00	220.91
71	TS-02		59.94	CUARCITA	FILITICA	E-	11.00	8.70	20.00	208.90
72	TS-02		83.71	CUARCITA	FILITICA	E	12.00	8.12	20.00	194.98
73	TS-02		84.91	CUARCITA	FILITICA	D+	10.00	7.98	20.00	191.46
74	TS-02		102.61	CUARCITA	FILITICA	E+	13.00	9.22	20.00	221.27
75	TS-02		102.69	CUARCITA	FILITICA	E+	13.00	9.24	20.00	221.65
76	TD-03		104.73	ARENISCA	FILITICA	F-	14.00	14.44	25.00	346.64
77	ND-02		7.30	CUARCITA	FILITICA	E-	11.00	7.72	20.00	185.23
78	ND-02		10.00	CUARCITA	FILITICA	E	12.00	9.47	20.00	227.32
79	ND-02		12.33	CUARCITA	FILITICA	E+	13.00	10.58	25.00	253.80
80	ND-02		12.49	CUARCITA	FILITICA	D	9.00	6.85	20.00	164.39
81	ND-02		25.59	CUARCITA	FILITICA	E	12.00	8.80	20.00	211.21
82	ND-02		25.67	CUARCITA	FILITICA	E	12.00	9.39	20.00	225.38
83	ND-02		41.63	CUARCITA	FILITICA	E	12.00	6.86	20.00	164.65
84	ND-02		41.77	CUARCITA	FILITICA	E	12.00	6.95	20.00	166.69
85	ND-03		10.19	CUARCITA	FILITICA	E-	11.00	6.37	20.00	152.84
86	ND-03		13.77	CUARCITA	FILITICA	E	12.00	5.03	16.00	120.62
87	ND-03		21.73	CUARCITA	FILITICA	D-	8.00	1.95	14.00	46.89
88	ND-03		37.02	CUARCITA	FILITICA	C+	7.00	2.79	14.00	67.07
89	ND-03		41.48	CUARCITA	FILITICA	D	9.00	5.54	16.00	133.04
90	ND-03		41.63	CUARCITA	FILITICA	D	9.00	6.79	20.00	162.91
						A	0.00			0.00
						F	15.00			400.00

PROCESO ARENISCA-CUARCITA

X	Y	ni	x^2	y^2	xy	x^3	x^4	x^2y	Y=y+1	Y'=lnY	Y'^2	xY'	X=x+1	X'=lnX	X'Y'	X'^2
3.00	6.44	1	9.00	41.47	19.32	27.00	81.00	57.96	7.44	2.01	4.03	6.02	4.00	1.39	2.78	1.92
3.00	3.92	1	9.00	15.37	11.76	27.00	81.00	35.28	4.92	1.59	2.54	4.78	4.00	1.39	2.21	1.92
8.00	15.96	1	64.00	254.72	127.68	512.00	4096.00	1021.44	16.96	2.83	8.01	22.65	9.00	2.20	6.22	4.83
7.00	6.44	1	49.00	41.47	45.08	343.00	2401.00	315.56	7.44	2.01	4.03	14.05	8.00	2.08	4.17	4.32
4.00	12.60	1	16.00	158.76	50.40	64.00	256.00	201.60	13.60	2.61	6.81	10.44	5.00	1.61	4.20	2.59
7.00	10.92	1	49.00	119.25	76.44	343.00	2401.00	535.08	11.92	2.48	6.14	17.35	8.00	2.08	5.15	4.32
7.00	28.84	1	49.00	831.75	201.88	343.00	2401.00	1413.16	29.84	3.40	11.53	23.77	8.00	2.08	7.06	4.32
12.00	160.60	1	144.00	25792.36	1927.20	1728.00	20736.00	23126.40	161.60	5.09	25.86	61.02	13.00	2.56	13.04	6.58
13.00	346.00	1	169.00	119716.00	4498.00	2197.00	28561.00	58474.00	347.00	5.85	34.21	76.04	14.00	2.64	15.44	6.96
6.00	144.00	1	36.00	20736.00	864.00	216.00	1296.00	5184.00	145.00	4.98	24.77	29.86	7.00	1.95	9.68	3.79
9.00	66.24	1	81.00	4387.74	596.16	729.00	6561.00	5365.44	67.24	4.21	17.71	37.87	10.00	2.30	9.69	5.30
12.00	154.20	1	144.00	23777.64	1850.40	1728.00	20736.00	22204.80	155.20	5.04	25.45	60.54	13.00	2.56	12.94	6.58
4.00	21.84	1	16.00	476.99	87.36	64.00	256.00	349.44	22.84	3.13	9.79	12.51	5.00	1.61	5.04	2.59
4.00	39.62	1	16.00	1569.74	158.48	64.00	256.00	633.92	40.62	3.70	13.72	14.82	5.00	1.61	5.96	2.59
3.00	12.04	1	9.00	144.96	36.12	27.00	81.00	108.36	13.04	2.57	6.59	7.70	4.00	1.39	3.56	1.92
11.00	195.60	1	121.00	38259.36	2151.60	1331.00	14641.00	23667.60	196.60	5.28	27.89	58.09	12.00	2.48	13.12	6.17
9.00	84.64	1	81.00	7163.93	761.76	729.00	6561.00	6855.84	85.64	4.45	19.80	40.05	10.00	2.30	10.25	5.30
9.00	57.92	1	81.00	3354.73	521.28	729.00	6561.00	4691.52	58.92	4.08	16.62	36.69	10.00	2.30	9.39	5.30
4.00	42.84	1	16.00	1835.27	171.36	64.00	256.00	685.44	43.84	3.78	14.29	15.12	5.00	1.61	6.08	2.59
12.00	276.75	1	144.00	76590.56	3321.00	1728.00	20736.00	39852.00	277.75	5.63	31.66	67.52	13.00	2.56	14.43	6.58
14.00	347.00	1	196.00	120409.00	4858.00	2744.00	38416.00	68012.00	348.00	5.85	34.25	81.93	15.00	2.71	15.85	7.33
6.00	64.32	1	36.00	4137.06	385.92	216.00	1296.00	2315.52	65.32	4.18	17.47	25.08	7.00	1.95	8.13	3.79
7.00	66.72	1	49.00	4451.56	467.04	343.00	2401.00	3269.28	67.72	4.22	17.77	29.51	8.00	2.08	8.77	4.32
12.00	167.00	1	144.00	27889.00	2004.00	1728.00	20736.00	24048.00	168.00	5.12	26.26	61.49	13.00	2.56	13.14	6.58
6.00	21.28	1	36.00	452.84	127.68	216.00	1296.00	766.08	22.28	3.10	9.63	18.62	7.00	1.95	6.04	3.79
6.00	21.28	1	36.00	452.84	127.68	216.00	1296.00	766.08	22.28	3.10	9.63	18.62	7.00	1.95	6.04	3.79
6.00	33.32	1	36.00	1110.22	199.92	216.00	1296.00	1199.52	34.32	3.54	12.50	21.21	7.00	1.95	6.88	3.79
7.00	19.32	1	49.00	373.26	135.24	343.00	2401.00	946.68	20.32	3.01	9.07	21.08	8.00	2.08	6.26	4.32
6.00	88.64	1	36.00	7857.05	531.84	216.00	1296.00	3191.04	89.64	4.50	20.21	26.97	7.00	1.95	8.75	3.79
6.00	33.32	1	36.00	1110.22	199.92	216.00	1296.00	1199.52	34.32	3.54	12.50	21.21	7.00	1.95	6.88	3.79
6.00	84.16	1	36.00	7082.91	504.96	216.00	1296.00	3029.76	85.16	4.44	19.75	26.67	7.00	1.95	8.65	3.79
6.00	128.40	1	36.00	16486.56	770.40	216.00	1296.00	4622.40	129.40	4.86	23.65	29.18	7.00	1.95	9.46	3.79
6.00	28.28	1	36.00	799.76	169.68	216.00	1296.00	1018.08	29.28	3.38	11.40	20.26	7.00	1.95	6.57	3.79
6.00	47.46	1	36.00	2252.45	284.76	216.00	1296.00	1708.56	48.46	3.88	15.06	23.28	7.00	1.95	7.55	3.79
6.00	20.58	1	36.00	423.54	123.48	216.00	1296.00	740.88	21.58	3.07	9.44	18.43	7.00	1.95	5.98	3.79
6.00	121.80	1	36.00	14835.24	730.80	216.00	1296.00	4384.80	122.80	4.81	23.14	28.86	7.00	1.95	9.36	3.79
6.00	45.22	1	36.00	2044.85	271.32	216.00	1296.00	1627.92	46.22	3.83	14.70	23.00	7.00	1.95	7.46	3.79
6.00	57.44	1	36.00	3299.35	344.64	216.00	1296.00	2067.84	58.44	4.07	16.55	24.41	7.00	1.95	7.92	3.79
9.00	23.24	1	81.00	540.10	209.16	729.00	6561.00	1882.44	24.24	3.19	10.16	28.69	10.00	2.30	7.34	5.30
9.00	31.08	1	81.00	965.97	279.72	729.00	6561.00	2517.48	32.08	3.47	12.03	31.21	10.00	2.30	7.99	5.30
10.00	76.80	1	100.00	5898.24	768.00	1000.00	10000.00	7680.00	77.80	4.35	18.96	43.54	11.00	2.40	10.44	5.75
6.00	47.74	1	36.00	2279.11	286.44	216.00	1296.00	1718.64	48.74	3.89	15.10	23.32	7.00	1.95	7.56	3.79
6.00	60.32	1	36.00	3638.50	361.92	216.00	1296.00	2171.52	61.32	4.12	16.94	24.70	7.00	1.95	8.01	3.79
13.00	123.80	1	169.00	15326.44	1609.40	2197.00	28561.00	20922.20	124.80	4.83	23.30	62.75	14.00	2.64	12.74	6.96
12.00	20.86	1	144.00	435.14	250.32	1728.00	20736.00	3003.84	21.86	3.08	9.52	37.02	13.00	2.56	7.91	6.58
9.00	85.12	1	81.00	7245.41	766.08	729.00	6561.00	6894.72	86.12	4.46	19.85	40.10	10.00	2.30	10.26	5.30
8.00	33.18	1	64.00	1100.91	265.44	512.00	4096.00	2123.52	34.18	3.53	12.47	28.25	9.00	2.20	7.76	4.83
6.00	11.06	1	36.00	122.32	66.36	216.00	1296.00	398.16	12.06	2.49	6.20	14.94	7.00	1.95	4.85	3.79
9.00	86.56	1	81.00	7492.63	779.04	729.00	6561.00	7011.36	87.56	4.47	20.00	40.25	10.00	2.30	10.30	5.30
5.00	107.76	1	25.00	11611.41	538.78	125.00	625.00	2693.91	108.76	4.69	21.99	23.45	6.00	1.79	8.40	3.21

13.00	298.82	1	169.00	89295.35	3884.70	2197.00	28561.00	50501.13	299.82	5.70	32.53	74.14	14.00	2.64	15.05	6.96
11.00	153.72	1	121.00	23630.59	1690.95	1331.00	14641.00	18600.42	154.72	5.04	25.42	55.46	12.00	2.48	12.53	6.17
11.00	103.19	1	121.00	10648.94	1135.13	1331.00	14641.00	12486.44	104.19	4.65	21.59	51.11	12.00	2.48	11.55	6.17
13.00	172.18	1	169.00	29644.72	2238.29	2197.00	28561.00	29097.81	173.18	5.15	26.57	67.01	14.00	2.64	13.60	6.96
13.00	135.74	1	169.00	18424.07	1764.56	2197.00	28561.00	22939.26	136.74	4.92	24.19	63.93	14.00	2.64	12.98	6.96
13.00	228.13	1	169.00	52041.72	2965.64	2197.00	28561.00	38553.38	229.13	5.43	29.53	70.65	14.00	2.64	14.34	6.96
13.00	70.99	1	169.00	5038.90	922.81	2197.00	28561.00	11996.50	71.99	4.28	18.29	55.59	14.00	2.64	11.29	6.96
13.00	244.97	1	169.00	60009.15	3184.58	2197.00	28561.00	41399.53	245.97	5.51	30.31	71.57	14.00	2.64	14.53	6.96
14.00	286.70	1	196.00	82197.68	4013.82	2744.00	38416.00	56193.47	287.70	5.66	32.06	79.27	15.00	2.71	15.33	7.33
14.00	359.89	1	196.00	129517.98	5038.40	2744.00	38416.00	70537.67	360.89	5.89	34.68	82.44	15.00	2.71	15.95	7.33
14.00	211.49	1	196.00	44726.63	2960.81	2744.00	38416.00	41451.40	212.49	5.36	28.72	75.02	15.00	2.71	14.51	7.33
12.00	281.36	1	144.00	79164.45	3376.34	1728.00	20736.00	40516.10	282.36	5.64	31.85	67.72	13.00	2.56	14.47	6.58
12.00	206.52	1	144.00	42651.18	2478.26	1728.00	20736.00	29739.11	207.52	5.34	28.46	64.02	13.00	2.56	13.68	6.58
13.00	142.18	1	169.00	20215.68	1848.36	2197.00	28561.00	24028.73	143.18	4.96	24.64	64.53	14.00	2.64	13.10	6.96
9.00	133.17	1	81.00	17734.99	1198.56	729.00	6561.00	10787.00	134.17	4.90	24.00	44.09	10.00	2.30	11.28	5.30
9.00	98.94	1	81.00	9789.22	890.46	729.00	6561.00	8014.18	99.94	4.60	21.20	41.44	10.00	2.30	10.60	5.30
9.00	123.02	1	81.00	15134.71	1107.21	729.00	6561.00	9964.88	124.02	4.82	23.24	43.38	10.00	2.30	11.10	5.30
9.00	102.52	1	81.00	10510.22	922.67	729.00	6561.00	8304.07	103.52	4.64	21.53	41.76	10.00	2.30	10.68	5.30
9.00	153.17	1	81.00	23459.56	1378.49	729.00	6561.00	12406.38	154.17	5.04	25.38	45.34	10.00	2.30	11.60	5.30
11.00	220.91	1	121.00	48802.47	2430.04	1331.00	14641.00	26730.45	221.91	5.40	29.18	59.43	12.00	2.48	13.42	6.17
11.00	208.90	1	121.00	43637.77	2297.86	1331.00	14641.00	25276.48	209.90	5.35	28.59	58.81	12.00	2.48	13.29	6.17
12.00	194.98	1	144.00	38016.62	2339.74	1728.00	20736.00	28076.90	195.98	5.28	27.86	63.34	13.00	2.56	13.54	6.58
10.00	191.46	1	100.00	36658.73	1914.65	1000.00	10000.00	19146.47	192.46	5.26	27.67	52.60	11.00	2.40	12.61	5.75
13.00	221.27	1	169.00	48961.65	2876.55	2197.00	28561.00	37395.10	222.27	5.40	29.20	70.25	14.00	2.64	14.26	6.96
13.00	221.65	1	169.00	49130.04	2881.49	2197.00	28561.00	37459.35	222.65	5.41	29.22	70.27	14.00	2.64	14.27	6.96
14.00	346.64	1	196.00	120157.85	4852.93	2744.00	38416.00	67941.03	347.64	5.85	34.24	81.92	15.00	2.71	15.85	7.33
11.00	185.23	1	121.00	34310.39	2037.54	1331.00	14641.00	22412.91	186.23	5.23	27.32	57.50	12.00	2.48	12.99	6.17
12.00	227.32	1	144.00	51675.01	2727.86	1728.00	20736.00	32734.28	228.32	5.43	29.49	65.17	13.00	2.56	13.93	6.58
13.00	253.80	1	169.00	64416.88	3299.46	2197.00	28561.00	42893.01	254.80	5.54	30.70	72.03	14.00	2.64	14.62	6.96
9.00	164.39	1	81.00	27024.16	1479.51	729.00	6561.00	13315.61	165.39	5.11	26.09	45.97	10.00	2.30	11.76	5.30
12.00	211.21	1	144.00	44607.67	2534.46	1728.00	20736.00	30413.56	212.21	5.36	28.70	64.29	13.00	2.56	13.74	6.58
12.00	225.38	1	144.00	50794.16	2704.51	1728.00	20736.00	32454.09	226.38	5.42	29.40	65.07	13.00	2.56	13.91	6.58
12.00	164.65	1	144.00	27110.83	1975.84	1728.00	20736.00	23710.13	165.65	5.11	26.11	61.32	13.00	2.56	13.11	6.58
12.00	166.69	1	144.00	27784.00	2000.22	1728.00	20736.00	24002.69	167.69	5.12	26.24	61.47	13.00	2.56	13.14	6.58
11.00	152.84	1	121.00	23360.73	1681.26	1331.00	14641.00	18493.90	153.84	5.04	25.36	55.40	12.00	2.48	12.51	6.17
12.00	120.62	1	144.00	14549.95	1447.48	1728.00	20736.00	17369.74	121.62	4.80	23.05	57.61	13.00	2.56	12.31	6.58
8.00	46.89	1	64.00	2198.25	375.08	512.00	4096.00	3000.67	47.89	3.87	14.97	30.95	9.00	2.20	8.50	4.83
7.00	67.07	1	49.00	4498.57	469.50	343.00	2401.00	3286.50	68.07	4.22	17.81	29.54	8.00	2.08	8.78	4.32
9.00	133.04	1	81.00	17700.90	1197.40	729.00	6561.00	10776.62	134.04	4.90	23.99	44.08	10.00	2.30	11.28	5.30
9.00	162.91	1	81.00	26539.40	1466.18	729.00	6561.00	13195.64	163.91	5.10	26.00	45.89	10.00	2.30	11.74	5.30
0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
15.00	400.00	1	225.00	160000.00	6000.00	3375.00	50625.00	90000.00	401.00	5.99	35.93	89.91	16.00	2.77	16.62	7.69
845.00	**11585.02**	**92.00**	**8761.00**	**2323163.71**	**129884.85**	**97847.00**	**1148557.00**	**1536313.19**	**11677.02**	**405.49**	**1902.25**	**3996.23**	**937.00**	**207.10**	**948.02**	**482.21**
X	**Y**	**ni**	**x^2**	**y^2**	**xy**	**x^3**	**x^4**	**x^2y**	**Y=y+1**	**Y'=lnY**	**Y'^2**	**XY'**	**X=x+1**	**X'=lnX**	**X'Y'**	**X'^2**

N=	92.00
MediaX	9.18
MediaY	125.92

Var(X)	10.87	desv(x)	3.30
Var(Y)	9394.90	desv(y)	96.93
Cov(X,Y)	255.21		

REGRESION LINEAL

La recta de regresión es	Y=	-89.76	+	X*	23.48
El coeficiente de correlación lineal vale	R=	0.80			
El coeficiente de determinación vale	R^2=	0.64			

REGRESION PARABOLICA

Matriz	sum y	N	sum x	sumx^2	11585.02	92.00	845.00	8761.00	11585.02
	sum xy	sumx	sumx^2	sumx^3	129884.85	845.00	8761.00	97847.00	129884.85
	sumxy^2	sumx`2	sumx^3	sumx^4	1536313.19	8761.00	97847.00	1148557.00	1536313.19

delta1	47472407562	a=	42.35

Determinante de la matriz=	1120928280		

delta2	11585.02	92.00	8761.00
	129884.85	845.00	97847.00
	1536313.19	8761.00	1148557.00

delta2	-13634451680	b=	-12.16

Término independiente	42.35	= a
Término en X	-12.16	= b
Término en X^2	2.05	= c

delta3	2298781280	c=	2.05

La parábola de regresión es Y= a+bX+cX^2

El coeficiente de determinación vale

R^2=1-var(e)/var(y)

var(e)=(sumY^2-a*sumY-b*sumXY-c*sumX^2Y)/N

var(e)= 2845.002582

Luego R^2=	0.70
R=	0.83

REGRESION EXPONENCIAL

$Y = a * b^X$ $\ln Y = \ln a + X * \ln b$ $Y' = a' + X * b'$

N=	92.00	Var(X)	10.87	desv(X)	3.30
Media X	9.18	Var(Y')	1.25	desv(Y')	1.12
Media Y'	4.41	Cov(X,Y')	2.96		

Para obtener el ajuste exponencial, hacemos un ajuste lineal a los datos (X,lnY)=(X,Y')

La recta de regresión de Y' sobre X es:

	Y'=	a'	+	X*	b'
La recta de regresión es	Y'=	1.91	+	X*	0.27
El coeficiente de correlación lineal vale	R=	0.80			
El coeficiente de determinación vale	R^2=	0.64			

Luego la ecuación para la regresión exponencial se obtiene: Y=a*b^X

siendo a=e^a' y b=e^b' Por tanto

a=	6.75
b=	1.31

REGRESION POTENCIAL $Y = a * X^b$ $\ln Y = \ln a + b * \ln X$ $Y' = a' + b' * X'$

N=	92.00
Media X'	2.25
Media Y'	4.41

Var(X')	0.17
Var(Y')	1.25
Cov(X',Y')	0.38

desv(x)	0.42
desv(y)	1.12

Para obtener el ajuste potencial, hacemos un ajuste lineal a los datos (ln X,ln Y)=(X' ,Y')

La recta de regresión de Y' sobre X' es:

	Y'=	a'	+	X' *	b'
La recta de regresión es	Y'=	-0.55	+	X' *	2.20
El coeficiente de correlación lineal vale	R=	0.82			
El coeficiente de determinación vale	R^2=	0.67			

Luego la ecuación para la regresión potencial se obtiene: Y=a*b^X

siendo a=e^a' y b=b' Por tanto

a=	0.58
b=	2.20

REGRESIONES				
VA	LINEAL	PARABOLICA	EXPONENCIAL	POTENCIAL
	UCS	UCS	UCS	UCS
0.0	-89.8	42.4	5.8	-0.4
1.0	-66.3	32.2	7.9	1.7
2.0	-42.8	26.2	10.6	5.5
3.0	-19.3	24.3	14.3	11.2
4.0	4.2	26.5	19.0	19.0
5.0	27.7	32.8	25.3	28.9
6.0	51.1	43.2	33.5	40.9
7.0	74.6	57.7	44.3	55.2
8.0	98.1	76.3	58.5	71.9
9.0	121.6	99.0	77.0	90.9
10.0	145.1	125.8	101.4	112.4
11.0	168.5	156.7	133.4	136.3
12.0	192.0	191.7	175.5	162.7
13.0	215.5	230.8	230.6	191.8
14.0	239.0	274.0	303.0	223.4
15.0	262.5	321.3	398.0	257.6

ROCAS CALCAREAS

ID	TALADRO	MUESTRA	PROFUNDIDAD	LITOLOGIA	TIPO ALTERACION	GRADO ALTERACION	VALORACION	Is(50) (Mpa)	K50	UCS (Mpa)
1	GN-01		26.40	CALIZA	SKARNIZACION	D	9.00	7.02	20.00	140.40
2	GN-01		34.95	CALIZA	SKARNIZACION	C	6.00	1.55	14.00	21.70
3	GN-02		15.00	MARGA	SKARNIZACION	B	3.00	0.17	14.00	2.38
4	GN-02		28.84	CALIZA	SKARNIZACION	B	3.00	0.72	14.00	10.08
5	GN-02		49.35	CALIZA	SKARNIZACION	C-	5.00	2.23	14.00	31.22
6	GN-03		2.08	CALIZA	SKARNIZACION	C	6.00	0.45	14.00	6.30
7	GN-03		10.20	CALIZA	SKARNIZACION	C	6.00	2.78	14.00	38.92
8	GN-03		30.27	CALIZA	SKARNIZACION	C	6.00	1.94	14.00	27.16
9	GP-03		5.00	CALIZA	SKARNIZACION	C	6.00	1.45	14.00	20.30
10	GP-03		26.80	CALIZA	SKARNIZACION	C-	5.00	0.28	14.00	3.92
11	GP-04		11.55	CALIZA	SKARNIZACION	C	6.00	2.53	14.00	35.42
12	GP-04		45.51	CALIZA	SKARNIZACION	C-	5.00	0.95	14.00	13.30
13	GL07-100		105.85	CALIZA	SKARNIZACION	D+	10.00	3.15	14.00	44.10
14	GL07-100		164.52	CALIZA	SKARNIZACION	D-	8.00	3.53	16.00	56.48
15	GL07-102		14.20	CALIZA	SKARNIZACION	C	6.00	0.99	14.00	13.86
16	GL07-102		54.85	CALIZA	SKARNIZACION	B+	4.00	0.17	14.00	2.38
17	GL07-102		75.10	CALIZA	SKARNIZACION	C	6.00	0.18	14.00	2.52
18	GL07-103		11.10	CALIZA	SKARNIZACION	C	6.00	0.94	14.00	13.16
19	GL07-103		65.90	CALIZA	SKARNIZACION	D	9.00	1.06	14.00	14.84
20	GL07-103		84.95	CALIZA	SKARNIZACION	D	9.00	1.79	14.00	25.06
21	GL07-105		18.50	CALIZA	SKARNIZACION	D+	10.00	2.10	14.00	29.40
22	GL07-105		44.75	CALIZA	SKARNIZACION	D	9.00	3.16	14.00	44.24
23	GL07-105		68.30	MARMOL	SKARNIZACION	D	9.00	4.05	14.00	56.70
24	GL07-106		25.78	CALIZA	SKARNIZACION	C+	7.00	0.82	14.00	11.48
25	GL07-106		62.83	CALIZA	SKARNIZACION	E-	11.00	3.47	14.00	48.58
26	**GL07-107**		**11.77**	**CALIZA**	**SKARNIZACION**	**C-**	**5.00**	**0.31**	**14.00**	**4.34**
27	GL07-200		17.40	CALIZA	SKARNIZACION	D	9.00	2.24	14.00	31.36
28	GL07-201		13.19	CALIZA	SKARNIZACION	C+	7.00	0.42	14.00	5.88
29	GL07-201		26.92	CALIZA	SKARNIZACION	D	9.00	2.76	14.00	38.64
30	TD-01		71.80	CALIZA	SKARNIZACION	D	9.00	6.52	20.00	130.39
31	TD-01		71.88	CALIZA	SKARNIZACION	D	9.00	1.43	14.00	20.03
32	TD-01		81.78	CALIZA	SKARNIZACION	E	12.00	6.79	20.00	135.76
33	TD-01		85.13	CALIZA	SKARNIZACION	D	9.00	5.53	16.00	88.50
34	TD-01		92.84	CALIZA	SKARNIZACION	C	6.00	2.46	14.00	34.39
35	**TD-01**		**98.47**	**CALIZA**	**SKARNIZACION**	**C**	**6.00**	**2.26**	**14.00**	**31.69**
36	TD-01		99.63	CALIZA	SKARNIZACION	C	6.00	1.97	14.00	27.59
37	TD-04		7.25	CALIZA	SKARNIZACION	D+	10.00	1.59	14.00	22.22
38	TD-04		7.32	CALIZA	SKARNIZACION	D	9.00	3.89	16.00	62.17
39	TD-04		17.14	CALIZA	SKARNIZACION	D+	10.00	5.26	16.00	84.16
40	TD-04		17.54	CALIZA	SKARNIZACION	D+	10.00	1.91	14.00	26.69
41	TD-04		27.85	CALIZA	SKARNIZACION	E	12.00	6.90	20.00	137.94
42	TD-04		27.92	CALIZA	SKARNIZACION	E	12.00	4.90	16.00	78.39
43	TD-04		36.79	CALIZA	SKARNIZACION	D-	8.00	4.72	16.00	75.54
44	**TD-04**		**36.86**	**CALIZA**	**SKARNIZACION**	**D**	**9.00**	**4.07**	**16.00**	**65.10**
45	TD-04		47.63	CALIZA	SKARNIZACION	D-	8.00	2.53	14.00	35.47
46	TD-04		47.70	CALIZA	SKARNIZACION	D-	8.00	3.41	14.00	47.72
47	TD-04		57.82	CALIZA	SKARNIZACION	D	9.00	4.66	16.00	74.54
48	TD-04		57.90	CALIZA	SKARNIZACION	D	9.00	4.65	16.00	74.44
49	TD-04		66.61	CALIZA	SKARNIZACION	E-	11.00	4.52	16.00	72.25
50	TD-04		66.69	CALIZA	SKARNIZACION	E-	11.00	4.97	16.00	79.59
51	TD-04		78.47	CALIZA	SKARNIZACION	E-	11.00	3.95	16.00	63.14
52	TD-04		78.82	CALIZA	SKARNIZACION	E-	11.00	3.08	14.00	43.17
53	**TD-04**		**78.87**	**CALIZA**	**SKARNIZACION**	**E-**	**11.00**	**5.36**	**16.00**	**85.68**
54	TD-04		87.11	CALIZA	SKARNIZACION	D+	10.00	3.99	16.00	63.87
55	TD-04		87.23	CALIZA	SKARNIZACION	D+	10.00	3.43	14.00	47.96
56	TD-04		96.66	CALIZA	SKARNIZACION	E-	11.00	4.35	16.00	69.58
57	TD-04		96.80	CALIZA	SKARNIZACION	E-	11.00	7.09	20.00	141.87

58	TD-04		107.09	CALIZA	SKARNIZACION	E	12.00	5.96	16.00	95.35
59	TD-04		107.17	CALIZA	SKARNIZACION	E	12.00	4.66	16.00	74.59
60	TD-04		117.84	CALIZA	SKARNIZACION	D+	10.00	1.96	14.00	27.39
61	TD-04		118.12	CALIZA	SKARNIZACION	D+	10.00	3.10	14.00	43.42
62	TD-04		129.00	CALIZA	SKARNIZACION	D+	10.00	5.77	16.00	92.26
63	TD-04		129.11	CALIZA	SKARNIZACION	D+	10.00	4.18	14.00	58.55
64	TD-04		137.60	CALIZA	SKARNIZACION	E	12.00	5.89	16.00	94.16
65	TD-04		137.67	CALIZA	SKARNIZACION	E	12.00	5.33	16.00	85.31
66	TD-04		147.30	CALIZA	SKARNIZACION	D+	10.00	2.41	14.00	33.67
67	TD-04		147.38	CALIZA	SKARNIZACION	D+	10.00	3.87	16.00	61.89
68	PS-01		40.34	CALIZA	SKARNIZACION	D	9.00	3.03	14.00	42.47
69	PS-01		41.14	CALIZA	SKARNIZACION	D-	8.00	3.61	16.00	57.72
70	PS-01		44.31	CALIZA	SKARNIZACION	E+	13.00	10.47	25.00	261.81
71	PS-01		45.60	CALIZA	SKARNIZACION	E+	13.00	9.03	20.00	180.55
72	PS-01		49.39	CALIZA	SKARNIZACION	D-	8.00	3.24	14.00	45.36
73	PS-02		13.55	CALIZA	SKARNIZACION	C+	7.00	4.64	16.00	74.21
74	PS-02		21.42	CALIZA	SKARNIZACION	C+	7.00	4.03	16.00	64.46
75	PS-02		21.62	CALIZA	SKARNIZACION	C+	7.00	1.41	14.00	19.72
76	PS-02		28.27	CALIZA	SKARNIZACION	E	12.00	7.85	20.00	157.06
77	PS-02		31.44	CALIZA	SKARNIZACION	C	6.00	3.99	16.00	63.83
78	PS-02		31.56	CALIZA	SKARNIZACION	C	6.00	2.00	14.00	28.05
79	PS-02		43.63	CALIZA	SKARNIZACION	D+	10.00	6.06	20.00	121.16
80	PS-02		43.94	CALIZA	SKARNIZACION	D+	10.00	5.44	16.00	87.09
81	PS-03		10.32	CALIZA	SKARNIZACION	D-	8.00	4.31	16.00	69.04
82	PS-03		10.80	CALIZA	SKARNIZACION	E	12.00	9.51	20.00	190.11
83	PS-03		22.74	SKARN	SKARNIZACION	D	9.00	1.62	14.00	22.66
84	PS-03		22.83	SKARN	SKARNIZACION	D	9.00	2.32	14.00	32.47
85	**PS-03**		**39.06**	**CALIZA**	**SKARNIZACION**	**D**	**9.00**	**5.64**	**16.00**	**90.18**
87	PS-03		46.83	CALIZA	SKARNIZACION	D+	10.00	6.09	20.00	121.78
88	PS-04		18.33	CALIZA	SKARNIZACION	E	12.00	8.29	20.00	165.87
89	PS-04		30.75	CALIZA	SKARNIZACION	D+	10.00	4.44	16.00	71.05
90	PS-04		36.45	CALIZA	SKARNIZACION	D+	10.00	5.13	16.00	82.05
91	PS-04		39.87	CALIZA	SKARNIZACION	D	9.00	3.81	16.00	60.92
92	PS-04		47.48	CALIZA	SKARNIZACION	D	9.00	2.52	14.00	35.26
93	PS-04		50.83	CALIZA	SKARNIZACION	D+	10.00	3.73	16.00	59.72
94	PS-04		57.40	CALIZA	SKARNIZACION	D	9.00	2.34	14.00	32.71
95	**PS-04**		**67.44**	**CALIZA**	**SKARNIZACION**	**D+**	**10.00**	**3.80**	**16.00**	**60.88**
96	PS-04		64.70	CALIZA	SKARNIZACION	D-	8.00	1.18	14.00	16.45
97	PS-04		74.43	CALIZA	SKARNIZACION	D-	8.00	1.27	14.00	17.85
98	PS-04		79.77	CALIZA	SKARNIZACION	D+	10.00	3.60	16.00	57.52
99	PS-04		85.78	CALIZA	SKARNIZACION	D	9.00	1.90	14.00	26.63
100	PS-04		91.17	CALIZA	SKARNIZACION	D+	10.00	3.68	16.00	58.87
101	PS-04		96.39	CALIZA	SKARNIZACION	D	9.00	3.33	16.00	53.23
102	PS-04		96.54	CALIZA	SKARNIZACION	D	9.00	1.63	14.00	22.82
103	VD-02		52.08	CALIZA	SKARNIZACION	E	12.00	7.28	20.00	145.70
104	**VD-02**		**53.86**	**CALIZA**	**SKARNIZACION**	**D-**	**8.00**	**1.97**	**14.00**	**27.54**
105	VD-02		56.92	CALIZA	SKARNIZACION	D-	8.00	1.56	14.00	21.84
						A	0.00			0.00
						F	15.00			250.00

