

## RESOLUCIÓN DE COMISIÓN ORGANIZADORA N° 0401-2016-UNAM

Moquegua, 14 de Diciembre de 2016.

VISTOS, el Informe N° 330-2016-EPIM/VIPAC/UNAM de 05 de Diciembre de 2016, Oficio N° 0508-2016-VIPAC/CO/UNAM, de 06 de Diciembre de 2016, Acuerdo de Sesión Extraordinaria de Comisión Organizadora de 07 de Diciembre de 2016,

### CONSIDERANDO:

Que, el párrafo cuarto del artículo 18° de la Constitución Política del Estado, concordante con el artículo 8° de la Ley N° 30220, Ley Universitaria, reconoce la autonomía universitaria, en el marco normativo, de gobierno, académico, administrativo y económico, que guarda concordancia con el Capítulo IV del Estatuto de la UNAM;

Que, el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, aprobado con Resolución de Comisión Organizadora N° 190-2016-UNAM de 05 de Agosto de 2016, establece en el Artículo 12°, que el proyecto de tesis es un trabajo de investigación individual que presentan los estudiantes del último año académico, egresados o bachilleres al Director de la Escuela Profesional, con la finalidad de resolver un problema objeto de estudio, asimismo, precisa en el Artículo 15° que todo proyecto de tesis debe tener un asesor principal, el cual deberá ser docente ordinario de la Escuela Profesional o de forma facultativa un docente contratado en la especialidad, que pertenezcan a la Escuela Profesional y de preferencia en la especialidad en el área que se investiga. El jurado dictaminador del proyecto, será designado por el Comité Asesor y el Director de la Escuela Profesional, el mismo que estará compuesto por tres miembros elegidos entre los docentes ordinarios y/o contratados, cuando no hubieran suficientes docentes ordinarios, conforme indican los artículos 18°, 19°, 20° del precitado Reglamento;

Que, mediante Informe N° 330-2016-EPIM/VIPAC/UNAM de 05 de Diciembre de 2016, el Ing. Agapito Flores Justo Director de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas solicita a Vicepresidencia Académica la aprobación del proyecto de tesis denominado: "Diseño de Sostenimiento Mediante la Calidad del Macizo Rocosos en Crucero 635 Proyecto Minero el Nuevo Sureño de Compañía Minera Chaspaya S.A.C. - 2016", presentado por el bachiller Jorge Fernando Chambi Laura, el mismo que según ficha de evaluación de proyecto de tesis de 01 de Diciembre de 2016 fue declarado apto, el mismo que fue registrado en los libros respectivos solicitando se emita el acto resolutorio de reconocimiento de aprobación de proyecto de tesis, así como la designación de asesor y miembros del jurado dictaminador, conforme se precisa en el Artículo 29° del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua;

Con Oficio N° 0508-2016-VIPAC/CO/UNAM, de 06 de Diciembre de 2016, el Dra. María Elena Echevarría Jaime Vicepresidenta Académica de la Universidad Nacional de Moquegua, solicita al Dr. Washington Zeballos Gámez Presidente de la Comisión Organizadora - UNAM, la emisión de acto resolutorio;

Que, en Sesión Extraordinaria de Comisión Organizadora de 07 de Diciembre de 2016, se acordó por UNANIMIDAD, Aprobar el proyecto de tesis en referencia, asimismo se acordó designar al Asesor de Tesis Mg. Cesar Augusto Villa Alagon y a los miembros del jurado dictaminador de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la UNAM, encargados de evaluar el trabajo de investigación.

Por las consideraciones precedentes, en uso de las atribuciones que le concede la Ley Universitaria N°30220, el Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua y lo acordado en Sesión Extraordinaria de Comisión Organizadora de 07 de Diciembre de 2016;

### SE RESUELVE:

**ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR**, el Proyecto de Tesis: "DISEÑO DE SOSTENIMIENTO MEDIANTE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO EN CRUCERO 635 PROYECTO MINERO EL NUEVO SUREÑO DE COMPAÑÍA MINERA CHASPAYA S.A.C. - 2016" presentado por el bachiller Jorge Fernando Chambi Laura, el mismo que obra inscrito en el Registro de Trabajos de Tesis de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial.

**ARTÍCULO SEGUNDO.- DESIGNAR**, al asesor de tesis y jurado dictaminador del Proyecto de Tesis: "DISEÑO DE SOSTENIMIENTO MEDIANTE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO EN CRUCERO 635 PROYECTO MINERO EL NUEVO SUREÑO DE COMPAÑÍA MINERA CHASPAYA S.A.C. - 2016", conforme al siguiente detalle:



UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA  
COMISIÓN ORGANIZADORA

**RESOLUCIÓN DE COMISIÓN ORGANIZADORA  
N° 0401-2016-UNAM**

ASESOR DE TESIS:

- MG. CESAR AUGUSTO VILLA ALAGON

JURADO DICTAMINADOR:

- |   |                                   |   |                 |
|---|-----------------------------------|---|-----------------|
| ➤ | ING. AGAPITO FLORES JUSTO         | : | PRESIDENTE      |
| ➤ | ING. ARQUIMEDES LEON VARGAS LUQUE | : | PRIMER MIEMBRO  |
| ➤ | ING. ERNESTO LARICANO FLORES      | : | SEGUNDO MIEMBRO |

**ARTÍCULO TERCERO.- ENCARGAR,** a la Vicepresidencia Académica de la Comisión Organizadora de la Universidad Nacional de Moquegua, adoptar las acciones administrativas necesarias, para el cumplimiento de la presente resolución.

**Regístrese, Comuníquese, Publíquese y Archívese.**



*[Signature]*  
**DR. WASHINGTON ZEBALLOS GÁMEZ**  
PRESIDENTE



*[Signature]*  
**ABOG. GUILLERMO S. KUONG CORNEJO**  
SECRETARIO GENERAL

Presidencia  
VIPAC  
VIP  
EPIM  
Interesada  
Arch. (2)



PERÚ

SUNEDU

Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria

UNAM

Universidad Nacional de Moquegua

VIPAC

Vice Presidencia Académica

EPIM

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas



“Año de la consolidación del Mar de Grau”

**INFORME N° 0330 - 2016 – EPIM/VIPAC/UNAM**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA  
VICEPRESIDENCIA ACADÉMICA  
**RECIBIDO**  
06 DIC 2016  
Hora: 10:45 N° Reg: 4621  
Firma: [Signature] Folio: 5 + 1 anexo

**A :** DRA. MARIA ELENA ECHEVARRIA JAIME  
Vicepresidenta Académica - UNAM.

**ASUNTO :** SOLICITO EMISIÓN DEL ACTO RESOLUTIVO APROBATORIO DEL PROYECTO DE TESIS, RATIFICACIÓN DE LOS ASESORES Y EL JURADO DICTAMINADOR.

**REFERENCIA :** INFORME N° 010-2016-AFJ-DO-EPIM/UNAM

**FECHA :** Moquegua, 05 de diciembre de 2016.

Mediante el presente me es grato dirigirme a usted para hacerle llegar mi cordial saludo y a la vez, solicitarle la emisión del acto resolutorio aprobatorio del Proyecto de Tesis, Ratificación de los Asesores y el Jurado Dictaminador del proyecto de tesis el mismo que quedan inscrito en el Libro de Proyecto de Tesis de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, el cual se detalla:

**“DISEÑO DE SOSTENIMIENTO MEDIANTE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO EN CRUCERO 635 PROYECTO MINERO EL NUEVO SUREÑO DE COMPAÑIA MINERA CHASPAYA S.A.C. - 2016”**

- ✚ Tesista : Bach. Jorge Fernando Chambi Laura
- ✚ Asesor : Mgr. Cesar Augusto Villa Alagón

**Jurado Dictaminador:**

- ✚ Ing. Agapito Flores Justo – Presidente
- ✚ Ing. Arquímedes León Vargas Luque – Primer Miembro
- ✚ Ing. Ernesto Laricano Flores – Segundo Miembro

Proyecto que quedo expedido para su ejecución, y de acuerdo al reglamento vigente el tesista dispone de un plazo máximo de dos (02) años para la ejecución y sustentación del trabajo de tesis, a partir de la fecha de aprobación del proyecto.

Por tal motivo requiero sea emitido el acto resolutorio y la ratificación de los asesores y el jurado dictaminador.

Es todo en cuanto informo para su conocimiento y demás fines.

Atentamente,

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA  
ING. MINAS CIP. 03742  
**AGAPITO FLORES JUSTO**  
DIRECTOR E.P. ING. DE MINAS

*Cons. p. 10*

VICEPRESIDENCIA ACADÉMICA  
Fecha: [blank] Prov. N°: 4621  
Folios: 5 + 1 anexo. Pasa a: [Signature]  
Para: aprobación mediante  
Acto Resolutorio.  
Firma: [Signature]

AFJ/DEPIM.  
dycl/sec



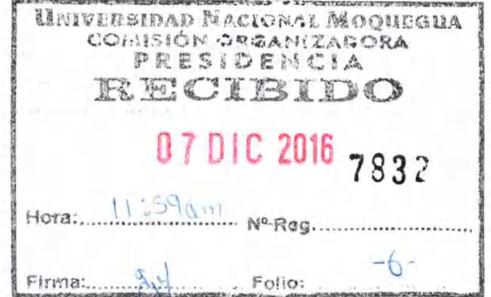
Universidad Nacional de Moquegua
Vicepresidencia Académica

"Año de la Consolidación del Mar de Grau"

Moquegua, 06 de diciembre del 2016.

OFICIO N° 0508-2016-VIPAC-CO/UNAM

SEÑOR:
Dr. WASHINGTON ZEBALLOS GAMEZ
PRESIDENTE DE LA COMISIÓN ORGANIZADORA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA
Presente.-



ASUNTO : RESOLUCIÓN DE APROBACIÓN DE PROYECTO DE TESIS, RECONOCIMIENTO DE ASESOR Y JURADO DICTAMINADOR

REFERENCIA : INFORME N° 330-2016-EPIM/VIPAC/UNAM

Mediante el presente es grato dirigirme a usted, para saludarlo cordialmente y a la vez manifestarle que visto el documento de la referencia, presentado por el Ing. AGAPITO FLORES JUSTO Director de la Escuela Profesional de Ingenieria de Minas, quien solicita la emisión de la respectiva resolución aprobando el Proyecto de Tesis denominado "DISEÑO DE SOSTENIMIENTO MEDIANTE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO EN CRUCERO 635 PROYECTO MINERO EL NUEVO SUREÑO DE COMPAÑÍA MINERA CHASPAYA S.A.C. - 2016" del Tesista Bach. Jorge Fernando Chambi Laura.

Asimismo, según el Reglamento de Grados y Títulos, es necesario se proceda al reconocimiento oficial vía acto resolutivo del Jurado Dictaminador y el Asesor del mencionado proyecto de Tesis:

Jurado Dictaminador:

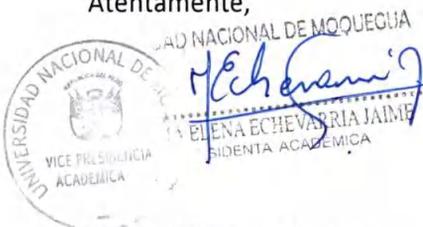
- Presidente : Ing. Agapito Flores Justo
Primer Miembro : Ing. Arquímedes León Vargas Luque
Segundo Miembro : Ing. Ernesto Laricano Flores
Asesor : Mgr. Cesar Augusto Villa Alagón



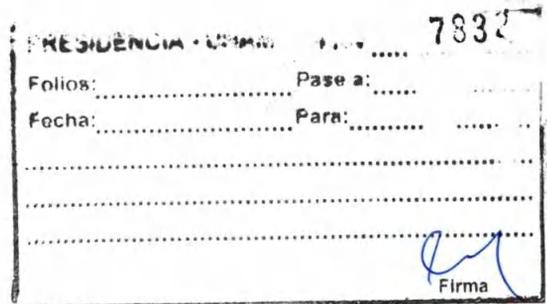
Por lo expuesto, solicito la aprobación mediante acto resolutivo.

Agradeciendo la atención al presente, hago propicia la ocasión para reiterarle los sentimientos de mi especial consideración y estima personal.

Atentamente,



Adjunto (05) folios + 01 anillado



MEEI/VIPAC
Lum/Sec.
C.c./Archivo.



**Informe N° 0010-2016-AFJ-EPIM-VIPAC-UNAM**

**A** : Director de la Escuela Profesional de Ingeniera de Minas  
**DE** : Ing. Agapito Flores Justo  
 Presidente del jurado calificador de proyecto de tesis  
**Ref** : Memo 0011 -2016-DO/EPIM  
**Asunto** : Dictamen del Proyecto de Investigación  
**Fecha** : Moquegua,02 Diciembre. 2016

Mediante la presente me dirijo a Ud. para saludarlo muy cordialmente y a la vez hacerle llegar adjunto, el dictamen del proyecto de investigación del Proyecto de tesis **“Diseño de sostenimiento mediante la calidad del macizo rocoso en crucero 635 proyecto minero el nuevo sureño Cia Minera Chaspaya SAC-2016”** Presentado por el Bach. Jorge Fernando Chambi Laura. En el cual los tres Miembros integrantes reunidos para la revisión de levantamiento de observaciones según documento de la Ref. Ing. Agapito Flores justo presidente , Ing. Arquimedes Vargas Luque (miembro) y Ing. Ernesto Iaricano Flores ( Miembro) .En mérito a la absolución de observaciones del Proyecto de investigación declarar **APTO.** En consecuencia desarrollar dicho Proyecto de tesis y solicitar la Aprobación mediante Acto Resolutivo.

Es cuanto informo a Ud. para conocimiento y los fines convenientes.

Atentamente

  
 Ing. Agapito Flores Justo  
 Docente.

Adj.  
 Dictamen del Proyecto de Tesis  
 Ejemplares Del Py(03)



**MEMORANDON°0011-D.O.-EPIM-2016**

**A** : Ing. Arquimides Vargas Luque  
Ing. Ernesto Laricano Flores  
Ing. Cesar Villa Alagon (asesor)  
Tesista: Bach. Jorge Fernando Chambi Laura

**DE** : Ing° Agapito Flores Justo  
Pdte de comisión de jurado de tesis

**ASUNTO** : **Citación para Revisión de observ. de Proyecto de Tesis.**

**FECHA** : Moquegua,29 Noviembre de 2016.

---

Tengo el agrado de dirigirme a Ud. para saludarlos y a la vez convocarlos a una reunión de comisión de jurado Calificador de Proyecto de tesis, "**Diseño de sostenimiento mediante la calidad del macizo rocoso en el cruce 635, Proyecto minero el nuevo sureño de la Cia Minera Chaspaya Sac-2016**", presentado por el Bach. Jorge Fernando Chambi Laura..de acuerdo al Reglamento de grados y Titulos.

Día : 1- 12-.2016 Hora : 12.Pm .Lugar : Sala de Docentes

Atentamente



---

Ing. Agapito Flores Justo

Presidente de la Comisión de Jurado de tesis

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS**  
COMITÉ ASESOR

**DICTAMEN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

(El presente deberá ser llenado por el Jurado dictaminador del proyecto de investigación, en una reunión conjunta con todos sus miembros, después de haber compatibilizado sus sugerencias)

TITULO DEL PROYECTO DE TESIS:

DISEÑO DE SOSTENIMIENTO MEDIANTE LA CAVIDAD DEL  
MACROPOSO EN EL CRUCERO 635 PROYECTO MINERO EL NUEVO SOREANO  
DE LA COMPANIA MINERA CHASPATA SAC. -2016

TESISTA: JOSE FERNANDO CHAMBI LAURA

ASESOR: Cesar Villa ALAGON

AREA/LINEA DE INVESTIGACIÓN:

GEOTECNIA - (MECANICA DE TIERRAS)

1. ¿El título tentativo refleja el tema y problema objeto de estudio? SI (X)  
NO ( )

Se sugiere cambiar a: .....

2. ¿El problema de estudio concuerda con las líneas, programas de áreas de investigación de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas? SI (X)  
NO ( )

Se sugiere: .....

3. ¿Caracteriza adecuadamente el Problema Objeto de Estudio? SI (X)  
NO ( )

Se sugiere:

4. ¿Justifica su proyecto de investigación? SI (X)  
NO ( )

Se sugiere: .....

5. ¿Establece el Marco Teórico Referencial y Conceptual en forma ordenada con su tema de investigación? SI (X)  
NO ( )

Se sugiere: .....

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS**  
COMITÉ ASESOR

6. ¿Plantea adecuadamente las hipótesis de acuerdo con el tema de investigación?

SI (X)  
NO ( )

Se sugiere: .....

7. ¿Determina en forma precisa los objetivos generales y específicos?

SI (X)  
NO ( )

Se sugiere: .....

