



**UNIVERSIDAD DEL AZUAY**  
**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA EN MINAS**

**Simulador desarrollado en Visual Basic para la determinación  
del tipo de fortificación a utilizarse en minería subterránea**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de**

**INGENIERO EN MINAS**

**Autores**

**ADRIÁN MICHAEL BRAVO LEÓN**

**NICOLÁS ESCANDÓN CALLE**

**Director**

**ERNESTO PATRICIO FEIJOO CALLE**

**CUENCA, ECUADOR**

**2019**

## **DEDICATORIA**

A mis padres Michael y Marcia que me enseñaron que no hay mejor regalo que el estudio y que con su amor, esfuerzo, paciencia y confianza me han permitido llegar a cumplir una meta más en mi vida profesional, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo, responsabilidad y valentía.

A mi hermano Mateo por todos los momentos de diversión, cariño y por acompañarme durante mi etapa universitaria.

A mi familia por todo el cariño y amor que me han regalado durante mi vida, por todas las palabras de aliento que me supieron brindar a lo largo de mi carrera universitaria.

Finalmente quiero dedicar esta tesis a todos mis grandes amigos, por estar siempre presentes, por extender su mano en momentos difíciles, por las fiestas, los geniales momentos que pasamos y más que nada por regalarme su amistad. De manera especial dedico esta tesis a la memoria de mi amigo David Cobos, que, aunque ya no esté con nosotros, siempre contaré con su apoyo y los gratos momentos que pudimos compartir.

¡Que nadie se quede afuera, se la dedico a todos!

Adrián Michael Bravo León.

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Francisco y Luz por ser mis pilares fundamentales en mi vida, con todo mi amor y cariño les dedico todo mi esfuerzo, en reconocimiento del apoyo que me han dado durante mi vida de estudiante, se merecen esto y mucho más.

A Ismael y Paulina mis queridos hermanos por ser un ejemplo y brindarme su apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. A toda mi familia porque con sus deseos, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

A mis sobrinos, Emilio, Ismael, Julián y Viera porque llenan de alegría mi vida y me motivan a ser un ejemplo todos los días.

Nicolás Escandón Calle.

## **AGRADECIMIENTO**

Gracias a nuestros padres: Michael y Marcia; y, Francisco y Luz, por ser los principales promotores de nuestros sueños, por confiar y creer en nuestras expectativas, por los consejos, valores y principios que nos han inculcado.

Agradecemos a nuestros docentes de la Escuela de Ingeniería en Minas de la Universidad del Azuay, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión, de manera especial, queremos expresar nuestro más grande y sincero agradecimiento al Ing. Patricio Feijoo Calle, principal colaborador durante todo este proceso, quien, con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo.

Gracias Totales.

Adrián Bravo – Nicolás Escandón

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	1
<b>CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>3</b>
1.1. Tipos de fortificación .....	3
1.1.1. Fortificación en minería subterránea.....	3
1.1.2. Clasificación general de los sistemas de fortificación.....	6
1.1.3. Clasificación de las fortificaciones utilizadas en minas.....	6
1.2. Sistemas de clasificación de los macizos rocosos .....	19
1.2.1. Clasificaciones antiguas.....	20
1.3. El sistema Rock Mass Rating (RMR).....	23
1.3.1. Sistema “RMR” de Bieniawski.....	23
1.3.2. Resistencia a la compresión simple.....	25
1.3.3. Rock Quality Designation (RQD).....	27
1.3.4. Espaciamiento medio de las discontinuidades .....	28
1.3.5. Condiciones de las discontinuidades.....	31
1.3.6. Condiciones hidrológicas.....	32
1.3.7. Orientación de las fracturas principales o presencia de fallas.....	34

1.4. Índice Q .....	38
<b>CAPÍTULO II: DESARROLLO DE LA APLICACIÓN .....</b>	<b>46</b>
2.1 Lenguajes de programación.....	46
2.2 Características de los lenguajes de programación .....	48
2.3 Generaciones de lenguajes de programación .....	49
2.3.1 Lenguaje de primera generación (Código Máquina) .....	50
2.3.2 Lenguaje de segunda generación (Lenguaje Ensamblador).....	51
2.3.3 Lenguaje de tercera generación.....	51
2.3.4 Lenguaje de cuarta generación.....	52
2.4 Selección del lenguaje de programación .....	53
2.4.1 Visual Basic.NET.....	54
2.5 Requerimientos del sistema (Software).....	58
2.5.1 Tipos de requerimientos del sistema .....	58
2.6 Desarrollo del programa.....	60
2.6.1 Formularios .....	60
<b>CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>76</b>
3.1 Determinación del sistema Rock Mass Rating (RMR) .....	77
3.2 Determinación del RMR, índice “Q” y recomendación de la fortificación .....	82
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>86</b>
Conclusiones .....	86
Recomendaciones.....	88
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>89</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>92</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Fortificación Marco de Madera .....	7
Figura 1.2 Elementos de un Cuadro de Madera.....	8
Figura 1.3 Cuadro de Madera Recto.....	9
Figura 1.4 Cuadro de Madera Cónico.....	9
Figura 1.5 Cuadro de Madera Cojo.....	10
Figura 1.6. Marcos de acero.....	11
Figura 1.7. Pernos de anclaje.....	14
Figura 1.8. Fortificación con shotcrete.....	16
Figura 1.9. Curva de determinación del puntaje por Resistencia a la Compresión Uniaxial.....	26
Figura 1.10. Curva de determinación del puntaje por RQD.....	28
Figura 1.11. El bloque diagrama muestra tres familias de diaclasas y la separación relativa entre discontinuidades; da una idea sobre el tamaño y la posición espacial de bloques.....	29
Figura 1.12. Se aprecia la influencia del número de familias de discontinuidad en la forma de los bloques de roca: (a) bloques irregulares, cuando no hay familias definidas; (b) bloques tabulares, debido a una familia predominante; (c) bloques prismáticos, debido a dos familias; (d) bloques equidimensionales, debido a tres juegos sub-normales con separación similar; (e) bloques romboides, debido a tres familias con orientación ligeramente diferente y (f) bloque columnares, debido a cinco familias relativamente paralelas.....	30
Figura 1.13. Curva de determinación del puntaje por espaciamiento medio de las juntas. .....	31
Figura 1.14. Abaco para la determinación del factor de seguridad.....	37

Figura 1.15. Abaco para la determinación del tiempo de autosostenimiento. ....	37
Figura 2.1 Lenguajes de Programación más utilizados desde 1989.....	46
Figura 2.2 Sintaxis de VB.NET utilizada en la aplicación .....	47
Figura 2.3. Alfabeto en código binario .....	50
Figura 2.4 Sentido del Lenguaje Ensamblador .....	51
Figura 2.5 Lenguaje de Tercera Generación COBOL .....	52
Figura 2.6 Lenguaje de Cuarta Generación (VB.NET).....	53
Figura 2.7 Ventana de Nuevo Proyecto de Visual Studio Enterprise 2017 .....	54
Figura 2.8 Ventana de propiedades de VB.NET para asignar nombre. ....	58
Figura 2.9 Requerimientos de Visual Studio 2017. ....	59
Figura 2.10 Ventana de Inicio de la aplicación.....	60
Figura 2.11 Ventana ingresar parámetros de clasificación. ....	61
Figura 2.12 Parte del código de las ecuaciones de las curvas de RCU, RQD y espaciamiento.....	61
Figura 2.13 Ventana evaluación del efecto de la orientación de las fracturas o fallas. ...	62
Figura 2.14 Parte del código de los puntajes para la corrección por orientación de las fracturas.....	62
Figura 2.15 Ventana RMR del macizo rocoso. ....	63
Figura 2.16 Ventana ingresar luz. ....	63
Figura 2.17 Parte del código para factor de seguridad y tiempo de autosostenimiento...64	
Figura 2.18 Venta de Factor de Seguridad.....	65
Figura 2.19 Ventana tiempo de austostenimiento. ....	65
Figura 2.20 Venta tiempo de autosostenimiento. Mensaje "COLAPSO INMINENTE".	66
Figura 2.21 Ventana índice de diaclasado (Jn). ....	66
Figura 2.22 Parte del código para selección del puntaje Jn. ....	67
Figura 2.23 Ventana índice de rugosidad de las juntas (Jr). ....	67
Figura 2.24 Parte del código para selección del puntaje Jr. ....	68
Figura 2.25 Ventana número de alteración de las juntas Ja. ....	68
Figura 2.27 Parte del código del formulario para elección de puntaje Ja. ....	69
Figura 2.26 Caja de texto activa opción "J" en ventana número de alteración de las juntas (Ja).....	69

Figura 2.28 Ventana factor por reducción por agua en las fisuras (Jw).....	70
Figura 2.29 Parte del código para selección del puntaje Jw. ....	70
Figura 2.30 Ventana factor de reducción de esfuerzos (SRF). ....	71
Figura 2.31 Caja de texto activa opción "O" en ventana factor de reducción de esfuerzos (SRF).....	71
Figura 2.32 Parte del código ecuación para el cálculo de "Q".....	72
Figura 2.33 Ventana índice "Q". ....	72
Figura 2.34 Ventana tipo de excavación. ....	73
Figura 2.35 Parte de la expresión del código para la selección del soporte recomendado. ....	74
Figura 2.36 Ventana soporte recomendado.....	74
Figura 2.37 Ventana soporte recomendado con mensaje de inconveniente.....	75
Figura 2.38 Reporte en Microsoft Word generado desde la aplicación.....	75
Figura 3.1 Valor RMR del Tramo 6 obtenido en la aplicación.....	79
Figura 3.2 Valor del índice Q del Tramo 6 obtenido en la aplicación. ....	79
Figura 3.3 Valor RMR del Tramo 8 obtenido en la aplicación.....	81
Figura 3.4 Valor del índice Q del Tramo 8 obtenido en la aplicación. ....	81
Figura 3.5. Registro Geotécnico del Frente en Avance. ....	83
Figura 3.6 Valor del RMR del Informe Geotécnico obtenido en la aplicación. ....	84
Figura 3.7 Valor del Índice Q del Informe Geotécnico obtenido en la aplicación. ....	84
Figura 3.8 . Soporte Recomendado del Informe Geotécnico obtenido en la aplicación. .	85
Figura 3.9 Reporte de fortificación y Resultados del Informe Geotécnico obtenido en la aplicación. ....	85

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Sistemas de clasificación del macizo rocoso propuestos por distintos autores para uso en obras subterráneas.....	21
Tabla 1.2. Valoración de los Parámetros del Sistema RMR en las Distintas Versiones..	24
Tabla 1.3. Condición de las discontinuidades.....	32
Tabla 1.4. Parámetros de Clasificación y Puntajes Correspondientes.....	34
Tabla 1.5. Evaluación del efecto de la orientación de las fracturas o fallas.....	35
Tabla 1.6. Corrección por orientación de las fracturas o fallas.....	36
Tabla 1.7 Clasificación Geomecánica de CSIR .....	36
Tabla 1.8. Valores de RQD.....	39
Tabla 1.9. Valores de Jn.....	39
Tabla 1.10. Valores de Jr.....	40
Tabla 1.11. Valores de Ja.....	41
Tabla 1.12. Valores de Jw.....	43
Tabla 1.13. Valores de SRF.....	44

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Manual de Usuario del Programa.....	92
ANEXO 2. Plantilla para generar reporte de resultados. ....	102
ANEXO 3. Logo de la Aplicación. ....	104

**SIMULADOR DESARROLLADO EN VISUAL BASIC PARA LA  
DETERMINACIÓN DEL TIPO DE FORTIFICACIÓN A UTILIZARSE EN  
MINERÍA SUBTERRÁNEA**

**RESUMEN**

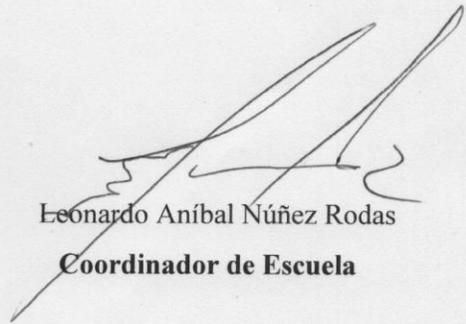
Este trabajo consiste en el desarrollo de un software para la evaluación de fortificación a utilizar en labores subterráneas, muy importantes para la seguridad de trabajadores, pues permite un normal desarrollo de las labores, mejorando el rendimiento de los obreros, productividades planificadas y eficiencia en los trabajos. El resultado se basa en sistemas de clasificación geomecánica de macizos rocosos, recomendando el tipo de fortificación, implementando pernos de anclaje, marcos de acero y/u hormigón lanzado. Para ello, desarrollamos una aplicación en Visual Basic, que, introduciendo los parámetros iniciales, como la resistencia a la compresión, Rock Quality Designation, bloque típico, condiciones de fracturas y otros, según la programación establecida, permita encontrar resultados de Rock Mass Rating, Factor de Seguridad, Tiempo de Autosostenimiento, índice "Q" y Tipo de Fortificación.

**Palabras clave:** fortificación, geomecánica, Basic, Rock.



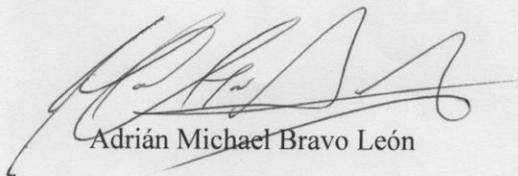
Ernesto Patricio Feijoo Calle

**Director del Trabajo de Titulación**



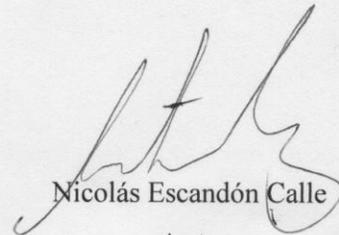
Leonardo Aníbal Núñez Rodas

**Coordinador de Escuela**



Adrián Michael Bravo León

**Autor**



Nicolás Escandón Calle

**Autor**

**SIMULATOR DEVELOPED IN VISUAL BASIC TO DETERMINE THE  
FORTIFICATION TYPE FOR UNDERGROUND MINING**

**ABSTRACT**

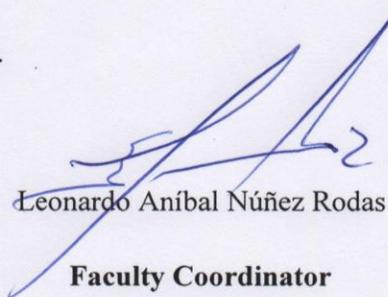
This research consists in the development of a software to evaluate fortifications for underground work. These fortifications are very important for the safety of workers and the work development to improve the performance of workers, planned productivity and efficiency. The result is based on the geomechanical classification systems of rock masses, recommending the type of fortification and implementing anchor bolts, steel frames and cast concrete. An application was developed in Visual Basic to find Rock Mass Rating, Safety Factor, Self-Maintenance Time, "Q" index and Fortification Type. The application is based on the established programming and initial parameters such as compression resistance, Rock Quality Designation, typical block, fracture conditions and others.

**Keywords:** fortification, geomechanics, Basic, Rock.



Ernesto Patricio Feijoo Calle

**Thesis Director**



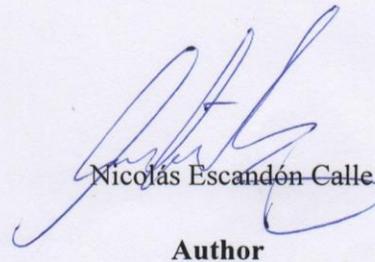
Leonardo Anibal Núñez Rodas

**Faculty Coordinator**



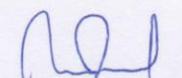
Adrián Michael Bravo León

**Author**



Nicolás Escandón Calle

**Author**



Translated by  
Ing. Paúl Arpi

Adrián Michael Bravo León

Nicolás Escandón Calle

Trabajo de Titulación

Ing. Ernesto Patricio Feijoo Calle

Mayo, 2019

**SIMULADOR DESARROLLADO EN VISUAL BASIC PARA LA  
DETERMINACIÓN DEL TIPO DE FORTIFICACIÓN A UTILIZARSE EN  
MINERÍA SUBTERRÁNEA**

**INTRODUCCIÓN**

El proyecto desarrollado consiste en crear una aplicación que se especializa en la fortificación en trabajos de minería subterránea, la aplicación se desarrolló en base a diferentes tipos de métodos actuales, los cuales determinan el tipo de fortificación específica y la más apropiada para las labores mineras subterráneas, con los datos que nos brinda como resultado estos métodos, se estructuró la aplicación informática la cual se puede emplear y aplicar en los trabajos de minería los que pueden encontrarse en una etapa de desarrollo.

En minería subterránea, la estabilidad y sostenimiento de galerías es una parte fundamental y se denomina como una de las labores más importantes en la actividad minera, puesto que, la fortificación correcta cumple con sus labores garantizando la seguridad principalmente del personal, de las herramientas o equipos y la producción, y de esta manera con una fortificación adecuada y técnica, se logrará evitar accidentes laborales. La fortificación debe ser adecuada y confiable desde el inicio de las labores mineras subterráneas para de esta manera garantizar un lugar de trabajo seguro.

Es así, que hemos encontrado la necesidad de implementar la tecnología para poder principalmente, elegir el tipo de fortificación adecuada en los trabajos de minería subterránea. Con la aplicación alcanzaremos determinar el tiempo de autosostenimiento de la labor minera, de esta manera lograr conocer el lapso necesario para implementar un sistema de fortificación. Determinar el valor del Factor de Seguridad, de esta manera conocer que tan viable y seguro es el lugar donde se realiza la explotación y determinar el tipo específico de fortificación a utilizarse en la labor minera, por medio de la aplicación de diferentes métodos y comparaciones. De esta manera se garantiza al trabajador una zona y ambiente de trabajo seguro, logrando que su desempeño sea mayor. La aplicación logrará obtener resultados rápidos y confiables, es decir optimizaremos tiempos de cálculo a diferencia de hacerlos de manera manual.

## CAPÍTULO I

### MARCO TEÓRICO

#### 1.1. Tipos de fortificación

##### 1.1.1. Fortificación en minería subterránea

En labores de minería subterránea existen varios riesgos que pueden ocasionar accidentes, pero uno de los más importantes es la caída de rocas desde el techo o costados por estar sueltas como también se podría generar el colapso de alguna galería. Es por eso que el sostenimiento adecuado de las áreas de trabajo es de suma importancia para garantizar la seguridad de los trabajadores y equipos que operan en la mina (Cancino, 2008, p. 3).

Al realizar operaciones subterráneas, se retira cierta parte de la masa rocosa que se encuentra inestable cambiando las condiciones naturales de la roca y dejando grandes espacios los cuales pueden tener un tiempo determinado de auto sostenimiento o se debe realizar trabajos de fortificación inmediatamente (Cancino, 2008, p. 3).

La fortificación ayuda a disminuir las fuerzas que caen sobre los espacios abiertos y evitar la caída de rocas y planchones.

Hay varios criterios que se debe considerar para elegir el tipo de fortificación adecuado que se empleará en un lapso de tiempo o de forma permanente (Sari Chalco & Rodas Andrade, 2013, p. 18).

Los criterios que se deben analizar son:

- Condiciones mecánicas y geoestructurales existentes en el macizo.
- Forma y dimensiones de la sección transversal de la excavación.
- Su vida de servicio y uso.
- Grado de estabilidad del sistema macizo – excavación.
- Carga pronosticada.
- Presencia de agua y sus características.

Existen diferentes sistemas de fortificación en las minas, los cuales comprenden sistemas rígidos, flexibles, protectores de roca y sistemas mixtos; estos son utilizados con el objetivo de sostener las excavaciones y alcanzar una estabilidad a lo largo de las operaciones y durante la vida útil de las minas, cabe recalcar que existen sistemas los cuales no son consideradas como fortificaciones, pero su fin es prevenir accidentes como por ejemplo la operación de desprender rocas desde zonas agrietadas, determinando una remoción sistemática y controlada. (Bañados, 2010, p. 5).

En los sistemas de fortificación mineras se deben cumplir ciertos parámetros necesarios para garantizar aspectos importantes como producción, economía, seguridad, entre otras.

Las exigencias principales son:

**Exigencias técnicas:**

- **Ser resistente:** la fortificación debe estar adecuada para poder soportar cierta carga que sobre ella va a actuar.
- **Ser estable:** la fortificación debe mantener la forma en la que se le proyecta, aún soportando las cargas que actúan sobre ella.
- **Ser duradera:** Su ciclo de vida debe estar acorde con el tiempo de vida que van a durar las labores.

**Exigencias de producción:**

- Debe ofrecer la menor dificultad posible al paso del aire.
- Debe ocupar en las labores subterráneas el menor espacio posible.
- Debe presentar cierta seguridad ante el peligro de incendio.
- Debe ofrecer facilidad en los procesos productivos.
- Debe estar constituida por elementos que se puedan preparar en la superficie y que se puedan instalar por medios fáciles o mecanizados.

**Exigencias económicas:**

- El costo inicial y los gastos de mantenimiento durante el período de explotación no deben representar un mayor egreso.

Según Cáceres (2017), la Clasificación de la Fortificación, de acuerdo con el mecanismo de sostenimiento es la siguiente:

- **Fortificación pasiva:** Es aquella en que, por razones operacionales y de seguridad, no aplica ninguna carga externa al momento de la instalación y sólo trabaja cuando el macizo rocoso experimenta alguna deformación. Los métodos más empleados son la enmaderación, los marcos metálicos (rígidos, deslizantes o articulados), el hormigón armado (vigas - marco de concreto, mampostería), shotcrete, malla.
- **Fortificación activa, o reforzada:** Se orienta a restablecer el equilibrio original de los diferentes esfuerzos y, al mismo tiempo, a modificar estructuralmente la roca para hacerla “autosoportable”. Los métodos más empleados son el anclaje de rocas (puntuales o repartidas), y las proyecciones neumáticas de hormigón (shotcrete).
- **Fortificación combinada:** Es aquella en que, por razones operacionales y de seguridad, combina soportes y refuerzos. Los métodos más empleados son la enmaderación (reforzada con perfiles metálicos), los marcos de acero - pernos de anclaje y shotcrete, el hormigón proyectado (reforzado con cerchas o perfiles metálicos), y el shotcrete con pernos de anclaje y mallas de acero. Los soportes se deben ubicar de manera uniforme, sistemática y en los intervalos apropiados.

### **1.1.2. Clasificación general de los sistemas de fortificación.**

#### **Fortificaciones rígidas:**

Son las que sostienen sin permitir ningún movimiento de la roca y deben ser lo bastante resistentes para sujetar los bloques que puedan caerse. Esta debe tener una alta resistencia dado que sostiene los bloques que presentan algún peligro de desprenderse.

Actualmente son utilizadas en la boca mina, en sectores de mala calidad de la roca o explotaciones antiguas que se han hundido perdiendo las propiedades de resistencia de la roca (Bañados, 2010, p. 5).

Los sistemas más comunes utilizados en esta fortificación son los marcos de madera o de acero.

#### **Fortificaciones flexibles:**

Este tipo de fortificaciones permiten la deformación de la roca disminuyendo los esfuerzos mejorando de esta manera las propiedades resistentes.

En su mayoría son consideradas fortificaciones modernas como: marcos deslizantes, cintas, marcos noruegos y la mayor parte de pernos de anclajes y cables (Bañados, 2010, p. 5).

### **1.1.3. Clasificación de las fortificaciones utilizadas en minas**

#### **Fortificación con marcos de madera:**

Los marcos de madera son los más utilizados para la fortificación debido a su bajo costo y fácil adquisición, están compuestos por tres piezas principales como: sombrero o viga (posición horizontal), apoyándose en dos postes, pie derecho o vertical. Auxiliariamente se puede usar la solera la cual se ubica en el piso de las labores entre los postes (Chile, 2013, p. 10).



Figura 1.1 Fortificación Marco de Madera  
Fuente: (Territorio Museo, 2014).

### Elementos de un cuadro

- **Sombrero:** Es una pieza de madera que se usa como viga para soporte del techo.
- **Poste:** Es una pieza de madera que se usa como columna para soporte de la carga transmitida por el terreno.
- **Tirantes:** Son pieza de madera que van colocados entre dos cuadros contiguos. Estos tirantes son normalmente de igual o menor sección que los otros elementos de un marco.
- **Solera:** Cuando los terrenos son poco resistentes o se presentan empujes del piso se completa el cuadro con una cuarta pieza que se denomina solera.

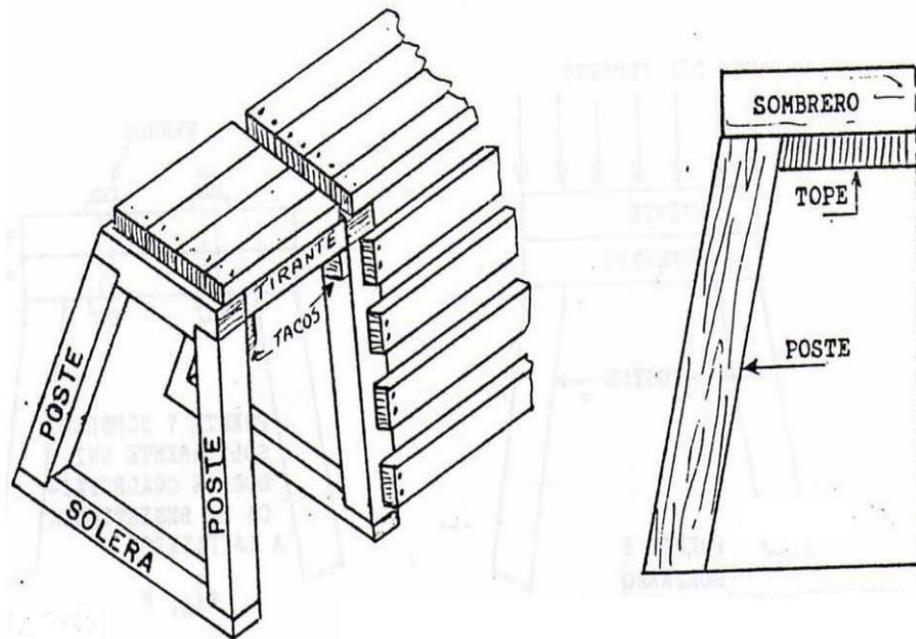


Figura 1.2 Elementos de un Cuadro de Madera.  
Fuente: Gestión de Conocimientos para la Minería Artesanal (GECO).

## **Tipos de cuadro**

### **Cuadro recto:**

Es el tipo más sencillo, consta de un sombrero soportado por dos postes verticales, los cuales también resisten los empujes laterales de las cajas, su principal ventaja es su simpleza, su fácil preparación e instalación y ofrece un buen sostenimiento en terrenos medios. Son usados cuando la mayor presión procede del techo. Los postes forman un ángulo de 90° con el sombrero.

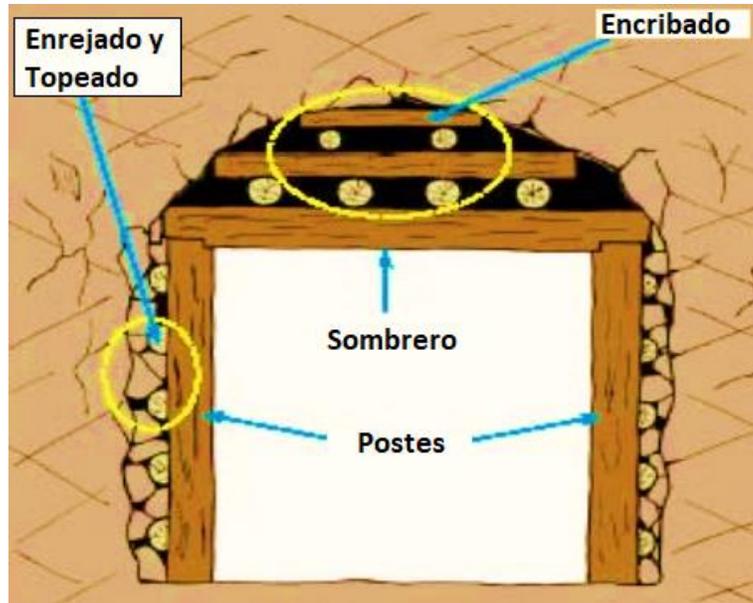


Figura 1.3 Cuadro de Madera Recto.  
Fuente: (Huamani, 2014)

**Cuadro cónico:**

Cuando las presiones del techo son importantes se reduce la longitud del sombrero, inclinando los postes; el cuadro tiene entonces una forma trapezoidal, distribución muy conocida en la minería peruana. Usados cuando la mayor presión procede de los hastiales, se reduce la longitud del sombrero inclinando el poste a ángulos de  $78^\circ$  a  $82^\circ$ .

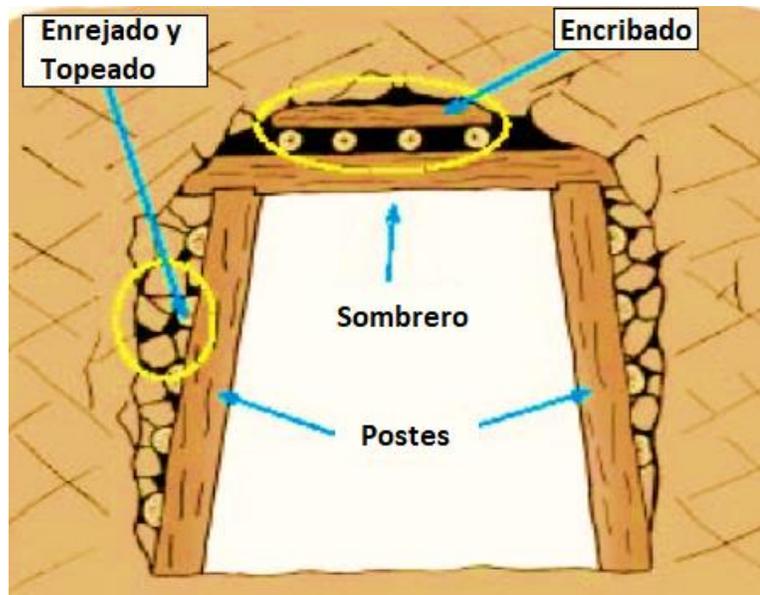


Figura 1.4 Cuadro de Madera Cónico.  
Fuente: (Huamani, 2014)

## Cuadro cojo

Se utiliza en vetas angostas menores a 3 metros de potencia, permite ganar espacio de trabajo, pueden ser verticales o inclinados según el buzamiento de la estructura mineralizada.