PROCESO ROCAS CALCAREAS

X	Y	ni	x^2	y^2	xy	x^3	x^4	x^2y	Y=y+1	Y'=lnY	Y'^2	xY'	X=x+1	X'=lnX	X'Y'	X'^2
9.00	140.40	1	81.00	19712.16	1263.60	729.00	6561.00	11372.40	141.40	4.95	24.52	44.56	10.00	2.30	11.40	5.30
6.00	21.70	1	36.00	470.89	130.20	216.00	1296.00	781.20	22.70	3.12	9.75	18.73	7.00	1.95	6.08	3.79
3.00	2.38	1	9.00	5.66	7.14	27.00	81.00	21.42	3.38	1.22	1.48	3.65	4.00	1.39	1.69	1.92
3.00	10.08	1	9.00	101.61	30.24	27.00	81.00	90.72	11.08	2.41	5.78	7.22	4.00	1.39	3.33	1.92
5.00	31.22	1	25.00	974.69	156.10	125.00	625.00	780.50	32.22	3.47	12.06	17.36	6.00	1.79	6.22	3.21
6.00	6.30	1	36.00	39.69	37.80	216.00	1296.00	226.80	7.30	1.99	3.95	11.93	7.00	1.95	3.87	3.79
6.00	38.92	1	36.00	1514.77	233.52	216.00	1296.00	1401.12	39.92	3.69	13.59	22.12	7.00	1.95	7.17	3.79
6.00	27.16	1	36.00	737.67	162.96	216.00	1296.00	977.76	28.16	3.34	11.14	20.03	7.00	1.95	6.50	3.79
6.00	20.30	1	36.00	412.09	121.80	216.00	1296.00	730.80	21.30	3.06	9.36	18.35	7.00	1.95	5.95	3.79
5.00	3.92	1	25.00	15.37	19.60	125.00	625.00	98.00	4.92	1.59	2.54	7.97	6.00	1.79	2.85	3.21
6.00	35.42	1	36.00	1254.58	212.52	216.00	1296.00	1275.12	36.42	3.60	12.92	21.57	7.00	1.95	7.00	3.79
5.00	13.30	1	25.00	176.89	66.50	125.00	625.00	332.50	14.30	2.66	7.08	13.30	6.00	1.79	4.77	3.21
10.00	44.10	1	100.00	1944.81	441.00	1000.00	10000.00	4410.00	45.10	3.81	14.51	38.09	11.00	2.40	9.13	5.75
8.00	56.48	1	64.00	3189.99	451.84	512.00	4096.00	3614.72	57.48	4.05	16.41	32.41	9.00	2.20	8.90	4.83
6.00	13.86	1	36.00	192.10	83.16	216.00	1296.00	498.96	14.86	2.70	7.28	16.19	7.00	1.95	5.25	3.79
4.00	2.38	1	16.00	5.66	9.52	64.00	256.00	38.08	3.38	1.22	1.48	4.87	5.00	1.61	1.96	2.59
6.00	2.52	1	36.00	6.35	15.12	216.00	1296.00	90.72	3.52	1.26	1.58	7.55	7.00	1.95	2.45	3.79
6.00	13.16	1	36.00	173.19	78.96	216.00	1296.00	473.76	14.16	2.65	7.02	15.90	7.00	1.95	5.16	3.79
9.00	14.84	1	81.00	220.23	133.56	729.00	6561.00	1202.04	15.84	2.76	7.63	24.86	10.00	2.30	6.36	5.30
9.00	25.06	1	81.00	628.00	225.54	729.00	6561.00	2029.86	26.06	3.26	10.63	29.34	10.00	2.30	7.51	5.30
10.00	29.40	1	100.00	864.36	294.00	1000.00	10000.00	2940.00	30.40	3.41	11.66	34.14	11.00	2.40	8.19	5.75
9.00	44.24	1	81.00	1957.18	398.16	729.00	6561.00	3583.44	45.24	3.81	14.53	34.31	10.00	2.30	8.78	5.30
9.00	56.70	1	81.00	3214.89	510.30	729.00	6561.00	4592.70	57.70	4.06	16.45	36.50	10.00	2.30	9.34	5.30
7.00	11.48	1	49.00	131.79	80.36	343.00	2401.00	562.52	12.48	2.52	6.37	17.67	8.00	2.08	5.25	4.32
11.00	48.58	1	121.00	2360.02	534.38	1331.00	14641.00	5878.18	49.58	3.90	15.24	42.94	12.00	2.48	9.70	6.17
5.00	**4.34**	**1**	**25.00**	**18.84**	**21.70**	**125.00**	**625.00**	**108.50**	**5.34**	**1.68**	**2.81**	**8.38**	**6.00**	**1.79**	**3.00**	**3.21**
9.00	31.36	1	81.00	983.45	282.24	729.00	6561.00	2540.16	32.36	3.48	12.09	31.29	10.00	2.30	8.01	5.30
7.00	5.88	1	49.00	34.57	41.16	343.00	2401.00	288.12	6.88	1.93	3.72	13.50	8.00	2.08	4.01	4.32
9.00	38.64	1	81.00	1493.05	347.76	729.00	6561.00	3129.84	39.64	3.68	13.54	33.12	10.00	2.30	8.47	5.30
9.00	130.39	1	81.00	17001.54	1173.51	729.00	6561.00	10561.59	131.39	4.88	23.80	43.90	10.00	2.30	11.23	5.30
9.00	20.03	1	81.00	401.33	180.30	729.00	6561.00	1622.68	21.03	3.05	9.28	27.41	10.00	2.30	7.01	5.30
12.00	135.76	1	144.00	18430.14	1629.09	1728.00	20736.00	19549.10	136.76	4.92	24.19	59.02	13.00	2.56	12.61	6.58
9.00	88.50	1	81.00	7831.93	796.48	729.00	6561.00	7168.35	89.50	4.49	20.20	40.45	10.00	2.30	10.35	5.30
6.00	34.39	1	36.00	1182.56	206.33	216.00	1296.00	1237.98	35.39	3.57	12.72	21.40	7.00	1.95	6.94	3.79
6.00	**31.69**	**1**	**36.00**	**1003.96**	**190.11**	**216.00**	**1296.00**	**1140.67**	**32.69**	**3.49**	**12.16**	**20.92**	**7.00**	**1.95**	**6.79**	**3.79**
6.00	27.59	1	36.00	761.39	165.56	216.00	1296.00	993.36	28.59	3.35	11.24	20.12	7.00	1.95	6.52	3.79
10.00	22.22	1	100.00	493.73	222.20	1000.00	10000.00	2222.01	23.22	3.15	9.89	31.45	11.00	2.40	7.54	5.75
9.00	62.17	1	81.00	3864.63	559.49	729.00	6561.00	5035.45	63.17	4.15	17.19	37.31	10.00	2.30	9.55	5.30
10.00	84.16	1	100.00	7082.69	841.59	1000.00	10000.00	8415.87	85.16	4.44	19.75	44.45	11.00	2.40	10.66	5.75
10.00	26.69	1	100.00	712.13	266.86	1000.00	10000.00	2668.57	27.69	3.32	11.03	33.21	11.00	2.40	7.96	5.75
12.00	137.94	1	144.00	19028.19	1655.31	1728.00	20736.00	19863.75	138.94	4.93	24.34	59.21	13.00	2.56	12.66	6.58
12.00	78.39	1	144.00	6145.09	940.69	1728.00	20736.00	11288.25	79.39	4.37	19.14	52.49	13.00	2.56	11.22	6.58
8.00	75.54	1	64.00	5706.00	604.30	512.00	4096.00	4834.44	76.54	4.34	18.82	34.70	9.00	2.20	9.53	4.83
9.00	**65.10**	**1**	**81.00**	**4238.38**	**585.93**	**729.00**	**6561.00**	**5273.33**	**66.10**	**4.19**	**17.57**	**37.72**	**10.00**	**2.30**	**9.65**	**5.30**
8.00	35.47	1	64.00	1257.77	283.72	512.00	4096.00	2269.76	36.47	3.60	12.93	28.77	9.00	2.20	7.90	4.83
8.00	47.72	1	64.00	2277.40	381.78	512.00	4096.00	3054.22	48.72	3.89	15.10	31.09	9.00	2.20	8.54	4.83
9.00	74.54	1	81.00	5555.89	670.84	729.00	6561.00	6037.57	75.54	4.32	18.70	38.92	10.00	2.30	9.96	5.30
9.00	74.44	1	81.00	5541.41	669.97	729.00	6561.00	6029.69	75.44	4.32	18.69	38.91	10.00	2.30	9.95	5.30
11.00	72.25	1	121.00	5220.31	794.77	1331.00	14641.00	8742.46	73.25	4.29	18.44	47.23	12.00	2.48	10.67	6.17
11.00	79.59	1	121.00	6334.92	875.51	1331.00	14641.00	9630.66	80.59	4.39	19.27	48.28	12.00	2.48	10.91	6.17
11.00	63.14	1	121.00	3986.19	694.50	1331.00	14641.00	7639.49	64.14	4.16	17.31	45.77	12.00	2.48	10.34	6.17
11.00	43.17	1	121.00	1864.06	474.92	1331.00	14641.00	5224.15	44.17	3.79	14.35	41.67	12.00	2.48	9.41	6.17
11.00	**85.68**	**1**	**121.00**	**7341.55**	**942.51**	**1331.00**	**14641.00**	**10367.62**	**86.68**	**4.46**	**19.91**	**49.08**	**12.00**	**2.48**	**11.09**	**6.17**
10.00	63.87	1	100.00	4079.27	638.69	1000.00	10000.00	6386.92	64.87	4.17	17.41	41.72	11.00	2.40	10.00	5.75
10.00	47.96	1	100.00	2300.15	479.60	1000.00	10000.00	4795.98	48.96	3.89	15.14	38.91	11.00	2.40	9.33	5.75
11.00	69.58	1	121.00	4842.01	765.43	1331.00	14641.00	8419.73	70.58	4.26	18.12	46.82	12.00	2.48	10.58	6.17
11.00	141.87	1	121.00	20126.38	1560.54	1331.00	14641.00	17165.97	142.87	4.96	24.62	54.58	12.00	2.48	12.33	6.17

12.00	95.35	1	144.00	9091.87	1144.22	1728.00	20736.00	13730.59	96.35	4.57	20.87	54.82	13.00	2.56	11.72	6.58
12.00	74.59	1	144.00	5563.43	895.06	1728.00	20736.00	10740.73	75.59	4.33	18.71	51.90	13.00	2.56	11.09	6.58
10.00	27.39	1	100.00	750.13	273.88	1000.00	10000.00	2738.84	28.39	3.35	11.20	33.46	11.00	2.40	8.02	5.75
10.00	43.42	1	100.00	1885.72	434.25	1000.00	10000.00	4342.49	44.42	3.79	14.39	37.94	11.00	2.40	9.10	5.75
10.00	92.26	1	100.00	8511.08	922.56	1000.00	10000.00	9225.55	93.26	4.54	20.57	45.35	11.00	2.40	10.88	5.75
10.00	58.55	1	100.00	3428.01	585.49	1000.00	10000.00	5854.92	59.55	4.09	16.70	40.87	11.00	2.40	9.80	5.75
12.00	94.16	1	144.00	8866.22	1129.93	1728.00	20736.00	13559.13	95.16	4.56	20.75	54.67	13.00	2.56	11.68	6.58
12.00	85.31	1	144.00	7278.51	1023.77	1728.00	20736.00	12285.24	86.31	4.46	19.87	53.50	13.00	2.56	11.43	6.58
10.00	33.67	1	100.00	1133.87	336.73	1000.00	10000.00	3367.30	34.67	3.55	12.57	35.46	11.00	2.40	8.50	5.75
10.00	61.89	1	100.00	3830.98	618.95	1000.00	10000.00	6189.49	62.89	4.14	17.15	41.41	11.00	2.40	9.93	5.75
9.00	42.47	1	81.00	1803.38	382.20	729.00	6561.00	3439.76	43.47	3.77	14.23	33.95	10.00	2.30	8.69	5.30
8.00	57.72	1	64.00	3331.73	461.77	512.00	4096.00	3694.15	58.72	4.07	16.59	32.58	9.00	2.20	8.95	4.83
13.00	261.81	1	169.00	68546.75	3403.59	2197.00	28561.00	44246.62	262.81	5.57	31.04	72.43	14.00	2.64	14.70	6.96
13.00	180.55	1	169.00	32598.52	2347.16	2197.00	28561.00	30513.05	181.55	5.20	27.06	67.62	14.00	2.64	13.73	6.96
8.00	45.36	1	64.00	2057.76	362.90	512.00	4096.00	2903.20	46.36	3.84	14.72	30.69	9.00	2.20	8.43	4.83
7.00	74.21	1	49.00	5506.86	519.46	343.00	2401.00	3636.20	75.21	4.32	18.66	30.24	8.00	2.08	8.98	4.32
7.00	64.46	1	49.00	4154.70	451.20	343.00	2401.00	3158.39	65.46	4.18	17.48	29.27	8.00	2.08	8.69	4.32
7.00	19.72	1	49.00	388.80	138.03	343.00	2401.00	966.19	20.72	3.03	9.19	21.22	8.00	2.08	6.30	4.32
12.00	157.06	1	144.00	24668.05	1884.73	1728.00	20736.00	22616.73	158.06	5.06	25.63	60.76	13.00	2.56	12.99	6.58
6.00	63.83	1	36.00	4074.36	382.98	216.00	1296.00	2297.91	64.83	4.17	17.40	25.03	7.00	1.95	8.12	3.79
6.00	28.05	1	36.00	787.06	168.33	216.00	1296.00	1009.97	29.05	3.37	11.35	20.22	7.00	1.95	6.56	3.79
10.00	121.16	1	100.00	14680.13	1211.62	1000.00	10000.00	12116.16	122.16	4.81	23.09	48.05	11.00	2.40	11.52	5.75
10.00	87.09	1	100.00	7584.78	870.91	1000.00	10000.00	8709.07	88.09	4.48	20.06	44.78	11.00	2.40	10.74	5.75
8.00	69.04	1	64.00	4766.31	552.31	512.00	4096.00	4418.46	70.04	4.25	18.05	33.99	9.00	2.20	9.34	4.83
12.00	190.11	1	144.00	36140.08	2281.27	1728.00	20736.00	27375.18	191.11	5.25	27.59	63.03	13.00	2.56	13.47	6.58
9.00	22.66	1	81.00	513.55	203.96	729.00	6561.00	1835.60	23.66	3.16	10.01	28.47	10.00	2.30	7.29	5.30
9.00	32.47	1	81.00	1054.35	292.24	729.00	6561.00	2630.13	33.47	3.51	12.32	31.60	10.00	2.30	8.08	5.30
9.00	**90.18**	**1**	**81.00**	**8131.91**	**811.59**	**729.00**	**6561.00**	**7304.34**	**91.18**	**4.51**	**20.37**	**40.62**	**10.00**	**2.30**	**10.39**	**5.30**
10.00	121.78	1	100.00	14830.20	1217.79	1000.00	10000.00	12177.93	122.78	4.81	23.14	48.10	11.00	2.40	11.53	5.75
12.00	165.87	1	144.00	27513.15	1990.45	1728.00	20736.00	23885.41	166.87	5.12	26.19	61.41	13.00	2.56	13.13	6.58
10.00	71.05	1	100.00	5048.60	710.54	1000.00	10000.00	7105.35	72.05	4.28	18.30	42.77	11.00	2.40	10.26	5.75
10.00	82.05	1	100.00	6732.51	820.52	1000.00	10000.00	8205.19	83.05	4.42	19.53	44.19	11.00	2.40	10.60	5.75
9.00	60.92	1	81.00	3711.64	548.31	729.00	6561.00	4934.78	61.92	4.13	17.02	37.13	10.00	2.30	9.50	5.30
9.00	35.26	1	81.00	1242.98	317.30	729.00	6561.00	2855.73	36.26	3.59	12.89	32.32	10.00	2.30	8.27	5.30
10.00	59.72	1	100.00	3565.94	597.15	1000.00	10000.00	5971.55	60.72	4.11	16.86	41.06	11.00	2.40	9.85	5.75
9.00	32.71	1	81.00	1070.07	294.41	729.00	6561.00	2649.67	33.71	3.52	12.38	31.66	10.00	2.30	8.10	5.30
10.00	**60.88**	**1**	**100.00**	**3706.19**	**608.78**	**1000.00**	**10000.00**	**6087.85**	**61.88**	**4.13**	**17.02**	**41.25**	**11.00**	**2.40**	**9.89**	**5.75**
8.00	16.45	1	64.00	270.65	131.61	512.00	4096.00	1052.88	17.45	2.86	8.18	22.88	9.00	2.20	6.28	4.83
8.00	17.85	1	64.00	318.48	142.77	512.00	4096.00	1142.15	18.85	2.94	8.62	23.49	9.00	2.20	6.45	4.83
10.00	57.52	1	100.00	3308.97	575.24	1000.00	10000.00	5752.37	58.52	4.07	16.56	40.69	11.00	2.40	9.76	5.75
9.00	26.63	1	81.00	708.97	239.64	729.00	6561.00	2156.75	27.63	3.32	11.01	29.87	10.00	2.30	7.64	5.30
10.00	58.87	1	100.00	3465.16	588.66	1000.00	10000.00	5886.56	59.87	4.09	16.75	40.92	11.00	2.40	9.81	5.75
9.00	53.23	1	81.00	2833.38	479.07	729.00	6561.00	4311.59	54.23	3.99	15.95	35.94	10.00	2.30	9.19	5.30
9.00	22.82	1	81.00	520.88	205.40	729.00	6561.00	1848.64	23.82	3.17	10.05	28.54	10.00	2.30	7.30	5.30
12.00	145.70	1	144.00	21228.29	1748.39	1728.00	20736.00	20980.70	146.70	4.99	24.88	59.86	13.00	2.56	12.79	6.58
8.00	**27.54**	**1**	**64.00**	**758.18**	**220.28**	**512.00**	**4096.00**	**1762.25**	**28.54**	**3.35**	**11.23**	**26.81**	**9.00**	**2.20**	**7.36**	**4.83**
8.00	21.84	1	64.00	476.98	174.72	512.00	4096.00	1397.74	22.84	3.13	9.79	25.03	9.00	2.20	6.87	4.83
0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
15.00	250.00	1	225.00	62500.00	3750.00	3375.00	50625.00	56250.00	251.00	5.53	30.53	82.88	16.00	2.77	15.32	7.69
934.00	**6377.19**	**106.00**	**8846.00**	**642385.65**	**65093.35**	**87910.00**	**908558.00**	**693030.06**	**6483.19**	**397.86**	**1592.95**	**3704.14**	**1040.00**	**237.52**	**918.57**	**544.14**
X	**Y**	**ni**	**x^2**	**y^2**	**xy**	**x^3**	**x^4**	**x^2y**	**Y=y+1**	**Y'=lnY**	**Y'^2**	**XY'**	**X=x+1**	**X'=lnX**	**X'Y'**	**X'^2**

N=	106.00
MediaX	8.81
MediaY	60.16

Var(X)	5.81	desv(x)	2.41
Var(Y)	2440.76	desv(y)	49.40
Cov(X,Y)	83.98		

REGRESION LINEAL

La recta de regresión es	Y=	-67.13	+	X*	14.45
El coeficiente de correlación lineal vale	R=	0.71			
El coeficiente de determinación vale	R^2=	0.50			

REGRESION PARABOLICA

Matriz	sum y	N	sum x	sumx^2	6377.19	106.00	934.00	8846.00	6377.19
	sum xy	sumx	sumx^2	sumx^3	65093.35	934.00	8846.00	87910.00	65093.35
	sumxy^2	sumx`2	sumx^3	sumx^4	693030.06	8846.00	87910.00	908558.00	693030.06

delta1	24813283352	a=	41.34

Determinante de la matriz=	600184704		

	6377.19	106.00	8846.00
delta2	65093.35	934.00	87910.00
	693030.06	8846.00	908558.00
delta2	-9162180746	b=	-15.27

Término independiente	41.34	= a	
Término en X	-15.27	= b	
Término en X^2	1.84	= c	

delta3	1102730972	c=	1.84

La parábola de regresión es Y= a+bX+cX^2

El coeficiente de determinación vale R^2=1-var(e)/var(y)

var(e)=(sumY^2-a*sumY-b*sumXY-c*sumX^2Y)/N

var(e)= 934.9714479

Luego R^2=	0.62
R=	0.79

REGRESION EXPONENCIAL Y = a * b^X ln Y= ln a + X * ln b Y' = a' + X * b'

N=	106.00
Media X	8.81
Media Y'	3.75

Var(X)	5.81	desv(X)	2.41
Var(Y')	0.94	desv(Y')	0.97
Cov(X,Y')	1.87		

Para obtener el ajuste exponencial, hacemos un ajuste lineal a los datos (X,lnY)=(X,Y')

La recta de regresión de Y' sobre X es:

	Y'=	a'	+	X*	b'
La recta de regresión es	Y'=	0.92	+	X*	0.32
El coeficiente de correlación lineal vale	R=	0.80			
El coeficiente de determinación vale	R^2=	0.64			

Luego la ecuación para la regresión exponencial se obtiene: Y=a*b^X

siendo a=e^a' y b=e^b' Por tanto

a=	2.50
b=	1.38

REGRESION POTENCIAL

$Y = a * X^b$ $\ln Y = \ln a + b * \ln X$ $Y' = a' + b' * X'$

N=	106.00
Media X'	2.24
Media Y'	3.75

Var(X')	0.11	desv(x)	0.34
Var(Y')	0.94	desv(y)	0.97
Cov(X',Y')	0.26		

Para obtener el ajuste potencial, hacemos un ajuste lineal a los datos (ln X,ln Y)=(X' ,Y')

La recta de regresión de Y' sobre X' es:

	Y'=	a'	+	X' *	b'
La recta de regresión es	Y'=	-1.34	+	X' *	2.27
El coeficiente de correlación lineal vale	R=	0.79			
El coeficiente de determinación vale	R^2=	0.62			

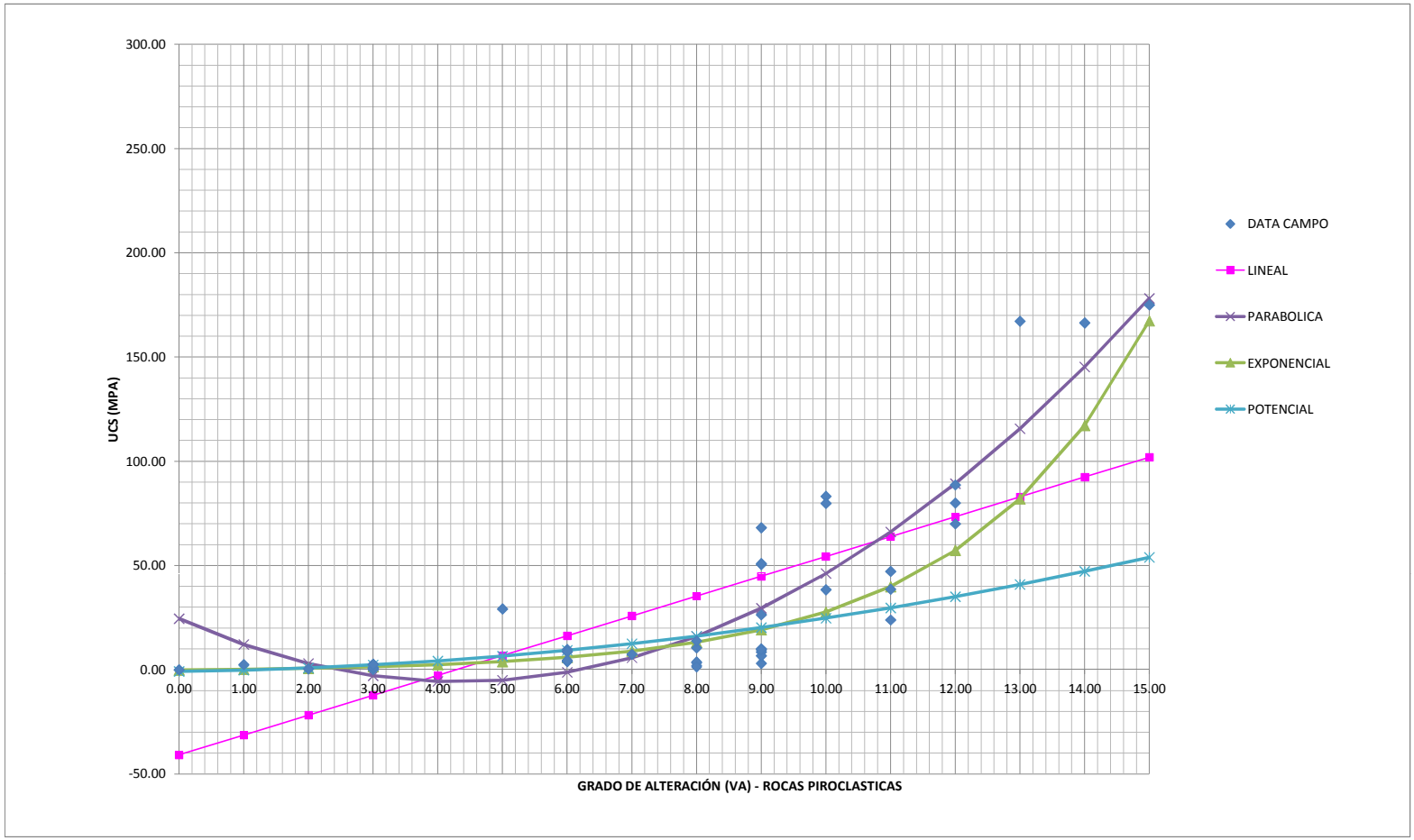
Luego la ecuación para la regresión potencial se obtiene: Y=a*b^X