8. ¿En la metodología establece el procedimiento y técnicas de investigación?

SI (X)  
NO ( )

Se sugiere: .....

9. ¿Se ha revisado suficientemente la bibliografía y fuentes de información para la elaboración del marco teórico?

SI (X)  
NO ( )

Se sugiere: .....

SEÑOR PRESIDENTE DEL COMITÉ ASESOR DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS.  
En merito a la evaluación del Proyecto de Investigación, el Jurado declara:

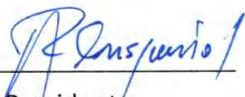
APTO (X)

Por tanto debe ser inscrito en el Libro de Proyectos de Investigación de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas.

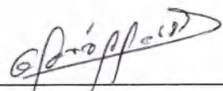
NO APTO ( )

Por tanto el tesista debe corregir las observaciones efectuadas por el Jurado Dictaminador en el presente formato y presentarlo oportunamente para una nueva revisión y evaluación.

Moquegua C.U., a los 01 días del mes de diciembre del 2010

  
\_\_\_\_\_  
Presidente

  
\_\_\_\_\_  
Primer Miembro

  
\_\_\_\_\_  
Segundo Miembro

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



**PROYECTO DE INVESTIGACION**

**“DISEÑO DE SOSTENIMIENTO MEDIANTE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO  
EN CRUCERO 635 PROYECTO MINERO EL NUEVO SUREÑO DE COMPAÑÍA  
MINERA CHASPAYA SAC - 2016”**

**PRESENTADA POR EL BACHILLER  
JORGE FERNANDO CHAMBI LAURA  
PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO DE MINAS**

**MOQUEGUA-PERÚ**

**2016**

## INDICE

<b>I.</b>	<b>DATOS GENERALES</b>	<b>3</b>
1.1	TITULO	3
1.2	AUTOR	3
1.3	LUGAR DE INVESTIGACIÓN	3
1.4	ASESOR	3
<b>II.</b>	<b>PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>3</b>
2.1	DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.	3
2.2	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	5
2.3	JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	5
2.4	FORMULACIÓN DE OBJETIVOS	6
2.5	FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS	6
<b>III.</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b>	<b>7</b>
3.1	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	7
3.2	BASES TEÓRICAS.	11
3.3	MARCO CONCEPTUAL	24
<b>IV.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b>	<b>45</b>
4.1	TIPO Y DISEÑO	45
4.2	NIVEL DE INVESTIGACIÓN	46
4.3	OPERACIONALIZACION DE VARIABLES	46
4.4	POBLACIÓN Y MUESTRA	49
4.5	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS	50
4.7	MÉTODOS Y TÉCNICAS PARA LA PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS	55
<b>V.</b>	<b>ASPECTOS ADMINISTRATIVOS</b>	<b>56</b>
5.1	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	56
5.2	RECURSOS HUMANOS	57
5.3	BIENES	58
5.4	SERVICIOS	58
5.5	FUENTES DE FINANCIAMIENTO Y PRESUPUESTO	59
5.6	MATRIZ DE CONSISTENCIA	60
<b>VI.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>61</b>
6.1	BIBLIOGRAFIA	61

## **I. DATOS GENERALES**

### **1.1 TITULO**

“DISEÑO DE SOSTENIMIENTO MEDIANTE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO EN CRUCERO 635 PROYECTO MINERO EL NUEVO SUREÑO DE COMPAÑÍA MINERA CHASPAYA SAC - 2016”

### **1.2 AUTOR**

Bach. Jorge Fernando Chambi Laura

### **1.3 LUGAR DE INVESTIGACIÓN**

Proyecto Minero El Nuevo Sureño – Compañía Minera Chaspaya SAC

### **1.4 ASESOR**

Ing. Cesar Augusto Villa Alagón

## **II. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **2.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.**

Proyecto Minero El Nuevo Sureño de la Compañía Minera Chaspaya SAC en el marco de la Ley General de Minería D.S. 014-92 y el D.S. 055 -2010 Ley de Seguridad y Salud ocupacional en Minería ha establecido la ejecución de una excavación de Crucero 635 y Crucero 615, la ejecución del crucero tiene objetivo fundamental de alcanzar a las vetas mineralizadas con óxido de cobre consecuentemente evaluar el diseño del método de explotación planteado de ser necesario adicionar algunas variantes de acuerdo a la estructura mineralizada, las características geométricas de la excavación de Crucero 635 varían de 2.55x.2.55 m, 2.60m x 2.60m y mayormente tiene una sección de 2.70m x 2.70m en un macizo rocoso conformado por dioritas bandeadas de grano medio, la estructura litológica presenta discontinuidades mayores y discontinuidades menores que inciden directamente en la sección de la excavación adicionando a ello los esfuerzos tenso deformacionales que interactúan en el macizo rocoso circundante de la excavación el avance de la excavación del Crucero 635 está a una profundidad de 120 m aproximadamente. En donde el desprendimiento de rocas del techo de la excavación se ha acentuado más con la profundización, siendo una empresa nueva

dedicada a la actividad minera aún no tiene implementado el área de geología y geomecánica lo que ha motivado la realización del presente trabajo de investigación.

Debido a la presencia de las discontinuidades de acuerdo al tamaño de la sección de la excavación se ha presentado mayormente el desprendimiento de rocas del techo de la excavación, estos desprendimientos de bloques de rocas de dioritas bandeadas han causado daños en equipos, en trabajadores e instalaciones auxiliares, pérdidas de tiempos en avance de excavación, que en suma repercuten en el costos por lo que se considera un serio problema, la solución a este problema de desprendimiento rocas del techo y hastiales de la excavación se inicia con la determinación de la calidad del macizo rocoso que conduce al inmediato control de estos desprendimientos de rocas mediante un soporte adecuado ya sea activo o pasivo, la dirección preferencial de avance de la excavación para tener mejores condiciones de estabilidad de las mismas o menor cantidad de sostenimiento, establecer las dimensiones de la excavación conforme se requieren para la mecanización considerando el tamaño de los equipos. Para el diseño de sostenimiento adecuado es necesario llevar a cabo investigaciones geomecánicas básicas de la masa rocosa de esta parte del yacimiento mediante la aplicación de las clasificaciones geomecánicas más usadas y un número de análisis para evaluar las condiciones de estabilidad de la excavación así de esa manera dar la solución de los problemas de inestabilidades que puedan surgir por el rendimiento deficiente de algunas estructuras rocosas.

Para determinar la calidad del macizo rocoso mediante las clasificaciones geomecánicas se requieren trabajos in-situ es decir en el mismo terreno, trabajos en laboratorio de mecánica de rocas, y trabajos en gabinete considerado como trabajos post proceso los que serán obtenidos para determinar los parámetros geomecánicos indispensables. Además de acuerdo a la disponibilidad de informaciones se consideran necesarias datos de origen secundario y datos de origen primario que se consideran válidos de acuerdo a la metodología de investigación científica (Rodríguez y Rodríguez 1986).

## 2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

### 2.2.1 Interrogante General

¿De qué manera se puede diseñar el sostenimiento apropiado para evitar desprendimiento de rocas en crucero 635 mediante la determinación de la calidad del macizo rocoso en proyecto minero El Nuevo Sureño de Compañía Minera Chaspaya SAC?

### 2.2.2 Interrogantes Secundarias

- ¿De qué manera se puede determinar la calidad del macizo rocoso en crucero 635 de proyecto minero el Nuevo Sureño de la Compañía Minera Chaspaya SAC?
- ¿De qué manera se puede diseñar el sostenimiento apropiado en crucero 635 de proyecto minero El Nuevo Sureño de la Compañía Minera Chaspaya SAC?

## 2.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

“Cuando se va a iniciar una investigación es necesario demostrar que sus resultados pueden ser útiles para resolver un problema importante o explicar un fenómeno relevante” (Ávila, 2001: p. 85), así Tafur (1995: p. 145) afirma que “consiste en el señalamiento de la importancia de la tesis”.

El presente trabajo de investigación de diseño de sostenimiento mediante la calidad del macizo rocoso en crucero 635 proyecto minero El Nuevo Sureño de Compañía Minera Chaspaya SAC se considera importante en la actualidad en conformidad a las normas legales vigentes en donde se estipula el sostenimiento geomecánico para evitar el desprendimiento de rocas del techo de excavaciones mineras subterráneas ya sean galerías permanentes o temporales, para disminuir y evitar el desprendimiento de rocas que parte directamente de la determinación de la calidad del macizo rocoso mediante las clasificaciones geomecánicas, cuyo aporte será beneficioso para la Compañía Minera Chaspaya SAC y otras empresas mineras dedicadas a la extracción subterránea de minerales.

El presente trabajo de investigación también es importante para los profesionales mineros y civiles del área de geomecánica que pueden ser tomados en cuenta para el diseño y dimensionamiento de las excavaciones subterráneas.

Desde el punto de vista científico académico el presente trabajo de investigación puede ser considerado útil para los docentes y estudiantes de las ramas de ingeniería de minas, geología y metalurgia.

Además en el aspecto social el aporte para los trabajadores en donde el medio en donde realizan sus actividades cotidianas es estable sin desprendimiento de rocas y se evitara cualquier accidente mediante el uso de sostenimiento adecuado.

El presente trabajo de investigación es viable porque se requiere la información pertinente sobre la calidad del macizo rocoso para el diseño de galerías, tajos, etc. Cuyo aporte beneficiará a la Compañía Minera Chaspaya SAC

## 2.4 FORMULACIÓN DE OBJETIVOS

### 2.4.1 Objetivo General

Diseñar el sostenimiento apropiado para evitar desprendimiento de rocas en crucero 635 mediante la determinación de la calidad del macizo rocoso en proyecto minero el Nuevo Sureño de Compañía Minera Chaspaya SAC.

### 2.4.2 Objetivos Específicos

- Determinar la calidad del macizo rocoso en crucero 635 de proyecto minero el Nuevo Sureño de la Compañía Minera Chaspaya SAC.
- Diseñar el sostenimiento apropiado en crucero 635 de proyecto minero el Nuevo Sureño de la Compañía Minera Chaspaya SAC.

## 2.5 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

### 2.5.1 Hipótesis General

Mediante la determinación de la calidad del macizo rocoso se logrará diseñar el sostenimiento apropiado para evitar desprendimiento de rocas en crucero 635 de proyecto minero El Nuevo Sureño de Compañía Minera Chaspaya SAC.

## 2.5.2 Hipótesis Específicas

- Mediante la evaluación geomecánica de la litología estructural se logrará determinar la calidad del macizo rocoso en crucero 635 de Proyecto Minero el Nuevo Sureño de Compañía Minera Chaspaya SAC.
- Conociendo la calidad del macizo rocoso se logrará diseñar el sostenimiento apropiado para evitar desprendimiento de rocas en crucero 635 de Proyecto Minero el Nuevo Sureño de Compañía Minera Chaspaya SAC.

## III. MARCO TEÓRICO

### 3.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Para Tamayo y Tamayo (2001), se trata de hacer una síntesis conceptual de las investigaciones y trabajos realizados sobre el problema formulado, con el propósito de ayudar al investigador a definir estrategias metodológicas de la investigación se establecen los antecedentes de la investigación, para lo cual se ha realizado la consulta de diversas fuentes y estudios previos relacionados con las variables de estudio, como son la calidad del macizo rocoso y el tipo de soporte en una excavación subterránea. Dichas investigaciones, constituyen un apoyo para lograr un marco referencial en la presente investigación. En este sentido, se han seleccionado los siguientes trabajos:

Según Bustamente (2008), tesis posgrado con título Geomecánica aplicada en la prevención de pérdidas por caída de rocas Mina Huanzalá –Cía Minera Santa Luisa S.A. " de la Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica, Sección Pos grado: Hoy en día la geomecánica juega un papel muy importante en la industria minera, en lo que es la estabilidad de la masa rocosa, esto por la aberturas que existen en las minas como consecuencia de las operaciones mineras. La geomecánica es una herramienta muy valiosa que permite entre otras cosas, establecer dimensiones adecuadas de las labores mineras, establecer la dirección general de avance de minado a través del cuerpo mineralizado, especificar el sostenimiento adecuado, asegurar el rendimiento adecuado de la masa rocosa involucrada con las operaciones, etc. El objetivo de la presente tesis se contribuir en reducir los accidentes (incapacitantes y fatales),

daños a la propiedad (equipos e instalaciones). Y para reducir daños a procesos, operaciones a la mina Huanzalá, mediante un estudio geomecánico y un sostenimiento adecuado de las labores mineras. Tales como: Pernos de anclaje, cables bolting, shotcrete por vía seca-vía húmeda y la malla metálica.

Aguilar (2006) tesis titulado Caracterización geotécnica y estructural de la rampa de exploración y del túnel de drenaje, Mina Chuquicamata de la Universidad de Chile Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Geología; en resumen menciona: Entre los años 2003 y 2005 se realizó la excavación de aproximadamente 6.200 m de túneles correspondientes a la Rampa de Exploración y al Túnel de Drenaje de la mina Chuquicamata. Se entrega en este trabajo la caracterización geotécnica-estructural y la definición de soporte de estos desarrollos subterráneos sobre la base del levantamiento geotécnico de las labores subterráneas, aplicando el sistema de clasificación geotécnica mediante el índice Q de Barton (1974), se establecen en forma empírica los requerimientos de fortificación adecuada y suficiente para la estabilidad de los túneles. Las excavaciones subterráneas que se extienden en una franja Nor -Este de 2.400 m de largo por 600 m de ancho, se realizaron principalmente en el pórfido granodiorítico denominado Pórfido Este, huésped de la mineralización de cobre y molibdeno del yacimiento Chuquicamata. Subordinadamente también se excavaron rocas intrusivas estériles como las granodioritas Fortuna y Elena y una unidad de sedimentos mesozoicos afectadas por metamorfismo dinámico y de contacto. Las unidades litológicas y de alteración presentan características geotécnicas homogéneas (unidades geotécnicas) que han sido reconocidas en los desarrollos subterráneos. De igual manera, se distinguen áreas con patrones estructurales propios, en función de la influencia de las fallas principales del yacimiento, y de la condición de las familias de fallas y diaclasas (Dominios Estructurales). La calidad geotécnica del macizo rocoso en los túneles varía predominantemente de Buena a Regular con índice Q de Barton entre 2 y 30, RQD entre 60% y 90%, con una resistencia de la roca estimada entre 50 MPa y 120 MPa. Para estas condiciones, se determinó fortificar los desarrollos con pernos sistemáticos y malla tejida tanto en la bóveda como en la parte superior de las paredes. Para esta calidad de roca, solo puntualmente se requirió de la proyección de shotcrete en zonas con fracturamiento intenso y humedad.

Mamani T. (2014), tesis "Diseño de sostenimiento en galería 650-Nivel 3415 por método de elementos finitos en Minas Arirahua S.A. de la Universidad Nacional del Altiplano Facultad de Ingeniería de Minas en su conclusión menciona: La calidad del macizo rocoso en la Galería 650 Nivel 3415 progresiva 0-20 tramo 1 de la compañía minera Arirahua S.A. (MINARSA de acuerdo a la clasificación de Bieniawski) es de tipo de roca de categoría III de calidad regular en la clasificación de Z. Bieniawski para un RMR de 53 cuyo RMR Básico es 65, el RMR Corregido:  $65-12=53$ , al valor de RMR en la tabla de la clasificación geomecánica le corresponde los siguientes valores a tomarse en cuenta en el proceso de la excavación de la galería 650 Nivel 3415 Progresiva 0-20 tramo 1: tiempo aproximado de auto soporte: es de 1 mes de acuerdo al ábaco propuesto por Lauffer modificado por Bieniawski en 1989 en tipo de roca regular a buena para un claro de 3 metros en el techo de la excavación, mediante la correlación de RMR de Bieniawski y Q de Barton se logra determinar el valor de índice Q que es aproximadamente a 2.7, de acuerdo a la tabla propuesta por Paul Marinos y Hoek el GSI es aproximadamente a 78 corroborado con Roc Lab donde el GSI es de 77 con un RQD DE 55.6% es un tipo de roca moderadamente fracturada sobre buena (F/B) de acuerdo a la referencia de la Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía. El tipo de sostenimiento activo y adecuado en Galería 650 Nivel 3415, progresiva 0-20 Tramo 1 de acuerdo a la calidad del macizo rocoso.