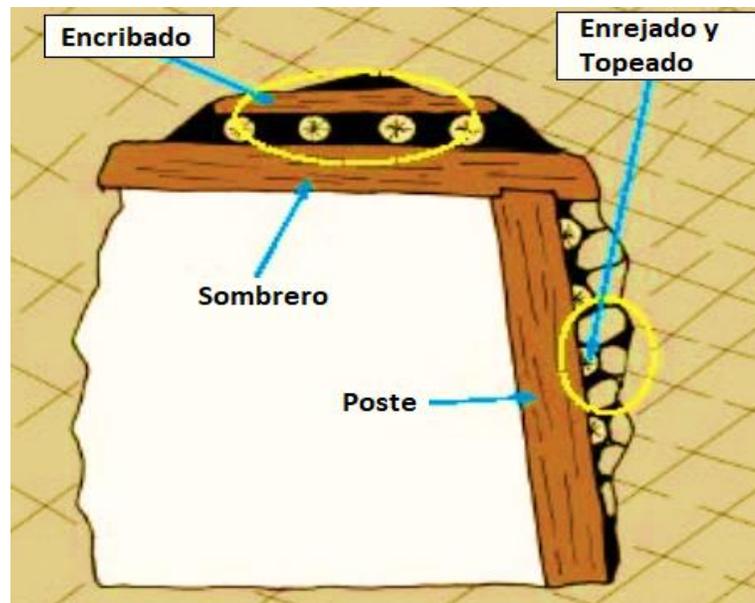


Figura 1.5 Cuadro de Madera Cojo.  
Fuente: (Huamani, 2014)

La fortificación con marcos de madera presenta sus ventajas y desventajas respectivas las cuales son:

### Ventajas

- Es liviana, se corta, transporta, maneja y se coloca fácilmente en el lugar de uso permanente.
- Se corta a lo largo de su estructura fibrosa precisa, dando señales visibles y audibles de su estabilidad.
- Las piezas recuperadas pueden usarse para nuevas aplicaciones específicas.

## Desventajas

- Su resistencia mecánica (flexión, pandeo, tensión, compresión y cizalle) dependen de las estructuras fibrosas y defectos naturales inherentes.
- Su resistencia está muy condicionada a la humedad que posea.
- Es fácilmente degradable por organismos parasitarios como hongos y/o insectos.
- Es Combustible.

## Fortificación con marcos de acero

La fortificación con marcos se empezó a utilizar a principios de los años cuarenta, este tipo de fortificación tiene un proceso de colocación rápido y sencillo el cual ha ido reemplazando poco a poco a los marcos de madera, puesto que, los marcos de acero tienen un deterioro menor con relación al tiempo.

Se los utiliza en lugares donde existen altas presiones e inestabilidad elevada, bajo estas circunstancias este tipo de fortificación es el más idóneo (Chile, 2013, p. 15).

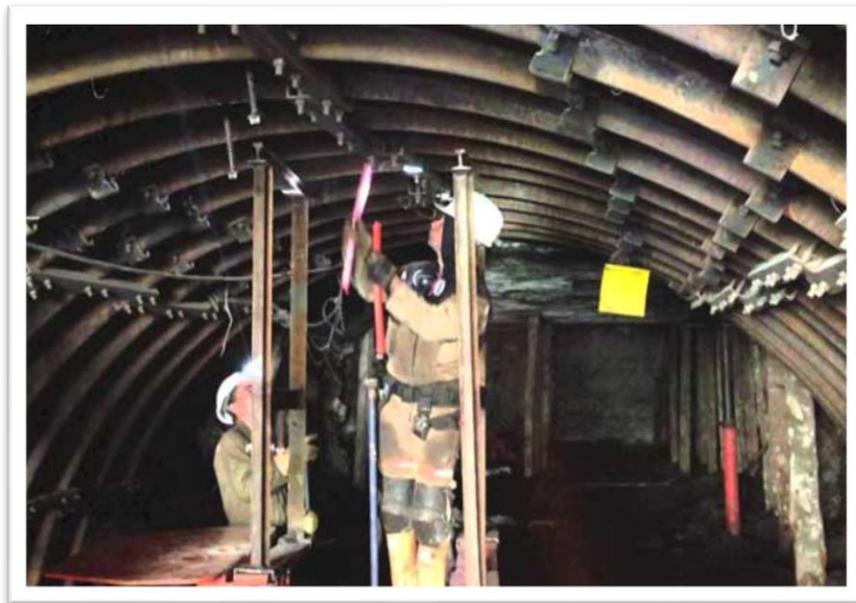


Figura 1.6. Marcos de acero  
Fuente: (Seguridad Minera, 2017)

Los marcos metálicos son elementos compuestos por segmentos de viga de acero estructural tipo I o H con placas metálicas soldadas en sus extremos y unidos entre sí con pernos, para adaptarse a la sección del túnel y soportar las presiones ejercidas en el terreno circundante, transmitiendo la carga al perfil metálico por medio de un tupido formado con bloques y cuñas de madera retocadas entre las paredes de la bóveda de la excavación y el marco metálico.

Los materiales, aceros estructurales, los accesorios y demás elementos que se utilicen en la colocación de marcos metálicos deben cumplir las normas establecida y que se aplican en estos casos.

Estos marcos pueden ser utilizados en cualquier tipo de calidad de roca, es utilizado en rocas muy fracturadas, y también en sectores de gran presión interna dentro del macizo. Estos marcos cumplen la función de darle continuidad a la transmisión de cargas, éstas y los momentos se transmiten de una pieza a otra.

Existen dos tipos principales de fortificación con marcos de acero:

- Fortificación rígida (no cedente).
- Fortificación cedente o deslizante.

### **Fortificación rígida**

El objetivo de la fortificación rígida es restablecer el equilibrio de esfuerzos rotos por la excavación, sin que estas presiones deformen el perfil de los elementos soportantes, y es por esto que no es recomendable en terrenos sobre presionados donde los esfuerzos puedan colapsar los segmentos del arco.

Existe una gran diversidad de formas de arcos, tamaños, pesos, etc. Tradicionalmente el tipo más común está compuesto por tres piezas, un segmento de arco con los dos pies derecho, todas ellas ensambladas y apernadas.

### **Fortificación cedente o deslizante**

Este tipo de fortificación tiene la característica de ceder cuando la presión del cerro sobrepasa un cierto valor, evitando la destrucción del perfil.

La cedencia se produce por el deslizamiento de los perfiles acanalados, los que se encuentran sujetos por abrazaderas en forma de “U”. Esta particularidad de ceder la hace atractiva para muchas aplicaciones mineras, se debe al especial diseño de su perfil denominado TH.

La fortificación con Marcos de Madera presenta ventajas como:

- Tiene una resistencia mayor a todos los esfuerzos, tanto transversal como longitudinal.
- Si no tienen grandes deformaciones pueden ser reutilizables.
- Alcanzan grandes luces en la excavación de galerías.
- Se fabrican según necesidades.

### **Fortificación con pernos de anclaje y cables**

Los pernos se clasifican en pernos de anclaje puntual o anclaje repartido. En el puntual los pernos se sostienen en el fondo de la perforación por medio de cabezas expansibles, cemento o resina. En los pernos repartidos podrían ser pernos de fricción y pernos con inyecciones de cemento o resinas a lo largo de todo el perno.

El perno se encarga de resistir el peso del bloque, por medio de adherencia el cual puede ser por medio de su cabeza o a lo largo de todo el perno cuando es considerado de anclaje repartido. El perno bien adherido a la roca puede sufrir un alargamiento, lo cual le lleva al límite de fluencia mejorando su resistencia. Caso similar se experimenta con los cables. Se tensan los pernos y cables para lograr un alargamiento, produciendo una fuerza por la roca a través de la placa, uniéndola a la roca. Una vez que el cable es tensado con el movimiento de la roca alcanza una gran longitud (Jara, 2014, p. 2).



Figura 1.7. Pernos de anclaje.  
Fuente: (Seguridad Minera, 2017)

El sistema con pernos se basa en el principio de ayudar al macizo rocoso a autoportarse. El perno pasa a formar parte del mismo entorno, reforzando la resistencia de la roca. El empleo de este sistema se ha ampliado debido a los avances de la mecánica de rocas y al desarrollo de nuevos pernos.

Sus ventajas son:

- Versatilidad, puede ser usado bajo cualquier geometría de la galería.
- Relativamente económico.
- La instalación puede ser mecanizada.
- Simple de transportar e instalar.
- Insensible a los efectos de proyección de tronaduras.

En este sistema se utiliza malla tejida en los techos de las galerías para prevenir accidentes al personal o equipos, por caídas de trozos de roca. Las mallas tejidas son flexibles y fuertes y se apernan a intervalos de 1 a 1.5 metros, y dependiendo de esta distancia, pueden acumular un considerable peso de roca quebrada.

La funcionalidad de los pernos para roca, resistencia a la tracción, la función principal de todos los pernos para roca es resistir el movimiento del terreno. En general en la roca dura, este movimiento es el resultado de fallas y fracturas.

Estas fracturas y estratos se abren con el tiempo debido a la presión vertical u horizontal, in situ, por el efecto de la gravedad en los bloques y el efecto de las variaciones de temperatura y humedad de la roca.

La correcta instalación de los pernos de roca, para lograr la máxima eficiencia de ellos, debe considerar una perforación correcta, el empleo de métodos efectivos para tensar o apretar los pernos y usar el tipo adecuado de perno a las condiciones existente en la faena.

Además se deben considerar una serie de elementos en el uso de los pernos , los cuales son importantes, denominados accesorios.

El perno está constituido por:

- Barra de hierro, o acero tratado.
- Resina o cemento.
- Planchuelas metálicas.
- Tuercas.
- Los pernos de fricción, sin uso de resina o cemento.

El uso de la resina aun no se ha masificado especialmente por su alto costo comparado con el cemento.

El perno resiste el peso del bloque, ya sea por adherencia de su cabeza expansible o por la adherencia a lo largo de todo el perno cuando es de anclaje repartido.

### **Fortificación con shotcrete (hormigón lanzado)**

El shotcrete para fortificación es un sistema relativamente nuevo y que solo, o combinado con otros métodos, daría una gran seguridad de sostenimiento y mayor rapidez de aplicación. Este material es lanzado mediante una manguera con una alta velocidad contra la superficie. La mezcla se compacta debido a la fuerza con la que llega a la superficie y logrando que se sostenga a sí misma (Avaria, 2012, p. 2).



Figura 1.8. Fortificación con shotcrete.  
Fuente: (Seguridad Minera, 2017)

Los materiales usados en el shotcrete son básicamente los mismos que los utilizados en el concreto: arena, cemento, agua, aditivos y fibras.

- **Aditivos:** Es deseable incluir aditivos en el concreto lanzado para usos y condiciones de colocación especiales. Empleando con cuidado los aditivos pueden producir resultados muy satisfactorios. Pero algunos aditivos que han sido satisfactorios en el concreto pueden no ser útiles en el concreto lanzado, preferiblemente deben ser líquidos (Ríos, 2012).

- **Acelerantes:** En caso de que se requiera un fraguado rápido o altas resistencias iniciales, deberá emplearse un acelerador de fraguado e impermeabilizante. La dosificación varía entre el 2 % y el 7 % del peso del cemento. (Ríos, 2012)
- **Retardadores:** Según (Ríos, 2012) “Durante los periodos de calor y cuando se requiere un acabado especial, puede ser recomendable añadir un retardador a la mezcla. El empleo de estos puede evitar la presencia de juntas frías, obteniendo así propiedades impermeables.”

Usos del shotcrete en minería:

- Fortificación permanente, junto a pernos y malla (uso No. 1 mundial).
- Fortificación temporal.
- Única fortificación permanente (reemplaza pernos y malla).
- Muros de contención.
- Revestimiento de piques, ductos, estructuras sometidas a desgaste, sellos de ventilación.
- Revestimiento de túneles de evacuación de aguas.
- Pavimentos (rampas de acceso, áreas de carga/descarga, etc.).

Requisitos para su efectividad:

1. Adherencia.
2. Espesor y recubrimiento.
3. Ductilidad (capacidad de deformación.)
4. Resistencia temprana.
5. Resistencia a tracción.
6. Durabilidad.
7. Resistencia a compresión.

Requisitos más importantes en fortificación minera son:

- Adherencia, resistencia a tracción, ductilidad.
- Shotcrete de buena calidad y bien ejecutado aumenta eficiencia del sistema de fortificación.
- Shotcrete mal ejecutado es carga muerta y un peligro.
- Shotcrete aumenta la durabilidad de fortificación, sellando la roca y protegiendo la malla y pernos de corrosión.

Que beneficio económico reporta el uso de este tipo de fortificación.

Un shotcrete de pobre desempeño es:

- Costoso, inseguro, ineficaz e ineficiente
- Causas de un shotcrete de baja calidad en minería:
- Incorrectos o incompletos análisis de costos, conducentes a falsos ahorros (muy común).
- Inadecuado o inexistente diseño de mezcla.
- Equipos/infraestructura de proyección inadecuada.
- Mano de obra no calificada / técnicas de aplicación incorrectas.
- Deficiente logística de suministros (aire, agua, energía).
- Control de calidad insuficiente o inexistente.
- Mezcla “barata”, de baja calidad y lento fraguado.

Un shotcrete de bajo desempeño presenta ciertos efectos como:

- Pobre desarrollo de resistencia: inseguro.
- Alta dosis de acelerante.
- Bajo rendimiento de fortificación.
- Baja resistencia final.
- Pobre durabilidad.
- Alto rebote.
- Mayor tasa de mezcla rechazada.
- Pobre rendimiento de colocación.
- Mayor polución en el ambiente y contaminación de aguas subterráneas.

- Mayor costo en transporte (se necesita más material para el mismo volumen en la roca)

Diseño de mezcla de alta calidad y rápido fraguado de shotcrete presenta los siguientes beneficios:

- Mayor seguridad (rápido fraguado).
- Mejor adherencia.
- Menor consumo de acelerante.
- Espesor en una pasada.
- Mejor desarrollo de resistencia.
- Baja reducción de resistencia final.
- Alta durabilidad.
- Bajo rebote.
- Baja pérdida de material.
- Menor ciclo de fortificación.
- Mejor ambiente de trabajo (Ríos, 2012)

## **1.2. Sistemas de clasificación de los macizos rocosos**

Los sistemas de clasificación del macizo rocoso nos ayudan a determinar las siguientes características principales como: brindan una idea preliminar de la calidad del macizo rocoso y su variabilidad, son desarrollados para estimar soportes en túneles con bases empíricas, se utilizan para etapas tempranas del proyecto, check list de las variables involucradas en el problema, estos no reemplazan métodos más detallados y específicos de diseño. (Suarez, 2001)

El análisis del macizo rocoso es uno de los más complejos debido a sus diversas características ya que no es un material homogéneo, tiene fragmentos y bloques de diversos tamaños, separados por una serie de discontinuidades, entre otras características que varían su comportamiento.

Es necesario tomar en cuenta todas las características para tener un conocimiento completo del macizo y poder establecer el comportamiento y optar por varias alternativas de sostenimiento (Gutiérrez, 2017, p.1).

### **1.2.1. Clasificaciones antiguas**

#### **Terzaghi (1946)**

Terzaghi clasifica el terreno en diez categorías y proporciona la "carga de roca" o tensión vertical que soportarían las cerchas de sostenimiento de un túnel construido por procedimientos tradicionales. Refleja la práctica habitual de los años 1930-1970 en Norteamérica. La clasificación original fue modificada por Deere et al (1970).

#### **Lauffer**

Basó su clasificación en los trabajos de la "Escuela Austriaca" que condujeron a la introducción del NATM. Introdujo el concepto de tiempo de estabilidad de la excavación para una luz o dimensión libre sin sostener. Es la relación entre ambas variables (luz libre y tiempo de estabilidad) la que permite establecer siete categorías de roca.

#### **Deere et al (1967)**

A partir de la definición del índice de calidad de roca RQD propuesto por Deere en 1964, se propone una simple clasificación de la calidad de la roca en 5 categorías. La definición de RQD, la clasificación de la roca, la relación entre el "Factor de Carga" de Terzaghi y

RQD (propuesta por Cording et al, 1972) y la propuesta de Merrit (1972) para decidir el tipo de sostenimiento en función del RQD.

### **RSR (Rock Structure Ratio) (Wickham, Tiedemann and Skinner, 1972)**

La propuesta del índice RSR en 1972 fue un avance importante en la clasificación de macizos rocosos. Por primera vez se construía un índice a partir de datos cuantitativos de la roca. Era pues, un sistema completo con menos influencia de aspectos subjetivos. Se calculaba sumando tres contribuciones relacionados con aspectos geológicos generales, fracturación y dirección del avance y condiciones de agua y de las juntas.

Como método moderno de clasificación de los macizos rocosos tenemos el conocido Sistema RMR (Bieniawski 1973, 1989). El sistema RMR está explicado en el tema siguiente de estudio.

Desde el inicio del siglo XX han aparecido varias propuestas para los sistemas de clasificación, cualitativa y cuantitativamente. A continuación, en la tabla 1.1 se muestra los sistemas más empleados a nivel mundial:

Tabla 1.1. Sistemas de clasificación del macizo rocoso propuestos por distintos autores para uso en obras subterráneas.

Denominación del sistema de clasificación	Autor, año	País de origen	Aplicación
Protodyakonov	Protodyakonov, 1907	Países del Este	Túneles
Carga en rocas	Terzaghi, 1946	Estados Unidos	Túneles con sostenimiento de acero
Tiempo de auto estabilidad	Lauffer, 1958	Austria	Túneles
Rock Quality Designation (RQD)	Deere et al, 1967 y Deere, 1958	Estados Unidos	Túneles
Rock Structure Rating (RSR)	Wickham et al, 1972	Estados Unidos	Túneles
Rock Mass Rating (RMR)	Bieniawski, 1973. Beniawski 1989	Sudafrica	Túneles, minas, taludes y cimentaciones
Sistema Q	Barton et al, 1974. (Barton and Grimstad, 1994)	Noruega	Túneles, cavernas.
Geological Strength Index (GSI)	Hoek et al, 1995.	Canadá	No aplicable a cálculos de sostenimiento. Caracterización de macizos rocosos.
Rock Mass index (Rmi)	Palmstrom, 1995.	Noruega	Ingeniería en rocas
Rock Condition Rating (RCR) o RMRmood	Sheorey, 1993. Goel et al, 1996. Kumar et al, 2004.	India	Variante de RMR
N (o índice Qmod)	Sheorey, 1993. Goel et al, 1996. Kumar et al, 2004.	India	Variante del sistema Q cuando SRF= 1
Rock Mass Fabric indices (F)	Tzamos and Sofianos, 2007.	Grecia	Diagrams para obtener de manera simplificada los parámetros de los sistemas RMR, Q, GSI, Y Rmi
Rock Mass Quality Index	Aydan et al, 2014.	Japón - Turquía	Estimacion de propiedades del macizo rocoso.

Fuente: (Fernández-Gutiérrez, 2017).

Según Gutiérrez (2017), “Los sistemas de clasificación del macizo rocoso se basan principalmente en un enfoque empírico y fueron desarrollados como una herramienta de diseño sistemática en la ingeniería civil y minera. Tienen por objetivo ordenar y sistematizar los procedimientos de las investigaciones en campo. Sin embargo, no deberían ser utilizadas como sustitutos de los estudios analíticos, las observaciones y mediciones en campo o aportaciones de expertos, sino en conjunción con otras técnicas.”

(Jing & Hudson, 2002) Citado en (Gutiérrez, 2017, p. 3) nos dice por otra parte que, “los métodos numéricos en ingeniería de rocas permiten el cálculo tenso-deformacional del macizo rocoso, así como la interacción entre el macizo y sus diferentes estados y estructura.”

Los métodos empíricos son de gran utilidad dado que abarcan un uso muy extenso, fáciles de aplicar en fases de proyecto y ejecución. Proponen rangos estandarizados dando el tipo de sostenimiento que se utilizará basados en la calidad y clase del macizo rocoso (Gutiérrez, 2017, p. 3).

Como dice (Arild & Einar, 2006, p. 6) citado en (Gutiérrez, 2017, p. 3) que “es necesario conocer las limitaciones de las clasificaciones del macizo rocoso y que su uso no puede reemplazar algunos de los procesos de diseño más elaborados.”

Todos los sistemas de clasificación geomecánica que se conocen y nos dan en distintos grupos que representan las capacidades portantes de la roca, pero, ninguna de estas clasificaciones ha sido estandarizada para los cálculos en general, dado que no especifican el sostenimiento real del túnel, solo se aproximan (Gutiérrez, 2017, p. 3).

La complejidad de estudiar todos los parámetros que deben ser considerados no nos permite optar por una clasificación general; así como, el comportamiento del macizo rocoso (túnel, cimentaciones, taludes, etc.). Entonces el estudio de más de dos sistemas es recomendado para obtener resultados claros (Parlström, 2009, p. 4).

En (Barton, 2002, p. 39) que se cita en (Gutiérrez, 2017, p. 3) nos dice que “además, a pesar de que la intención original de los valores de los sistemas geomecánicos era que sirvieran para asistir al diseño empírico y de sostenimiento del túnel, los valores finales y/o parciales empleados en las diversas clasificaciones se han utilizado para predecir y extrapolar datos de otras propiedades de la roca. Por ejemplo, la Q de Barton y otros parámetros parciales se han relacionado con la velocidad sísmica de las ondas P, el módulo elástico de deformación, la presión sobre el sostenimiento, deformación del túnel, etc.; el RQD se ha usado para el cálculo del módulo de deformación o la resistencia a compresión no confinada o incluso el sistema GSI (Geological Strength Index) se ha relacionado con algún parámetro parcial del RMI (índice del macizo rocoso).”

### **1.3. El sistema Rock Mass Rating (RMR).**

#### **1.3.1. Sistema “RMR” de Bieniawski**

Según (J. D. Fernández-Gutiérrez, 2017) El sistema Rock Mass Rating, RMR, propuesto inicialmente por Bieniawski en 1973, ha sido revisado posteriormente en 1974, 1975, 1976, 1979 y 1989. Se trata de un índice que evalúa la competencia del macizo rocoso basándose en 6 parámetros:

- Resistencia de la roca intacta.
- Rock Quality Designation (RQD).
- Espaciado entre juntas o discontinuidades (Js).
- Estado de las juntas (Jc).
- Agua subterránea.
- Corrección por la orientación de las discontinuidades.

Para cada uno de los 6 parámetros se presentan valores en función de las condiciones de esos parámetros. El valor de RMR se obtiene como suma de los valores asignados a los parámetros señalados, oscilando el valor linealmente entre 0 y 100, variando según la calidad la roca.

Desde 1973 hasta 1989 los valores asignados a los parámetros y los propios parámetros han variado según lo indicado en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2. Valoración de los Parámetros del Sistema RMR en las Distintas Versiones.

Parámetro	1973	1974	19975	1976	1979	1989
Resistencia de la roca intacta	0 - 10	0 - 10	0 - 15	0 - 15	1 - 15	2 - 15
Rock Quality Designation (RQD)	3 - 16	3 - 20	3 - 20	3 - 20	3 - 20	3 - 20
Espaciado entre juntas (Js)	5 - 30	5 - 30	5 - 30	5 - 30	5 - 20	5 - 20
Separación de juntas	1 - 5					
Continuidad de juntas	0 - 5					
Acciones Climáticas	1 - 9					
Estados de las juntas (Jc)	.	0 - 15	0 - 25	0 - 30	0 - 30	0 - 30
Agua subterránea	2 - 10	2 - 10	0 - 10	0 - 15	0 - 15	0 - 15
Corrección por Orientación de Discontinuidades	3 - 15	3 - 15	0 - (-12)	0 - (-12)	0 - (-12)	0 - (-12)

Fuente: (Fernández-Gutiérrez, 2017)

Inicialmente, en 1973 se empleaban 8 parámetros y desde 1974 se redujeron a 6, tras la agrupación en el parámetro de estado de las discontinuidades (Jc). En las versiones de 1973 y 1974 se otorgaba una valoración positiva a la orientación de las discontinuidades, pero desde 1975 este parámetro tiene una valoración negativa, desde 0 para el caso más favorable hasta -12 para el más desfavorable. Entre 1975 y 1976 solamente se modificaron los límites para la elección del sostenimiento. En la versión de 1989 las valoraciones no cambiaron, pero la evaluación de las discontinuidades subhorizontales fue modificada. El valor de RMR obtenido está relacionado con 5 clases de macizo rocoso, para la cual se establecen medidas de sostenimiento y construcción. (J. D. Fernández-Gutiérrez, 2017).

Un alto valor de RMR nos demostrará un macizo rocoso que se podría determinar que es de buena calidad caso contrario se optaría por el uso de algún tipo de sostenimiento para el mismo. (Feijoo, 1996).

### 1.3.2. Resistencia a la compresión simple

Comúnmente es utilizado el Point Load Test o también conocido como  $I_{s(50)}$  (Resistencia a la Carga Puntual homologado a 50 mm), puesto que si el valor del  $I_{s(50)}$  es menor a 1 MPa, es recomendable usar el valor de la Resistencia a la Compresión Simple (Feijoo, 1996).

Existe una alta correlación entre los resultados promedios de la resistencia a la compresión simple con los valores de  $I_{s(50)}$  (Berrios, 2015, p. 4).

En (Vallejo, 2002) Este ensayo permite determinar en el laboratorio la resistencia uniaxial no confinada de la roca, o resistencia a la compresión simple,  $\sigma_c$ . Es un ensayo para la clasificación de la roca por su resistencia.

En este ensayo se deben cumplir las siguientes condiciones:

- Razón Largo/Ancho de la probeta debe ser 2.5 a 3.0:1.
- Extremos deben ser paralelos y pulidos, sin grietas.
- Ancho de muestra debe ser  $>10$  veces el tamaño medio del grano.

El ensayo trata de la aplicación gradual de una fuerza axial a un cilindro de roca, hasta que se produce su rotura, los datos obtenidos son:  $\sigma_1$  obtenido del ensayo,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ . Con estos datos se puede obtener  $\sigma_c$  (resistencia a la compresión simple).

Procedimiento:

1. Concebir una idea general de la roca en cuanto a su litología y estructuras.
2. Identificar las muestras.
3. Medir las dimensiones de la muestra para validar si satisface las condiciones del ensayo.

4. Se recubre la muestra con una membrana cuyo fin será el de evitar que al momento de fallar la roca no salten fragmentos y dañen a personas u objetos de alrededor.
5. Se sitúa el testigo de tal forma que el pistón de la máquina quede paralelo a las caras transversales de la muestra.
6. Una persona se encarga de medir la presión a la cual esta siendo sometida la muestra mediante un manómetro conectado directamente a la prensa hidráulica, la presión debe ser medida a cada instante ya que al momento de fallar, la aguja que indica el valor de la carga vuelve al punto de partida.
7. Una segunda persona será la encargada de ir aumentando paulatinamente la presión en la prensa hidráulica.
8. Una vez falle el testigo se retira y se analizan las condiciones y modo de ruptura.

Para alcanzar un puntaje más exacto se utiliza la curva de la Figura 1.9 para la resistencia a la compresión uniaxial.

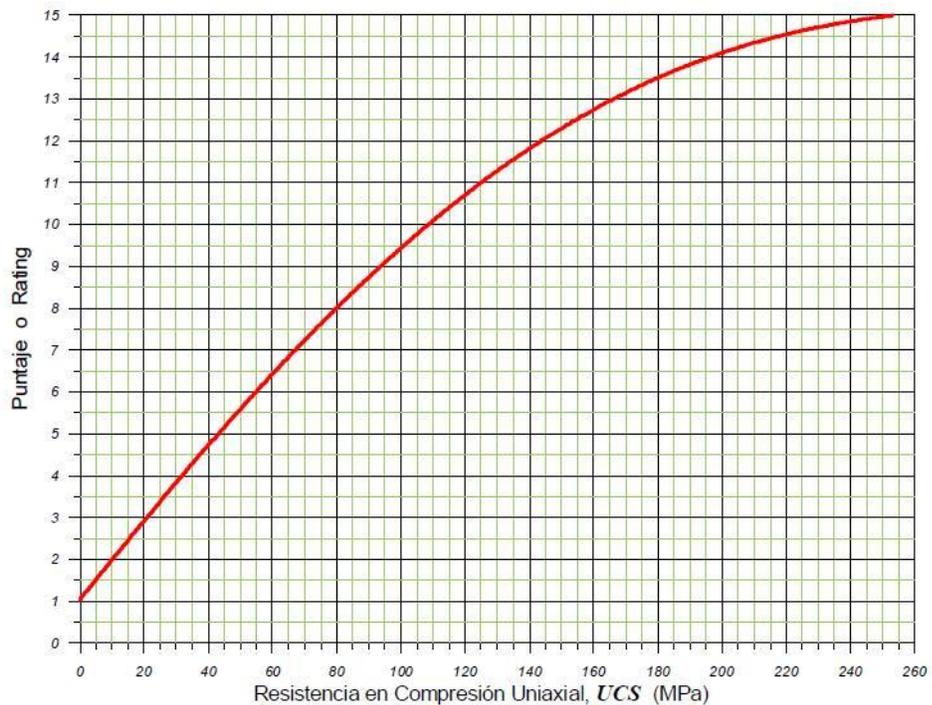


Figura 1.9. Curva de determinación del puntaje por Resistencia a la Compresión Uniaxial.  
Fuente: (E.T.S.E.C.C.P.B. - U.P.C.).

### 1.3.3. Rock Quality Designation (RQD)

Propuesto por Deere en 1964, es considerado un índice cuantitativo para el macizo rocoso, se fundamenta en la recuperación de testigos mediante sondeos para realizar un respectivo análisis.

El RQD se lo analiza con el porcentaje de testigos recuperados con longitud mayor a 10 cm con respecto a la longitud perforada.

$$\text{RQD}(\%) = \frac{\text{Longitud total de los testigos } \geq 10 \text{ cm}}{\text{Longitud total perforada}} * 100$$

Esta fórmula tiene la condición que los testigos recuperados posean un diámetro mínimo de 5 cm.

Cuando no se cumple con las especificaciones anteriormente descritas se puede usar el dato de RQD con respecto al número de juntas o discontinuidades que estén presentes en 1 m<sup>3</sup> de roca, el número de juntas es denominado por Jv. Cuando Jv es mayor a 4.5 se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{RQD} = 115 - 3.3 * Jv$$

En el caso que Jv es menor a 4.5 existe la siguiente relación:

$$\text{RQD} = 100$$

Esto significa que si existen de 1 a 4 juntas en 1 m<sup>3</sup> de roca el valor de RQD es igual a 100 %, en caso de que existan 35 o más juntas el RQD es 0 %, por lo tanto, el cálculo del RQD se realiza en valores entre 5 y 34 (Feijoo, 1996).

Para alcanzar un puntaje más exacto se utiliza la curva de la Figura 1.10 por el RQD.

