

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DE ADQUISICIÓN DE DATOS  
PARA LA DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RELACIÓN DE  
POISSON EN MATERIALES ROCOSOS

LUISA GYNETH GUTIERREZ GARCÍA



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
TUNJA  
2020

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DE ADQUISICIÓN DE DATOS  
PARA LA DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RELACIÓN DE  
POISSON EN MATERIALES ROCOSOS

LUISA GYNETH GUTIERREZ GARCÍA

Trabajo de grado para optar por el título de ingeniero civil

Director de tesis JOSÉ RODRIGO MÉNDEZ ZULUAGA  
Ingeniero Civil especialista en Geotecnia vial.

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
TUNJA  
2020

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

---

Ingeniera civil Mónica Helena Rodríguez Mesa  
MSc. Ingeniería Civil  
Decana Facultad Ingeniería Civil

---

Ingeniero Civil José Rodrigo Méndez Zuluaga  
Especialista Geotecnia vial  
Director

---

Jurado 1

---

Jurado 2

Tunja, 09 junio 2020

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme permitido llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mis padres por ser el pilar fundamental de mi vida, por su amor, su apoyo incondicional, y sobre todo por siempre creer en mí, es un verdadero orgullo y privilegio tenerlos como padres.

A mis hermanos que me tendieron su mano cuando los necesite y han sido parte de este largo proceso. A mi abuela que a pesar de que ya no está conmigo siempre fue y seguirá siendo una parte esencial en mi vida, sé que desde el cielo celebra este triunfo conmigo.

## AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a Dios por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecerme y ser mi guía. Agradezco a mis padres por siempre estar para mí, por sus sacrificios diarios y su dedicación constante, a mis hermanos que han sido un soporte fundamental, gracias por sus consejos, su voz de aliento.

Agradezco a mi director de tesis el Ingeniero José Rodrigo Méndez quien con su experiencia, conocimiento y dedicación me ha orientado a culminar este trabajo. A todos los docentes de la universidad Santo Tomas por su conocimiento y apoyo y a mis compañeros que de una u otra forma han sido testigos de este proceso.

## CONTENIDO

	Pág.
GLOSARIO	12
RESUMEN	13
ABSTRACT	14
1. INTRODUCCIÓN	15
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	16
3. JUSTIFICACIÓN	17
4. OBJETIVOS	18
4.1 OBJETIVO GENERAL	18
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
5. ALCANCE Y LIMITACIONES	19
5.1 ALCANCE	19
5.2 LIMITACIONES	19
6. ESTADO DEL ARTE	20
6.1 COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LAS ROCAS	20
6.2 CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES	24
6.2.1 Módulo de Young o módulo de elasticidad	25
6.2.2 Relación de Poisson	26
6.2.3 Ensayo de Compresión Simple	27
6.3 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIONES	28
6.4 GALGAS EXTENSOMÉTRICAS	30
6.4.1 Características Importantes	32
6.4.2 Partes principales de la galga	33

6.5 INVESTIGACIONES REALIZADAS CON EL APOYO DE GALGAS EXTENSOMÉTRICAS	33
7 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	38
7.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	39
7.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA del sistema de ADQUISICIÓN de datos (SOFTWARE)	39
7.3 CONSTRUCCIÓN Y AJUSTE DEL EQUIPO (HARDWARE)	40
7.4 CALIBRACIÓN DE LA GALGA EXTENSOMÉTRICA	42
7.5 EXTRACCIÓN Y ADECUACIÓN DE LA PROBETAS	45
7.6 MONTAJE DE LAS GALGAS EXTENSOMÉTRICAS	49
8 RESULTADOS Y ANÁLISIS	57
8.1 PROPIEDADES MECÁNICAS	57
RECOMENDACIONES	63
CONCLUSIONES	64
ANEXOS	66
BIBLIOGRAFÍA	75

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Junta lisa sometida a la acción de tensiones. ....	21
Figura 2. Junta rugosa sometidas a esfuerzos de corte directo. ....	21
Figura 3. Comportamiento de las rocas según condiciones de presión y temperatura a las que son sometidas. ....	22
Figura 4. Relación tensión vs deformación en rocas.....	25
Figura 5. Relación de constantes elásticas en rocas según Judd y Hubber .....	26
Figura 6. Probeta sometida a ensayo de compresión simple .....	27
Figura 7. Curva esfuerzo deformación .....	29
Figura 8. Ecuaciones para cálculo de las constantes elásticas con respecto a las ondas de propagación. ....	30
Figura 9. Características dimensionales de un strain gauge .....	31
Figura 10. Partes principales de una galga .....	33
Figura 11. Constitución de una galga de filamento .....	34
Figura 12. Modelo ajustado .....	36
Figura 13. Modelación de tuberías en ANSYS con galgas extensométricas .....	37
Figura 14 Metodología de la investigación.....	38
Figura 15. Sistema de adquisición de datos del equipo .....	40
Figura 16. Conectores para la conexión de sensores .....	41
Figura 17. Galgas extensométricas utilizadas.....	41
Figura 18. Fuente regulada para la alimentación de circuitos .....	42
Figura 19. Maquina Universal del laboratorio de la UPTC .....	43

Figura 20. Maquinado de la barra de acero para la calibración.....	44
Figura 21. Colocación de la barra en la maquina universal y del extensómetro. ....	44
Figura 22. Macizo Rocosó (Cantera) .....	45
Figura 23. Bloques de roca utilizados .....	46
Figura 24. Bloques acomodados para extracción de los núcleos.....	46
Figura 25. Acomodación del bloque debajo de la maquina .....	47
Figura 26 Equipo utilizado para la extracción de los núcleos .....	47
Figura 27. Núcleos extraídos .....	48
Figura 28. Marcación y delimitación de las probetas para el corte .....	48
Figura 29. Muestras de núcleos de roca adecuadas.....	49
Figura 30. Galga extensométricas con cables soldados .....	50
Figura 31. Montaje de la galga en la probeta .....	51
Figura 32.Registro de datos.....	52
Figura 33. Tabla de datos software UPTC .....	53
Figura 34. Análisis de resultados software UPTC .....	54
Figura 35. Método de la secante para cálculo de módulo de elasticidad.....	55
Figura 36. Tipo de Curva esfuerzo deformación .....	55
Figura 37. Valores de resistencia a tracción .....	59
Figura 38. Valores típicos de $I_s$ .....	60
Figura 39. Clasificación de las rocas a partir de su resistencia a compresión simple .....	62

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Ensayos realizados .....	57
Tabla 2. Resultados del ensayo de tracción directa .....	58
Tabla 3. Resultados del ensayo de carga puntual .....	59
Tabla 4. Resultados del ensayo de carga puntual axial .....	60
Tabla 5. Resultados del ensayo de compresión simple probeta 1,2 y 9 .....	61

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
<b>Anexo A.</b> Guía para el montaje de las galgas extensométricas y recomendaciones generales a tener en cuenta en la realización del ensayo de deformabilidad en núcleos de roca sometidos a compresión uniaxial .....	83

## GLOSARIO

**ANISOTROPÍA:** Las propiedades de la roca dependen de la dirección en la que se analice.

**DEFORMACIÓN UNITARIA:** Está dada por la relación que existe entre la deformación que presenta un elemento a causa de un esfuerzo de tracción o compresión y su longitud inicial.

**DISCONTINUIDAD:** Presencia de fallas que afectan la continuidad de las propiedades mecánicas de los macizos rocosos.

**ESFUERZO:** Fuerza interna de repulsión generada en respuesta a una fuerza externa aplicada a un objeto, estructura o maquinaria para mantener su forma original.

**GALGAS EXTENSOMÉTRICAS:** Son un tipo de sensor que varía su resistencia dependiendo de la fuerza que le sea aplicada, las galgas permiten convertir una fuerza en un cambio de resistencia con el fin de ser medido.

**HETEROGENEIDAD:** La litología y meteorización entre otros aspectos pueden afectar las propiedades de los materiales y diferenciarlos entre sí.

**LEY DE HOOKE:** Establece que el alargamiento de un objeto es directamente proporcional al módulo de la fuerza que se le aplique, siempre y cuando no se deforme permanentemente el objeto.

**MACIZOS ROCOSOS:** Están constituidos por masas rocosas afectadas por discontinuidades que separan bloques de roca intacta.

**MECÁNICA DE ROCAS:** Hace referencia a un estudio teórico práctico del comportamiento mecánico de los materiales rocosos frente a las fuerzas que le son aplicadas en su entorno.

**PUENTE DE WHEATSTONE:** Es un instrumento que permite con una gran precisión operar de manera continua una corriente para medir las resistencias que se llaman desconocidas.

**RESISTENCIA ELÉCTRICA:** Es la propiedad que tienen los materiales de oponerse al paso de una corriente eléctrica a través de ellos (se mide en ohmios).

**ROCA:** Sistema continuo de agregados naturales generalmente duros y compactos que se caracterizan por contar con algunas partículas minerales, la variación en su estructura permite su clasificación.

## RESUMEN

El proyecto pretende diseñar y construir un sistema de adquisición de datos para determinar el módulo de elasticidad y la relación de Poisson en algunos materiales rocosos. El equipo permitirá realizar ensayos a partir de núcleos de roca sometidos a pruebas de compresión uniaxial apoyados con sensores de medición de carga. El uso de estos equipos no convencionales es de gran utilidad para el desarrollo de investigaciones en las áreas de estudio de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Santo Tomas. Estas técnicas permiten al estudiante establecer la importancia de utilizar valores reales, dejando de lado la implementación de valores netamente empíricos.

Determinar la resistencia de los materiales rocosos en diferentes actividades de la ingeniería civil tales como las cimentaciones de las edificaciones, estabilidad de taludes y la ejecución de túneles es un factor importante para la caracterización de los materiales rocosos. Esta caracterización representa una parte fundamental para el diseño de las estructuras y de los posibles métodos de construcción que se puedan utilizar.

La implementación del equipo necesario para medir estas constantes elásticas está basada en los parámetros técnicos de la norma ASTM Designation D3148-72. Este equipo está conformado por un sistema electrónico de adquisición de datos donde su principal fundamento es la medición de cargas. Igualmente contará con un software que mostrará de forma gráfica los datos y permitirá exportarlos en un formato TXT para su manejo. Finalmente se diseñará una guía con la descripción del paso a paso para el montaje de las galgas extensométricas en los núcleos de roca permitiendo así llevar a cabo prácticas en la universidad en las áreas relacionadas.

**PALABRAS CLAVE:** sistema de adquisición, mediciones de carga, galgas extensométricas, relación de Poisson, módulo de elasticidad

## ABSTRACT

The project aims to design and build a data acquisition system to determine the modulus of elasticity and the Poisson ratio in some rocky materials. The equipment will allow testing from rock cores subjected to uniaxial compression tests supported by load measurement sensors. The use of these unconventional equipment is very useful for the development of research in the areas of study of the Faculty of Civil Engineering of the Santo Tomas University. These techniques allow the student to establish the importance of using real values, leaving aside the implementation of purely empirical values.

Determining the resistance of rocky materials in different civil engineering activities such as the foundations of buildings, stability of slopes and the execution of tunnels is an important factor for the characterization of rocky materials. This characterization represents a fundamental part for the design of the structures and the possible construction methods that can be used.

The implementation of the equipment necessary to measure these elastic constants is based on the technical parameters of ASTM Designation D3148-72. This equipment is made up of an electronic data acquisition system where its main foundation is the measurement of loads. It will also have software that will graphically display the data and allow it to be exported in a TXT format for handling. Finally, a guide will be designed with the step-by-step description for mounting the strain gauges in the rock cores, thus allowing to carry out university practices in related areas.

**KEY WORDS:** acquisition system, load measurements, strain gauges, Poisson ratio, modulus of elasticity

## 1. INTRODUCCIÓN

Como cualquier otro material, las rocas pueden presentar cierto grado de deformación ante la aplicación de cualquier esfuerzo externo, a simple vista no se puede captar dicha deformación, pero si se puede recurrir a ensayos de laboratorio que permitan saber cuándo una roca está deformada. Si se estudian estos parámetros se puede predecir las deformaciones de una forma más precisa para diferentes condiciones de esfuerzo.

“La caracterización de las rocas y de los macizos rocosos y el estudio de su comportamiento mecánico y deformacional son complejos debido a la gran variabilidad de características y propiedades que presentan y al elevado número de factores que los condicionan”<sup>1</sup>. En el desarrollo de la Ingeniería Geotécnica es importante clasificar y tratar estos materiales para determinar la actividad donde mejor se desempeñaría y sería más efectivo su uso.

Los ensayos de laboratorio son un mecanismo muy efectivo, que permiten medir las propiedades de los materiales, que serán utilizados en las obras de ingeniería como construcción de túneles, cimentaciones, estabilizaciones u otras obras en general. La mecánica de rocas es un área que ha sido considerada tradicionalmente como una disciplina encaminada a entender el comportamiento de las rocas, los macizos rocosos, y de comprender su respuesta con los entes litológicos y el ambiente físico.

Estos laboratorios permitirían aplicar fórmulas importantes, que ayudan a determinar parámetros significativos respecto a las propiedades elásticas de los materiales. Por ejemplo, a partir de la medición de la deformación de las rocas se puede obtener el módulo de elasticidad y la relación de Poisson; dos de las constantes elásticas que nos permiten caracterizar un material.

---

<sup>1</sup> FERRER, Mercedes., ABAD, Luis., GONZÁLEZ, Luis. Ingeniería geológica. Distrito Federal: Pearson Educación. 2002

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El aprovechamiento de los materiales de origen natural en la construcción de obras de ingeniería es bastante amplio. Para los ingenieros civiles es fundamental poder caracterizar estos materiales de acuerdo a su resistencia y comportamiento. La necesidad para la realización de este proyecto surge teniendo en cuenta que en la Universidad Santo Tomás seccional Tunja no se encuentra un sistema que permita predecir la deformabilidad en los macizos rocosos a través de la medición del módulo de elasticidad y la relación de Poisson, a partir de núcleos de roca.

La importancia de este proyecto radica en la implementación de un sistema electrónico apoyado con galgas extensométricas (Strain Gauge) que permita complementar los datos que se obtienen en un ensayo de compresión uniaxial. De esta manera los estudiantes de ingeniería civil puedan desarrollar prácticas de laboratorio para las diferentes asignaturas sirviendo como complemento en el ámbito académico para la realización de proyectos de ingeniería.

La identificación de las rocas de acuerdo a su resistencia resulta ser la base para el diseño de obras. Los principales problemas en actividades como la cimentación, radican principalmente en los asentamientos diferenciales, las altas presiones de poros y la falla a lo largo de contacto de la estructura con la roca. Para los taludes la caracterización geotécnica está condicionada por la resistencia de la roca intacta y la geometría de las discontinuidades. En las obras subterráneas como los túneles el espacio es más incierto y se dificulta la identificación del material presente, lo que conlleva a problemas con la estabilización de las laderas exteriores.

### 3. JUSTIFICACIÓN

Este proyecto tiene como finalidad el diseño y construcción de un sistema que permita determinar el módulo de elasticidad y la relación de Poisson a partir del uso de galgas extensométricas; teniendo en cuenta que en la universidad no se cuenta con este tipo de herramientas.

El cálculo de estos parámetros está siendo determinado empíricamente debido a la falta del equipo necesario. La práctica de este ensayo de laboratorio resulta ser bastante costoso, por ello la implementación de este sistema en la Universidad conseguiría que su realización sea a un costo mucho menor.

Con la ejecución de este proyecto los estudiantes de ingeniería civil pueden integrar diferentes investigaciones en áreas de estudio como mecánica de rocas, fundaciones, geología y demás áreas afines. Igualmente se busca que el dispositivo sirva para la medición de módulo elasticidad y relación de Poisson en otros materiales. La construcción del equipo se va a llevar a cabo con tecnologías de última generación, que permitirán complementar los equipos de laboratorio de la universidad. Este equipo comercialmente no es de fácil adquisición por lo cual también resulta atractivo para proyectos de extensión, además de soporte para las asignaturas de postgrado.

Actualmente universidades como los Andes, la Nacional cuentan con este equipo. Por lo tanto, se busca dar reconocimiento a la universidad ya que será un equipo que puede complementar las investigaciones de estudiantes de las demás sedes de la Universidad Santo Tomas. El proyecto se caracteriza por su interdisciplinariedad debido a que se requiere conocimiento y apoyo entre la ingeniería civil, mecánica y electrónica.

## 4. OBJETIVOS

### 4.1 OBJETIVO GENERAL

Montaje y adecuación de un equipo de adquisición de datos con medición de deformación mediante galgas extensométricas en testigos de roca.