Según Carhuamaca (2009), tesis con título "Evaluación y optimización del sostenimiento con cimbras en minería subterránea" de la Universidad Nacional de Ingeniería Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica, Escuela de Formación Profesional de Ingeniería de Minas: El trabajo tiene como objetivo ampliar el conocimiento del uso de las cimbras metálicas en el sostenimiento en minería subterránea, mediante el control y registro de las mediciones de convergencia, lo que nos permitirá mejorar nuestra metodología de diseño inicial y tomar medidas de control apropiadas en el tiempo oportuno a un costo óptimo cuando se tengan problemas de altos esfuerzos o deterioro de cimbras por influencia de factores hidrogeológicos adversos. Asimismo en el presente trabajo se indica las principales medidas de control tomados frente a los problemas del agua subterránea tales como: Taladros de trasvase, taladros de drenaje, impermeabilización y cunetas de coronación en superficie alrededor del cono de

subsistencia. La información recolectada (teórica - campo) y analizada nos permite conocer: diseños teóricos para sostenimiento con cimbras (arcos de acero) y elegir aquel que más se ajuste a nuestra realidad.

Córdova R. (2008) en su tesis de postgrado con el título "Geomecánica en el minado subterráneo caso mina condestable" de la Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica Escuela de Formación Profesional de Ingeniería de Minas en su resumen considera: La mecánica de rocas o más ampliamente la geomecánica, tal como se le conoce en la actualidad, es una disciplina que en las últimas tres décadas ha tenido grandes progresos, convirtiéndose en una herramienta tecnológica más en la industria minera en particular y en otras ramas de la ingeniería en general. Para su aplicación efectiva al minado subterráneo, a donde se dirige la presente tesis, las actividades geomecánicas que se realizan en una mina deben ser conducidas en un medio ambiente organizacional que permita la integración de conceptos, información y actividad analítica de parte de todo el personal involucrado con la explotación de la mina. Basado en la experiencia del autor de esta tesis, a través de numerosos estudios e investigaciones realizadas en minas del país y del extranjero, y basado también en la revisión de la literatura especializada, se ha tratado aquí de sistematizar la metodología de la aplicación de la geomecánica al minado subterráneo, para luego llevar esta metodología al caso de la Mina Condestable, buscando alternativas de solución a los problemas geomecánicos encontrados en esta mina. Se espera que esta tesis pueda servir de guía a los ingenieros dedicados a esta rama de la ingeniería y también a los estudiantes de ingeniería de minas y áreas afines, en la aplicación de la geomecánica al minado subterráneo, de tal manera que esta herramienta tecnológica se constituya en un apoyo efectivo al diseño, planeamiento y operación de minas, contribuyendo a mejorar los estándares de seguridad y eficiencia de las operaciones mineras.

Según López F. (2009), tesis titulado Sostenimiento con pernos tipo Fore Pilling en la mina Pallca-CIA Minera Santa Luisa de la Universidad Nacional de Ingeniería Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica, Escuela de Formación Profesional de Ingeniería de Minas: Se ha realizado en la mina antes mencionada, localizada en la Cordillera andina pertenece a los yacimientos de Pallca.

Constituyéndose como una nueva inversión de Mitsui Mining & Smelting Co. Ltd. de Japón. El Proyecto describe fundamentalmente como se mejoró el ciclo de minado gracias al uso del sostenimiento con fore pilling, como sostenimiento preventivo; más instalación de pernos de 8 pies como sostenimiento definitivo y la aplicación de concreto lanzado o shotcrete. Con la aplicación de este sostenimiento se han podido atravesar terrenos muy críticos mediante la determinación de la calidad de la masa rocosa.

### 3.2 BASES TEÓRICAS.

Según Hernández, Fernández y Baptista (2006), constituyen el fundamento científico del conocimiento en el trabajo de investigación, pues sobre esta gira el procedimiento en el recorrido en cada uno de los capítulos. Por consiguiente, las bases teóricas forman la plataforma sobre la cual se construye el análisis de los resultados obtenidos en el trabajo, sin ella no se puede analizar los resultados. A continuación se nombran las bases teóricas de esta investigación.

#### 3.2.1 Índice de la calidad de la roca (RQD).

El índice de designación de la calidad de la roca RQD (Rock Quality Designation), fue desarrollada por Deere et al. (1963) para proveer un estimado cuantitativo de la calidad de la masa rocosa, a partir de los testigos de la perforación diamantina. El RQD es definido como la relación entre la suma de las piezas de testigo intactos con longitudes de mayores de 100 mm (4 pulgadas) y la longitud total del testigo en una corrida, expresada en porcentajes. El testigo deberá tener por lo menos un diámetro NX (54.7 mm ó 2.15 pulgadas). La correcta forma de proceder el cálculo de RQD en testigos se muestra en la siguiente figura:

$$RQD = \frac{\sum \text{Longitud de testigo con } L \geq 100\text{mm en la corrida}}{\text{Longitud total de corrida}} \times 100$$

Deere propuso la siguiente relación entre el valor numérico RQD y la Calidad de la roca desde el punto de vista en la Ingeniería:

Tabla 3.1. RQD-Calidad de la roca

RQD	Calidad de la roca
90 - 100 %	Muy buena
75 - 90 %	Buena
50 - 75 %	Regular
25 - 50 %	Mala
< 25%	Muy mala

Fuente. Deere et al 1963

Según la relación el RQD es una recuperación de testigo modificada y expresa en cierta forma el grado de fracturamiento de la roca. Al no disponer de sondajes diamantinos, el RQD puede calcularse, definiendo un RQD superficial según la siguiente expresión propuesta por Palmstrom.

$$RQD (\%) = 115 - 3.3 \times J_v$$

Donde:

$J_v = N^\circ$  de juntas por metro cúbico.

$$J_v = J_x + J_y + J_z$$

Para  $J_v < 5$ ,  $RQD = 100$

Según Priest and Hudson (1976) sugirió la estimación del índice RQD a partir de la frecuencia de discontinuidades  $\lambda$ , mediante la siguiente expresión que proporciona el valor teórico mínimo del RQD con la formula siguiente:

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

$$\lambda = \frac{N^\circ \text{ de fracturas}}{\text{metro lineal}}$$

### 3.2.2 El Criterio de rotura de Hoek-Brown – Edición 2002

Hoek, Carranza-Torres y Corkum (2002), el criterio de rotura de macizos rocosos de Hoek-Brown es ampliamente aceptado y ha sido aplicado en un gran número de proyectos a nivel mundial. Mientras que en general el criterio se considera satisfactorio, existen algunas incertidumbres e inexactitudes que ha creado inconvenientes en su implementación a modelos numéricos y a programas de computación de equilibrio límite. En particular, la dificultad de encontrar un ángulo de fricción y resistencia cohesiva equivalentes para un macizo rocoso dado, ha sido un inconveniente desde la publicación original del criterio en 1980. Este artículo intenta resolver todos estos problemas y establece una secuencia de cálculos recomendadas para la

aplicación del criterio de rotura. Un programa de computación asociado, denominado "RocLab", ha sido desarrollado con la finalidad de ser un medio conveniente de resolución y graficación de las ecuaciones presentadas en este artículo.

Hoek y Brown introdujeron su criterio de rotura en un intento de proporcionar los datos de partida para el análisis necesario en el diseño de excavaciones subterráneas en roca competente. El criterio se dedujo a partir de los resultados de las investigaciones de Hoek de roturas frágiles de rocas intactas y de un modelo de estudio del comportamiento de macizos rocosos de Brown. El criterio partía de las propiedades de la roca intacta y entonces se introducían factores reductores de estas propiedades sobre la base de las características de un macizo rocoso diaclasado. Los autores, intentando relacionar el criterio empírico con las observaciones geológicas, por medio de uno de los sistemas de clasificación de los macizos rocosos, eligieron para este propósito el RMR (Rock Mass Rating) propuesto por Bieniawski. Debido a la ausencia de otras alternativas, el criterio fue pronto adoptado por la comunidad de la mecánica de rocas y su uso rápidamente extendido más allá de los límites originales utilizados en la deducción de las relaciones de reducción de la resistencia. Consecuentemente, llegó a ser necesario reexaminar estas relaciones e introducir nuevos elementos cada vez que dicho criterio era aplicado a un amplio rango de problemas prácticos. Fruto de estos avances fue la introducción de la idea de macizos rocosos "inalterados" y "alterados" por Hoek y Brown, y la introducción de un criterio modificado para obligar a la resistencia a tracción del macizo rocoso a tender a cero para macizos de calidad muy mala (Hoek, Wood y Shah). Una de las primeras dificultades que aparecen en muchos problemas geotécnicos, particularmente en el ámbito de la estabilidad de taludes, es que es más conveniente tratar el criterio original de Hoek Brown en términos de esfuerzos normales y al corte más que en términos de esfuerzos principales, según la ecuación original:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left( m \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^{0.5} \quad (1)$$

donde

$\sigma'_1$  y  $\sigma'_3$  son los esfuerzos principales efectivos mayor y menor en el momento de rotura

$\sigma_{ci}$  es la resistencia a compresión uniaxial del material intacto

$m$  y  $s$  son las constantes del material, donde

$s = 1$  para roca intacta.

### 3.2.3 Criterio de fallo de Mohr – Coulomb

En Ingeniería geotécnica se utiliza para definir resistencia al corte de suelos y rocas en diferentes casos de tensión efectiva. En la ingeniería estructural se utiliza para determinar la carga de rotura, así como el ángulo de la rotura de una fractura de desplazamiento en materiales cerámicos y similares (como el hormigón). La hipótesis de Coulomb se emplea para determinar la combinación de esfuerzo cortante y normal que causa una fractura del material. El círculo de Mohr se utiliza para determinar los ángulos donde esas tensiones sean máximas. Generalmente la rotura se producirá para el caso de tensión principal máxima. El criterio de fallo de Mohr-Coulomb se representa por la envolvente lineal de los círculos de Mohr que se producen en la rotura. La relación de esa envolvente se expresa como:

$$\tau = \sigma \tan(\phi) + c$$

Donde:

- $\tau$  es el esfuerzo cortante.
- $\sigma$  es la tensión de normal.
- $c$  es la intersección de la línea de fallo con el eje de  $\tau$ , llamada cohesión.
- $\phi$  es la pendiente del ángulo de la envolvente, también llamado el ángulo de rozamiento interno.

La compresión se asume positiva para el esfuerzo de compresión aunque también se puede estudiar el caso con la tensión negativa cambiando el signo de  $\sigma$ .

- Si  $\phi = 0$ , el criterio de Mohr-Coulomb se reduce al criterio de Tresca.
- Si  $\phi = 90^\circ$  el modelo de Mohr-Coulomb es equivalente al modelo de Rankine.

Valores más altos de  $\phi$  no están permitidos.

De los círculos de Mohr tenemos:

$$\sigma = \sigma_m - \tau_m \sin \phi ; \quad \tau = \tau_m \cos \phi$$

Donde:

$$\tau_m = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} ; \quad \sigma_m = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$$

$\sigma_1$  es la tensión máxima principal y  $\sigma_3$  es la tensión mínima principal.

De esta forma el criterio de Mohr-Coulomb puede expresarse también como:

$$\tau_m = \sigma_m \sin \phi + c \cos \phi .$$

### 3.2.4 Teoría de Lauffer

Lauffer propuso que el tiempo de auto-sostenimiento para una abertura sin sostenimiento, está relacionado a la calidad de la masa rocosa en la cual la abertura es excavada. En un túnel, la abertura sin sostenimiento es definida como el ancho del túnel o la distancia entre el frente y el sostenimiento más cercano, si esta distancia es mayor que el ancho del túnel. La importancia del concepto del tiempo de auto-sostenimiento radica en que un incremento en la abertura del túnel conduce a una reducción importante del tiempo disponible para la instalación del sostenimiento. Lauffer (1958).

### 3.2.5 Clasificación de Lauffer

En función de ambos parámetros, clasifica las rocas en 7 tipos diferentes:

Tabla 3.2. Tiempo de auto soporte

Tipo	Longitud libre	Tiempo estable	Descripción
A	4 m	20 años	Sana
B	4 m	6 meses	Algo fracturada
C	3 m	1 semana	Fracturada friable
D	1.5 m	5 horas	Muy friable
E	0.8 m	20 minutos	De empuje inmediato
F	0.4	2 minutos	De empuje inmediato fuerte
G	0.15 m	10 segundos	

Fuente. Lauffer 1958

### 3.2.6 Clasificación geomecánica RMR de Bieniawski 1989.

El sistema de clasificación RMR (Rock Mass Rating) fue desarrollado por Z.T. Bieniawski durante los años 1972- 73, y ha sido modificado en 1976 y 1979, en base a más de 300 casos reales de túneles, cavernas, taludes y cimentaciones. Actualmente se usa la edición de 1989, que coincide sustancialmente. Para determinar el índice RMR de calidad de la roca se hace uso de los seis parámetros del terreno siguientes:

- La resistencia a compresión simple del material.
- El RQD (Rock Quality Designation).
- El espaciamiento de las discontinuidades.
- El estado de las discontinuidades.
- La presencia de agua.
- La orientación de las discontinuidades.

Tabla 3.3. Abaco de Clasificación geomecánica RMR de Bieniawski 1989.

Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989)								
Parámetros de clasificación								
1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual Compresión simple	> 10	10-4	4-2	2-1	Compresión simple (MPa)	
			> 250		250-100	100-50	50-25	25-5 5-1 < 1
	Puntuación		15	12	7	4	2 1 0	
2	RQD	90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	< 25%		
	Puntuación		20	17	13	6	3	
3	Separación entre diaclasas	> 2 m	0,6-2 m	0,2-0,6 m	0,06-0,2 m	< 0,06 m		
	Puntuación		20	15	10	8	5	
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	> 20 m	
		Puntuación		6	4	2	1	0
		Abertura	Nada	< 0,1 mm	0,1-1,0 mm	1-5 mm	> 5 mm	
		Puntuación		6	5	3	1	0
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave	
		Puntuación		6	5	3	1	0
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm	
		Puntuación		6	4	2	2	0
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta	
		Puntuación		6	5	3	1	0
5	Agua freática	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	< 10 litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	> 125 litros/min	
		Relación: Presión de agua/Tensión principal mayor	0	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	> 0,5	
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo	
	Puntuación		15	10	7	4	0	
Corrección por la orientación de las discontinuidades								
Dirección y buzamiento		Muy favorables	Favorables	Medias	Desfavorables	Muy desfavorables		
Puntuación	Túneles	0	-2	-5	-10	-12		
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25		
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60		
Clasificación								
Clase	I	II	III	IV	V			
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala			
Puntuación	100-81	80-61	60-41	40-21	< 20			

Fuente. Ingeniería Geológica-Luis Gonzales de Vallejo

**Corrección por orientación.** A la hora de considerar los efectos de la orientación de las discontinuidades para la clasificación del macizo rocoso, con vistas a la construcción de una excavación subterránea y una labor minera superficial, es suficiente considerar si las orientaciones del rumbo y del buzamiento son más o menos favorables con relación a la labor minera que se va a ejecutar. Bieniawski ha propuesto la siguiente clasificación:

Tabla 3.4. Abaco de Clasificación y orientación (Bieniawski 1989)

**Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989) (Continuación)**

Características geotécnicas					
Clase	I	II	III	IV	V
Tiempo de mantenimiento y longitud	10 años con 15 m de vano	6 meses con 8 m de vano	1 semana con 5 m de vano	10 horas con 2,5 m de vano	30 minutos con 1 m de vano
Cohesión	> 4 Kp/cm <sup>2</sup>	3-4 Kp/cm <sup>2</sup>	2-3 Kp/cm <sup>2</sup>	1-2 Kp/cm <sup>2</sup>	< 1 Kp/cm <sup>2</sup>
Ángulo de rozamiento	> 45°	35°-45°	25°-35°	15°-25°	< 15°

Orientación de las discontinuidades en el túnel					
Dirección perpendicular al eje del túnel			Dirección paralela al eje del túnel		Buzamiento 0°-20° Cualquier dirección
Excavación con buzamiento	Excavación contra buzamiento		Buz. 45-90	Buz. 20-45	
Buz. 45-90	Buz. 20-45	Buz. 45-90	Buz. 20-45	Buz. 45-90	Buz. 20-45
Muy favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy desfavorable	Media

Fuente. Ingeniería Geológica-Luis Gonzales de Vallejo.

Tabla 3.5. Abaco de calidad de macizo rocoso (Bieniawski 1989)

**Calidad de macizos rocosos en relación al índice RMR**

Clase	Calidad	Valoración RMR	Cohesión	Ángulo de rozamiento
I	Muy Buena	100-81	> 4 kg/cm <sup>2</sup>	> 45°
II	Buena	80-61	3-4 kg/cm <sup>2</sup>	35°-45°
III	Media	60-41	2-3 kg/cm <sup>2</sup>	25°-35°
IV	Mala	40-21	1-2 kg/cm <sup>2</sup>	15°-25°
V	Muy mala	< 20	< 1 kg/cm <sup>2</sup>	< 15°

Fuente. Ingeniería Geológica-Luis Gonzales de Vallejo

**Descripción de características y propiedades en el campo.** La descripción y caracterización de los macizos rocosos en afloramiento es una labor necesaria en todos los estudios de ingeniería geológica cuyo objetivo sea el conocimiento de las propiedades y características geomecánicas de los materiales rocosos. Estos trabajos se realizan durante las primeras etapas de las investigaciones in situ. El desarrollo de los trabajos de campo en afloramientos permite obtener información necesaria para evaluar el comportamiento geotécnico de los macizos rocosos, planificar las fases de la investigación más avanzadas e interpretar los resultados que se obtengan

de las mismas debido a la gran variedad de condiciones y propiedades, la caracterización de los macizos rocosos poder ser una tarea compleja, sobre todo si se presentan conjuntamente materiales rocosos y suelos, zonas fracturadas, tectonizadas y /o meteorizadas.