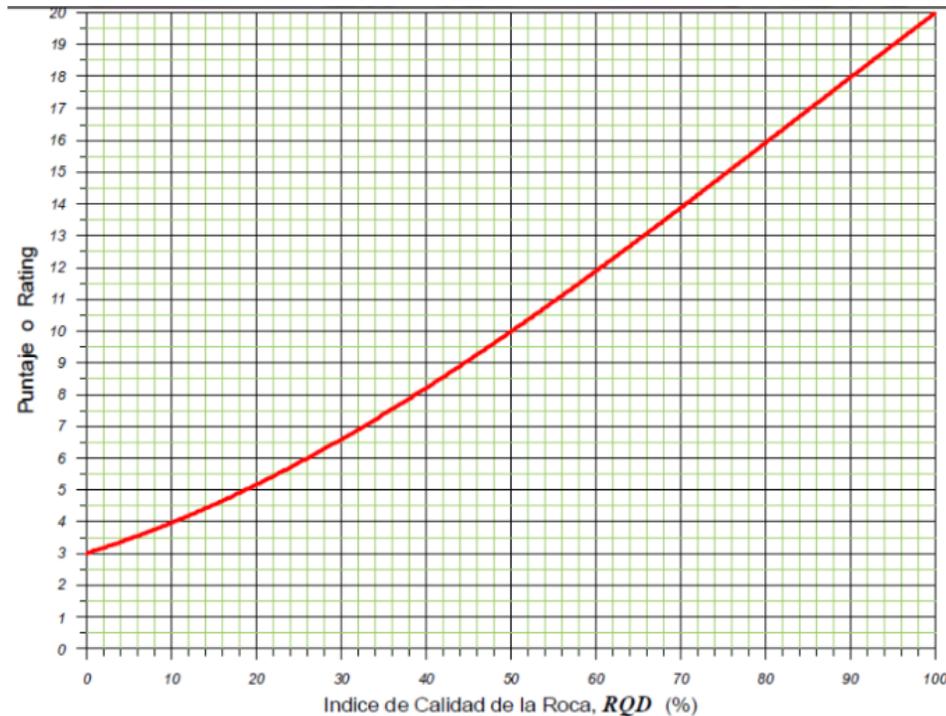


Figura 1.10. Curva de determinación del puntaje por RQD.  
Fuente: (E.T.S.E.C.C.P.B. - U.P.C.)

#### 1.3.4. Espaciamiento medio de las discontinuidades

El espaciamiento que existe entre las discontinuidades, o también llamadas juntas, es de suma importancia para lograr determinar el comportamiento del macizo rocoso. Esta evaluación se la determinó en la dimensión de bloque típico.

En un macizo rocoso entre mayor sea la densidad de discontinuidades más débil se comportará el mismo o viceversa.

Se puede determinar el espacio existente entre las discontinuidades durante el levantamiento del estado de fracturación del macizo rocoso (Feijoo, 1996).

Según (Olarte J. M., 2017) “Este término se refiere a la separación media entre discontinuidades adyacentes y controla el tamaño de bloques individuales de material rocoso. Cuando el espaciamiento es muy denso tiende a presentarse condiciones de baja

cohesión de masa, mientras que si es amplio la condición de entramamiento de bloques es por lo general favorable.

En la figura 1.11 se ilustran 3 juegos de diaclasas y en la Figura 1.12, la influencia conjunta de la orientación y el espaciamiento, sobre la forma, tamaño y posición espacial de las discontinuidades.”

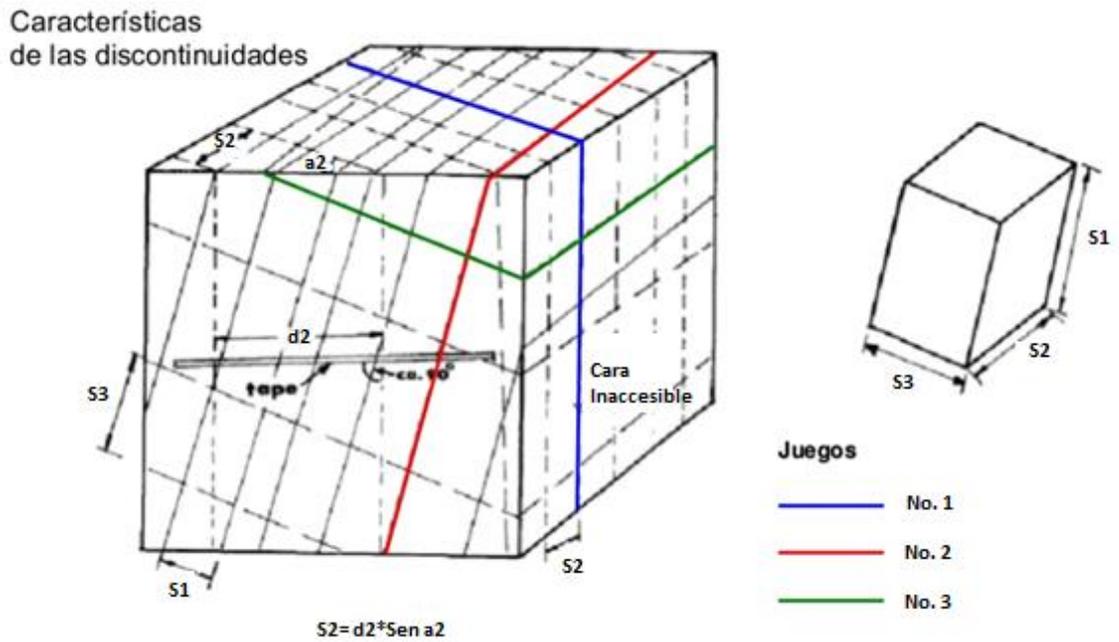


Figura 1.11. El bloque diagrama muestra tres familias de diaclasas y la separación relativa entre discontinuidades; da una idea sobre el tamaño y la posición espacial de bloques.  
Fuente: (Montero, 2017).

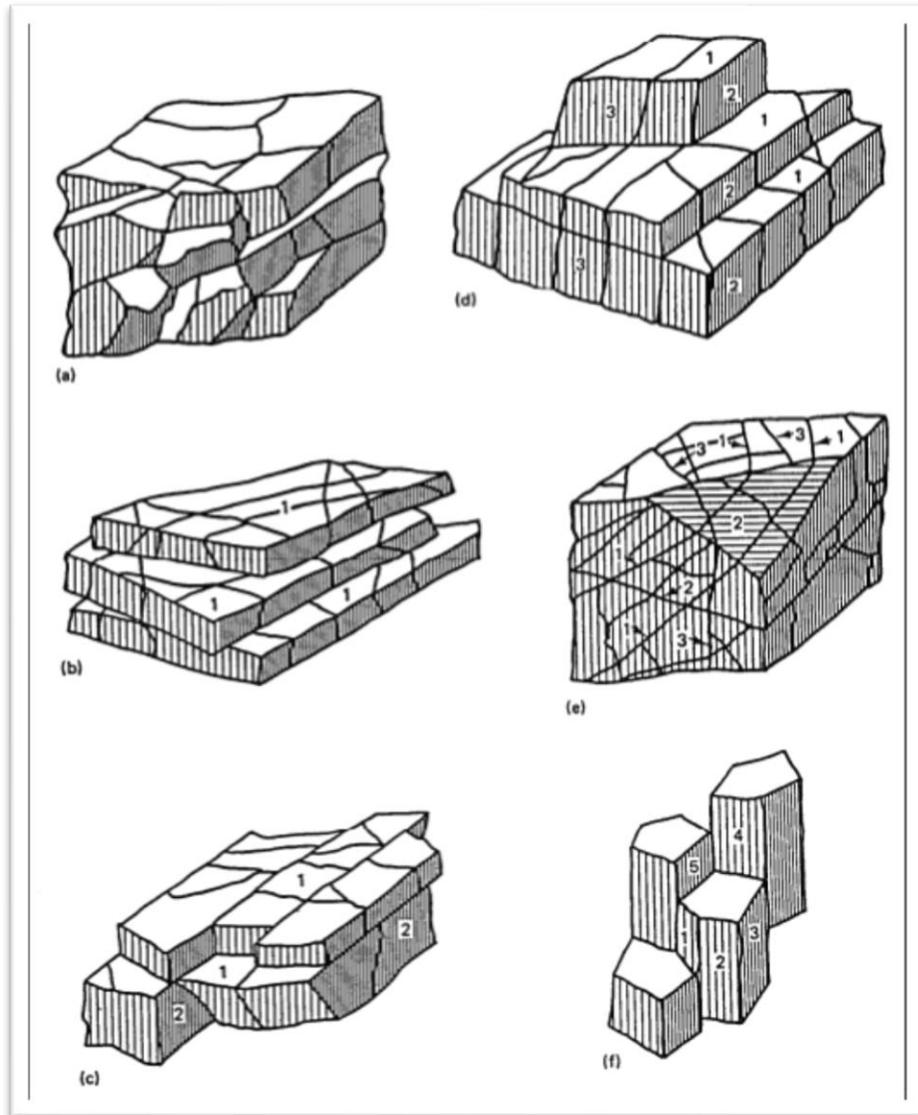


Figura 1.12. Se aprecia la influencia del número de familias de discontinuidad en la forma de los bloques de roca: (a) bloques irregulares, cuando no hay familias definidas; (b) bloques tabulares, debido a una familia predominante; (c) bloques prismáticos, debido a dos familias; (d) bloques equidimensionales, debido a tres juegos sub-normales con separación similar; (e) bloques romboides, debido a tres familias con orientación ligeramente diferente y (f) bloque columnares, debido a cinco familias relativamente paralelas.

Fuente: (Montero, 2017).

Para alcanzar un puntaje más exacto se utiliza las curvas de la Figura 1.13 para el espaciamiento medio y para el puntaje acumulado entre RQD y espaciamiento medio entre juntas.

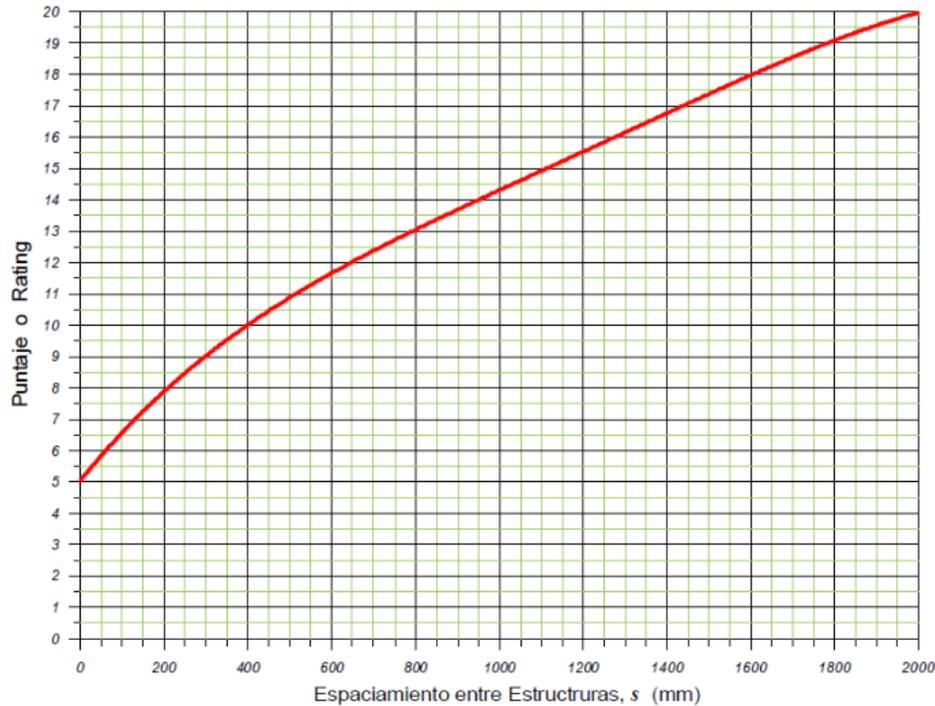


Figura 1.13. Curva de determinación del puntaje por espaciamiento medio de las juntas.  
Fuente: (E.T.S.E.C.C.P.B. - U.P.C.).

### 1.3.5. Condiciones de las discontinuidades

Las discontinuidades se encuentran presentes en la roca las cuales desfavorecen la resistencia, permeabilidad y durabilidad del macizo. Es de suma importancia evaluar la geometría, naturaleza, estado y condición de las discontinuidades, ya que con estas logramos definir la matriz estructural del macizo rocoso. También determina su génesis, la influencia en el comportamiento del macizo, exige evaluar la génesis de los rellenos, la cantidad de agua, las cicatrices revestimientos en las paredes por materiales solubles, la abertura, rugosidad y persistencia de las discontinuidades, y el número de familias (Escobar, 2017).

Se consideran los siguientes parámetros:

- Separación o abertura de las juntas.
- Continuidad.
- Rugosidad.
- Condición mecánica de las caras (duras y suaves).
- Presencia o no de material relleno de la misma.

Tabla 1.3. Condición de las discontinuidades.

	MUY BAJA <1 m	BAJA 1 - 3 m	MEDIA 3 - 10m	ALTA 10 - 20 m	MUY ALTA > 20 m
CONTINUIDAD (ISRM) Valor	6	4	2	1	0
RUGOSIDAD (ISRM) Valor	Mur rugosa JRC= 20 6	Rugosa JRC= 14 5	Algo rugosa JRC= 7 3	Lisa JRC = E 1	Pulida JRC = 0 0
RELLENO Y ABERTURA Valor	Junta cerrada y sin relleno 10	seca. Relleno 1mm 8	Abierta Relleno 1 - 5 mm 5	Pared y relleno blando 5 - 10 3	Triturado de Falla >10 mm 0
METEORIZACIÓN de los bordes Valor	Grado 1 sana 4	Grado 2 3	Grado 3 moderado 2	Grado 4 1	Grado 5 completa 0

Fuente: (Beniawski 1989).

### 1.3.6. Condiciones hidrológicas

El flujo de agua a través de macizos rocosos se produce principalmente por las discontinuidades, es decir, por la llamada permeabilidad secundaria. También puede ser importante, sobre todo en rocas sedimentarias, la permeabilidad primaria que depende del material en sí.

El flujo de agua depende de las características topográficas y geológicas del macizo rocoso.

La permeabilidad del macizo rocoso suele ser bastante superior a la de la roca intacta, debido a que el flujo se produce principalmente a lo largo de discontinuidades, diaclasas, fisuras, canales de disolución, etc.

La permeabilidad del macizo rocoso puede variar bastante con la dirección, ya que los planos de estratificación y los sistemas principales de diaclasas suelen tener orientaciones definidas y es precisamente a través de estas discontinuidades por donde tiene lugar una

parte importante el flujo de agua. Entre las discontinuidades habrá una serie de caminos mejor o peor comunicados, con posibles rellenos arcillosos impermeables, que podrán ser más o menos continuos y abiertos.

Se toma en consideración la influencia del régimen de agua en el macizo rocoso ya que influyen en la estabilidad, es recomendable hacer una evaluación cualitativa del estado hidrológico (Feijoo, 1996).

En los suelos el flujo de agua es relativamente isotrópico y el nivel freático corresponde al nivel que alcanza el agua en un pozo y que corresponde a la presión atmosférica.

En los macizos de roca el flujo de agua está concentrado preferencialmente en las diaclasas abiertas, y las cabezas hidráulicas generadas dependen de la intercomunicación que existe entre las discontinuidades. Es muy común la ocurrencia de fallas, como consecuencia de altas cabezas que operan como cuñas hidráulicas. En la Tabla 1.4 se presenta una terminología para describir categorías de flujo de agua en macizos rocosos considerando la manera como se presenta el flujo y su efecto en los rellenos (Montero, 2017) .

Todos los parámetros mencionados, deberán ser evaluados de acuerdo a sus respectivas características y así poder asignar el puntaje correspondiente Tabla 1.4, y de esta manera poder obtener el valor aproximado de RMR.

Tabla 1.4. Parámetros de clasificación y puntajes correspondientes

PARÁMETRO		RANGO DE VALORES							
1	Resistencia de la roca intacta	Ensayo de Carga puntual	> 10 Mpa	4 - 10 Mpa	2 - 4 Mpa	1 - 2 Mpa			
		Compresión simple	> 250 Mpa	100 - 250 Mpa	50 - 100 Mpa	25 - 50 Mpa	5 - 25 Mpa	1 - 5 Mpa	< 1 Mpa
	<b>Valor</b>	<b>15</b>	<b>12</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	
2	RQD	90 - 100 %	75 - 90 %	50 - 75 %	25 - 50 %	< 25 %			
	<b>Valor</b>	<b>20</b>	<b>17</b>	<b>13</b>	<b>8</b>	<b>3</b>			
3	Espaciado de las discontinuidades	> 2 m	0,6 - 2 m	0,2 - 0,6 m	0,06 - 0,2m	< 0,06m			
	<b>Valor</b>	<b>20</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>5</b>			
4	Condición de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m		
		<b>Valor</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>		
		Apertura	Nada	< 0,1 mm	0,1 - 1,0 mm	1 - 5mm	> 5mm		
		<b>Valor</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b>		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		<b>Valor</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b>		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5mm	Relleno blando > 5mm		
		<b>Valor</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>0</b>		
Meteorización	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta				
<b>Valor</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b>				
5	Flujo de Agua (Filtración)	Relación Presión agua/ Esfuerzo principal	0	0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	> 0,5		
		Condiciones Generales	Completamente seca	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Agua fluyendo		
	<b>VALOR</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>0</b>			

Fuente: (Bieniawski, 1989)

### 1.3.7. Orientación de las fracturas principales o presencia de fallas

Al obtener el subtotal del puntaje de los primeros cinco parámetros se realizan correcciones debido a la presencia de fracturas o fallas, basándonos en la tabla de evaluación del efecto de la orientación de las fracturas o fallas.

Se considera la posición geométrica de las fracturas o falla, es decir rumbo, dirección de buzamiento y ángulo de buzamiento.

Estas se dividen en tres categorías:

- Rumbo de la fractura o falla perpendicular al eje de excavación.
- Rumbo paralelo al eje de excavación.
- Ángulo de buzamiento menor a  $20^\circ$  independiente del rumbo.

Una vez verificado que nuestro caso se encuentra en la primera categoría tenemos dos opciones:

- Dirección de buzamiento en sentido de la excavación.
- Dirección de buzamiento en contra de la excavación.

En donde el valor del ángulo de buzamiento determinará la categoría perteneciente del problema. El ángulo de buzamiento puede estar entre  $20^\circ$  a  $45^\circ$  y entre  $45^\circ$  a  $90^\circ$ .

Si el caso se encuentra en la segunda categoría únicamente se tomará en cuenta el ángulo de buzamiento y estableceremos su categoría.

Si tiene una fractura o falla con un ángulo menor a  $20^\circ$  se determinará que será desfavorable (Feijoo, 1996).

Tabla 1.5. Evaluación del efecto de la orientación de las fracturas o fallas.

Rumbo Perpendicular al Eje de la obra				Rumbo Paralelo al Eje de la obra		Buzamiento 0- $20^\circ$ Independiente del Rumbo
Dirección según buzamiento		Dirección contra buzamiento				
Bz 45°- 90 °	Bz 20°- 45°	Bz 45°- 90 °	Bz 20°- 45 °	Bz 45°- 90 °	Bz 20°- 45 °	
Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable	Regular	Desfavorable

Fuente: (Bongiorno, 2012).

Las categorías determinadas con el proceso detallado anteriormente las cuales pueden ser desde Muy Favorable hasta Muy Desfavorable, se vuelven a corregir según la Tabla 1.6 de corrección por orientación de las fracturas o fallas, en el cual encontramos algunas alternativas, pero específicamente se utilizará la opción de Túnel.

Tabla 1.6. Corrección por orientación de las fracturas o fallas

Orientación de las fraturas o fallas		Muy Favorable	Favorable	Discreta	Desfavorable	Muy Desfavorable
Puntaje	Túnel	0	-2	-5	-10	-12
	Fundición	0	-2	-7	-15	-25
	Talud	0	-5	-26	-50	-60

Fuente: (Feijoo, 1997)

Con estas alternativas se obtiene un valor el cual se resta obteniendo el total que corresponde al RMR, indicándonos los siguientes factores importantes como es la estabilidad y necesidad de soporte.

Con el valor del RMR en la Tabla 1.7 se determina la clase de roca y su descripción.

Tabla 1.7 Clasificación geomecánica de CSIR

RMR	100 a 81	80 a 61	60 a 41	40 a 21	< 20
CLASE No	I	II	III	IV	V
DESCRIPCION	ROCA MUY BUENA	ROCA BUENA	ROCA DISCRETA	ROCA POBRE	ROCA MUY POBRE

Fuente: (Feijoo, 1997)

Con la clase de roca tenemos una serie de datos adicionales sobre el comportamiento del macizo logrando observar en una serie de tablas y ábacos del Consejo de Investigación Científica e Industrial (CSIR) el tiempo de autosostenimiento, cohesión de la roca y el ángulo de fricción (Feijoo, 1996).

Utilizamos el siguiente ábaco (Figura 1.14) para la determinación del factor de seguridad el cual se obtiene con el valor de la luz del túnel y el puntaje de RMR, como resultado tenemos valores entre 0.8 a 1.3, puesto que, si es menor que 0.8 es colapso inminente y valores superiores a 1.3 no requieren fortificación alguna.

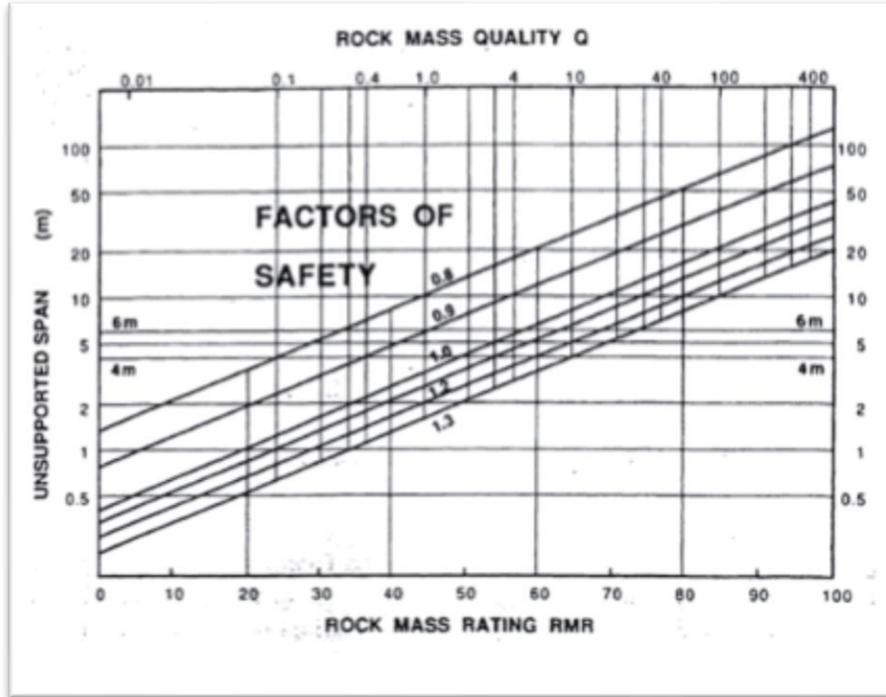


Figura 1.14. Abaco para la determinación del factor de seguridad.  
Fuente:(J. Cuervas-Mons, 2015).

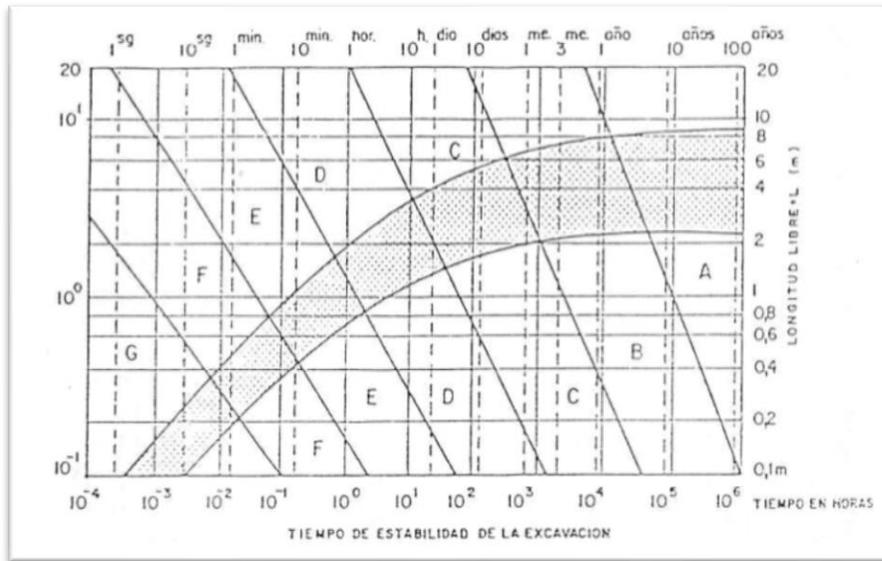


Figura 1.15. Abaco para la determinación del tiempo de autosostenimiento.  
Fuente: (E.T.S.E.C.C.P.B. - U.P.C.).

## 1.4. Índice Q

Guiándonos en los diferentes tipos de estabilidad en excavaciones subterráneas. Barton, Lien y Lunde del Instituto de Geotecnia de Noruega, hicieron la propuesta de un índice el cual nos ayuda a evaluar la calidad del macizo en túneles.

El RMR comúnmente se emplea en su mayoría como índice geomecánico para evaluar las propiedades de los macizos rocosos en cambio que el índice Q se emplea mayoritariamente en la evaluación del sostenimiento de túneles mediante bulones (pernos de anclaje), cerchas, hormigón proyectado, etc.

Esta clasificación geomecánica logra evaluar o calcular parámetros geotécnicos del macizo rocoso y la parte más importante diseñar sostenimientos para túneles y otras labores subterráneas.

El índice Q varía entre 0,001 y 1000 clasificándose el macizo rocoso como:

- 0,001 y 0,01: Roca excepcionalmente mala
- 0,01 y 0,1: Roca extremadamente mala
- 0,1 y 1: Roca muy mala
- 1 y 4: Roca mala
- 4 y 10: Roca media
- 10 y 40: Roca buena
- 40 y 100: Roca muy buena
- 100 y 400: Roca extremadamente buena
- 400 y 1.000: Roca excepcionalmente buena

El índice “Q” se calcula mediante 6 parámetros geotécnicos, según la siguiente función:

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

Donde:

**RQD= Índice de calidad de la roca de Deere**

Tabla 1.8. Valores de RQD.

Valorización de los parámetros Q ( según Barton, Lien y Lunden)			
PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	VALOR	OBSERVACIONES
<b>RQD</b>	A) Muy mal	0 a 25	Cuando RQD se reporta o es medido como menor a 10, se lo otorga un valor nominal de 10.
	B) Mala	25 a 50	
	C) Regular	50 a 75	
	D) Buena	75 a 90	
	E) Excelente	90 a 100	

Fuente: (Caceres, 2012)

**Jn= Número de sistemas de fisuras**

Tabla 1.9. Valores de Jn.

DESCRIPCION	PUNTAJE	OBSERVACIONES
A. Roca masiva sin diaclasas o con fisuración escasa	0,5 a 1	1. En intersecciones de túneles se utiliza la expresión (3. Jn) 2. En las bocas de los túneles, se utiliza la expresión (2.Jn)
B. Una familia de diaclasamiento	2	
C. Una familia y algunas diaclasas aleatorias	3	
D. Dos familias de diaclasas	4	
E. Dos familias de diaclasas y algunas aleatorias	6	
F. Tres familias de diaclasas	9	
G. Tres familias y algunas diaclasas aleatorias	12	
H. Cuatro o más familias, diaclasas aleatorias, roca muy fracturada, roca en terrones	15	
J. Roca triturada terrosa	20	

Fuente: (Feijoo, 1997)

**Jr= Número de rugosidad de las fisuras**

Tabla 1.10. Valores de Jr.

DESCRIPCION	PUNTAJE	OBSERVACIONES
A. Diaclasas discontinuas fisuración escasa	4	1. Las descripciones se refieren a caracterizaciones a pequeña escala y escala intermedia  2. No existe contacto entre las caras de la discontinuidad ante un desprendimiento cortante
B. Diaclasas onduladas rugosas o irregulares	3	
C. Diaclasas onduladas lisas	2	
D. Diaclasas onduladas perfectamente lisas	1,5	
E. Diaclasas planas, rugosas o irregulares	1,5	
F. Diaclasas planas, lisas	1	
G. Diaclasas planas, perfectamente lisas	0,5	
H. Zona que contiene minerales arcillosos con un espesor suficiente para impedir el contacto de las caras de la discontinuidad	1	
J. Zona arenosa de gravas o triturada con un espesor suficiente para impedir el contacto entre las dos caras de la discontinuidad	1	

Fuente: (Feijoo, 1997)

**Ja= Número de la alteración de las fisuras**

Tabla 1.11. Valores de Ja.

DESCRIPCION	PUNTAJE	OBSERVACIONES
Contacto entre los planos de la discontinuidad (sin minerales de relleno intermedio)		<p>1. Si el espacio de la principal familia de discontinuidades es superior a 3m, se debe aumentar el índice Jr en una unidad</p> <p>2. En el caso de diaclasas planas perfectamente lisas que presentan lineaciones y que dichas lineaciones estén orientadas según la dirección de mínima resistencia, se puede utilizar el valor de Jr =0,5</p>
A. Discontinuidad cerrada, dura, sin reblandecimiento, impermeable, cuarzo	0,75	
B. Planos de discontinuidad inalterados, superficies ligeramente manchadas	1	
C. Planos de discontinuidad ligeramente. Presentan minerales no reblandecidos, partículas arenosas, roca desintegrada libre de arcilla	2	
D. Recubrimiento de arcillas limosas o arenosas. Fracción pequeña de arcilla no blanda	3	
E. Recubrimiento de arcillas blandas o de baja fricción, es decir, caolinita o mica. También clorita, talco, yeso, grafito, etc., y pequeñas cantidades de arcillas expansivas	4	
Contacto entre los planos de la discontinuidad ante un desaplazamiento cortante inferior a 10cm (minerales de relleno en pequeños espesores)		
F. Partículas arenosas roca desintegrada libre de arcillas, etc	4	
G. Fuertemente sobreconsolidadas con rellenos de minerales arcillosos no blandos (continuos, pero de espesores inferiores a 5mm)	6	

H. Sobresonsolidación media a baja, con reblandecimiento, rellenos de minerales arcillosos (continuos, pero con espesores inferiores a 5mm)	8
J. Rellenos de arcillas expansivas, es decir montmorillonita (continuos pero con espesores inferiores a 5mm). El valor de Ja depende del porcentaje de partículas con tamaños similares de las arcillas expansivas.	8 a 12
No se produce contacto entre los planos de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante (rellenos de minerales de gran espesor)	
K. Zonas o bandas de roca desintegrada o triturada y arcillas (ver clases G, Hay J para la descripción de las condiciones de las arcillas)	6 a 8 ó 8 a 12
L. Zonas o bandas de arcilla limosas o arenosas, con pequeñas fracciones de arcilla no reblandecibles	5
M. Zonas o bandas continuas de arcilla, de espesor grueso ( ver clase G, H y J, para la descripción de las condiciones de arcilla)	10 a 13 ó 13 a 20

Fuente: (Feijoo, 1997)

**Jw= Factor de reducción por agua en las fisuras**

Tabla 1.12. Valores de Jw.