### 4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una investigación teórica de antecedentes sobre la determinación del módulo de elasticidad y la relación de Poisson en diferentes materiales mediante los sensores de medición de carga.
- Diseñar y construir el sistema electrónico mediante un software de adquisición de datos con la ayuda de un ingeniero electrónico, que permita obtener las variables para calcular el módulo de elasticidad y relación de Poisson, mediante el uso de galgas extensométricas.
- Construir y ajustar el hardware requerido para la implementación del sistema completo de adquisición de datos, con sus respectivos conectores para los sensores de carga y fuente para la alimentación de circuitos.
- Extraer y adecuar las probetas sobre las cuales se pueden determinar las constantes elásticas mencionadas.
- Efectuar el montaje de las galgas extensométricas en las probetas para la realización del ensayo de compresión uniaxial con medida de deformación axial y diametral.
- Implementar una guía para el montaje de las galgas en las probetas de núcleos de roca, con el fin de desarrollar ensayos de laboratorio de compresión uniaxial que permitan determinar el módulo de elasticidad y la relación de Poisson.

## 5. ALCANCE Y LIMITACIONES

### 5.1 ALCANCE

Este proyecto tiene como alcance el diseño y construcción de un equipo de adquisición de datos para la determinación del módulo de Elasticidad y relación de Poisson en materiales rocosos. Las etapas puntuales que comprenden este proyecto son: diseño y construcción del sistema de adquisición de datos, construcción y ajuste del equipo, calibración de las galgas extensométricas para la medición de deformabilidad, extracción y adecuación de las probetas, montaje de las galgas extensométricas, realización de ensayos de caracterización de la roca (que no representa los ensayos para determinar el módulo de elasticidad y la relación de Poisson) y finalmente la elaboración de una guía sobre el montaje de las galgas extensométricas en las probetas y unas pautas generales sobre la realización del ensayo de deformabilidad.

### 5.2 LIMITACIONES

Inicialmente el proyecto estaba encaminado a la estandarización del ensayo de deformabilidad de materiales rocosos sometidos a pruebas de compresión uniaxial, en el laboratorio de la Universidad Santo Tomás seccional Tunja. Para ello se pretendía realizar además de las desarrolladas en este proyecto las siguientes actividades: realizar las pruebas de compresión uniaxial con cálculo de medidas de deformación axial y diametral, utilizando el equipo de adquisición de datos construido y calibrado. También se pretendía realizar ensayos de caracterización como: el ensayo de compresión simple, ensayo de velocidad de onda, ultrasonido, ensayos con el esclerómetro; con el fin de hacer un ajuste de la correlación entre estos ensayos y el ensayo de deformabilidad y lograr información correlacionada más confiable entre los datos obtenidos. Y finalmente se pretendía implementar una guía de laboratorio para el desarrollo del ensayo de compresión uniaxial que permitiría la determinación del módulo de elasticidad y la relación de Poisson en los núcleos de roca, utilizando el sistema de adquisición de datos construido para tal fin. Las actividades antes mencionadas quedan fuera del alcance de este proyecto debido a la emergencia sanitaria internacional declarada por la Organización mundial de la Salud OMS, que requiere atención prioritaria y de la cual no se tiene certeza alguna sobre su normalización. Debido a esto no se puede precisar una fecha exacta para la continuación de las actividades mencionadas y se opta por hacer un reajuste en la investigación.

## 6. ESTADO DEL ARTE

### 6.1 COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LAS ROCAS

El estudio del comportamiento de los diferentes materiales utilizados en la construcción es un tema de gran valor en la aplicación de ingeniería. Dentro de los parámetros importantes que se deben tener en cuenta en el estudio de las rocas se encuentra su comportamiento mecánico.

“El comportamiento mecánico de las rocas está definido por su resistencia y su deformabilidad. La resistencia es el esfuerzo que soporta una roca para determinadas deformaciones. Cuando la resistencia se mide en probetas de roca sin confinar se denomina resistencia a compresión simple, y su valor se emplea para la clasificación geotécnica de las rocas.”<sup>2</sup>

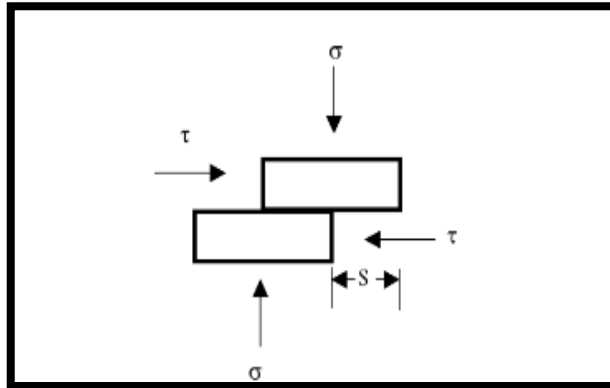
El estudio adecuado de dichas características geomecánicas de los materiales permite clasificaciones importantes relacionadas con su resistencia. “Para estimar la resistencia de los macizos rocosos, caracterizados por la existencia en ellos de afectaciones y discontinuidades geológicas, es necesario conocer las propiedades mecánicas de las rocas, las características de las discontinuidades y el estado y comportamiento mecánico–estructural del macizo rocoso.”<sup>3</sup>

---

<sup>2</sup> Slideshare. [sitio web]. Resistencia y deformabilidad de las rocas. [consultado: 26 octubre 2018]. Disponible: <https://es.slideshare.net/MIRIANASCUAQUIROGA/resistencia-y-deformabilidad-de-roca>

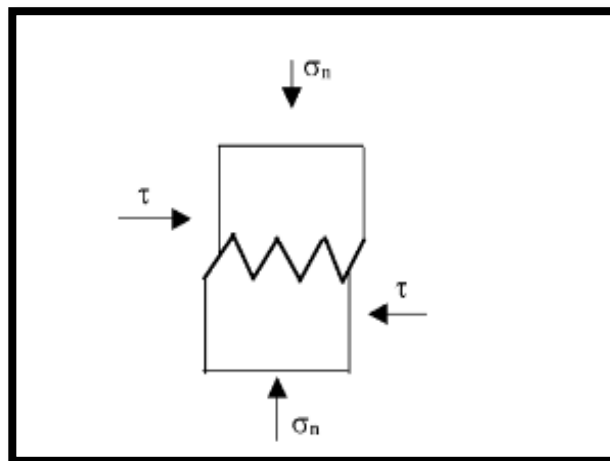
<sup>3</sup> BLANCO, Roberto., CARTAYA, Maday., & WATSON, Roberto. Criterios para estimar la resistencia en macizos rocosos de la zona oriental del país. *Revista Minería y Geología*. 2000, Vol. XVII, nro. 2, pp, 35-37.

Figura 1. Junta lisa sometida a la acción de tensiones.



**Fuente:** BLANCO, Roberto., CARTAYA, Maday., & WATSON, Roberto. Junta plana y lisa sometida a la acción de tensiones. [figura]. Criterios para estimar la resistencia en macizos rocosos de la zona oriental del país. Vol. XVII. Cuba: *Revista Minería y Geología*. 2000. Pag. 36 [Consultado el 11 de noviembre de 2019]. Disponible en: url. <http://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/28/34>

Figura 2. Junta rugosa sometidas a esfuerzos de corte directo.



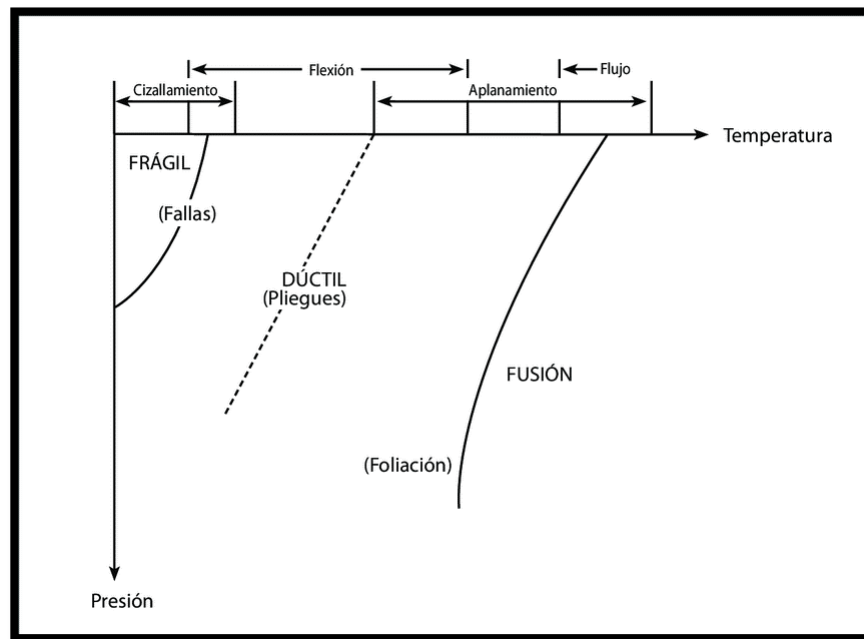
**Fuente:** BLANCO, Roberto., CARTAYA, Maday., & WATSON, Roberto. Junta rugosa sometidas a esfuerzos. [figura]. Criterios para estimar la resistencia en macizos rocosos de la zona oriental del país. Vol. XVII. Cuba: *Revista Minería y Geología*. 2000. Pag. 36 [Consultado el 11 de noviembre de 2019]. Disponible en: url. <http://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/28/34>

En las figuras 1 y 2 se pueden apreciar una junta lisa sometida a la acción de tensión y una junta rugosa sometida a corte directo. Según Bonito<sup>4</sup>, la verificación de conceptos o principios, permite el redescubrimiento de esos mismos conceptos o principios. Es por eso que en 1997 y basándose en la clasificación propuesta por el

<sup>4</sup> BONITO, Jorge. Deformación de las rocas de la corteza terrestre. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*. 1997, Vol.2, nro. 5, pp.149-150. ISSN 1132-9157.

mismo, plantea una serie de ensayos de laboratorio como lo son: medición de fuerzas, comportamiento de los materiales en función de la intensidad, tiempo de aplicación de las fuerzas mecánicas, de la temperatura y presión (Figura 3). Así como también la formación de pliegues y fallas inversas que permiten comprobar los efectos de la compresión y la distensión de una serie sedimentaria y otro sobre la producción de fallas de desgarre.

Figura 3. Comportamiento de las rocas según condiciones de presión y temperatura a las que son sometidas.



**Fuente:** RODRIGUEZ, Manuel. Comportamiento de las rocas según condiciones de presión y temperatura a las que son sometidas. [figura]. Geología estructural. Esfuerzos y deformaciones de las rocas. 2012. Pág. 9. [Consultado el 11 de noviembre de 2019]. Disponible en: url. [https://www.researchgate.net/publication/263925700\\_Geologia\\_estructural\\_Esfuerzos\\_y\\_deformaciones\\_de\\_las\\_rocas\\_Deformacion\\_ductil\\_los\\_pliegues\\_y\\_sus\\_tipos\\_Mecanismos\\_de\\_plegamiento\\_Deformaciones\\_fragiles\\_diaclasas\\_y\\_fallas\\_Caracteristicas\\_y\\_tipos\\_Asoc](https://www.researchgate.net/publication/263925700_Geologia_estructural_Esfuerzos_y_deformaciones_de_las_rocas_Deformacion_ductil_los_pliegues_y_sus_tipos_Mecanismos_de_plegamiento_Deformaciones_fragiles_diaclasas_y_fallas_Caracteristicas_y_tipos_Asoc)

Estos ensayos se realizaban aplicando esfuerzos que no serían medidos directamente, sino que por el contrario servían para simular el comportamiento que tendría el material mediante la aplicación y la intensidad de los esfuerzos aplicados. “En el laboratorio cada alumno se encuentra directamente envuelto en la actividad, utilizando materiales, manejando equipos, elaborando proyectos, orientando investigaciones, realizando experiencias, produciendo, inventando, descubriendo

formas y modelos de simular y representar lo real para en el fondo, comprender mejor los hechos.”<sup>5</sup>

Este autor destaca la importancia de que los estudiantes modelen estos procesos en laboratorios en su época de estudios profesionales. Esto permitirá determinar los usos que se le pueden dar al material, teniendo en cuenta la aplicación de esfuerzos que afectan directamente las propiedades y comportamientos de los macizos rocosos.

En el año 2000 Blanco, Cartaya y Watson<sup>6</sup>, realizaron estudios en la resistencia de un grupo de macizos rocosos de diferentes minas y túneles subterráneos de la región oriental en Cuba. Inicialmente se hizo un estudio de los principales criterios utilizados en la valoración de las propiedades mecánicas de las discontinuidades para hacer una estimación de la resistencia en los macizos rocosos estudiados.

El método que los autores estudiaron en la investigación fue: propiedades mecánicas de las discontinuidades. Ellos afirmaban que la resistencia al corte es una de las propiedades más importante para mantener la estabilidad del macizo rocoso, analizándola en una discontinuidad plana y lisa y en una discontinuidad rugosa. Para la caracterización y la estimación de la resistencia de los macizos rocosos estudiados en Cuba oriental, estos autores se basaron en la propuesta implementada por Hoek y Brown en 1994.

Finalmente, estos autores “desarrollaron expresiones para la estimación de la resistencia en los macizos rocosos estudiados, que son de gran importancia, ya que permiten enfrentar diferentes tareas de proyecto y construcción en las zonas de estudio con una mayor economía y confiabilidad.”<sup>7</sup>

---

<sup>5</sup> BONITO, Jorge. Deformación de las rocas de la corteza terrestre. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*. 1997, Vol.2, nro. 5, pp.152-158. ISSN 1132-9157.

<sup>6</sup> BLANCO, Roberto., CARTAYA, Maday., & WATSON, Roberto. Criterios para estimar la resistencia en macizos rocosos de la zona oriental del país. *Revista Minería y Geología*. 2000, Vol. XVII, nro. 2, pp, 37-39.

<sup>7</sup> BLANCO, Roberto., CARTAYA, Maday., & WATSON, Roberto. Criterios para estimar la resistencia en macizos rocosos de la zona oriental del país. *Revista Minería y Geología*. 2000, Vol. XVII, nro. 2, pp, 35-37.

## 6.2 CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES

Cuando se pretende clasificar un material de acuerdo a su elasticidad, se debe tener presente que son cinco las constantes elásticas que de estas se desprenden. A partir de ensayos de laboratorio se puede identificar dos de las más importantes que son el módulo de elasticidad y la relación de Poisson. “Una constante elástica es una medida de la compresibilidad de un material perpendicular al esfuerzo aplicado, o la relación entre la deformación latitudinal y la deformación longitudinal.”<sup>8</sup>

Los minerales que constituyen las rocas se caracterizan por un comportamiento elástico. Basados en la ley de Hooke, la elasticidad “Es una propiedad de los cuerpos sólidos, los que pueden modificar forma y volumen bajo la influencia de efectos físicos, y recobrar completamente su estado geométrico al eliminarlos”.<sup>9</sup> Todos los materiales ideales incluso los de ingeniería, cuentan con elasticidad, incluyendo las rocas. Esta propiedad depende de tres factores importantes la homogeneidad, isotropía y continuidad, cada uno dependientes de sus límites definidos. “La isotropía es una medida de las propiedades direccionales de un material. Por ejemplo, con un criterio estadístico, un cuerpo granular será isótropo si todos sus granos tienen una orientación al azar y cuando un plano de dimensiones equivalentes lo intercepta, en cualquier dirección, corta al mismo número igual o equivalente de granos”.<sup>10</sup>

Por otro lado, la continuidad de las rocas se refiere a la propiedad mediante la cual dicha homogeneidad que llegue a presentarse en las rocas se mantiene durante una distancia determinada. Se podría referir a esa distancia con la que contaría el estrato debido a que su tamaño granular no varía en dicho trayecto.

Según Farmer<sup>11</sup> la clasificación de las rocas varía según la fuerza de compresión. Los valores alcanzados de resistencia brindados son los siguientes:

---

<sup>8</sup> Schulumberger. [sitio web]. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. [consultado: 15 noviembre 2019]. Disponible de [https://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/p/poissons\\_ratio](https://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/p/poissons_ratio)

<sup>9</sup> ESCOBAR, Gonzalo. *Manual de Geología para ingenieros*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia. 2017.

<sup>10</sup> LINARES, R. Balance de un siglo de Superconductividad y superconductores. Zaragoza, 2009.