Tabla 3.6. Características y propiedades en campo del macizo rocoso

Características y propiedades a describir en campo para la caracterización del macizo rocoso

Ámbito de estudio	Característica o propiedad	Método	Clasificación
Matriz rocosa	Identificación.	Observaciones de visu y con lupa.	Clasificación geológica y geotécnica.
	Meteorización.	Observaciones de visu.	Índices estándar.
	Resistencia.	Índices y ensayos de campo.	Clasificaciones empíricas de resistencia.
Discontinuidades	Orientación.	Medida directa con brújula de geólogo.	
	Espaciado.	Medidas de campo.	Índices y clasificaciones estándar.
	Continuidad.		
	Rugosidad.	Observaciones y medidas de campo.	Comparación con perfiles estándar.
	Resistencia de las paredes.	Mariño Schmidt. Índices de campo.	Clasificaciones empíricas de resistencia.
	Abertura.	Observaciones y medidas de campo.	Índices estándar.
	Relleno.		
Filtraciones.			
Macizo rocoso	Número de familias de discontinuidades.	Medidas de campo.	Índices y clasificaciones estándar.
	Tamaño de bloque.		
	Intensidad de fracturación.		
	Grado de meteorización.	Observaciones de campo.	Clasificaciones estándar.

Fuente. Ingeniería Geológica-Luis Gonzales de Vallejo

### 3.2.7 Índice de Calidad Tunelera de la roca, Q De Barton

Conocido también como sistema Q de Nick Barton o índice de calidad tunelera de Barton. El método de clasificación de Barton et al. (1974) se desarrolló para estimar la fortificación de túneles en función del índice Q de calidad geotécnica, definido como:

$$Q = \left( \frac{RQD}{J_n} \right) \times \left( \frac{J_r}{J_a} \right) \times \left( \frac{J_w}{SRF} \right)$$

Donde el primer cociente corresponde a una estimación del tamaño de los bloques que conforman el macizo rocoso, el segundo cociente corresponde a una estimación de la resistencia al corte entre bloques, y el tercer cociente representa lo que Barton et al. (1974) denominan esfuerzo "activo". Los parámetros que definen estos cocientes son:

- **RQD.** Es la designación de la calidad de la roca definida por Deere et al. (1967), que puede variar de 0 (macizos rocosos de muy mala calidad) a 100 (macizos rocosos de excelente calidad).
- **Jn.** Es un coeficiente asociado al número de sets de estructuras presentes en el macizo rocoso (Joint Set Number), que puede variar de 0.5 (macizo masivo o con pocas estructuras) a 20 (roca totalmente disgregada o triturada).
- **Jr.** Es un coeficiente asociado a la rugosidad de las estructuras presentes en el macizo rocoso (Joint Roughness Number), que puede variar de 0.5 (estructuras planas y pulidas) a 5 (estructuras poco persistentes espaciadas a más de 3 m).
- **Ja.** Es un coeficiente asociado a la condición o grado de alteración de las estructuras presentes en el macizo rocoso (Joint Alteration Number), que puede variar de 0.75 (vetillas selladas en roca dura con rellenos resistentes y no degradables) a 20 (estructuras con rellenos potentes de arcilla).
- **Jw.** Es un coeficiente asociado a la condición de aguas en las estructuras presentes en el macizo rocoso (Joint Water Reduction Factor), que puede variar de 0.05 (flujo notorio de aguas, permanente o que no decae en el tiempo) a 1 (estructuras secas o con flujos mínimos de agua).
- **SRF.** Es un coeficiente asociado al posible efecto de la condición de esfuerzos en el macizo rocoso (Stress Reduction Factor), que puede variar de 0.05 (concentraciones importantes de esfuerzos en roca competente) a 400 (potencial ocurrencia de estallidos de roca).

El valor de Q puede variar aproximadamente entre 0.0001 y 1000, dentro de este rango se define 9 calidades de roca, tal como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 3.7. Calidad de la roca según índice Q

CALIDAD DE ROCA	VALOR DEL INDICE Q
EXCEPCIONALMENTE MALA	0.0001 – 0.01
EXTREMADAMENTE MALA	0.01 – 0.1
MUY MALA	0.1 – 1.0
MALA	1.0 – 4.0
REGULAR	4.0 – 10.0
BUENA	10.0 – 40.0
MUY BUENA	40.0 – 100.0
EXTREMADAMENTE BUENA	100.0 – 400.0
EXCEPCIONALMENTE BUENA	400.0 – 1000.0

Fuente. Barton et al 1974

### 3.2.8 Dominios estructurales.

La definición del número de sets o sistemas de estructuras está relacionada directamente con la definición de la orientación de cada set; lo cual se hace analizando la información estructural mediante proyecciones estereográficas, para representar cada estructura (plano) por un punto (polo) y luego, mediante técnicas estadísticas analizar los “clusters” o “agrupaciones” de polos y definir así los sets o sistemas principales (claramente predominantes o más conspicuos) y los sets o sistemas secundarios (o menos frecuentes).

El uso de proyecciones estereográficas para este propósito es descrito por Goodman (1976), Hoek & Bray (1981), Hoek & Brown (1980), y Priest (1993). En la práctica se utilizan programas computacionales para este análisis e interpretación de la información estructural. Existen varios programas de este tipo comercialmente disponibles, pero actualmente quizás el más utilizado sea DIPS. Al analizar la información estructural mediante proyecciones estereográficas con este tipo de software conviene considerar lo siguiente:

En la práctica de la geología geotécnica se ha hecho común el uso de proyecciones equiangulares con proyección en el hemisferio inferior, por lo que se recomienda este método.

Para definir los "clusters" de polos se emplean comúnmente las distribuciones de Schmidt o de Fisher. Cuando la cantidad de datos es suficientemente grande ambas distribuciones producen contornos muy similares; sin embargo, cuando la cantidad de datos es limitada la distribución de Schmidt produce contornos algo irregulares y puede inducir a errores, ya que cada dato se considera totalmente preciso y cualquier error se acentúa. Por lo tanto, se recomienda preferir la distribución de Fisher. Para definir los contornos de concentración de polos es preciso definir el tamaño del círculo de conteo, usualmente como un porcentaje del área del hemisferio. Resulta recomendable limitar el tamaño del círculo de conteo al rango 1.0% a 2.5%, y en principio se recomienda considerar 1% como el tamaño más adecuado.

Cuando la superficie de mapeo es normal al plano de las estructuras de un determinado set o familia estructural, éstas aparecen con su frecuencia propia,  $I$ . Cuando esta condición no se cumple y la normal al plano de mapeo forma un ángulo  $x$  con el plano de las estructuras, éstas aparecen con una frecuencia aparente, la mayor que su frecuencia propia o verdadera, dada por (Terzaghi 1965):

Esto induce un sesgo, por lo que se recomienda considerar la corrección de Terzaghi al definir los "clusters" de polos, como se ilustra en la siguiente figura:

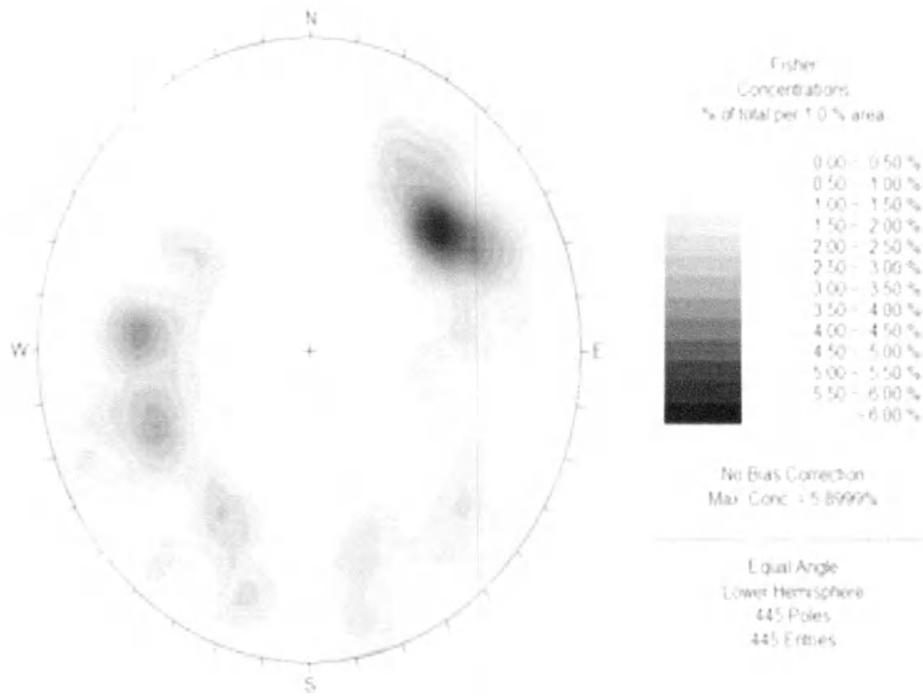


Figura. 3.1 Contornos de concentración de polos sin considerar la corrección de Terzaghi.  
Fuente. Terzaghi 1965

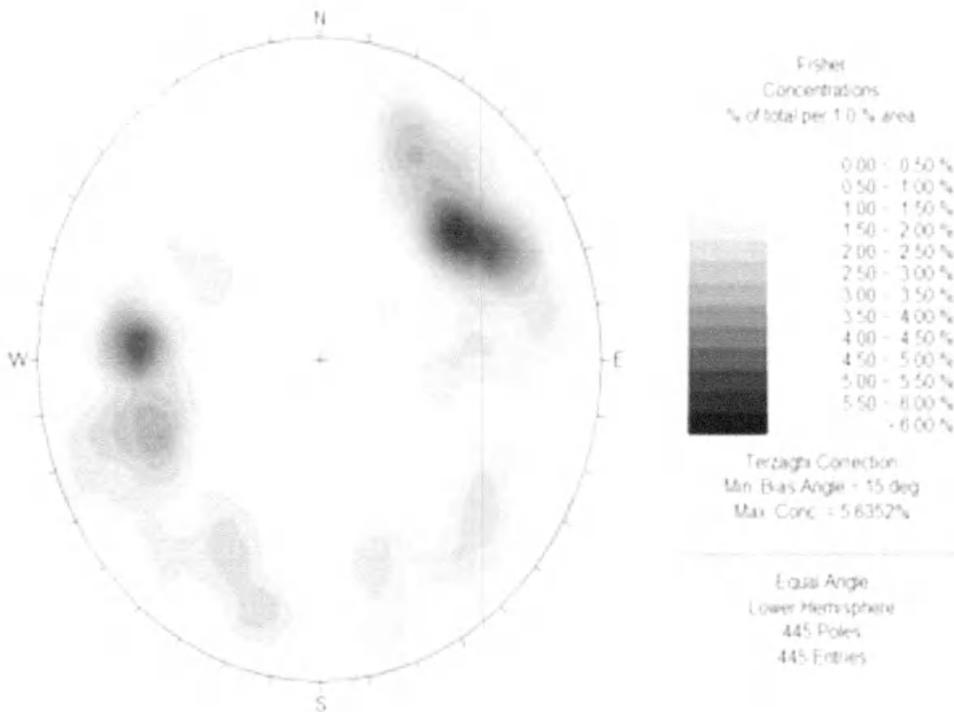


Figura 3.2 Contornos de concentración de polos considerando la corrección de Terzaghi.  
Fuente. Terzaghi 1965

Efecto de la corrección de Terzaghi en la definición de los contornos de concentración de polos de estructuras intermedias (juntas, diaclasas y vetillas) mapeadas en un dominio estructural de una mina con el programa DIPS.

### 3.2.9 Características de las discontinuidades (fracturas).

- **Orientación.** es la posición de una discontinuidad en el espacio y comúnmente es descrito por su rumbo y buzamiento.
- **Rumbo.** Es el Angulo que forma una discontinuidad con respecto al norte.
- Se mide de 0 a 90 grados, con respecto al norte o al sur (brújula rumbera).
- Se mide de 0 a 360 grados iniciando del norte en sentido destral (brújula azimutal).
- **Buzamiento.** Es el Angulo que forma el plano horizontal con el plano de la discontinuidad es de 0 a 90 grados.
- **Dirección de buzamiento.** Es la línea de máxima pendiente en el plano de una discontinuidad, el rumbo y la dirección de buzamiento forman un ángulo de 90 grados.
- **Sistemas o Familias.** Es un grupo de discontinuidades que tienen similar dirección y buzamiento.

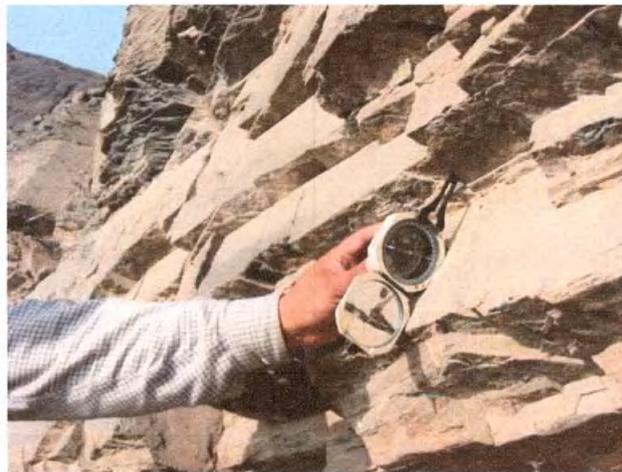


Figura.3.3. Medición de buzamiento del macizo rocoso  
Fuente. Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía 2004.

### 3.3 MARCO CONCEPTUAL

#### 3.3.1 Mecánica de Rocas

La mecánica de rocas es la ciencia teórica y aplicada del comportamiento mecánico de la roca. Por lo general, es poco rentable llevar a cabo pruebas complicadas y costosas in-situ para la determinación de los parámetros de propiedades mecánicas de la roca a menos que sea unos proyectos de gran tamaño. Gonzales de Vallejo (2002).

Una solución, es combinar las pruebas de laboratorio con el simple pero eficaz equipo de prueba de campo.

La relación entre ambos parámetros describe el comportamiento de los diferentes tipos de rocas y macizos rocosos, que dependen de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales y de las condiciones a que están sometidos en la naturaleza. Los distintos ámbitos de aplicación de la mecánica de rocas se agrupan en:

- Cuando el material rocoso constituye la estructura (excavaciones de túneles, galerías, taludes, etc.)
- Cuando la roca es el soporte de otras estructuras (cimentaciones de edificios, presas, etc.).
- Cuando las rocas son empleadas como material de construcción (escolleras, pedraplenes, rellenos, etc.).

#### 3.3.2 Geomecánica

La geomecánica como ciencia aparece a fines de los años 50, que hizo su entrada en el hasta entonces, mundo crítico de las obras subterráneas. Históricamente se conoce que el Primer Congreso de Mecánica de Rocas se celebró en Portugal en 1966. Lopez (1998).

Según Mamani (2015), en el diseño de excavaciones y obras complementarias la Geomecánica está dando a la construcción de obras subterráneas un creciente soporte científico y técnico que ha encontrado su máximo exponente en la última década, hasta el punto de que hoy en día, la

mayoría de los túneles se hacen bajo supervisión de un experto en geotecnia-geomecánica.

Siendo uno de los objetivos, caracterizar geomecánicamente los macizos, constituyendo esto el estudio integral del macizo en cuestión, que incluye tanto el modelo geológico, como el geomecánico, abarcando aspectos tales como, estructura del macizo, litología, contactos y distribución de litologías, geomorfología, cartografía geológica, estudio hidrogeológico, levantamiento de discontinuidades, técnicas geofísicas, sondeos, ensayos in situ, de laboratorio, clasificaciones geomecánicas, entre otros. Convirtiéndose la caracterización geomecánica de los macizos rocosos en una herramienta indispensable para pronosticar su comportamiento (Mamani 2015).

Una parte importante de la caracterización geomecánica de los macizos rocosos, lo constituyen sin dudas, las clasificaciones geomecánicas, que surgieron de la necesidad de parametrizar observaciones y datos empíricos, de forma integrada, para evaluar las medidas de sostenimiento en túneles. Las mismas son un método de ingeniería geológica que permite evaluar el comportamiento geomecánico de los macizos rocosos, y a partir de estas estimar los parámetros geotécnicos de diseño y el tipo de sostenimiento de un túnel (Palmstrom, 1998).