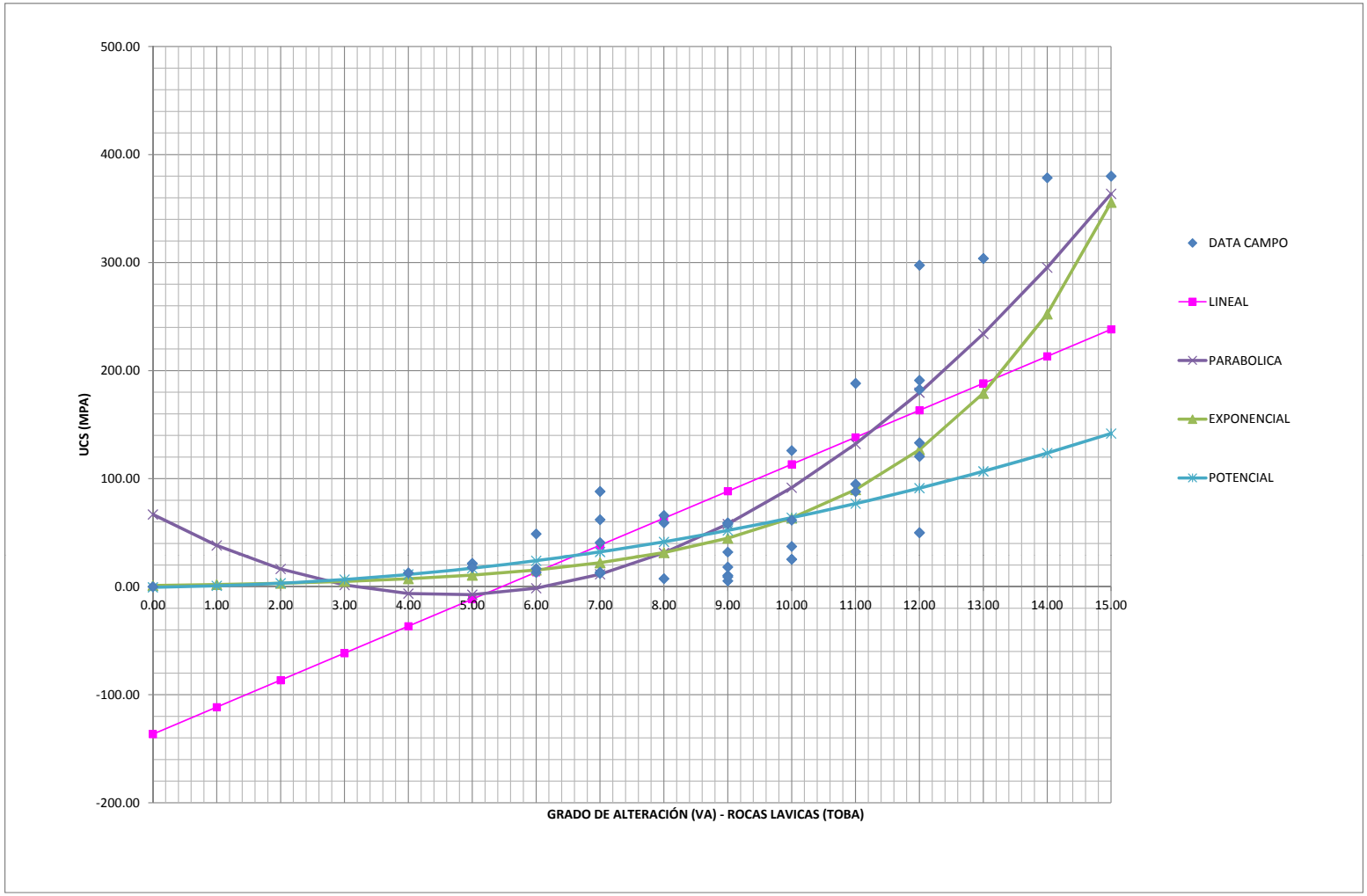
siendo a=e^a' y b=b' Por tanto

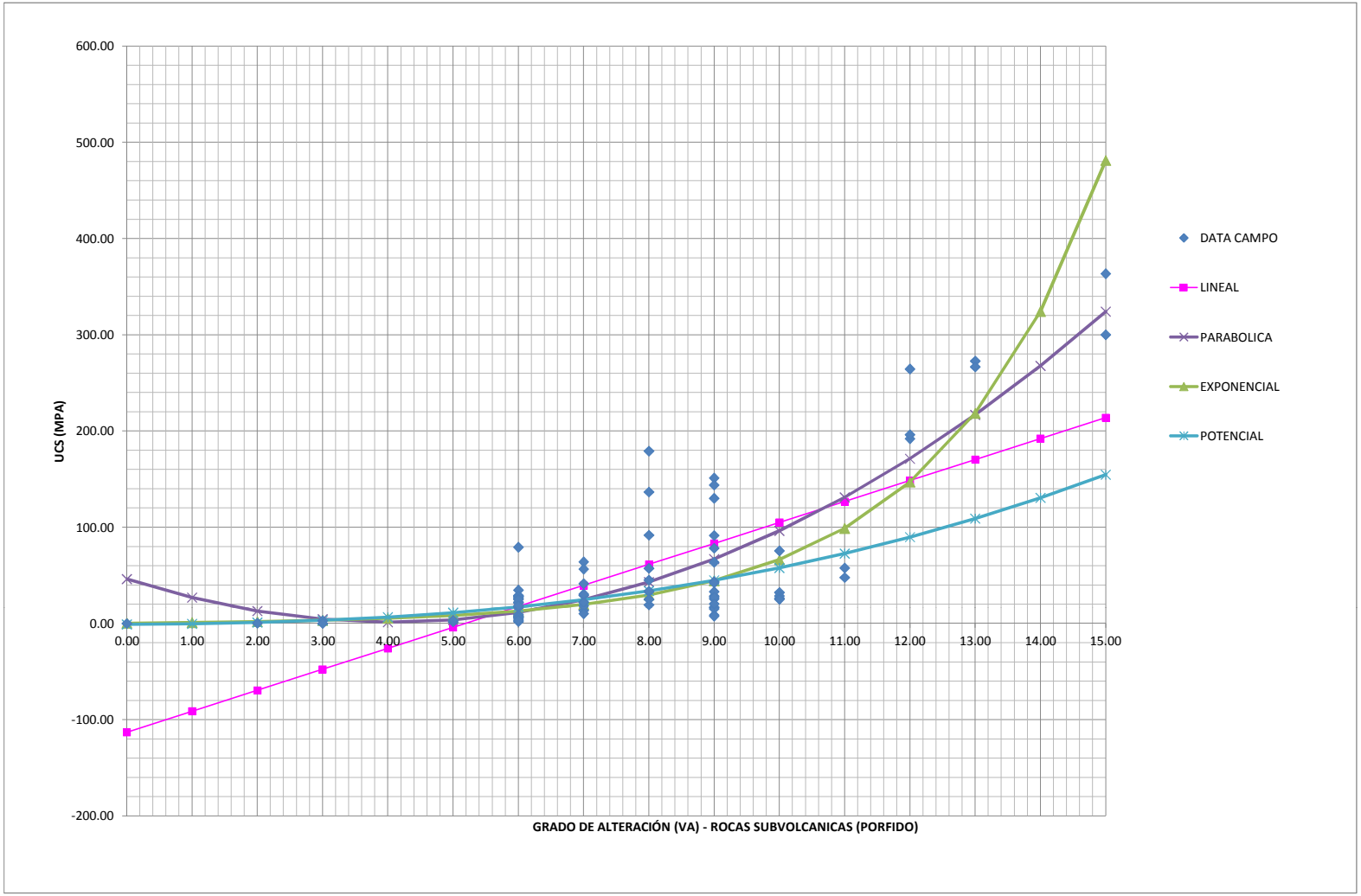
a=	0.26
b=	2.27

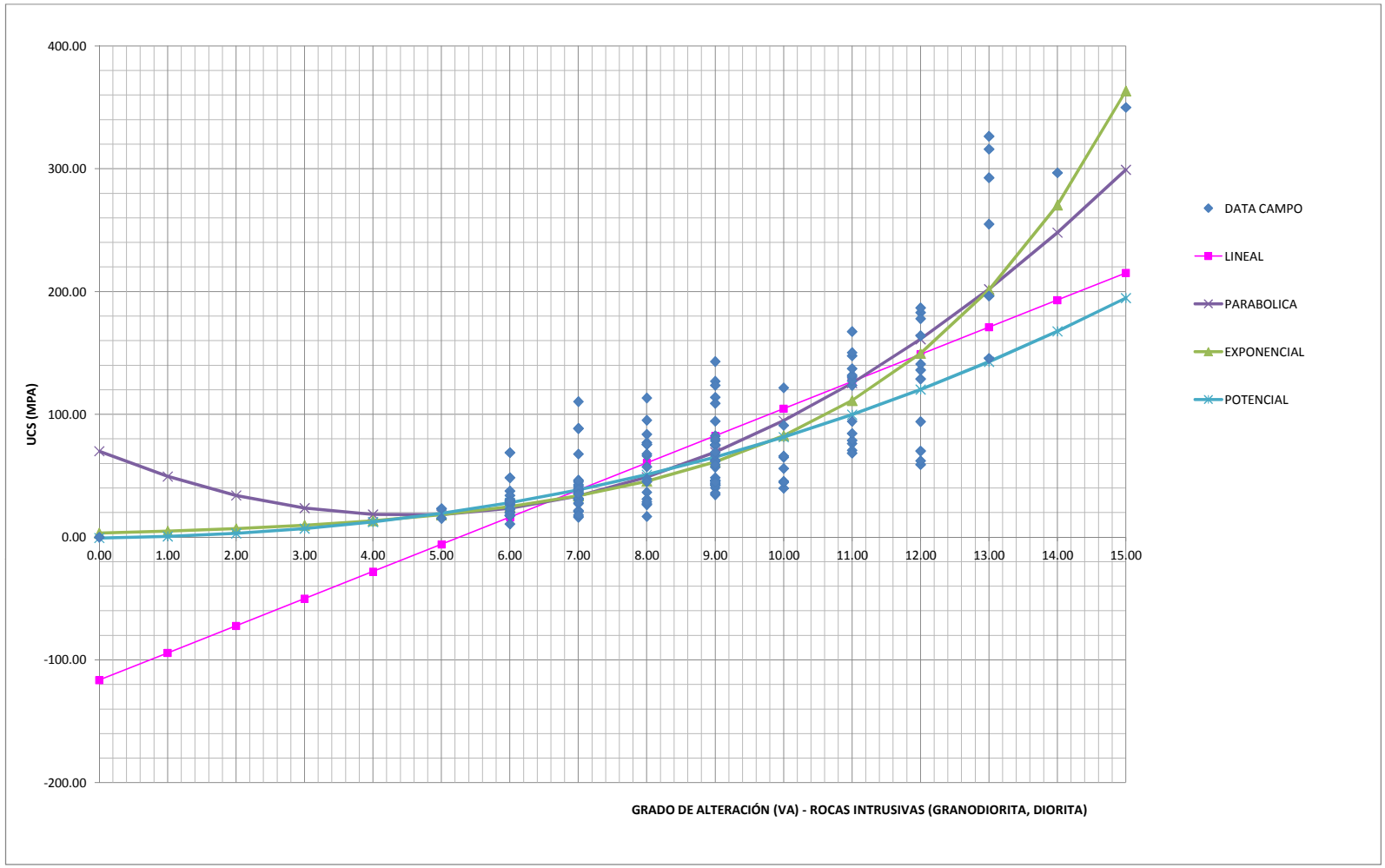
REGRESIONES				
VA	LINEAL	PARABOLICA	EXPONENCIAL	POTENCIAL
	UCS	UCS	UCS	UCS
0.0	-67.1	41.3	1.5	-0.7
1.0	-52.7	27.9	2.4	0.3
2.0	-38.2	18.2	3.8	2.2
3.0	-23.8	12.1	5.6	5.1
4.0	-9.3	9.7	8.1	9.2
5.0	5.1	10.9	11.5	14.4
6.0	19.6	15.9	16.2	20.8
7.0	34.0	24.5	22.8	28.6
8.0	48.4	36.8	31.9	37.6
9.0	62.9	52.8	44.3	48.1
10.0	77.3	72.4	61.6	60.0
11.0	91.8	95.7	85.3	73.3
12.0	106.2	122.7	118.2	88.1
13.0	120.7	153.4	163.5	104.4
14.0	135.1	187.7	226.0	122.3
15.0	149.6	225.8	312.2	141.8

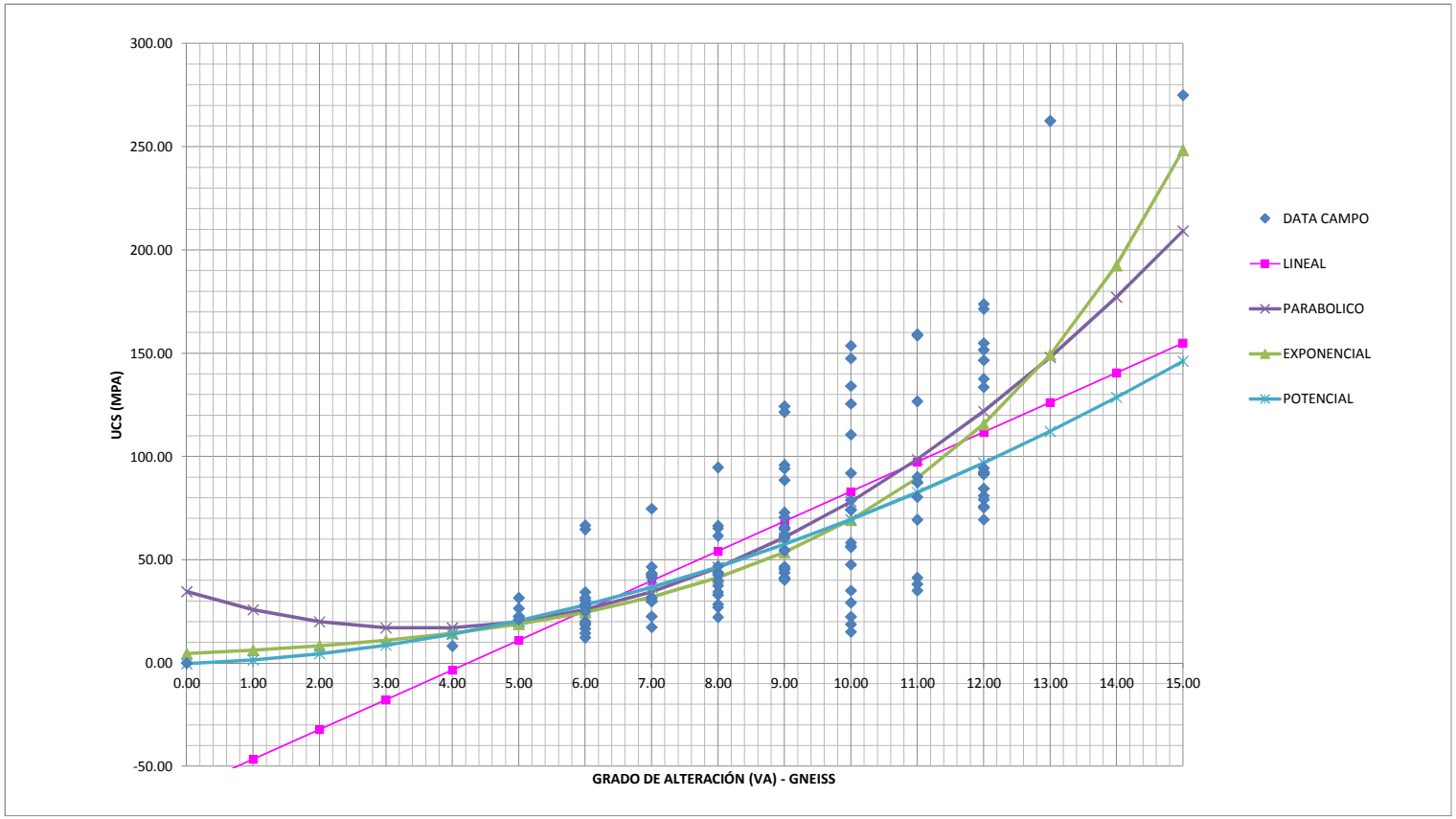
ANEXO C – GRÁFICA DE REGRESIONES

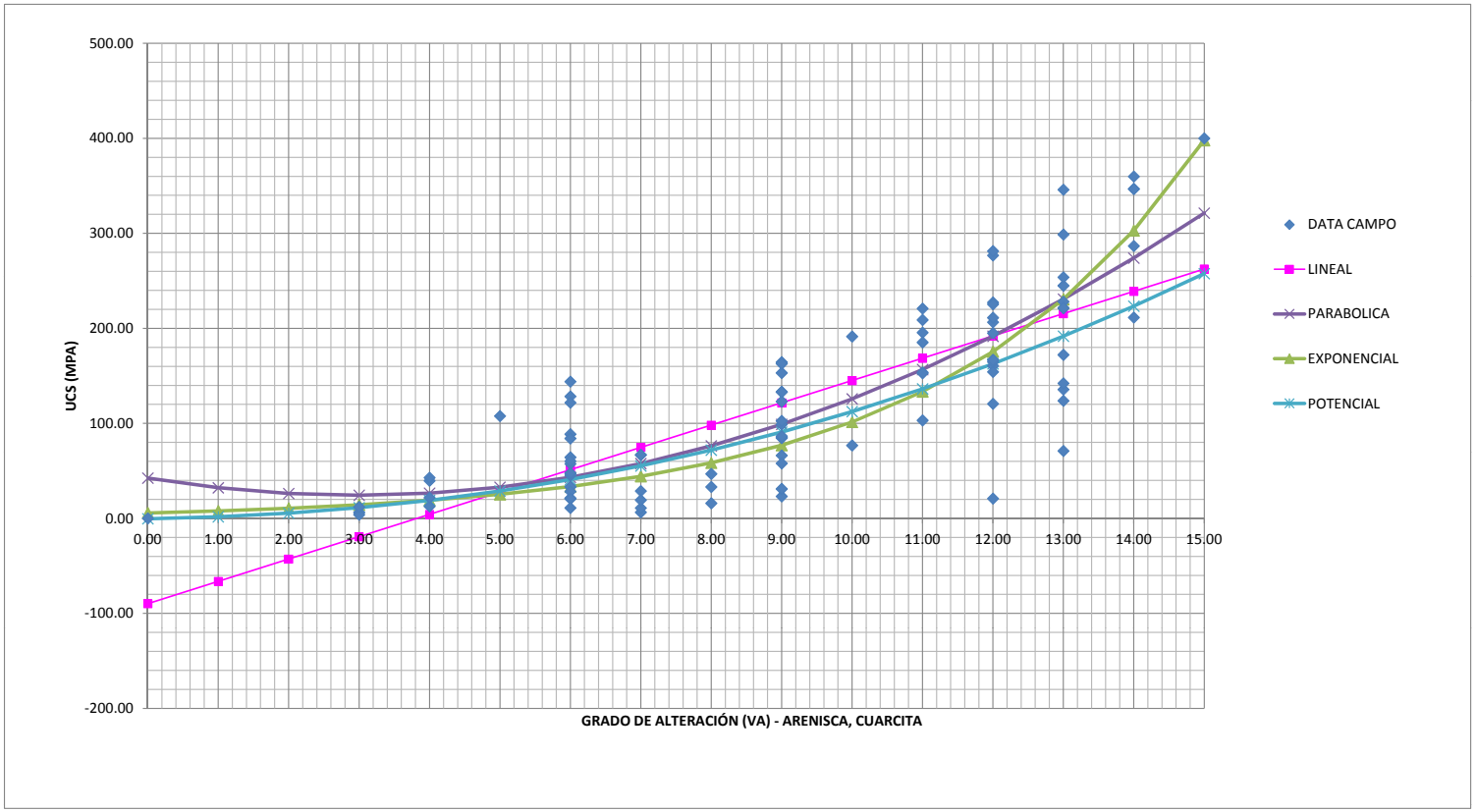

300.00
250.00
200.00
150.00
100.00
50.00
0.00
-50.00
UCS (MPA)
0.00
1.00
2.00
3.00
4.00
5.00
6.00
7.00
8.00
9.00
10.00
11.00
12.00
13.00
14.00
15.00
GRADO DE ALTERACIÓN (VA) - ROCAS PIROCLASTICAS
DATA CAMPO
LINEAL
PARABOLICA
EXPONENCIAL
POTENCIAL

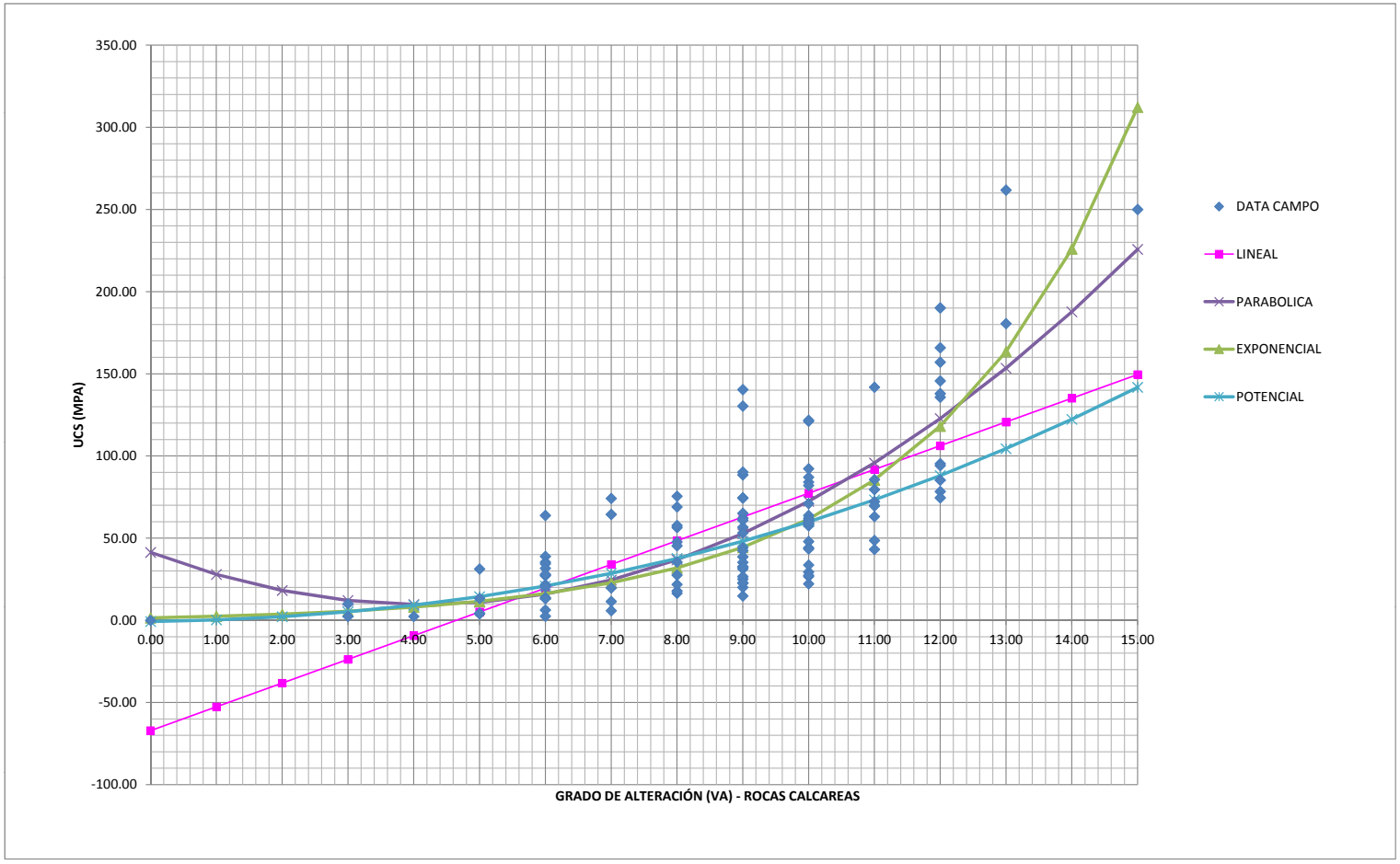

500.00
400.00
300.00
200.00
100.00
0.00
-100.00
-200.00
UCS (MPA)
0.00
1.00
2.00
3.00
4.00
5.00
6.00
7.00
8.00
9.00
10.00
11.00
12.00
13.00
14.00
15.00
GRADO DE ALTERACIÓN (VA) - ROCAS LAVICAS (TOBA)
DATA CAMPO
LINEAL
PARABOLICA
EXPONENCIAL
POTENCIAL


600.00
500.00
400.00
300.00
200.00
100.00
0.00
-100.00
-200.00
UCS (MPA)
0.00
1.00
2.00
3.00
4.00
5.00
6.00
7.00
8.00
9.00
10.00
11.00
12.00
13.00
14.00
15.00
GRADO DE ALTERACIÓN (VA) - ROCAS SUBVOLCANICAS (PORFIDO)
DATA CAMPO
LINEAL
PARABOLICA
EXPONENCIAL
POTENCIAL


400.00
300.00
200.00
100.00
0.00
-100.00
-200.00
UCS (MPA)
0.00
1.00
2.00
3.00
4.00
5.00
6.00
7.00
8.00
9.00
10.00
11.00
12.00
13.00
14.00
15.00
GRADO DE ALTERACIÓN (VA) - ROCAS INTRUSIVAS (GRANODIORITA, DIORITA)
DATA CAMPO
LINEAL
PARABOLICA
EXPONENCIAL
POTENCIAL


300.00
250.00
200.00
150.00
100.00
50.00
0.00
-50.00
UCS (MPA)
0.00
1.00
2.00
3.00
4.00
5.00
6.00
7.00
8.00
9.00
10.00
11.00
12.00
13.00
14.00
15.00
GRADO DE ALTERACIÓN (VA) - GNEISS
DATA CAMPO
LINEAL
PARABOLICO
EXPONENCIAL
POTENCIAL


500.00
400.00
300.00
200.00
100.00
0.00
-100.00
-200.00
UCS (MPA)
0.00
1.00
2.00
3.00
4.00
5.00
6.00
7.00
8.00
9.00
10.00
11.00
12.00
13.00
14.00
15.00
GRADO DE ALTERACIÓN (VA) - ARENISCA, CUARCITA
DATA CAMPO
LINEAL
PARABOLICA
EXPONENCIAL
POTENCIAL


350.00
300.00
250.00
200.00
150.00
100.00
50.00
0.00
-50.00
-100.00
UCS (MPA)
0.00
1.00
2.00
3.00
4.00
5.00
6.00
7.00
8.00
9.00
10.00
11.00
12.00
13.00
14.00
15.00
GRADO DE ALTERACIÓN (VA) - ROCAS CALCAREAS
DATA CAMPO
LINEAL
PARABOLICA
EXPONENCIAL
POTENCIAL

ANEXO D – ESTADÍSTICA

REGRESIÓN LINEAL

Elementos Estadísticos

- Número de elementos: N
- Valor de X: X_i
- Valor de Y: Y_i
- Media de X: $\bar{X} = {\sum X_i}/{N}$
- Media de Y: $\bar{Y} = {\sum Y_i}/{N}$
- Varianza de X: $Var(X) = {\sum X_i^2}/{N} - \bar{X}^2$
- Varianza de Y: $Var(Y) = {\sum Y_i^2}/{N} - \bar{Y}^2$
- Covarianza de X e Y: $Cov(X,Y) = {\sum X_i \times Y_i}/{N} - \bar{X} \times \bar{Y}$
- Desviación estándar de X: $Desv(X) = \sqrt{Var(X)}$
- Desviación estándar de Y: $Desv(Y) = \sqrt{Var(Y)}$
- Coeficiente de determinación: R^2

Ecuación de la recta

$$Y = a + b \times X$$

Parámetros de la recta

$$b = {Var(X)}\Big/{Cov(X,Y)}$$

$$a = \bar{Y} - b \times \bar{X}$$

$$R^2 = \left({Cov(X,Y)}\Big/{Desv(X) \times Desv(Y)} \right)^2$$

REGRESIÓN PARABÓLICA

Elementos Estadísticos

- Número de elementos: N
- Valor de X: X_i
- Valor de Y: Y_i
- Coeficiente de determinación: R^2

Ecuación de la parábola

$$Y = a + b \times X + c \times X^2$$

Parámetros de la parábola

$$\Delta = \begin{vmatrix} N & \sum X_i & \sum X_i^2 \\ \sum X_i & \sum X_i^2 & \sum X_i^3 \\ \sum X_i^2 & \sum X_i^3 & \sum X_i^4 \end{vmatrix}$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} \sum X_i & \sum X_i^2 & \sum Y_i \\ \sum X_i^2 & \sum X_i^3 & \sum X_i \times Y_i \\ \sum X_i^3 & \sum X_i^4 & \sum X_i \times {Y_i}^2 \end{vmatrix}$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} \sum Y_i & N & \sum X_i^2 \\ \sum X_i \times Y_i & \sum X_i & \sum X_i^3 \\ \sum X_i \times {Y_i}^2 & \sum X_i^2 & \sum X_i^4 \end{vmatrix}$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} \sum Y_i & N & \sum X_i \\ \sum X_i \times Y_i & \sum X_i & \sum X_i^2 \\ \sum X_i \times {Y_i}^2 & \sum X_i^2 & \sum X_i^3 \end{vmatrix}$$

$$a = {\Delta_1}/{\Delta}$$

$$b = {\Delta_2}/{\Delta}$$

$$c = {\Delta_3}/{\Delta}$$

$$Var(\Delta) = \frac{\sum Y_i^2 - a \times \sum Y_i - b \times \sum X_i \times Y_i - c \times \sum {X_i}^2 \times Y_i}{N}$$

$$R^2 = 1 - {Var(\Delta)}/{Var(Y)}$$

REGRESIÓN EXPONENCIAL

Elementos Estadísticos

- Número de elementos: N
- Valor de X: X_i
- Valor de Y: Y_i
- Media de X: $\bar{X} = {\sum X_i}/{N}$

- Media de Y': $\overline{Y'} = {\sum(Y_i + 1)}/{N}$
- Varianza de X: $Var(X) = {\sum X_i^2}/{N} - \bar{X}^2$
- Varianza de Y': $Var(Y') = {\sum(Y_i + 1)^2}/{N} - \overline{Y'}^2$
- Covarianza de X e Y': $Cov(X, Y') = {\sum X_i \times (Y_i + 1)}/{N} - \bar{X} \times \overline{Y'}$
- Desviación estándar de X: $Desv(X) = \sqrt{Var(X)}$
- Desviación estándar de Y': $Desv(Y') = \sqrt{Var(Y')}$
- Coeficiente de determinación: R^2

Ecuación de la exponencial

$$Y = a \times b^X - 1$$

Parámetros de la exponencial

$$\ln(Y + 1) = \ln(a) + X \times \ln(b)$$

$$Y' = a' + b' \times X$$

$$b' = {Var(X)}/{Cov(X, Y')}$$

$$b = e^{{Var(X)}/{Cov(X,Y')}}$$

$$a' = \overline{Y'} - b' \times \bar{X}$$

$$a = e^{\overline{Y'} - b' \times \bar{X}}$$

$$R^2 = \left({Cov(X, Y')}/{Desv(X) \times Desv(Y')} \right)^2$$

REGRESIÓN POTENCIAL

Elementos Estadísticos

- Número de elementos: N
- Valor de X: X_i
- Valor de Y: Y_i
- Media de X: $\overline{X'} = {\sum \ln(X_i)}/{N}$
- Media de Y': $\overline{Y'} = {\sum(Y_i + 1)}/{N}$

- Varianza de X': $Var(X') = {\sum[\ln(X_i)]^2}/{N} - \bar{X}'^2$
- Varianza de Y': $Var(Y') = {\sum(Y_i + 1)^2}/{N} - \bar{Y}'^2$
- Covarianza de X' e Y': $Cov(X', Y') = {\sum[\ln(X_i)] \times (Y_i + 1)}/{N} - \bar{X}' \times \bar{Y}'$
- Desviación estándar de X': $Desv(X') = \sqrt{Var(X')}$
- Desviación estándar de Y': $Desv(Y') = \sqrt{Var(Y')}$
- Coeficiente de determinación: R^2

Ecuación de la potencial

$$Y = a \times X^b - 1$$

Parámetros de la potencial

$$\ln(Y + 1) = \ln(a) + b \times \ln(X)$$

$$Y' = a' + b \times X'$$

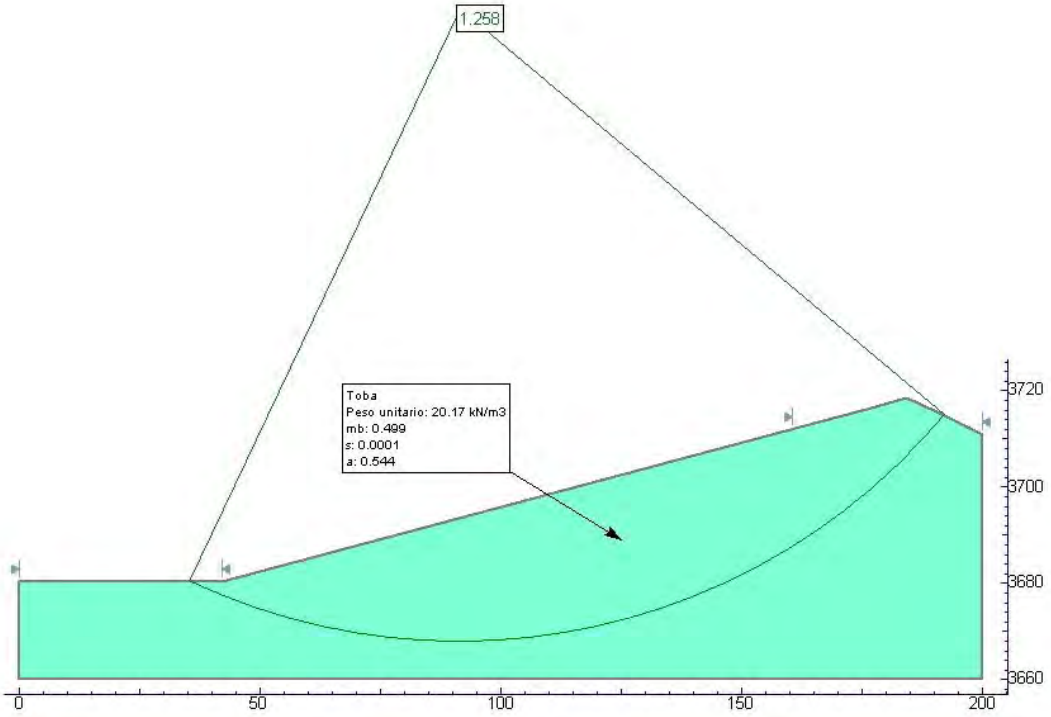
$$b = {Var(X')}/{Cov(X', Y')}$$

$$a' = \bar{Y}' - b \times \bar{X}'$$

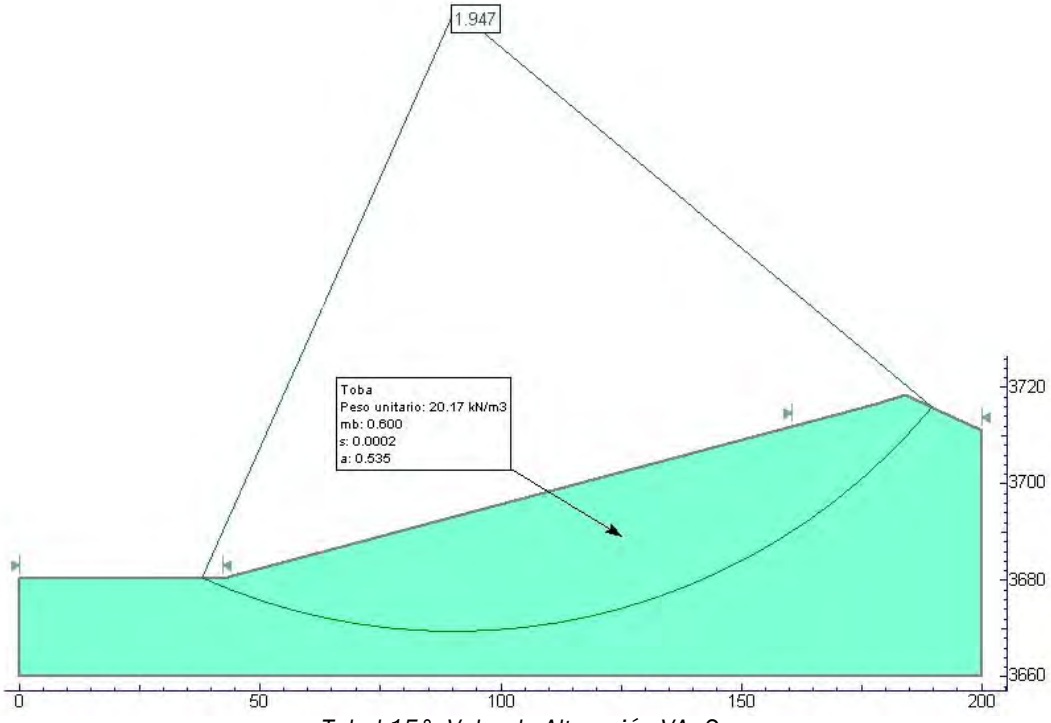
$$a = e^{\bar{Y}' - b \times \bar{X}'}$$

$$R^2 = \left({Cov(X, Y')}/{Desv(X) \times Desv(Y')} \right)^2$$

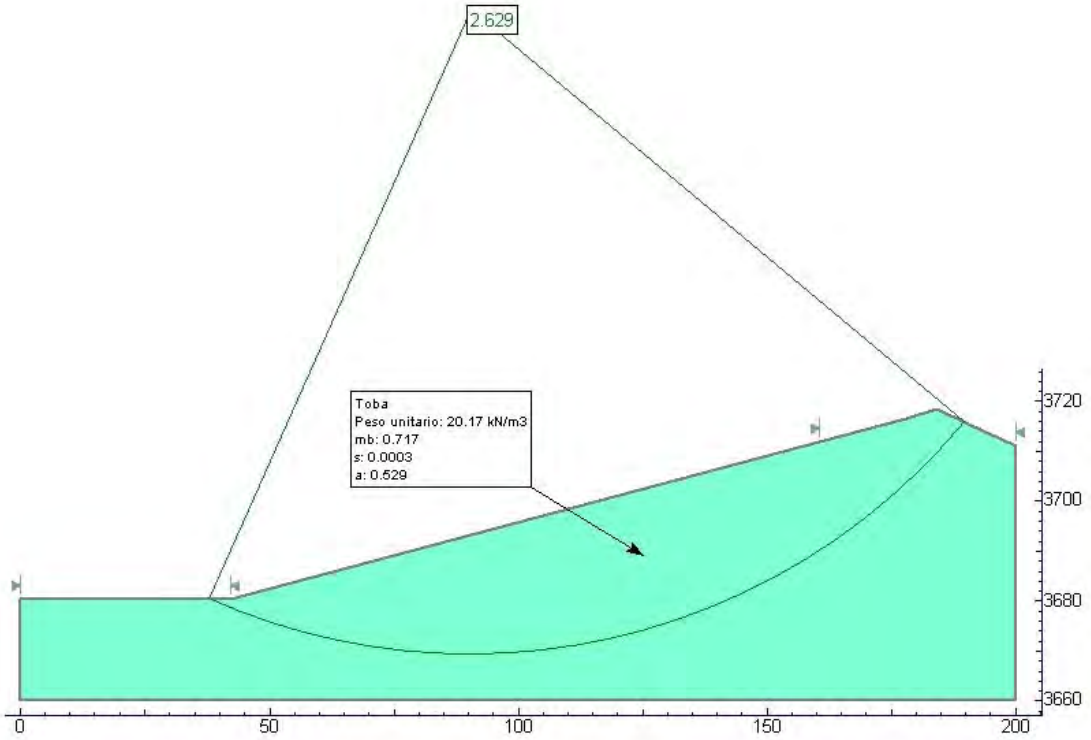
ANEXO E – ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES



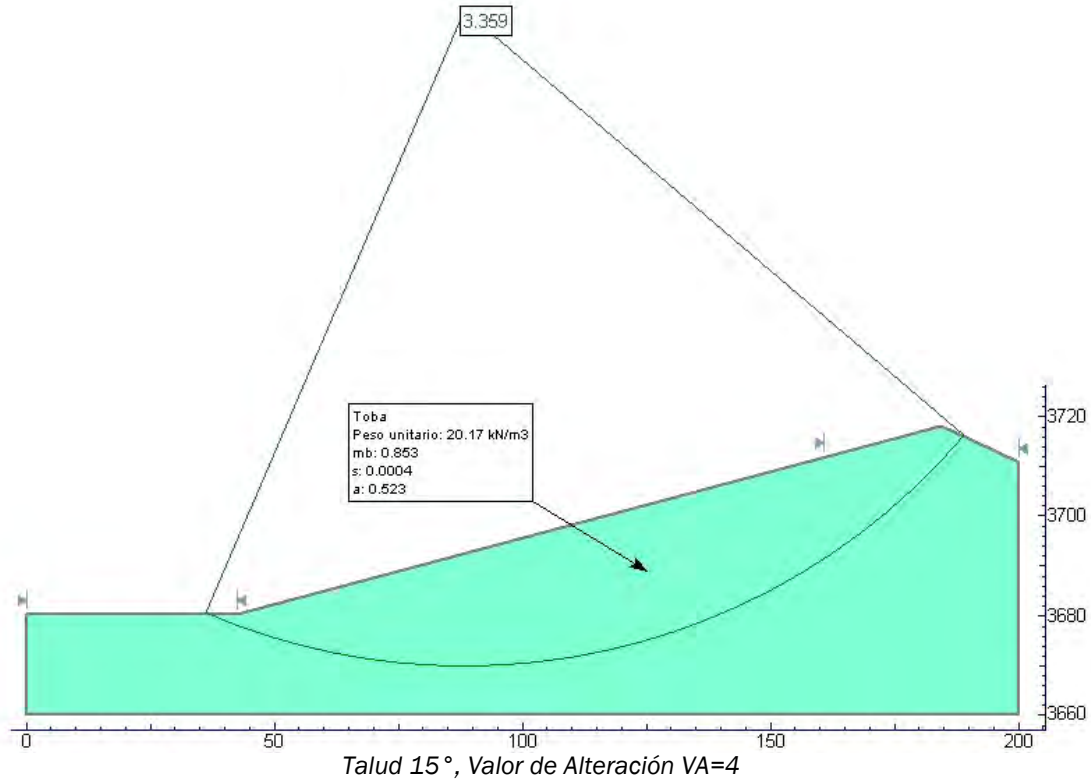
Talud 15°, Valor de Alteración VA=1



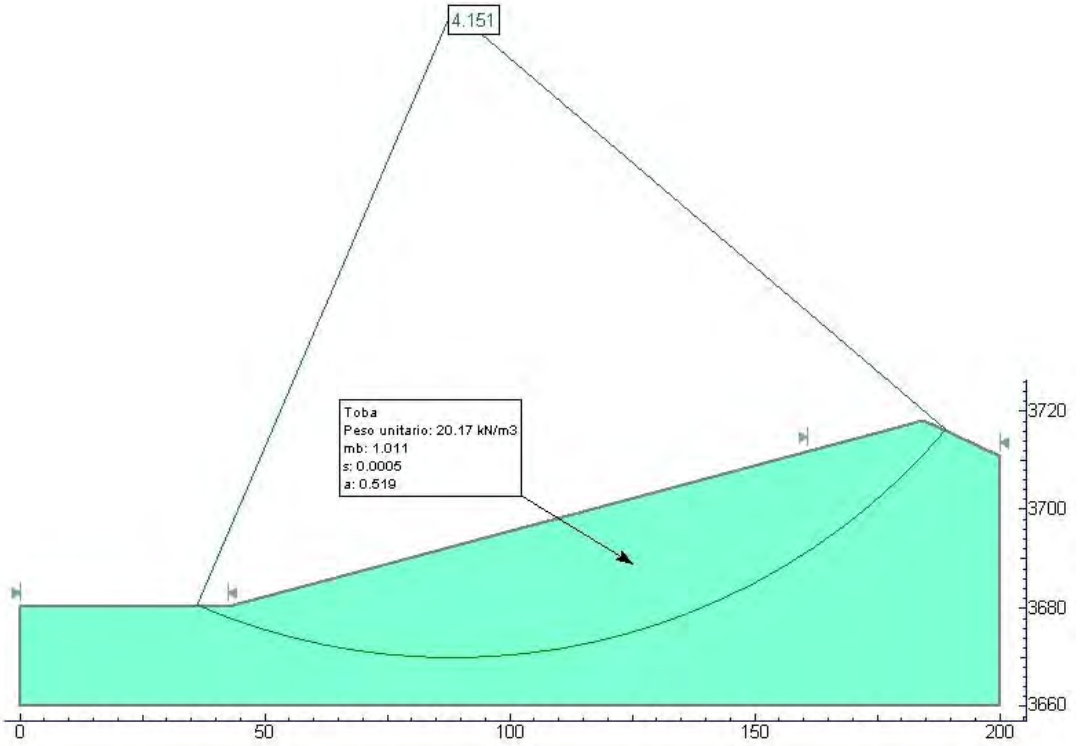
Talud 15°, Valor de Alteración VA=2



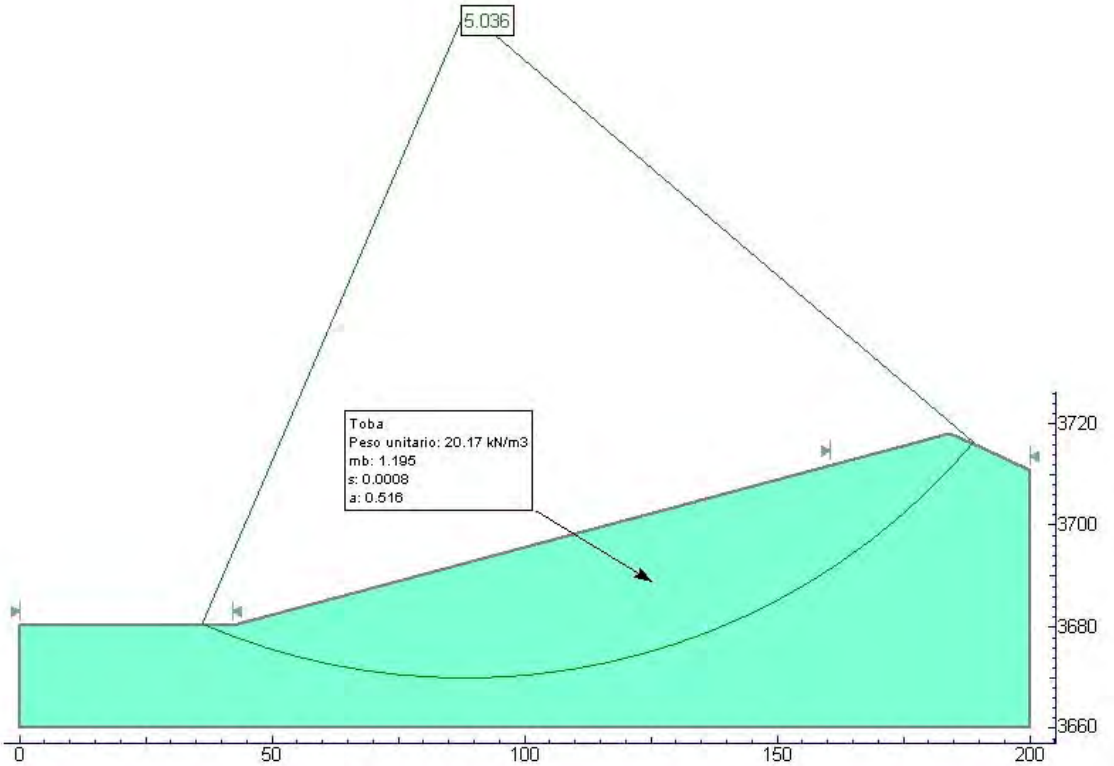
Talud 15°, Valor de Alteración VA=3



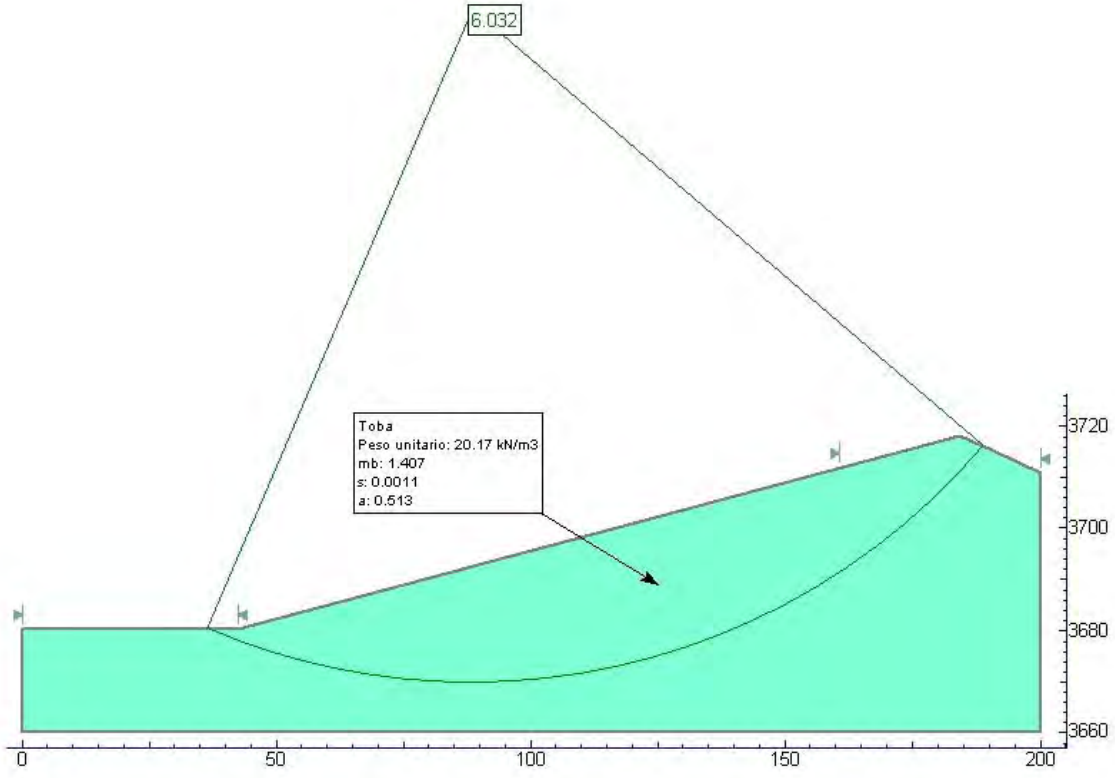
Talud 15°, Valor de Alteración VA=4



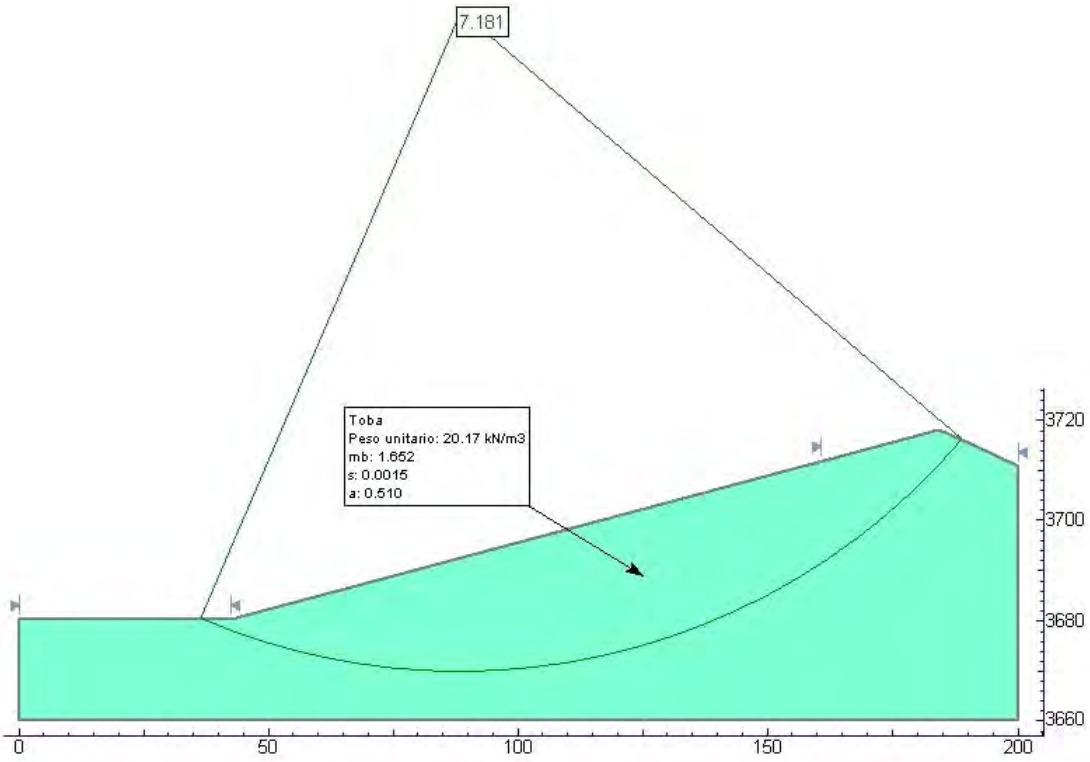
Talud 15°, Valor de Alteración VA=5



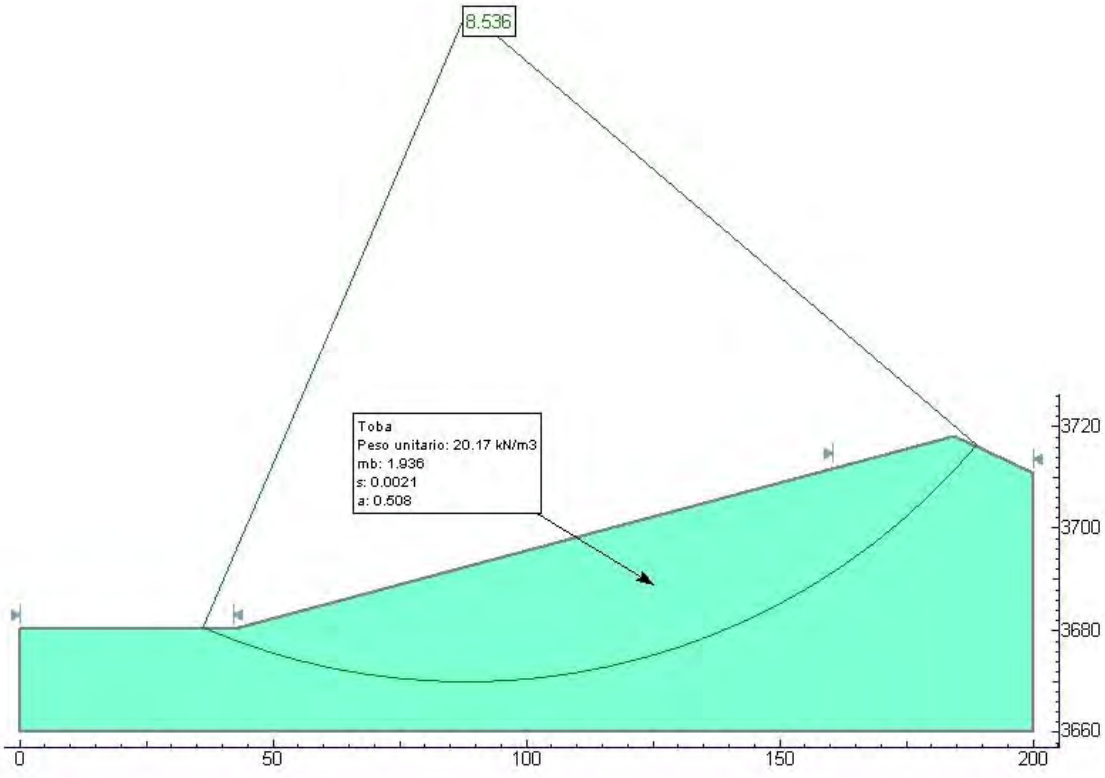
Talud 15°, Valor de Alteración VA=6



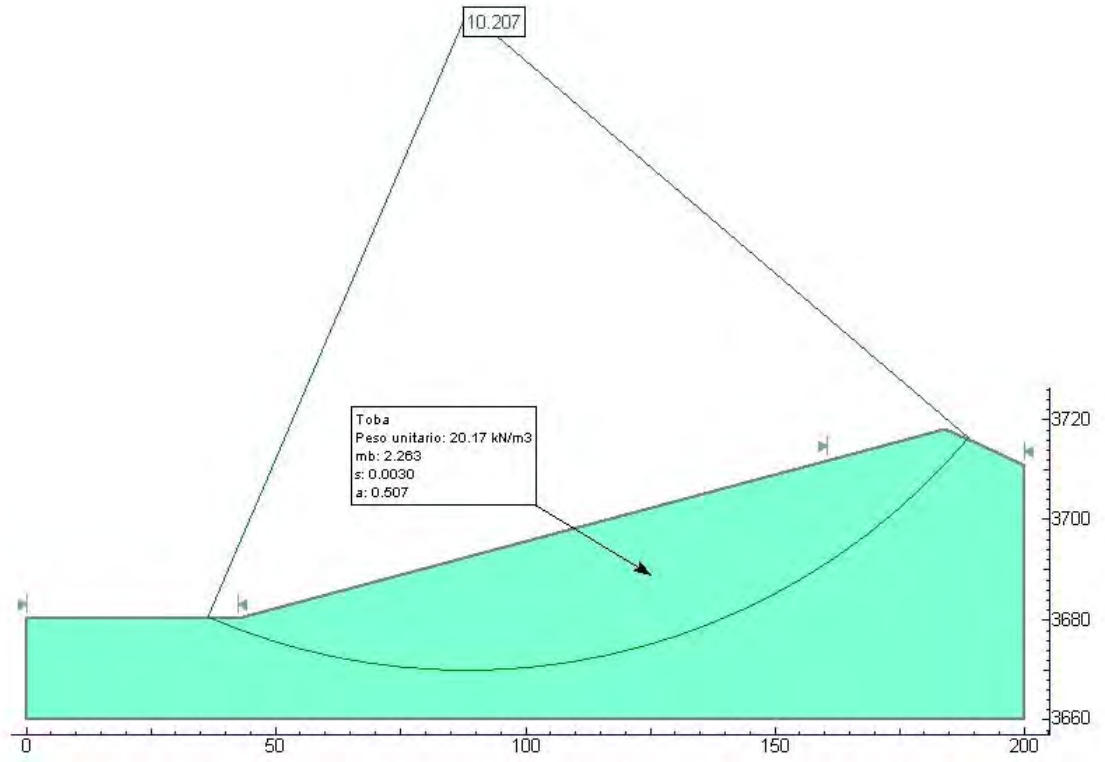
Talud 15°, Valor de Alteración VA=7



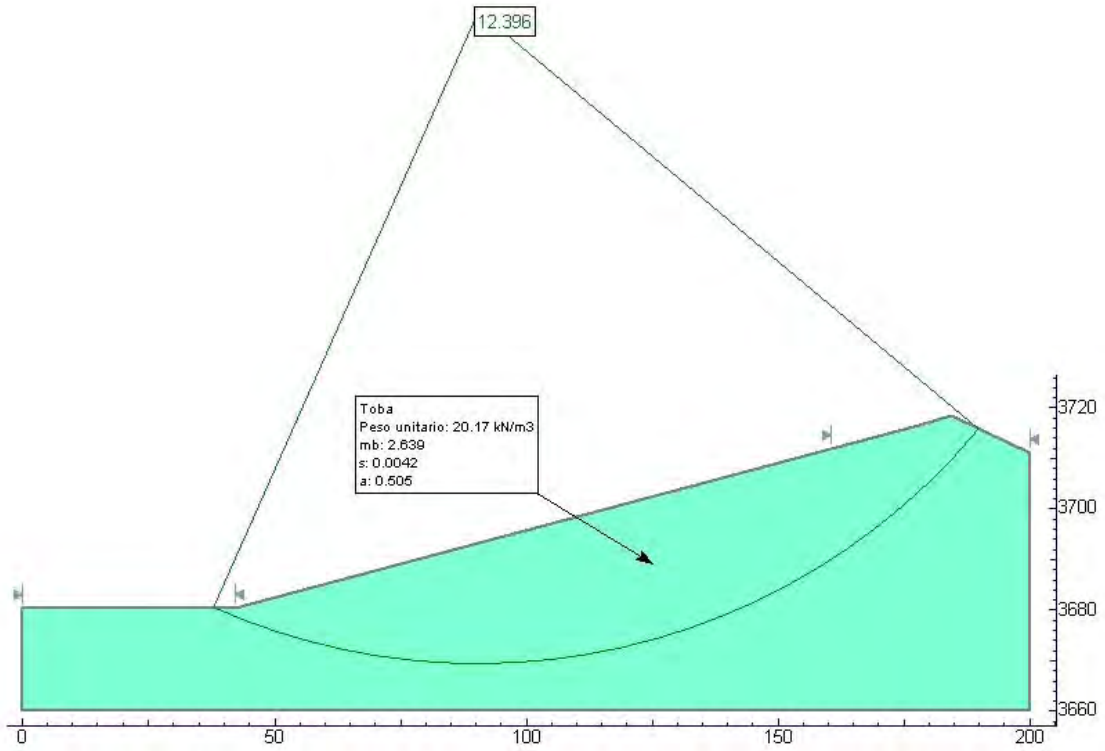
Talud 15°, Valor de Alteración VA=8



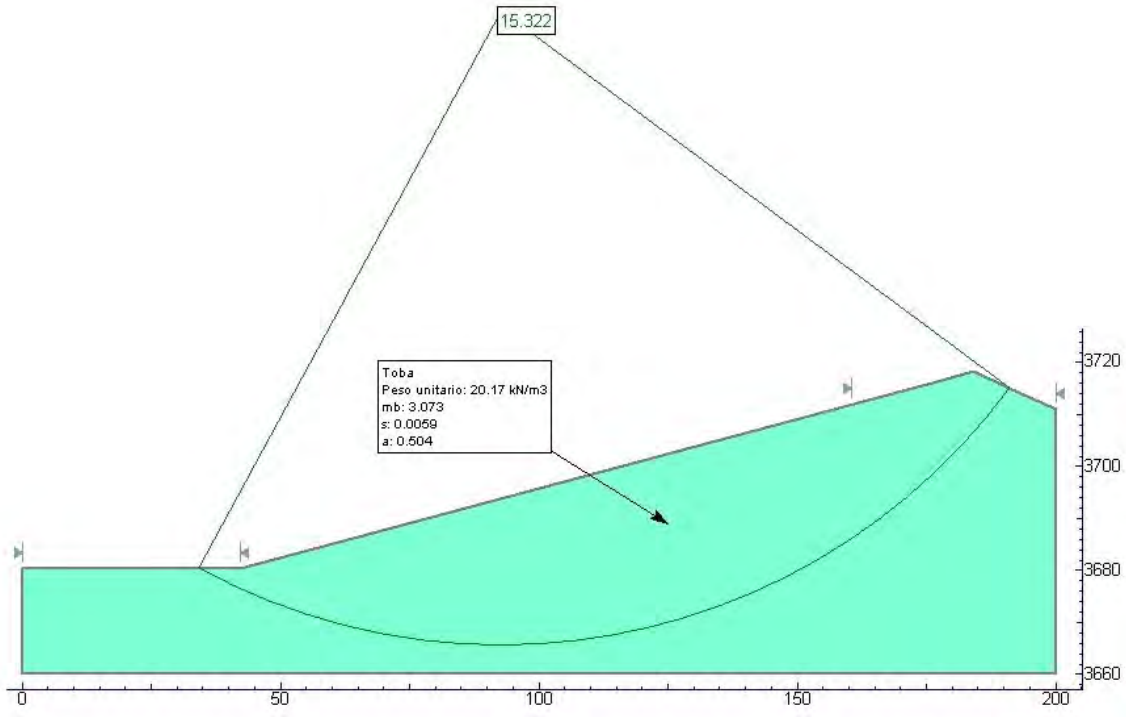
Talud 15°, Valor de Alteración VA=9



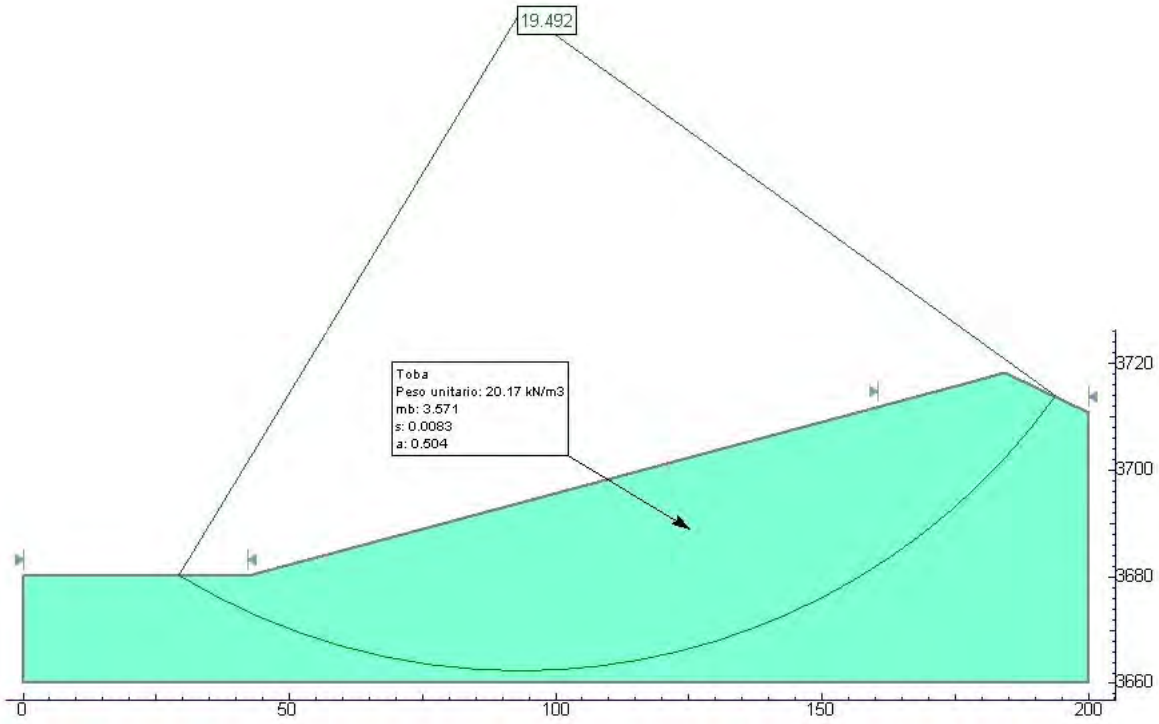
Talud 15°, Valor de Alteración VA=10



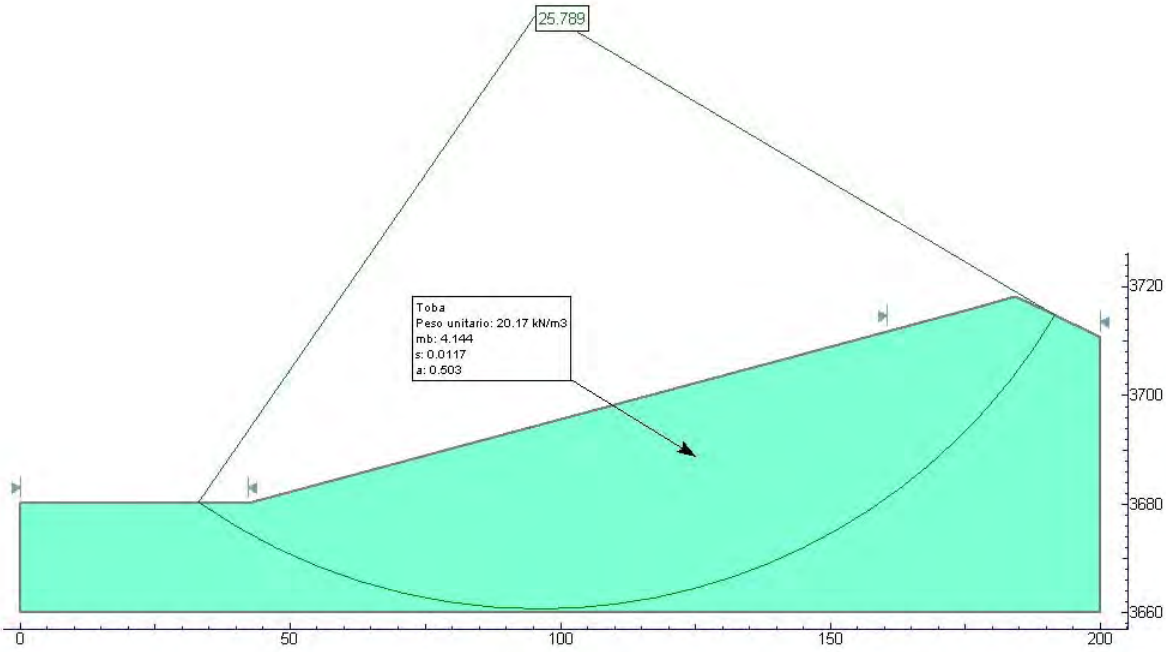
Talud 15 °, Valor de Alteración VA=11



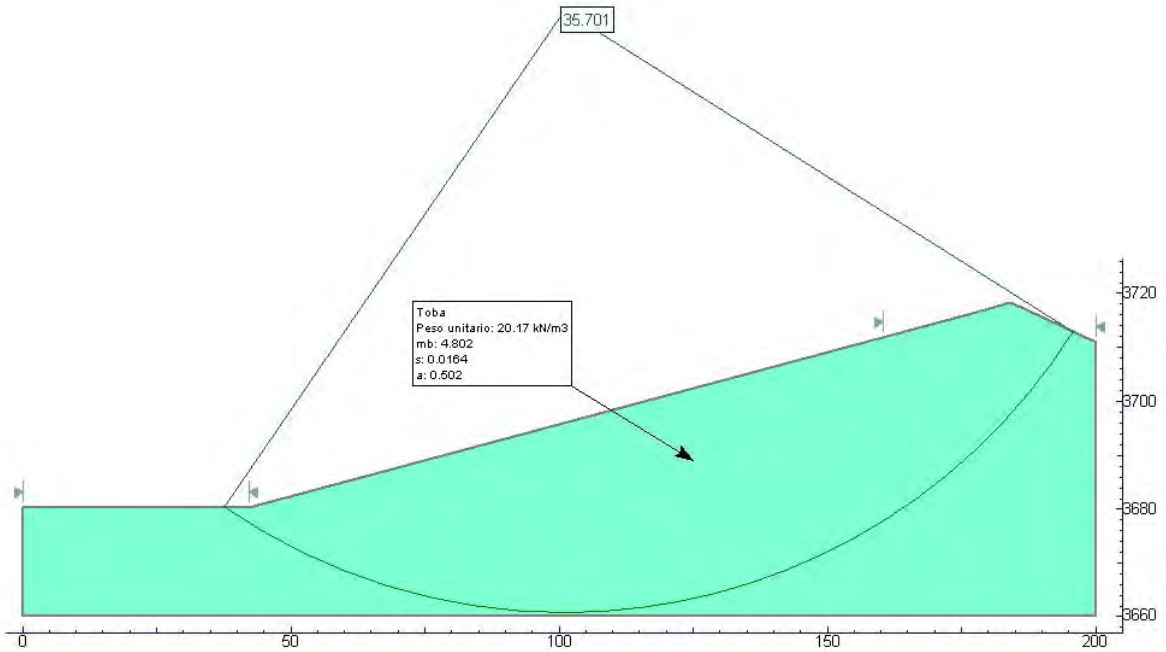