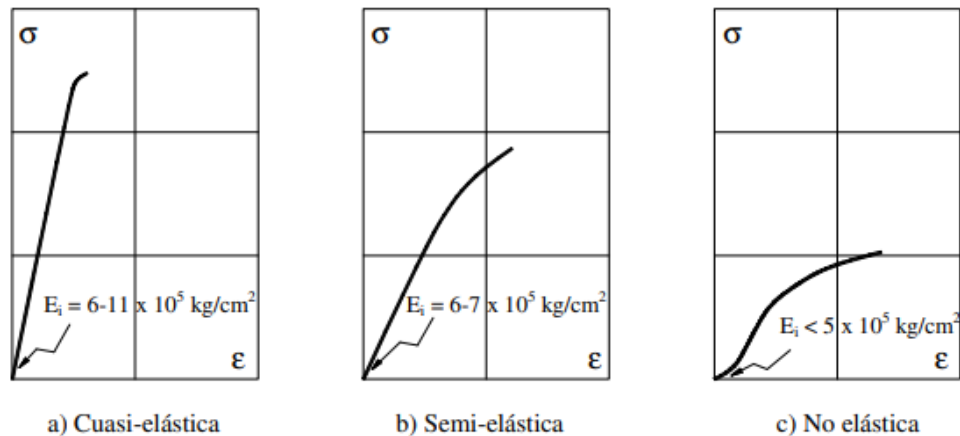
<sup>11</sup> FARMER, I. (1968). *Propiedades elasticas de las rocas*. Londres.

- Roca dura > 110 MPa
- Roca media entre 70 MPa y 110 MPa
- Roca débil entre 55 MPa y 70 MPa

### 6.2.1 Módulo de Young o módulo de elasticidad

El módulo de Young o módulo de elasticidad de la roca es un parámetro extremadamente importante para los procesos de fracturamiento hidráulico, de allí el interés de poder cuantificarlo correctamente. “El módulo representa la rigidez del material en términos del valor del esfuerzo. Esta constante elástica se determina a partir de los resultados del Ensayo de Compresión Simple”<sup>12</sup>. Con los resultados arrojados en este ensayo se puede graficar la curva esfuerzo vs deformación. Esta curva varía dependiendo el tipo de roca que se esté considerando (figura 4)

Figura 4. Relación tensión vs deformación en rocas



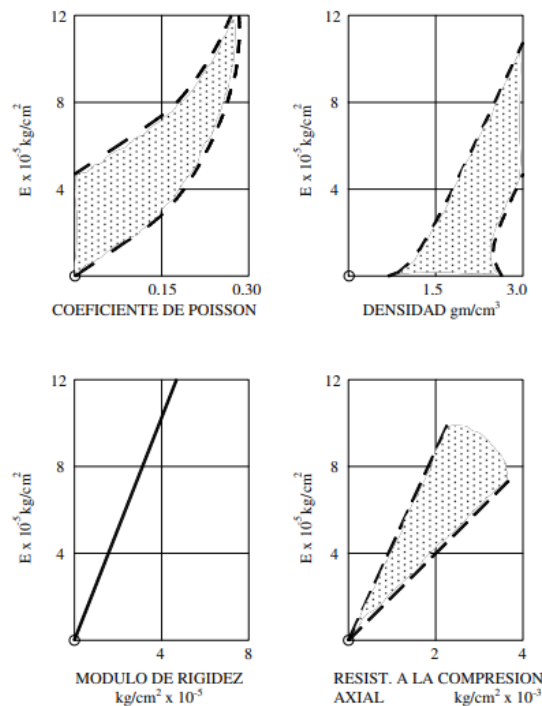
**Fuente:** FARMER, I. *Tipica relacion tension/deformacion en rocas*. [figura]. *Propiedades elasticas de las rocas*. 1968. Londres. [Consultado el 13 de noviembre de 2019]. Disponible en: url. [https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Elasticidad\\_de\\_rocas.pdf](https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Elasticidad_de_rocas.pdf)

<sup>12</sup> TORRES, Carolina., BAQUERO, Vivian., & BARBOSA, Camila. Caracterización Físico-Mecánica de Rocas para Propósitos de Ingeniería en la Región Llanos. *Revista L'esprit Ingeniux*. 2015, pp.71-79. ISSN 2422-2445.

## 6.2.2 Relación de Poisson

Por su parte la relación de Poisson “mide la deformación transversal (en relación a la dirección longitudinal de aplicación de la carga) de un material homogéneo e isotrópico. En particular, en el caso del coeficiente de Poisson, la relación establecida no es entre tensión y deformación, más sí entre deformaciones ortogonales”<sup>13</sup>. En la figura 5 se puede apreciar la relación entre el coeficiente de Poisson, la densidad, el módulo de rigidez y la resistencia a compresión simple en rocas propuesta por Judd y Hubber<sup>14</sup>.

Figura 5. Relación de constantes elásticas en rocas según Judd y Hubber



**Fuente:** FARMER, I. *Relaciones entre el modulo de elasticidad y coeficiente de Poisson, densidad, modulo de rigidez y resistencia en rocas (según Judd y Huber)*. [figura]. *Propiedades elasticas de las rocas*. 1968. Londres. [Consultado el 13 de noviembre de 2019]. Disponible en: url. [https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Elasticidad\\_de\\_rocas.pdf](https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Elasticidad_de_rocas.pdf)

<sup>13</sup> MOTT, R. Sonelastic. [sitio web]. *Resistencia de Materiales*. Mexico: Pearson. 2009. [consultado 19 octubre de 2018] Disponible en: <http://www.atcp.com.br/es/productos/caracterizacion-de-materiales/propiedades-materiales/modulos-elasticos/definiciones.html>

<sup>14</sup> FARMER, I. (1968). *Propiedades elasticas de las rocas*. Londres.

### 6.2.3 Ensayo de Compresión Simple

El ensayo de compresión simple o ensayo de compresión inconfiada es de vital importancia para poder clasificar el material dependiendo de su resistencia. Con este ensayo se puede obtener un valor de carga ultima del suelo que puede ser utiliza en diferentes proyectos de ingeniería que requiere de valores mucho más precisos.

“Es importante comprender el comportamiento de los suelos sometidos a cargas, ya que es en ellos o sobre ellos que se van a fundar las estructuras, ya sean puentes, edificios o carreteras, que requieren de una base firme, o más aún que pueden aprovechar las resistencias del suelo en beneficio de su propia capacidad y estabilidad.”<sup>15</sup> Todo esto con el fin de predecir el comportamiento antes las cargas de estas edificaciones.

El tipo de rotura varía dependiendo de las condiciones naturales de la roca por ejemplo su dureza y compactibilidad. En la figura 6 se puede apreciar una probeta antes de ser fallada y después se ser sometida a presión de carga.

*Figura 6. Probeta sometida a ensayo de compresión simple*



**Fuente:** Elaboración propia

<sup>15</sup> MARTINEZ, Tiburcio. Informe técnico de práctica Compresión. [en línea]. Tesis de pregrado. Universidad Autónoma de Guerrero, 2012. [consultado: 19 octubre 2018]. Disponible en: [https://www.academia.edu/12990969/Compresion-simple-y-carga-triaxial\\_1\\_?auto=download](https://www.academia.edu/12990969/Compresion-simple-y-carga-triaxial_1_?auto=download)

Igualmente es de considerar que la resistencia del material se puede ver directamente afectado por otras condiciones como lo es la porosidad y el contenido de humedad. Restrepo<sup>16</sup>, de su investigación Correlación de la resistencia a compresión uniaxial con la humedad y porosidad eficaz en rocas analiza rocas tomadas de una cantera del Sur Occidente Colombiano. En el desarrollo implementa diferentes ecuaciones que sirven para el cálculo de la resistencia a la compresión uniaxial de material rocoso teniendo en cuenta su porosidad y el contenido de humedad.

Para determinar el módulo de elasticidad y la relación de Poisson para esta investigación es importante que se tenga claro el funcionamiento del ensayo de compresión simple. La medición de deformabilidad, objetivo principal del equipo electrónico de este proyecto, se puede realizar con ayuda de este ensayo gracias a los sensores de medición de carga con las que cuenta el equipo electrónico. Aunque también es importante resaltar que este equipo se puede conectar a la máquina de CBR Y MARSHALL y la universal, equipos con las que cuenta el laboratorio de la universidad.

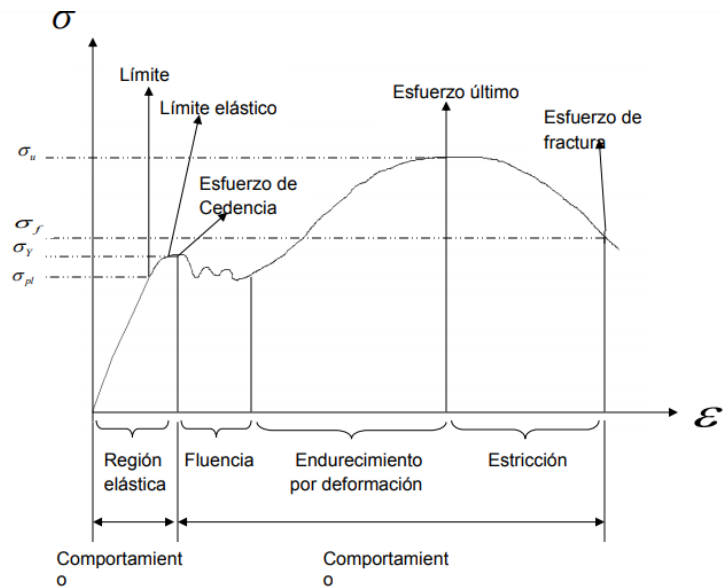
### 6.3 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIONES

En cuanto a los estudios e investigaciones realizadas sobre la determinación del cálculo de las constantes elásticas mediante la utilización de sensores de medición de carga se puede evidenciar un amplio interés sobre el uso de estos en diferentes materiales y objetos estructurales.

---

<sup>16</sup> RESTREPO, Iván. Correlación de la resistencia a compresión uniaxial con la humedad y porosidad eficaz en rocas. *Dyna*. 2016, Vol.83, nro. 198, pp.9-15.

Figura 7. Curva esfuerzo deformación



**Fuente:** BELMAR, Roberto. Diagrama de esfuerzo deformación. Determinación de Las constantes Elásticas Mediante Ultrasonido. [figura]. Chile: *Tesis de grado*. 2014. Pag. 53 [Consultado el 15 de noviembre de 2019]. [http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/1296/1/Belmar\\_Campos\\_Roberto\\_Eduardo.pdf](http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/1296/1/Belmar_Campos_Roberto_Eduardo.pdf)

En la figura 7 se puede apreciar una curva esfuerzo deformación típica con sus respectivos límites y comportamientos. Flores, Martínez y Medina<sup>17</sup> en el año 2000, realizaron una investigación sobre la determinación de los parámetros elásticos del terreno en el área de Salazar, estado de México.

Esta investigación se llevó a cabo en materiales de rocas ígneas de composiciones que abarcan desde basaltos hasta riolitas. La exploración sísmica fue el eje principal en donde mediante la propagación de ondas P ( $V_p$ ) y de ondas S ( $V_s$ ), se puede relacionar los valores de velocidades de propagación con las constantes elásticas. En la figura 8 se puede observar las ecuaciones que los autores emplearon para poder relacionar las ondas de propagación con las constantes elásticas para su cálculo.

<sup>17</sup> FLORES, Jesús., MARTINEZ, Raymundo., MEDINA, Abraham., MARINES, Rodolfo., & URRUTIA, Jaime. Estimación de las constantes elásticas del terreno en el área de Salazar, Estado de México, a través de exploración sísmica. *CIENCIA ergo-sum Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*. 2000, Vol. VII, nro. 3, pp, 280-285.

Figura 8. Ecuaciones para cálculo de las constantes elásticas con respecto a las ondas de propagación.

$\nu = (V_p/V_s)^2 - 2/2(V_p/V_s)^2 - 2$	<i>relación de Poisson</i>
$G = \rho V_s^2 \quad Nt/m^2$	<i>módulo cortante</i>
$E = [3V_p^2 - 4V_s^2] / [(V_p/V_s)^2 - 1] Nt/m^2$	<i>módulo de Young</i>
$K = \rho [V_p^2 - (4/3)V_s^2] Nt/m^2$	<i>módulo de compresibilidad</i>
$\lambda = \rho [V_p^3 - 2V_s^3] Nt/m^2$	<i>constante de Lamé</i>

**Fuente:** FLORES, Jesús., MARTINEZ, Raymundo., MEDINA, Abraham., MARINES, Rodolfo., & URRUTIA, Jaime. [figura]. Ecuaciones para cálculo de las constantes elásticas con respecto a las ondas de propagación. Estimación de las constantes elásticas del terreno en el área de Salazar, Estado de México, a través de exploración sísmica. Vol. VII. México. *CIENCIA ergo-sum Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*. 2000. Pag. 283 [Consultado el 18 de noviembre de 2019]. Disponible en: url. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10401911>

En el desarrollo de la investigación se utilizó un sismógrafo de prospección por refracción para la obtención de los datos; para el perfil de onda P. Se emplearon como fuente el golpe de marro sobre una placa metálica y el tiro de escopeta con una longitud de 66m del tendido sísmico. Para el perfil de ondas S la distancia entre receptores fue menor debido a que las velocidades de propagación en este fueron menores. En resumen, se presidió la medición de los valores de velocidad para calcular las profundidades de las capas.

Es necesario tener en cuenta que es fundamental conocer parámetros geológicos, sísmicos e hidrológicos para asegurar en correcto funcionamiento de las estructuras u obras de ingeniería que se pretendan construir.

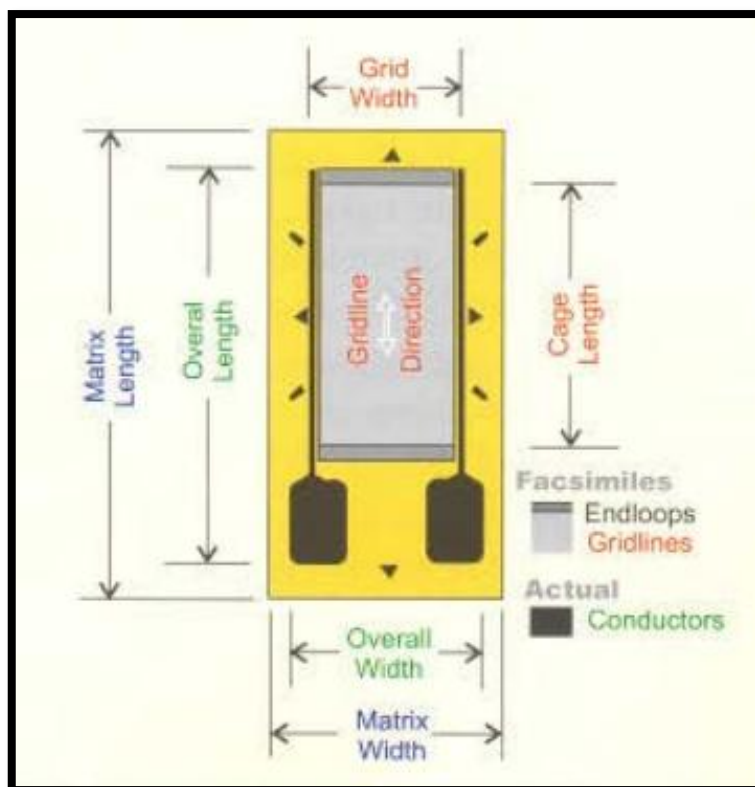
#### 6.4 GALGAS EXTENSOMÉTRICAS

Las galgas extensométricas conocidas como Strain Gauge por sus siglas en ingles fueron descubiertas “en 1856 por Lord Kelvin descubrió que al aplicar una fuerza sobre un hilo conductor o un semiconductor se presenta una variación en su resistencia eléctrica. Este principio permite realizar mediciones de fuerzas muy

tenues que provoquen pequeñas deformaciones en el conductor.”<sup>18</sup> Este es el principio que está reflejado en la construcción de galgas extensométricas.

“Las galgas extensométricas son sensores cuya resistencia varía con la fuerza aplicada. Estos sensores convierten la fuerza, presión, tensión, peso, etc, en un cambio de la resistencia eléctrica el cual puede ser medido. La correcta utilización de las galgas para medir fuerzas y deformaciones es una de las herramientas más importantes en la ingeniería o la construcción.”<sup>19</sup>

Figura 9. Características dimensionales de un strain gauge



**Fuente:** FORERO, John. Características dimensionales de un strain gauge. [figura]. STRAIN GAUGE. Fundamentos y aplicaciones en resistencia de materiales. N° 4. Colombia. **AVANCES** investigación en ingeniería. 2006. Pag. 38 [Consultado el 20 de noviembre de 2019]. Disponible en: url. [http://www.unilibre.edu.co/revistaavances/avances-4/r4\\_art4.pdf](http://www.unilibre.edu.co/revistaavances/avances-4/r4_art4.pdf)

<sup>18</sup> OCAMPO, Jose., RODRIGUEZ, Edwin., & ORTEGA, Carlos. Medidores de deformación por resistencia: galgas extensiométricas. *Scientia et Technica*. 2007, Vol. III, nro.34, pp.7-13.

