

**UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA EN MINAS**



**“PREDICCIÓN DE COMPRESIÓN UNIAXIAL (UCS) Y RESISTENCIA  
A LA TRACCIÓN (BTS) DE ROCA INTACTA A TRAVÉS DE  
ENSAYO DE CARGA PUNTUAL (PLT)”**

**EDUARDO ALBERTO CISTERNAS FUENTES**  
Proyecto para optar al título de Ingeniero Ejecución en Minas

**Santiago-Chile**

**2014**

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>1.- INTRODUCCIÓN.</b> .....	<b>3</b>
<b>2.-OBJETIVOS</b> .....	<b>4</b>
2.1.- OBJETIVO GENERAL.....	4
2.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS. ....	4
<b>3.- ALCANCES.</b> .....	<b>5</b>
<b>4.- LIMITACIONES.</b> .....	<b>6</b>
<b>5.- JUSTIFICACION DEL ESTUDIO</b> .....	<b>7</b>
<b>6.- METODOLOGIA DE TRABAJO</b> .....	<b>8</b>
6.1.- ETAPA DE PLANIFICACIÓN. ....	8
6.2.- ETAPA DE EJECUCIÓN.....	8
6.3.- ETAPA DE CONTROL .....	9
6.4.- ETAPA DE CONCLUSIÓN .....	9
<b>7.- PROGRAMA DE TRABAJO</b> .....	<b>9</b>
<b>8.- BIBLIOGRAFIA.</b> .....	<b>11</b>

## **1.- INTRODUCCIÓN.**

En minería es de gran importancia la realización de estudios durante toda la vida de un proyecto. Estudios como a mecánica de rocas, ciencia que estudia el comportamiento de las rocas frente a distintas solicitudes de esfuerzos y condiciones de esta. De esta forma se refleja su valor para la minería ya que la adecuada y oportuna información entregada por el departamento de mecánica de rocas, facilita en gran medida la planificación minera.

Generalmente las empresas mineras solicitan determinar las características de la roca que presentan en sus faenas. Para realizar dicho análisis es necesario conocer el resultado global de las muestras en tratamiento, lo cual se logra a través de distintos ensayos geomecánicos.

La compresión uniaxial (UCS) y la resistencia a la tracción se consideran propiedades importantes al momento de caracterizar la roca. Existen métodos directos e indirectos para determinarlos según las normas internacionales. El índice de carga puntual, es un ensayo que se ha relacionado empíricamente tanto para resistencia a la compresión como a la tracción, sin embargo los resultados dependen del tipo de roca en estudio. En dicho ensayo de carga puntual las muestras de roca son cargadas entre dos placas de contacto puntual hasta que fallen. El ensayo brasilero (BTS) mide la resistencia a la tracción indirectamente, aplicando una tensión a través del diámetro de un disco de roca que es sometido a compresión mediante una carga vertical.

En esta investigación se llevará a cabo la ejecución de los tres tipos de ensayos, a partir de los cuales se compararán los métodos, elaborando un informe de presentación de resultados. Luego, se buscará desarrollar ecuaciones empíricas que relacionen UCS, BTS y PLT, con el fin de obtener ecuaciones simples, rápidas y prácticas para representar las características de la roca del área de estudio original de las muestras. Junto a esto se busca identificar los alcances y limitaciones primordiales al desarrollar la campaña.

## **2.-OBJETIVOS.**

### **2.1.- Objetivo general.**

El objetivo principal de este informe es comparar los distintos métodos del ensayo de carga puntual, y mencionar su utilidad al aplicarlo. Este estudio determina el índice de carga puntual de rocas en estado seco, donde, se ensayan probetas de forma diametral. Con esto, se busca desarrollar ecuaciones empíricas que relacionen los ensayos de carga uniaxial y brasilero, con el índice de carga puntual, para muestras de rocas pertenecientes al desarrollo de una campaña de la división andina.

### **2.2.- Objetivos específicos.**

- Implementar un lugar físico con toda la instrumentación necesaria, para realizar de manera correcta este tipo de ensayos.
- Detallar un procedimiento de trabajo para la realización del ensayo.
- Desarrollar los ensayos en base a la norma ASTM D4543-08 sobre preparación de muestras y tolerancias geométricas.
- Determinar la resistencia a la compresión uniaxial ASTM D7012-10 y resistencia a la tracción indirecta según norma internacional y ASTM D3967-08, respectivamente.
- Buscar posibles mejoras y recomendaciones a los procedimientos de los distintos ensayos en base a sus respectivas normas.

### **3.- ALCANCES.**

En este estudio se abarcarán los ensayos carga puntual (PLT), ensayo de tracción indirecta (método brasilero, BTS) y resistencia a la compresión uniaxial (UCS). Ejecutar un ensayo comprende desde el montaje de equipos a utilizar, pasando por los distintos parámetros y características del ensayo mismo, para finalmente obtener los respectivos resultados de cada ensayo para su futuro tratamiento.