### 3.3.3 Deformaciones

El conocimiento de las tensiones y deformaciones que puede llegar a soportar el material rocoso ante unas determinadas condiciones permite evaluar su comportamiento mecánico y abordar el diseño de estructuras y obras de ingeniería. Cuando se excava un macizo rocoso o se construyen estructuras sobre las rocas se modifican las condiciones iniciales del medio rocoso, el cual responde a estos cambios deformándose y/o rompiéndose. Gonzales de Vallejo (2002).

### 3.3.4 Factores Geológicos en Mecánicas de Macizos Rocosos

Se consideran los siguientes factores:

- La Litología y propiedades de la matriz rocosa.
- La estructura geológica y las discontinuidades.
- El estado de esfuerzos a que está sometido el material.
- El grado de alteración o meteorización.
- Las condiciones Hidrogeológicas.

### 3.3.5 Minería subterránea

La extracción de minerales mediante minería subterránea envuelve la generación de diferentes tipos de aberturas, con un considerable rango de funciones. En una mina convencional se puede tener: tiros, niveles de acarreo, contra frentes, cruceros de extracción, cámaras de bombeo, tiros de ventilación y entradas de aire que constituyen desde accesos a la mina hasta excavaciones para servicios. Su vida útil es comparable o en ocasiones excede la vida del depósito por ser minado y normalmente este tipo de obras se lleva a cabo en el cuerpo del depósito (roca estéril). Las obras de servicio y las de operaciones directamente asociadas con la recuperación del mineral que consisten en cruceros de extracción, frentes, contra pozos de acceso y metaleras, desde donde o en los cuales se lleva a cabo varias operaciones de producción. Estas obras se llevan a cabo en la zona mineralizada o en zonas estériles cercanas al depósito mineral y su vida útil está limitada a la duración de la actividad del minado en su vecindad inmediata. Muchas obras van siendo eliminadas conforme se va minando. El tercer tipo de obras subterráneas son las que se encuentran en el depósito mineral. Puede ser un rebaje, con cuerpos bien definidos formando los límites geométricos del hueco minado, el cual aumenta de tamaño conforme se va minando. Alternativo a esto puede ser que el rebaje tal vez tenga relleno de fragmentos con unos límites pobremente definidos, que normalmente coinciden con los límites del depósito. Las zonas fragmentadas son generadas por disgregación inducida. La vida útil de cualquier tipo de estas

obras (rebajes) está definido por la duración de la actividad de la extracción del mineral.

### 3.3.6 Geomecánica – Seguridad – Economía

Según Córdova (2008), En la industria minera, la geomecánica tradicionalmente ha sido considerada como un asunto ligado primordialmente a la seguridad. Actualmente, además de la seguridad, hay un reconocimiento creciente sobre su impacto en los aspectos económicos de las operaciones mineras. Por estas razones está habiendo importantes progresos en integrar esta herramienta tecnológica dentro del proceso cotidiano de toma de decisiones en la operación minera. La geomecánica ligada a la seguridad, significa reducir el número y frecuencia de caídas de rocas, y así evitar o minimizar los daños al personal y a los equipos. Este es un tema sumamente importante en el Perú por las estadísticas de accidente fatales ocurridos en las minas, lo cual ha motivado en la última década que todos los organismos vinculados con la minería lleven a cabo acciones para combatir estas fatalidades. El impacto de la geomecánica sobre los aspectos económicos, podemos cuantificarlo con los siguientes ejemplos:

- Reducción en los costos de rehabilitación de áreas inestables.
- Ahorro potencial por la no interrupción de la producción a causa de los problemas de inestabilidad.
- Ganancia en la producción por la dedicación del personal a esta tarea en lugar de dedicarse a la rehabilitación de áreas inestables.
- Mayor recuperación del mineral por adecuados diseños geomecánicos.
- Reducción de costos por el minado masivo de grandes aberturas.
- Ahorro en el consumo de cemento de los rellenos cementados.
- Otros.

### 3.3.7 Particularidades del Minado Subterráneo

Para Córdova R. (2008), las particularidades que se dan en el minado subterráneo de un yacimiento son:

- El uso de cualquier abertura o labor minera, está bajo el control del operador de la mina, y durante su utilización activa, las superficies de

una excavación deberán ser objeto de inspecciones virtualmente continuas por parte del personal de la mina.

- Los trabajos para mantener o restablecer condiciones seguras alrededor de una excavación, variarán desde el correcto desatado hasta la colocación de sostenimiento adecuado, y estos deben ser llevados a cabo en cualquier etapa, bajo la dirección de la supervisión de la mina.
- El diseño de una excavación minera refleja un grado de control inmediato sobre la utilización, inspección, mantenimiento y colocación del sostenimiento de la excavación, suministrado por el operador de mina.
- La estructura de la mina evoluciona durante la vida de la mina, por lo que la secuencia o estrategia de extracción de un tajeo o block de mineral asume gran importancia.

Estas particularidades deben ser tomadas en cuenta para el control de la estabilidad de las excavaciones asociadas al minado, teniendo presente el D.S 014-92-E.M. Ley general de minería y EL D.S. 055. Ley de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, en donde se establecen la obligatoriedad de la aplicación de la geomecánica en las excavaciones mineras subterráneas y superficiales.

### 3.3.8 Caracterización Geológica Geotécnica

Según Mayhua P. (2013), la caracterización geotécnica resulta fundamental para definir las propiedades mecánicas de la roca "íntacta", las estructuras y el macizo rocoso; además de la hundibilidad, forma de desarme y fragmentación del macizo rocoso.

### 3.3.9 Caracterización de Roca Íntacta

Por roca "íntacta" se entiende los trozos de roca que se ubican entre las estructuras presentes en el macizo rocoso, y usualmente se considera que las propiedades de la roca "íntacta" pueden determinarse mediante ensayos de laboratorio sobre probetas con un diámetro del orden de 50 mm y una

altura de unos 100 mm, o sea con un volumen del orden de  $10^{-4}$  m<sup>3</sup>. Mayhua P. (2013).

### 3.3.10 Caracterización de Macizo Rocoso

Por otra parte, por macizo rocoso se entiende el conjunto roca "intacta" y estructuras, en un volumen de tamaño tal que representa adecuadamente la situación que se está considerando. Esto significa que el macizo rocoso puede tener un volumen del orden de  $10^5$  m<sup>3</sup>, si se está analizando la estabilidad de una galería, a más de  $10^7$  m<sup>3</sup>, si se está analizando la estabilidad de un sector productivo. Mayhua (2013).

Lo anterior significa que las propiedades del macizo rocoso no pueden medirse directamente, sino que deben estimarse en función de las propiedades de la roca "intacta" y las características del arreglo de bloques que componen el macizo rocoso, usualmente representadas en función de algún índice de calidad geotécnica.

Considerando que las propiedades mecánicas de la roca "intacta" dependen no solo del tipo litológico, sino que también de la mineralización y del tipo y grado de alteración, es preciso definir las "unidades geotécnicas básicas" que equivalen a la cantidad de tipos de roca "intacta" presentes en el área de interés. Para esto, deben utilizarse los resultados de la caracterización geológica y superponer la litología, la mineralización y la alteración para definir las unidades geotécnicas básicas.

### 3.3.11 Caracterización Geomecánica

Es el proceso de designar la calidad del macizo rocoso basado en números y términos descriptivos de los rasgos que se presentan en cada una de ellas. Es reportar las cualidades particulares, propias de cada macizo rocoso. Los procesos que influyen en las características geomecánicas del macizo rocoso en el que se desarrollan todas nuestras actividades subterráneas. Son:

- La condición de tensiones
- La condición de discontinuidades.

- La condición de resistencia.
- La condición de hidrogeología.

### 3.3.12 Importancia de la Geomecánica

Según la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (2004), Comité de Seguridad Industrial, Manual de Geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas por lograr una minería segura, la geomecánica es importante porque nos conduce a:

- Promover y concientizar el criterio de “Trabajar en Condiciones Seguras”
- Difundir la aplicación y colocación correcta y oportuna de los diferentes tipos de soporte utilizados en minería subterránea.
- Establecer los medios de comunicación más adecuados para el mejoramiento progresivo del uso de los soportes.
- Incluir en el planeamiento del minado, los diseños que estén basados en las condiciones geomecánicas y los requerimientos del soporte para las diferentes alternativas de producción.

### 3.3.13 Roca Intacta

Es una porción o trozo de roca sin discontinuidades (fallas, fracturas), con poca o sin alteración, sin agua, etc.



Figura.3.4 Geometría de roca intacta  
Fuente. Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía 2004.

### 3.3.14 Macizo Rocoso

Es una masa de roca de volumen mayor, donde se puede observar, las discontinuidades, (fallas, fracturas), puede observarse meteorización, agua, y presiones litostaticas.



Figura.3.5. Macizo rocoso  
Fuente. Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía 2004.

### 3.3.15 Litología Estructural

Se define así, a la porción de masa de roca que está limitada por discontinuidades, donde todo lo que hay dentro es casi homogéneo, es decir se puede notar la presencia de diferentes sistemas o familias de discontinuidades que siguen una misma orientación. Cada uno de estos sistemas tendrán características diferentes y el más persistente controlara la inestabilidad de la excavación subterránea.

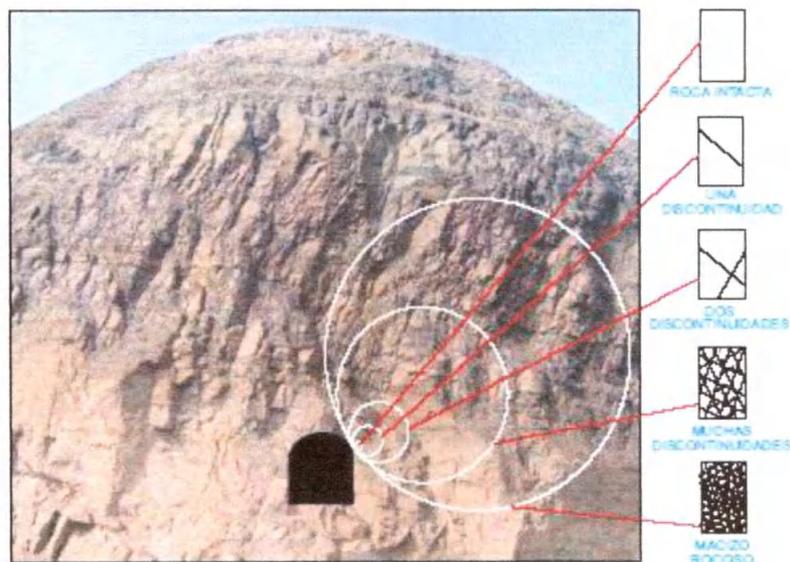


Figura.3.6. Litología estructural  
Fuente. Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía 2004.

### 3.3.16 Discontinuidades (Fracturas)

Las discontinuidades presentes en el macizo rocoso son:

- Planos de estratificación.
- Fallas.
- Plegamientos.
- Zonas de corte.
- Diaclasas.
- Planos de foliación.
- Contactos litológicos.
- Venillas.

### 3.3.17 Condiciones de la masa rocosa.

Según la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (2004), una masa rocosa puede estar constituida por una o más discontinuidades o planos de debilidad, considerando la litología estructural la calidad del macizo rocoso dependerá de la cantidad de discontinuidades con la evaluación mediante el uso de las clasificaciones geomecánicas:

**Espaciamiento**, es la distancia perpendicular que existe entre dos discontinuidades de un mismo sistema de fracturamiento.

**Persistencia**, viene a ser cuán grande es la longitud de la discontinuidad, este es uno de los parámetros más importantes, ya que controla la inestabilidad de la excavación.

**Rugosidad**, es el grado de aspereza que presenta las caras de la discontinuidad, es un parámetro importante, por que mide el grado de resistencia entre los bloques.

**Apertura**, es la separación entre las paredes rocosas de una discontinuidad o el grado de abierto que ésta presenta. A menor apertura, las condiciones de la masa rocosa serán buenas y a mayor apertura, las condiciones serán malas.

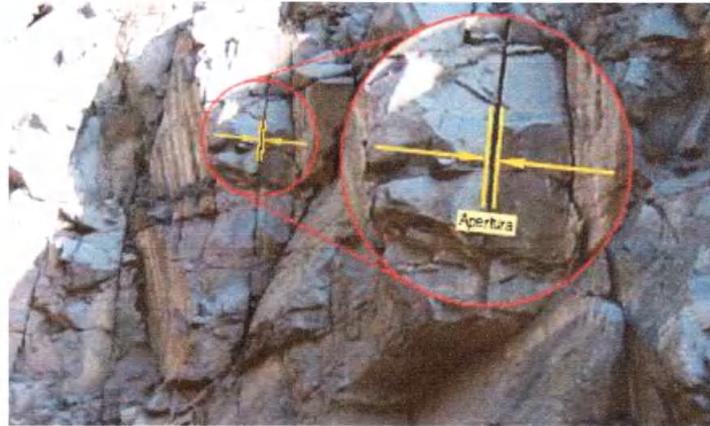


Figura.3.7. Apertura en macizo rocoso  
Fuente. Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía 2004.

**Relleno**, son los materiales que se encuentran dentro de discontinuidad. Cuando los materiales son suaves, la masa rocosa menos competente y cuando éstos son más duros, ésta es más competente.

**Meteorización**, es el grado de alteración que sufre la roca, debido a los agentes físicos, químicos y biológicos.

**Distribución de familias en macizo rocoso**, es la representación de las familias en una estructura del macizo rocoso que serán evaluadas mediante el uso de estereogramas.

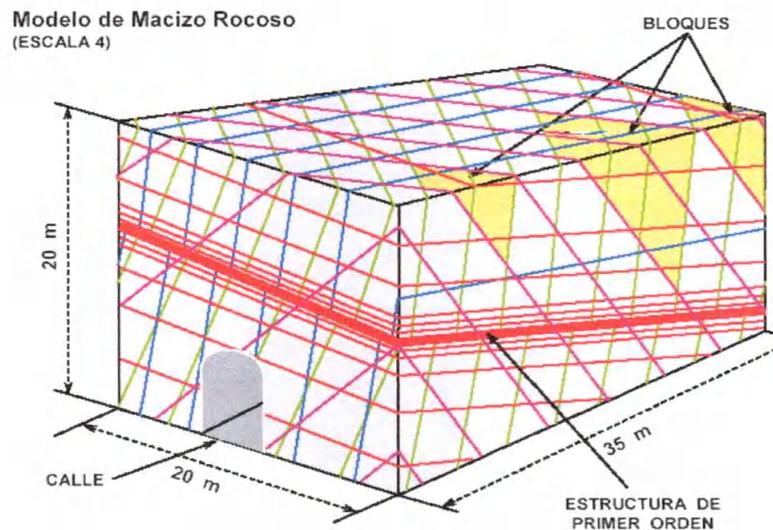


Figura.3.8. Bloques en macizo rocoso  
Fuente. Ingeniería de Túneles - López C.1998

Es el desprendimiento de rocas que se produce en el techo de la excavación, dicho desprendimiento puede producirse también de los hastiales.

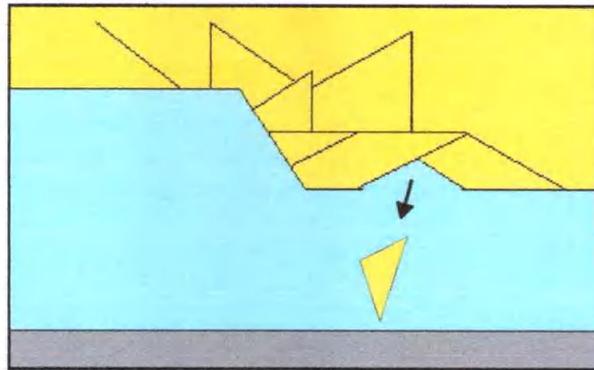


Figura.3.9. Caída de roca del techo de excavación  
Fuente. Ingeniería de Túneles - López C.1998

**Triturada o Brechada.** Ligeramente trabada, masa rocosa extremadamente rota, con una mezcla de fragmentos fácilmente disgregables, angulosos y redondeados.