<sup>19</sup> Omega. [sitio web]. 2003. [consultado: 18 octubre 2018]. Disponible de <https://es.omega.com/prodinfo/galgas-extensiométricas.html>

En la figura 9 se pueden apreciar las características dimensionales de una galga extensométrica. “Este sensor se adhiere a los sólidos y hace una lectura directa de la deformación promedio bajo su superficie. La lectura se realiza al transmitirse la deformación de la superficie del objeto de estudio al cuerpo del sensor. Un esfuerzo que deforma a la galga metálica producirá una variación en su resistencia eléctrica. Esta variación puede ser por el cambio de longitud, el cambio en el área de la sección transversal.”<sup>20</sup>

#### 6.4.1 Características Importantes

- **Material del alambre:** Ese el componente principal de la galga. Este debe ser de alta resistividad y estabilidad eléctrica, elevado punto de fluencia y límite de fatiga, buena soldabilidad y resistencia a la corrosión. Generalmente este material resulta ser una aleación de Constatan (Níquel y Cobre), aunque también se encuentra isoelásticas y de karma.
- **Factor de carga:** Este factor indica la sensibilidad de la galga y está directamente relacionado con el material del alambre.
- **Material de soporte:** Este soporte sirve de ayuda para la manipulación de la galga en cuanto a instalación y montaje sobre el material a estudiar y también sirve como aislante eléctrico. Igualmente debe cumplir con ciertas características de resistencia, espesor y demás.
- **Longitud activa:** Parte principal que es sensible a la deformación. “Esta región de las galgas extensométricas es la parte sensible al esfuerzo, cabe anotar que los codos y las almohadillas no se consideran sensibles al esfuerzo ya que cuentan con una amplia sección transversal. Esta longitud varía dependiendo de la necesidad de medición entre 0.2 y 100 milímetros.”<sup>21</sup>
- **Pegante para la fijación de la galga al objeto en estudio:** Debe ser de buena adherencia, baja o casi nula absorción de humedad, fácil aplicación, secado rápido, elevada resistencia mecánica.
- **Serie, modelo y selección de la galga:** Estos parámetros depende de la necesidad que se requiera a la hora de su uso.

---

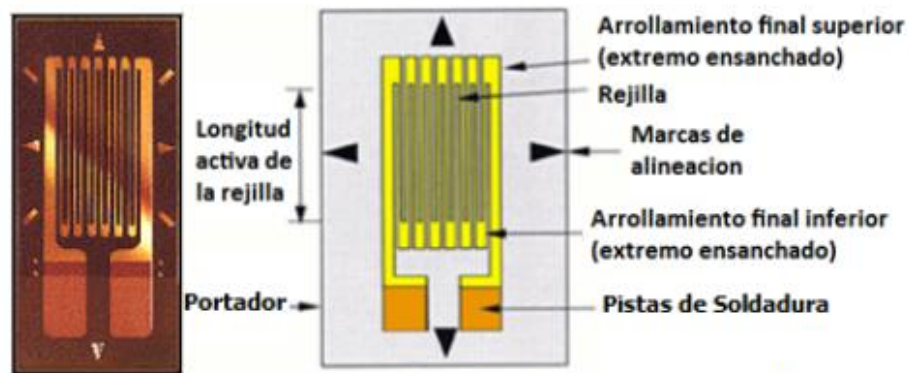
<sup>20</sup> RODRÍGUEZ, Gamil., GONZÁLEZ, Arturo., LLANUSA, Alejandro., & RAMÍREZ, Jorge. Sistema para la medición de deformación usando galgas extensiométricas metálicas. *RIELAC*. 2016, Vol. XXXVII 1, pp. 80-93. ISSN 1815-5928.

<sup>21</sup> CORREA URIBE, Andrea. Esquema para la implementación de medición de deformaciones en edificaciones de hormigón. Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Civil. Envigado: Escuela de Ingeniería de Antioquia. Facultad de ingeniería civil. Antioquia. 2015. Pag.21.

#### 6.4.2 Partes principales de la galga

Entre las partes principales que componen la galga (figura 10) se encuentran: Rejilla, soporte, extremo superior e inferior ensanchado y pistas de soldadura.

Figura 10. Partes principales de una galga



**Fuente:** URGILES, Pablo & MOLINA, Luis. Constitución de una galga de filamento. [figura]. Aplicación de galgas extensométricas en el laboratorio de mecánica de materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica para la obtención de deformaciones en elementos sometidos a cargas combinadas Cuenca: *Tesis de grado*. 2010. Pág. 15 [Consultado el 10 de marzo de 2020]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4482/1/UPS-CT001920.pdf>.

#### 6.5 INVESTIGACIONES REALIZADAS CON EL APOYO DE GALGAS EXTENSOMÉTRICAS

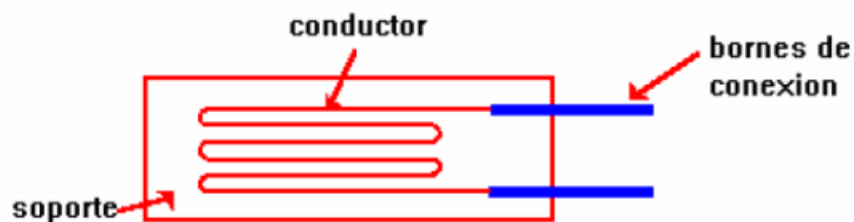
Las galgas extensométricas en los últimos años han sido de gran ayuda en distintas líneas de la ingeniería civil para determinar ciertos valores de deformación producidas al aplicar esfuerzos a estructuras de diferentes materiales. Un ejemplo claro de la utilización de las galgas es la investigación realizada por Muñoz, Núñez y Rodríguez<sup>22</sup>, quienes en el año 2006 realizaron una evaluación estructural de puentes en acero apoyadas en monitoreo e instrumentación. Se basaron en técnicas de confiabilidad estructural, mediante sistemas de monitoreo y estudios sobre patología y durabilidad aplicadas a uno de los puentes más importante de Colombia.

<sup>22</sup> MUÑOZ, Edgar., NUÑEZ, Federico., RODRÍGUEZ, Wilson., OTÁLORA, Camilo., & RUIZ, Daniel. Evaluación por confiabilidad estructural de puentes en acero apoyada en monitoreo e instrumentación. *Ingeniería y Universidad*. 2006, Vol.10, nro.1, pp. 31-54. ISSN 0125-2126.

Para el diseño del sistema electrónico utilizado en esta investigación se determinó que lo primordial era analizar el comportamiento del puente Puerto Salgar, cuando este se encuentra en su operación normal, pero sometido a cargas. El sistema electrónico registra las deformaciones unitarias que se presentan para estas condiciones de carga y las almacena en un ordenador.

En el desarrollo de la investigación se realizaron diferentes ensayos mecánicos, conteo de tráfico, calibración del modelo estructural, pruebas de carga, simulación numérica entre otros. Estos ensayos se desarrollaron mediante la ejecución de un sistema de monitoreo electrónico que consistió en la instalación de diez galgas extensométricas en diferentes puntos importantes del puente utilizando para su medida una red de datos llamada master –slave. Este sistema permite que cada uno de los puntos concrete su información y en una unidad que a su vez actúa como árbitro se hace la recopilación de la información de diferentes puntos y es transmitida a un computador mediante un puerto RS-232. Por lo cual no se dependió de un software, sino que los datos puedan ser almacenados por un programa genérico. La figura 11 muestra la forma convencional de una galga extensométrica tipo filamento que resulta ser la más utilizada.

Figura 11. Constitución de una galga de filamento



**Fuente:** URGILES, Pablo & MOLINA, Luis. Constitución de una galga de filamento. [figura]. Aplicación de galgas extensométricas en el laboratorio de mecánica de materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica para la obtención de deformaciones en elementos sometidos a cargas combinadas Cuenca: *Tesis de grado*. 2010. Pág. 15 [Consultado el 10 de marzo de 2020]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4482/1/UPS-CT001920.pdf>.

Otra investigación de este tipo fue llevada a cabo por Alzate, Montes y Silva<sup>23</sup> en el año 2007. En esta investigación se indagó sobre la utilización de las galgas extensométricas en la determinación de la fuerza basada en la deformación por esfuerzos mecánicos. Su investigación se centró principalmente en los medidores

<sup>23</sup> ALZATE, Edwin., MONTES, Jose., & SILVA, Carlos. Medidores de deformación por resistencia: galgas extensiométricas. *Scientia et technica*. 2007. Vol.1, nro.34, pp. 7-12.

de deformación por resistencia: galgas extensométricas, en la cual determinan el principio de funcionamiento basado en el efecto piezorresistivo de metales y semiconductores. En las galgas extensométricas su resistividad varía en función de la deformación a la que están sometidos, el material de que está hecho y el diseño adoptado. Igualmente, las características que debe tener el diseño de las galgas dependiendo de la aplicación que se requiera. Todo lo anterior puede llegar a variar su montaje y diseño, el acondicionamiento que debe tener el sistema, debido a que este requiere medir resistencias muy pequeñas y para ello se debe utilizar el puente de Wheatstone mediante el método de deflexión. Se pueden identificar el uso de varios medidores para contrarrestar los efectos no deseados debidos a condiciones de temperatura y deformaciones específicas.

En esta investigación se presentan las condiciones que pueden llegar a afectar los datos obtenidos a la hora de hacer las mediciones y se concluyó que “el hecho de instalar dos galgas idénticas en brazos adyacentes elimina los efectos de temperatura en la galga medidora. Como es conocido, la temperatura afecta a la resistencia eléctrica, de forma que, si se usa sólo una galga medidora, la resistencia eléctrica de la misma dependerá de la temperatura ambiente y su efecto habrá que descontarlo de la medida.”<sup>24</sup>

En el año 2015 Correa<sup>25</sup> estudiante de la universidad de Antioquia llevó a cabo pruebas de carga sobre una viga, utilizando sensores de medición como las galgas extensométricas, sistemas ópticos y sensores piezométricos. A lo largo del desarrollo experimental de la investigación la autora realizó la calibración de los sensores de carga, la instalación de los mismos y las pruebas de carga para toma de datos. Estas pruebas de carga se llevaron en diferentes etapas, primero con su peso propio y después aumentándolo gradualmente hasta llegar al 80% de su carga última. “Durante la imposición de las cargas el sistema de adquisición de las galgas extensométricas registró automáticamente un dato de deformación unitaria cada segundo, ya que este cuenta con 16 canales de adquisición, lo que permite conectar todos los dispositivos a la vez.”<sup>26</sup> En la figura 12 se puede apreciar las gráficas

---

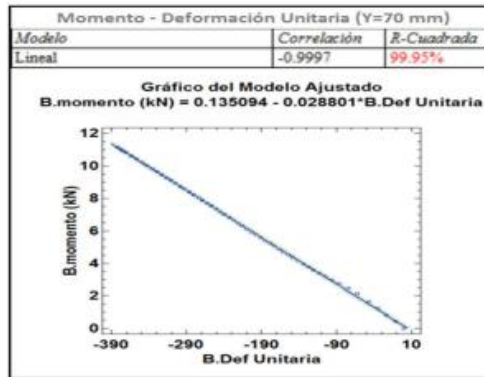
<sup>24</sup> ALZATE, Edwin., MONTES, Jose., & SILVA, Carlos. Medidores de deformacion por resistencia: galgas extensométricas. *Scientia et technica*. 2007. Vol.1, nro.34, pp. 7-12.

<sup>25</sup> CORREA URIBE, Andrea. Esquema para la implementación de medición de deformaciones en edificaciones de hormigón. Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Civil. Envigado: Escuela de Ingeniería de Antioquia. Facultad de ingeniería civil. Antioquia. 2015. Pag.35.

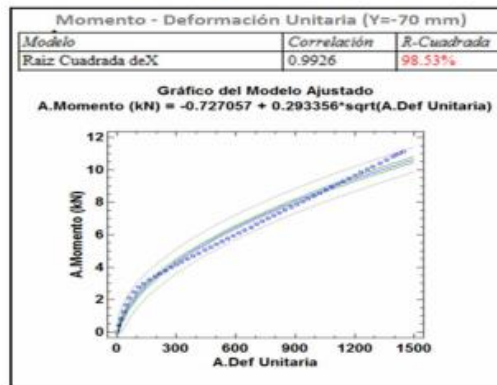
<sup>26</sup> CORREA URIBE, Andrea. Esquema para la implementación de medición de deformaciones en edificaciones de hormigón. Trabajo de grado para optar por el

construidas a partir de los datos obtenidos por el sistema de adquisición, donde se relaciona el valor del momento y la deformación unitaria.

Figura 12. Modelo ajustado



Gráfica 4 Modelo ajustado zona a compresión



Gráfica 5 Modelo ajustado zona a tracción

**Fuente:** CORREA URIBE, Andrea. Modelos ajustado zona a tracción. [imagen]. Esquema para la implementación de medición de deformaciones en edificaciones de hormigón. Antioquia: 2015. p.51. [Consultado: 10 de febrero de 2020]. Disponible en: [https://repository.eia.edu.co/bitstream/11190/2045/1/CorreaAndrea\\_2015\\_EsquemalImplementacionMedicion.pdf](https://repository.eia.edu.co/bitstream/11190/2045/1/CorreaAndrea_2015_EsquemalImplementacionMedicion.pdf)

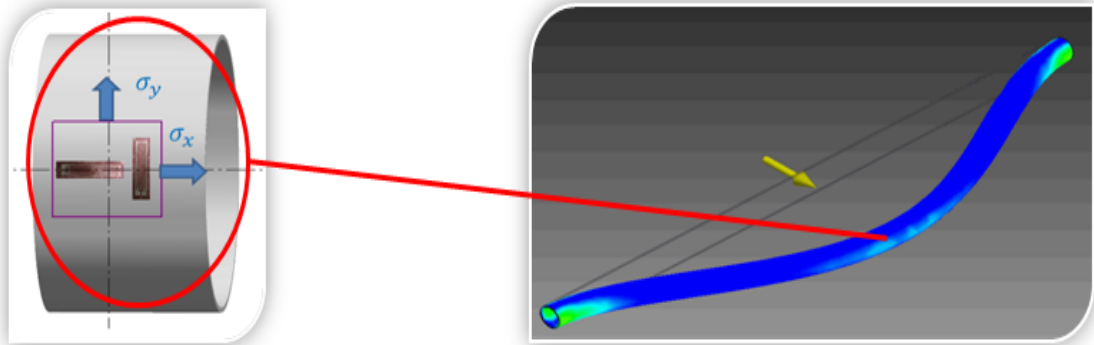
En general varios autores resaltan que “Las galgas extensométricas se han convertido en una herramienta esencial para el análisis de tensiones, la optimización de piezas, los ensayos de seguridad y la investigación técnica. También son un componente muy importante en la fabricación de transductores de medida,”<sup>27</sup>

título de Ingeniero Civil. Envigado: Escuela de Ingeniería de Antioquia. Facultad de ingeniería civil. Antioquia. 2015. Pag.35.

<sup>27</sup> HBM. [sitio web]. 2010. [consultado: 18 octubre 2018]. Disponible en: <https://www.hbm.com/es/0112/literatura-de-referencia-sobre-medicion-con-galgas-extensometricas/>

debido a su gran efectividad y precisa medición. Son bastantes los campos de aplicación de estos sensores. Por ejemplos las galgas extensométricas también resultan demasiado útiles en las modelaciones de tubería que generalmente se hacen en software especializado como ANSYS. Mediante la introducción de datos calculados con las galgas montadas en sentido transversal y longitudinal para modelar las presiones laterales a las que están sometidas estas tuberías para así poder predecir una posible falla. En la figura 13 se puede evidenciar un ejemplo de modelación de tubería en ANSYS teniendo en cuenta galgas en sentido transversal y longitudinal.

*Figura 13. Modelación de tuberías en ANSYS con galgas extensometricas*



**Fuente:** Material modificado. UPTC. Modelos de tuberías en ANSYS con galgas extensométricas [figura].

## 7 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se basa principalmente en seis grandes etapas en las cuales se resume el desarrollo del proyecto (figura 14). Estas etapas se definieron con el fin de conseguir los objetivos planteados inicialmente.

Figura 14 Metodología de la investigación



Fuente: Elaboración propia

La figura 14 da a conocer las etapas del proyecto de manera general a continuación, se describe a detalle cada una de ellas.

## 7.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Durante esta etapa se realizó la recopilación de la información bibliográfica que permite conocer qué tipo de proyectos se han llevado a cabo bajo las mismas o similares condiciones. Igualmente se llevó a cabo la recopilación de información importante para entender los temas centrales que abarca este proyecto. Las investigaciones encontradas sobre la utilización de sensores de medición de carga y deformabilidad en equipos electrónicos para adquisición de datos evidenciaron el auge que vienen teniendo estos sistemas en modelos y materiales estructurales.