Talud 15°, Valor de Alteración VA=12



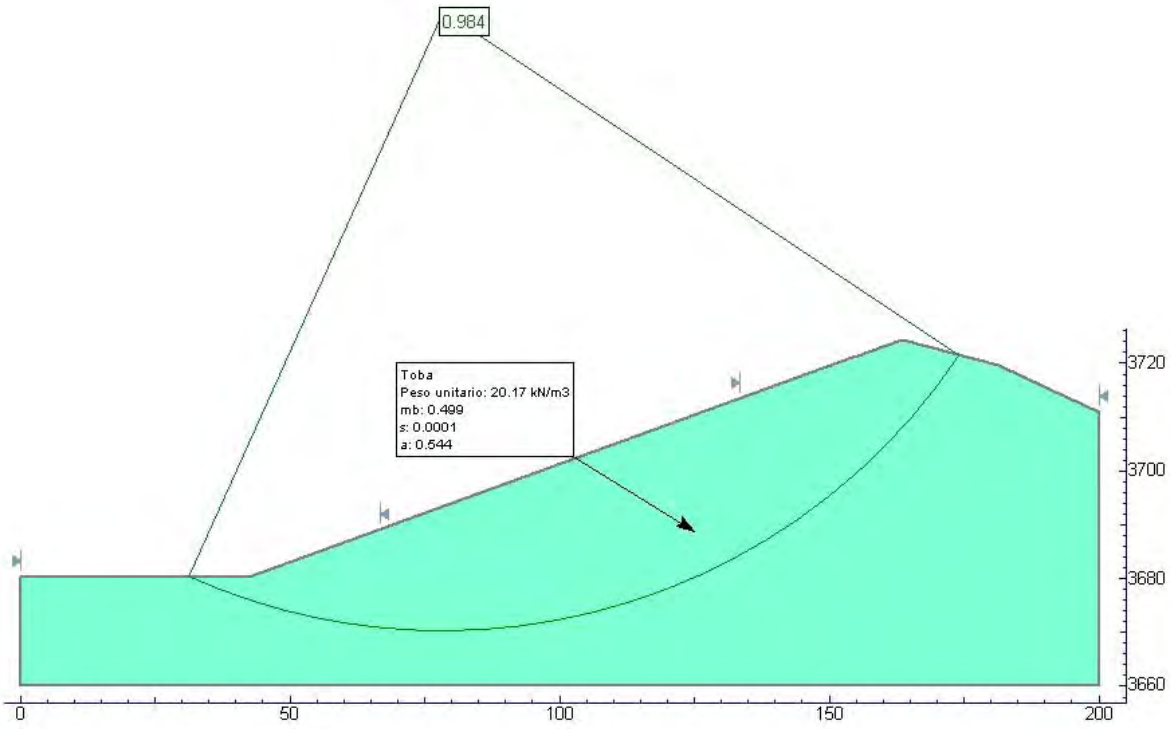
Talud 15°, Valor de Alteración VA=13



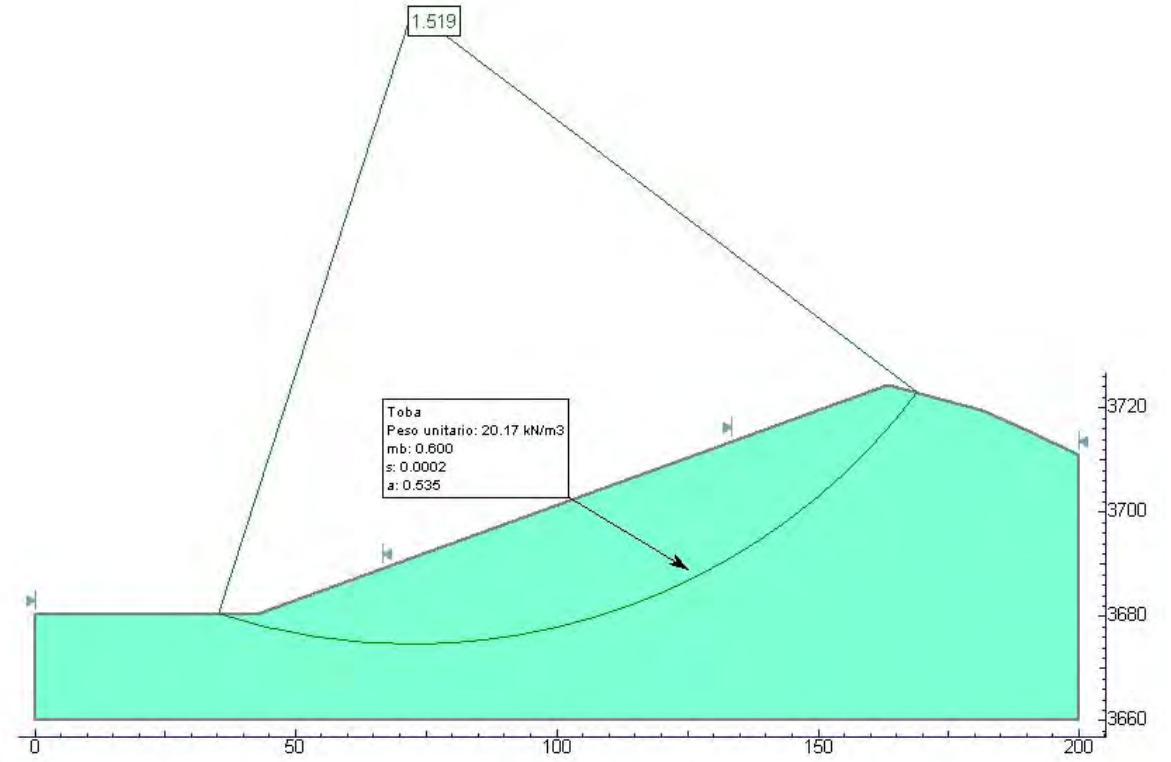
Talud 15°, Valor de Alteración VA=14



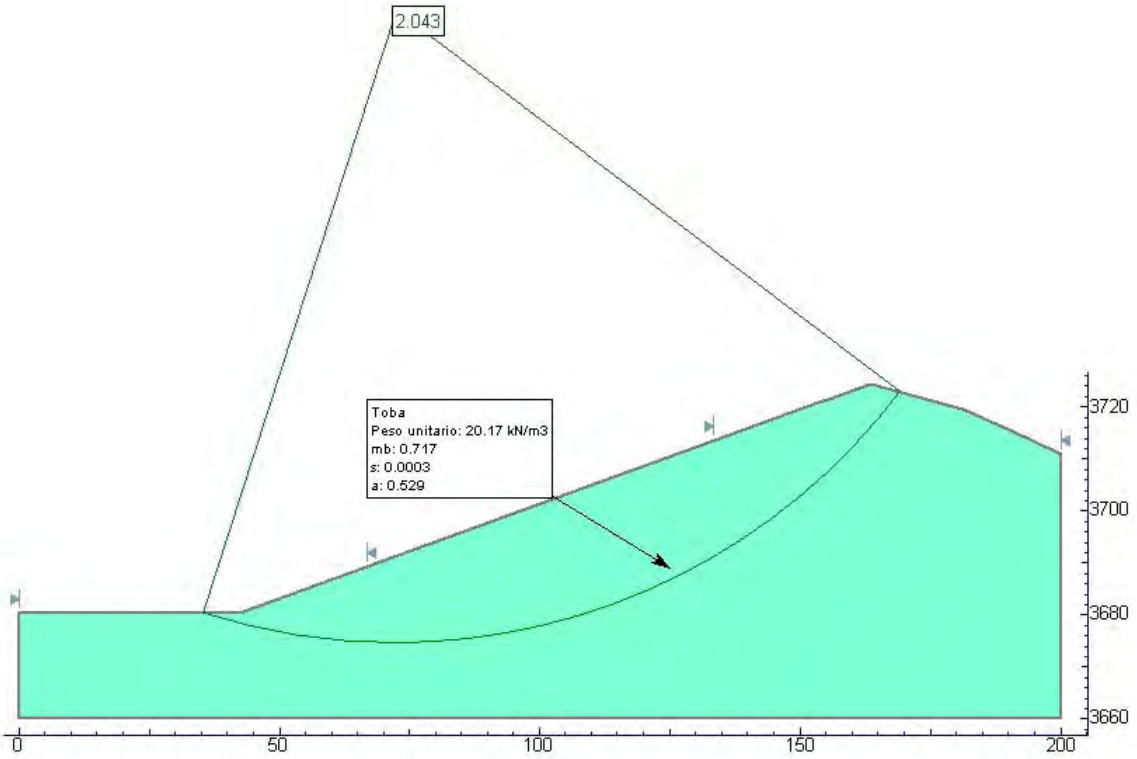
Talud 15°, Valor de Alteración VA=15



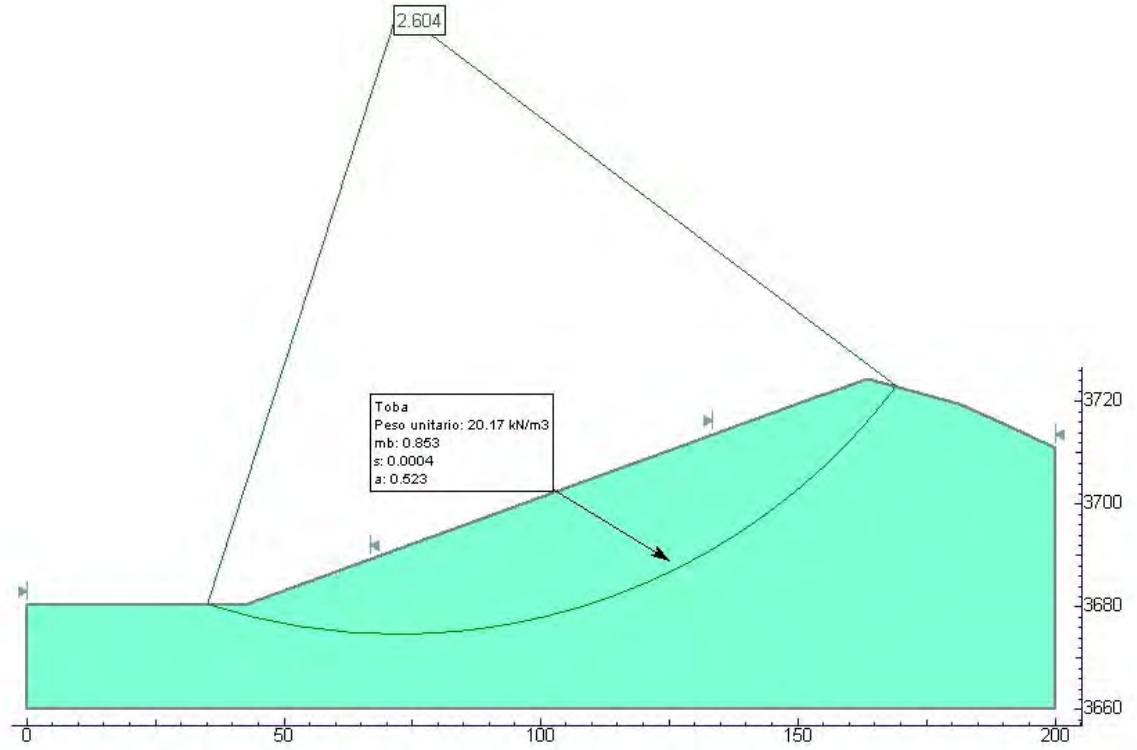
Talud 20°, Valor de Alteración VA=1



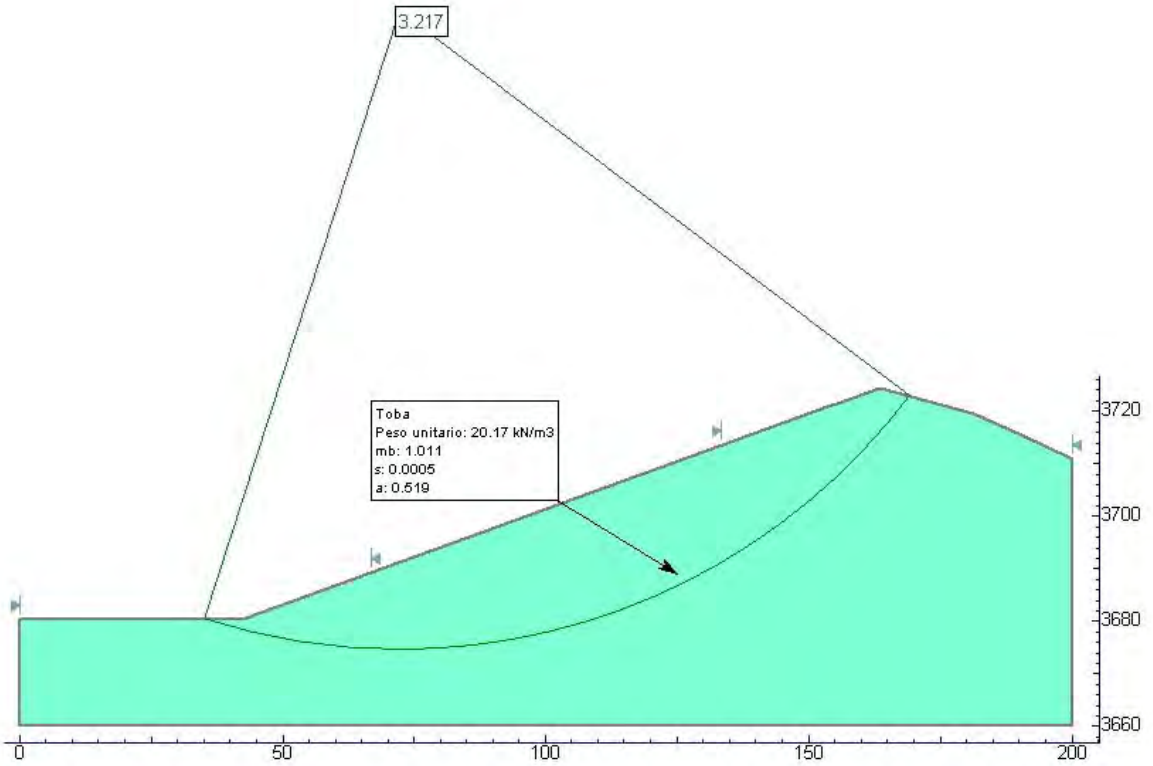
Talud 20°, Valor de Alteración VA=2



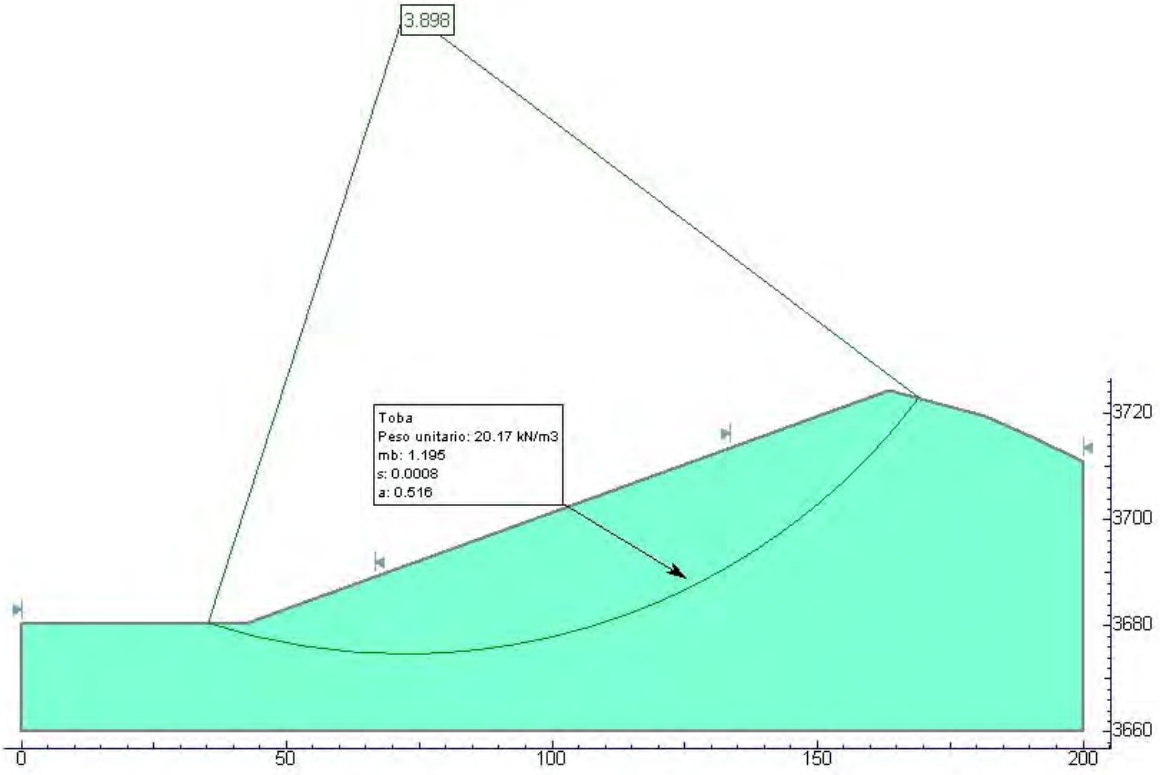
Talud 20°, Valor de Alteración VA=3



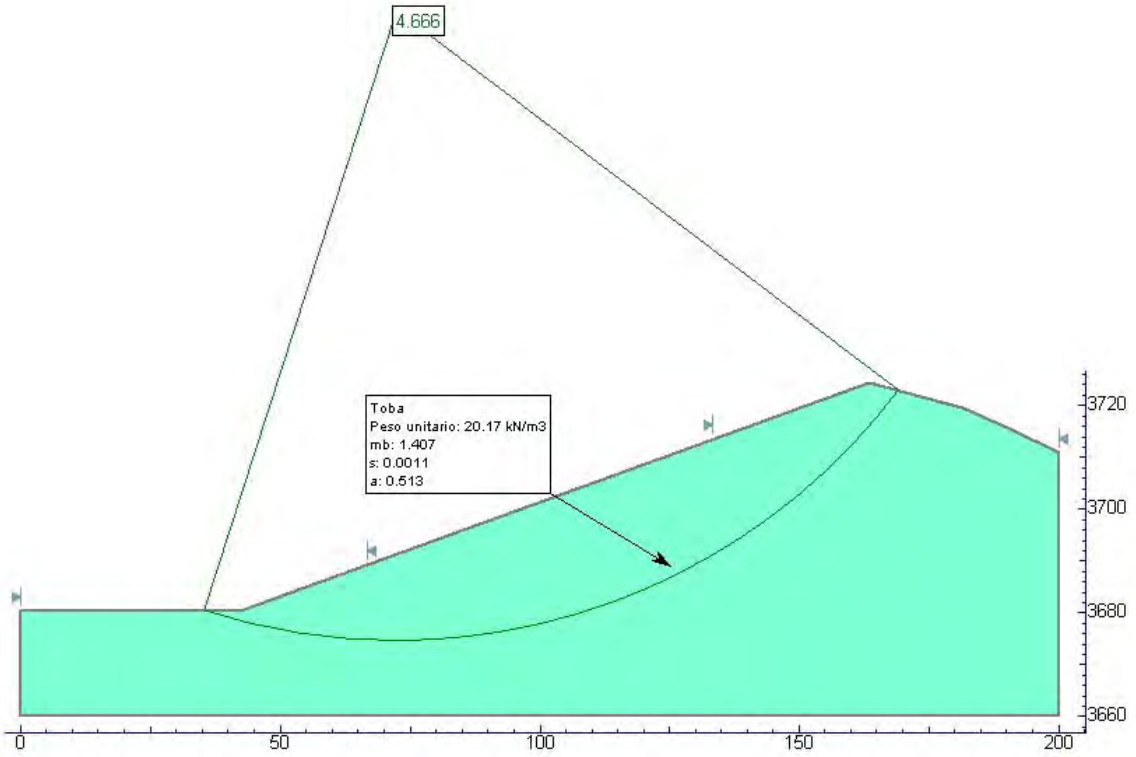
Talud 20°, Valor de Alteración VA=4



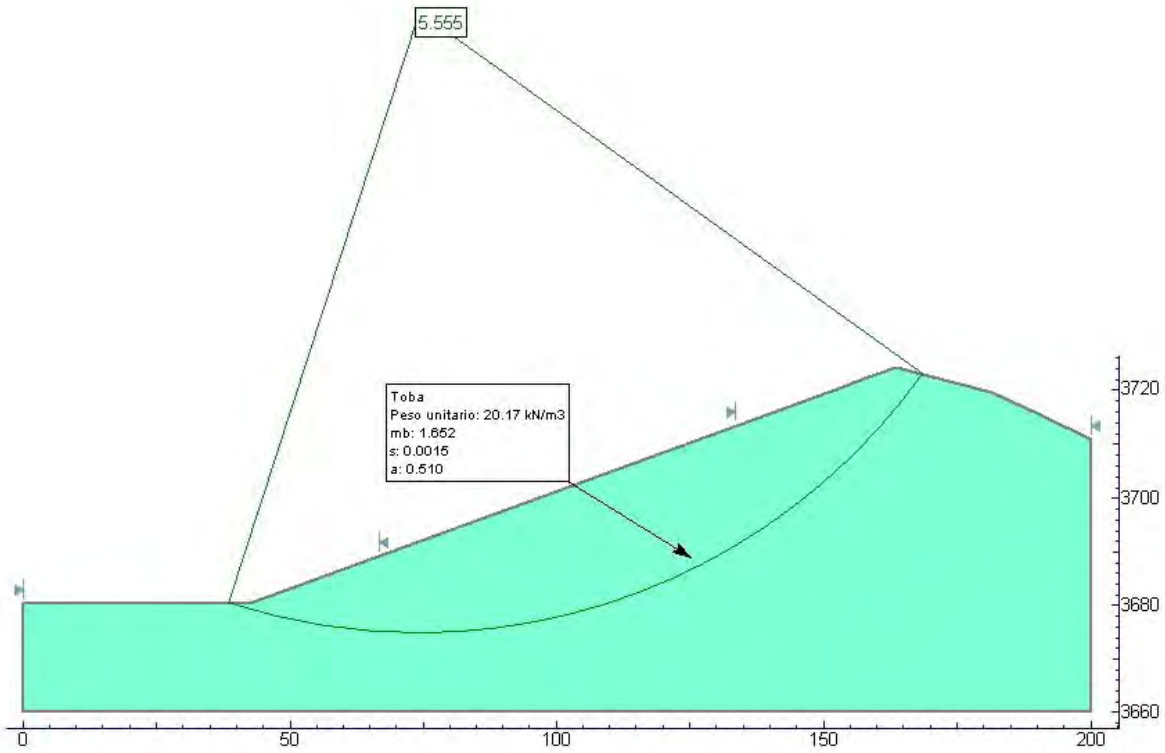
Talud 20°, Valor de Alteración VA=5



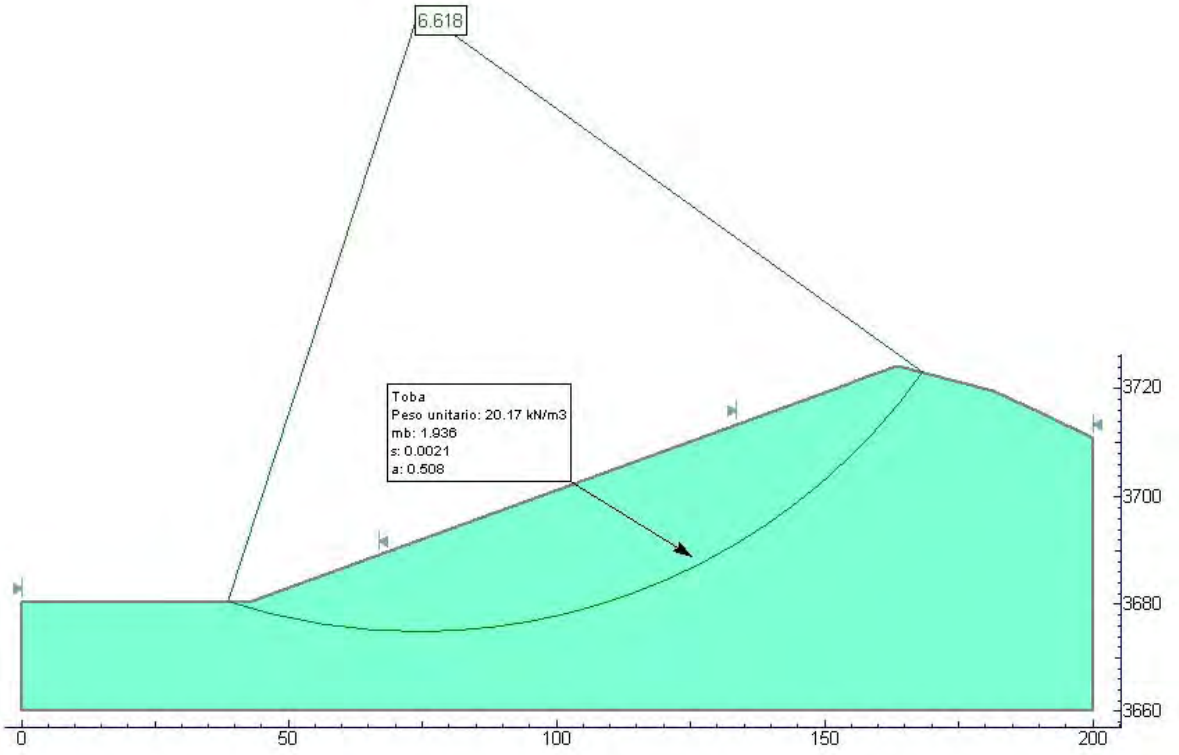
Talud 20°, Valor de Alteración VA=6



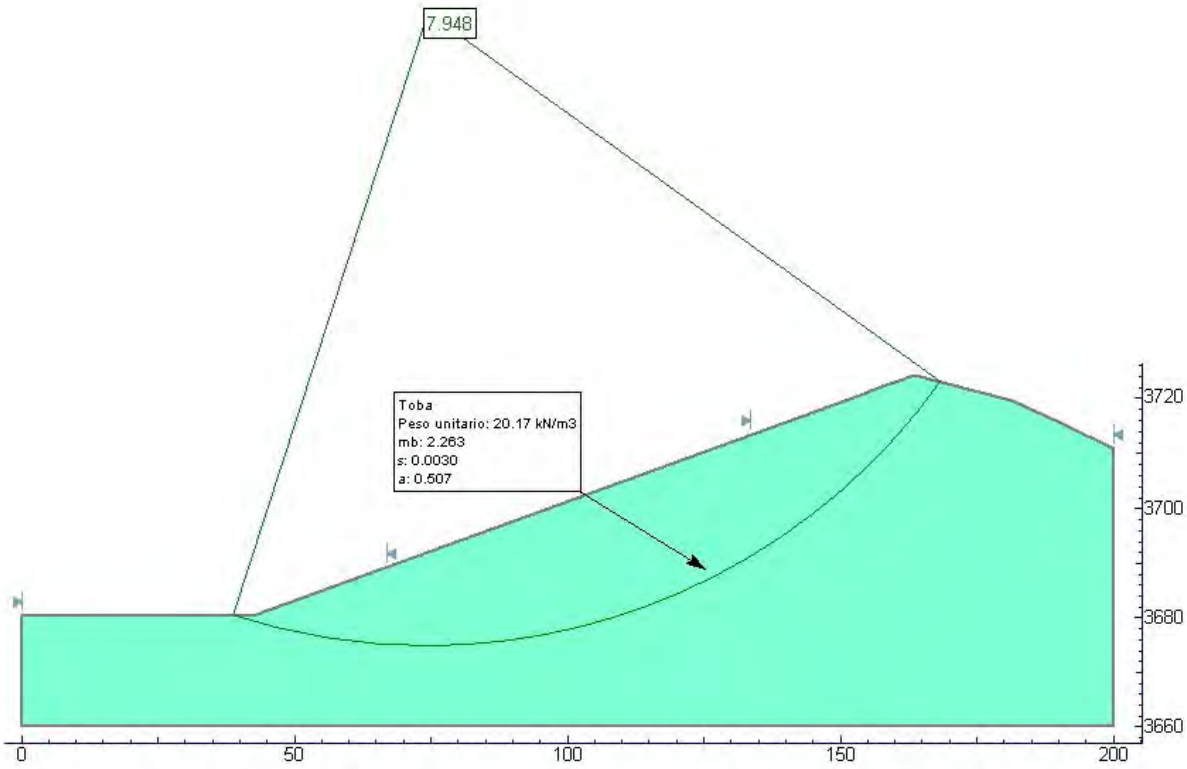
Talud 20°, Valor de Alteración VA=7



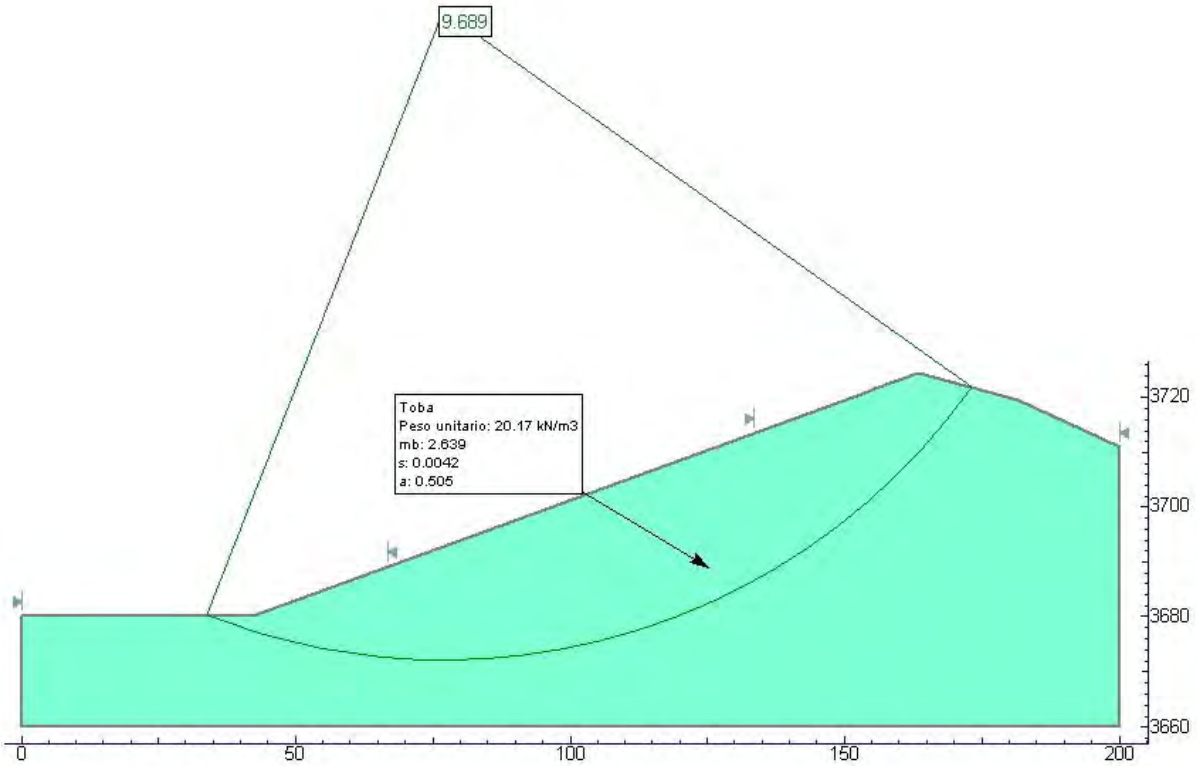
Talud 20°, Valor de Alteración VA=8



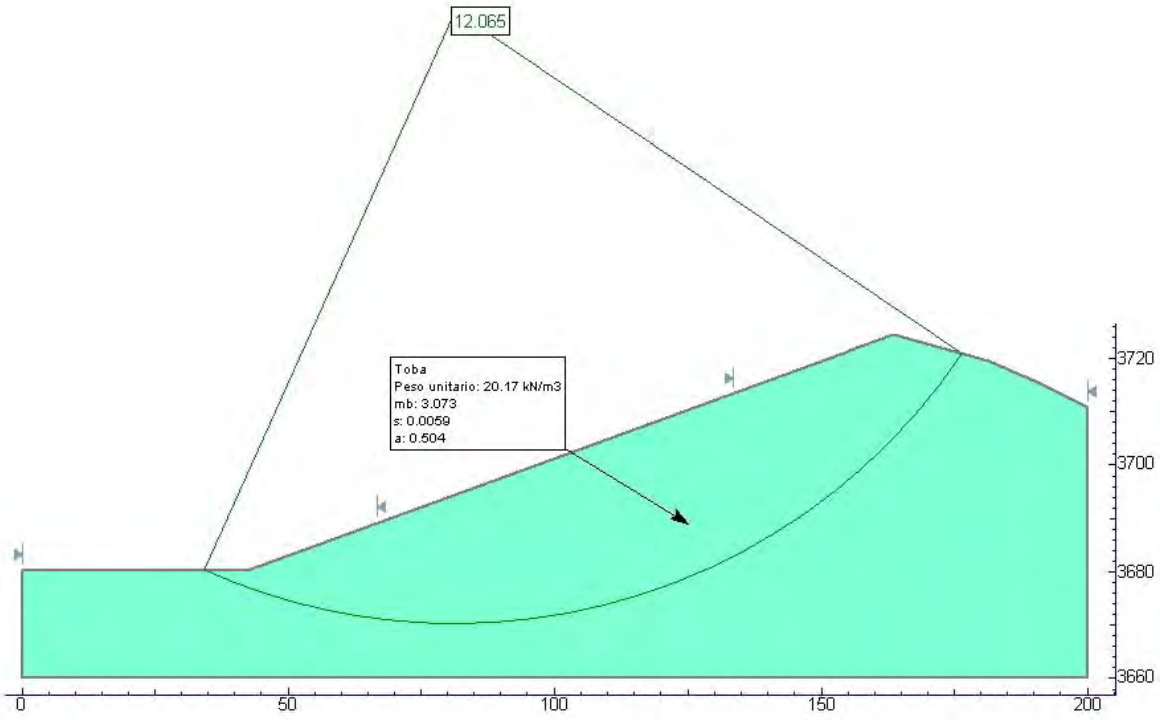