DESCRIPCION	PUNTAJE	PRESION DE AGUA	OBSERVACIONES
Factor de reducción por la presencia de agua			
A. Excavaciones secas o pequeñas afluencias de agua inferiores a 5l/m, de forma localizada	1	1	<p>1. Los valores de las clases C, D, E y F son meramente estimativos. Si se acometen medidas de drenaje, puede incrementarse el valor de Jw</p> <p>2. No se ha considerado los problemas especiales derivados de la formación de hielo</p>
B. Afluencia o presiones medias con lavado ocasional de los rellenos de las discontinuidades	0,66	1 a 2,5	
C. Afluencia importante o presión alta en rocas competentes con discontinuidades sin rellenos	0,5	2,5 a 10	
D. Afluencia importante o presión alta, produciéndose un lavado considerable de los rellenos de las diaclasas	0,33		
E. Afluencia excepcionalmente alta o presión elevada en el momento de realizar voladuras, decreciendo con el tiempo	0,2 a 0,1	10	
F. Afluencia excepcionalmente alta o presión elevada de carácter persistente, sin disminución apreciable	0,1 a 0,05	10	

Fuente: (Feijoo, 1997)

**SRF= Factor de reducción de esfuerzos**

Tabla 1.13. Valores de SRF.

DESCRIPCION	PUNTAJE	OBSERVACIONES
Condiciones tensionales de la roca (Stress Reduction Factor)		
A. Múltiples zonas débiles, conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente, roca muy suelta (cualquier profundidad)	10	1. Reduzcense los valores de SRF del 25 al 50 % si las zonas de fracturas solo interesan pero no cruzan la excavación.
B. Zonas débiles aisladas, conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de la excavación $\leq$ 50m)	5	2. En aquellos casos en que los que la profundidad de la clave del túnel es menor que la anchura de la excavación, se sugiere aumentar el valor del factor SRF entre 2,5 y 5 unidades (véase clase H)
C. Zonas débiles aisladas, conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de la excavación $>$ 50m)	2,5	
D. Múltiples zonas de fracturas en roca competente (libres de arcillas) roca de contorno suelta (a cualquier profundidad)	7,5	
E. Zonas de fracturas aisladas en roca competente (libre de arcillas ), (profundidad de la excavación $\leq$ 50m)	5	
F. Zonas de fracturas aisladas en roca competente (libre de arcillas ), (profundidad de la excavación $>$ 50m)	2,5	

G. Terreno suelto, diaclasas abiertas, fuertemente fracturado en terrones, etc. (a cualquier profundidad)	5	
H. Tensiones pequeñas cerca de la superficie, diaclasas abiertas	2,5	
J. Tensiones medias, condiciones tensionales favorables	1	
K. Tensiones elevadas, estructura muy compacta. Normalmente favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para la estabilidad de los hastiales	0,5 a 2	
L. Lajamiento moderado de la roca después de 1 hora en rocas masivas.	5 a 10	
M. Lajamiento y estallido de la roca después de algunos minutos en rocas masivas	10 a 20	
N. Presión de deformación suave	5 a 10	
O. Presión de deformación intensa	10 a 20	
P. Presión de expansión suave	5 a 10	
R. Presión de expansión intensa	10 a 20	

Fuente: (Feijoo, 1997)

El valor de cada uno de estos factores se obtiene por medio de las tablas que muestran las características y valores numéricos de los factores respectivamente indicados.

(Fernández-Gutiérrez, 2017) Menciona que, durante casi 20 años el sistema no se ha modificado, manteniéndose las 38 categorías de sostenimiento propuestas en 1974, En 1993 y 1994 el sistema fue revisado y actualizado para incorporar la experiencia y los avances tecnológicos. Únicamente varían los valores de SRF para incorporar fenómenos de resquebrajamiento y/o deslizamientos y de estallidos de roca. El diagrama revisado ha simplificado el proceso de selección del sostenimiento, desde las 38 categorías de 1974 hasta las 9 de 1994.

Algunos autores señalan que el índice Q es apropiado para la clasificación de la estabilidad y del tipo de sostenimiento a emplear en túneles y cavernas en roca fracturada, teniendo un mejor uso durante la planificación y siendo menos útil durante el proceso constructivo.

## CAPÍTULO II

### DESARROLLO DE LA APLICACIÓN

En este capítulo se procura detallar la selección del lenguaje de programación y las fases necesarias para el desarrollo de la aplicación empleando la metodología orientada a objetos, la cual nos permite representar el problema o método y poder dar una solución informática, que es la aplicación para la determinación del tipo de fortificación.

#### 2.1 Lenguajes de programación

Actualmente existe una gran variedad de lenguajes de programación, la mayoría de ellos han ido evolucionando y se han adaptado a las exigencias modernas, mientras que otros, aunque siguen en vigencia, ya no son muy utilizados últimamente o prácticamente han sido olvidados.

Programming Language	2019	2014	2009	2004	1999	1994	1989
Java	1	2	1	1	12	-	-
C	2	1	2	2	1	1	1
C++	3	4	3	3	2	2	3
Python	4	7	5	9	27	21	-
Visual Basic .NET	5	10	-	-	-	-	-
C#	6	5	6	7	23	-	-
JavaScript	7	8	8	8	17	-	-
PHP	8	6	4	5	-	-	-
SQL	9	-	-	6	-	-	-
Objective-C	10	3	36	44	-	-	-
COBOL	25	20	16	11	3	9	12
Lisp	29	13	19	14	14	5	2
Pascal	207	14	14	96	6	3	17

Figura 2.1 Lenguajes de Programación más utilizados desde 1989.  
Fuente: The TIOBE Programming Community

El lenguaje de programación es principalmente un idioma artificial que es diseñado para suministrar instrucciones, expresar procesos y estructuras los cuales puedan ser procesados y llevados a cabo por máquinas que generalmente son las computadoras y así poder realizar una actividad real en un entorno virtual.

La principal característica de los lenguajes de programación es que cada uno esta formado o maneja un conjunto de órdenes, símbolos, reglas sintácticas y semánticas los cuales tienen su respectiva estructura y significado que deberá cumplir un proceso al momento de combinarlos, a esto se lo llama la sintaxis (Hernández, 2012).

Ramírez (2013) nos dice que: “un programa es un conjunto de órdenes o instrucciones que resuelven un problema específico basado en un Lenguaje de Programación” (p. 2).

```
1380
1381 Private Sub calcular_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles calcular.Click
1382
1383     SIGUINTE_12.Enabled = True
1384
1385     IF ESR_3.Checked = True And (ESR_4.Checked And ESR_5.Checked And ESR_B.Checked And ESR_C.Checked And ESR_D.Checked And
1386     ESR_E.Checked) = False Then
1387         P_ESR.Text = 3
1388         Me.Hide()
1389         FORTIFICACION.Show()
1390
1391     ElseIf ESR_4.Checked = True And (ESR_3.Checked And ESR_5.Checked And ESR_B.Checked And ESR_C.Checked And ESR_D.Checked
1392     And ESR_E.Checked) = False Then
1393         P_ESR.Text = 4
1394         Me.Hide()
1395         FORTIFICACION.Show()
1396
1397     ElseIf ESR_5.Checked = True And (ESR_3.Checked And ESR_4.Checked And ESR_B.Checked And ESR_C.Checked And ESR_D.Checked
1398     And ESR_E.Checked) = False Then
1399         P_ESR.Text = 5
1400         Me.Hide()
1401         FORTIFICACION.Show()
1402
1403     ElseIf ESR_B.Checked = True And (ESR_3.Checked And ESR_4.Checked And ESR_5.Checked And ESR_C.Checked And ESR_D.Checked
1404     And ESR_E.Checked) = False Then
1405         P_ESR.Text = 1.6
1406         Me.Hide()
1407         FORTIFICACION.Show()
1408
1409     ElseIf ESR_C.Checked = True And (ESR_3.Checked And ESR_4.Checked And ESR_5.Checked And ESR_B.Checked And ESR_D.Checked
1410     And ESR_E.Checked) = False Then
1411         P_ESR.Text = 1.3
1412         Me.Hide()
1413         FORTIFICACION.Show()
1414
1415     ElseIf ESR_D.Checked = True And (ESR_3.Checked And ESR_4.Checked And ESR_5.Checked And ESR_C.Checked And ESR_B.Checked
1416     And ESR_E.Checked) = False Then
1417         P_ESR.Text = 1.2
1418         Me.Hide()
1419         FORTIFICACION.Show()
1420
1421     %
```

Figura 2.2 Sintaxis de VB.NET utilizada en la aplicación

Fuente: Visual Studio 2017.

## 2.2 Características de los lenguajes de programación

El lenguaje de programación (como en toda actividad de diseño en cualquier rama de ingeniería), debe estar diseñado e interpretado siempre por unos principios o criterios básicos.

En casi la mayoría de los escenarios de programación, lograr una de las características nos permite seguir avanzando a otras correlacionadas, pero casi inevitablemente nos aleja de otras características cotejadas a la primera.

Todos los diseños de cualquier lenguaje deben tener una sintaxis adecuada, entendible, equilibrada entre las características planteadas (Ureña Almagro, 2012).

A continuación, se describen las características más importantes que se debe considerar para el lenguaje de programación:

- **Facilidad de escritura:** se expresa en muchos casos los cálculos de forma simple, clara, estructurada, correcta y rápida. En general es una característica muy común que llega a concretarse en otras.
- **Legibilidad:** el diseño debe permitir una comprensión rápida y sencilla del proceso de cálculo que se realiza.
- **Generalidad:** la construcción del lenguaje debe ser uniforme y tratar de evitar el uso de demasiadas restricciones en los contextos.
- **Independencia:** se debe lograr en lo más posible que cada una de las características trabaje independientemente, sin que estas interrumpen el trabajo simultáneo o combinado de otra.
- **Uniformidad:** las características que sean similares deben tener una apariencia igual y las características que sean distintas no deben tener la misma apariencia.
- **Simplicidad:** utilizar el mínimo número de posibilidades o intentar combinarlas y se debe evitar características que son distintas pero muy parecidas.
- **Expresividad:** la sintaxis debe permitir expresar con bastante facilidad los distintos procesos complejos.
- **Fiabilidad:** el lenguaje debe permitir la construcción de programas o aplicaciones que sean fiables y debe impedir la construcción de los mismos que no son fiables.

- **Definición precisa y clara:** el contexto debe estar definido sin ambigüedades, debe ser fácilmente legible y muy comprensible.
- **Independencia de la máquina y el Sistema Operativo (S.O.):** la construcción del programa o aplicación por medio del lenguaje debe ser lo más fácil posible. En general la utilización de programas de distintos hardware y S.S.O.O. deben tener el mínimo de cambios posibles para poder cumplir con las características.
- **Eficiencia en la traducción y ejecución:** el lenguaje de programación utilizado debe dar paso a la fácil construcción de traductores e intérpretes y que la ejecución del mismo no tenga un alto gasto de tiempo y memoria (Ureña Almagro, 2012)

### **2.3 Generaciones de lenguajes de programación**

Existen varias generaciones de lenguajes de programación que van desde las muy básicas y simples de entender hasta las que tienen una gran complejidad de entendimiento, las cuales se han ido desarrollando con el pasar del tiempo. Dichas generaciones se dividen en 3 categorías fundamentales: bajo nivel, alto nivel y últimamente se está desarrollando las generaciones de muy alto nivel (Gastón Pérez, 2005).

#### **Bajo Nivel**

En resumen, estas son dependientes de la máquina, diseñadas para ejecutarse en una sola computadora. A esta categoría pertenecen las dos primeras generaciones.

#### **Alto Nivel**

Al contrario de las de bajo nivel, estas pueden ser utilizadas en una variedad de computadoras, son independientes. A esta categoría pertenecen la tercera y cuarta generación.

#### **Muy Alto Nivel**

A esta categoría hace relación a redes neuronales (inteligencia artificial), aunque con el fracaso del proyecto japonés de la quinta generación el nombre ha caído en desuso (Gastón Pérez, 2005).

### 2.3.1 Lenguaje de primera generación (Código Máquina)

Esta generación consistía prácticamente en una secuencia de 0s y 1s (código binario Fig 2.3) en su totalidad, la computadora mediante sus controles interpretaba como instrucciones eléctricamente el código binario. Es conocido como lenguaje máquina, puesto que cada modelo de ordenador tenía su propio código y representan los primeros lenguajes de programación que la computadora podía entender (Gastón Pérez, 2005).

Letra	Cód. Binario	Letra	Cód. Binario
A	01000001	a	01100001
B	01000010	b	01100010
C	01000011	c	01100011
D	01000100	d	01100100
E	01000101	e	01100101
F	01000110	f	01100110
G	01000111	g	01100111
H	01001000	h	01101000
I	01001001	i	01101001
J	01001010	j	01101010
K	01001011	k	01101011
L	01001100	l	01101100
M	01001101	m	01101101
N	01001110	n	01101110
O	01001111	o	01101111
P	01010000	p	01110000
Q	01010001	q	01110001
R	01010010	r	01110010
S	01010011	s	01110011
T	01010100	t	01110100
U	01010101	u	01110101
V	01010110	v	01110110
W	01010111	w	01110111
X	01011000	x	01111000
Y	01011001	y	01111001
Z	01011010	z	01111010

Figura 2.3. Alfabeto en código binario  
Fuente: MaqDevelopment

### 2.3.2 Lenguaje de segunda generación (Lenguaje Ensamblador)

Esta generación identificaba el lenguaje máquina y consistía en convertir el código binario (Figura 2.3) a un lenguaje que se pueda entender por los seres humanos, aunque sigue siendo propio de la máquina (Gastón Pérez, 2005).

<p>Ejemplo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Lenguaje de máquina:</b> 10110000 01100001</li> <li>- <b>Lenguaje ensamblador:</b> mov Al, # 061h</li> <li>- <b>Sentido:</b> Mueva el valor hexadecimal 61 (97 decimal) en el registro del procesador llamado "A1".</li> </ul>
--

Figura 2.4 Sentido del Lenguaje Ensamblador  
Fuente: CONOGASI

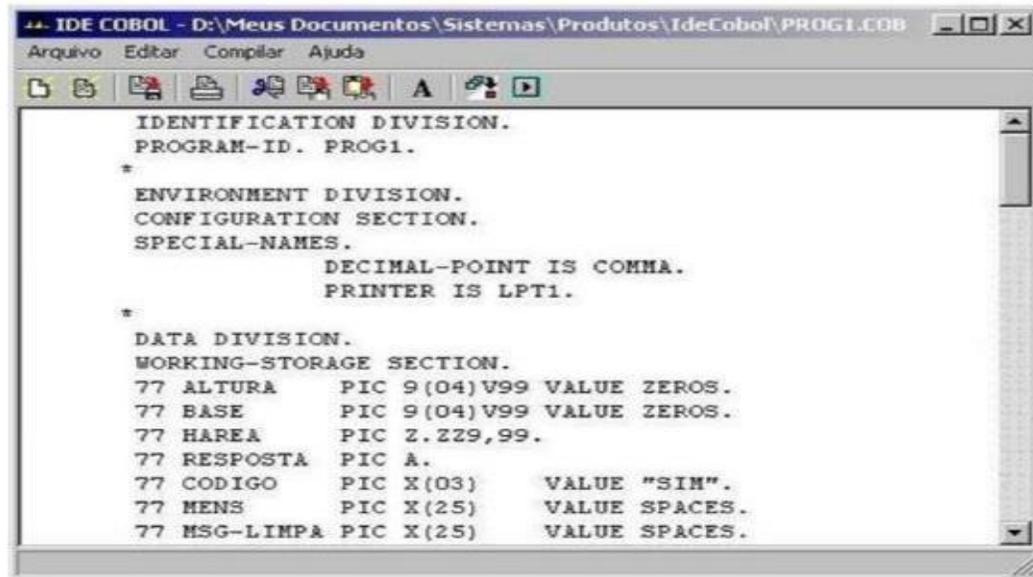
### 2.3.3 Lenguaje de tercera generación

Este lenguaje de alto nivel tiene una gramática y sintaxis muy similar a una oración normal. Un compilador es el encargado de traducir el lenguaje de alto nivel a lenguaje de máquina, puesto que necesariamente deben ser traducidos para que una computadora pueda utilizar las instrucciones contenidas en el lenguaje.

Se dividen en tres categorías, según sean orientadas a:

- **Procedimientos:** el código debe ir en secuencia para su ejecución. Estos se clasifican en: científicos, empresariales y de uso general o múltiple. Aquí hacen énfasis las matemáticas implícitas.
- **Problemas:** diseñados para la resolución de un grupo determinado de problemas sin la necesidad de entrar a detalle en la programación. Hacen hincapié en la entrada y salida directa de resultados deseados.

- **Objetos:** aportan mayor productividad del programador y claridad de la lógica, con énfasis en el objeto de la acción ofrece una facilidad para el manejo de problemas abstractos de programación (Gastón Pérez, 2005).



```

IDENTIFICATION DIVISION.
PROGRAM-ID. PROG1.
*
ENVIRONMENT DIVISION.
CONFIGURATION SECTION.
SPECIAL-NAMES.
        DECIMAL-POINT IS COMMA.
        PRINTER IS LPT1.
*
DATA DIVISION.
WORKING-STORAGE SECTION.
77 ALTURA      PIC 9(04)V99 VALUE ZEROS.
77 BASE        PIC 9(04)V99 VALUE ZEROS.
77 HAREA       PIC 2.ZZ9,99.
77 RESPONSTA   PIC A.
77 CODIGO      PIC X(03) VALUE "SIM".
77 MENS        PIC X(25) VALUE SPACES.
77 MSG-LIMPA   PIC X(25) VALUE SPACES.

```

Figura 2.5 Lenguaje de Tercera Generación COBOL  
Fuente: COBOL

### 2.3.4 Lenguaje de cuarta generación

La estructura de estos lenguajes es lo más parecido al idioma inglés y como se mencionó anteriormente, este lenguaje es independiente, entonces permite ya la elaboración de aplicaciones con una complejidad moderada gracias a la utilización de ciertas herramientas.

Algunas características de este lenguaje son:

- Acceso a base de datos.
- Capacidades gráficas.
- Generación de código automáticamente.
- Puede programarse visualmente como Visual Basic (Programación Visual).

Pero su característica distintiva hace énfasis en ayudar al usuario a centrarse en que es lo que hay que hacer más no en cómo hacerlo (Gastón Pérez, 2005).

```

27
28     ElseIf JN_E.Checked = True And (JN_A.Checked And JN_B.Checked And JN_C.Checked And JN_D.Checked And JN_F.Checked And
29         JN_G.Checked And JN_H.Checked And JN_I.Checked) = False Then
30         EXCAVACION.P_JN.Text = 6
31         Me.Hide()
32         JR.Show()
33
34     ElseIf JN_F.Checked = True And (JN_A.Checked And JN_B.Checked And JN_C.Checked And JN_D.Checked And JN_E.Checked And
35         JN_G.Checked And JN_H.Checked And JN_I.Checked) = False Then
36         EXCAVACION.P_JN.Text = 9
37         Me.Hide()
38         JR.Show()
39
40     ElseIf JN_G.Checked = True And (JN_A.Checked And JN_B.Checked And JN_C.Checked And JN_D.Checked And JN_E.Checked And
41         JN_F.Checked And JN_H.Checked And JN_I.Checked) = False Then
42         EXCAVACION.P_JN.Text = 12
43         Me.Hide()
44         JR.Show()
45
46     ElseIf JN_H.Checked = True And (JN_A.Checked And JN_B.Checked And JN_C.Checked And JN_D.Checked And JN_E.Checked And
47         JN_F.Checked And JN_G.Checked And JN_I.Checked) = False Then
48         EXCAVACION.P_JN.Text = 15
49         Me.Hide()
50         JR.Show()
51
52     ElseIf JN_I.Checked = True And (JN_A.Checked And JN_B.Checked And JN_C.Checked And JN_D.Checked And JN_E.Checked And
53         JN_F.Checked And JN_G.Checked And JN_H.Checked) = False Then
54         EXCAVACION.P_JN.Text = 20
55         Me.Hide()
56         JR.Show()
57
58     Else
59         MessageBox.Show("Seleccione una opción", "SELECCIONAR", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information)
60         Me.Show()
61     End If

```

Figura 2.6 Lenguaje de Cuarta Generación (VB.NET).  
Fuente: Visual Studio 2017.

## 2.4 Selección del lenguaje de programación

El mejor lenguaje de programación a utilizar en una aplicación o programa es el que debe equilibrar todas las características mencionadas anteriormente.

La cantidad de control directo que se necesita para operar el hardware<sup>1</sup> es un factor muy importante que debemos tener en cuenta al momento de seleccionar el lenguaje de programación apropiado (Stair & Reynolds, 2005).

<sup>1</sup> **Hardware:** “En informática se refiere a las partes físicas, tangibles, de un sistema informático; sus componentes eléctricos, electrónicos, electromecánicos y mecánicos.” *Tomado de Wikipedia.*

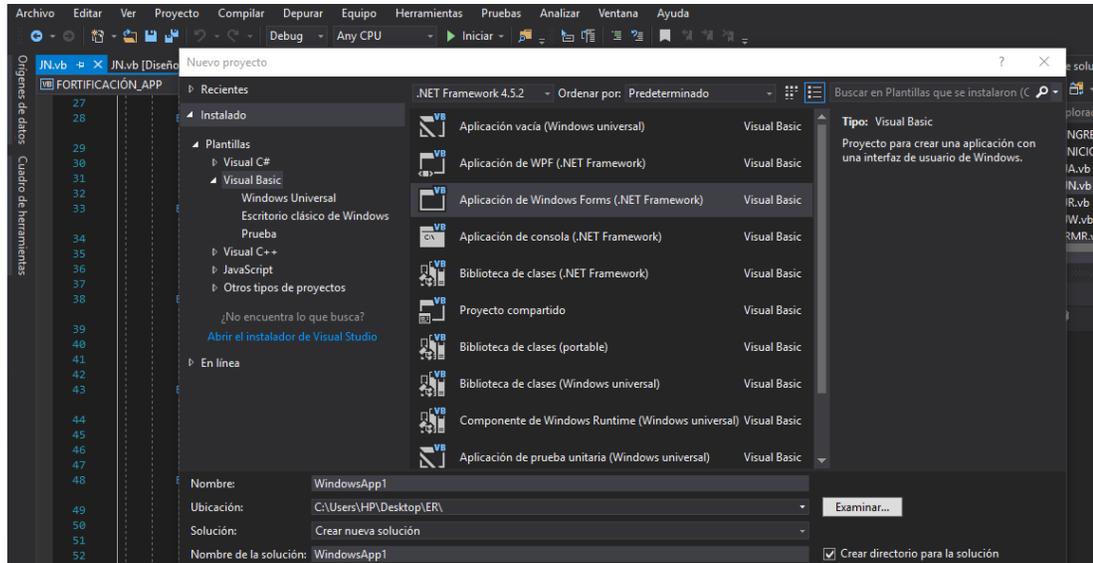


Figura 2.7 Ventana de Nuevo Proyecto de Visual Studio Enterprise 2017

Fuente: Visual Studio 2017

Una vez planteadas las características de los lenguajes y las necesidades de diseño que tenemos para poder desarrollar la aplicación que sea específicamente para fortificación, se optó por utilizar, para el diseño y desarrollo, el lenguaje Visual Basic.NET. Este lenguaje es incorporado en el programa Visual Studio Enterprise 2017 (Figura 2.7), por ser este un lenguaje de cuarta generación (Figura 2.6), haciendo énfasis en análisis matemáticos y permitiendo su ejecución en todas las computadoras de diferentes arquitecturas que cumplan ciertos requisitos que no son nada exigentes.

## 2.4.1 Visual Basic.NET

El lenguaje de programación de Microsoft Visual Basic.NET es la nueva generación del lenguaje ya conocido Visual Basic. Está diseñado para la creación de aplicaciones orientadas a objetos brindando productividad y seguridad. Los destinos más comunes de este lenguaje son dispositivos móviles, web y computadoras con el sistema operativo Windows. Las aplicaciones construidas con Visual Basic se generan con los servicios de Common Language Runtime<sup>2</sup> y todos los lenguajes que tienen como destino

<sup>2</sup> **Common Language Runtime:** “o CLR (entorno en tiempo de ejecución de lenguaje común) es un entorno de ejecución para los códigos de los programas que corren sobre la plataforma Microsoft .NET.  
*Tomado de Wikipedia*

Microsoft.NET Framework, se benefician de la seguridad ampliada, interoperabilidad entre lenguajes, recolección de elementos no utilizados y compatibilidad de versiones mejoradas (Dollard & Cai, 2018).

Una muy buena ventaja de Visual Basic es que nos proporciona prototipos de algunos proyectos más comunes como son: aplicaciones sencillas para Windows, Biblioteca de clases, control de Windows, aplicación Web ASP.NET, servicio Web ASP.NET, Biblioteca de control Web, Aplicación de consola, Servicio de Windows.

Puesto que Visual Basic.NET crea aplicaciones de servicio Web XML y necesariamente genera código administrado para Common Language Runtime. Dándonos ciertos cambios en el propio lenguaje que están proyectados para:

- Simplificar el lenguaje y hacerlo más coherente.
- Agregar nuevas características solicitadas por usuarios.
- Hacer el código más sencillo de leer y mantener.
- Ayudar a los programadores a evitar los errores de programación.
- Crear aplicaciones más sólidas y más sencillas de depurar.

Esta nueva versión de Visual Basic está equipada con una gran cantidad de características de lenguaje nuevas y mejoradas como puede ser la herencia, interfaces modernas, la sobrecarga, palabras claves, Overrides<sup>3</sup>, miembros compartidos y constructores, control estructurado de excepciones, delegados y varios tipos de datos nuevos, que lo convierten en un lenguaje muy eficaz y de fácil entendimiento (Reyes Paredes, 2005).

### **Sentencias de control de Visual Basic.NET**

Son también llamadas estructuras las cuales permiten tomar decisiones y ejecutar algún proceso varias o repetidas veces.

---

<sup>3</sup> **Overrides:** “Especifica que una propiedad o un procedimiento anula una propiedad o un procedimiento con un nombre idéntico heredado de una clase base.” *Tomado de Microsoft.com*

Las sentencias con las que Visual Basic cuenta son las siguientes:

- **If ... Then ... Else:** Permite tomar decisiones refiriéndose a que acción debe realizar en base al resultado verdadero o falso de una condición. La condición debe ser una expresión numérica, relacional o lógica. Si el resultado del análisis es verdadero se ejecuta la acción 1, de otra manera si el resultado es falso se ejecutará la acción 2 (Cevallos, 2007).
- **Select Case:** Permite realizar una de varias acciones en función del valor de la expresión. Esta sentencia puede ser una alternativa cuando se requiere comparar la misma expresión con distintos valores. La expresión debe ser numérica o alfanumérica, la sentencia evaluará la expresión y busca el primer *Case* que contenga el valor indicado y a continuación ejecutará su correspondiente bloque de sentencias (Cevallos, 2007).
- **For ... Next:** Esta estructura permite crear un lazo o bucle permitiendo realizar un conjunto de sentencias cierto número de veces (Cevallos, 2007).
- **While ... Wend:** Es una estructura de bucle que repite la ejecución de un conjunto de sentencias mientras una condición dada sea cierta. La condición es una expresión numérica, relacional o lógica (Cevallos, 2007).
- **Do ... Loop:** Es una estructura de bucle que repite un conjunto de sentencias mientras la condición dada sea cierta, o hasta que una condición dada sea cierta (Cevallos, 2007)
- **Goto:** Esta sentencia transfiere el control a otra línea específica del código, la cual debe ser identificada por alguna etiqueta o el número de línea (Cevallos, 2007).
- **For ... Each ... Next:** Esta sentencia repite un grupo de sentencias para cada elemento de una matriz o colección (Cevallos, 2007).

## Reglas de nomenclatura de Visual Basic.NET

En el momento que se empezó a digitar un código en cualquier lenguaje de programación, se debe asignar nombres adecuados a procedimientos, constantes, variables y argumentos en un Módulo<sup>4</sup> de Visual Basic.NET, por lo tanto, se debe respetar ciertas reglas establecidas para evitar errores posteriores en la ejecución del mismo.

Estas reglas son las siguientes:

- El primer carácter tiene que ser una letra.
- No se puede usar un espacio, un punto (.), un signo numeral (#), de exclamación (!), arroba (@), ampersand (&), signo de dólar (\$), caracteres,,, en el nombre.
- La longitud del nombre no puede exceder los 255 caracteres.
- No puede usar ningún nombre que sea igual a los nombres de función, instrucción, método y constante intrínseca utilizados en VB.NET. De lo contrario, se sombreará las mismas palabras clave en el idioma. Para usar una función, instrucción o método de lenguaje intrínseco que pueda tener un error con un nombre asignado, debe identificarlo explícitamente. Se debe anteponer el nombre de la biblioteca de tipos asociada al nombre de la función, instrucción o método intrínseco.
- No es permitido que los nombres se repitan dentro del mismo nivel de ámbito. Por ejemplo, no se puede declarar dos variables denominadas “INDICE\_Q” dentro del mismo procedimiento, no obstante, puede declarar una variable privada llamada “INDICE\_Q” y una variable de nivel de procedimiento “INDICE\_Q” denominada dentro del mismo módulo.
- Es importante mencionar que VB.NET no distingue entre mayúsculas y minúsculas, pero conserva las mayúsculas en la instrucción en la que se declara el nombre (Office Developer Center, 2018).

---

<sup>4</sup> **Módulo:** “Hay tres clases de módulos: formularios, estándar y clases, todos estos sirven para el almacenamiento del código.”  
*Tomado de Microsoft.com*

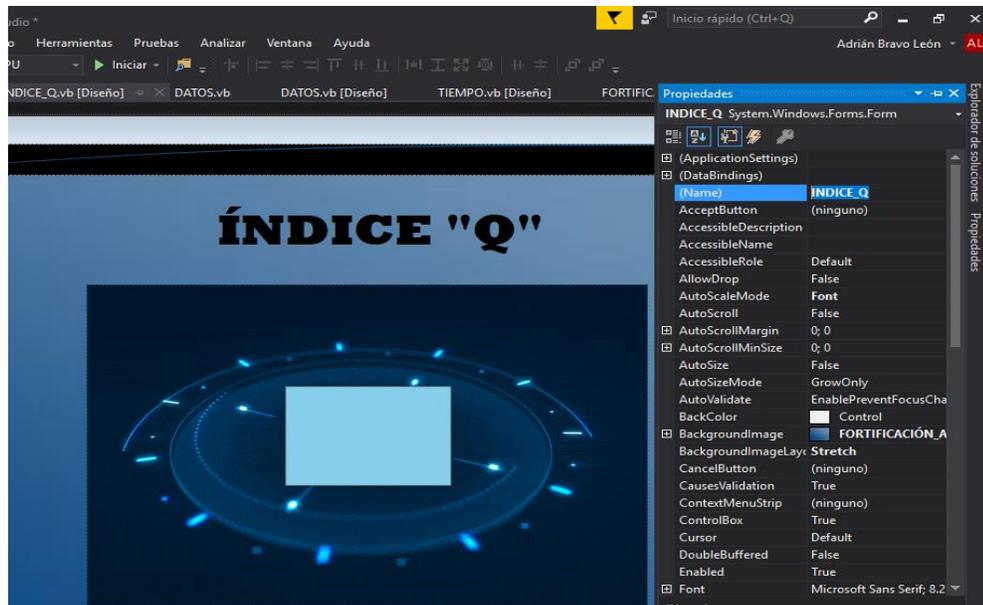


Figura 2.8 Ventana de propiedades de VB.NET para asignar nombre.  
Fuente: Visual Studio 2017

## 2.5 Requerimientos del sistema (Software)

Para el correcto funcionamiento de aplicaciones de software y hardware, los requerimientos del sistema son los programas y características que los ordenadores deben tener instalados para poder soportar y ejecutar cualquier aplicación o algún tipo de dispositivo específico. Los requerimientos de software van de la mano con los requerimientos de hardware

### 2.5.1 Tipos de requerimientos del sistema

Los requerimientos más importantes para ejecutar aplicaciones pueden ser:

- Requisitos de sistema operativo.
- Requisitos de aplicaciones específicas instaladas.
- Requisitos de ciertas aplicaciones no instaladas en el mismo sistema.
- Requisitos de determinadas configuraciones en el sistema operativo o en ciertas aplicaciones.
- Requisitos de drivers o controladores.
- Requisitos de ciertas actualizaciones.