Para ello se hizo uso de las bases de datos electrónicas de la universidad y recursos bibliográficos disponibles en el entorno. Además de la norma ASTM Designation D3148-72 que presenta los parámetros técnicos necesarios para los métodos estándar del módulo de elasticidad en especímenes de roca sometidos a ensayos de compresión uniaxial. Los resultados y hallazgos de la información recopilada se presentan y resumen en el estado del arte presentado en la sección anterior de este informe.

## 7.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS (SOFTWARE)

A partir de la información adquirida el equipo interdisciplinario procedió a diseñar y construir el sistema electrónico de adquisición que permitirá obtener los datos con ayuda de las galgas extensométricas. Se fabricaron una serie de tarjetas electrónicas adecuadas para tal fin (figura 15). Para esto fue necesario el apoyo de conocimientos de un ingeniero electrónico especialista en sistema de adquisición de datos.

Este equipo es de adquisición de datos compuesto por sistemas de amplificación de señales de las variables nombradas y digitalizadas por un ADC de 4 canales multiplexada a 8 variables.

Figura 15. Sistema de adquisición de datos del equipo



**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 15 se puede observar la tarjeta electrónica de color verde que utiliza el sistema de adquisición para la amplificación de señales y digitalización para la comunicación por USB como también todos los circuitos que la complementan. El equipo se fundamenta principalmente en medición de cargas y lee ocho sensores de medición. Fue diseñado para garantizar su calibración de forma automática y seleccionar las variables que se van a graficar y obtener.

El software de procesamiento con el que cuenta el equipo permite su almacenamiento y muestra los datos de forma gráfica para permitir su exportación en una extensión de archivo de texto TXT gracias a la comunicación por USB con la que el equipo cuenta.

### 7.3 CONSTRUCCIÓN Y AJUSTE DEL EQUIPO (HARDWARE)

El diseño del equipo se adaptó a la tarjeta de adquisición de datos, los circuitos que la componen y los conectores (figura 16) de los sensores utilizados para la conexión de los equipos de medición.

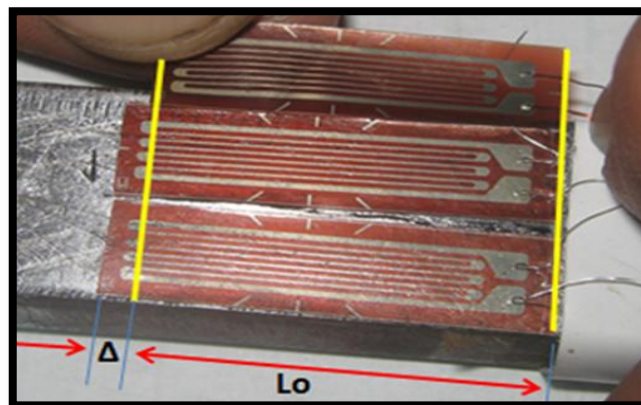
Figura 16. Conectores para la conexión de sensores



Fuente: Elaboración propia

En la figura 16 se pueden observar las salidas de los conectores de los sensores de mediciones. Este equipo lee dos celdas de carga, dos deformímetros, tres galgas extensométricas y un sensor de presión. A pesar de que el equipo lee los sensores antes mencionados el proyecto le da mayor relevancia a galgas extensométricas (figura 17), debido a que son las celdas de carga fundamentales en la medición de deformación. El chasis que protege el equipo está fabricado de manera que garantiza una protección aislante al sistema de adquisición de datos. Este es el encargado de comunicar los módulos de medición con el ordenador a través de una interfaz usando el software diseñado. Igualmente cuenta con una fuente regulada para la alimentación de circuitos (figura 18).

Figura 17. Galgas extensométricas utilizadas



Fuente: Elaboración propia

La figura 17 muestra el tipo de galga utilizado para esta investigación. La marca de la galga es KYOWA de referencia KFGS-30-120-C1-11 especial para hormigón que tiene una longitud de rejilla de 30mm y anchura de 3,3mm.

Figura 18. Fuente regulada para la alimentación de circuitos



Fuente: Elaboración propia

#### 7.4 CALIBRACIÓN DE LA GALGA EXTENSOMÉTRICA

La calibración del equipo electrónico es un factor importante para tener confiabilidad y precisión en los resultados. Esta calibración es necesaria hacerla con apoyo de una máquina que cuente con certificado de calibración. Por ello se solicitó por escrito a la Directora de escuela de Ingeniería Civil, María Yazmín Abril, el préstamo del laboratorio de suelos y materiales de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia seccional Tunja, en el que se encuentra la máquina universal (figura 19) que cuenta con dicha certificación. Esta solicitud fue aprobada y se realizó con éxito la calibración de la galga extensométrica.

Figura 19. Máquina Universal del laboratorio de la UPTC



Fuente: Elaboración propia

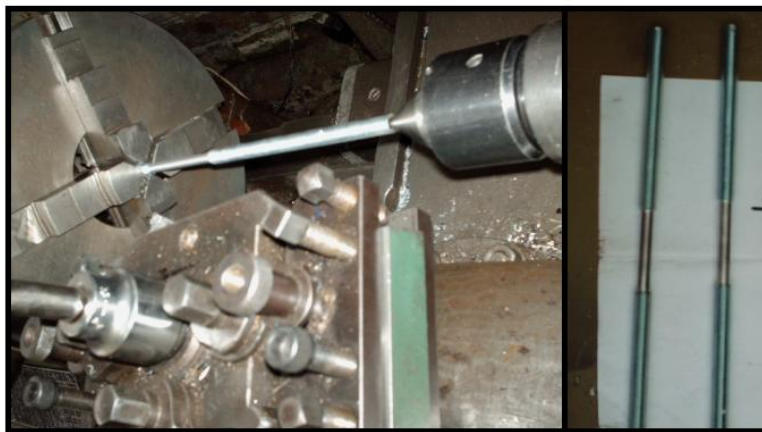
En la figura 19 se puede observar la máquina universal con la que cuenta el laboratorio de suelos y materiales de la universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia seccional Tunja. Esta máquina es marca SHIMADZU UH-500KN.

### **Procedimiento y consideraciones generales a tener en cuenta en la calibración de la galga**

- Para poder llevar a cabo la calibración primero se acondiciona una barra de acero estructural a la cual se le realiza el debido maquinado requerido por la norma (figura 20).
- Se coloca la barra sobre la máquina universal para luego ajustar el extensómetro (figura 21 (a)).
- Se coloca y ajusta el extensómetro a la barra. Se utilizó un extensómetro SG50-50 (figura 21 (b)), con el cual se garantiza una medida de alta precisión.
- Se trabaja siempre sobre el rango elástico de la barra de acero.

- La galga extensométrica se ubica en la longitud de maquinado de la barra de acero que representa la longitud calibrada o longitud de empatronamiento.
- El ingeniero eléctrico registro los datos iniciales del extensómetro para la calibración de la galga. Igualmente toma una serie de puntos registrados por el extensómetro y la galga para realizar el debido ajuste de tendencias.
- Finalmente se hace la verificación de los datos registrados por el software para determinar que los valores registrados por el extensómetro coincidan con los registrados por la galga extensométrica.

*Figura 20. Maquinado de la barra de acero para la calibración*



**Fuente:** Elaboración propia

*Figura 21. Colocación de la barra en la maquina universal y del extensómetro.*



(a)

(b)

**Fuente:** Elaboración propia

## 7.5 EXTRACCIÓN Y ADECUACIÓN DE LA PROBETAS

Los bloques de roca utilizados para la extracción fueron recolectados en una cantera aledaña a la ciudad de Tunja. Esta cantera (figura 22) está localizada en la vía Duitama – Sogamoso, vereda Guaquida municipio de Nobsa. La cantera pertenece a la Mina El Morro que actualmente tiene concesión por el señor Augusto Abelino Cely Higuera, con contrato de concesión número 0789-15; comprendiendo un área autorizada de 2508 m<sup>2</sup> para extracción de caliza. También se contó con material tipo granito traído de Manizales.

*Figura 22. Macizo Rocosó (Cantera)*



**Fuente:** Elaboración propia

Se utilizaron alrededor de cuatro bloques de roca para la extracción de las probetas (figura 23). La extracción de los núcleos de roca se realizó en el laboratorio de la universidad Santo Tomás, con el equipo disponible (figura 26 (a)) y con la ayuda del auxiliar de laboratorio y teniendo en cuenta todos los elementos de protección personal requeridos para el ensayo (figura 26 (b)).

*Figura 23. Bloques de roca utilizados*



**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 23 se muestra los bloques de roca utilizados para la extracción de las probetas. Se tuvieron que extraer varios núcleos debido a que dos de los bloques aparentemente sanos presentaban condiciones de fracturamiento altas. Los núcleos seleccionados para el montaje de las galgas extensométricas deberían cumplir con diferentes factores como longitud, superficies lisas y sin fracturamiento. Los bloques de roca debían ser colocados de forma que garantizara su estabilidad (figura 24 y 25), mientras la broca se iba adentrando en el bloque para evitar que este se fractura debido a la presión.

*Figura 24. Bloques acomodados para extracción de los núcleos.*



**Fuente:** Elaboración propia

Figura 25. Acomodación del bloque debajo de la maquina



Fuente: Elaboración propia

La figura 24 muestra la acomodación de los bloques fijándolos para evitar que se movieran durante el funcionamiento de la máquina. La figura 25 muestra cómo se acomodó el equipo para no tener inconvenientes con los bloques.

Figura 26 Equipo utilizado para la extracción de los núcleos



(a)

(b)

Fuente: Elaboración propia

En la figura 27 se puede apreciar los núcleos extraídos a los cuales se les preparó y acondicionó con dimensiones requeridas por la norma ASTM Designation D3148-72, relación 1:2. Antes de realizar el corte, las probetas son debidamente marcadas para poder identificarlas más adelante si es necesario (figura 28 (a)). El corte de las probetas inicialmente extraídas se realizó en Mármoles Boyacá ubicada en la calle 25ª #7-94 de la ciudad de Tunja (figura 28 (b)) para garantizar precisión en el corte.

*Figura 27. Núcleos extraídos*



**Fuente:** Elaboración propia

*Figura 28. Marcación y delimitación de las probetas para el corte*



(a)

(b)

**Fuente:** Elaboración propia

Para este proyecto las probetas se dejan con un diámetro de 5,4 centímetros y una altura de 10,8 centímetros respetando los parámetros mínimos designados en la norma ASTM Designation D3148-72. Finalizado el corte de las probetas ya quedan listos los núcleos (figura 29) para realizar el montaje de las bandas extensométricas.

*Figura 29. Muestras de núcleos de roca adecuadas*



**Fuente:** Elaboración propia

## 7.6 MONTAJE DE LAS GALGAS EXTENSOMÉTRICAS

El montaje de las galgas extensométricas consiste principalmente en la adherencia de la galga al núcleo de roca listo para fallar.

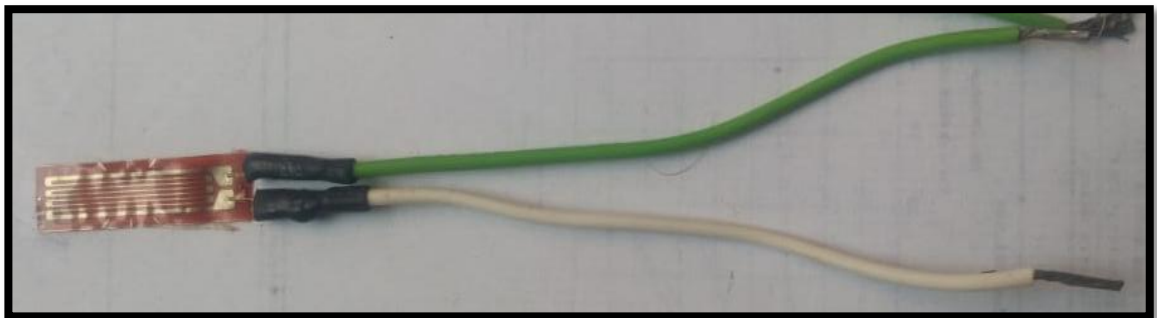
### Funcionamiento de la galga

Las galgas extensométricas funcionan bajo el principio de que, si se aplica una fuerza a un hilo conductor (material del alambre), se presenta una variación en su resistencia eléctrica. En este caso, cuando la galga está conectada al núcleo de roca y este a su vez está siendo sometido a la aplicación de fuerzas por medio del ensayo de compresión simple, además de las tensiones longitudinales que presenta va a experimentar tensiones transversales. Estas tensiones experimentadas por los núcleos serán transmitidas directamente a la galga que responde a un cambio lineal en su resistencia y que a su vez lo transmite al equipo de adquisición de datos mediante los cables que se añaden a la galga por medio de las pistas de soldadura.

## Pasos para el montaje de la galga

- **Preparar el núcleo:** Para garantizar el contacto completo de la galga con la probeta y obtener la máxima eficiencia en el pegado, la superficie de esta debe estar completamente lisa y libre de impurezas. Por ello es necesario garantizar que los núcleos seleccionados en el proceso de extracción sean lo más lisos, rectos y sin fracturamiento. Si se requiere limpiar el núcleo es necesario hacerlo con paños que no dejen residuo alguno.
- **Preparación de la galga extensométrica:** Este paso consiste principalmente en la soldadura directamente de los cables a la galga para transmitir la información al equipo electrónico (figura 30). Para ello se realizó un punto de soldadura en la parte final en los bordes de conexión o pistas de soldadura que trae la galga. Se utilizó cable dúplex de filamento y soldadura tipo estaño y se cubrieron los cables con cinta adhesiva. En la figura 30 se puede apreciar cómo queda la galga lista con los cables para hacer la conexión.

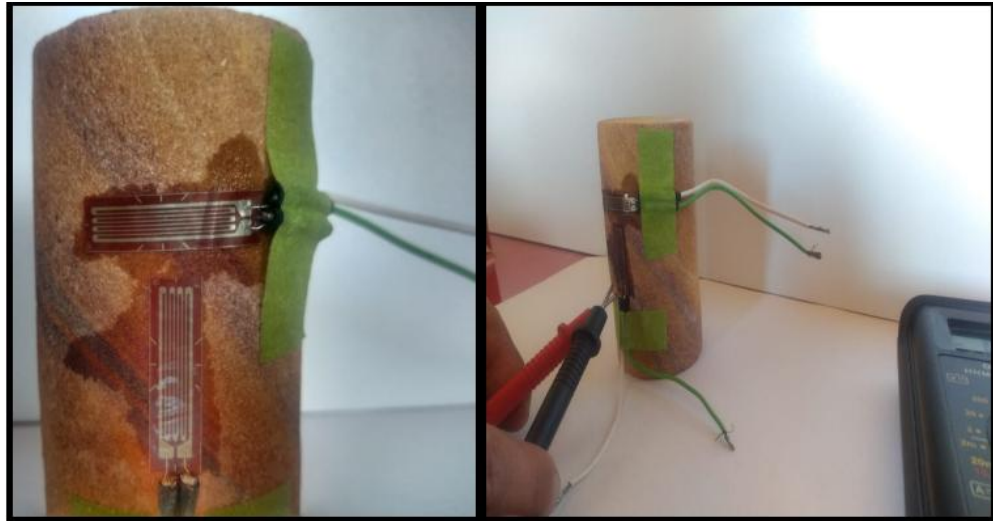
*Figura 30. Galga extensométricas con cables soldados*



**Fuente:** Elaboración propia

- **Aplicación del pegamento:** Para este paso se utiliza el pegamento instantáneo en preferencia Super Bonder. Es necesario utilizar una cantidad suficiente para cubrir la totalidad del cuerpo de la galga e inmediatamente adherirla a la superficie del núcleo de roca. Se puede presionar homogéneamente toda la galga. Después se retira el exceso de pegamento si es necesario. En la figura 31 se puede observar cómo queda montada la galga extensométrica sobre el núcleo de roca.

Figura 31. Montaje de la galga en la probeta



Fuente: Elaboración propia

- **Conexión de los cables al equipo de adquisición de datos:** Conectar los cables soldados a la galga en los conectores disponibles del equipo electrónico.
- **Conexión de las celdas de carga del equipo a utilizar con el equipo electrónico:** Se realiza la conexión de las celdas de carga a través de los conectores que tiene el equipo (compresión simple, máquina de CBR Y MARSHALL) y poder iniciar el ensayo.
- **Verificación de las condiciones iniciales:** Se verifican las condiciones iniciales del software y del equipo complementario para el ensayo.

Consideraciones generales a tener en cuenta para el ensayo

Para interactuar con la interfaz del software diseñado para determinar los módulos de elasticidad y la relación de Poisson es necesario la recopilación de información sobre los núcleos de roca para ser ingresada en el programa antes de la iniciación del ensayo. La figura 32 presenta un formato rápido para el registro de estos.