Talud 20°, Valor de Alteración VA=9



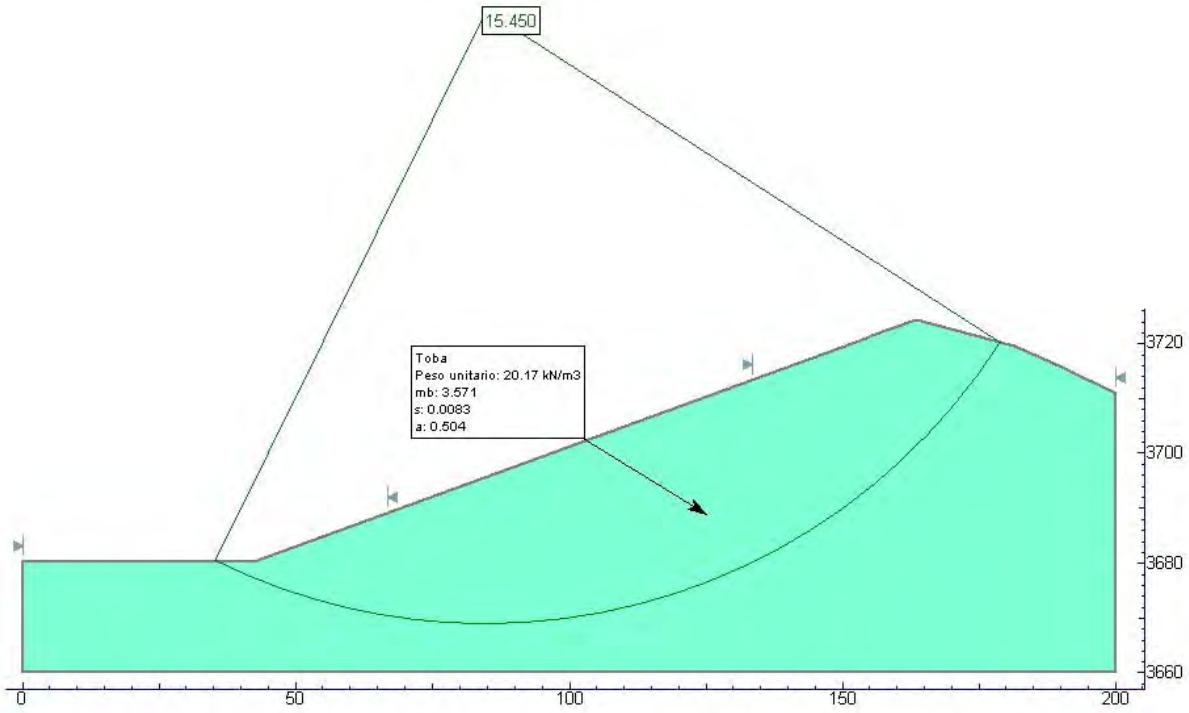
Talud 20°, Valor de Alteración VA=10



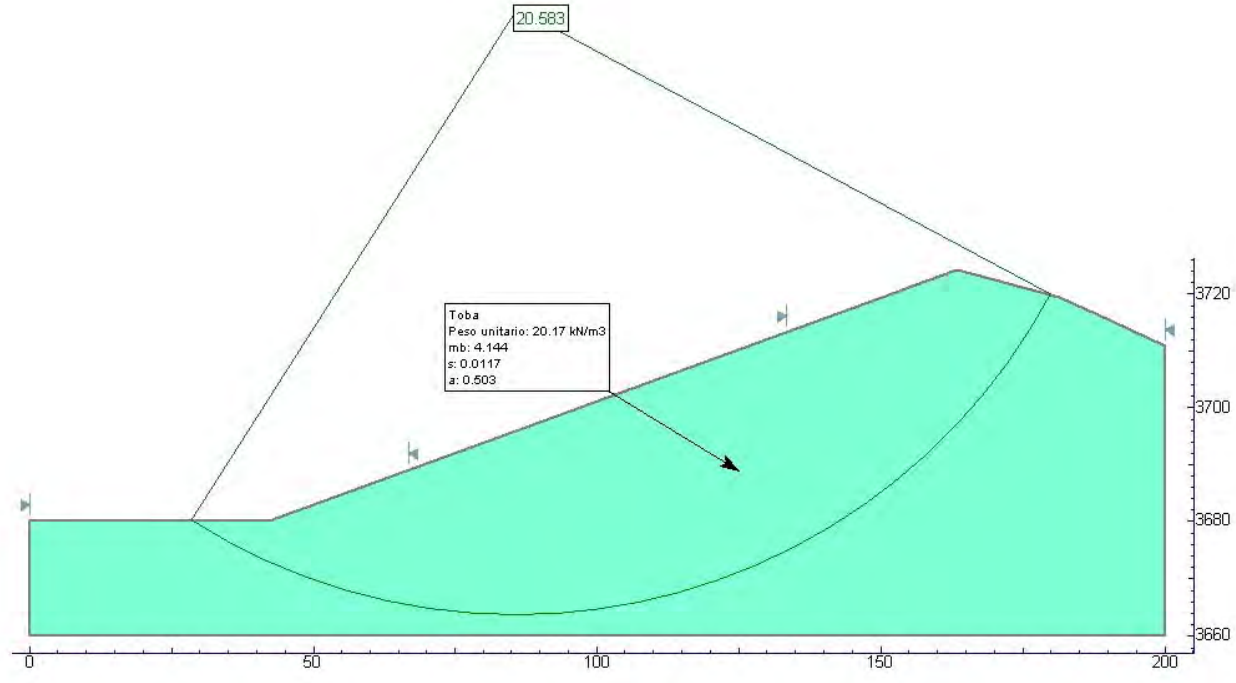
Talud 20°, Valor de Alteración VA=11



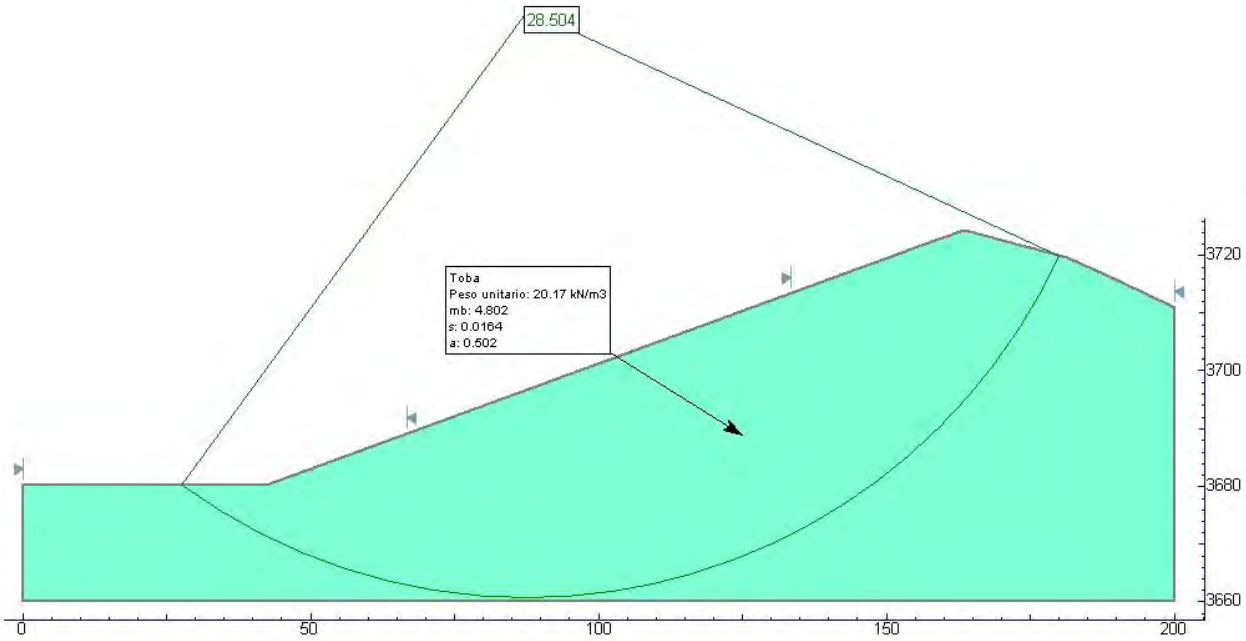
Talud 20°, Valor de Alteración VA=12



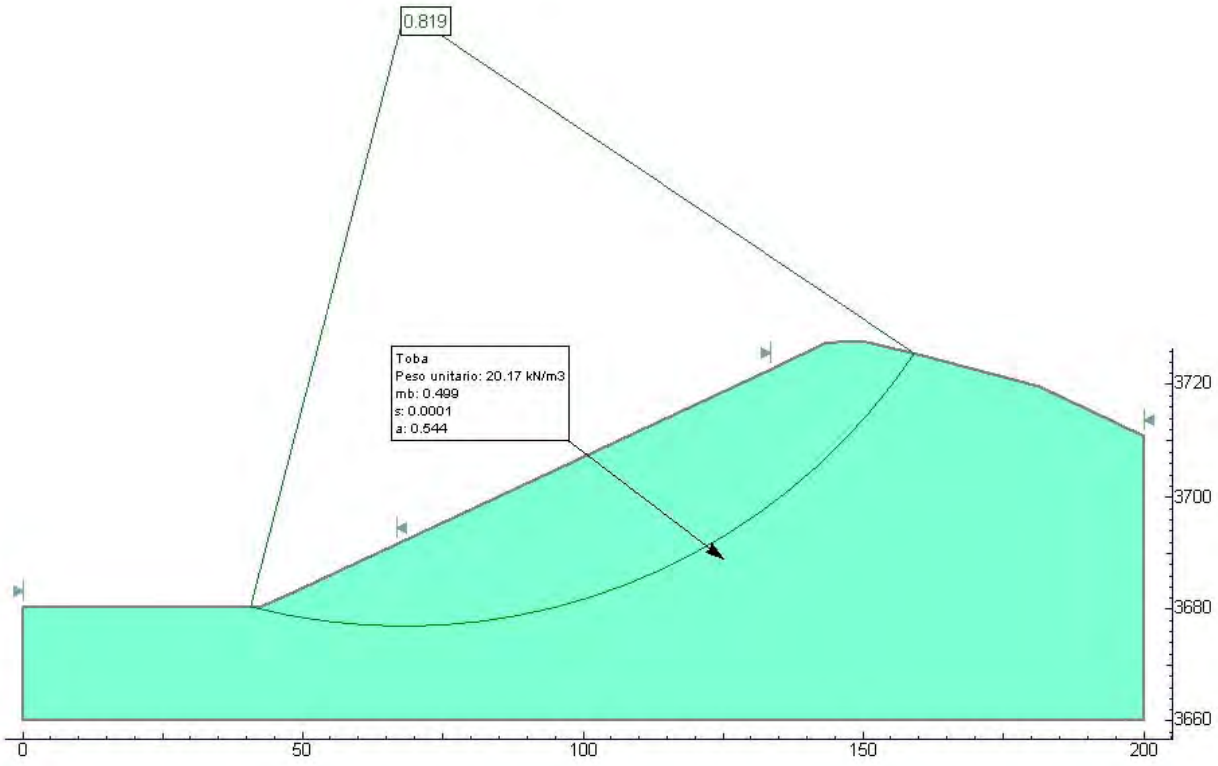
Talud 20°, Valor de Alteración VA=13



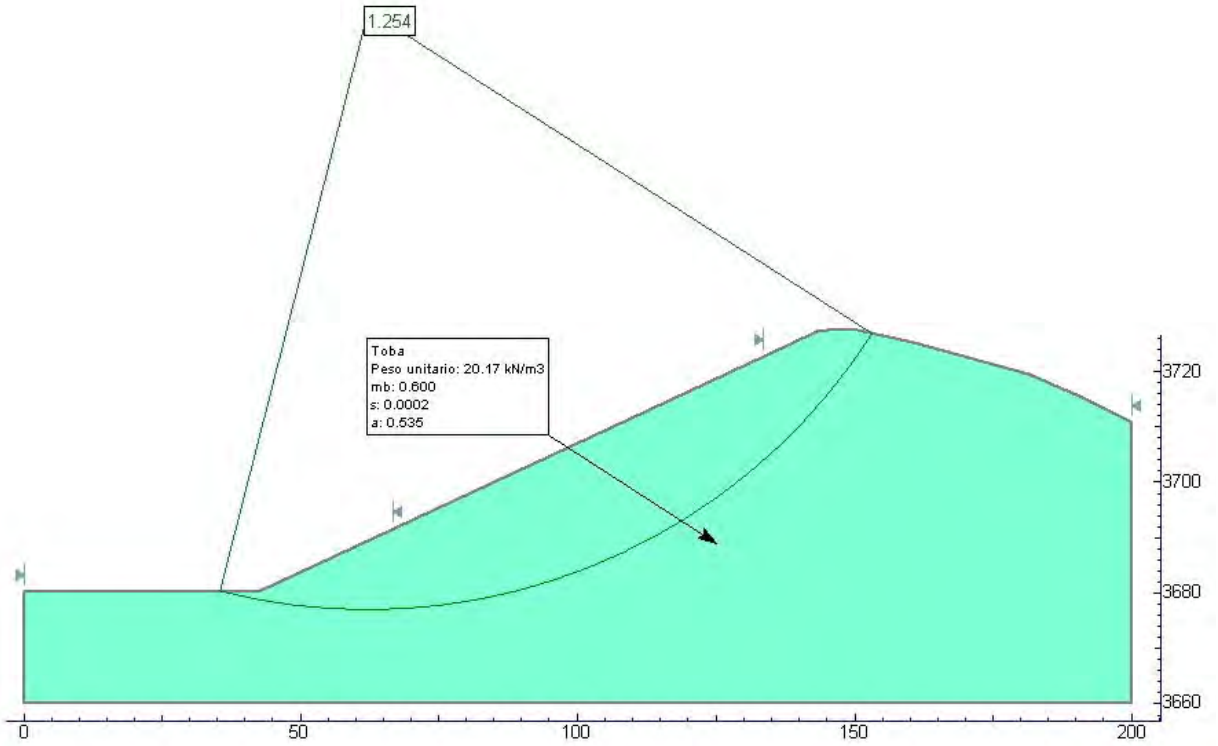
Talud 20°, Valor de Alteración VA=14



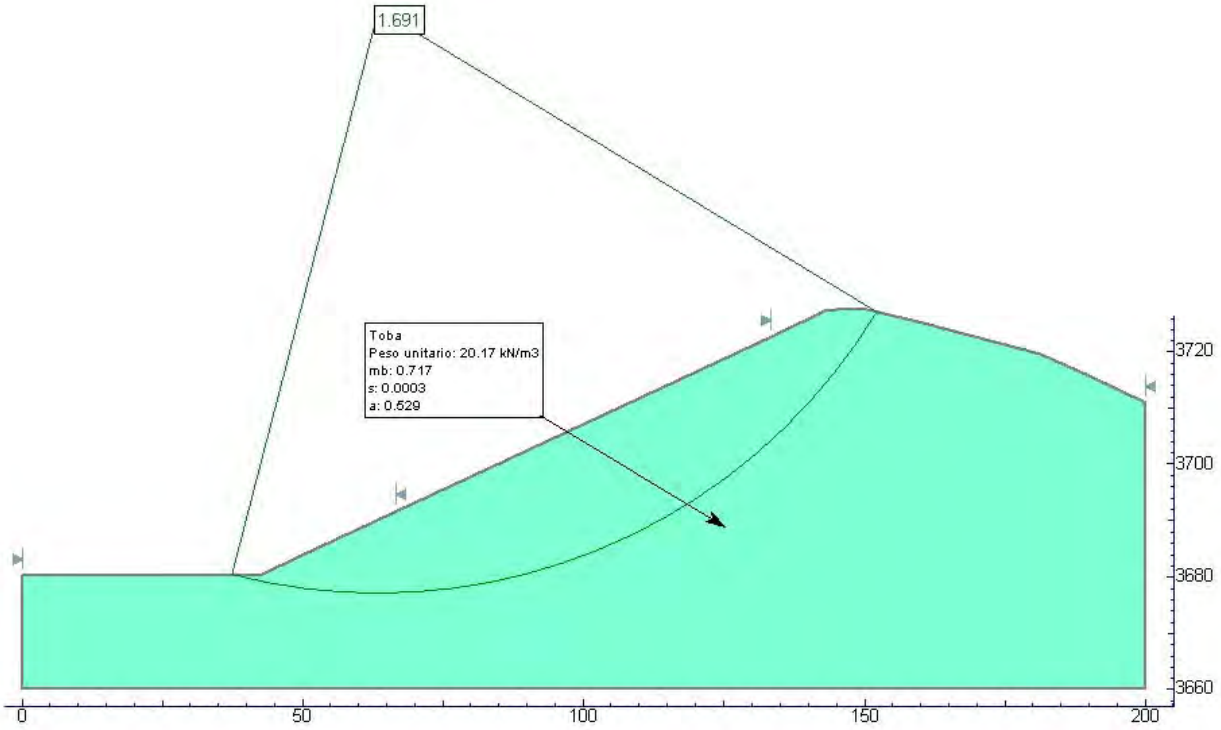
Talud 20°, Valor de Alteración VA=15



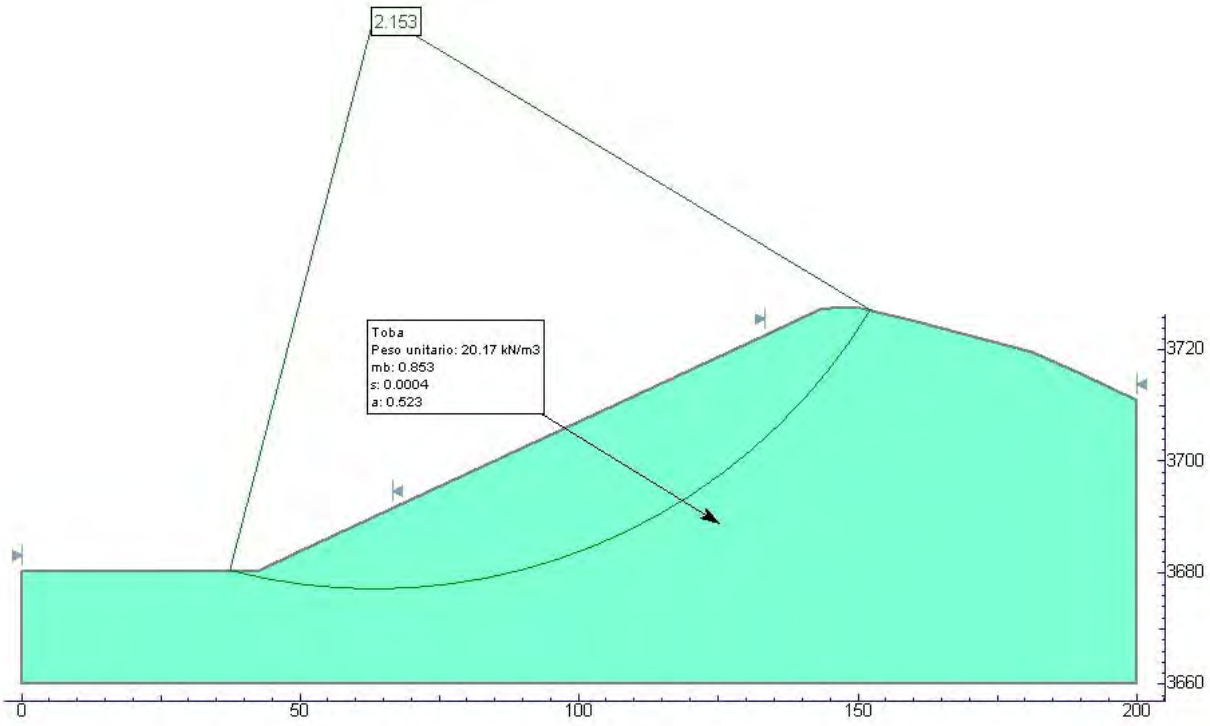
Talud 25°, Valor de Alteración VA=1



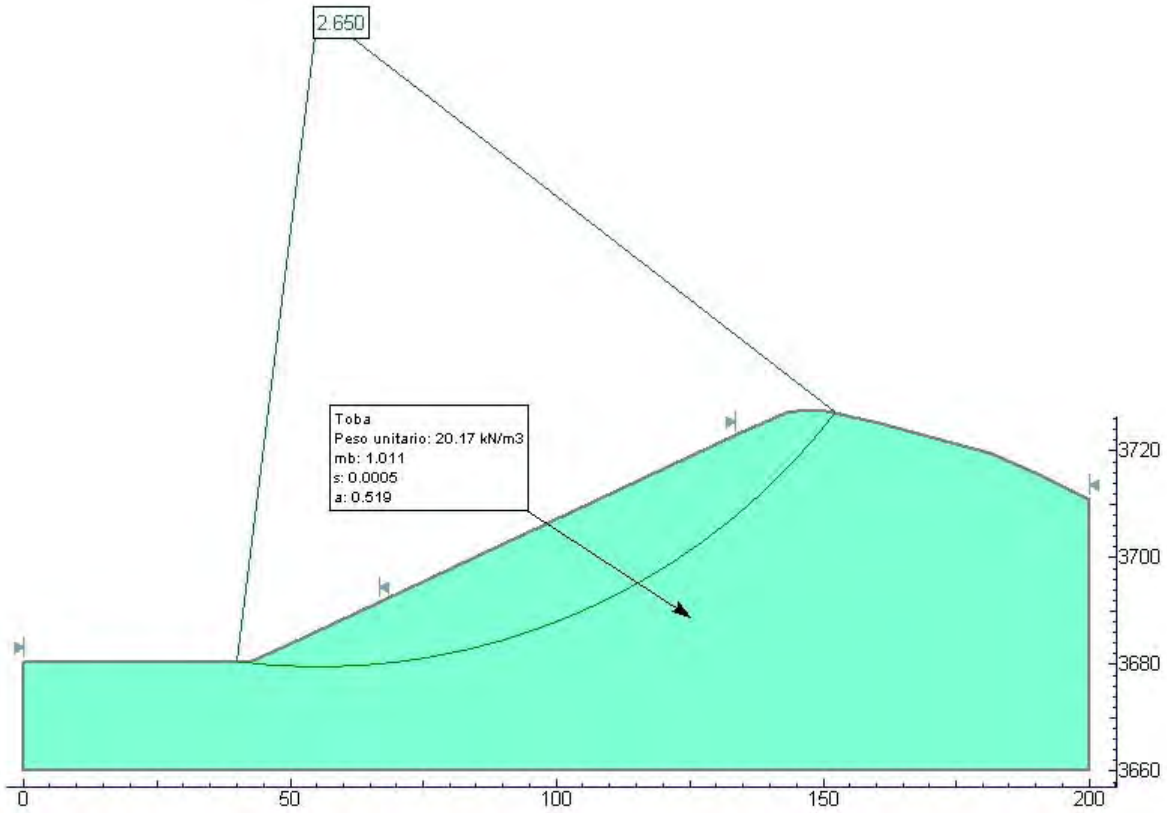
Talud 25°, Valor de Alteración VA=2



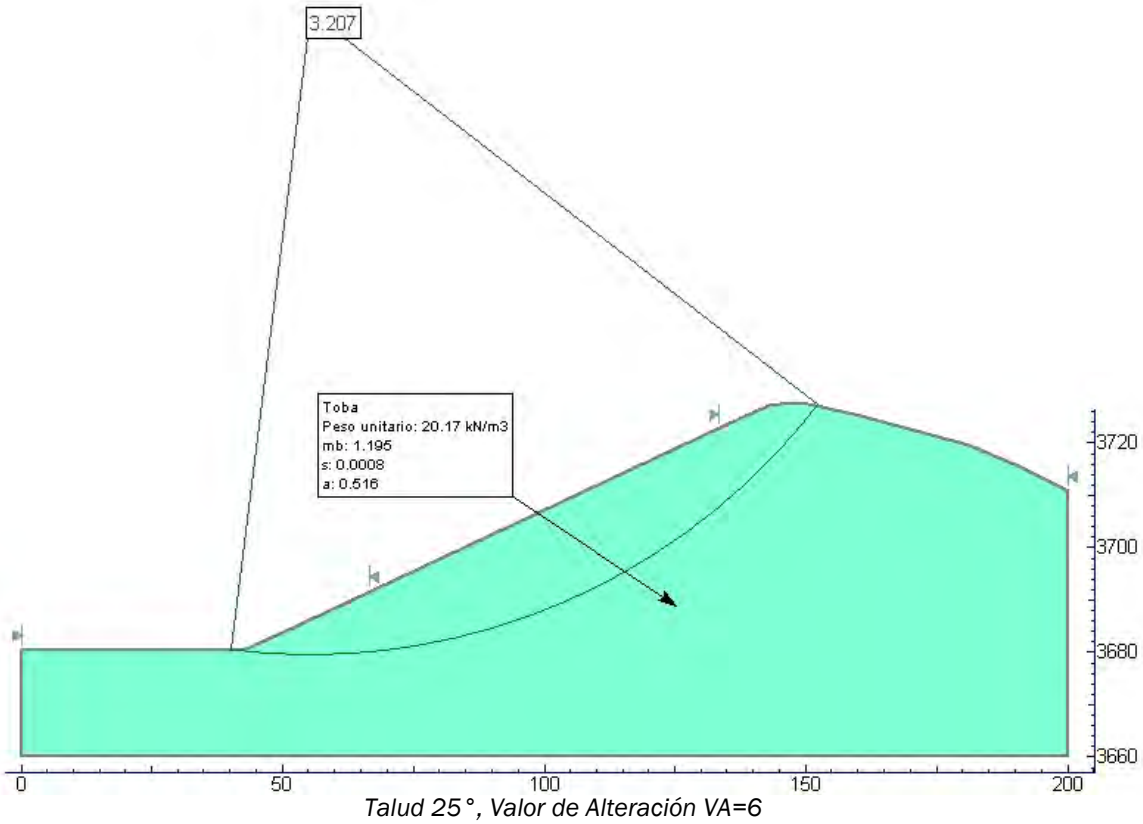
Talud 25°, Valor de Alteración VA=3



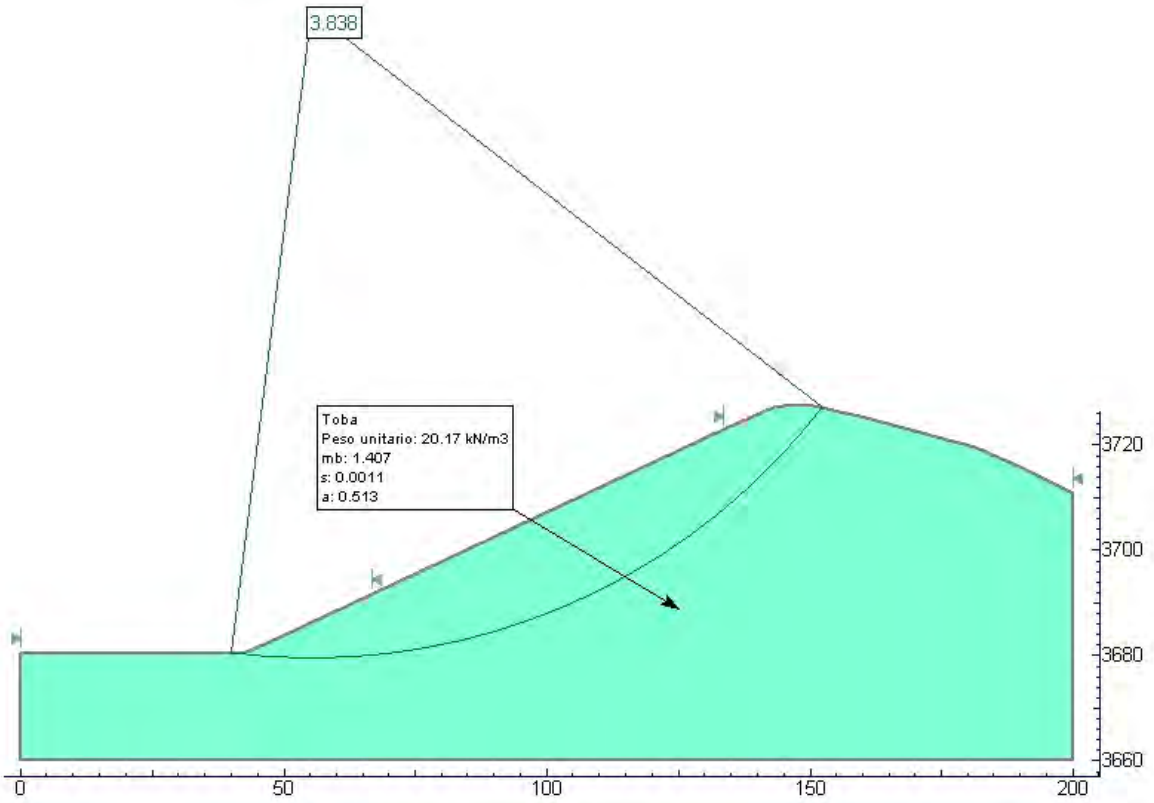
Talud 25°, Valor de Alteración VA=4



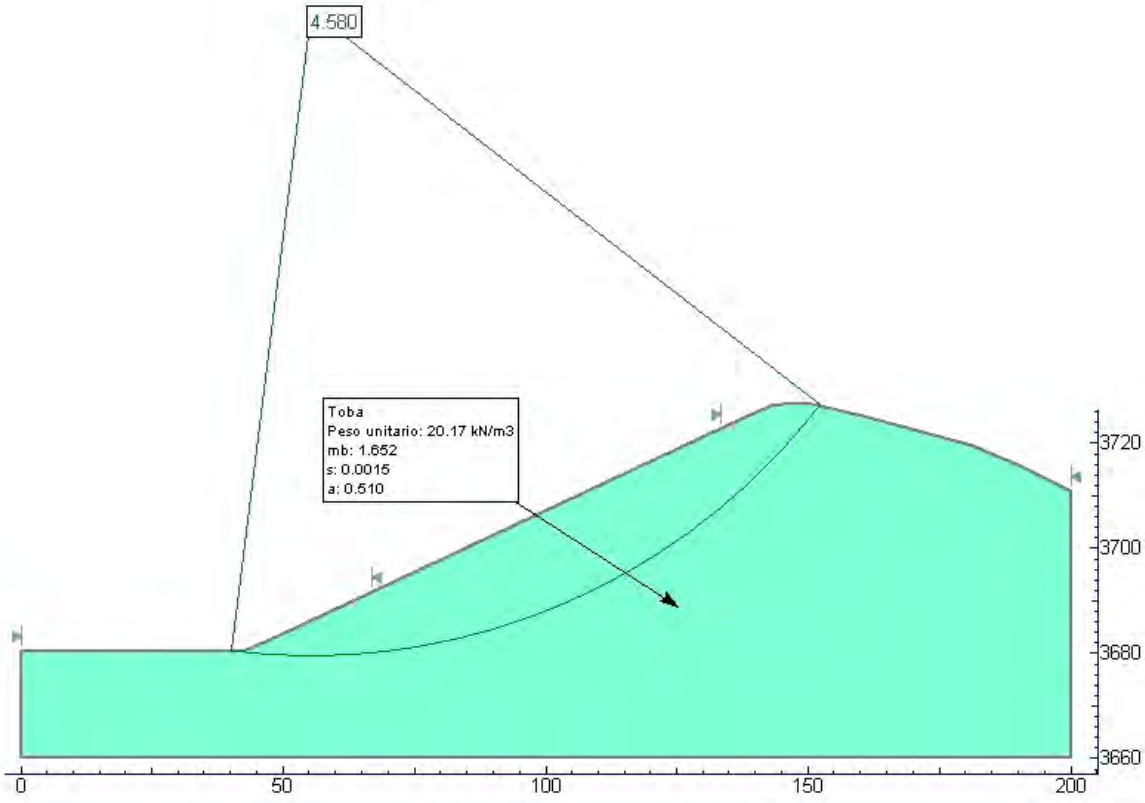
Talud 25°, Valor de Alteración VA=5