Todo lo anterior se desarrollara por medio de un trabajo experimental y de investigación, teniendo en consideración las normas internacionales vigentes para dichos estudios.

La totalidad de muestras de rocas para el desarrollo de este proyecto, serán facilitadas por parte de la división andina de Codelco. Las cuales corresponden a una campaña con probetas de 48mm.

La etapa experimental de este estudio, que comprende la ejecución de todos los ensayos, se realizará en el Laboratorio de Mecánica de Rocas del Departamento de Ingeniería en Minas de la Universidad de Santiago de Chile. Todo lo anterior con la finalidad de obtener el título de Ingeniero de Ejecución en Minas que otorga dicha institución.

#### **4.- LIMITACIONES.**

Como primera limitante al trabajo a realizar, se tienen las normas internacionales que dictan este tipo de ensayos, principalmente la norma ASTM D4543-08, la cual dicta los parámetros y pasos a seguir para la correcta preparación y manejo de muestras previa a la ejecución de los ensayos.

Otra limitante de este estudio es que la finalidad del mismo no corresponde a interpretar del todo los resultados del tipo de fracturas, sino a la forma de obtenerlos, relacionarlos y presentarlos.

En este estudio no se harán análisis detallados de la geología correspondiente a las rocas en uso. Solo se mencionarán a modo de descripción, características generales presentes como la litología de las mismas.

Por último, se considera la disponibilidad del laboratorio, ya sea de equipos, tiempo, herramientas, espacio, etc. Que pueden inferir en gran medida en la realización de este proyecto.

## **5.- JUSTIFICACION DEL ESTUDIO.**

Hoy en día, para las empresas mineras es de vital importancia conocer las características de la roca en la cual están realizando sus operaciones, como por ejemplo determinar la resistencia a la compresión uniaxial y resistencia a la tracción de la roca en estudio. Sin embargo, aunque realizar el ensayo UCS es relativamente simple, se ha demostrado que consume una mayor cantidad de tiempo y costos, además que requiere una buena preparación de las muestras en comparación al ensayo PLT. Por dichas razones el ensayo PLT es usado más a menudo para predecir la resistencia a la compresión uniaxial. Por otro lado, la resistencia a la tracción es un ensayo directo que en la práctica, resulta muy difícil de realizar. Es por esto, que se utiliza de forma indirecta el ensayo brasilero, según ISRM (1978).

La realización de este estudio permite conocer la relación existente entre los distintos métodos, con el fin de poder predecir de la manera más acertada el valor de la resistencia a la compresión uniaxial y de la resistencia a la tracción en base al ensayo de carga puntual, principalmente para el tipo de material de roca perteneciente a la faena desde la cual se obtuvieron las muestras de roca.

Es importante que la información entregada a las empresas se realice con la mayor exactitud posible, es por esto, que este estudio determina la relación entre los ensayos de forma única para el material de roca de la empresa que otorga las muestras de roca. Si bien existen estudios anteriores que comparan dichos ensayos, estos no son del todo aplicables para todos los tipos de roca, es por esto que se hace necesario contar con una base coherente al tipo de roca en aplicación por cada faena, ya que utilizar estudios de otro tipo de roca genera valores poco acertados que podrían dar a mayores costos en realizar una sobrestimación de la zona; o lo contrario, que podría causar graves accidentes

## **6.- METODOLOGIA DE TRABAJO.**

### **6.1.- Etapa de Planificación.**

Como primera etapa del proyecto se tienen las interrogantes respecto al problema, a las cuales se debe encontrar solución, previa identificación de éste.

Aquí se determinan tanto objetivos como metas a lograr al final y durante todo el desarrollo del proyecto. Con esto se puede realizar un correcto desarrollo del estudio ya que los objetivos han sido debidamente propuestos.

Por último, se efectúa la elección de un curso de acción a seguir para desarrollar un trabajo programado, mediante el cual se puede llevar el seguimiento de los procesos.

### **6.2.- Etapa de Ejecución.**

En esta etapa se desarrolla toda la parte experimental del proyecto; luego de obtener las muestras e instalar los equipos, se procede a la preparación de las probetas.

En primera instancia, se realizan los ensayos de tipo no destructivos, como lo es determinar la densidad de la roca presente en cada muestra.

Seguidamente, comienzan los ensayos de tipo destructivo como lo son UCS, BTS y PLT. La recopilación de los datos se realizará independientemente por cada tipo de ensayo. El ensayo de carga puntual será el primero en comenzar debido a su fácil operación y poca preparación de las muestras. Luego, se realiza el ensayo de compresión uniaxial, y se termina realizando los ensayos de tipo brasilero.