Figura 32.Registro de datos



**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS**  
SECCIONAL TUNJA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE ROCAS, SUELOS Y PAVIMENTOS

**PROCEDENCIA:**

**FECHA:**

**RESPONSABLE DEL ENSAYO:**

**COORDENADAS:**

**PROBETA #:**

**REGISTRO DE DATOS INICIALES**

DIMENSIONES DE LA PROBETA	
Diámetro 1	
Diámetro 2	
Diámetro 3	
<b>Promedio Diámetro</b>	
Altura 1	
Altura 2	
Altura 2	
<b>Promedio Altura</b>	
Area	
Volumen	

CONDICIONES DE LA PROBETA	
<b>PESO DE LA PROBETA</b>	
<b>RESULTADOS DE ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE</b>	
<b>Valor de carga</b>	
<b>Valor de esfuerzo</b>	
<b>% Esfuerzo</b>	

Fuente: Elaboración propia

Antes de iniciar el ensayo de deformabilidad es necesario someter una de las probetas a compresión simple para poder determinar el esfuerzo último del material y así escoger el esfuerzo entre 0% y 50% con el que se trabajara en el ensayo de deformabilidad. Las deformaciones axiales (verticales) y diametrales (horizontales) van a ser registradas por el equipo de adquisición de datos (figura 33). Cabe recordar que la manera manual de calcular esta deformación está dada por la ecuación (1):

$$\varepsilon_a = \frac{\Delta_l}{l_0}$$

Dónde: (1)

$\Delta_l$ : cambio de longitud axial (diferencia entre la longitud inicial y la final)

$l_0$  : Longitud axial inicial

Cuando se habla de deformaciones diametrales se consideran los cambios en diámetro.

Figura 33. Tabla de datos software UPTC

ANÁLISIS DE MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RELACION DE POISSON											
PROPIEDADES			ENSAYO			DATOS			RESULTADOS		
<b>CARGAR CICLO DE CARGA</b>						Ciclo de carga: <b>1</b>			<b>CARGAR CICLO</b>		
Elija el ciclo de carga que quiere ver y a continuación haga click en el botón CARGAR CICLO											
TABLA DE RESULTADOS											
TIEMPO (seg)	DEFORMACION 1 (µm)	DEFORMACION UNITARIA 1 (%)	DEFORMACION 2 (µm)	DEFORMACION UNITARIA 2 (%)	DEFORMACION 3 (µm)	DEFORMACION UNITARIA 3 (%)	DEF. VERT. PROMEDIO (µm)	DEF. UNIT. VERTICAL PROMEDIO (%)	CARGA (Kg)	ESFUERZO (MPa)	ALARGAM. (mm)
0.00000	0.24670	0.00016	0.16446	0.00011	0.00000	0.00000	0.12335	8.09374E-5	-0.27136	-0.01486	0.00016
0.51700	0.08223	5.39583E-5	-0.16446	-0.00011	0.00000	0.00000	0.04112	2.69791E-5	-0.20557	-0.01125	0.00033
1.10200	-0.16446	-0.00011	0.16446	0.00011	0.00000	0.00000	-0.08223	-5.39583E-5	-0.25491	-0.01396	0.00000
1.69400	0.32893	0.00022	-0.16446	-0.00011	0.00000	0.00000	0.16446	0.00011	-0.28780	-0.01576	0.00362
2.26100	0.32893	0.00022	0.16446	0.00011	0.00000	0.00000	0.16446	0.00011	-0.27958	-0.01531	0.01053
2.83200	0.00000	0.00000	0.08223	5.39229E-5	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	-0.04934	-0.00270	0.02621
3.40400	0.16446	0.00011	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.08223	5.39583E-5	-0.01645	-0.00090	0.04416
3.98100	0.41116	0.00027	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.20558	0.00013	0.27958	0.01531	0.06373
4.56000	0.16446	0.00011	0.08223	5.39229E-5	0.00000	0.00000	0.08223	5.39583E-5	0.57961	0.03151	0.08248
5.12900	0.24670	0.00016	-0.04112	-2.69614E-5	0.00000	0.00000	0.12335	8.09374E-5	0.54272	0.02971	0.09950
5.70000	0.32893	0.00022	0.08223	5.39229E-5	0.00000	0.00000	0.16446	0.00011	0.84697	0.04637	0.12154
6.28000	0.32893	0.00022	0.08223	5.39229E-5	0.00000	0.00000	0.16446	0.00011	1.06899	0.05853	0.14209
6.85400	0.65786	0.00043	0.08223	5.39229E-5	0.00000	0.00000	0.32893	0.00022	1.39790	0.07653	0.16150
7.43000	0.65786	0.00043	0.08223	5.39229E-5	0.00000	0.00000	0.32893	0.00022	1.75972	0.09634	0.17844
7.93700	1.31572	0.00086	-0.08223	-5.39229E-5	0.00000	0.00000	0.65786	0.00043	2.20200	0.12155	0.19834
8.46800	1.64465	0.00108	0.08223	5.39229E-5	0.00000	0.00000	0.82232	0.00054	2.82048	0.15442	0.22054
8.97800	1.48018	0.00097	0.00000	-0.00000	0.00000	0.00000	0.74009	0.00049	2.96849	0.16252	0.23748
9.55900	1.89135	0.00124	0.08223	5.39229E-5	0.00000	0.00000	0.94567	0.00062	3.46187	0.18953	0.25647
10.14300	2.46697	0.00162	0.00000	-0.00000	0.00000	0.00000	1.23349	0.00081	4.22661	0.23140	0.27892
10.63900	2.71367	0.00178	0.00000	-0.00000	0.00000	0.00000	1.35683	0.00089	4.89267	0.26787	0.29849
11.21900	3.28930	0.00216	0.08223	5.39229E-5	0.00000	0.00000	1.64465	0.00108	5.59162	0.30613	0.32094

Fuente: Grupo de investigación en construcción antisísmica - GICA. Análisis de resultados. [Imagen]. *MANUAL PARA USO Y PROCEDIMIENTO DE MANEJO – EQUIPO Y SOFTWARE DETERMINACIÓN DE MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO Y RELACIÓN DE POISSON*. Tunja: Pág. 42.

En la figura 33 se puede apreciar un ejemplo de la tabla de resultados arrojada por el software utilizado en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia UPTC, las variables arrojadas son las siguientes: Tiempo (segundos), Deformación 1 (en µm), Deformación Unitaria 1 (%), Deformación 2 (en µm), Deformación Unitaria 2 (%), Deformación 3 (en µm), Deformación Unitaria 3 (%), Deformación Vertical Promedio (en µm), Deformación Unitaria Vertical Promedio (%), Carga (en Kg), Esfuerzo (en MPa), Alargamiento (mm). Estas variables son las mismas que arroja el equipo electrónico de esta investigación.

El esfuerzo de compresión uniaxial está determinado por la ecuación (2):

$$\sigma = \frac{P}{A} \tag{2}$$

Dónde:

- P: Fuerza de compresión
- A: área de la probeta

El software de adquisición de datos también muestra un análisis de los resultados obtenidos donde se puede ver reflejado el cálculo del módulo de elasticidad y la relación de Poisson (figura 34).

Figura 34. Análisis de resultados software UPTC

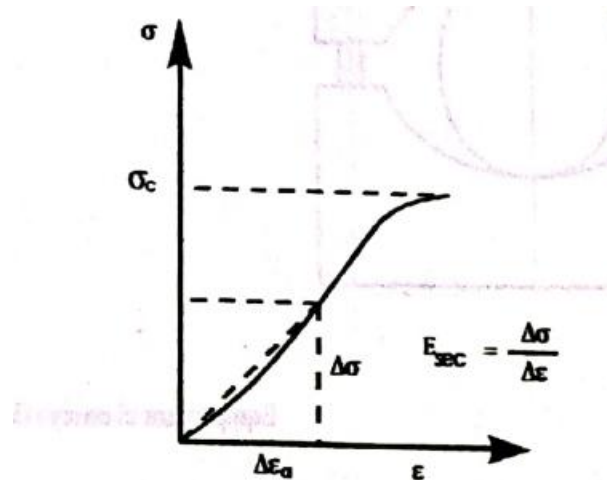


Fuente: Grupo de investigación en construcción antisísmica - GICA. Análisis de resultados. [Imagen]. MANUAL PARA USO Y PROCEDIMIENTO DE MANEJO – EQUIPO Y SOFTWARE DETERMINACIÓN DE MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO Y RELACIÓN DE POISSON. Tunja: Pág. 42.

Para determinar estas constantes elásticas no es necesario llevar el núcleo a la falla. Cada núcleo puede ser sometido a dos ciclos de carga-descarga mínimos siguiendo las recomendaciones de la norma ASTM Designation D3148-72. En la figura 34 se puede ver un ejemplo de los resultados obtenidos del software utilizado en la UPTC en el cual la probeta fue sometida a los 5 ciclos de carga y descarga.

El método utilizado por el software de adquisición de datos diseñado en este proyecto para el cálculo del módulo de elasticidad es el método de la secante, el mismo que utiliza el software de la UPTC. En este se mide un nivel de esfuerzos desde cero hasta un porcentaje fijado del 50% de la resistencia (figura 35). Para este caso será desde el esfuerzo obtenido en una deformación unitaria de 50 millonésimas del esfuerzo hasta el 40% del mismo.

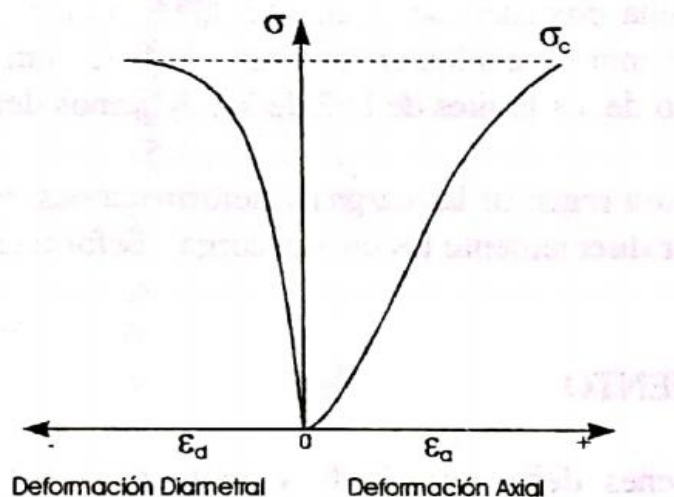
Figura 35. Método de la secante para cálculo de módulo de elasticidad



**Fuente:** CORREA, Álvaro. Modulo promedio a un porcentaje fijado de  $\sigma$ . [Imagen]. Traducción del libro Universidad Nacional de Colombia. Bogotá: Pág. 126.

El módulo de elasticidad está dado por la pendiente de la curva esfuerzo vs deformación (ecuación 3). En la figura 35 se puede apreciar el método de la secante donde se evidencia la relación de curva a la que se le determina la pendiente. La figura 36 muestra la curva típica de esfuerzo vs deformación que arroja el programa. La deformación axial se considera positiva por el acortamiento que tendrá para este caso.

Figura 36. Tipo de Curva esfuerzo deformación



**Fuente:** CORREA, Álvaro. Modulo promedio a un porcentaje fijado de  $\sigma$ . [Imagen]. Traducción del libro Universidad Nacional de Colombia. Bogotá: Pág. 125.

Módulo de elasticidad E

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \quad (3)$$

Dónde:

$\Delta\sigma$ : Es la diferencia del 40% del esfuerzo y el obtenido en 50 millonésimas

$\Delta\varepsilon$ : Es la diferencia de deformación axial unitaria del 40% del esfuerzo y el obtenido en 50 millonésimas

Y finalmente la relación de Poisson está dada por la siguiente ecuación (4):

$$\nu = -\frac{\Delta\varepsilon_a}{\Delta\varepsilon_d}$$

Donde:

$\Delta\varepsilon_a$ : Es la diferencia de deformación axial unitaria del 40% del esfuerzo y la deformación de 50 millonésimas.

$\Delta\varepsilon_d$ : Es la diferencia de deformación axial unitaria del 40% del esfuerzo y la deformación de 50 millonésimas.

## 8 RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se presentan las propiedades mecánicas de las probetas, las cuales se pretendían utilizar en el desarrollo del ensayo para la determinación del módulo de elasticidad y la relación de Poisson en materiales rocosos. Teniendo en cuenta las limitaciones que se tuvieron para el desarrollo de esta investigación, la realización del ensayo queda por fuera del alcance de la misma y lo presentado en esta capítulo no representa el objetivo principal de la investigación, sino que por el contrario sirve de complemento para la identificación del material de las probetas extraídas. Igualmente se deja como base para una futura caracterización apropiada del macizo rocoso con ayuda de programas especializados para tal fin, como los desarrollados por ROCSCIENCE.




### 8.1 PROPIEDADES MECÁNICAS

Para la clasificación de las propiedades mecánicas se acondicionaron 10 probetas con relación diámetro/altura de 1:2. El diámetro de las probetas fue de cinco centímetros y de altura de 10 centímetros. Las probetas se enumeraron del 1 al 10 y se variaron las condiciones de secado de las probetas.

Las 10 probetas fueron utilizadas en cuatro ensayos diferentes (tabla 1) y distribuidas de la siguiente manera: dos probetas para el ensayo de tracción indirecta, dos para el ensayo de carga puntual, tres para el ensayo de carga puntual axial y tres para el ensayo de compresión simple.

Tabla 1. Ensayos realizados

ENSAYO	CONDICIONES DE SECADO DE LAS PROBETAS	PROBETAS FALLADAS
Tracción Directa	<ul style="list-style-type: none"><li>• Probeta secada a condiciones de ambiente #6</li><li>• Probeta saturada #7</li></ul>	
Carga Puntual Transversal	<ul style="list-style-type: none"><li>• Probeta secada al horno #3</li></ul>	

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Probeta secada a condiciones de ambiente #8</li> </ul>	
<b>Carga Puntual Axial</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Probetas secadas a condiciones de ambiente #4 y #10</li> <li>• Probeta en baño de maria #5</li> </ul>	
<b>Compresión simple</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Probetas secadas a condiciones de ambiente #2</li> <li>• Probeta sometida a congelamiento #9</li> <li>• Probeta secada al horno #1</li> </ul>	

Fuente: Elaboración propia

### Resultados del ensayo de tracción indirecta

La tabla 2 presenta los resultados obtenidos en el ensayo de tracción directa para las dos probetas falladas. Los resultados de resistencia a tracción indirecta realizados a las dos probetas (7 y 6) arrojaron los siguientes resultados: para la muestra 6 se obtuvo un valor de  $113.88 \text{ kgf/cm}^2$  o  $11.167 \text{ Mpa}$  y para la muestra 7 se obtuvo un valor de  $106.29 \text{ kgf/cm}^2$  o  $10.42 \text{ Mpa}$ . Teniendo en cuenta los valores de resistencia a tracción directa dados por el libro ingeniería geológica de Luis Gonzales de vallejo en la figura 37 se considera un tipo de roca tipo caliza.

Tabla 2. Resultados del ensayo de tracción directa

PROBETA 7		PROBETA 6	
CARGA (Kgf)	RESISTENCIA (Kgf/cm <sup>2</sup> )	CARGA (Kgf)	RESISTENCIA (Kgf/cm <sup>2</sup> )
407	20,73	157	8,00
647	32,95	454	23,12
887	45,17	751	38,25
1127	57,40	1048	53,37
1367	69,62	1345	68,50
1607	81,84	1642	83,63
1847	94,07	1939	98,75
2087	106,29	2236	113,88

Fuente: Elaboración propia

Figura 37. Valores de resistencia a tracción

Roca sana	Resistencia a compresión simple (kp/cm <sup>2</sup> )		Resistencia a la tracción (kp/cm <sup>2</sup> )
	Valores medios	Rango de valores	
Andesita	2.100-3.200	1.000-5.000	70
Anfibolita	2.800	2.100-5.300	230
Anhidrita	900	800-1.300	60-120
Arenisca	550-1.400	300-2.350	50-200
Basalto	800-2.000	600-3.500	50-250
Caliza	600-1.400	500-2.000	40-300
Cuarcita	2.000-3.200	1.000-5.000	100-300
Diabasa	2.400-3.500	1.300-3.650	550
Diorita	1.800-2.450	1.200-3.350	80-300

Fuente: GONZÁLEZ DE VALLEJO, Luis; FERRER, Mercedes; ORTUÑO, Luis; OTEO, Carlos. Valores de resistencia de la matriz rocosa sana. [Cuadro]. Ingeniería Geología. Madrid: Pearson education. 2004. Paginación 544.