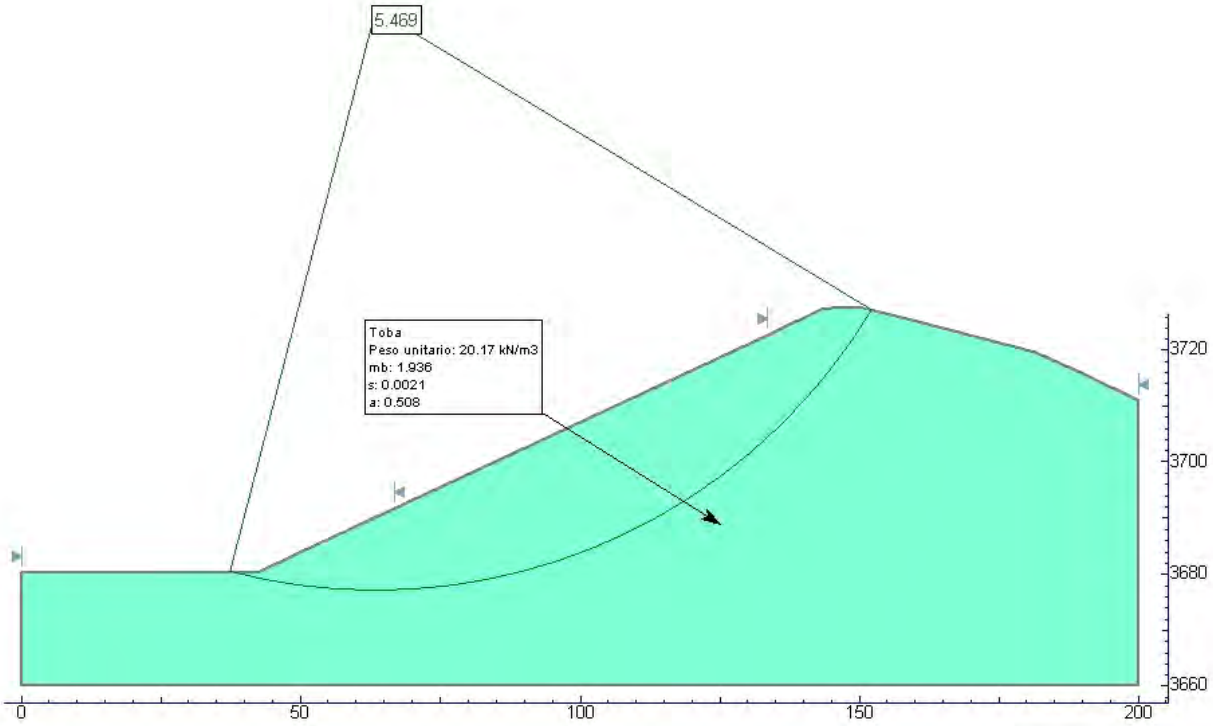
Talud 25°, Valor de Alteración VA=6



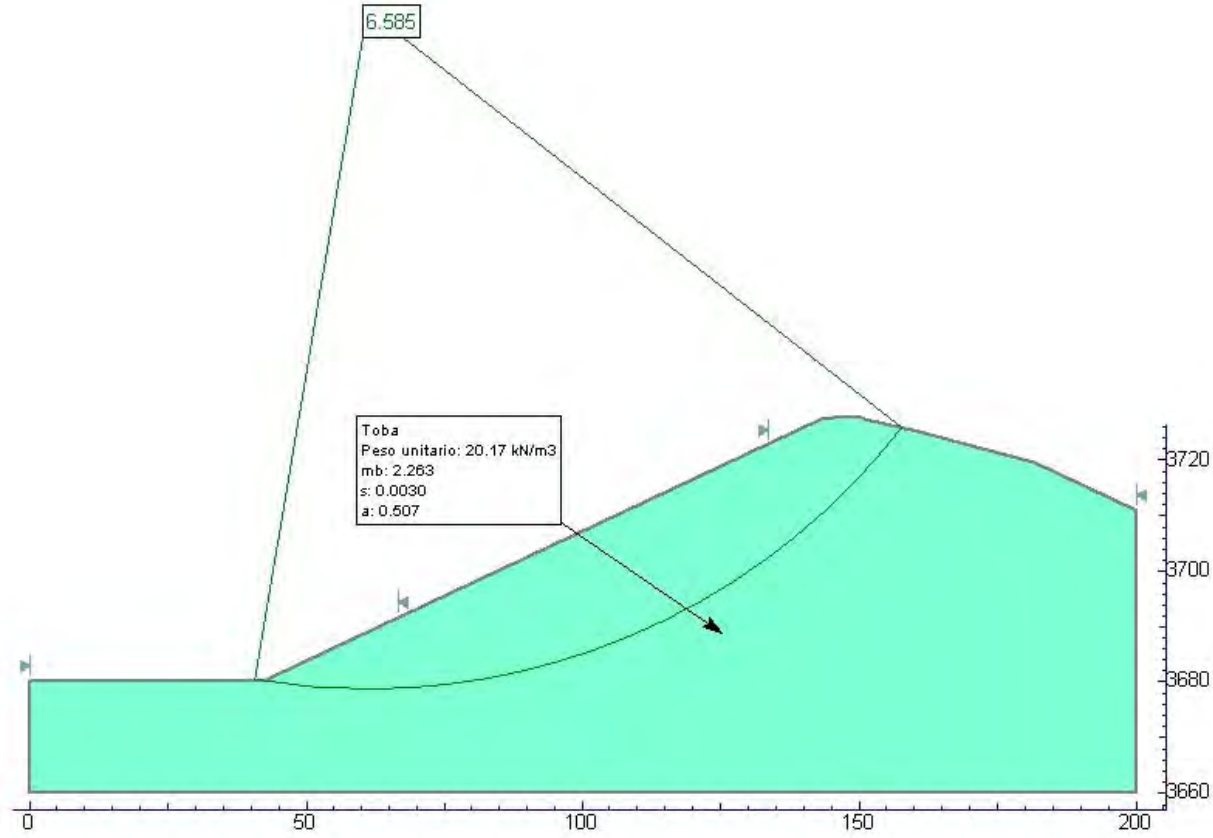
Talud 25°, Valor de Alteración VA=7



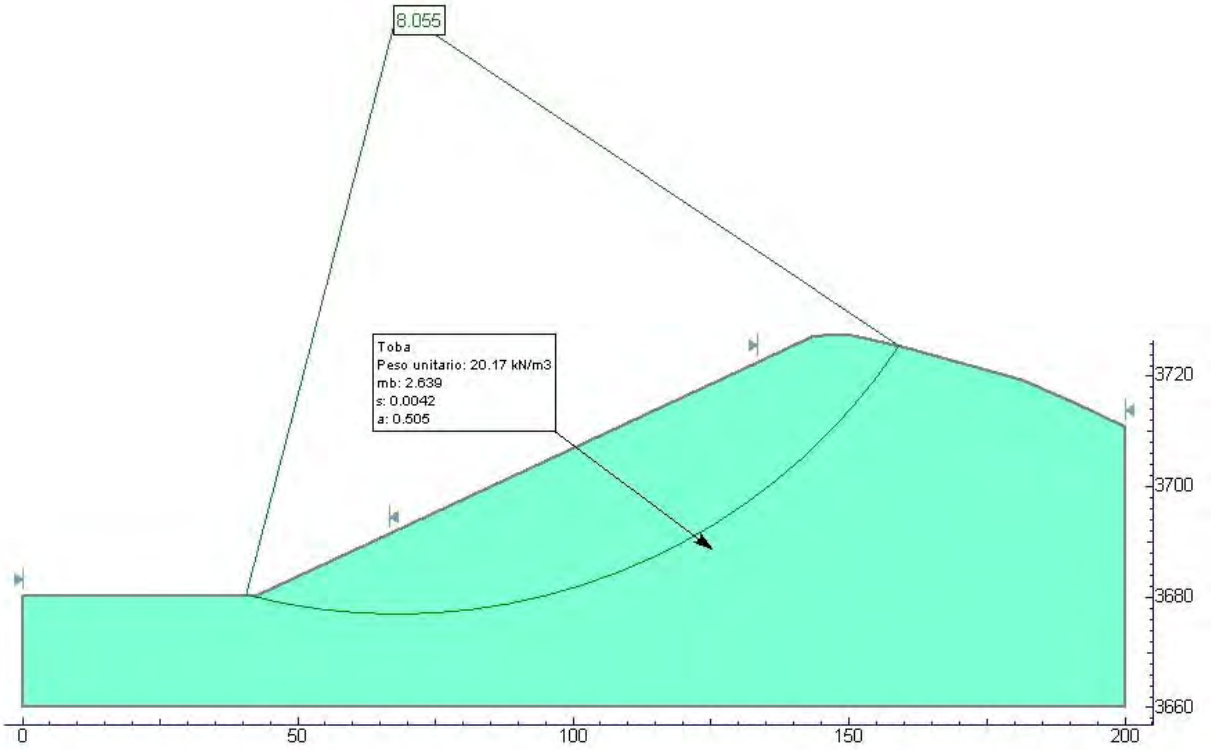
Talud 25°, Valor de Alteración VA=8



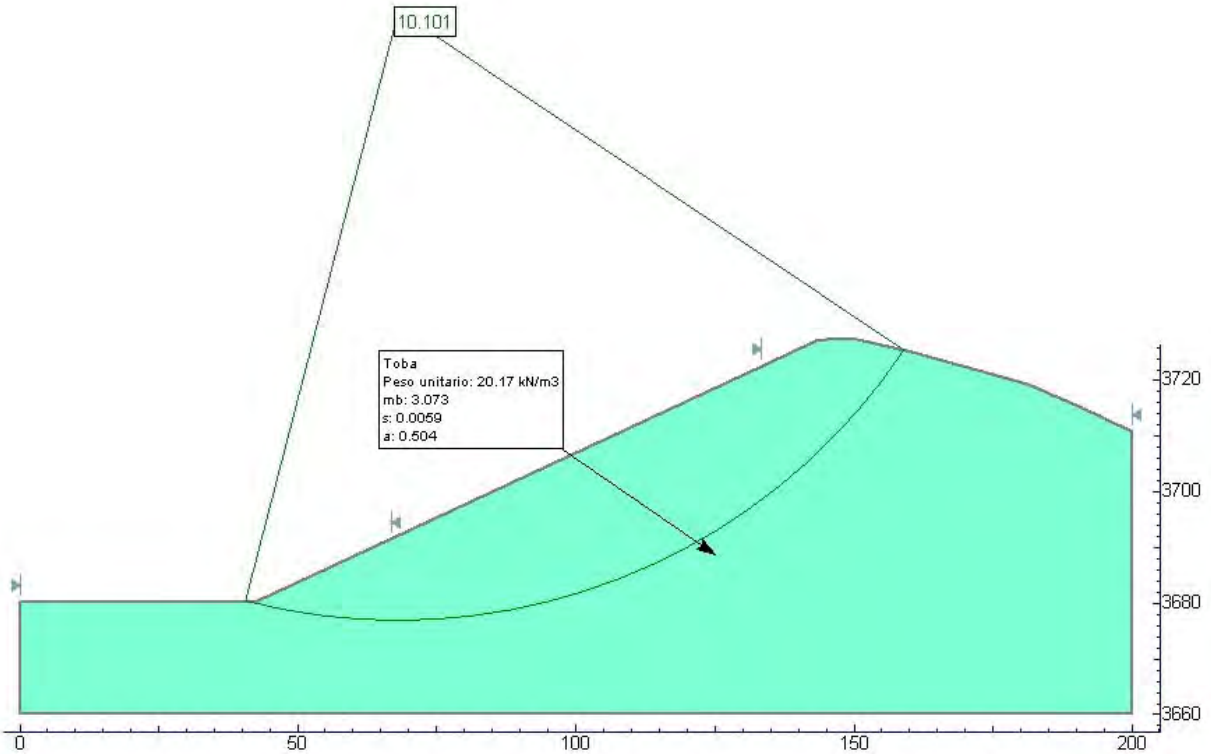
Talud 25°, Valor de Alteración VA=9



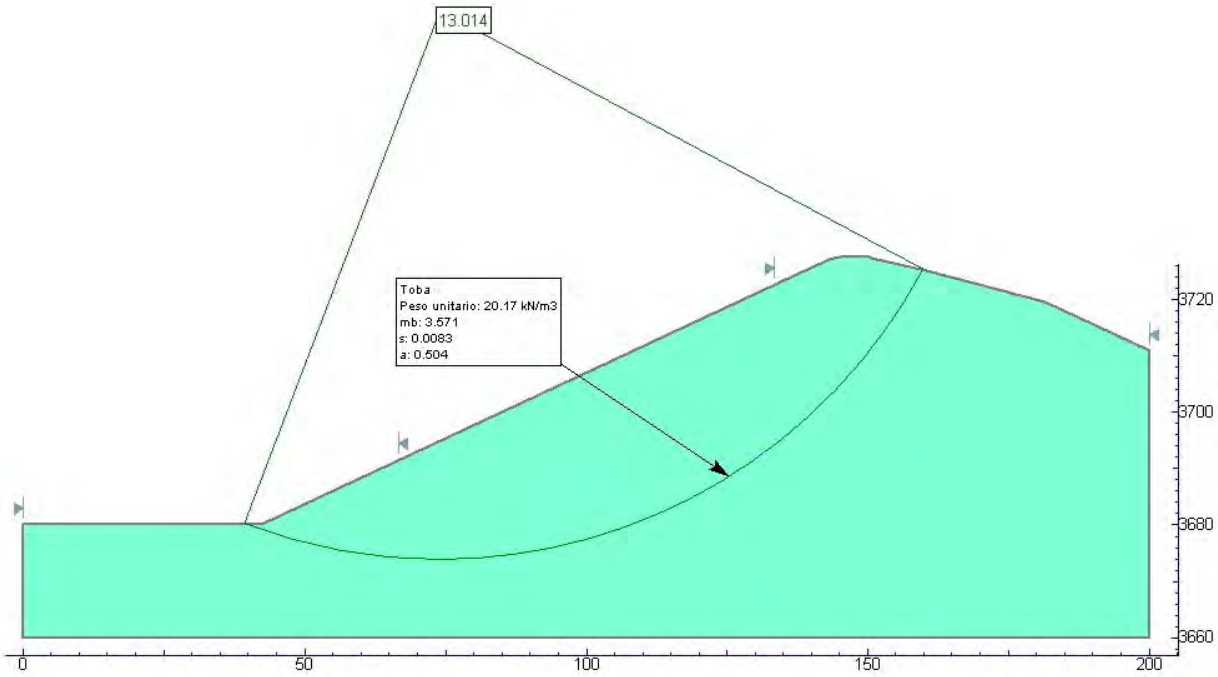
Talud 25°, Valor de Alteración VA=10



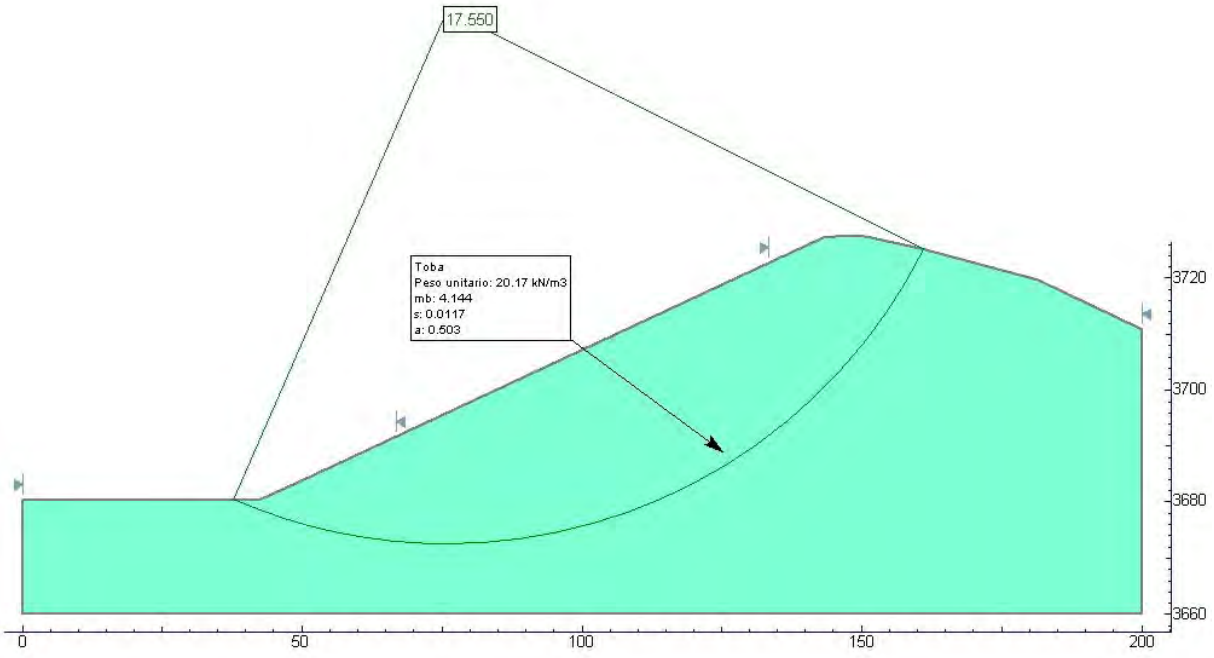
Talud 25 °, Valor de Alteración VA=11



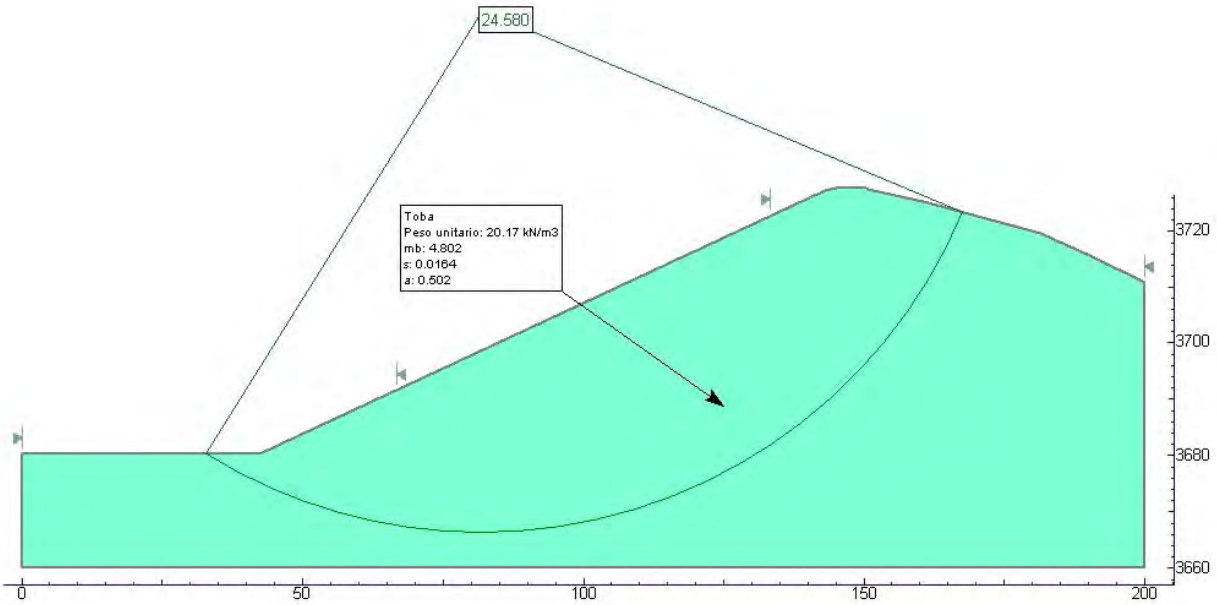
Talud 25 °, Valor de Alteración VA=12



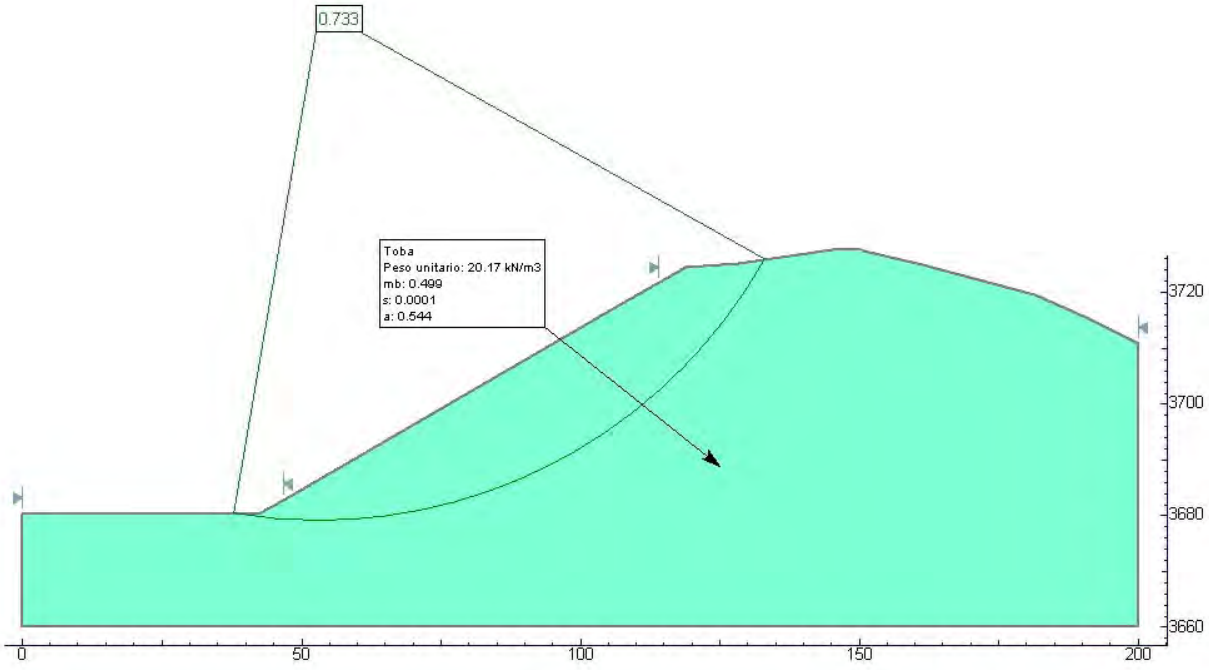
Talud 25 °, Valor de Alteración VA=13



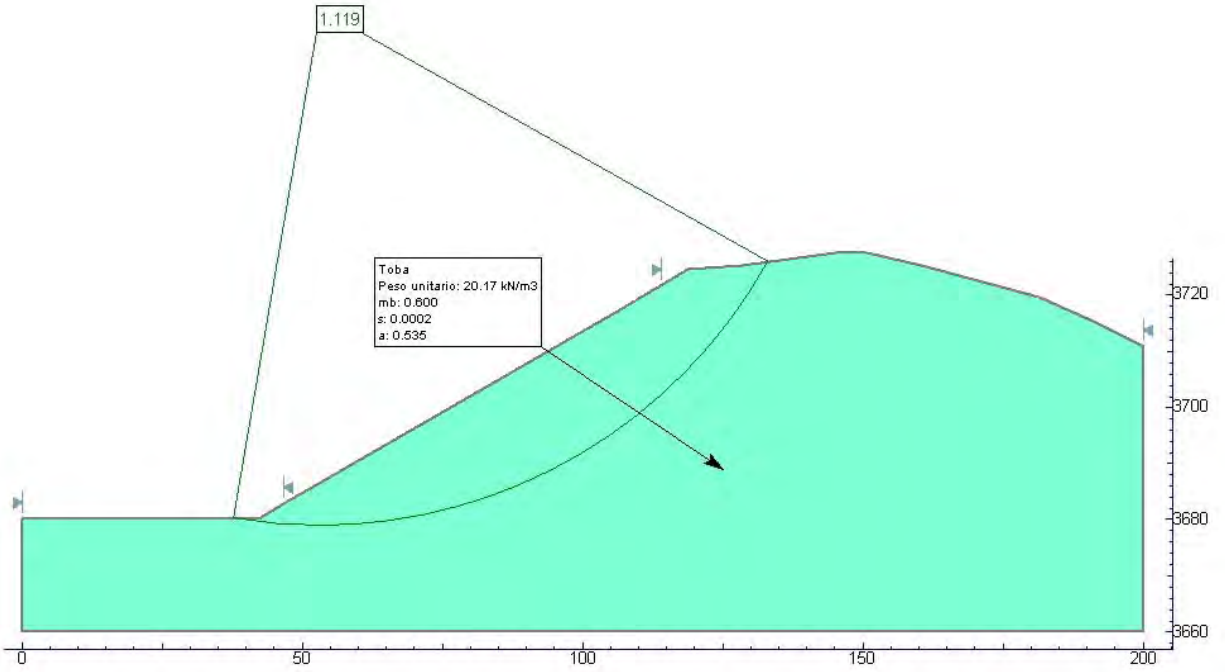
Talud 25 °, Valor de Alteración VA=14



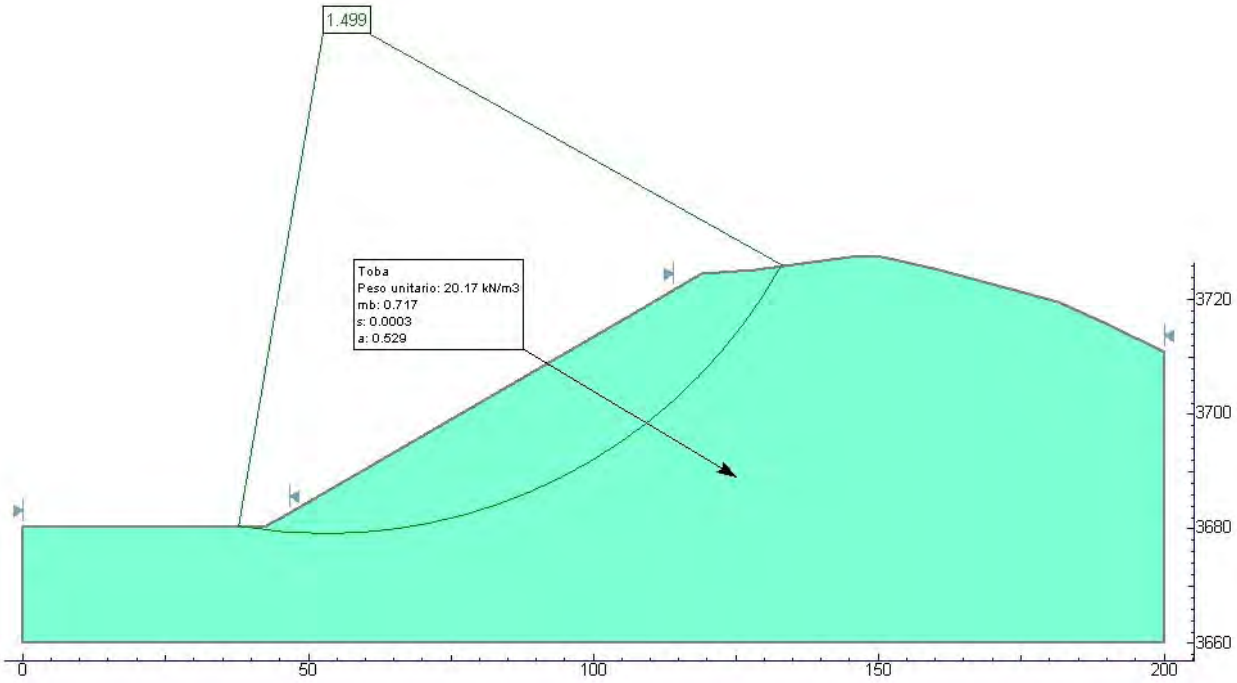
Talud 25 °, Valor de Alteración VA=15



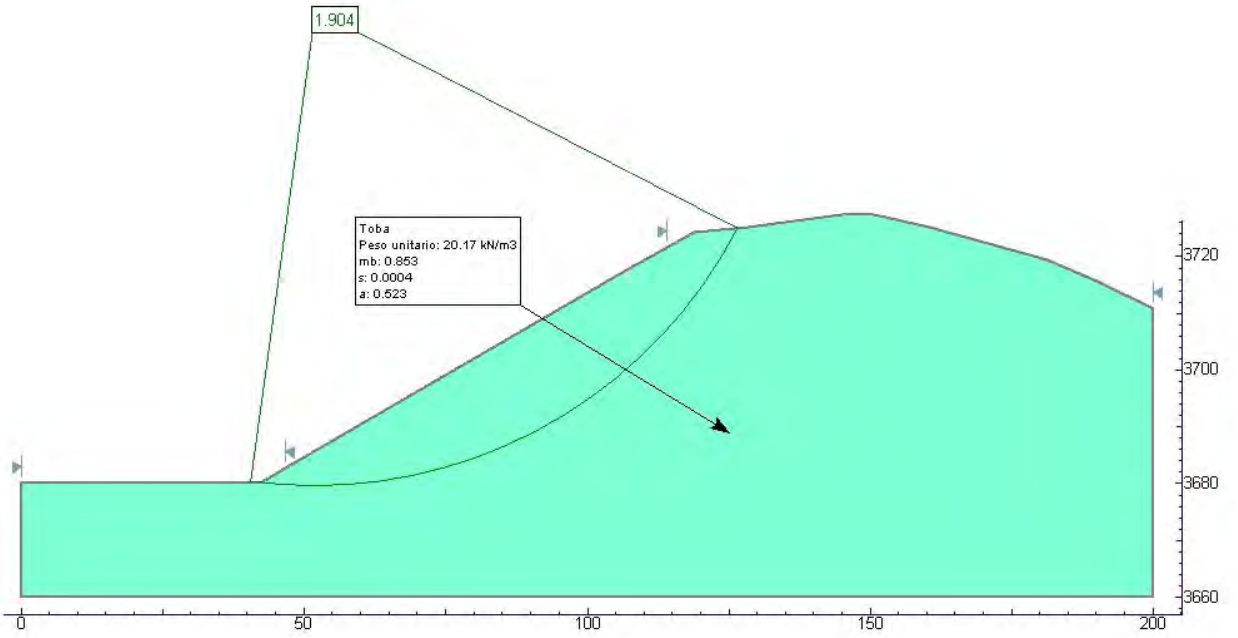
Talud 30°, Valor de Alteración VA=1



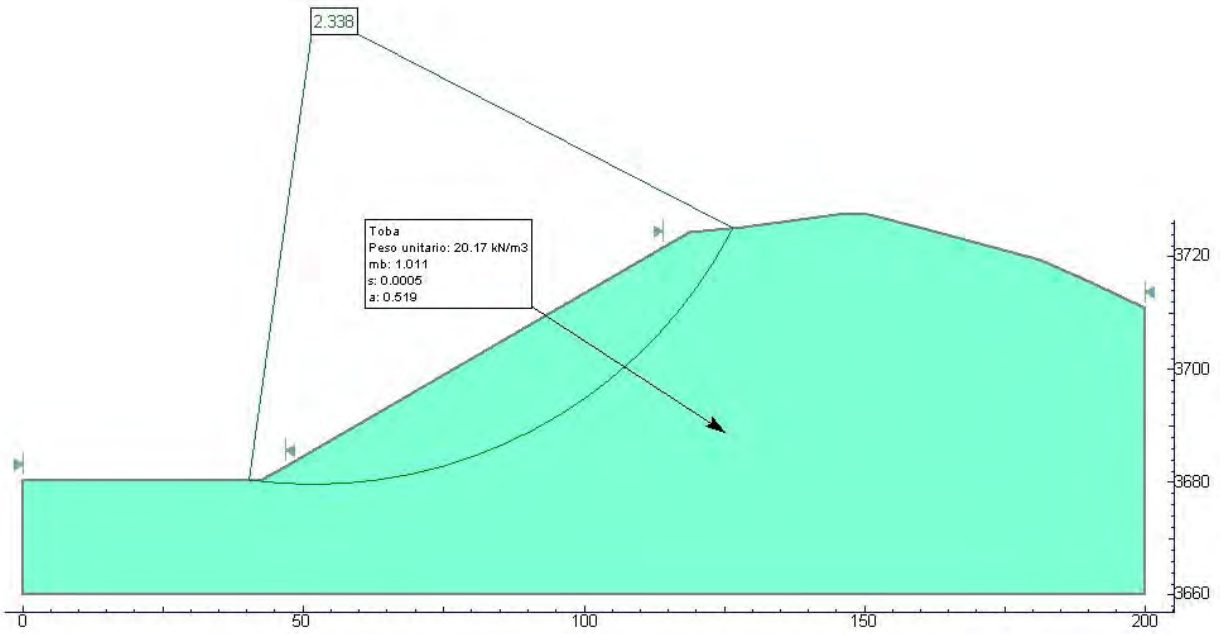