- Requisitos de ciertos Plugins<sup>5</sup>.
- Requisitos de ciertas configuraciones: tener habilitadas o no algunas características del sistema operativo o de alguna aplicación específica. O la configuración de la resolución de la pantalla.

<b>Sistemas operativos admitidos</b>	<p>Visual Studio 2017 se instalará y ejecutará en los siguientes sistemas operativos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Windows 10 versión 1507 o posteriores: Home, Professional, Education y Enterprise (LTSC y S no se admiten)</li> <li>• Windows Server 2016: Standard y Datacenter</li> <li>• Windows 8.1 (con la <a href="#">actualización 2919355</a>): Core, Professional y Enterprise</li> <li>• Windows Server 2012 R2 (con la <a href="#">actualización 2919355</a>): Essentials, Standard y Datacenter</li> <li>• Windows 7 SP1 (con las actualizaciones más recientes de Windows): Home Premium, Professional, Enterprise y Ultimate</li> </ul>
<b>Hardware</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procesador de 1,8 GHz o superior. Doble núcleo o superior recomendado.</li> <li>• 2 GB de RAM; 4 GB de RAM recomendado (mínimo de 2,5 GB si se ejecuta en una máquina virtual)</li> <li>• Espacio en disco duro: hasta 130 GB de espacio disponible, en función de las características instaladas; las instalaciones típicas requieren entre 20 y 50 GB de espacio libre.</li> <li>• Velocidad del disco duro: para mejorar el rendimiento, instale Windows y Visual Studio en una unidad de estado sólido (SSD).</li> <li>• Tarjeta de vídeo que admita una resolución de pantalla mínima de 720p (1280 x 720); Visual Studio funcionará mejor con una resolución de WXGA (1366 x 768) o superior.</li> </ul>

Figura 2.9 Requerimientos de Visual Studio 2017.  
Fuente: Microsoft.

---

<sup>5</sup> **Plugins:** “son aplicaciones o software que contienen un grupo de funciones o características, las cuales ayudan a mejorar el sistema en todos los aspectos.” *Tomado de WordPress*

## 2.6 Desarrollo del programa

Para el desarrollo del programa se emplearon técnicas de cuarta generación necesarias para la creación de un programa eficaz. La codificación se realizó en el lenguaje Visual Basic, que cuenta con todas las herramientas necesarias para entender el código y características en la cual se programa como: interfaz del usuario, accesos que permita el entendimiento y fácil uso del sistema.

### 2.6.1 Formularios

La aplicación o programa tiene en total 15 formularios, a continuación, se detalla cada uno de ellos.

#### Formulario ventana de presentación

Este formulario muestra la imagen de la Escuela de Ingeniería en Minas de la Universidad del Azuay, así como el logo de la aplicación, con una barra de carga y un botón de INICIAR.



Figura 2.10 Ventana de Inicio de la aplicación.  
Fuente: Los Autores.

## Formulario ingreso de datos

El formulario presenta los datos a introducir necesarios para el inicio del cálculo.

Figura 2.11 Ventana ingresar parámetros de clasificación.

Fuente: Los Autores.

El código de este formulario permite asignar automáticamente los puntajes mediante las ecuaciones de las curvas de RCU (Figura 1.9), RQD (Figura 1.10) y espaciamiento (Figura 1.13), y el puntaje de condiciones de las diaclasas y condiciones hidrológicas (Tabla 1.4).

```

8
9
10 Else
11 If DATO_RCU.Text <> "" And DATO_DIACLASAS.Text <> "" And DATO_RQD.Text <> "" Then
12
13     If BUT_RCU.Checked = True And BUT_IS.Checked = False Then
14
15         P_RCU.Text = ((-0.0002 * Val(DATO_RCU.Text) ^ 2) + (0.1057 * Val(DATO_RCU.Text)) + 0.8405)
16
17
18     ElseIf BUT_IS.Checked = True And BUT_RCU.Checked = False Then
19
20         RCU_IS.Text = (14 + (0.175 * 50)) * Val(DATO_RCU.Text)
21
22         P_RCU.Text = ((-0.0002 * Val(RCU_IS.Text) ^ 2) + (0.1057 * Val(RCU_IS.Text)) + 0.8405)
23
24
25     End If
26
27
28     P_RQD.Text = ((0.0006 * Val(DATO_RQD.Text) ^ 2) + (0.1136 * Val(DATO_RQD.Text)) + (2.7899))
29
30     P_DIACLASAS.Text = ((-0.000002 * Val(DATO_DIACLASAS.Text) ^ 2) + (0.0107 * Val(DATO_DIACLASAS.Text)) + 5.622)
31
32     P_TOTAL.Text = Val(P_RCU.Text) + Val(P_RQD.Text) + Val(P_DIACLASAS.Text) + Val(P_CONDICIONES.Text) + Val(P_H2O.Text)
33
34     EVALUACION.PRIMER_VALOR.Text = P_TOTAL.Text
35
36
37 Else
38
39     MessageBox.Show("Ingrese el valor en todos los campos", "SELECCIONAR", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information)
40

```

Figura 2.12 Parte del código de las ecuaciones de las curvas de RCU, RQD y espaciamiento.

Fuente: Los Autores.

## Formulario evaluación del efecto de la orientación de las fracturas o fallas

En el formulario se muestra una lista con opciones que el usuario debe seleccionar.

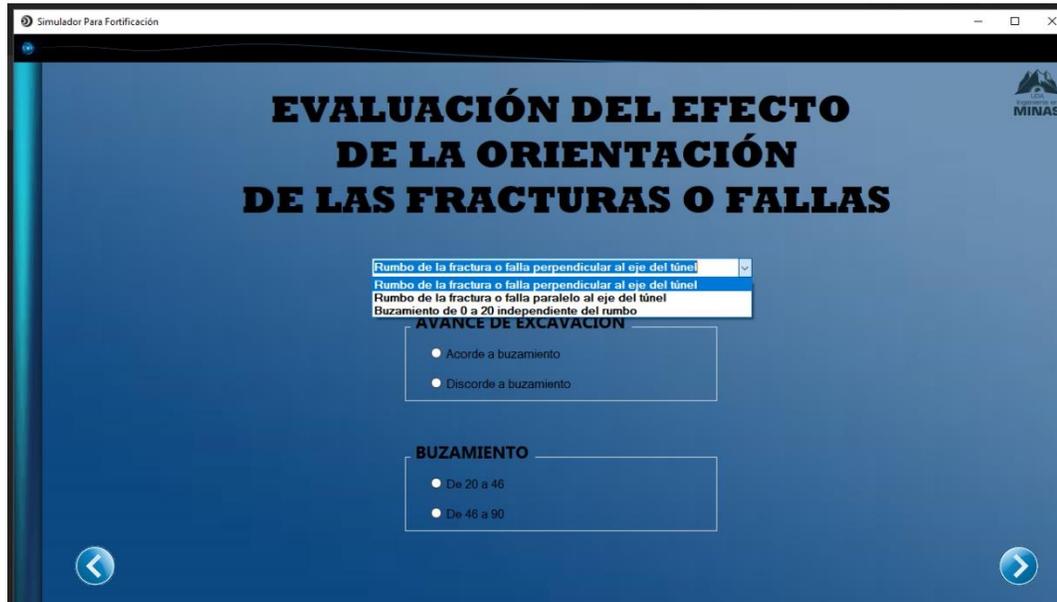


Figura 2.13 Ventana evaluación del efecto de la orientación de las fracturas o fallas.  
Fuente: Los Autores.

El código en esta ventana hace referencia a los puntajes para la corrección por orientación de las fracturas (Tabla 1.6). Al momento de que el usuario seleccione alguna opción, la codificación elige el puntaje adecuado y así realizar de manera automática la resta con el valor de la ventana 1 y obtener el valor de RMR.

```

39
40
41 Else
42 If COMBO_EVALUACION.Text = "Rumbo de la fractura o falla perpendicular al eje del túnel" _
43 And ACORDE.Checked = True And OPTION1.Checked = True Then
44
45 CORRECCION.Text = 0
46 Me.Hide()
47 RMR.Show()
48
49 ElseIf COMBO_EVALUACION.Text = "Rumbo de la fractura o falla perpendicular al eje del túnel" _
50 And ACORDE.Checked = True And OPTION2.Checked = True Then
51
52 CORRECCION.Text = -2
53 Me.Hide()
54 RMR.Show()
55
56 ElseIf COMBO_EVALUACION.Text = "Rumbo de la fractura o falla perpendicular al eje del túnel" _
57 And DISCORDE.Checked = True And OPTION1.Checked = True Then
58
59 CORRECCION.Text = -6
60 Me.Hide()
61 RMR.Show()
62
63 ElseIf COMBO_EVALUACION.Text = "Rumbo de la fractura o falla perpendicular al eje del túnel" _
64 And DISCORDE.Checked = True And OPTION2.Checked = True Then
65
66 CORRECCION.Text = -10
67 Me.Hide()
68 RMR.Show()
69
70 ElseIf COMBO_EVALUACION.Text = "Rumbo de la fractura o falla perpendicular al eje del túnel" _
71 And ACORDE.Checked = False And DISCORDE.Checked = False Then
72

```

Figura 2.14 Parte del código de los puntajes para la corrección por orientación de las fracturas.  
Fuente: Los Autores.

### Formulario RMR del macizo rocoso

En este formulario se muestra el valor de RMR obtenido. Es el primer formulario en presentar resultados.



Figura 2.15 Ventana RMR del macizo rocoso.  
Fuente: Los Autores.

### Formulario ingresar luz

En este formulario se muestra un cuadro de texto en el cual se debe ingresar el valor de la luz en metros.



Figura 2.16 Ventana ingresar luz.  
Fuente: Los Autores.

El código de este formulario permite evaluar y escoger el factor de seguridad y el tiempo de autosostenimiento, ya que estos valores se obtienen con el valor de la luz y los respectivos ábacos (Figuras 1.14 y 1.15).

La estructura del código permite analizar mediante una secuencia lógica que factor de seguridad debe asignar según el resultado de RMR obtenido y la luz del túnel. De la misma forma se evalúa el tiempo de autosostenimiento que nos mostrará en días, meses o años.

El código también mostrará, si se diera el caso, como resultado “NO REQUIERE SOPORTE” o “COLAPSO INMINENTE.”

```

23
24
25 ElseIf LUZ_TUNEL.Text >= 3 And LUZ_TUNEL.Text < 4 And RMR.PUNTAJE_RMR.Text >= 18 And RMR.PUNTAJE_RMR.Text < 25 Then
26     FACTOR_S.FACTOR_SEGURIDAD.Text = "0.8"
27
28 ElseIf LUZ_TUNEL.Text >= 3 And LUZ_TUNEL.Text < 4 And RMR.PUNTAJE_RMR.Text >= 25 And RMR.PUNTAJE_RMR.Text < 38 Then
29     FACTOR_S.FACTOR_SEGURIDAD.Text = "0.9"
30
31 ElseIf LUZ_TUNEL.Text >= 3 And LUZ_TUNEL.Text < 4 And RMR.PUNTAJE_RMR.Text >= 38 And RMR.PUNTAJE_RMR.Text < 44 Then
32     FACTOR_S.FACTOR_SEGURIDAD.Text = "1.0"
33
34 ElseIf LUZ_TUNEL.Text >= 3 And LUZ_TUNEL.Text < 4 And RMR.PUNTAJE_RMR.Text >= 44 And RMR.PUNTAJE_RMR.Text < 50 Then
35     FACTOR_S.FACTOR_SEGURIDAD.Text = "1.1"
36
37 ElseIf LUZ_TUNEL.Text >= 3 And LUZ_TUNEL.Text < 4 And RMR.PUNTAJE_RMR.Text >= 50 And RMR.PUNTAJE_RMR.Text < 54 Then
38     FACTOR_S.FACTOR_SEGURIDAD.Text = "1.2"
39
40 ElseIf LUZ_TUNEL.Text >= 3 And LUZ_TUNEL.Text < 4 And RMR.PUNTAJE_RMR.Text >= 54 And RMR.PUNTAJE_RMR.Text < 62 Then
41     FACTOR_S.FACTOR_SEGURIDAD.Text = "1.3"
42
43 ElseIf LUZ_TUNEL.Text >= 3 And LUZ_TUNEL.Text < 4 And RMR.PUNTAJE_RMR.Text >= 62 Then
44     FACTOR_S.FACTOR_SEGURIDAD3.Text = "NO REQUIERE SOPORTE"
45     FACTOR_S.FACTOR_SEGURIDAD3.Visible = False
46     FACTOR_S.FACTOR_SEGURIDAD3.Visible = True
47     FACTOR_S.VERDE_1.Visible = True
48     FACTOR_S.VERDE_2.Visible = True
49     FACTOR_S.LUCES.Visible = False
50
51 ElseIf LUZ_TUNEL.Text >= 4 And LUZ_TUNEL.Text < 5 And RMR.PUNTAJE_RMR.Text < 25 Then
52     FACTOR_S.FACTOR_SEGURIDAD2.Text = "COLAPSO INMINENTE"
53     FACTOR_S.FACTOR_SEGURIDAD2.Visible = False
54     FACTOR_S.FACTOR_SEGURIDAD2.Visible = True
55     FACTOR_S.PELIGRO_1.Visible = True
56     FACTOR_S.PELIGRO_2.Visible = True

```

Figura 2.17 Parte del código para factor de seguridad y tiempo de autosostenimiento.

Fuente: Los Autores.

### Formulario factor de seguridad

En este formulario se muestra el valor del factor de seguridad calculado por el programa.

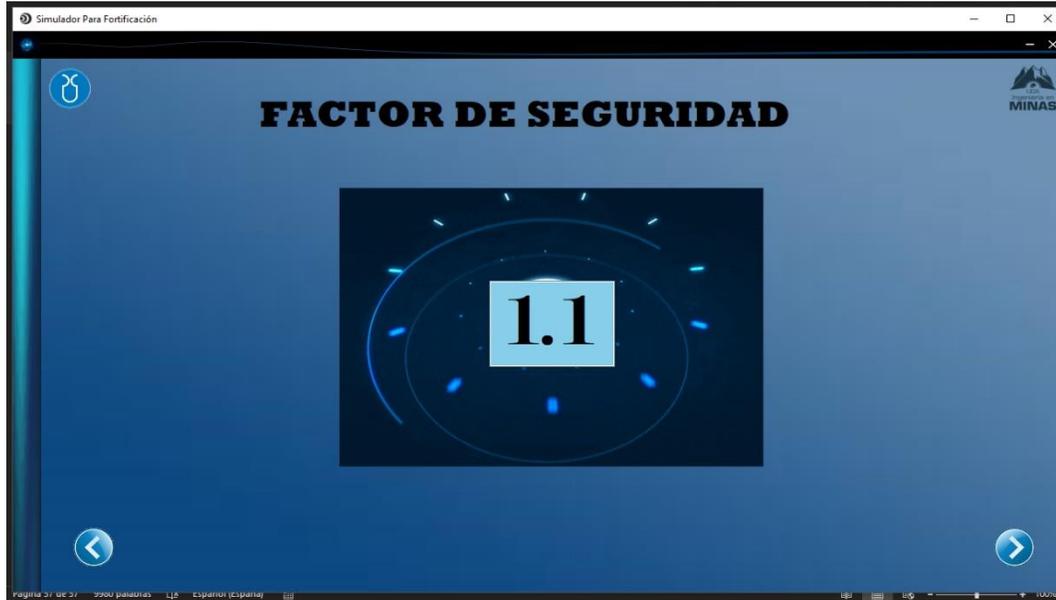


Figura 2.18 Venta de Factor de Seguridad.  
Fuente: Los Autores.

### Formulario tiempo de autosostenimiento

En este formulario se muestra el tiempo de autosostenimiento obtenido por el programa.

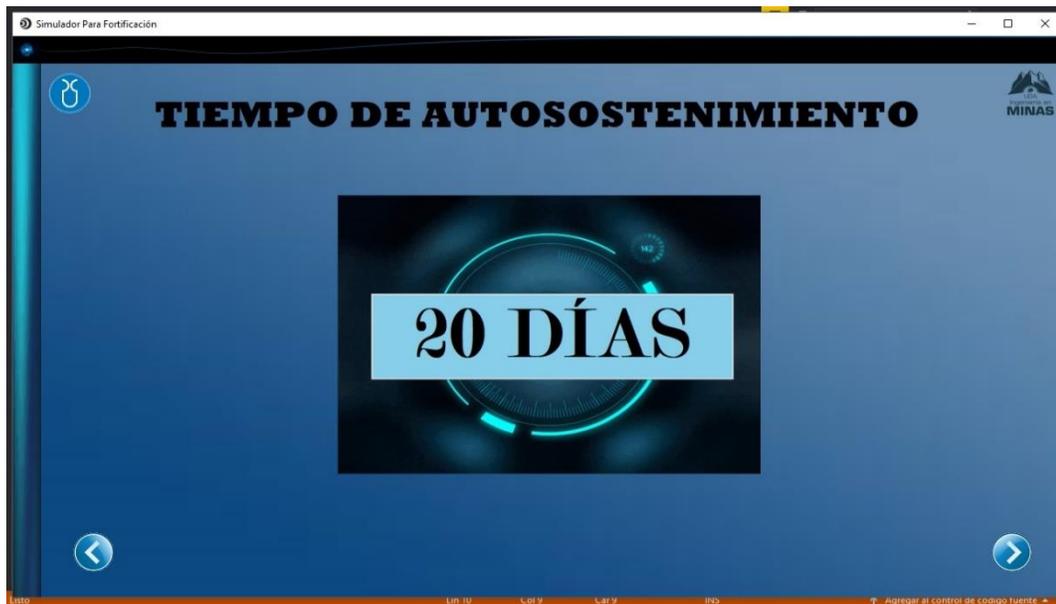


Figura 2.19 Ventana tiempo de austosostenimiento.  
Fuente: Los Autores.



Figura 2.20 Venta tiempo de autosostenimiento. Mensaje "COLAPSO INMINENTE".  
Fuente: Los Autores.

### Formulario índice de diaclasado ( $J_n$ )

En este formulario se muestra todas las opciones que el usuario debe elegir para asignar el puntaje respectivo para el cálculo del índice “Q”.

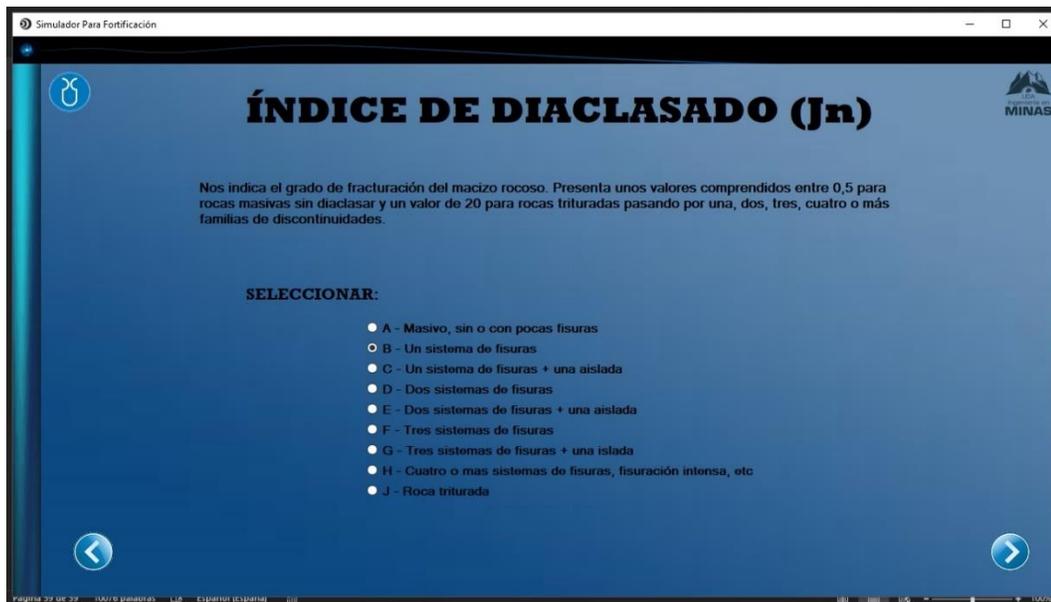


Figura 2.21 Ventana índice de diaclasado ( $J_n$ ).  
Fuente: Los Autores.

El código del formulario obedece una secuencia de valores verdadero o falso para asignar automáticamente el puntaje respectivo, los cuales se observan en la Tabla 1.9.

```

7      If JN_A.Checked = True And (JN_B.Checked And JN_C.Checked And JN_D.Checked And JN_E.Checked And JN_F.Checked And JN_G.Checked And JN_H.Checked And
8      JN_I.Checked) = False Then
9          EXCAVACION.P_JN.Text = 0.75
10         SRF_Q_JN.Text = 0.75
11         Me.Hide()
12         JR.Show()
13
14     ElseIf JN_B.Checked = True And (JN_A.Checked And JN_C.Checked And JN_D.Checked And JN_E.Checked And JN_F.Checked And JN_G.Checked And JN_H.Checked And
15     JN_I.Checked) = False Then
16         EXCAVACION.P_JN.Text = 2
17         SRF_Q_JN.Text = 2
18         Me.Hide()
19         JR.Show()
20
21     ElseIf JN_C.Checked = True And (JN_A.Checked And JN_B.Checked And JN_D.Checked And JN_E.Checked And JN_F.Checked And JN_G.Checked And JN_H.Checked And
22     JN_I.Checked) = False Then
23         EXCAVACION.P_JN.Text = 3
24         SRF_Q_JN.Text = 3
25         Me.Hide()
26         JR.Show()
27
28     ElseIf JN_D.Checked = True And (JN_A.Checked And JN_B.Checked And JN_C.Checked And JN_E.Checked And JN_F.Checked And JN_G.Checked And JN_H.Checked And
29     JN_I.Checked) = False Then
30         EXCAVACION.P_JN.Text = 4
31         SRF_Q_JN.Text = 4
32         Me.Hide()
33         JR.Show()
34
35     ElseIf JN_E.Checked = True And (JN_A.Checked And JN_B.Checked And JN_C.Checked And JN_D.Checked And JN_F.Checked And JN_G.Checked And JN_H.Checked And
36     JN_I.Checked) = False Then
37         EXCAVACION.P_JN.Text = 6
38         SRF_Q_JN.Text = 6
39         Me.Hide()
40         JR.Show()

```

Figura 2.22 Parte del código para selección del puntaje Jn.  
Fuente: Los Autores

### Formulario índice de rugosidad de las discontinuidades o juntas (Jr)

En este formulario se muestra todas las opciones para el índice de rugosidad Jr, el usuario debe escoger una de ellas.

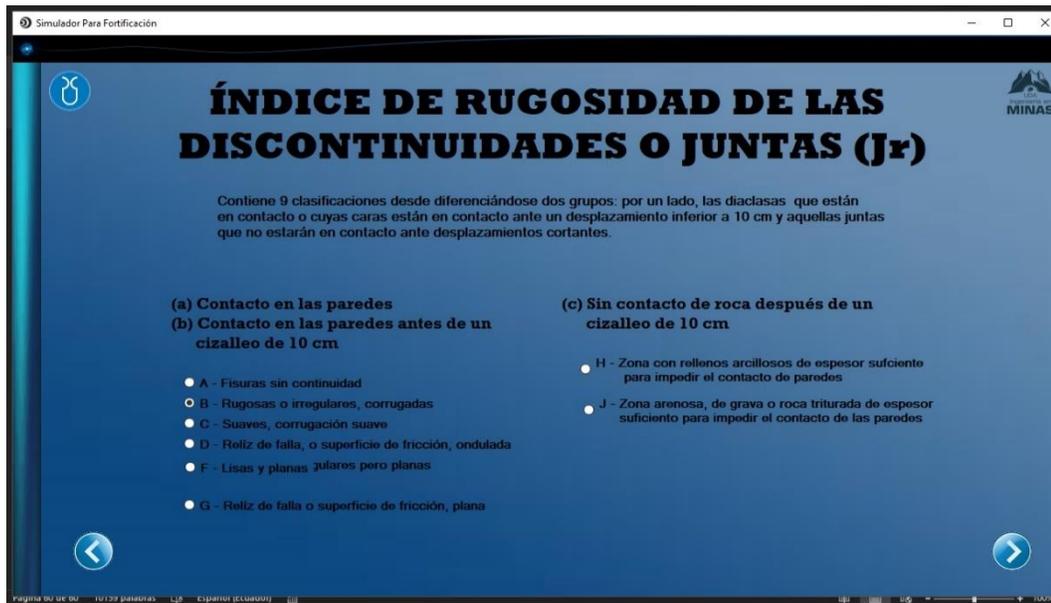


Figura 2.23 Ventana índice de rugosidad de las juntas (Jr).  
Fuente: Los Autores.

El código en este formulario obedece una secuencia similar al formulario de índice de diaclasado (Jn) y los puntajes son escogidos de acuerdo a la Tabla 1.10.

```

11  If JR_A.Checked = True And (JR_B.Checked And JR_C.Checked And JR_D.Checked And JR_E.Checked And JR_F.Checked And JR_G.Checked And JR_H.Checked And
12  JR_J.Checked) = False Then
13  EXCAVACION.P_JR.Text = 4
14  SRF_Q_JR.Text = 4
15  Me.Hide()
16  JA.Show()
17
18  ElseIf JR_B.Checked = True And (JR_A.Checked And JR_C.Checked And JR_D.Checked And JR_E.Checked And JR_F.Checked And JR_G.Checked And JR_H.Checked And
19  JR_J.Checked) = False Then
20  EXCAVACION.P_JR.Text = 3
21  SRF_Q_JR.Text = 3
22  Me.Hide()
23  JA.Show()
24
25  ElseIf JR_C.Checked = True And (JR_A.Checked And JR_B.Checked And JR_D.Checked And JR_E.Checked And JR_F.Checked And JR_G.Checked And JR_H.Checked And
26  JR_J.Checked) = False Then
27  EXCAVACION.P_JR.Text = 2
28  SRF_Q_JR.Text = 2
29  Me.Hide()
30  JA.Show()
31
32  ElseIf JR_D.Checked = True And (JR_A.Checked And JR_B.Checked And JR_C.Checked And JR_E.Checked And JR_F.Checked And JR_G.Checked And JR_H.Checked And
33  JR_J.Checked) = False Then
34  EXCAVACION.P_JR.Text = 1.5
35  SRF_Q_JR.Text = 1.5
36  Me.Hide()
37  JA.Show()
38
39  ElseIf JR_E.Checked = True And (JR_A.Checked And JR_B.Checked And JR_C.Checked And JR_D.Checked And JR_F.Checked And JR_G.Checked And JR_H.Checked And
40  JR_J.Checked) = False Then
41  EXCAVACION.P_JR.Text = 1.5
42  SRF_Q_JR.Text = 1.5
43  Me.Hide()
44  JA.Show()

```

Figura 2.24 Parte del código para selección del puntaje Jr.  
Fuente: Los Autores

## Formulario número de alteración de las juntas (Ja)

Este formulario muestra las opciones a elegir por el usuario para la selección del puntaje de Ja.

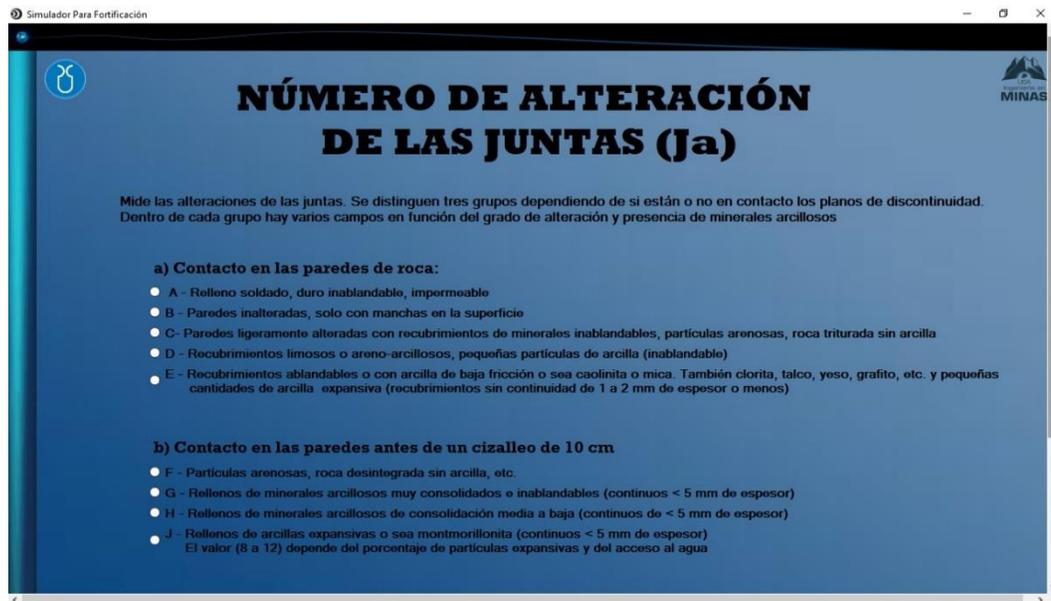


Figura 2.25 Ventana número de alteración de las juntas Ja.  
Fuente: Los Autores

El código de este formulario obedece una secuencia similar al formulario de índice de diaclasado (Jn), pero con una diferencia, puesto que, en las opciones “J”, “K” y “M” los puntajes pueden ser de distinto valor, el cual debe ser ingresado por el usuario dentro de un rango ya establecido de acuerdo a la Tabla 1.11. El valor se deberá ingresar en una caja de texto que se activará automáticamente si se elige alguna de las opciones ya mencionadas.