### Resultados del ensayo de Carga Puntual Transversal

En la tabla 3 se puede observar los resultados obtenidos en el ensayo de carga puntual transversal del cual se obtiene para la probeta 3 un valor de 35,85 Kgf/cm<sup>2</sup> y para la probeta 8 un valor de 24,69 Kgf/cm<sup>2</sup>

Tabla 3. Resultados del ensayo de carga puntual

RESISTENCIA A LA CARGA PUNTUAL PROBETA 3		RESISTENCIA A LA CARGA PUNTUAL PROBETA 8	
De <sup>2</sup> (cm <sup>2</sup> )	25,00	De <sup>2</sup> (cm <sup>2</sup> )	25,00
P (Kgf)	1267,00	P (Kgf)	873,00
Is (Kgf/cm <sup>2</sup> )	50,68	Is (Kgf/cm <sup>2</sup> )	34,92
F	0,71	F	0,71
Is <sub>(50)</sub> (Kgf/cm <sup>2</sup> )	35,84	Is <sub>(50)</sub> (Kgf/cm <sup>2</sup> )	24,69

Fuente: Elaboración propia

### Resultados del ensayo de carga puntual axial

La tabla 4 presenta los resultados obtenidos en el ensayo de carga puntual axial. Los resultados obtenidos en para el ensayo de carga puntual axial correspondientes al valor del índice de resistencia a la carga puntual de las probetas analizadas (4,5,10) son: el valor de la muestra 4 es de 2,30MPa, el valor de la muestra 5 es de 2,51MPa, y el valor de la muestra 10 es de 3,09MPa. Para los resultados del ensayo de carga puntual transversal correspondientes al mismo índice para las probetas analizadas (3, 8) son: el valor de la probeta 3 es de 3,51MPa y el de la probeta 8 es de 2,42MPa.

Tabla 4. Resultados del ensayo de carga puntual axial

PROBETA	P (kgf)	E (kg/cm <sup>2</sup> *s)	V (kg/cm <sup>2</sup> *s)	Is ((kg/cm <sup>2</sup> ))	Is (MPa)	FACTOR CORRECCIÓN
5	639	33	3	25.56	2.51	1
10	788	40	1	31.52	3.09	1
4	586	30	3	23.44	2.30	1

Fuente: Elaboración propia

La clasificación del bloque de roca dependiendo del Índice de resistencia bajo carga puntual de acuerdo a los valores obtenidos (figura 38) representa un tipo de roca de caliza.

Figura 38. Valores típicos de Is

Valores típicos de  $I_{s(50)}$  (Serrano, 2001)

Tipo de Roca	$I_{s(50)}$ (MPa)
Arenisca y lutitas terciarias	0,05 – 1
Carbón	0,2 – 2
Caliza	0,25 – 8
Limolitas y pizarras	0,2 – 8
Rocas volcánicas de flujo	3,0 – 15
Dolomita	6,0 – 11

Fuente: GONZÁLEZ DE VALLEJO, Luis; FERRER, Mercedes; ORTUÑO, Luis; OTEO, Carlos. Valores típicos de  $I_s$ . [Figural]. Ingeniería Geología. Madrid: Pearson education. 2004.

### Resultados del ensayo de compresión simple

Los resultados de resistencia a la compresión simple realizados a las tres probetas (1,2,9) arrojaron los siguientes resultados: para la muestra 1 se obtuvo un valor de 570 kgf/cm<sup>2</sup> ó 55.90 MPa, para la muestra 2 se obtuvo un valor de 366.08 kgf/cm<sup>2</sup> ó 35.90 MPa y para la muestra 9 se obtuvo un valor de 484.29 Kgf/cm<sup>2</sup> ó 47.49 MPa. Cabe aclarar que en los bloques utilizados para la extracción se encuentra uno que presenta altos niveles de meteorización. Esto indica que su resistencia es baja con respecto a la roca sana del otro bloque utilizado, por ende, los valores de referencia más acertados para la clasificación de la roca son los de las probetas 1 y 9.

Tabla 5. Resultados del ensayo de compresión simple probeta 1,2 y 9.

PROBETA 1		PROBETA 2		PROBETA 9	
CARGA (Kgf)	RESISTENCIA (kgf/cm <sup>2</sup> )	CARGA (Kgf)	RESISTENCIA (kgf/cm <sup>2</sup> )	CARGA (Kgf)	RESISTENCIA (kgf/cm <sup>2</sup> )
3195	162,72	543	27,65	586	29,84
3503	178,41	1139	58,01	1139	58,01
4015	204,48	2098	106,85	2066	105,22
4387	223,43	2747	139,90	3099	157,83
5026	255,97	3036	154,62	4185	213,14
5392	274,61	3780	192,51	5218	265,75
6336	322,69	4249	216,40	6048	308,02
7007	356,86	5303	270,08	7294	371,48
8061	410,54	5931	302,06	7805	397,51

9296	473,44	6719	342,20	8689	442,53
<b>11192</b>	<b>570,00</b>	<b>7188</b>	<b>366,08</b>	<b>9509</b>	<b>484,29</b>

Fuente: elaboración propia

La figura 39 presenta la clasificación de roca de acuerdo a los valores de resistencia en roca dada en el libro Ingeniería Geológica se considera como una roca de resistencia dura a media y que para el caso corresponde a un mineral de tipo caliza.

Figura 39. Clasificación de las rocas a partir de su resistencia a compresión simple

Resistencia a la compresión simple (Mpa)	ISRM (1981)	Geological society of London (1970)	Bieniawski (1973)	Ejemplos
<1			Suelos	
1-5	Muy Blanda	Blanda >1,25	Muy Baja	Sal, lutita, limolita, marga, toba, carbón
5-12.5	Blanda	Moderadamente blanda		
12.5-25	Moderadamente dura	Moderadamente dura	Baja	Esquisto, pizarra
25-50				
50-100	Dura	Dura	Media	Rocas metamórficas, esquistosas, mármol, granito, gneiss, arenisca, caliza porosa.
100-200	Muy Dura	Muy dura	Alta	Rocas ígneas y metamórficas duras, arenisca muy cementada, caliza, dolomía.
>200		Extremadamente dura	Muy alta	Cuarcita, gabro, basalto
>250				

Fuente: Elaboración propia tomado de: GONZÁLEZ DE VALLEJO, Luis; FERRER, Mercedes; ORTUÑO, Luis; OTEO, Carlos. Clasificación de las rocas a partir de su resistencia a compresión simple [Cuadro]. Ingeniería Geología. Madrid: Pearson education. 2004. Paginación 133.

## RECOMENDACIONES

El tipo de los sensores de medición de deformabilidad puede variar dependiente el tamaño de objeto o material estructural a evaluar. Para el caso de esta investigación se utilizaron galgas extensométricas pequeñas debido al tamaño de los núcleos de roca que se emplearon. Cuando el material u objeto es de un tamaño considerable se pueden utilizar galgas extensométricas más grandes, sensores LVTD, sistemas ópticos FBG, sensores piezoeléctricos o cualquier otro dispositivo tecnológico dependiendo de las necesidades del proyecto.

Uno de los factores más importante en el desarrollo del ensayo de laboratorio es la preparación de las muestras y el montaje de las galgas extensométricas sobre los núcleos de roca. Por lo anterior se recomienda que las probetas a utilizar sean apropiadas geométricamente y que su extracción se haga con equipos y procedimientos adecuados para garantizar probetas de superficie lisas, rectas y sin fracturamiento. Igualmente es fundamental la utilización de bloques de roca sana.

Para cada ensayo realizado se requieren mínimo dos probetas y estas solo funcionan una vez. La calibración del equipo se llevó a cabo con galgas extensométricas de marca KYOWA de referencia KFGS-30-120-C1-11 especial para hormigón que tiene una longitud de rejilla de 30mm y anchura de 3,3mm. Por ello se recomienda que las siguientes galgas extensométricas sean las mismas en marca, modelo y serie.

## CONCLUSIONES

El análisis de los antecedentes de investigaciones sobre la utilización de deformímetros de resistencia eléctrica y sistemas de medición, evidencia un uso considerable de las galgas extensométricas en diferentes áreas. Estos dispositivos resultan ser una opción clásica debido a las grandes ventajas que poseen frente a la facilidad de compra, instalación y manejo. Sin embargo, no se descarta el uso de otros dispositivos electrónicos como los sensores LVTD, sensores piezoeléctricos y sensores de emisión acústica. Lo anterior considerando las ventajas y desventajas que tiene cada uno de ellos frente a las necesidades de cada ensayo o prueba.

El equipo electrónico diseñado y construido para este proyecto se puede conectar como complemento para medir las deformaciones en máquinas como la de compresión uniaxial, la máquina universal y la máquina de CBR Y MARSHALL de la universidad Santo tomas. También garantiza la lectura de deformación en otros materiales u objetos estructurales. Lo anterior gracias a la lectura de las celdas de carga, deformímetros galgas extensométricas y sensor de presión que posee. Esto permitirá el aprovechamiento del equipo electrónico en diferentes áreas propias y afines de la ingeniería civil.

Es importante resaltar la importancia del uso de los sistemas de medición dentro de las probetas para de esta manera determinar la medida de deformación de acuerdo con los criterios técnicos de la norma. Esto ya que si se utilizan valores de deformación externa dados por un equipo de aplicación de carga convencional se obtendrían datos completamente errados.

A partir de la determinación del módulo de elasticidad y la relación de Poisson en núcleos de roca, se puede calcular el módulo de elasticidad y la relación de Poisson del macizo rocoso. Esto es posible gracias a la utilización de herramientas geotécnicas de confiabilidad como los programas de ROCSCIENCE en especial ROCLAB. Este programa permite determinar parámetros de resistencia y deformabilidad de acuerdo al criterio de rotura Generalizado de Hoek-Brown. Lo que da facilidad para obtener estimaciones fiables de propiedades del macizo rocoso.

Con la implementación del sistema electrónico de adquisición de datos en la Universidad Santo Tomas se podrá obtener parámetros de vital importancia en el cálculo de deformabilidad en macizos rocosos. Por lo tanto, resulta favorable el ajuste de la correlación con otro tipo de ensayos y equipos que se encuentran en la universidad como, por ejemplo, los ensayos de velocidad de onda, ultrasonido,

ensayos con el esclerómetro. Esto con el fin de lograr una información correlacionada más confiable entre los datos obtenidos de los métodos aplicados para el cálculo del módulo de elasticidad y relación de Poisson en núcleos de roca

## ANEXOS

### **ANEXO A: GUÍA PARA EL MONTAJE DE LAS GALGAS EXTENSOMÉTRICAS Y RECOMENDACIONES GENERALES A TENER EN CUENTA EN LA REALIZACIÓN DEL ENSAYO DE DEFORMABILIDAD EN NÚCLEOS DE ROCA SOMETIDOS A COMPRESIÓN UNIAXIAL**

#### OBJETIVO

Presentar los pasos a seguir en el montaje de las galgas extensométricas sobre los núcleos de roca. Como también las recomendaciones generales y pautas iniciales sobre el sistema de adquisición de datos y métodos de cálculo del módulo de elasticidad y relación de Poisson a partir de las curvas esfuerzo deformación.

#### IMPORTANCIA Y USO

La precisión de los datos radica principalmente en la buena adherencia de las galgas sobre los núcleos de roca y en el adecuado ingreso de las variables al sistema de adquisición y manejo de los datos obtenidos. Por ello esta guía representa una clara preparación de los equipos y medios para la realización del ensayo.

La obtención de los datos para el cálculo de la deformabilidad en cualquier material u objeto estructural solo se puede llevar a cabo baja la adherencia de estos a una longitud calibrada o “empatronada” que garantice la transmisibilidad de las tensiones experimentadas por los núcleos en tiempo real. Por lo anterior del manejo de la galga depende la relevancia del ensayo.

#### EQUIPOS Y MATERIALES

- Núcleos de roca
- Galgas extensométricas (2)
- Cable dúplex de filamento
- Soldadura de estaño
- Cinta aislante negra
- Pegamento instantáneo Súper bonder
- Equipo electrónico de adquisición de datos
- Balanza
- Pie de rey

- Tabla de registro de datos

## ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL (EPP)

- Tapabocas
- Bata
- Botas
- Guantes



## RECOMENDACIONES GENERALES

- Los núcleos de roca deben garantizar una estructura geométrica apropiada, deben ser cilindros rectos con una relación de altura/diámetro. Para este caso se trabaja con relación 2/1, diámetro mínimo de 5,4cm y altura de 10,8cm.
- El núcleo debe garantizar una superficie lisa, libre de irregularidades y sin fractura miento. Igualmente, la roca debe ser roca sana. La cara de los extremos de los núcleos debe tener una planaridad sin desviaciones notables.
- Para la realización del ensayo se recomienda un número mínimo de 2 ciclos de carga y descarga.
- Verificar las condiciones iniciales de los equipos a utilizar para garantizar que estos este calibrados y funcionando de manera correcta.

## PROCEDIMIENTO DE MONTAJE DE LAS GALGAS

- **Preparar el núcleo:** la superficie de la probeta debe estar lisa y libre de impurezas. Si se requiere limpiar el núcleo es necesario hacerlo con paños que no dejen residuo alguno.
- **Preparación de la galga extensométrica:** Este paso consiste principalmente en la soldadura directamente de los cables a la galga para transmitir la información al equipo electrónico (figura 1). Para ello se realizó un punto de soldadura en la parte final en los bordes de conexión o pistas de soldadura que trae la galga. Se utilizó cable dúplex de filamento y soldadura tipo estaño y se cubrieron los cables con cinta adhesiva.

*Figura 140. Galga extensométricas con cables soldados*



**Fuente:** Elaboración propia

- **Aplicación del pegamento:** Para este paso se utilizará pegamento instantáneo (Súper Bonder). Es necesario utilizar una cantidad suficiente para cubrir la totalidad del cuerpo de la galga e inmediatamente adherirla a la superficie del núcleo de roca. Se puede presionar homogéneamente toda la galga. Después se retira el exceso de pegamento si es necesario.
- **Conexión de los cables al equipo de adquisición de datos:** Conectar los cables soldados a la galga en los conectores disponibles del equipo electrónico.
- **Conexión de las celdas de carga del equipo a utilizar con el equipo de electrónico:** Se realiza la conexión de las celdas de carga que tiene el equipo de compresión uniaxial a través de los conectores del equipo electrónico para complementar el montaje y poder iniciar el ensayo.
- **Verificación de las condiciones iniciales:** Se verifican las condiciones iniciales del software y del equipo complementario para el ensayo.

## CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL ENSAYO

Para interactuar con la interfaz del software diseñado para determinar los módulos de elasticidad y la relación de Poisson es necesario la recopilación de información sobre los núcleos de roca para ser ingresada en el programa antes de la iniciación del ensayo. La tabla 1 presenta un formato rápido para el registro de estos.

Tabla 1. Registro de datos



**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS**  
SECCIONAL TUNJA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE ROCAS, SUELOS Y PAVIMENTOS

**PROCEDENCIA:**

**FECHA:**

**RESPONSABLE DEL ENSAYO:**

**COORDENADAS:**

**PROBETA #:**

**REGISTRO DE DATOS INICIALES**

DIMENSIONES DE LA PROBETA	
Diámetro 1	
Diámetro 2	
Diámetro 3	
<b>Promedio Diámetro</b>	
Altura 1	
Altura 2	
Altura 2	
<b>Promedio Altura</b>	
Area	
Volumen	

CONDICIONES DE LA PROBETA	
PESO DE LA PROBETA	
RESULTADOS DE ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE	
Valor de carga	
Valor de esfuerzo	
% Esfuerzo	

**Fuente:** Elaboración propia

Antes de iniciar el ensayo de deformabilidad es necesario someter una probeta bajo las mismas condiciones a compresión simple para poder determinar el esfuerzo último del material y así escoger el % del esfuerzo entre 0 y 50 con el que se trabajara en el ensayo de deformabilidad.

Las deformaciones axiales (verticales) y diametrales (horizontales) van a ser registradas por el equipo de adquisición de datos (figura 2). Cabe recordar que la manera manual de calcular esta deformación está dada por la ecuación (1):

$$\varepsilon_a = \frac{\Delta_l}{l_0} \tag{1}$$

Dónde:

$\Delta_l$ : cambio de longitud axial (diferencia entre la longitud inicial y la final)  
 $l_0$ : Longitud axial inicial

Cuando se habla de deformaciones diametrales se consideran los cambios en diámetro.