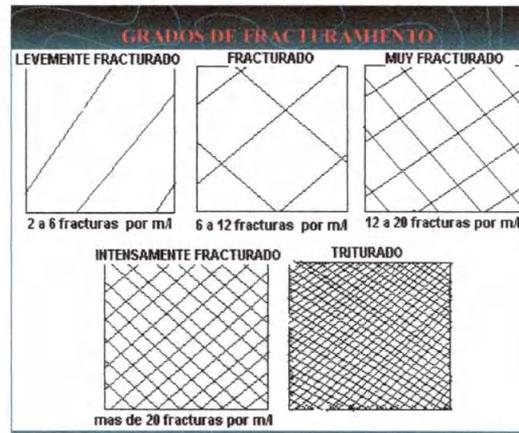


Figura.3.10. Bloques en macizo rocoso  
Fuente. Ingeniería de Túneles - López C.1998

### 3.3.18 Criterios según la resistencia de la roca

Considerando la resistencia de la roca a romperse o indentarse con golpes del martillo geológico, la guía práctica de clasificación de la roca es la siguiente:

Tabla 3.4. Clasificación de roca con martillo de geólogo

CLASE	CLASIFICACION DE LA ROCA	RESISTENCIA (Mpa)	IDENTIFICACION EN CAMPO
R6	Extremadamente Resistente	>250	Golpes de martillo geológico sólo causan descostramientos superficiales en la roca.
R5	Muy Resistente	100 – 250	Un trozo de roca requiere varios golpes de martillo geológico para fracturarse
R4	Resistente	50 – 100	Un trozo de roca requiere más de un golpe con el martillo para romperse
R3	Moderadamente Resistente	25 – 50	Un trozo de roca puede fracturarse con un único golpe de martillo, pero no es posible descostrar la roca con un cortaplumas.
R2	Débil	5 – 25	Un golpe con la punta de martillo geológico deja una indentación superficial. La roca puede ser descostrada con un cortaplumas pero con dificultad.
R1	Muy Débil	1 – 5	La roca se disgrega al ser golpeada con la punta del martillo geológico. La roca puede ser descostrada con un cortaplumas.
R0	Extremadamente Débil	0.25 – 1	La roca puede ser indentada con uña del pulgar.

Fuente. Ingeniería de Túneles - López C.1998

### 3.3.19 Criterios según el Fracturamiento

Para clasificar la masa rocosa tomando en cuenta el fracturamiento (o grado de presencia de las discontinuidades), se mide a lo largo de un metro lineal cuantas fracturas se presentan, según esto, la guía práctica es la siguiente:

- **Masiva o levemente fracturada:** 2 a 6 fracturas /metro.
- **Moderadamente fracturada:** 6 a 12 fracturas/metro.
- **Muy fracturada:** 12 a 20 fracturas/metro.
- **Intensamente fracturada:** Más de 20 fracturas/metro.
- **Triturada o brechada:** Fragmentada, disgregada, zona de falla.

### 3.3.20 Términos usados en Sostenimiento de rocas

Según la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (2004) Comité de Seguridad Industrial, Manual de Geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas por lograr una minería segura, son términos usados para describir los materiales y procedimientos utilizados para mejorar la estabilidad y mantener la capacidad portante de la roca en los bordes de una excavación subterránea que hoy en día su uso se ha

expandido a nivel internacional como una experiencia práctica para la minería subterránea y superficial.

**Sostenimiento Activo.** Llamado también refuerzo de roca, en donde los elementos de sostenimiento forman parte integrante de la masa rocosa.

Ejemplos típicos de refuerzo son:

- Pernos de anclaje
- Split set, Swellex.
- Pernos espiralados con resina.
- Pernos espiralados con cemento.
- Cable Bolting.

**Sostenimiento Pasivo.** Llamado también soporte de roca, en donde los elementos de sostenimiento, son externos a la roca y actúan después que la roca empieza a deformarse. Ejemplos típicos de soporte son:

- Cuadros de Madera.
- Cimbras o arcos de acero.
- Wood Packs.
- Gatas a fricción.
- Gatas hidráulicas.
- Cimentaciones y Shotcrete.

### 3.3.21 Sostenimientos puntuales y sistemáticos

**Sostenimiento con pernos puntuales.** Se denomina así porque, se colocan estos pernos en lugares aleatorios donde se crea conveniente que la roca necesita refuerzo, no existe un orden en distancia y cantidad entre los pernos, se instalan en zonas como cuando se detectan cuñas, caja techo u otros, las rocas deben ser de buena a muy buena calidad.

**Sostenimiento con pernos Sistemáticos.** Se denomina así cuando se coloca los pernos con un orden establecido, distancias y cantidad fija, se colocan en casi todo el área de la labor, las rocas deben ser de buena a regular calidad.

**Malla electrosoldada.** Son mallas que se colocan en el techo de la excavación sujeta con pernos de anclaje.

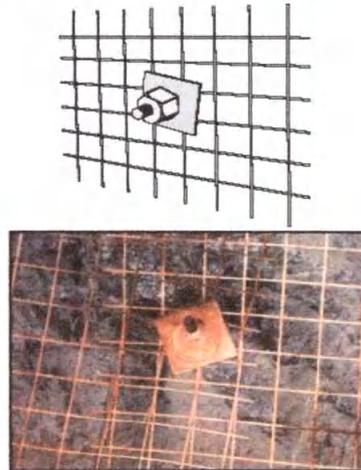


Figura.3.11. Malla electrosoldada con perno de anclaje  
Fuente. Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía 2004.

**Desatado de roca.** Es un conjunto de prácticas y procedimientos que permite en primer lugar, detectar la roca suelta en el techo, frente y paredes de la excavación o labor minera, para luego proceder a palanquearla y hacerla caer, mediante el uso de una barretilla de desatado o un equipo de desatado. La roca no es sólida, tiene planos naturales de debilidad denominados discontinuidades (diaclasas, estratos, fallas y otros) y también presenta fracturas que son creadas por el proceso de la voladura. Si miramos a la roca y observamos como ésta se rompe y como llega a separarse de la pared, entonces podremos tener un mayor conocimiento acerca del problema del desatado. Por experiencia podremos aprender a reconocer el tamaño y la forma de las piezas de roca que requieren ser desatadas.

**Aberturas mineras permanentes.** Excavaciones que tendrán una larga duración, cercanas a la vida de la mina por ser importantes para el minado. Ejemplo: piques, chimeneas, galerías de nivel, galerías de extracción de minerales.

### 3.3.22 Términos aplicados en Geomecánica

Según la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (2004) edición 2004 y corregido en 2005, son términos geológicos que más se usan en la

minería subterránea Peruana sobre todo por el personal de operación mina en cumplimiento del D.S. 014.92-E.M. y el D.S.024.2016 ya vigente el nuevo reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, este último para la prevención de accidentes por desprendimiento de rocas en donde la geomecánica es parte fundamental.

**Afanítica.** Textura de las rocas constituidas por minerales o partículas muy finas, sólo pueden ser discriminadas al microscopio. Esta textura es característica de las rocas volcánicas.

**Aglomerado.** Conjunto de fragmentos rocosos, heterogéneos en cuanto a forma y composición, consolidados generalmente por materiales finos (arena, limo, arcilla).

**Alteración.** Proceso de modificación de los minerales y rocas por acción de los agentes de erosión: agua, viento, hielo, sol, etc. Sinónimo: Intemperismo, meteorización.

**Bloque.** Fragmento de roca de dimensiones superiores a 20 cm. de diámetro.

**Buzamiento.** (dip), término usado para indicar el ángulo de inclinación de las rocas estratificadas o de estructuras geológicas.

**Cizallamiento.** Es el proceso de fracturamiento de las rocas debido a los esfuerzos tectónicos.

**Compactación.** Disminución del espesor o potencia de la secuencia estratigráfica por el peso y la presión de las rocas suprayacentes.

**Conglomerado.** Roca sedimentaria compuesta de cantos rodados cementados en una matriz fina.

**Deformación.** Modificación que sufre una roca o material por acción de una o más esfuerzos.

**Deformación elástica.** Cuando una roca se deforma por acción de un esfuerzo, y al cesar dicho esfuerzo la roca o material deformado recupera su forma original.

**Deformación plástica.** Cuando una roca o material se deforma por acción de un esfuerzo y al cesar dicho esfuerzo la roca o material alterado conserva su deformación.

**Desplazamiento.** Es la distancia recorrida por un bloque rocoso a través de un plano de movimiento.

**Detrítico.** Roca formada por fragmentos o detritus provenientes de la erosión de rocas pre-existentes.

**Esfuerzo.** Fuerza aplicada sobre un área y/o superficie que tiende a cero.

**Estratificación.** Disposición paralela o subparalela que toman las capas de las rocas sedimentarias, durante su sedimentación.

**Estrato.** Es la roca formada por la sedimentación de fragmentos o partículas provenientes de la desintegración de las rocas pre-existentes.

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

**Exfoliación.** Propiedad de las rocas de separarse en forma de láminas, cuando se refiere a minerales es sinónimo de clivaje.

**Falla.** Desplazamiento de un bloque rocoso con respecto a otro colindante a esta o de ambos bloques, a través de un plano denominado "plano de falla".

**Granulometría.** Tecnología que se encarga de dictar normas correspondientes para determinar las dimensiones y las formas de los fragmentos de los materiales detríticos.

**Gravedad.** Es la fuerza de atracción que ejerce la tierra sobre los cuerpos que se ubican en la superficie terrestre.

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

**Muestra.** Pedazo de roca o mineral, de un tamaño y peso adecuado que pueda servir de elemento del cual se pueda obtener toda la información necesaria para realizar un estudio propuesto especificando para determinar la resistencia compresiva uniaxial (RCU).

**Plasticidad.** Propiedad de las rocas de deformarse al recibir un esfuerzo conservando la deformación al cesar el esfuerzo.

**Porosidad.** Es la relación existente entre el volumen de los intersticios porosos y el volumen total de la roca o suelo. La porosidad se expresa siempre en porcentaje.

**Proyección.** Representación gráfica sobre un plano horizontal de las diferentes estructuras geológicas, topográficas o cualquier tipo de estructura, que se ubica encima o debajo de este plano.

**Rumbo.** Dirección que sigue la línea de intersección formada entre el plano horizontal y el plano del estrato o estructura geológica, con respecto al norte o al sur.

**Saturación.** Cantidad de agua necesaria para que una roca porosa y permeable tenga todo su volumen de vacíos lleno de agua.

**Textura.** Tamaño, forma y disposición de los minerales componentes de las rocas.

**Agua ácida.** Agua producto de las operaciones mineras.

**Desatado.** Es el proceso de hacer caer la roca aflojada desde el techo, frente y paredes de una excavación.

**Desatador.** Al minero que desata la roca suelta se le llama desatador.

**Dilución.** Pérdida de ley que sufre el mineral, cuando es mezclado con desmonte.

**Efecto arco.** La forma en arco se da principalmente al techo de una excavación para favorecer su estabilidad.

**Estallido de rocas.** Fenómeno relacionado a altos esfuerzos en roca competente y frágil. Rotura o falla descontrolada de la roca.

**Fallas geológicas.** Son fracturas que han tenido desplazamiento.

**Golpeo y sonido de la roca.** Cuando el desatador golpea a la roca con la barretilla de desatado, el sonido que escucha le permitirá conocer si la roca está sólida y sujeta firmemente en el lugar (sonido metálico) o si la roca está suelta y peligrosa (sonido hueco).

**Litología,** Ciencia que estudia el origen, evolución y clasificación de las rocas.

**Roca.** Es el conjunto de sustancias minerales que formando masas, constituyen gran parte de la corteza terrestre.

**Recurso.** Cualquier bien capaz de suministrar a su poseedor alguna utilidad o beneficio constituye un recurso. En términos comunes de economía. (Bustillo y López, 1997).

**Geología.** La Geología es una disciplina compleja en que convergen las ciencias exactas y las ciencias naturales, juntas para llevar a cabo grandes investigaciones que contribuyen a un mejor conocimiento y entendimiento de nuestro planeta.

**Estratigrafía.** Trata del estudio e interpretación de las rocas sedimentarias estratificadas, y de la identificación, descripción, secuencia, tanto vertical como horizontal; cartografía y correlación de las unidades estratificadas de rocas.

**Geología económica.** Se encarga del estudio de las rocas con el fin de encontrar depósitos minerales. La explotación de estos recursos es conocida como minería.

**Geología estructural.** Se dedica a estudiar la corteza terrestre, sus estructuras y su relación en las rocas que las contienen. Estudia la geometría de las formaciones rocosas y la posición en que aparecen en superficie.

**Hidrogeología.** Rama de las ciencias geológicas que estudia las aguas subterráneas en lo relacionado con su origen, su circulación, sus condicionamientos geológicos, su interacción con los suelos, rocas y humedales; su estado (líquido, sólido y gaseoso) y propiedades (físicas, químicas, bacteriológicas y radiactivas) y su captación.

**Petrología.** Consiste en el estudio de las propiedades físicas, químicas, mineralógicas, espaciales y cronológicas de las asociaciones rocosas y de los procesos responsables de su formación.

**Geología económica.** La investigación se realiza en los siguientes temas: Metalogénesis y Modelos de yacimientos, Geoquímica Aplicada,

Geocronología y Geoquímica Isotópica aplicada a yacimientos minerales, Exploración de yacimientos.

**Swellex.** También es un perno de anclaje por fricción, pero en este caso la resistencia friccional al deslizamiento se combina con el ajuste, es decir, el mecanismo de anclaje es por fricción y por ajuste mecánico, el cual funciona como un anclaje repartido.

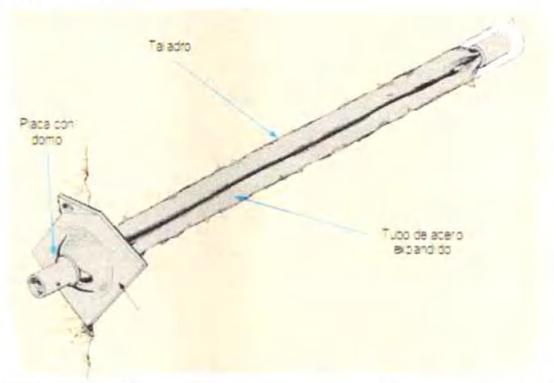


Figura.3.12. Perno de fricción swellex  
Fuente. Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía 2004.

El perno swellex está formado por un tubo de diámetro original de 41 mm y puede tener de 0.6 a 12 m de longitud o más (en piezas conectables), el cual es plegado durante su fabricación para crear una unidad de 25 a 28 mm de diámetro. Éste es insertado en un taladro de 32 a 39 mm de diámetro. No se requiere agua a alta presión (aproximadamente 30 MPa ó 300 bar) al interior del tubo plegado, el cual infla al mismo y lo pone en contacto con las paredes del taladro, adaptándose a las irregularidades de la superficie del taladro, así se consigue el anclaje.

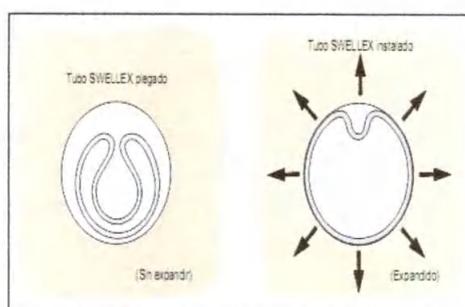


Figura.3.13. Mecanismo de anclaje de swellex  
Fuente. Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía 2004.

**Split sets.** El split set, consiste de un tubo ranurado a lo largo de su longitud, uno de los extremos es ahusado y el otro lleva un anillo soldado para mantener la platina. Al ser introducido el perno a presión dentro de un taladro de menor diámetro, se genera una presión radial a lo largo de toda su longitud contra las paredes del taladro, cerrando parcialmente la ranura durante este proceso. La fricción en el contacto con la superficie del taladro y la superficie externa del tubo ranurado constituye el anclaje, el cual se opone al movimiento o separación de la roca circundante al perno, logrando así indirectamente una tensión de carga.

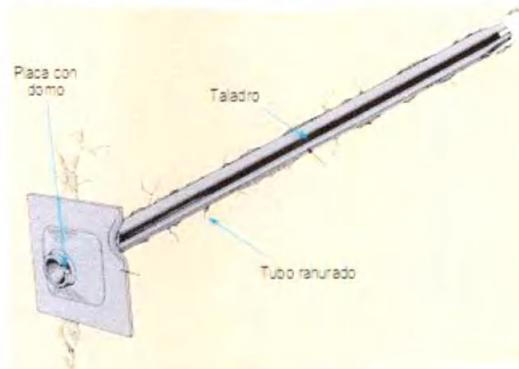


Figura.3.14. Perno de fricción split set

Fuente. Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía 2004

Los split sets, conjuntamente con los swellex, representan el más reciente desarrollo de técnicas de reforzamiento de roca, ambos trabajan por fricción (resistencia al deslizamiento) a lo largo de toda la longitud del taladro,. Aunque los dos trabajan con el mismo principio, tienen diferentes mecanismos de sostenimiento, como veremos más adelante. El diámetro de los tubos ranurados varía de 35 a 46 mm, con longitudes de 5 a 12 pies. Pueden alcanzar valores de anclaje de 1 a 1.5 toneladas por pie de longitud. Los split sets son utilizados mayormente para reforzamiento temporal, usualmente conformando sistemas combinados de refuerzo en terrenos de calidad regular a mala. En roca intensamente fracturada y débil no es recomendable su uso.