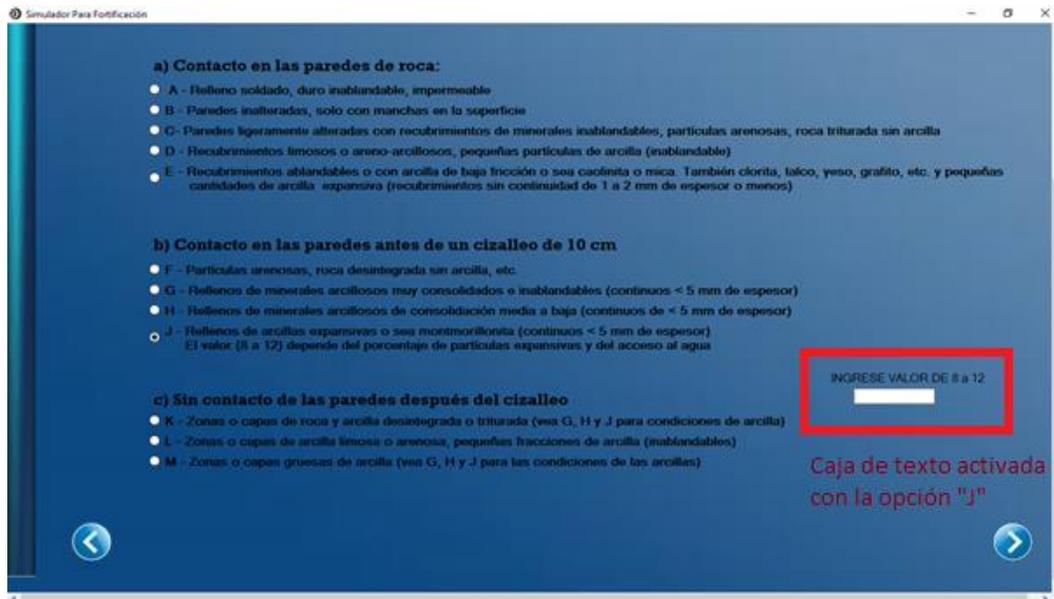


Figura 2.276 Caja de texto activa opción "J" en ventana número de alteración de las juntas (Ja).  
Fuente: Los Autores.

```

97
98     If JA_J.Checked = True Then
99         P_JA_JM.Visible = True
100         LABEL_JA_JM.Visible = True
101         LABEL_JA_JM.Text = "INGRESE VALOR DE 8 a 12"
102
103     Else
104
105         P_JA_JM.Visible = False
106         LABEL_JA_JM.Visible = False
107
108     End If
109
110 End Sub
111
112
113 Referencias
114 Private Sub JA_K_CheckedChanged(sender As Object, e As EventArgs) Handles JA_K.CheckedChanged
115
116     If JA_K.Checked = True Then
117         P_JA_JM.Visible = True
118         LABEL_JA_JM.Visible = True
119         LABEL_JA_JM.Text = "INGRESE VALOR DE 6 a 12"
120
121     Else
122
123         P_JA_JM.Visible = False
124         LABEL_JA_JM.Visible = False
125
126     End If
127
128 End Sub

```

Figura 2.267 Parte del código del formulario para elección de puntaje Ja.  
Fuente: Los Autores.

## Formulario factor de reducción por agua en las fisuras (Jw)

En este formulario se muestra al usuario todas las opciones a elegir para el puntaje Jw.

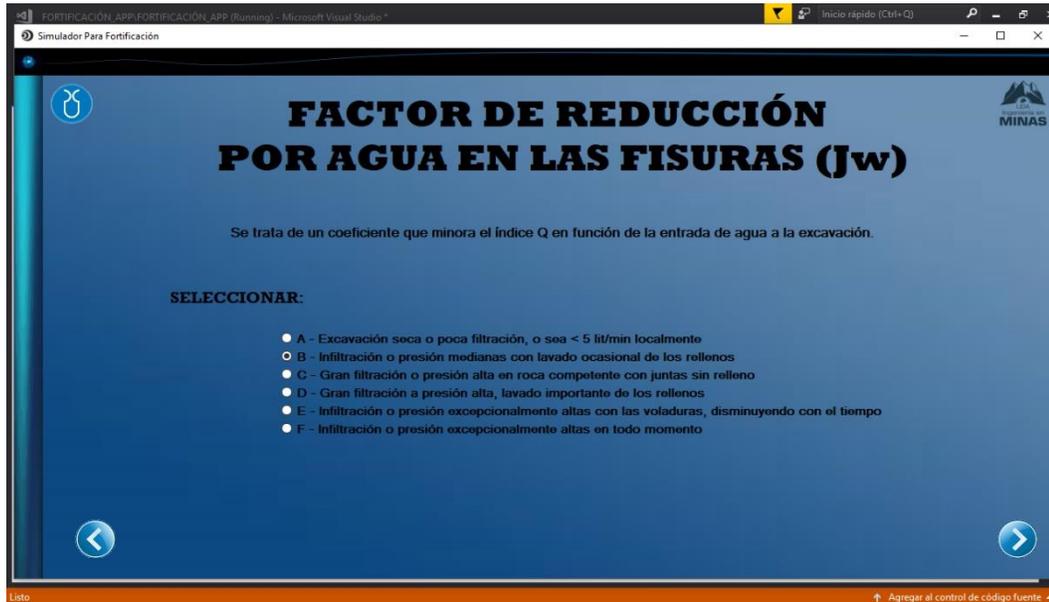


Figura 2.28 Ventana factor por reducción por agua en las fisuras (Jw).

Fuente: Los Autores.

El código obedece una secuencia similar al formulario de índice de diaclasado (Jn), al momento que el usuario elige una opción el programa asigna automáticamente el puntaje adecuado. Los valores de los puntajes se pueden ver en la Tabla 1.12.

```

11  IF JW_A.Checked = True And (JW_B.Checked And JW_C.Checked And JW_D.Checked And JW_E.Checked And JW_F.Checked) = False Then
12      EXCAVACION_P_Jw.Text = 1
13      SRF_Q_Jw.Text = 1
14      Me.Hide()
15      SRF.Show()
16
17  ElseIf JW_B.Checked = True And (JW_A.Checked And JW_C.Checked And JW_D.Checked And JW_E.Checked And JW_F.Checked) = False Then
18      EXCAVACION_P_Jw.Text = 0.66
19      SRF_Q_Jw.Text = 0.66
20      Me.Hide()
21      SRF.Show()
22
23  ElseIf JW_C.Checked = True And (JW_A.Checked And JW_B.Checked And JW_D.Checked And JW_E.Checked And JW_F.Checked) = False Then
24      EXCAVACION_P_Jw.Text = 0.5
25      SRF_Q_Jw.Text = 0.5
26      Me.Hide()
27      SRF.Show()
28
29  ElseIf JW_D.Checked = True And (JW_A.Checked And JW_B.Checked And JW_C.Checked And JW_E.Checked And JW_F.Checked) = False Then
30      EXCAVACION_P_Jw.Text = 0.33
31      SRF_Q_Jw.Text = 0.33
32      Me.Hide()
33      SRF.Show()
34
35  ElseIf JW_E.Checked = True And (JW_A.Checked And JW_B.Checked And JW_C.Checked And JW_D.Checked And JW_F.Checked) = False Then
36      EXCAVACION_P_Jw.Text = 0.15
37      SRF_Q_Jw.Text = 0.15
38      Me.Hide()
39      SRF.Show()
40
41  ElseIf JW_F.Checked = True And (JW_A.Checked And JW_B.Checked And JW_C.Checked And JW_D.Checked And JW_E.Checked) = False Then
42      EXCAVACION_P_Jw.Text = 0.075
43      SRF_Q_Jw.Text = 0.075

```

Figura 2.29 Parte del código para selección del puntaje Jw.

Fuente: Los Autores.

## Formulario factor de reducción de esfuerzos (SRF)

Se muestra todas las opciones para la selección del factor de reducción de esfuerzos (SRF).

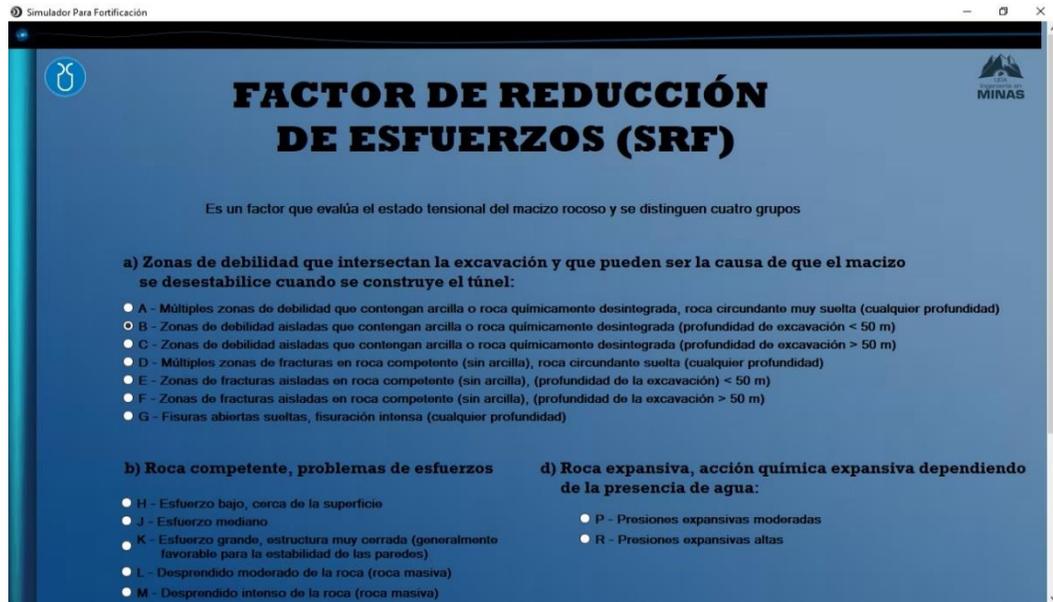


Figura 2.30 Ventana factor de reducción de esfuerzos (SRF).  
Fuente: Los Autores.

El código obedece una secuencia similar al formulario de índice de diaclasado ( $J_n$ ), pero, de la misma forma que el formulario número de alteración de las juntas ( $J_a$ ), las opciones “K”, “L”, “M”, “N”, “O”, “P” y “R” tienen varios valores. El usuario ingresa el valor que están dentro de los rangos establecidos en la Tabla 1.13.

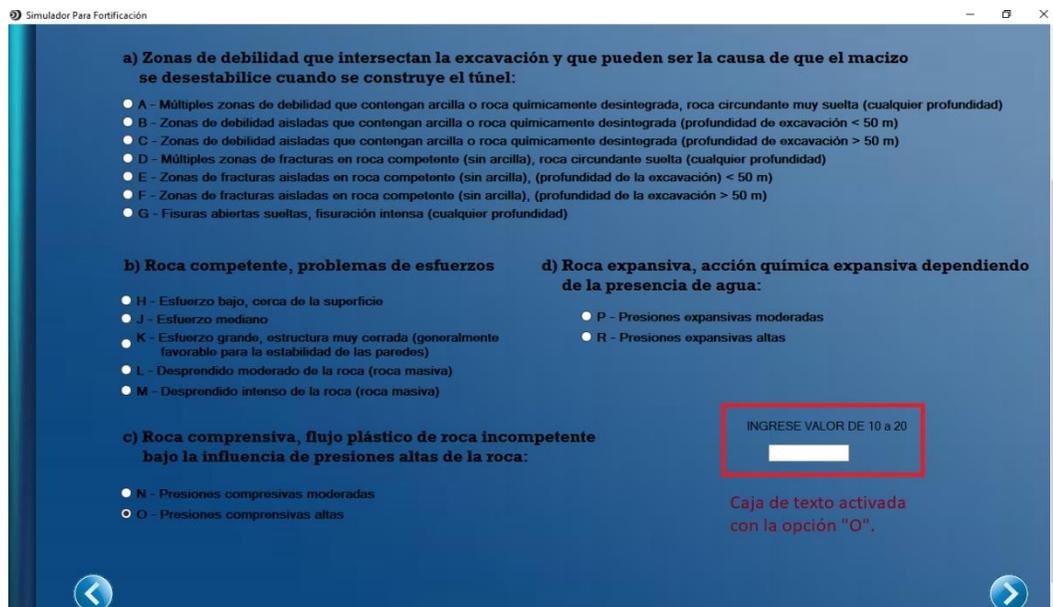


Figura 2.31 Caja de texto activa opción "O" en ventana factor de reducción de esfuerzos (SRF).  
Fuente: Los Autores.

El código realiza el cálculo del índice “Q”, esto mediante la ecuación respectiva ingresada en el código de este formulario.

```

105     Q_SRF.Text = P_SRF_KR.Text
106     Me.Hide()
107     INDICE_Q.Show()
108
109     Else
110
111     MessageBox.Show("Seleccione una opción", "SELECCIONAR", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information)
112     Me.Show()
113
114     End If
115
116     VALOR_Q.Text = (Val(DATOS.DATO_RQD.Text) / Val(Q_JN.Text)) * (Val(Q_JR.Text) / Val(Q_JA.Text)) * (Val(Q_JM.Text) / Val(Q_SRF.Text))
117
118     Me.VALOR_Q.Text = Format(CType(Me.VALOR_Q.Text, Decimal), "#")
119
120     INDICE_Q.TXTQ.Text = VALOR_Q.Text
121
122     DECIMALES_Q.Text = (Val(DATOS.DATO_RQD.Text) / Val(Q_JN.Text)) * (Val(Q_JR.Text) / Val(Q_JA.Text)) * (Val(Q_JM.Text) / Val(Q_SRF.Text))
123
124     INDICE_Q.Q_DECIMALES.Text = DECIMALES_Q.Text
125
126
127
128     End Sub
129
130     Referencias:
131     Private Sub SRF_K_CheckedChanged(sender As Object, e As EventArgs) Handles SRF_K.CheckedChanged
132
133     If SRF_K.Checked = True Then
134         P_SRF_KR.Visible = True
135         LABEL_SRF.Visible = True
136         LABEL_SRF.Text = "INGRESE VALOR DE 0.5 a 2"
137     Else

```

Figura 2.32 Parte del código ecuación para el cálculo de “Q”.  
Fuente: Los Autores.

### Formulario índice “Q”

En este formulario se muestra el valor del índice “Q” obtenido automáticamente por el programa.



Figura 2.33 Ventana índice "Q".  
Fuente: Los Autores.

## Formulario tipo de excavación

En este formulario se muestra todas las opciones para la selección del tipo de excavación.

Simulador Para Fortificación

**TIPO DE EXCAVACIÓN**

**RELACIÓN DE SOPORTE DE LA EXCAVACIÓN (ESR)**

Tiene que ver con el uso que se pretende dar a la excavación y hasta donde se puede permitir cierto grado de inestabilidad.

**SELECCIONAR:**

A- Excavaciones mineras provisionales (valores de 3 a 5)  3  4  5

B - (RECOMENDADO) Excavaciones Mineras Permanentes, túneles de conducción de agua para obras hidroeléctricas (con la excepción de las cámaras de alta presión para compuertas), túneles piloto (exploración), excavaciones parciales para cámaras subterráneas grandes

C - Cámaras de almacenamiento, plantas subterráneas para el tratamiento de aguas, túneles carreteros y ferrocarriles pequeños, cámaras de alta presión túneles auxiliares

D - Casas de máquinas, túneles carreteros y ferrocarriles mayores, refugios de defensa civil, portales y cruces de túneles

E - Estaciones nucleoelectricas subterráneas, estaciones de ferrocarril, instalaciones para deportes y reuniones, fábricas

**CALCULAR**

MINAS

Agregar al control de código fuente

Figura 2.34 Ventana tipo de excavación.  
Fuente: Los Autores.

Este es el último formulario donde se debe elegir alguna opción o ingresar valores. El código obedece una secuencia similar a los formularios anteriores, con la excepción que se debe ejecutar en dos partes.

Primero se debe obtener el valor de la dimensión equivalente, este valor se obtiene mediante la ecuación correspondiente, y esta es ejecutada con el botón **CALCULAR**. Este valor es calculado automáticamente y servirá para la selección del tipo de fortificación conjuntamente con todos los resultados obtenidos por el programa.

El resto del código se encarga de la selección del soporte recomendado, el cual es elegido mediante una expresión relacional y lógica, y se ejecuta con el botón siguiente.

El código de este formulario evalúa todos los resultados.

```

1330
1331 79: ElseIf Q_TOTAL.Text >= 0.001 And Q_TOTAL.Text <= 0.01 And P_DE.Text >= 4 And P_DE.Text <= 10 Then
1332
1333     FORTIFICACION.SOPORTE.Text = "SOPORTE RECOMENDADO (1)"
1334
1335     Concreto lanzado reforzado con malla soldada, con espesor de 700 mm a 2 m.
1336
1337     NOTAS COMPLEMENTARIAS DE BARTON, LIEN Y LUNDE
1338
1339     Casos que no implican arcillas expansivas o roca alterada que fluye.
1340
1341     Se necesita generalmente el método de avance por etapas múltiples para el soporte del techo, de las paredes y de la plantilla en los casos críticos de fluidez.
1342     Solo para Dimensión Equivalente > 10 en roca excepcionalmente mala.
1343
1344     NOTAS COMPLEMENTARIAS DE HOEK Y BROWN
1345
1346     La malla soldada, que consiste en alambre de acero colocado en cuadros y soldado en cada intersección, es la que se recomienda para usarse en el hormigón lanzado,
1347     ya que le permite llegar fácilmente hasta la roca. No habrá que utilizar la malla en eslabones porque el hormigón lanzado no podrá penetrar todos los espacios
     entre los alambres y formará bolsas de aire con la consiguiente oxidación del alambre. Si se escoge el alambre soldado es importante que pueda ser manipulado por
     uno o dos hombres que trabajen en la plataforma de un carro elevador, por lo que el alambre no deberá ser demasiado pesado. Lo que se utiliza más frecuentemente
     para reforzar el hormigón lanzado es el alambre de 4.2 mm con espacio de 100 mm (llamado malla soldada de 100 x 100 x 4.2).
1348
     Barton Lien y Lunde recomiendan espesores de hormigón lanzado hasta de 2 m. Esto implicaría muchas aplicaciones separadas por lo que numerosos contratistas
     pensarán que espesores de hormigón lanzado de tal magnitud son a la vez poco prácticos y nada económicos, prefiriendo mas bien los arcos de concreto colado. Un
     argumento sólido en favor del hormigón lanzado es que se puede aplicar muy cerca del frente y por lo tanto que puede proporcionar un primer refuerzo en las
     formaciones de roca de mala calidad. Muchos contratistas alegrarán que una capa de 50 a 100 mms por lo general suficiente para ese fin, sobre todo cuando se usa
     en combinación con pernos tensados como lo indican Barton, Lien y Lunde y que la instalación de concreto colado en alguna etapa posterior sería una manera más
     efectiva de solucionar el problema. Es evidente que la solución final dependerá de los precios unitarios que tiene el contratista para hormigón colado y hormigón
     lanzado y si el hormigón lanzado es más económico se demostrará en la práctica que realmente se puede aplicar hormigón lanzado de tal espesor. En Estados Unidos
     un revestimiento de hormigón colado o de hormigón lanzado de 2 m sería una cosa bastante excepcional y normalmente para lograr las presiones muy altas que se
     necesitan en terreno malo se utilizaría una combinación marcos de acero pesado y de concreto.

```

Figura 2.35 Parte de la expresión del código para la selección del soporte recomendado.  
Fuente: Los Autores.

### Formulario soporte recomendado

Este es el formulario final en donde se muestra el tipo de soporte recomendado el cual es elegido por medio de todos los resultados obtenidos en el programa.

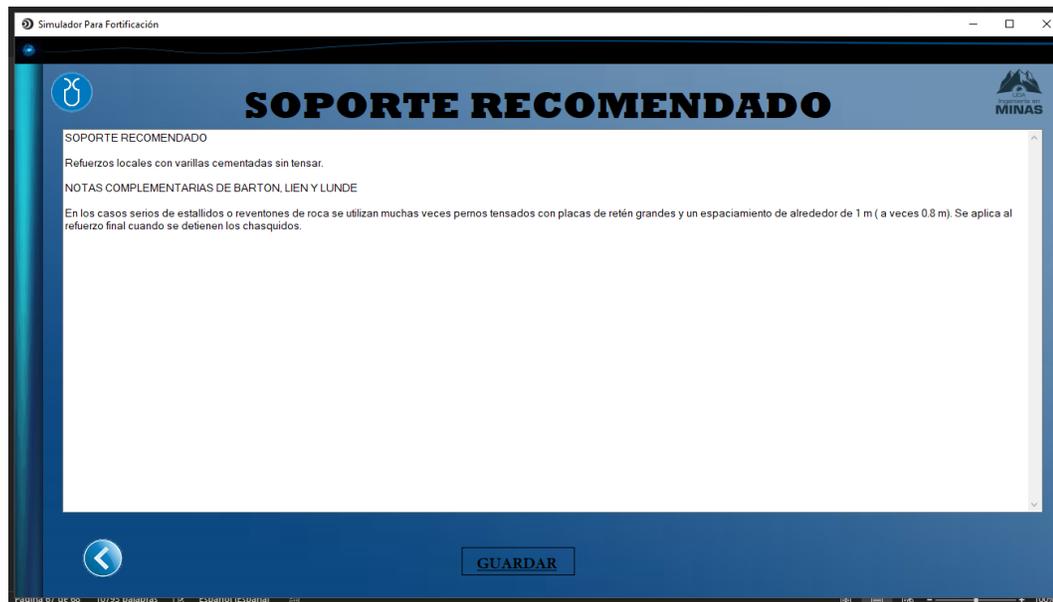


Figura 2.36 Ventana soporte recomendado.  
Fuente. Los Autores.

Si se diera el caso que alguno de los resultados no cumpla con los parámetros establecidos se lanzará un mensaje explicando el inconveniente.

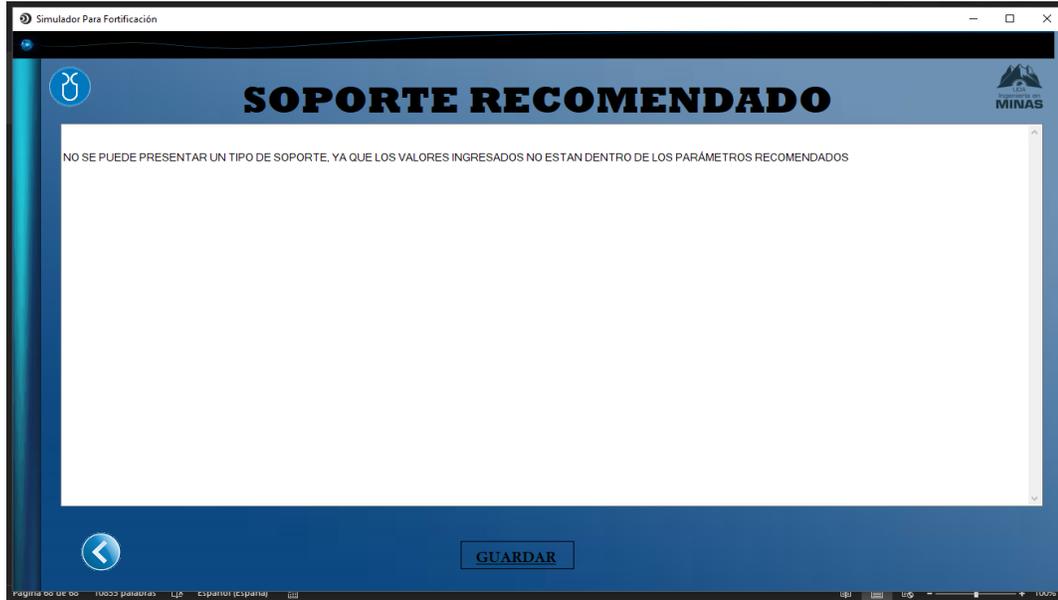


Figura 2.37 Ventana soporte recomendado con mensaje de inconveniente.  
Fuente: Los Autores.

Al momento de dar click en el botón GUARDAR, se generará un documento de Microsoft Word con el detalle de todos los resultados obtenidos, este documento se podrá editar, imprimir o guardar.

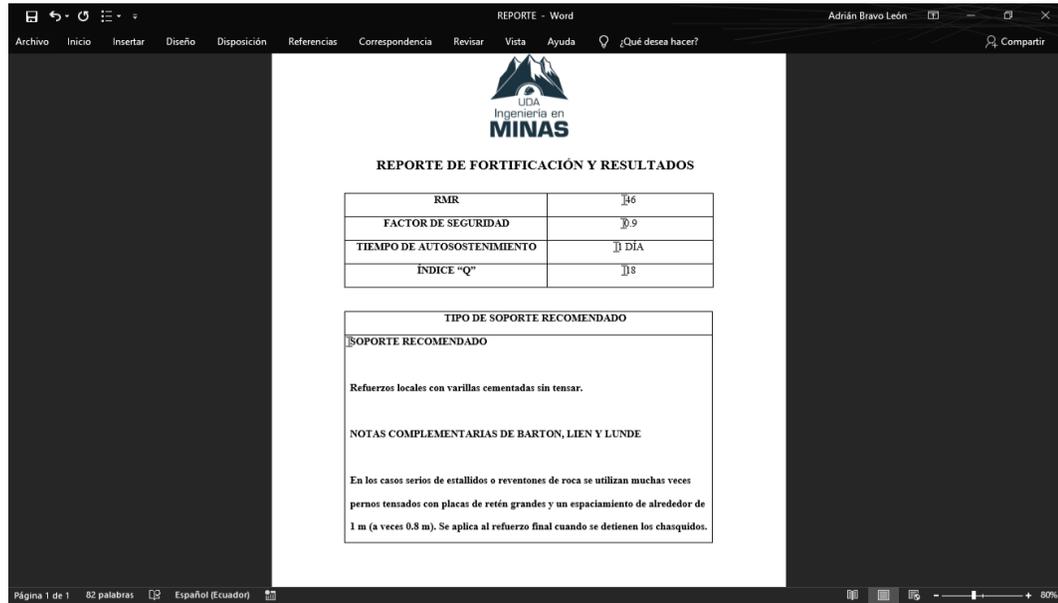


Figura 2.38 Reporte en Microsoft Word generado desde la aplicación.  
Fuente: Los Autores.

## **CAPÍTULO III**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

El objetivo general del presente trabajo ha sido conseguido de forma satisfactoria toda vez que el software elaborado a ser aplicado para el diseño de fortificación ha sido validado con un ejemplo práctico.

El presente trabajo alcanzó a establecer los requerimientos necesarios mediante varias consultas formales con personas involucradas en las actividades mineras, detallando el manejo del sistema manual empleado para determinar la fortificación de las labores subterráneas, estos datos fueron facilitados a los autores de la investigación lo cual fue una motivación para la elaboración de la aplicación.

Se logró cumplir con el desarrollo de la aplicación que permite optimizar el trabajo en la determinación de la fortificación en las labores subterráneas, factores de seguridad, tiempo de autosostenimiento y determinación del tipo de fortificación, permitiendo llevar un control óptimo y eficaz computarizado.

Se agilizaron los procesos, ya que en el sistema manual empleado para el cálculo de la fortificación en labores subterráneas, los tiempos de ejecución, con datos ya preestablecidos, eran superiores a treinta minutos y se lo realizaba de manera manual, llenando formularios independientes, realizando cálculos matemáticos para luego recopilar toda esa información y realizar el cálculo de la fortificación; esto a más de la generación de posibles errores de visualización en tablas, ábacos, curvas y/o gráficas, mientras que utilizando la aplicación se logró obtener dichos resultados en menos de tres minutos, permitiendo al evaluador del proceso realizar los ingresos de datos, cálculos de fortificación de una manera exacta y con la seguridad de las aplicaciones.

También se realizó una comparación con otros artículos científicos y trabajos de graduación donde se aplican esta metodología de cálculo, en estos se puede llevar registros de las descripciones geotécnicas y los cálculos de fortificación, aplicable en las labores

subterráneas con propósitos mineros o civiles, por ello constituye en una aplicación de gran importancia para la minería y la construcción.

### **3.1 Determinación del sistema Rock Mass Rating (RMR)**

Para realizar una comparación de determinación del RMR, nos basamos en el trabajo con título: “Sectorización geotécnica del túnel de drenaje etapa 2, expansión norte de mina sur, división CODELCO NORTE”, del autor CRISTIAN PABLO RAYO HERNANDEZ, de la Universidad de Chile Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Geología, del año 2007, donde tenemos 5 tramos con datos reales con un resultado final del RMR, de los cuales se analizan cada uno de estos y se aplica en el software para verificar que se obtienen resultados similares (J. Cuervas-Mons, 2015).

#### **TRAMO 6:**

- La resistencia a la compresión simple estimada corresponde a un rango de 20 a 80 MPa.
- El macizo rocoso, de acuerdo a la con calidad geotécnica de Roca tipo III, tiene un fracturamiento asociado a una frecuencia de fractura (FF/m) de 2 a 7 /m y RQD en el rango de 65-80% (RDQ de regular a bueno).
- El índice de fracturamiento  $J_n$  con valor en el rango 6-12, indica que existen dos a más de tres sistemas de discontinuidades; el índice de rugosidad  $J_r$  con valor 2 a 3, indica que las discontinuidades existentes son onduladas lisas a onduladas rugosas; el índice de alteración  $J_a$  con valor 4, indica que las fracturas presentan alteraciones arcillosas; el factor reductor de agua  $J_w$  con valor 1, indica que la condición de agua de las discontinuidades es seca o presenta flujos de agua con caudales menores a 5 lt/min.; el factor reductor de esfuerzos SRF con valor 2,5, indica la existencia de zonas débiles en roca competente y en roca descompuesta con una columna de roca o profundidad de la excavación mayor a 50 m.

- El macizo rocoso, con calidad geotécnica de Roca tipo IV, tiene un fracturamiento asociado a una frecuencia de fractura (FF/m) de 4 a 10 /m y RQD en el rango de 40-75% (RDQ de malo a regular).
- El índice de fracturamiento  $J_n$  con valor en el rango 12-15, indica que existen tres a más de cuatro sistemas de discontinuidades; el índice de rugosidad  $J_r$  con valor 2, indica que las discontinuidades existentes son principalmente onduladas lisas; el índice de alteración  $J_a$  con valor 4 a 8, indica que las fracturas presentan alteraciones arcillosas con destritos arcillosos poco consolidados; el factor reductor de agua  $J_w$  con valor 1, indica que la condición de agua de las discontinuidades es seca o presenta flujos de agua con caudales menores a 5 lt/min.; el 73 factor reductor de esfuerzos SRF que es 2,5, indica la existencia de zonas débiles en roca competente y en roca descompuesta con una columna de roca o profundidad de la excavación mayor a 50 m.

Tabla 3.1. Parámetros geotécnicos Tramo 6, Túnel de Drenaje Etapa 2.