Figura 2. Tabla de datos software UPTC

ANÁLISIS DE MODULO DE ELASTICIDAD Y RELACION DE POISSON											
PROPIEDADES			ENSAYO			DATOS			RESULTADOS		
CARGAR CICLO DE CARGA						Ciclo de carga: 1		CARGAR CICLO			
Elija el ciclo de carga que quiere ver y a continuación haga click en el botón CARGAR CICLO											
TABLA DE RESULTADOS											
TIEMPO (seg)	DEFORMACION 1 (um)	DEFORMACION UNITARIA 1 (%)	DEFORMACION 2 (um)	DEFORMACION UNITARIA 2 (%)	DEFORMACION 3 (um)	DEFORMACION UNITARIA 3 (%)	DEF. VERT. PROMEDIO (um)	DEF. UNIT. VERTICAL PROMEDIO (%)	CARGA (Kg)	ESFUERZO (MPa)	ALARGAM. (mm)
0.00000	0.24670	0.00016	0.16446	0.00011	0.00000	0.00000	0.12335	8.09374E-5	-0.27136	-0.01486	0.00016
0.51700	0.08223	5.39583E-5	-0.16446	-0.00011	0.00000	0.00000	0.04112	2.69791E-5	-0.20557	-0.01125	0.00033
1.10200	-0.16446	-0.00011	0.16446	0.00011	0.00000	0.00000	-0.08223	-5.39583E-5	-0.25491	-0.01396	0.00000
1.69400	0.32893	0.00022	-0.16446	-0.00011	0.00000	0.00000	0.16446	0.00011	-0.28780	-0.01576	0.00362
2.26100	0.32893	0.00022	0.16446	0.00011	0.00000	0.00000	0.16446	0.00011	-0.27958	-0.01531	0.01053
2.83200	0.00000	0.00000	0.08223	5.39229E-5	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	-0.04934	-0.00270	0.02631
3.40400	0.16446	0.00011	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.08223	5.39583E-5	-0.01645	-0.00090	0.04416
3.98100	0.41116	0.00027	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.20558	0.00013	0.27958	0.01531	0.06373
4.55600	0.16446	0.00011	0.08223	5.39229E-5	0.00000	0.00000	0.08223	5.39583E-5	0.57561	0.03151	0.08248
5.12900	0.24670	0.00016	-0.04112	-2.69614E-5	0.00000	0.00000	0.12335	8.09374E-5	0.54272	0.02971	0.09950
5.70000	0.32893	0.00022	0.08223	5.39229E-5	0.00000	0.00000	0.16446	0.00011	0.84697	0.04637	0.12154
6.28000	0.32893	0.00022	0.08223	5.39229E-5	0.00000	0.00000	0.16446	0.00011	1.06899	0.05853	0.14209
6.85400	0.65786	0.00043	0.08223	5.39229E-5	0.00000	0.00000	0.32893	0.00022	1.39790	0.07653	0.16150
7.35900	0.65786	0.00043	0.08223	5.39229E-5	0.00000	0.00000	0.32893	0.00022	1.75972	0.09634	0.17844
7.93700	1.31572	0.00086	-0.08223	-5.39229E-5	0.00000	0.00000	0.65786	0.00043	2.22020	0.12155	0.19834
8.46800	1.64465	0.00108	0.08223	5.39229E-5	0.00000	0.00000	0.82232	0.00054	2.82048	0.15442	0.22054
8.97800	1.48018	0.00097	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.74009	0.00049	2.96849	0.16252	0.23748
9.55900	1.89135	0.00124	0.08223	5.39229E-5	0.00000	0.00000	0.94567	0.00062	3.46187	0.18953	0.25647
10.14300	2.46697	0.00162	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	1.23349	0.00081	4.22661	0.23140	0.27892
10.63900	2.71367	0.00178	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	1.35683	0.00089	4.89267	0.26787	0.29849
11.21900	3.28930	0.00216	0.08223	5.39229E-5	0.00000	0.00000	1.64465	0.00108	5.59162	0.30613	0.32094

Fuente: Grupo de investigación en construcción antisísmica - GICA. Análisis de resultados. [Imagen]. MANUAL PARA USO Y PROCEDIMIENTO DE MANEJO – EQUIPO Y SOFTWARE DETERMINACIÓN DE MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO Y RELACIÓN DE POISSON. Tunja: Pág. 42.

En la figura 2 se puede apreciar un ejemplo de la tabla de resultados arrojada por el software utilizado en la UPTC, las variables arrojadas son las siguientes: Tiempo (segundos), Deformación 1 (en  $\mu\text{m}$ ), Deformación Unitaria 1 (%), Deformación 2 (en  $\mu\text{m}$ ), Deformación Unitaria 2 (%), Deformación 3 (en  $\mu\text{m}$ ), Deformación Unitaria 3 (%), Deformación Vertical Promedio (en  $\mu\text{m}$ ), Deformación Unitaria Vertical Promedio (%), Carga (en Kg), Esfuerzo (en MPa), Alargamiento (mm). Estas variables son las mismas que arroja el equipo electrónico de esta investigación.

El esfuerzo de compresión uniaxial está determinado por la ecuación (2):

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Dónde:

(2)

P: Fuerza de compresión

A: área de la probeta

El software de adquisición de datos también muestra un análisis de los resultados obtenidos donde se puede ver reflejado el cálculo del módulo de elasticidad y la relación de Poisson (figura 3).

Figura 341. Análisis de resultados software UPTC

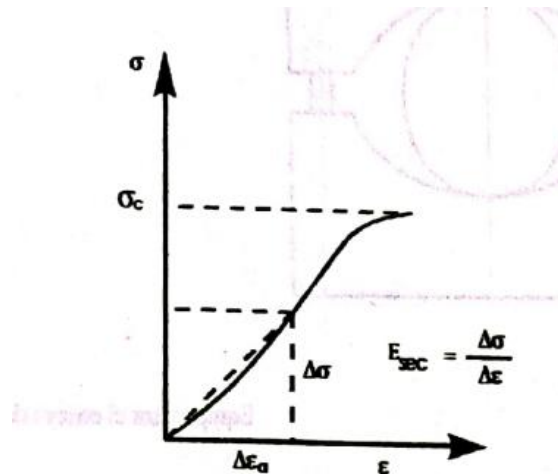


**Fuente:** Grupo de investigación en construcción antisísmica - GICA. Análisis de resultados. [Imagen]. *MANUAL PARA USO Y PROCEDIMIENTO DE MANEJO – EQUIPO Y SOFTWARE DETERMINACIÓN DE MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO Y RELACIÓN DE POISSON*. Tunja: Pág. 42.

Para determinar estas constantes elásticas no es necesario llevar el núcleo a la falla. Cada núcleo será sometido a cinco ciclos de carga con el fin de comparar los resultados obtenidos en cada ciclo. En la figura 3 se puede ver un ejemplo de los resultados obtenidos de una probeta sometida a los 5 ciclos de carga y descargue.

El método utilizado por el programa para el cálculo del módulo de elasticidad es el método de la secante. En este se mide un nivel de esfuerzos desde cero hasta un porcentaje fijado del 50 de la resistencia (figura 4). Para este caso será desde el esfuerzo obtenido en una deformación unitaria de 50 millonésimas del esfuerzo hasta el 40%.

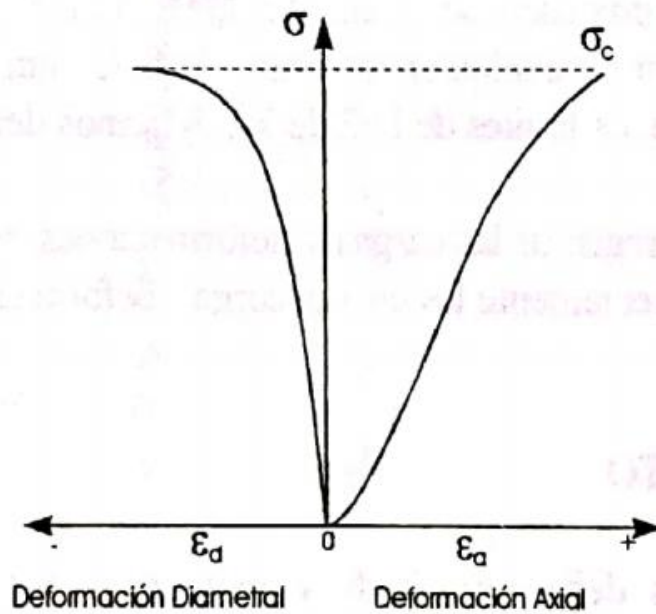
Figura 4. Método de la secante para cálculo de módulo de elasticidad



**Fuente:** CORREA, Álvaro. Modulo promedio a un porcentaje fijado de  $\sigma$ . [Imagen]. Traducción del libro Universidad Nacional de Colombia. Bogotá: Pág. 126.

El módulo de elasticidad está dado por la pendiente de la curva esfuerzo vs deformación (ecuación 3). En la figura 4 se puede apreciar el método de la secante para este cálculo donde se evidencia la relación de curva a la que se le determinar la pendiente. La figura 5 muestra la curva típica de esfuerzo vs deformación que arroja el programa. La deformación axial se considera positiva por el acortamiento que tendrá para este caso.

Figura 5. Tipo de Curva esfuerzo deformación,



**Fuente:** CORREA, Álvaro. Modulo promedio a un porcentaje fijado de  $\sigma$ . **[Imagen]. Traducción** del libro *Universidad Nacional de Colombia*. Bogotá: Pág. 126.

Módulo de elasticidad E

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \tag{3}$$

Dónde:

$\Delta\sigma$ : Es la diferencia del 40% del esfuerzo y el obtenido en 50 millonésimas

$\Delta\varepsilon$ : Es la diferencia de deformación axial unitaria del 40% del esfuerzo y el obtenido en 50 millonésimas

Y finalmente la relación de Poisson está dada por la siguiente ecuación (4):

$$\nu = -\frac{\Delta\varepsilon_a}{\Delta\varepsilon_d}$$

Donde:

$\Delta\varepsilon_a$ : Es la diferencia de deformación axial unitaria del 40% del esfuerzo y la deformación de 50 millonésimas

$\Delta\varepsilon_d$ : Es la diferencia de deformación axial unitaria del 40% del esfuerzo y la deformación de 50 millonésimas

## BIBLIOGRAFÍA

CORREA, Álvaro. Capítulo 5 MÉTODOS SUGERIDOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA Y LA DEFORMABILIDAD DE MATERIALES ROCOSOS SOMETIDOS A COMPRESIÓN UNIAXIAL.

Grupo de investigación en construcción antisísmica - GICA. *MANUAL PARA USO Y PROCEDIMIENTO DE MANEJO – EQUIPO Y SOFTWARE DETERMINACIÓN DE MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO Y RELACIÓN DE POISSON*. Tunja.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALZATE, E., MONTES, J., & SILVA, C. (2007). Medidores de deformación por resistencia: galgas extensiométricas. *Scientia et Technica*, 1(34), 7-12. Recuperado el 21 de Octubre de 2018, de <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/5519/3171>
- BLANCO, R., CARTAYA, M., & WATSON, R. (2000). Criterios para estimar la resistencia en macizos rocosos de la zona oriental del país. *Minería y Geología*, XVII(2), 35-39. Recuperado el 21 de Octubre de 2018, de <https://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/viewFile/28/34>
- BONITO, Jorge. Deformación de las rocas de la corteza terrestre. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*. 1997, Vol.2, nro. 5, pp.149-150. ISSN 1132-9157.
- CORREA, Álvaro. Módulo promedio a un porcentaje fijado de  $\sigma$ . [Imagen]. Traducción del libro *Universidad Nacional de Colombia*. Bogotá:
- CORREA URIBE, Andrea. Esquema para la implementación de medición de deformaciones en edificaciones de hormigón. Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Civil. Envigado: Escuela de Ingeniería de Antioquia. Facultad de ingeniería civil. Antioquia. 2015. [consultado: 20 febrero 2020]. Disponible en: [https://repository.eia.edu.co/bitstream/11190/2045/1/CorreaAndrea\\_2015\\_EsquemaImplementacionMedicion.pdf](https://repository.eia.edu.co/bitstream/11190/2045/1/CorreaAndrea_2015_EsquemaImplementacionMedicion.pdf)
- ESCOBAR, G. D. (2017). *Manual de Geología para ingenieros*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.
- ESPINOSA, Leopoldo., & CARRILLO, Georgina. Propiedades geofísicas de rocas y suelos calcáreos. mediciones de laboratorio en especímenes pequeños. *Ingeniería Revista Académica*. 2002, Vol.6 , nro. 002, pp. 23-32. ISSN1665-529X.
- FARMER, I. (1968). *Propiedades elásticas de las rocas*. Londres.
- FERNANDEZ, J. F. (2014). *Resistencia y deformabilidad de las rocas*.
- FERRER, Mercedes., ABAD, Luis., GONZALEZ, Luis. Ingeniería geológica. Distrito Federal: Pearson Educación. 2002
- FLORES, J., MARTINEZ, R., MEDINA, A., MARINES, R., & URRUTIA, J. (Noviembre de 2000). Estimación de las constantes elásticas del terreno en el área de Salazar, Estado de México, a través de exploración sísmica. *CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*,

VII(3), 280-285. Recuperado el 21 de Octubre de 2018, de <http://www.redalyc.org/pdf/104/10401911.pdf>

GONZÁLEZ DE VALLEJO, Luis; FERRER, Mercedes; ORTUÑO, Luis; OTEO, Carlos. *Ingeniería Geología. Madrid: Pearson education. 2004. ISBN: 84-205-3104-9*

HBM. (2010). Obtenido de <https://www.hbm.com/es/0112/literatura-de-referencia-sobre-medicion-con-galgas-extensometricas/>

LINARES, R. N. (Junio de 2009). *Researchgate*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/258933480\\_Balance\\_de\\_un\\_siglo\\_de\\_Superconductividad\\_y\\_superconductores](https://www.researchgate.net/publication/258933480_Balance_de_un_siglo_de_Superconductividad_y_superconductores)

MARTINEZ, Tiburcio. Informe técnico de práctica Compresión. [en línea]. Tesis de pregrado. Universidad Autónoma de Guerrero, 2012. [consultado: 19 octubre 2018]. Disponible en: [https://www.academia.edu/12990969/Compresion-simple-y-carga-triaxial\\_1\\_?auto=download](https://www.academia.edu/12990969/Compresion-simple-y-carga-triaxial_1_?auto=download)

MOTT, R. Sonelastic. [sitio web]. *Resistencia de Materiales*. Mexico: Pearson. 2009. [consultado 19 octubre de 2018] Disponible en: <http://www.atcp.com.br/es/productos/caracterizacion-de-materiales/propiedades-materiales/modulos-elasticos/definiciones.html>

MUÑOZ, E., NUÑEZ, F., RODRÍGUEZ, W., OTÁLORA, C., & RUIZ, D. (JUNIO de 2006). Evaluación por confiabilidad estructural de puentes en acero apoyada en monitoreo e instrumentación. *Ingeniería y Universidad*, 10(1), 31-54. Recuperado el 22 de Octubre de 2018, de <http://revistas.javeriana.edu.co/index.php/iyu/article/view/911>

OCAMPO, RODRIGUEZ, & ORTEGA. (2007). Medidores de deformación por resistencia: galgas extensiométricas. *Scientia et Technica Año XIII, No 34, 2*.

OMEGA. (2003). Obtenido de <https://es.omega.com/prodinfo/galgas-extensometricas.html>

POISSON, S. (1781-1840). *Caracterización de Formación mediante Relación  $V_p/V_s$  obtenidas con Procesamiento de Onda P y PS*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de [https://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/p/poissons\\_ratio.aspx?p=1](https://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/p/poissons_ratio.aspx?p=1)

RAMIREZ, A., LOPEZ, J., MANZANILLO, A., & PORTILLO, D. (1 de Febrero de 2013). *Monografías.com*. Obtenido de <https://www.monografias.com/trabajos96/deformacion-y-resistencia-materiales/deformacion-y-resistencia-materiales.shtml>

- RESTREPO, I. (2016). Correlación de la resistencia a compresión uniaxial con la humedad y porosidad eficaz en rocas. (M. Galván, Ed.) *DYNA*, 83(198), 9-15. Recuperado el 21 de Octubre de 2018, de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/rt/printerFriendly/53151/62668>
- RODRÍGUEZ, G. R., González, A. H., Llanusa, A. L., & Ramírez, J. (2016). Sistema para la medición de deformación usando galgas extensiométricas metálicas. *RIELAC*, Vol. XXXVII 1, p. 80-93.
- TERBULLINO, W. (2012). *SELECCIÓN E INSTALACION DE SISTEMAS DE PESAJE EN FAJAS TRANSPORTADORAS PARA MINERIA*. Peru.
- TORRES, Carolina., BAQUERO, Vivian., & BARBOSA, Camila. Caracterización Físico- Mecánica de Rocas para Propósitos de Ingeniería en la Región Llanos. *Revista L'esprit Ingeniux*. 2015, pp.71-79. ISSN 2422-2445.
- VELOSO, X. (2011). *Termodinamica 2*. Iquique, Chile: Universidad Arturo Prat.