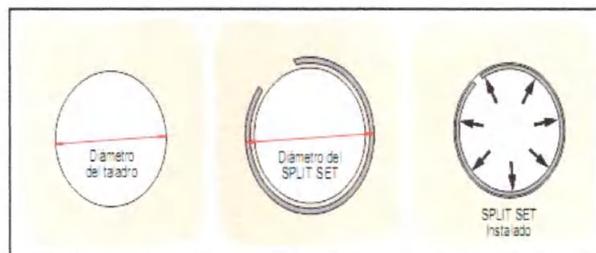


Figura.3.15. Mecanismo de anclaje de split set

Fuente. Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía 2004

Su instalación es simple, solo se requiere una máquina jackleg o un jumbo. Proporciona acción de refuerzo inmediato después de su instalación y el diámetro del taladro es crucial para su eficacia, el diámetro recomendado para los split sets de 39 mm es de 35 a 38 mm, con diámetros más grandes se corre el riesgo de un anclaje deficiente y con diámetros más pequeños es muy difícil introducirlos. Son susceptibles a la corrosión en presencia de agua, a menos que sean galvanizados. En mayores longitudes de split sets, puede ser dificultosa la correcta instalación. Los split sets son relativamente costosos.

#### **IV. MARCO METODOLÓGICO**

##### **4.1 TIPO Y DISEÑO**

###### **4.1.1 Tipo de la Investigación**

Existen cuatro tipos de investigación: Exploratoria, descriptiva, correlacional o explicativa. Una misma investigación puede abarcar fines exploratorios, en su inicio, y terminar siendo descriptiva, correlacional y hasta explicativa; todo según los objetivos del investigador (Huancahuari 2009). El presente trabajo de investigación, es del tipo descriptivo y aplicativo.

###### **4.1.2 Diseño de la Investigación**

Según Sánchez (1986), El diseño de investigación constituye el plan general del investigador para obtener respuestas a sus interrogantes o comprobar la hipótesis de investigación. El diseño desglosa las estrategias básicas que el investigador adopta para generar información exacta e interpretable, es el plan o estrategia que se desarrolla para obtener la información que se requiere en una investigación (Hernández, Fernández, Baptista 2006). Diseño se refiere al plan estratégica concebida para obtener la información que se desea obtener Una vez que se precisó el planteamiento del problema, se define el alcance inicial de la investigación y se formularon las hipótesis, que permite seleccionar o desarrollar uno o más diseños de investigación y aplicarlos a su contexto particular del estudio. En el presente trabajo de investigación se ha considerado de acuerdo a sus características particulares tres fases que son:

- Trabajo de campo.
- Trabajo en gabinete.
- Post proceso.

## 4.2 NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El concepto de nivel, semánticamente, alude a la altura; así hablamos de colocar determinadas cosas en el mismo nivel. Pero también se usa la palabra nivel para expresar una gradación que va de lo inferior a lo superior, de lo simple a lo complejo, este último es el sentido de "niveles de investigación". El presente trabajo de investigación es:

- Descriptivo: Con los estudios descriptivos se busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis.
- Explicativo: Los estudios explicativos van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; es decir, están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales.

## 4.3 OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

### 4.3.1 Operacionalización de variables e indicadores

Consiste en descomponer deductivamente las variables que componen el problema de investigación, partiendo desde lo más general a lo más específico; Las variables son características que pueden ser medidas. En el enfoque cuantitativo; el autor plantea, que cuando se realiza una investigación de índole exploratorio, descriptiva, clasificatoria, diagnóstica y/o de diseño de investigación longitudinal o transversal y/o modalidad documental, se debe utilizar el término cuadro de variables; y cuando se realiza una Investigación de índole correlacional, explicativa, evaluativa (Hurtado y Toro, 2005).

#### 4.3.2 Identificación y Clasificación de variables e indicadores

La identificación y la clasificación de las variables se han realizado tomando en cuenta el área donde se ejecutará el presente trabajo de investigación vale decir en el crucero 635 de Proyecto Minero el Nuevo Sureño de Compañía Minera Chaspaya SAC.

#### 4.3.3 Variables – indicadores

Según Hurtado y Toro (2005) la variable es todo aquello que puede cambiar o adoptar distintos valores, calidad: cantidad o dimensión.

#### 4.3.4 Variable Independiente

La Calidad del macizo rocoso mediante la evaluación geomecánica de la litología estructural en crucero 635 de Proyecto Minero el Nuevo Sureño de Compañía Minera Chaspaya SAC.

#### **Indicadores:**

Caracterización geomecánica de roca intacta:

- Propiedades físico mecánicas

Caracterización geomecánica del macizo rocoso:

- Clasificación geomecánica de RMR Bieniawski 1989
- Índice Q de Nick Barton
- GSI de Hoek and Brown
- RQD

#### 4.3.5 Variable dependiente

Diseño de sostenimiento apropiado para evitar desprendimiento de rocas en crucero 635 de Proyecto Minero el Nuevo Sureño de Compañía Minera Chaspaya SAC.

#### **Indicadores:**

Soporte activo

- Pernos de anclaje

## Soporte pasivo

- Cimbras
- Enmaderado

Tabla de operacionalización de variables.

Variables	Dimensión	Indicadores	Items.	Herramientas
<b>1.Variable independiente :</b> La Calidad del macizo rocoso mediante la evaluación geomecánica de la litología estructural en crucero 635 de Proyecto Minero el Nuevo Sureño de Compañía Minera Chaspaya SAC.	Caracterización de roca intacta.	Propiedades físicas.	Densidad, Porosidad. Peso específico. Cohesión. Ángulo de fricción interna.	Laboratorio
		Propiedades mecánicas.	Resistencia compresiva uniaxial. Resistencia compresiva triaxial. Carga puntual. Corte directo. Método Brasileiro.	Laboratorio
	Caracterización del macizo rocoso.	Dominio estructural del macizo rocoso.	Mapeo geomecánico.	Registro lineal
		Índice de la calidad de roca RQD.	Método de Deere. Método de Palmstron.	Fórmulas
		Evaluación de RMR de Bieniawski (1976-1989) y tiempo de auto soporte.	Cuantificación de RMR y diseño de soporte.	Ábacos
		Índice Q de Nick Barton.	Correlación de RMR de Bieniawski y Q de Barton	Ábacos
		Evaluación Sistema de clasificación Q de Barton y el soporte activo.	Diseño de soporte en función con Q de Barton.	Ábacos
Sistema de clasificación GSI Hoek y Paul marinos.	Evaluación de discontinuidades y RQD para GSI.	Ábacos Software		
<b>2. Variable dependiente.</b> Diseño de sostenimiento apropiado para evitar desprendimiento de rocas en crucero 635 de Proyecto Minero el Nuevo Sureño de Compañía Minera Chaspaya SAC.	Auto soporte.	Tiempo de auto soporte.	Evaluación de tiempo de auto soporte en función a la teoría de Lauffer, modificado por Bieniawski.	Ábacos
	Soporte activo.	Acero corrugado Split Sets. Swelex.	Diseño y aplicación	Software Catálogos
	Soporte pasivo.	Cimbras. Maderas.	Diseño y aplicación	Software Catálogos

## 4.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

### 4.4.1 Población

La población está constituida por el conjunto de todas las observaciones posibles con el establecimiento de la unidad de análisis y su respectiva delimitación, la unidad de análisis está formado por el conjunto de mediciones que se obtengan de registro lineal, características estructurales, propiedades físico-mecánicas para caracterización del macizo rocoso este conjunto de elementos se evaluará mediante el uso de estereograma y se procesarán en el software DIPS para posteriormente determinar la calidad del macizo rocoso mediante las clasificaciones geomecánicas mas aplicadas.

### 4.4.2 Muestra

De acuerdo a la explicación de las definiciones en los párrafos anteriores en el presente trabajo de investigación tanto la población como muestra lo conforman las diaclasas o discontinuidades del macizo rocoso, además dado las características geoestructurales la población es igual que la muestra en vista que la toma de datos de mapeo geomecánico se realizará en progresivas conforme se realiza el avance, en cruce 635 en Proyecto Minero el Nuevo Sureño de Compañía Minera Chaspaya SAC.

**Número de muestra.** Existen dos formas de determinar el número de muestra con aplicación de fórmulas respectivas que son:

- Número muestra conociendo la población.
- Número de muestra sin conocimiento de la población.

El número de muestra respecto a las discontinuidades del macizo rocoso dependerá del tamaño de la progresiva o tramo estos datos de campo se obtendrán en el terreno conforme las características lito estructurales del macizo rocoso, las características de cada una de las discontinuidades se

evalúan haciendo uso del software Dips con gráficos de histogramas respectivas por la cantidad total de discontinuidades en la progresiva donde no es necesario determinar el número de muestras, lo que se trata es determinar el número total de discontinuidades en una progresiva y avances respectivos, (Córdova N. 2008)

#### 4.4.3 Muestreo

El muestreo es una herramienta de la investigación científica cuya función específica es; que parte de una realidad en el estudio es decir de la población debe realizarse con el objetivo de hacer inferencias sobre dicha población en el cruce 635 de Proyecto Minero El Nuevo Sureño de Compañía Minera Chaspaya SAC.

### 4.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

#### 4.5.1 Técnicas e Instrumentación de la Recolección de Datos

En el proceso de elaboración del conocimiento objeto de la investigación, se hará uso del método deductivo, es decir, partiendo de una estrategia global de marco teórico o conceptual, se estudiará un tema específico como es la seguridad y salud ocupacional en la Compañía Minera Chaspaya SAC.

Los datos se recabarán mediante los siguientes procedimientos:

- Observación estructurada recolección de datos de campo en registro lineal.
- Fichaje de libros, diarios y revistas.
- Evaluación directa mediante el uso de software especializado
- Entrevistas a especialistas en temas de sostenimiento geomecánico en la actividad minera subterránea.
- Evaluación comparativa con otros trabajos de investigación referidos al sostenimiento en excavaciones subterráneas.

#### 4.5.2 Técnicas para el Procesamiento de la Información

En ésta etapa del estudio se utilizó como técnicas a la codificación, tabulación (definición de cuadros y gráficas) y cuadros de consistencia para luego en función a estos cuadros elaborados se puede realizar el análisis respectivo con el apoyo de un ordenador específico es el software Excel avanzado, Access (base de datos).

#### 4.5.3 Técnicas de Análisis de Datos

En el nivel de análisis en función a los objetivos y las hipótesis que se han planteado si se consideran necesarias las técnicas estadísticas, se debe mencionar y justificar convenientemente su uso, en el presente trabajo de investigación es sumamente importante realizar análisis estadístico, la información recolectada será representada en tablas de contingencia, con tantas entradas como indicadores tengan las variables, o también serán representadas en gráficos, cualquiera que sea su forma, los cuales se mencionarán en cada caso específico. En cuanto a la prueba o pruebas estadísticas a emplearse, se puede emplear la estadística descriptiva (ED) o Inductiva (EI). La primera tiene por objeto procesar las medidas necesarias de las cosas, individual y/o grupalmente, sin abrir juicio de calidad, valor, diferencia, importancia, etc., sobre las mismas. La segunda atiende a las necesidades de tomar decisiones a partir de esos valores; compara, afirma, infiere la probabilidad de la ocurrencia de tales valores, estima, etc. Respecto a las pruebas estadísticas, existen muchas, sin embargo se pueden emplear, T de student, la regresión simple, la regresión múltiple, la regresión logística, el análisis discriminante, la correlación, etc.

#### 4.6 VALIDACIÓN Y CONFIABILIDAD DE LOS INSTRUMENTOS

Según Hernandez, Fernandez y Baptista (2006), toda medición o instrumento de recolección de datos debe reunir tres requisitos esenciales: confiabilidad, validez y objetividad.

**La confiabilidad.** La confiabilidad de un instrumento de medición se refiere al grado en que su aplicación repetida al mismo individuo u objeto produce resultados iguales

**La validez.** La validez, en términos generales, se refiere al grado en que un instrumento realmente mide la variable que pretende medir. Por ejemplo, un instrumento válido para medir la inteligencia debe medir la inteligencia y no la memoria

**La objetividad.** En un instrumento de medición, la objetividad se refiere al grado en que éste es permeable a la influencia de los sesgos y tendencias del investigador o investigadores que lo administran, califican e interpretan (Mertens, 2005) citado por Hernandez, Fernandez y Baptista (2006). En este sentido, los aparatos y sistemas mal calibrados por ejemplo una balanza electrónica mal calibrada y no estandarizada puede conducir a generar sesgos en los resultados y son más objetivos que otros sistemas que requieren cierta interpretación (como un detector de mentiras) y éstos, a su vez, más objetivos que las pruebas estandarizadas, las cuales son menos subjetivas que las pruebas proyectivas. La objetividad se refuerza mediante la estandarización en la aplicación del instrumento (mismas instrucciones y condiciones para todos los participantes) y en la evaluación de los resultados; así como al emplear personal capacitado y experimentado en el instrumento. Por ejemplo, si se utilizan observadores, su proceder en todos los casos debe ser lo más similar que sea posible y su entrenamiento tendrá que ser profundo y adecuado.

Fox (1990) citado por Carrasco Díaz, Sergio. (2009) señala que para lograr la representatividad se requiere lo siguiente:

- Conocer qué características (variables) están relacionadas con el problema que se estudia.
- Capacidad para medir esas variables.
- Poseer datos de la población sobre estas características o variables para usarlos como variable de comparación.

Tomando las propuesta de Fox (1990) citado por Carrasco Díaz, Sergio. (2009) .la caracterización de la roca intacta se realizara tomando en cuenta las normas internacionales de ISRM. Los cuales están codificadas para cada caso tanto en laboratorio con la recolección de datos de campo la recolección de datos de campo se realizara con equipos estandarizados y calibrados para evitar sesgos.

Existen diversos tipos de instrumentos de medición debidamente calibradas el uso de cada instrumento esta normado en la Sociedad Internacional de Mecánica de rocas (ISRM), cada uno con características diferentes. Sin embargo, el procedimiento general para construirlos es semejante. El procedimiento para construir un instrumento de medición es el siguiente:

- Listar las variables.
- Revisar su definición conceptual y comprender su significado.
- Revisar cómo han sido definidas operacionalmente las variables.
- Elegir el instrumento o los instrumentos (ya desarrollados) que hayan sido favorecidos por la comparación y adaptarlos al contexto de la investigación, esto nos da entender de que podemos tomar en consideración las investigaciones realizadas sobre el tema en operaciones mineras subterráneas del País que se han detallado en el capítulo precedente.

Para este caso sólo deben seleccionarse instrumentos cuya confiabilidad y validez sea altamente confiable y que han sido probadas como una investigación representativa de geomecánica aplicada a la minería subterránea, los que serán consolidadas con la capacitación técnico académica en la geomecánica de Cámara Minera del Perú (CAMIPER) y CICG (Centro Internacional de capacitación en Geotécnica y Geomecánica Lima - Peru haciendo de software especializado DIPS.

#### 4.6.1 Instrumentos

Un instrumento de recolección de datos es, cualquier recurso de que se vale el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos información dentro de cada instrumento concreto pueden distinguirse dos aspectos diferentes: forma y contenido. La forma del instrumento se refiere al tipo de aproximación que se establece con lo empírico, a las técnicas que utilizamos para esta tarea.

El contenido queda expresado en la especificación de los datos que se necesita conseguir; se concreta, por lo tanto, en una serie de ítems que no son otra cosa que los mismos indicadores que permiten medir las variables,

pero que asumen ahora la forma de pregunta, puntos a observar, elementos a registrar, etc.

Es el material base, resultado de la operacionalización de las variables que contienen ítems ya sean abiertos (inestructurados) o cerrados (estructurados) o ambos (semiestructurados) y se van a aplicar ya sea a la población, muestra o a pequeños grupos, se han considerados los siguientes:

- Registro lineal para mapeo geomecánico de RMR.
- Computadoras y/o laptops personales.
- Software especializado para los cálculos y procesamiento de datos DIPS el proyecto tiene licencia.
- Hojas de papel bond para cálculos y transformaciones.
- Catálogos.
- Tablas de valores.
- Fichas.
- Tests.
- Brújulas.
- Estación total.
- Equipo de GPS Navegador.
- Escalímetros.
- Flexómetro.
- Equipo de protección personal de seguridad minera.
- Pinturas para el marcado de las discontinuidades.
- Planos catastrales de la geología regional y local.
- Informaciones satelitales en la carta Nacional de IGN (Instituto Geográfico Nacional).