Finalmente se recopilan todos los resultados obtenidos de los distintos ensayos, y se genera un formato de presentación que logre relacionar los datos de forma clara para ser aplicados de acuerdo al objetivo de este estudio.

### **6.3.- Etapa de Control**

Cada ensayo ejecutado en este estudio, se realiza en base a las normas internacionales mencionadas. A partir de dichas normas, continuamente se irá desarrollando una medida de control de los procesos realizados durante la ejecución de los ensayos, desde que se adquieren las muestras hasta la obtención de resultados. De este modo, se podrá tener definido un curso de acción continuo y permanente, logrando que los resultados sean obtenidos bajo las mismas condiciones.

### **6.4.- Etapa de Conclusión**

Finalmente, con todos los datos obtenidos mediante la correcta ejecución de los ensayos y dentro de las normas establecidas para cada caso, se procede a realizar la organización de la información. Así, se procede a realizar una clara comparación entre estos mediante aplicación de gráficos, a partir de los cuales se podrá establecer la relación existente entre las variables en comparación. Con todo esto, y de forma empírica, se podrá desarrollar una ecuación que refleje de mejor manera la relación presente para el tipo de roca en estudio.

## 7.- PROGRAMA DE TRABAJO.

Año 2015		Meses	Mes 01				Mes 02				Mes 03				Mes 04			
Fase	Actividad	Semanas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Identificación del Problema		■	■	■													
Desarrollo	Planteamiento de los objetivos		■	■	■	■												
	Recopilación de información		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Programa de Trabajo		■	■	■	■	■											
	Ingreso de muestras			■	■													
	Montaje de equipos			■	■													
	Preparación de Muestras			■	■	■	■	■	■	■								
	Ingreso de datos base			■	■	■	■	■	■									
Ejecución	Ensayos PLT			■	■	■	■	■										
	Ensayos UCS						■	■	■	■	■	■						
	Ensayos BTS								■	■	■	■						
	Obtención de los resultados				■	■	■	■	■	■	■	■	■					
Resultados	Clasificación de los resultados						■	■	■	■	■	■	■					
	Relacionar resultados												■	■	■			
	Formato de entrega de resultados													■	■	■		
	Confeción informe final													■	■	■	■	■

TABLA 1: Distribución de las fases a realizar durante el desarrollo del trabajo

## 8.- BIBLIOGRAFIA.

- M. Heidari, G.R. Khanlari, Mehdi Torabi Kaveh, S. Kargarian; “ Predicting the Uniaxial Compressive and Tensile Strengths of Gypsum Rock by Point Load Testing “,Department of Geology, Faculty of Sciences, Bu-Ali Sina University, Iran, 02 November 2011.
- T.N. Singh, Ashutosh Kainthola, Venkatesh A.; “ Correlation Between Point Load Index and Uniaxial Compressive Strength for Different Rock Types “, Department of Earth Sciences, Indian Institute of Technology Bombay, India, 11 November 2011.
- Diyuan Li, Louis Ngai Yuen Wong; “ The Brazilian Disc Test for Rock Mechanics Applications: Review and New Insights “, School of Resources and Safety Engineering, Central South University, China, 15 may 2012.
- Luis I. González de Vallejo; “Ingeniería Geológica”, 2004.
- Normas ASTM;
  - C170/C170M-14a Standard Test Method for Compressive Strength of Dimension Stone.
  - D653-14 Standard Terminology Relating to Soil, Rock, and Contained Fluids.
  - D2113-14 Standard Practice for Rock Core Drilling and Sampling of Rock for Site Investigation.
  - D5079-08 Standard Practices for Preserving and Transporting Rock Core Samples.
  - D6026-13 Standard Practice for Using Significant Digits in Geotechnical Data.

- D4543-08 Standard Practices for Preparing Rock Core as Cylindrical Test Specimens and Verifying Conformance to Dimensional and Shape Tolerances.
  - D4531-86 Standard Test Methods for Bulk Density of Peat and Peat Products.
  - D2216-10 Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water Content of Soil and Rock by Mass.
  - D3967-08 Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Intact Rock Core Specimens.
  - D2938-95 Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Intact Rock Core Specimens.
  - D7012-14 Standard Test Method for Compressive Strength and Elastic Moduli of Intact Rock Core Specimens under Varying States of Stress and Temperatures.
  - D5731-08 Standard Test Method for Determination of the Point Load Strength Index of Rock and Application to Rock Strength Classifications.
- Normas ISRM:
    - (1981); Rock characterization, testing and monitoring, ISRM suggested methods.
    - (1978); Suggested methods for determining tensile strength of rock materials. Suggested method for determining indirect tensile strength by Brazilian test.
    - (1985); Suggested methods for determining point load strength.