Talud 30°, Valor de Alteración VA=2



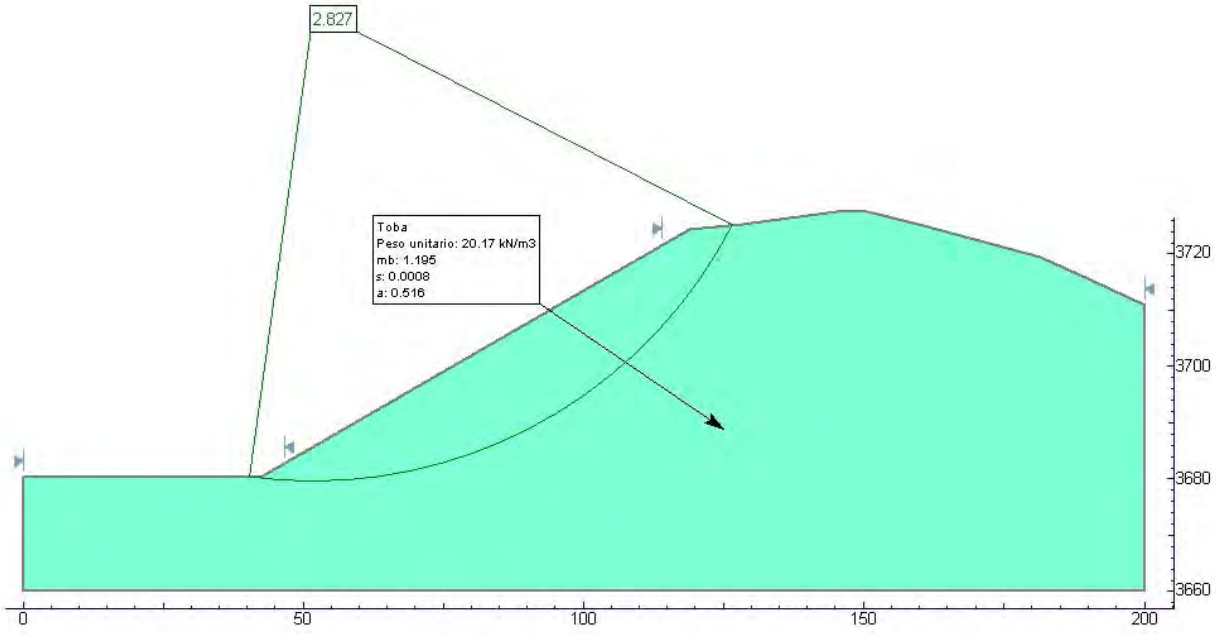
Talud 30°, Valor de Alteración VA=3



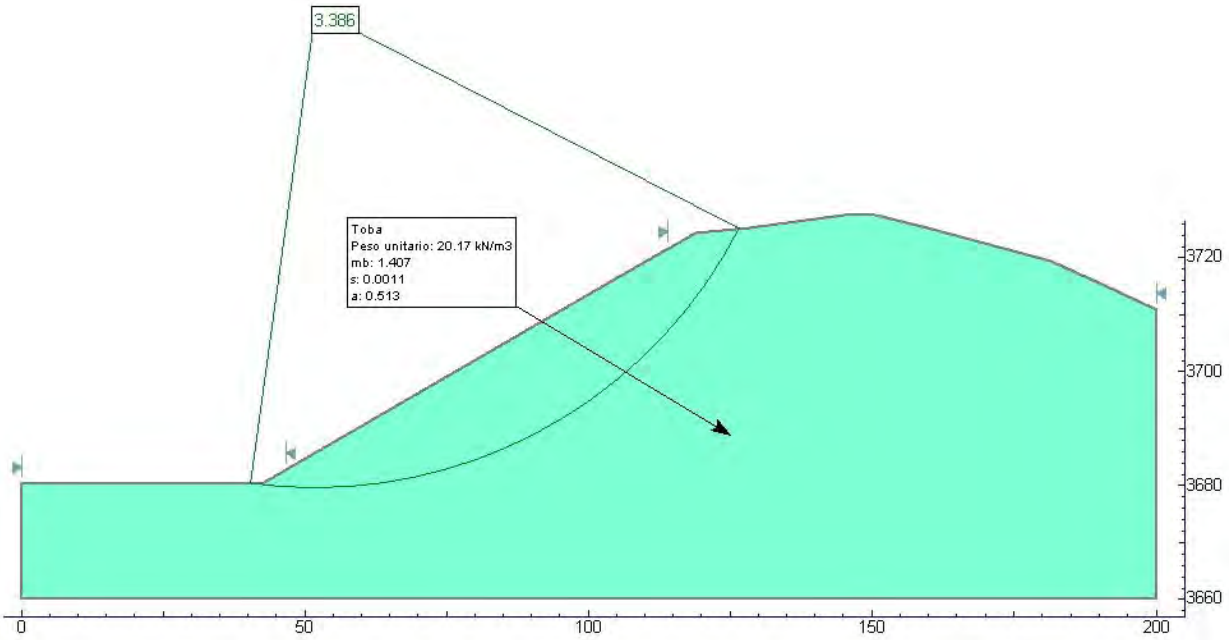
Talud 30°, Valor de Alteración VA=4



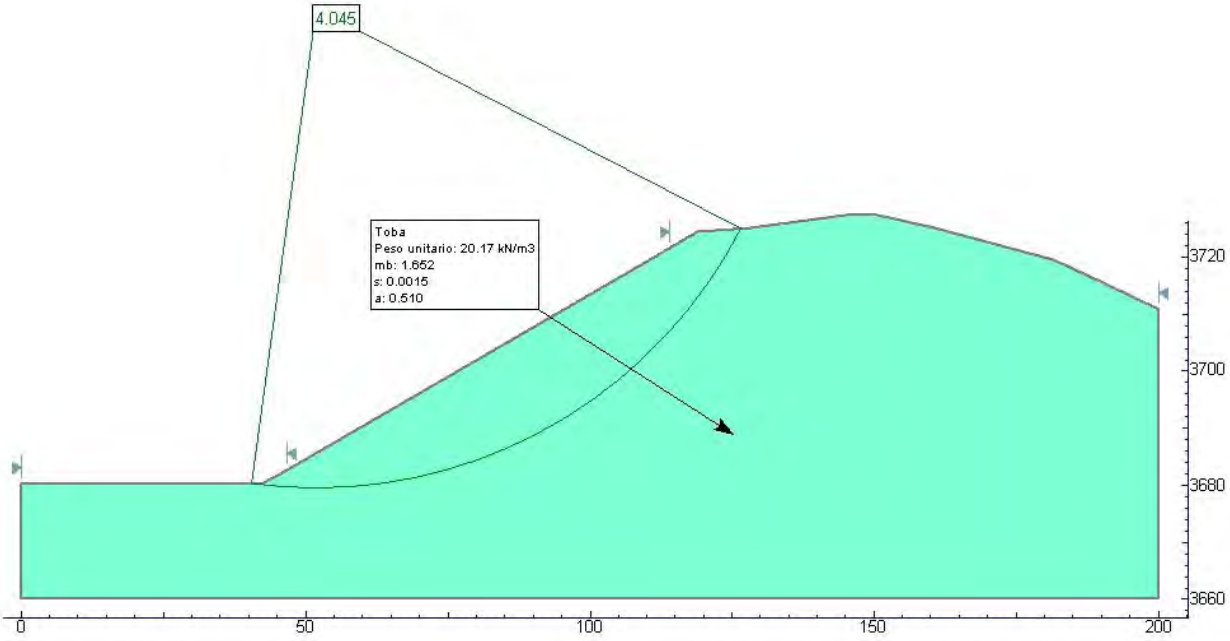
Talud 30°, Valor de Alteración VA=5



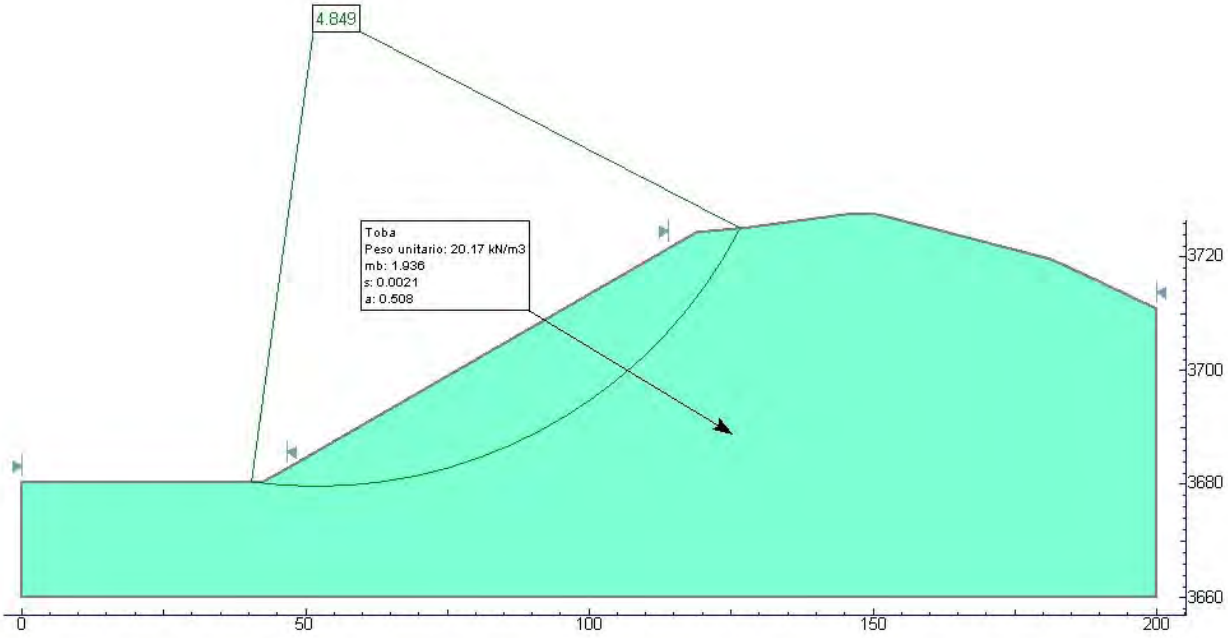
Talud 30°, Valor de Alteración VA=6



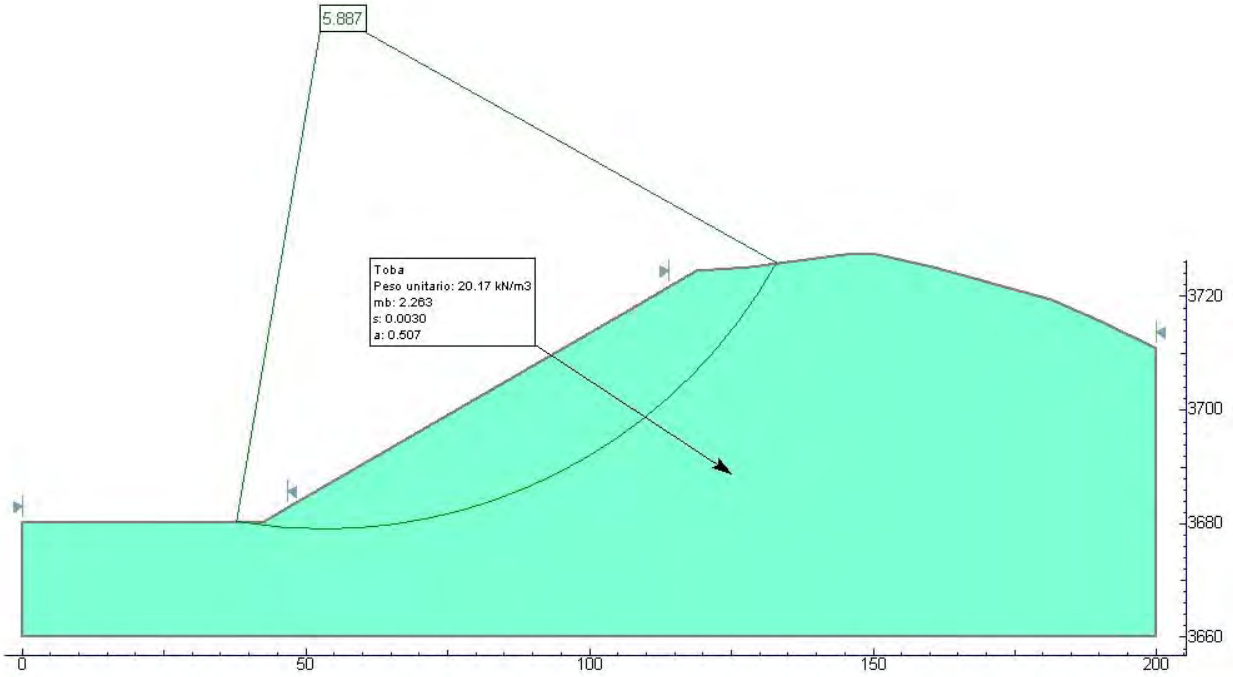
Talud 30°, Valor de Alteración VA=7



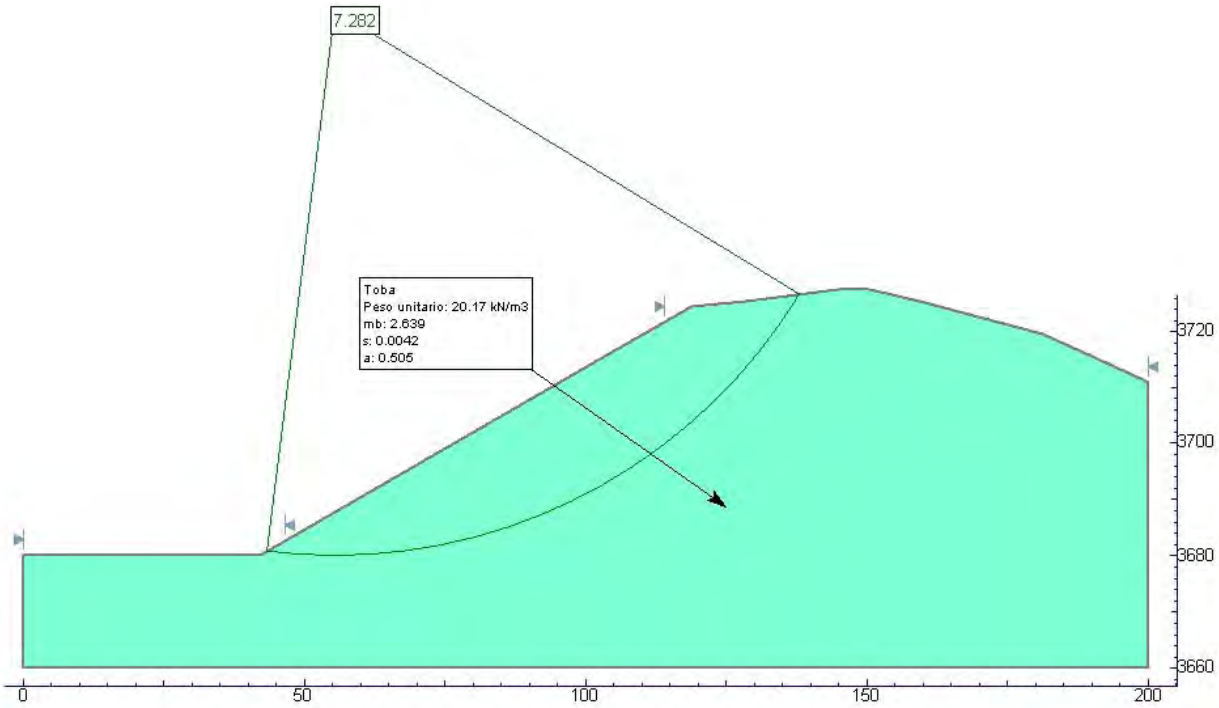
Talud 30°, Valor de Alteración VA=8



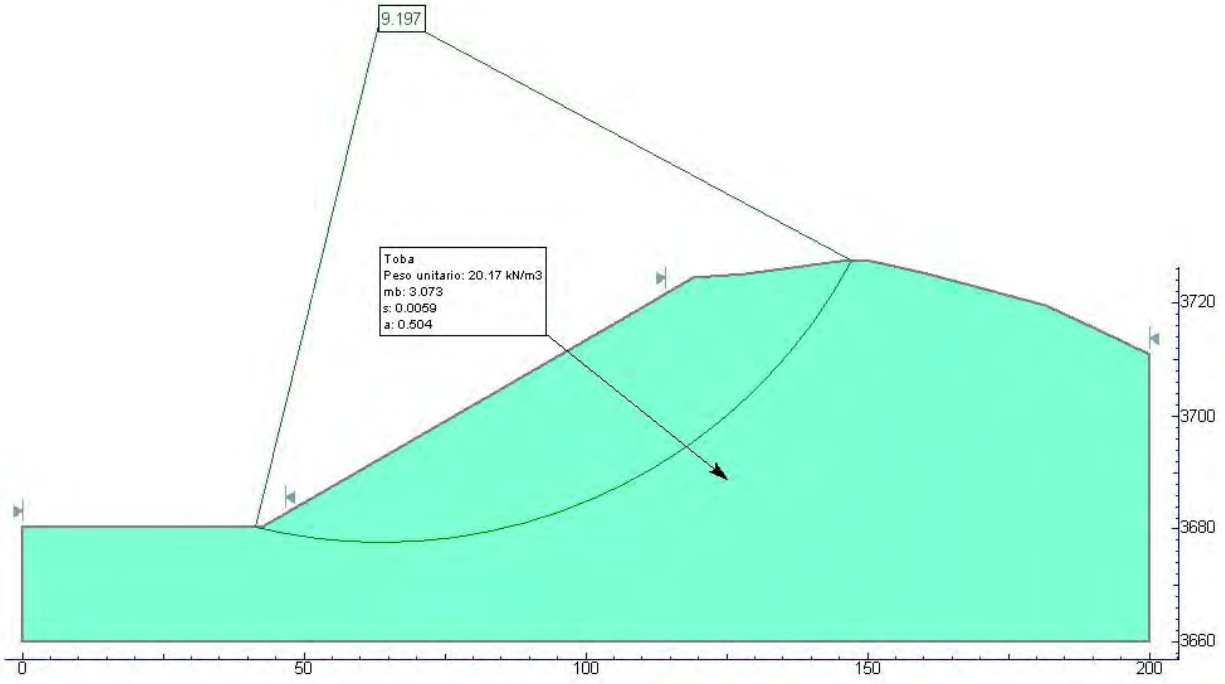
Talud 30°, Valor de Alteración VA=9



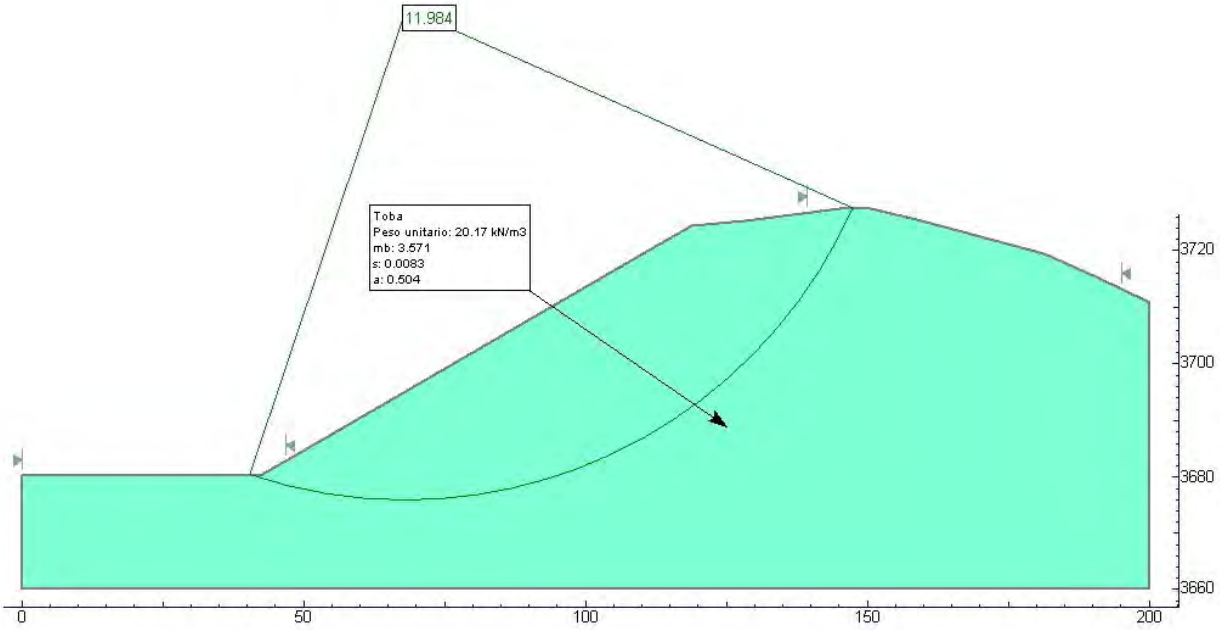
Talud 30°, Valor de Alteración VA=10



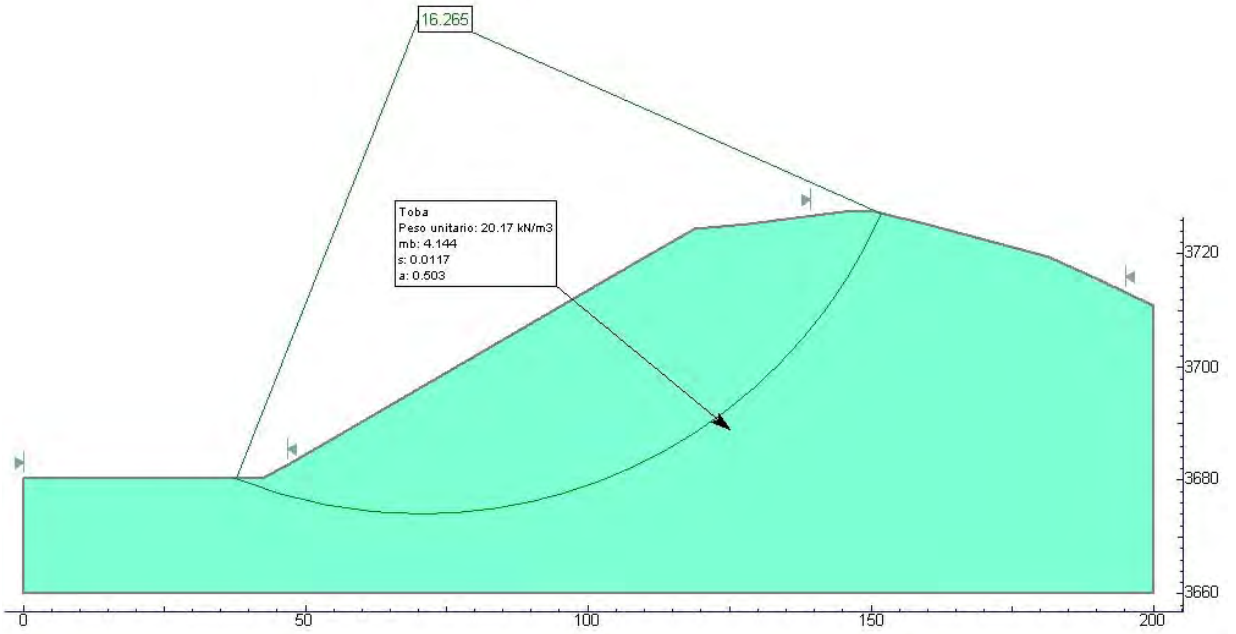
Talud 30°, Valor de Alteración VA=11



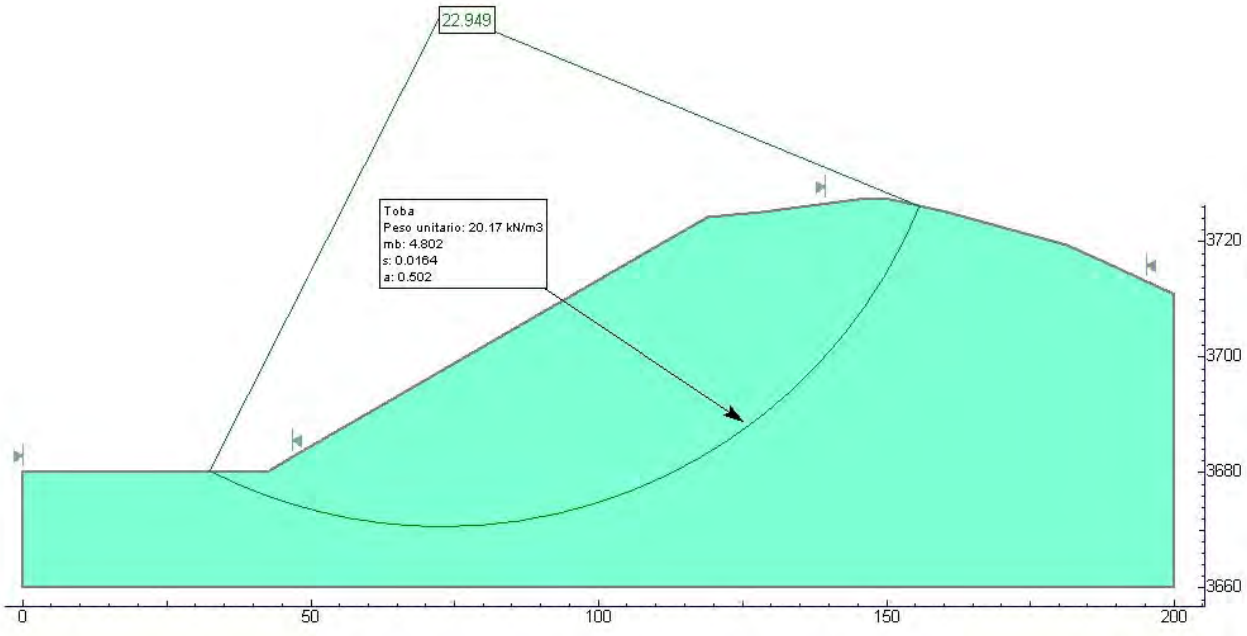
Talud 30°, Valor de Alteración VA=12



Talud 30°, Valor de Alteración VA=13



Talud 30°, Valor de Alteración VA=14



Talud 30°, Valor de Alteración VA=15