TIPO (1)	FF	IRS	RQD	$J_n$	$J_r$	$J_a$	$J_w$	SRF
III	2-7	50-100	65-80	6-12	2-3	4	1	2,5
IV	4-10	20-40	40-75	12-15	2	4-8	1	2,5

NOTA: (1) Calidad geotécnica según Barton (1974).

Fuente: (Rayo, 2007)

- De acuerdo al Índice Q de Barton (1974), en este tramo el 53 % fue definido como Roca Tipo III (Calidad geotécnica Regular) con valores de **Q entre 1,10 y 1,80**. El 47 % restante se definió con calidad de roca tipo IV (Calidad geotécnica Mala) cuyo Índice Q está dentro del rango de 0,40 a 0,90.
- La clasificación según Bieniawski entrega una calidad geotécnica Mala a Buena con valores de **RMR entre 35 – 65**.

Resultados con los datos del tramo 6 ingresados en la aplicación en el cual obtenemos un valor de RMR aproximado al resultado mostrado en el trabajo a compararse.



Figura 3.1 Valor RMR del Tramo 6 obtenido en la aplicación.  
Fuente: Los Autores.



Figura 3.2 Valor del índice Q del Tramo 6 obtenido en la aplicación.  
Fuente: Los Autores.

**TRAMO 8:**

- La resistencia a la compresión simple estimada corresponde al grado R4 en un rango que va desde 60 a 100 Mpa.
- El macizo rocoso, con calidad geotécnica de Roca tipo III, tiene un fracturamiento asociado a una frecuencia de fractura (FF/m) de 3-9 /m y RQD en el rango de 60-70% (RDQ regular).
- El índice de fracturamiento  $J_n$  con valor en el rango 4-12, indica que existen dos a más de tres sistemas de discontinuidades; el índice de rugosidad  $J_r$  con valor de 2 a 3, indica que las discontinuidades existentes son onduladas lisas a onduladas rugosas; el índice de alteración  $J_a$  con valor de 2 a 4, indica que las fracturas presentan ligera alteración a alteraciones arcillosas; el factor reductor de agua  $J_w$  con valor 1, indica que la condición de agua de las discontinuidades es seca o presenta flujos de agua con caudales menores a 5 lt/min.; el factor reductor de esfuerzos SRF con valor 2,5, indica la existencia de zonas débiles en roca competente y en roca descompuesta con una columna de roca o profundidad de la excavación mayor a 50 m.

Tabla 3.2. Parámetros geotécnicos Tramo 8, Túnel de Drenaje Etapa 2.

TIPO (1)	FF	IRS	RQD	$J_n$	$J_r$	$J_a$	$J_w$	SRF
III	3-9	50-90	60-70	4-12	2-3	2-4	1	2,5

NOTA: (1) Calidad geotécnica según Barton (1974).

Fuente: (Rayo, 2007)

- En este tramo, según el Índice Q de Barton (1974), el 100 % fue definido como Roca Tipo III (Calidad geotécnica Regular) con valores de **Q entre 1,2 y 5,3**.
- La clasificación según Bieniawski entrega una calidad geotécnica Regular a Buena con valores de **RMR entre 54 – 65**.

Resultados con los datos del tramo 8 ingresados en la aplicación en el cual obtenemos un valor de RMR aproximado al resultado mostrado en el trabajo a compararse.



Figura 3.3 Valor RMR del Tramo 8 obtenido en la aplicación.  
Fuente: Los Autores.



Figura 3.4 Valor del índice Q del Tramo 8 obtenido en la aplicación.  
Fuente: Los Autores.

### **3.2 Determinación del RMR, índice “Q” y recomendación de la fortificación**

Comparación para determinar el RMR, Q y recomendar la fortificación nos basamos en el trabajo con título “Correlación entre el índice RMR de Bieniawski y el índice Q de Barton en formaciones sedimentarias de grano fino”, de los autores J. D. Fernández-Gutiérrez, H. Pérez-Acebo, D. Mulone-Andere, de la revista Informes de la Construcción, del año 2017.

Basándonos en el registro geotécnico, se encuentran los valores otorgados a cada uno de los parámetros o factores empleados para determinar el índice Q y RMR. A partir de los valores calculados se obtiene las recomendaciones para la fortificación del frente en avance. Analizaremos cada uno de estos y lo aplicaremos en nuestro software para verificar que obtendremos resultados similares.

	<b>LINEA 3 ETXEBARRI-TXURDINAGA</b> Túnel de línea desde galería de Txurdinaga (OS-10) <b>Registro geotécnico del frente en avance</b>								
Tramo: <u>Etxebarrí-Txurdinaga</u>	Ficha: <u>154</u>	P.K. Inicio: <u>2+641,00</u>							
Tajo: <u>Avance Túnel de Línea</u>	Fecha: <u>28/01/2015</u>	P.K. Final: <u>2+638,50</u>							
Situación: <u>Desde OS-10</u>	Hora: <u>17:00</u>	Cobertera: <u>36</u>							
Actividad: <u>Fase de desescombro</u>									
<b>GEOLOGÍA:</b> Y Orientación de la Geología 									
<b>MATRIZ ROCOSA</b>									
<b>PLANOS DE DISCONTINUIDAD</b>									
Litología	Alteración (I a V)	Tipo	Dip. Dir (°)	Buzam (°)	Separación (m)	Persist (m)	Apert. (mm)	JRC <sub>i</sub>	Relleno / Grado Alteración
(1) Margas	I (II)	(A) S0	190	65	0,08	>10	0	4-6	Sen relleno / Lig. Alterado
(2) Brecha calcárea	I (II)	(B) J1	261	66	2,5	8,5	10	8-10	Roca GM-IV >5mm / Muy Alt.
(3) Roca en Grado IV	IV	(C) J2	299	42	2,10	4,5	1-5	4-8	Oxidos <5mm / Lig Alt.
(4)		(D) F	190	62	5	6	1-5	2-4	Roca GM-IV <5mm / Mod. Alt.
(5)		(E)							
AGUA: Flujo J2 y goteo por J1									
Qc	RQD	Separac. Junt.	Condición de juntas		Agua	Orientac. Junt.	RMR (Bieniawski 1989)		Clase de macizo
4	17	8	19		15	0	Máx= 63 II Buena		Medio 50 III Media
4	17	20	8		0	-12	Mín= 37 IV Mala		
RQD	Jn	Jr	Ja	Jb	SRF	Jc/Ja	Q (Barton, 1992)		Calidad Macizo
76	9	1,5	6	0,66	1	0,250	1,39		Roca Mala
Vb(m³)	Dc(m)	Estado junta	jL	jR	JA	JC	GSI (Cai & Kaiser, 2004)		
1,44E-02	2,43E-01	Sellada	1	1,5	1	1,50	Máx= 45		Medio 44 Muy Deteriorado-Medio
1,44E-02	2,43E-01	Abierta	1	3	6	0,50	Mín= 39		
Qc	Vb(m³)	jL	jR	JA	JC	JP	RMI (Palmström)		
25	1,44E-02	1	1,5	1	1,50	0,06	Máx= 1,441		Medio 1,01 Moderado
25	1,44E-02	1	3	6	0,50	0,02	Mín= 0,593		
<b>AVANCE EJECUTADO</b>									
Método Excavación: <u>Rozadora</u>					Longitud de pase: <u>2,50 m</u>				
Tipo de Sostenimiento: <u>ST-II</u>					R.M.R. Asignado: <u>50</u>				
Elementos empleados: <u>HP-35+fibra polipropileno (4kg/m³)</u> e=10cm, bulones Swellex MN-16, L=4m y malla 2x2m					Tratamientos especiales: _____				
SOSTENIMIENTO PROPUESTO PARA SIGUIENTES PASES: Tipo: <u>ST-II</u>									
Elementos constituyentes: <u>eHP=10cm, HP-35+fibra polipropileno (4kg/m³) y Swellex MN-16, L=4m y malla 2x2m</u>									
OBSERVACIONES: Pase con sostenimiento tipo II con calidad de macizo media. Se compone de brecha sedimentaria de matriz de naturaleza margosa con gravas y bloques dispersos de caliza alóctona. Se presenta con fracturación baja con espaciado de estratificación centimétrica y rellenos de juntas con grado de meteorización IV y V. Se observan flujos importantes de agua a través de las juntas con rellenos de grado IV y arcillas.									
CODIGO 10.83.02.01 TL Avance 2+638.50	Realizado: <u>Jesús D. Fernández (AT)</u> 	Informado: <u>Fernando Cubillo (AT)</u> 	Fecha: <u>28/01/2015</u>	Fecha: <u>28/01/2015</u>					

Figura 3.5. Registro Geotécnico del Frente en Avance.

Fuente: (Fernández-Gutiérrez, 2017)

El resultado con los datos del registro geotécnico, ingresados en la aplicación en el cual obtenemos un índice Q y un valor de RMR aproximado a los resultados mostrados anteriormente. Basado en estos valores podemos recomendar una fortificación.



Figura 3.6 Valor del RMR del Informe Geotécnico obtenido en la aplicación.  
Fuente: Los Autores.

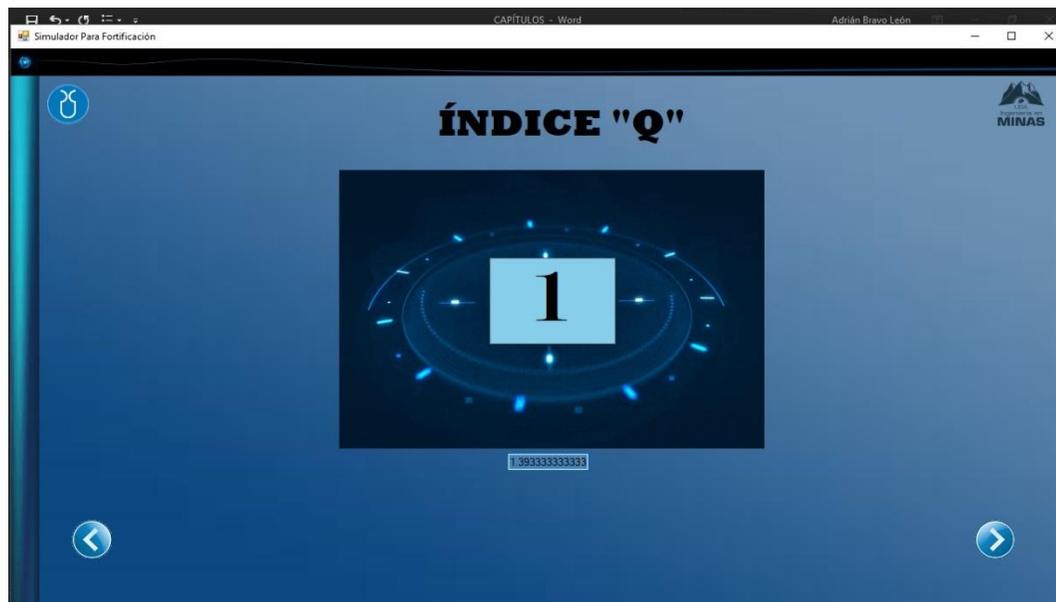


Figura 3.7 Valor del Índice Q del Informe Geotécnico obtenido en la aplicación.  
Fuente: Los Autores.

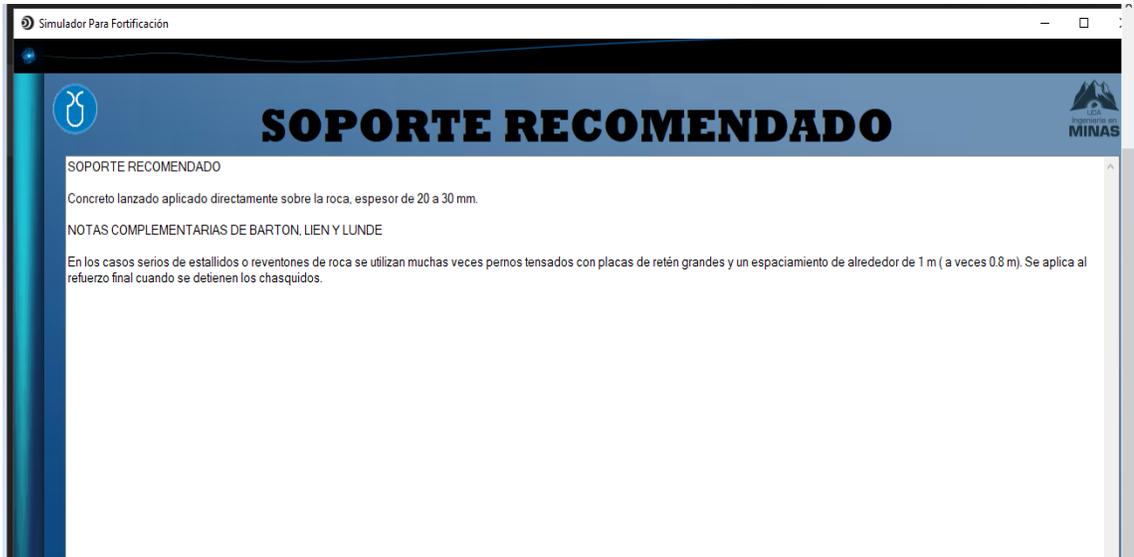


Figura 3.8 . Soporte Recomendado del Informe Geotécnico obtenido en la aplicación.  
Fuente: Los Autores.



**REPORTE DE FORTIFICACIÓN Y RESULTADOS**

RMR	63
FACTOR DE SEGURIDAD	1.1
TIEMPO DE AUTOSOSTENIMIENTO	20 DÍAS
ÍNDICE "Q"	1

TIPO DE SOPORTE RECOMENDADO
<p><b>SOPORTE RECOMENDADO</b></p> <p>Concreto lanzado aplicado directamente sobre la roca, espesor de 20 a 30 mm.</p> <p><b>NOTAS COMPLEMENTARIAS DE BARTON, LIEN Y LUNDE</b></p> <p>En los casos serios de estallidos o reventones de roca se utilizan muchas veces pernos tensados con placas de retén grandes y un espaciamiento de alrededor de 1 m (a veces 0.8 m). Se aplica al refuerzo final cuando se detienen los chasquidos.</p>

Figura 3.9 Reporte de fortificación y Resultados del Informe Geotécnico obtenido en la aplicación.  
Fuente: Los Autores.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

- El avance y el desarrollo de los programas (software) y el desempeño de nuestra futura profesión, nos ha motivado a elaborar la presente aplicación con el fin de precautelar la seguridad del personal que ingresa a las labores subterráneas, así como la protección de equipos y maquinaria, por lo que el software desarrollado con el enfoque indicado, facilita la implementación de sistemas que generen mejores condiciones en la industria minera.
- La aplicación es una herramienta con la cual tenemos resultados más exactos y precisos, en un tiempo mucho menor, al desarrollar el cálculo de manera manual y sin errores de visualización y cuantificación en la determinación de RMR o Índice Q; pues los resultados garantizan seguridad para los trabajadores y de la obra en construcción o desarrollo.
- El desarrollo y ejecución de la aplicación es accesible y de fácil manejo. Lo que se debe tener en cuenta es que los datos iniciales que se ingresan en la aplicación, deben tener la certeza y confiabilidad del ingeniero o persona que brinde el estudio, debido a que la aplicación no brinda ninguna corrección de los valores que sean ingresados inicialmente, por ejemplo, un valor de RQD erróneo o que no representa la realidad, influirá en un mal diseño de la fortificación.
- En los estudios considerados para realizar las comparaciones con la aplicación, los resultados obtenidos son similares a los planteados en el software desarrollado, lo que demuestra que el programa es totalmente confiable.
- Esta aplicación puede ser empleada en el campo de la minería y construcción, para el estudio geotécnico y determinar el comportamiento del macizo rocoso; pues en la práctica se ha demostrado que existen otras variables a tomar en consideración.
- Del estudio, “Correlación entre el índice RMR de Bieniawski y el Índice Q de Barton en formaciones sedimentarias de grano fino”, presente en: <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion>

[ion/article/view/5854/6841](#); los resultados del estudio son: RMR = 63 e Índice “Q” = 1.39, y los obtenidos por la aplicación son: RMR = 62.579 e Índice “Q” = 1.39333, y con la información adicional del tipo de fortificación recomendada: “Concreto lanzado aplicado directamente sobre la roca espesor de 20 a 30 mm” y Notas complementarias de Barton, Lien y Lunde: “En los casos serios de estallidos o reventones de roca se utilizan muchas veces pernos tensados con placas de retén grandes y un espaciamiento alrededor de 1 m (a veces de 0.8 m). Se aplica al refuerzo final cuando se detienen los chasquidos.” Lo que demuestra que los resultados de la aplicación son similares al estudio.

Del estudio, “Sectorización Geotécnica del Túnel de Drenaje Etapa 2, expansión Norte de mina Sur, división CODELCO Norte”, en: [http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2007/rayo\\_c/sources/rayo\\_c.pdf](http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2007/rayo_c/sources/rayo_c.pdf); los resultados del estudio son: RMR = 35 a 65 e Índice “Q” = 1.1 a 1.8, y los obtenidos por la aplicación son: RMR = 59.6054 e Índice “Q” = 1.625. Por lo tanto, estos datos son también similares.

## Recomendaciones

- Para la obtención de resultados adecuados y confiables se debe revisar los datos del informe geotécnico, que se encuentren dentro de los rangos especificados en la aplicación, y verificar las unidades de los valores. En caso que dichas unidades sean distintas a las aconsejadas, se deberá cambiarlas o modificarlas para que la aplicación pueda ejecutar los cálculos sin errores y con mayor exactitud.
- Es muy importante que el sistema operativo de la computadora esté actualizado, o en su defecto, revisarlo para que el programa pueda ejecutarse sin ningún problema y con mayor fluidez. Así como, la memoria RAM del ordenador debe ser óptima para las necesidades de la aplicación (al menos 8 GB).
- El programa debe ser instalado con precaución, los archivos comprimidos con el instalador deberán ser copiados o movidos al disco local (C:), en la carpeta “UDAFORMIN”, puesto que dichos archivos están asociados con la ejecución de la aplicación.
- Siempre se desea que exista una mejora continua de la aplicación; por lo tanto, para el uso de futuros usuarios, la comparación de los datos obtenidos en la aplicación con artículos científicos, informes geotécnicos, entre otros, deberá garantizar que los resultados sean óptimos y lo más cercanos a la realidad.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bongiorno, P. (2012). Índice de la calidad de la roca RQD. Mérida: Universidad de los Andes.
- Caceres, E. I. (2012). Mecánica de rocas en el diseño de túneles. Revista ARQHYS.
- Cáceres, R. G. (2017). Normas de seguridad minera. Santiago.
- Cevallos, J. (2007). Fundamentos de Informática. Obtenido de [https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/electrica/2\\_anio/fundamentos\\_informatica/apuntes/visual\\_basic/Estructuras%20decision.pdf](https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/electrica/2_anio/fundamentos_informatica/apuntes/visual_basic/Estructuras%20decision.pdf)
- Chile, S. N. (2013). Servicio Nacional de Geología y Minería. Obtenido de <http://sitiohistorico.sernageomin.cl/pdf/mineria/G5FortificacionAcunadura.pdf>
- Dollard, K., & Cai, S. (27 de Marzo de 2018). Microsoft. Obtenido de <https://docs.microsoft.com/es-es/dotnet/visual-basic/>
- E.T.S.E.C.C.P.B. - U.P.C. . (s.f.). upcommons. Obtenido de upcommons: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6215/00.pdf?sequence=1>
- Escobar, G. (2017). Macizo Rocos. En G. D. Juan Montero Olarte, Manual De Geologia Para Ingenieros (pág. 313). Bogota: UNAL.
- Feijoo, P. (1997). Manuel de Mecánica de Rocas y Estabilidad de Túneles y Taludes. Cuenca: Universidad del Azuay.
- Fernández-Gutiérrez, J. D. (2017). Correlación entre el índice RMR de Bieniawski y el índice Q. Informes de la Construcción.
- García, A. (s.f.). Ampliación de topografía minera.
- Gastón Pérez, S. E. (5 de Mayo de 2005). MailxMail. Obtenido de <http://www.mailxmail.com/curso-componentes-pc-s/generaciones-lenguajes-programacion>
- Hernández Castillo, V. (2012). Universidad Autónoma de México. Obtenido de [http://fcasua.contad.unam.mx/apuntes/interiores/docs/98/4/informatica\\_4.pdf](http://fcasua.contad.unam.mx/apuntes/interiores/docs/98/4/informatica_4.pdf)
- Huamani, D. (2014). Optimización del sostenimiento mediante el uso de Hydrabolt unidad minera bateas - Congemin JH-SAC. Arequipa: Universidad de Arequipa.

- J. Cuervas-Mons, L. J.-B. (2015). Evaluación de la estabilidad de excavaciones mineras de pequeño diámetro mediante clasificaciones geomecánicas y análisis empíricos: el caso de la mina de San Juan, Ecuador. Oviedo: Espol.
- J. D. Fernández-Gutiérrez, H. P.-A.-A. (2017). Correlación entre el índice RMR de Bieniawski y el índice Q de Barton en formaciones sedimentarias de grano fino. Bilbao: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Jing, L., & Hudson, J. (2002). Informes de la Construcción. Obtenido de <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/5854/6840>
- Montero, J. (2017). Caracterización Geológica de Macizos Rocosos. En G. D. Juan Montero Olarte, Manual De Geología Para Ingenieros (págs. 230,231,232,244). Bogota: UNAL.
- Office Developer Center. (25 de Diciembre de 2018). Microsoft. Obtenido de <https://docs.microsoft.com/es-es/office/vba/language/concepts/getting-started/visual-basic-naming-rules>
- Ramírez, V. (2013). Instituto Tecnológico de Celaya. Obtenido de <http://www.iqcelaya.itc.mx/~vicente/Programacion/Lenguajes.pdf>
- Rayo, C. (2007). Sectorización geotécnica del túnel de drenaje ETAPA 2, expansión norte de mina sur, división Codelco Norte. Santiago: Universidad de Chile.
- Reyes Paredes, A. P. (28 de Septiembre de 2005). el Guille. Obtenido de [http://www.elguille.info/colabora/NET2005/Percynet\\_Historia\\_Visual\\_Basic\\_NET.htm](http://www.elguille.info/colabora/NET2005/Percynet_Historia_Visual_Basic_NET.htm)
- Ríos, H. (2012). Sostenimiento con shotcrete robotizado en la mina Carahuacra. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Stair, R., & Reynolds, G. (24 de Agosto de 2005). Monografías.com. Obtenido de <https://www.monografias.com/trabajos26/lenguajes-programacion/lenguajes-programacion.shtml#traduct>
- Suarez, J. (2001). erosion.com.co. Obtenido de <http://www.erosion.com.co/presentaciones/category/56-taludes-en-roca.html?download=485:clasificacion-de-macizos-de-roca1>

Ureña Almagro, C. (2012). Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos de la Universidad de Granada. Obtenido de <https://lsi.ugr.es/curena/doce/lp/tr-11-12/lp-c01-impr.pdf>

Vallejo, L. I. (2002). Libro Ingeniería Geológica. Madrid: Pearson Educación.

Velazquez, J. (2014). Prezi. Obtenido de Prezi : <https://prezi.com/zm75e-wlezhh/trabajo-sobre-corte-y-relleno-ascendente/>

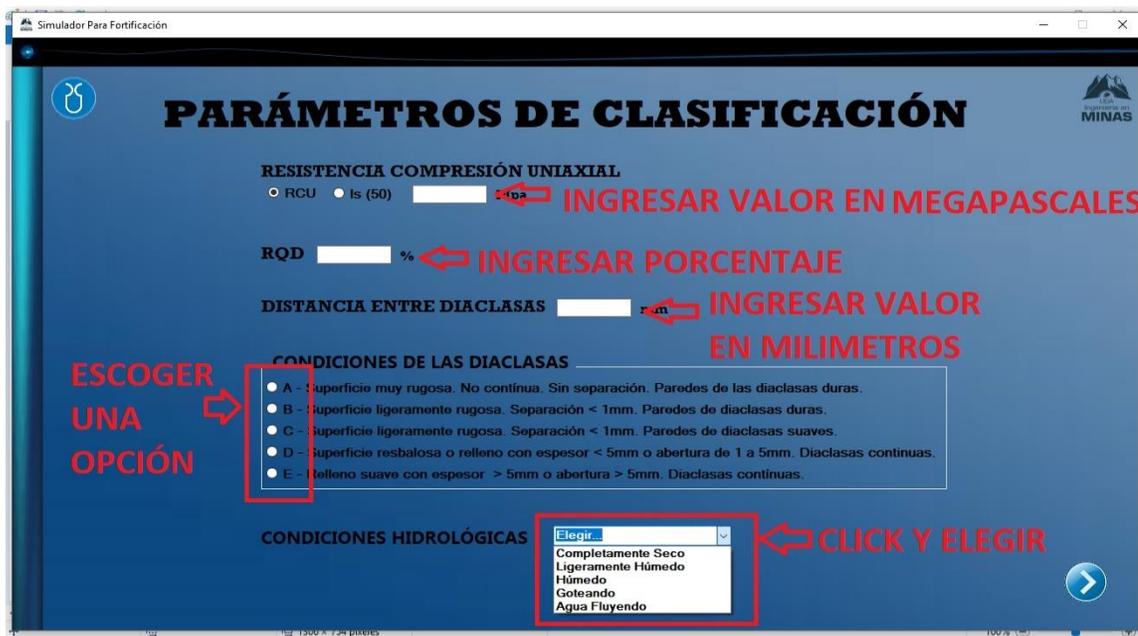
## **ANEXOS**

### **ANEXO 1. Manual de Usuario del Programa**

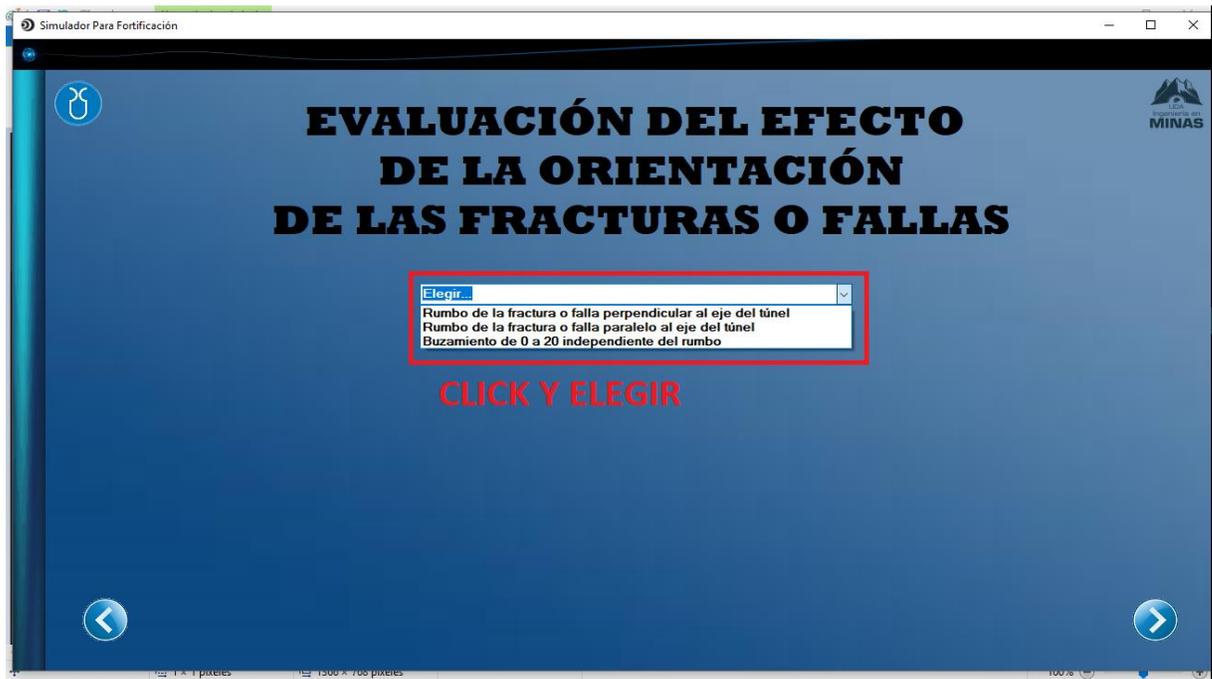
1- Click en el botón INICIAR



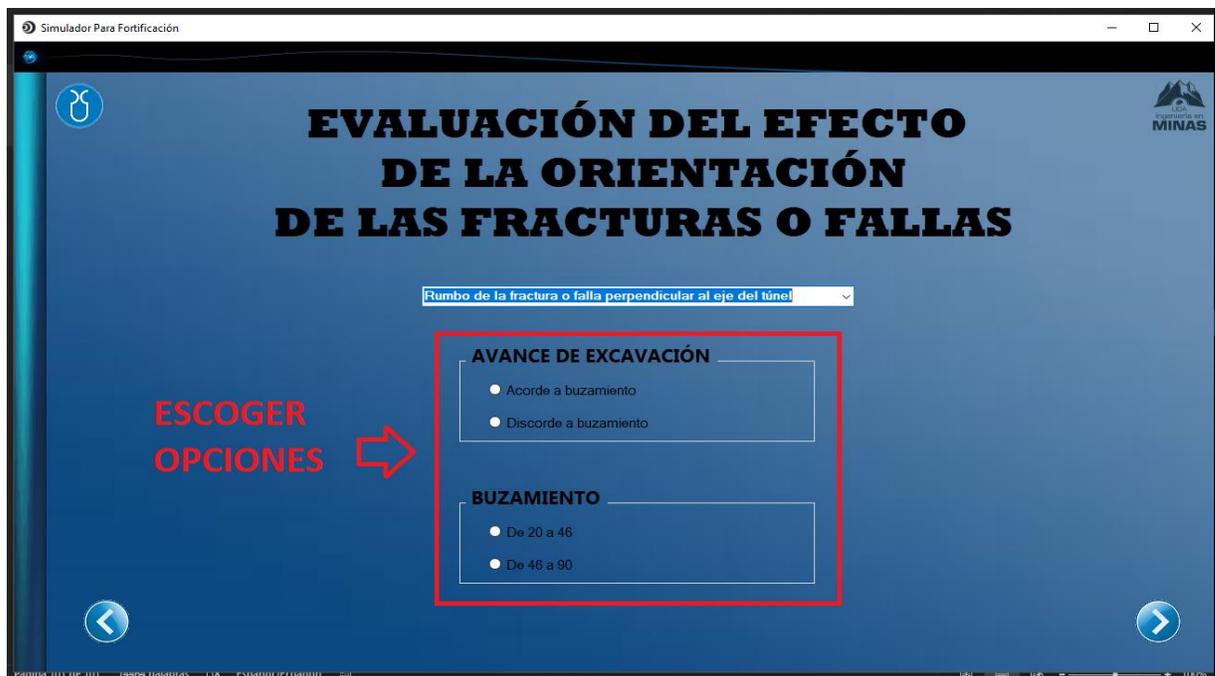
2- Ingresar valores en las cajas de textos y seleccionar las opciones indicadas. Luego click en el botón siguiente.



3- Dar click en la flechita para desplegar opciones.