Según Córdova R. (2008), una adecuada construcción de los instrumentos de recolección que la investigación requiere, alcanza entonces la necesaria correspondencia entre teoría y hechos; es más, podríamos decir que es gracias a ellos que ambos términos efectivamente se vinculan, con los procedimientos planteados con los resultados que se obtienen en toda zona

del presente trabajo de investigación de las características geomecánicas del macizo rocoso en la prevención de caída rocas con un sostenimiento eficiente considerando las diferentes teorías y experiencias en las diferentes empresas mineras dedicadas a la explotación subterránea.

#### 4.7 MÉTODOS Y TÉCNICAS PARA LA PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

##### 4.7.1 Método

En el presente trabajo de investigación el método más adecuado es el método científico puesto que refiere al conjunto de procedimientos que, valiéndose de los instrumentos o las técnicas necesarias, examina y soluciona un problema o conjunto de problemas de investigación, tiene la siguiente secuencia:



##### 4.7.2 Técnicas de análisis de datos

En los análisis de datos empleará la estadística descriptiva (ED) o inductiva (EI). La primera tiene por objeto procesar las medidas necesarias de las cosas, individual y/o grupalmente, sin abrir juicio de calidad, valor, diferencia, importancia, etc., sobre las mismas. La segunda atiende a las necesidades

de tomar decisiones a partir de esos valores; compara, afirma, infiere la probabilidad de la ocurrencia de tales valores, estima, respecto a las pruebas estadísticas, existen muchas, sin embargo se empleará, de acuerdo a los requerimientos estadísticos, teniendo presente que el software DIPS tiene incorporado para la aplicación de estadística de las discontinuidades.

#### 4.7.3 Técnicas de procesamiento de datos

En ésta etapa del estudio se utilizará la codificación, tabulación (definición de cuadros y gráficas) y cuadros de consistencia para luego en función a estos cuadros elaborados se realizará el análisis respectivo con el apoyo de un ordenador SPSS y otros.

#### 4.7.4 Técnicas de recolección de datos

Según Hernández, Fernández y Baptista (2006), recolectar datos implica tres actividades estrechamente vinculadas entre sí:

- Seleccionar un instrumento o método de recolección de los datos entre los disponibles en el área de estudio en la cual se inserte nuestra investigación o desarrollar uno.
- Aplicar ese instrumento o método para recolectar datos. Es decir obtener observaciones, registros o mediciones de variables, sucesos, contextos, categorías u objetos que son de interés para nuestro estudio.
- Preparar observaciones, registros y mediciones obtenidas para que se analicen correctamente.

## **V. ASPECTOS ADMINISTRATIVOS**

### **5.1 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES**

#### 5.1.1 Cronograma en Tiempos

Se ha estimado las diferentes etapas del proyecto y el tiempo considerado para cada una de ellas. La distribución del tiempo se ha elaborado mediante el uso de la gráfica para la ilustración del cronograma de actividades los cuales se deben ejecutarse en un periodo de tiempo de tres meses en el diagrama propuesto se estable la secuencia de las actividades desde el inicio

de la elaboración del trabajo hasta la entrega del borrador de tesis, en Proyecto Minero El Nuevo Sureño de Compañía Minera Chaspaya SAC.

El tiempo considerado es de tres meses dándose inicio a las actividades de la investigación el 01 de julio de 2016 hasta el 31 de setiembre de 2016 distribuido en 12 semanas mostradas en la figuras.

### 5.1.2 Actividades en Diagrama

En el diagrama se ha planteado para una duración de tres meses para la culminación del presente trabajo de investigación en Proyecto Minero El Nuevo Sureño de Compañía Minera Chaspaya SAC.

Tabla 5.1 Cronograma de actividades

ACTIVIDADES	SEMANAS											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Arqueo bibliográfico y Capacitación personalizado	■	■	■	■	■							
Elaboración del marco teórico	■					■	■	■	■	■		
Definición de indicadores		■	■	■								
Elaboración del registro		■	■	■								
Prueba del registro		■	■	■	■	■	■	■				
Selección de la muestra		■	■	■								
Realización de cálculos			■	■	■							
Plan de tabulación de datos			■	■	■	■						
Tabulación y codificación					■	■	■					
Análisis de datos con software de rocscience			■	■	■	■						
Redacción del borrador						■	■	■	■			
Revisión del borrador					■	■	■	■	■	■	■	
Presentación del borrador de tesis											■	■

Fuente: Diagrama de Gantt

## 5.2 RECURSOS HUMANOS

Requeridos en las diferentes etapas del proceso: capacitaciones personalizadas con expertos, investigadores, asesores, así como personal de apoyo en la consecución del presente trabajo de investigación.

Se ha asignado los recursos necesarios para la realización del presente proyecto de investigación, tomando en cuenta tres aspectos fundamentales que son necesarios para realizar cualquier trabajo inherente a la investigación estos recursos son: Humanos, económicos y físicos, para la recolección de datos del campo in-situ y la determinación de la calidad del macizo rocoso y su aplicación en el diseño de soporte ya sea activo pasivo en Proyecto Minero el Nuevo Sureño de Compañía Minera Chaspaya SAC.

### 5.3 BIENES

Se ha considerado bienes fungibles y bienes infungibles, un bien fungible son los bienes muebles que se consumen (gastan o desaparecen) para su poseedor con el primer uso, aunque pueden mantener su existencia física, pueden ser sustituidos por otros de la misma especie, calidad y cantidad, tales como el dinero, las mercaderías y otros. Bienes no fungibles: no pueden ser sustituidos por otros de la misma especie. En el presente trabajo de investigación que se realizara en Proyecto Minero el Nuevo Sureño de Compañía Minera Chaspaya SAC se han considerado equipos, materiales y suministros necesarios para la recolección, tabulación y análisis de datos (apoyo logístico). Es necesario considerar que se refiere los recursos y facilidades disponibles con que cuenta el investigador para la realización del trabajo de investigación en Proyecto Minero el Nuevo Sureño de Compañía Minera Chaspaya SAC; cuando se trata de obtener apoyo financiero. Los recursos deben ser considerados en forma detallada y especificados con precisión, ya que tienen implicancias presupuestarias que deben considerarse obligatoriamente, especificando la cantidad y el costo de cada uno de ellos. El presupuesto con los detalles del costo del trabajo de investigación puede ser presentado como anexo a la propuesta.

### 5.4 SERVICIOS

Teniendo presente que un servicio es un conjunto de actividades que buscan satisfacer las necesidades del investigador. Los servicios incluyen una diversidad de actividades desempeñadas por un gran número de personas en donde las actividades se desarrollarán con la idea de fijar una expectativa en el resultado de éstas.

En el presente trabajo de investigación se requiere informaciones primarias y secundarias, para obtener las informaciones se requiere el uso de software especializado de Dips y modulos, y el asesoramiento de personas especialistas en el campo de la geomecánica por métodos directos e indirectos, destructivos y no destructivos el uso de laboratorio de mecánica de rocas, para el proceso mencionado se recurrirá a los servicios de laboratorios y expertos en geomecánica. Se recurrirá a la biblioteca de las Universidades para consolidar una mejor información además se hará uso de la webgrafía existente.

### 5.5 FUENTES DE FINANCIAMIENTO Y PRESUPUESTO

Se refiere al financiamiento para la ejecución del presente trabajo de investigación, para este caso el investigador ha destino un monto considerable para cubrir los gastos que va generar desde el inicio hasta la culminación y presentación de tesis, Se ha considerado los más importantes que tienen mayor repercusión para llevar adelante la investigación.

Los costos para el presente trabajo de investigación están distribuidos:

<b>DISTRIBUCION DE COSTOS PARA LA EJECUCION DEL PROYECTO DE TESIS</b>		
<b>Nº</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>MONTO S/.</b>
1	Personal de apoyo	2 000 00
2	Alquiler de equipos	2 000 00
3	Alquiler de camioneta	2 000 00
4	Alquiler de instrumentos de geomecánica	2 000 00
5	Equipos de cálculo en gabinete	2 000 00
6	Servicios de impresión y papelería	1 000 00
7	Capacitación personalizada-Asesor especializado	5 000 00
	<b>TOTAL</b>	<b>16 000 00</b>

## 5.6 MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA
<p><b>Interrogante General</b></p> <p>¿De qué manera se puede diseñar el sostenimiento apropiado para evitar desprendimiento de rocas en crucero 635 mediante la calidad del macizo rocoso en proyecto minero el Nuevo Sureño de Compañía Minera Chaspaya SAC.?</p>	<p><b>1. Objetivo General</b></p> <p>Diseñar el sostenimiento apropiado para evitar desprendimiento de rocas en crucero 635 mediante la calidad del macizo rocoso en proyecto minero el Nuevo Sureño de Compañía Minera Chaspaya SAC.</p>	<p><b>1.-Hipótesis General:</b></p> <p>Mediante la determinación de la calidad del macizo rocoso se logrará diseñar el sostenimiento apropiado para evitar desprendimiento de rocas en crucero 635 de proyecto minero el Nuevo Sureño de Compañía Minera Chaspaya SAC.?</p>	<p><b>Variable independiente.</b></p> <p>La Calidad del macizo rocoso mediante la evaluación geomecánica de la litología estructural en crucero 635 de Proyecto Minero el Nuevo Sureño de Compañía Minera Chaspaya SAC.</p>	<p><b>1.Tipo de Investigación</b> Descriptiva</p> <p><b>2.Nivel de Investigación</b> Básica y explicativa</p> <p><b>3.Metodología de Investigación</b> Descriptiva</p> <p><b>4.Diseño de la Investigación</b> descriptivo aplicativo</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Campo</li> <li>• Laboratorio</li> <li>• Software geomecánico</li> </ul> <p><b>5.Población</b> Discontinuidades del macizo rocoso</p>
<p><b>Interrogantes específicos</b></p> <p>¿De qué manera se puede determinar la calidad del macizo rocoso en crucero 635 de proyecto minero el Nuevo Sureño de la Compañía Minera Chaspaya SAC?</p> <p>¿De qué manera se puede diseñar el sostenimiento apropiado en crucero 635 de proyecto minero el Nuevo Sureño de la Compañía Minera Chaspaya SAC?</p>	<p><b>2. Objetivos Específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Determinar la calidad del macizo rocoso en crucero 635 de proyecto minero el Nuevo Sureño de la Compañía Minera Chaspaya SAC</li> <li>•Diseñar el sostenimiento apropiado en crucero 635 de proyecto minero el Nuevo Sureño de la Compañía Minera Chaspaya SAC</li> </ul>	<p><b>2.-Hipótesis Específicas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Mediante la evaluación geomecánica de la litología estructural se logrará determinar la calidad del macizo rocoso en crucero 635 de Proyecto Minero el Nuevo Sureño de Compañía Minera Chaspaya SAC.?</li> <li>•Conociendo la calidad del macizo rocoso se logrará diseñar el sostenimiento apropiado para evitar desprendimiento de rocas en crucero 635 de Proyecto Minero el Nuevo Sureño de Compañía Minera Chaspaya SAC.?.</li> </ul>	<p><b>Variable dependiente.</b></p> <p>Diseño de sostenimiento apropiado para evitar desprendimiento de rocas en crucero 635 de Proyecto Minero el Nuevo Sureño de Compañía Minera Chaspaya SAC.</p>	<p><b>Base de datos de laboratorio</b></p> <p><b>Post proceso.</b></p> <p><b>6.Muestra:</b> el tamaño de muestra será igual al tamaño de la población</p>

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### 6.1 BIBLIOGRAFIA

1. Avila (2001), *Metodología de la Investigación*. Lima- Peru. Ediciones estudios y ediciones R.A.
2. Aguilar A. (2006), *tesis titulado Caracterización geotécnica y estructural de la rampa de exploración y del túnel de drenaje, Mina Chuquicamata de la Universidad de Chile* Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Geología.
3. Barton, N.R., Lien, R. and Lunde, J. (1974). *Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support*. Rock Mech. 6(4), 189-239.
4. Bieniawski, Z.T. (1973). *Engineering classification of jointed rock masses*. Trans S. Afr. Inst. Civ. Engrs 15, 335-344.
5. Bieniawski, Z.T. (1976). *Rock mass classification in rock engineering. In Exploration for rock engineering, proc. of the symp.* (ed. Z.T. Bieniawski) 1, 97-106. Cape Town: Balkema.
6. Bieniawski, Z.T. (1989). *Engineering rock mass classifications*. New York: Wiley. Carter, T.G. 1992. *A new approach to surface crown pillar design*. Proc. 16th. Canadian.
7. Carhuamaca G. (2009), *tesis con título "Evaluación y optimización del sostenimiento con cimbras en minería subterránea"* de la Universidad Nacional de Ingeniería Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica, Escuela de Formación Profesional de Ingeniería de Minas. Lima-Perú.
8. Carrasco D. S. (2009) *Metodología de Investigación Científica*. Lima: Editorial San Marcos, p. 93.
9. Córdova R. D. (2008) en su tesis de postgrado *"Geomecánica en el minado subterráneo caso mina condestable"* De la Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica Escuela de Formación Profesional de Ingeniería de Minas. Lima-Perú.
10. Goodman, R. E. (1980). *Introduction to Rock Mechanics*. John Wiley & Sons.
11. González de vallejo, L. (2002). *Ingeniería Geológica*. Prentice Hall. Madrid. 715 p.

12. Hernandez, Fernandez y Baptista (2006) *Metodología de la Investigación*. Iztapalapa, Mexico D.F. Mc Graw Hill.
13. Hoek, E., C. Carranza-Torres y B. Corkum (2002). Hoek-Brown failure criterion – 2002 Edition.
14. Huancahuari F. (2009), en Tesis “*La prevención de los riesgos ocupacionales mineros como responsabilidad de la Empresa*” para optar el grado académico de Doctor en Derecho de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos Facultad de Derecho y Ciencia Política unidad de Postgrado.
15. Hurtado I. y Toro J. (2005), *Paradigmas y métodos de investigación en tiempos de cambia*. Carabobo – Venezuela. Episteme Consultores Asociados C.A.
16. Kendorski, F., Cummings, R., Bieniawski, Z.T. and Skinner, E. (1983). *Rock mass classification for block caving mine drift support*. Proc. 5th Congr. Int. Soc. Rock Mech., Melbourne, B51-B63. Rotterdam: Balkema.
17. Laubscher, D.M. and Page, C.H. (1990). *The design of rock support in high stress or weak rock environments*. Proc. 92nd Can. Inst. Min. Metall. AGM, Ottawa, Paper # 91.
18. Lauffer, H. (1958). *Gebirgsklassifizierung für den Stollenbau. Geol. Bauwesen. Support needs compared at the Svartisen Road Tunnel*. 24(1), 46-51.
19. López F. y Geancarlo A. (2009), tesis titulado *Sostenimiento con pernos tipo Fore Pilling en la mina Pallca-CIA Minera Santa Luisa* de la Universidad Nacional de Ingeniería Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica, Escuela de Formación Profesional de Ingeniería de Minas, Lima-Perú.
20. López C. (1998) *Ingeniería de Túneles*. Madrid – España. Entorno Grafico.
21. Mamani F. (2015) *Sostenimiento Geomecánico en minería subterránea texto guía* de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.
22. Mamani F. (2015) *Mecánica de rocas texto guía* de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.
23. Mamani F. (2015) *Diseño de excavaciones y obras complementarias texto guía* de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.
24. Mamani F. (2015) *Mapeo geomecánico y geotécnico texto guía* de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

25. Mamani I. (2014), tesis "*Diseño de sostenimiento en galería 650-Nivel 3415 por método de elementos finitos en Minas Arirahua S.A.* de la Universidad Nacional del Altiplano Facultad de Ingeniería de Minas. Puno-Perú.
26. Mayhua J. (2013) *Geotecnia Minera texto guía* de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.
27. Palmström, A. (1982). *The volumetric joint count - a useful and simple measure of the degree of rock jointing*. Proc. 4th Congr. Int. Assn Engng Geol., Delhi 5, 221-228.
28. Rodríguez M. y Rodríguez R. (1986), *Teoría y diseño de la investigación científica*, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima - Perú.
29. Sánchez C. y Reyes C. (1986) *Metodología y diseño en la investigación científica*, p 120 Lima-Perú.
30. Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (2004) Comité de Seguridad Industrial, *Manual de Geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas por lograr una minería segura* .Lima-Perú.
31. Torres B.C. (2007) *Orientaciones Básicas de Metodología de Investigación Científica*. Lima: novena edición, p. 95.
32. Tafur R. (1995) *La tesis Universitaria*. Lima - Peru
33. Tamayo M. y Tamayo (2003). *El proceso de la investigación científica*. Mexico, D.F.
34. Bustamante Murillo, Aquilino (2008) tesis posgrado con título *Geomecánica aplicada en la prevención de pérdidas por caída de rocas Mina Huanzala –Cía Minera Santa Luisa S.A.* " de la Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica.
35. Deere, D.U (1963)., *Technical Description of Rock Cores for Engineering Purposes*, Rock Mech. Eng. Geol., 1.