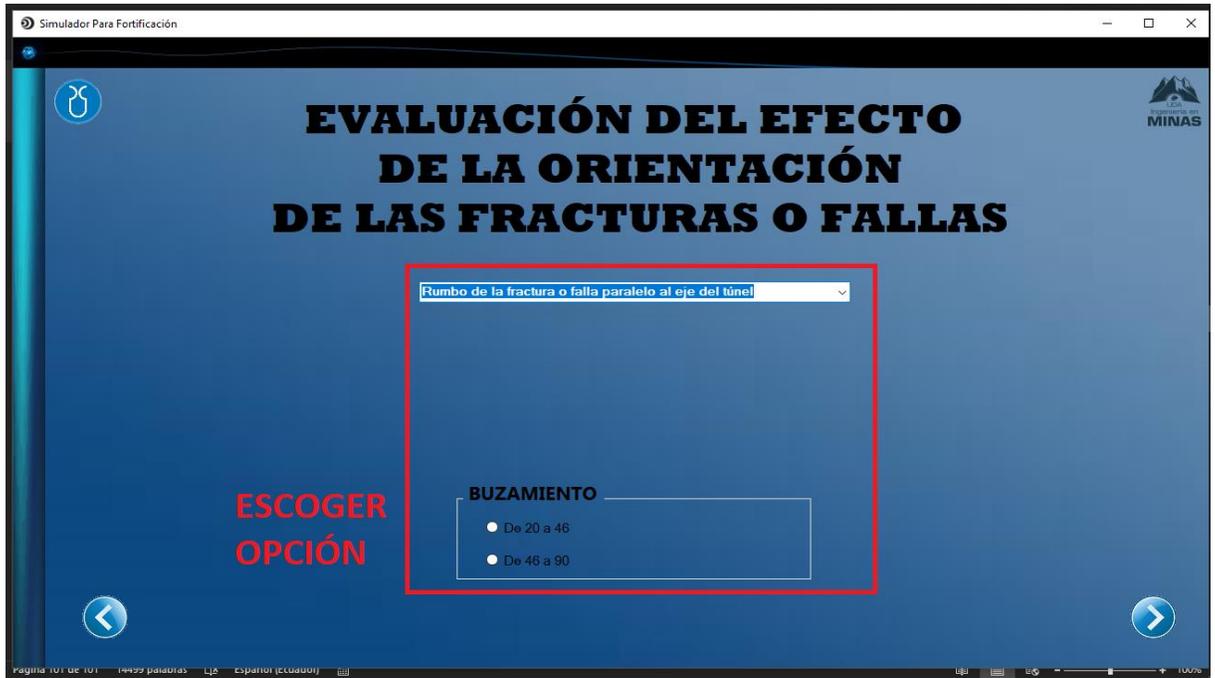


❖ Al seleccionar “Rumbo de la fractura o falla perpendicular al eje del túnel”, aparecerá los siguientes casos.

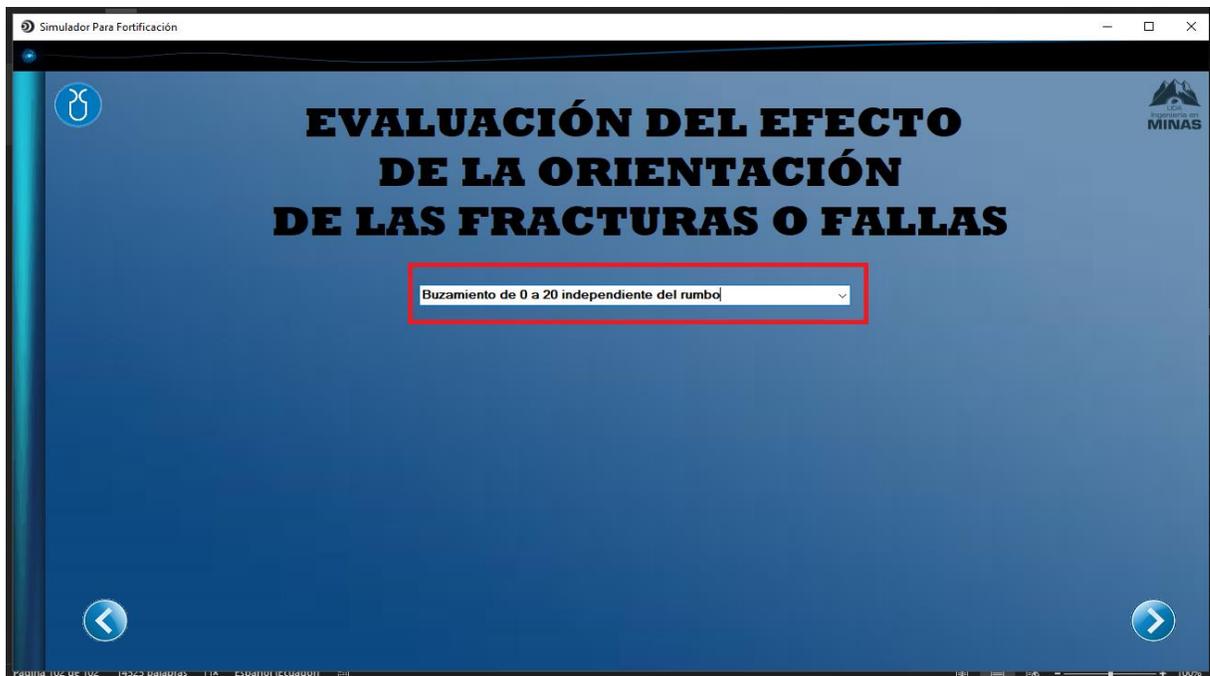


Aquí se deberá elegir una opción en ambos casos y luego click en siguiente.

- ❖ Si se selecciona “Rumbo de la fractura o falla paralelo al eje del túnel”, aparecerá el siguiente caso:



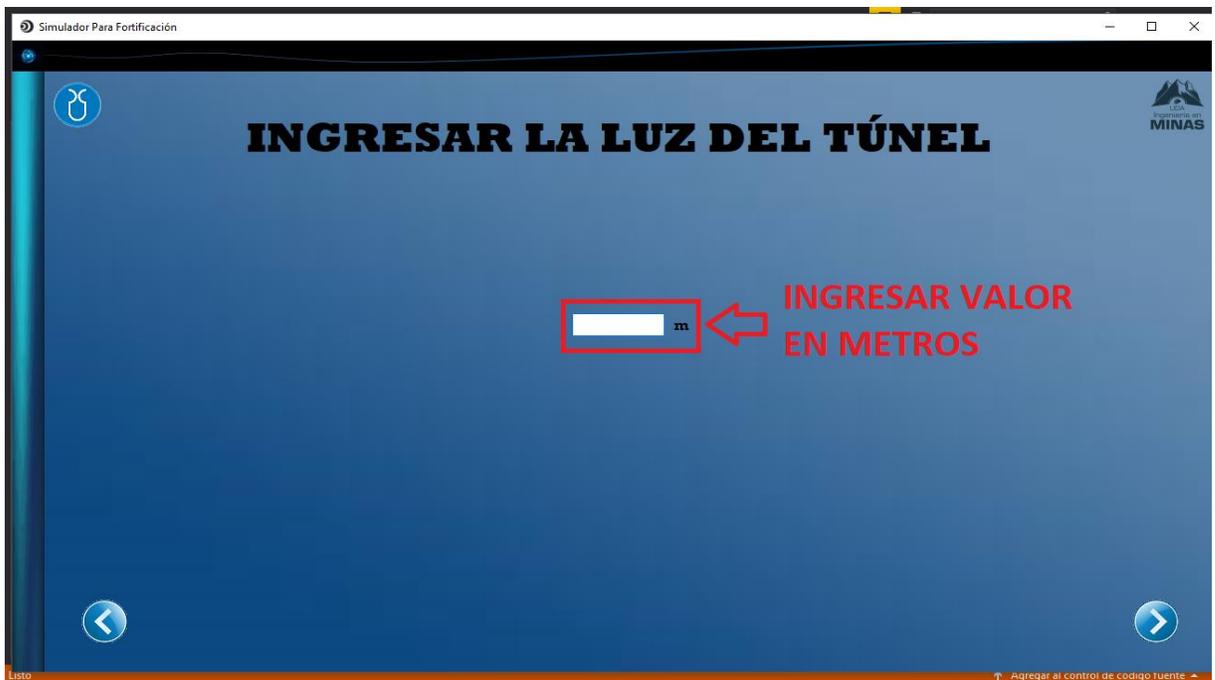
- ❖ Si selecciona “Buzamiento de 0 a 20 independiente del rumbo”, no tendrá casos a escoger y solamente dar click en siguiente.



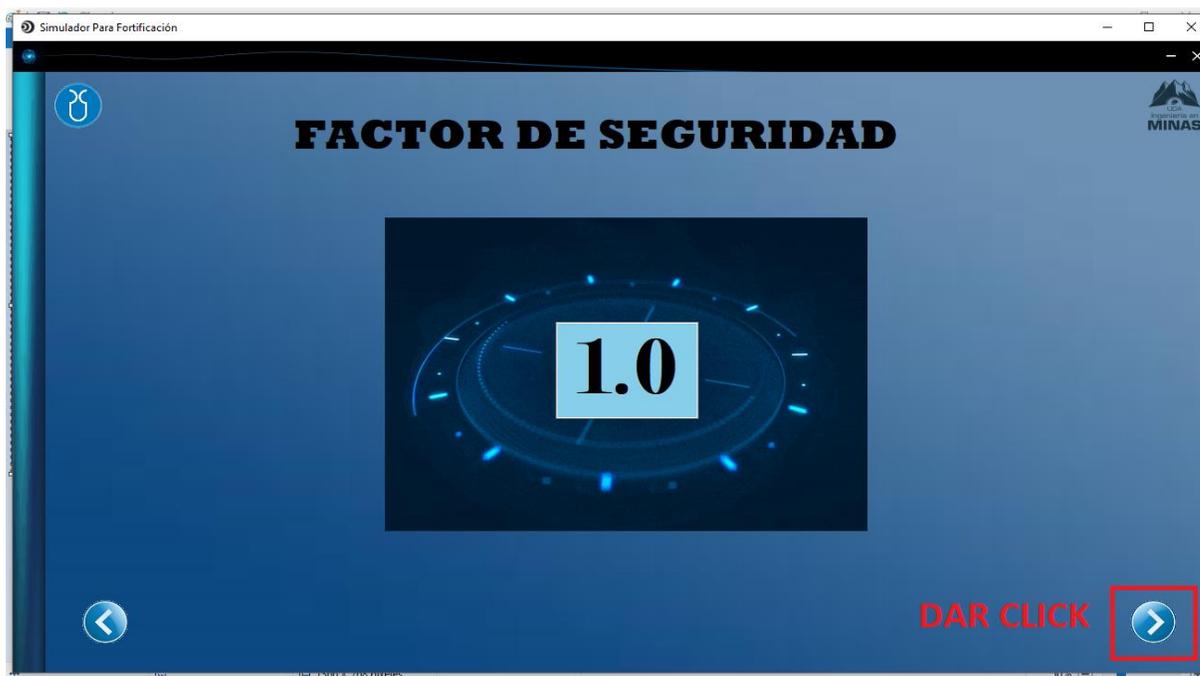
4- En la ventana de RMR del macizo rocoso, dar click en siguiente.



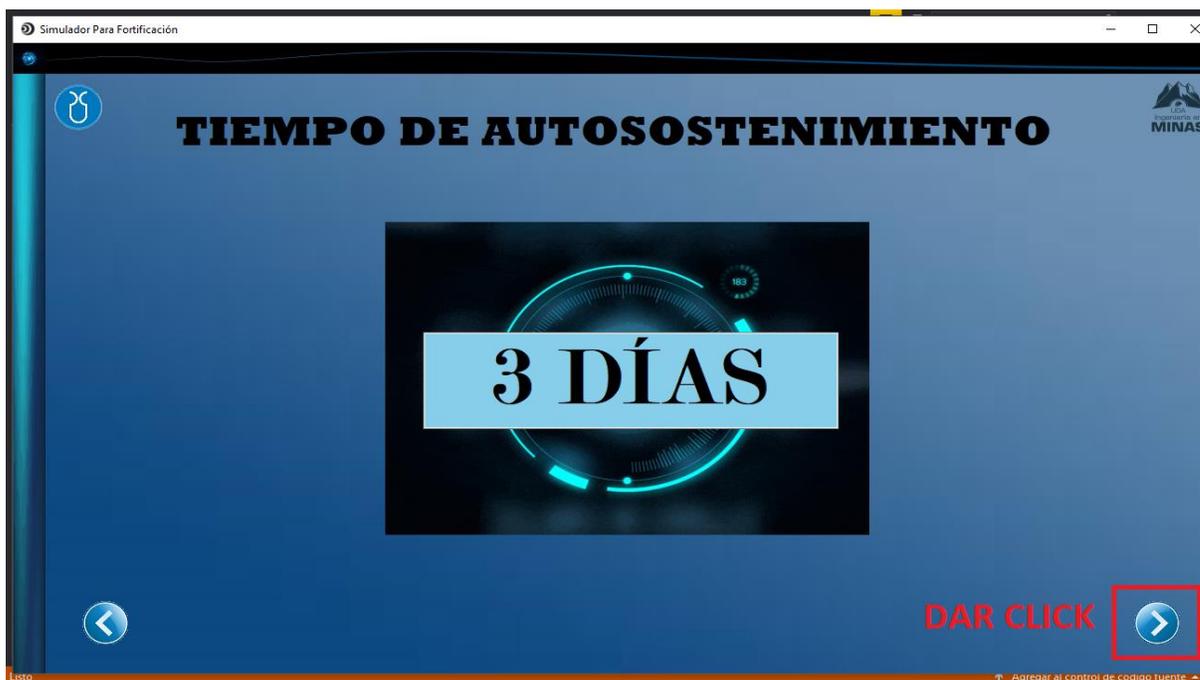
5- Ingresar la luz del túnel en metros y luego click en siguiente



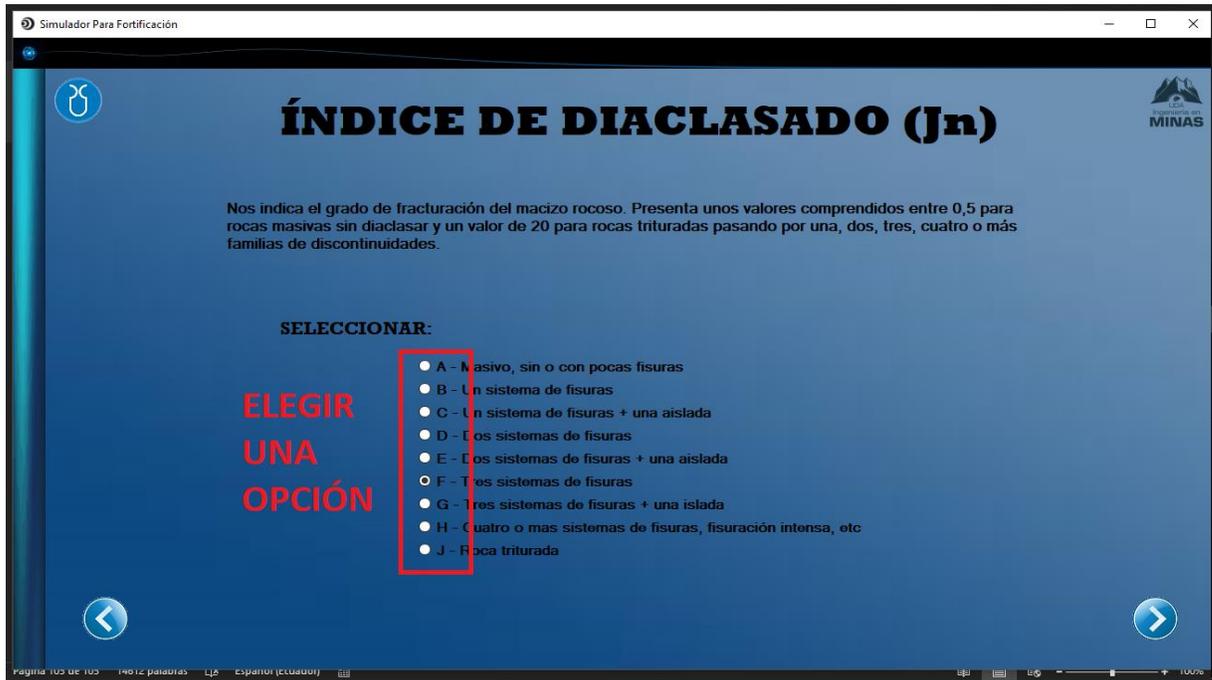
6- En la ventana del factor de seguridad dar, click en siguiente.



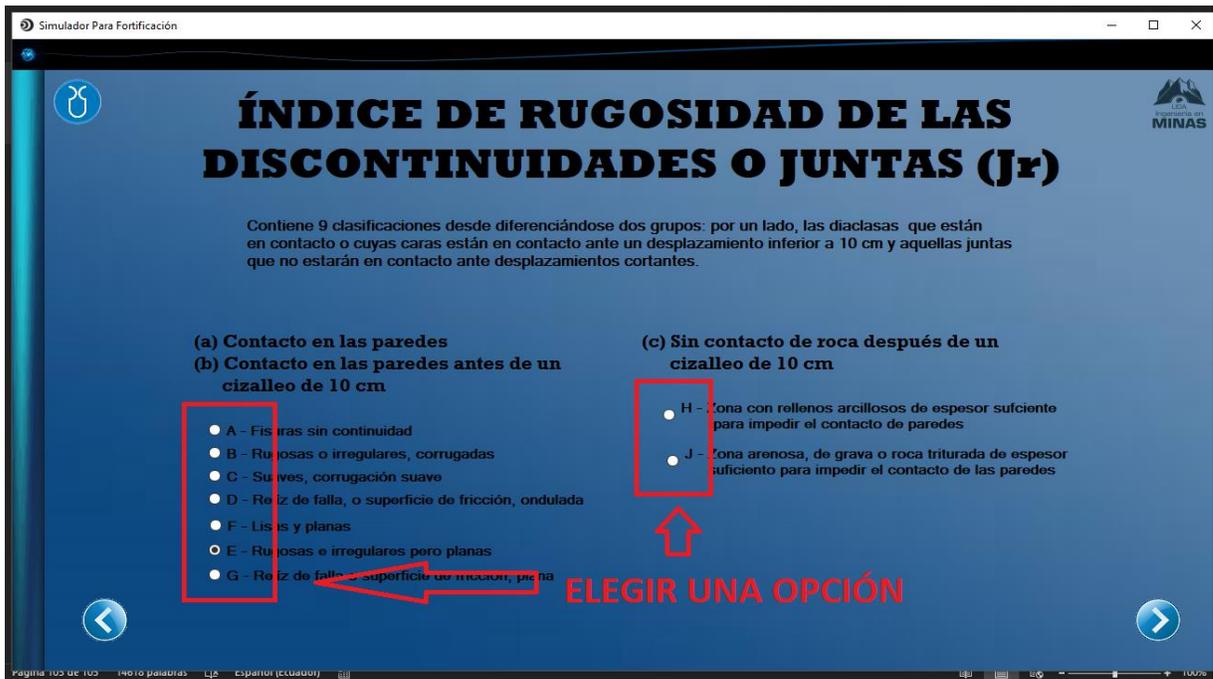
7- En la ventana del tiempo de autosostenimiento dar click en siguiente.



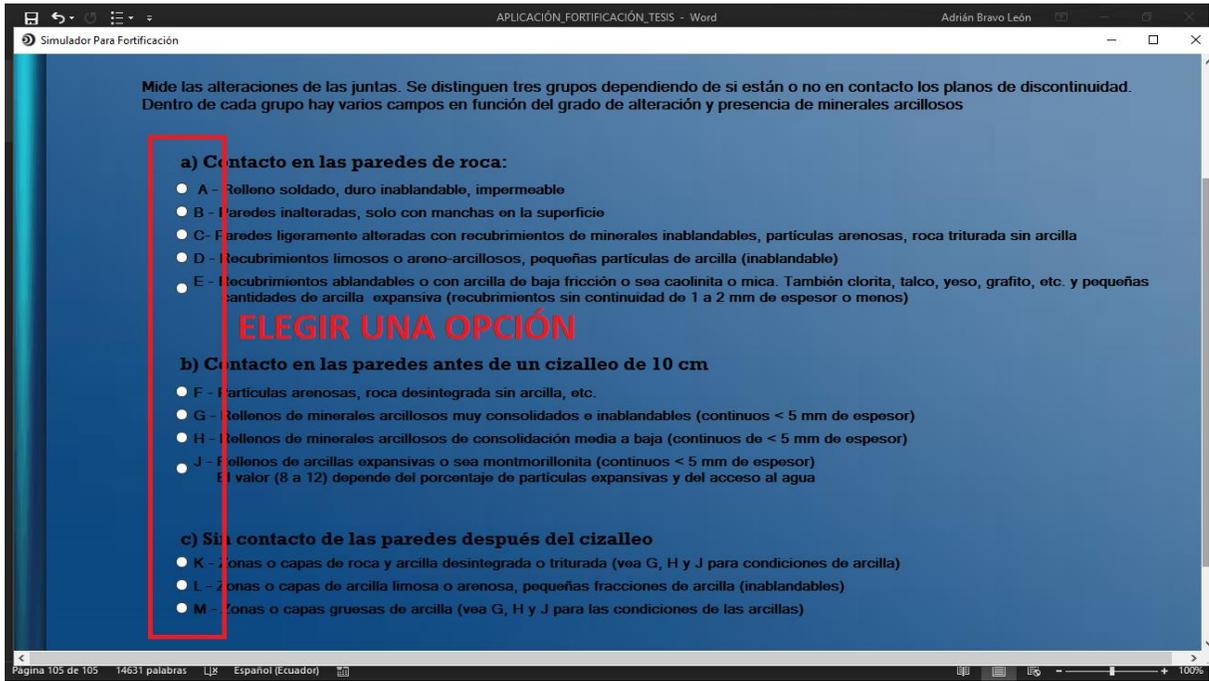
- 8- Seleccionar una opción para el puntaje de “Jn”, “Jr”, “Ja”, “Jw” y “SRF” en cada una de las respectivas ventanas y luego dar click en siguiente.



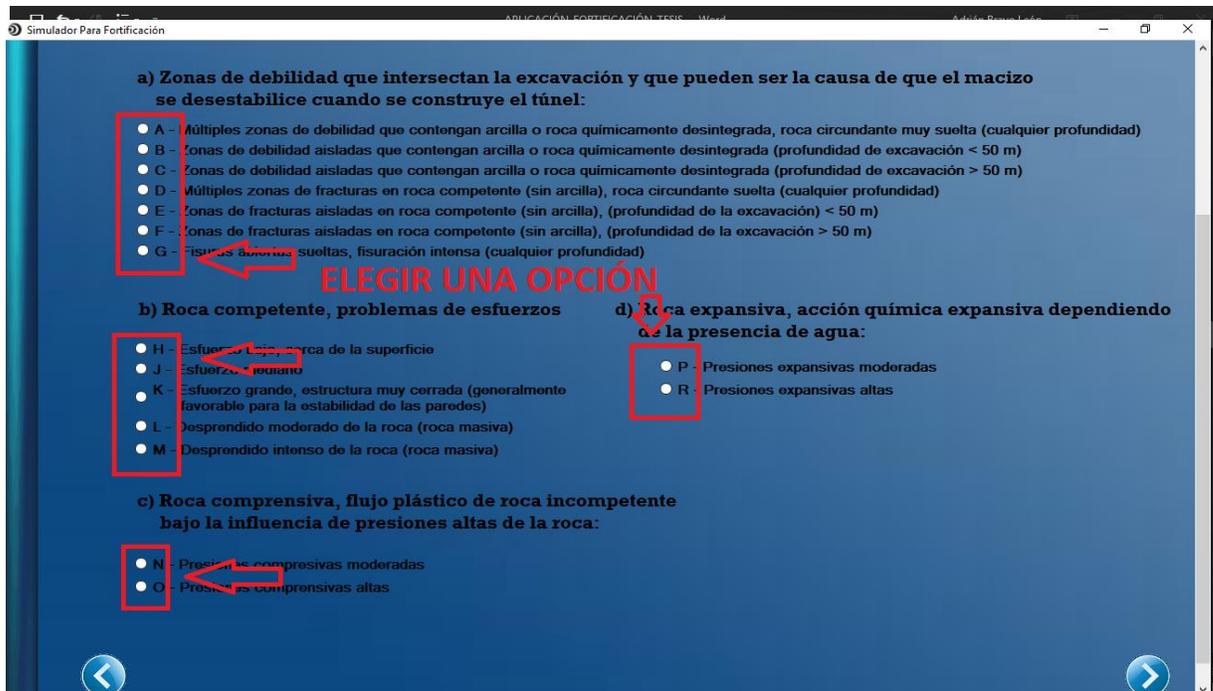
Elegir una opción y click en siguiente.



Elegir una opción y luego click en siguiente



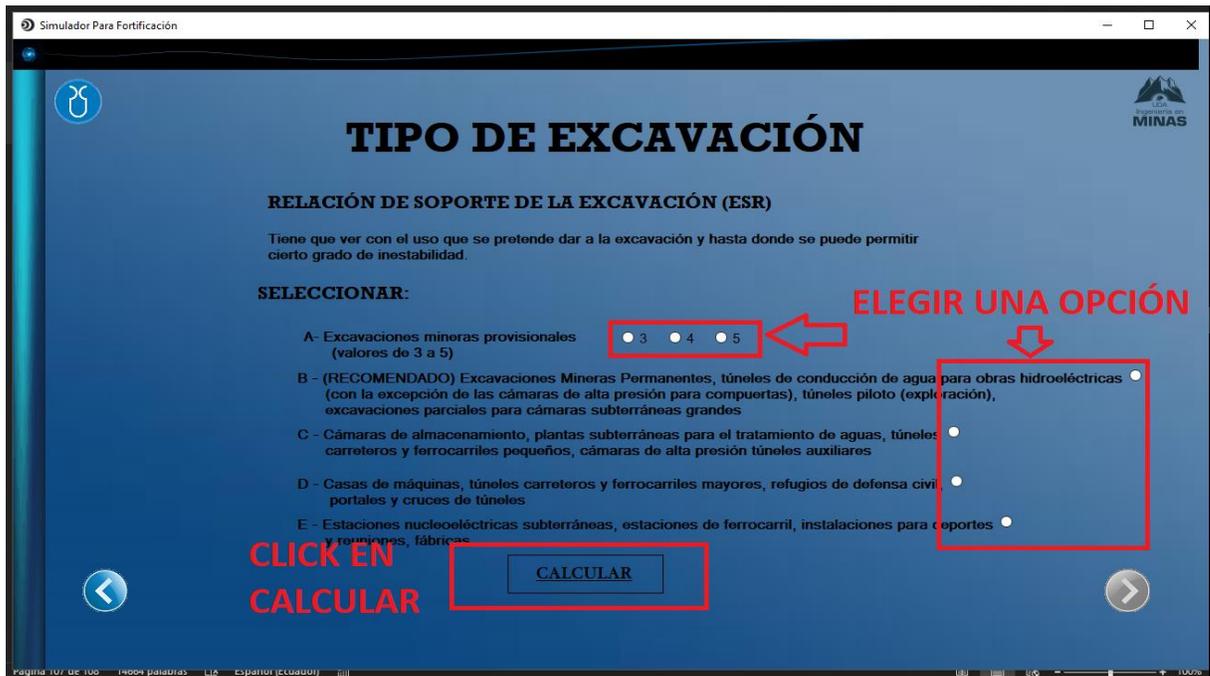
Elegir una opción y luego click en siguiente.



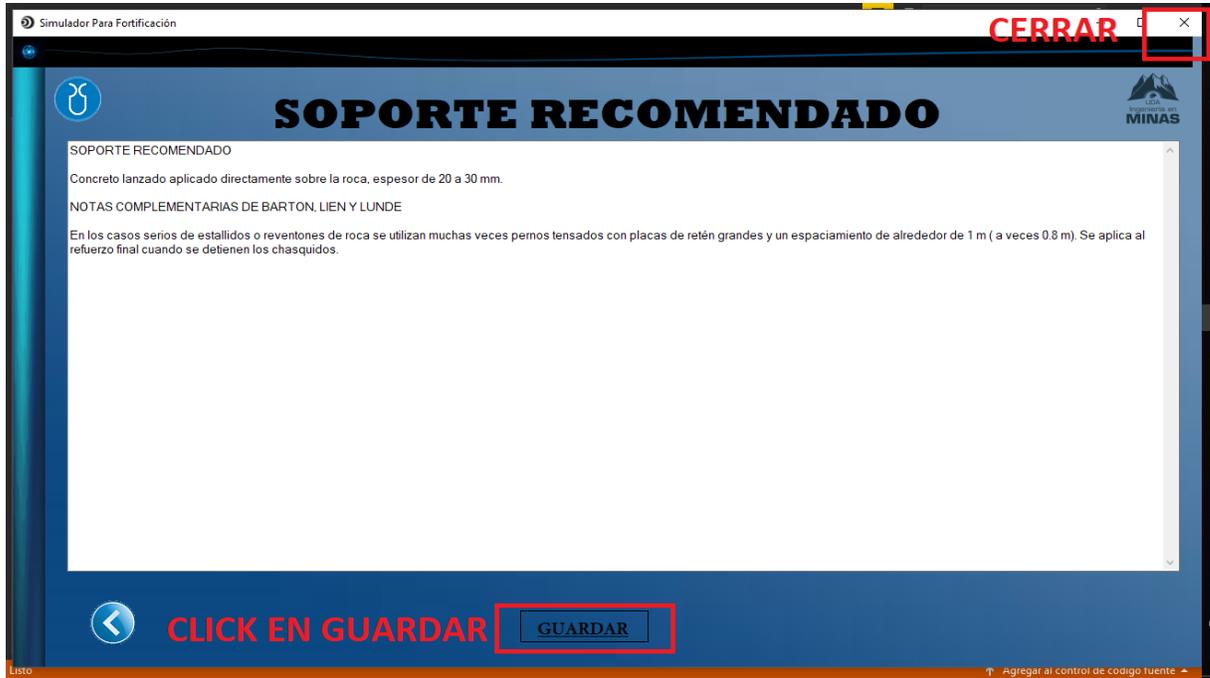
9- En la ventana del índice Q dar click en siguiente.



10- Elegir una de las opciones dadas, luego dar click en el botón calcular y click en siguiente.



11- Si desea exportar los resultados a un documento de Microsoft Word dar click en el botón GUARDAR o tan solo click en la X para cerrar la aplicación.



**ANEXO 2. Plantilla para generar reporte de resultados.**



### REPORTE DE FORTIFICACIÓN Y RESULTADOS

RMR	I
FACTOR DE SEGURIDAD	I
TIEMPO DE AUTOSOSTENIMIENTO	I
INDICE "Q"	I

TIPO DE SOPORTE RECOMENDADO
I

APP  
UDAFORMIN

**ANEXO 3. Logo de la Aplicación.**

