

**CARACTERIZACION Y ANALISIS DE LAS PROPIEDADES DINAMICAS DE UN  
SUELO DEL AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA, UTILIZANDO  
EQUIPO TRIAXIAL DE VELOCIDAD ACUSTICA**

**JORGE HERNANDO CAMARGO GUTIERREZ  
VANESSA CAMARGO ROMERO**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECANICAS  
ESCUELA DE INGENERIA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2014**

**CARACTERIZACION Y ANALISIS DE LAS PROPIEDADES DINAMICAS DE UN  
SUELO DEL AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA, UTILIZANDO  
EQUIPO TRIAXIAL DE VELOCIDAD ACUSTICA**

**JORGE HERNANDO CAMARGO GUTIERREZ  
VANESSA CAMARGO ROMERO**

*Trabajo de grado en la modalidad investigación para optar por título de  
Ingeniero (a) Civil*

Director

***WILFREDO DEL TORO RODRIGUEZ***  
*Ingeniero Civil, M.Sc*

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS  
ESCUELA DE INGENERIA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2014**

## DEDICATORIA

Dedicado a toda mi familia en conjunto tíos, primos y mis padres Jorge Hernando Camargo Suarez y Nubia Gutiérrez Sandoval que con su infinito apoyo y amor que me brindaron en el trayecto de mi carrera profesional, hoy me es posible dedicarles este gran logro que es bien merecido a la Familia Camargo.

A mi querida novia y compañera de Trabajo de Grado Vanessa Camargo Romero que con trabajo arduo y entendimiento fue posible culminar esta etapa de nuestro proceso de vida juntos.

A mi hermosa UIS, la cual por mucho que sea es la mejor universidad la cual me formo en muchas ámbitos personales y profesionales, con sus ingenieros de la mejor calidad en cuanto a ser personas, tuve el honor de compartir muchas experiencias tanto negativas y positivas pero siempre con un final próspero.

Y por último a mis amigos y/o compañeros que estuvieron siempre conmigo en las buenas y en las malas, Nestor Mauricio Silva, David Gómez Contreras, Fernando Salazar, Paul Valencia y Diego Fernando Barrera y entre otros próximos Ingenieros Civiles, a todo ellos un abrazo de colega pero más que todo un abrazo de amigos.

**Jorge Hernando Camargo Gutiérrez**

## DEDICATORIA

*A Dios por su infinito amor, por ser la luz que guía mi camino, por cumplir cada uno de mis anhelos y por mantenerme de pie ante las adversidades de la vida diaria.*

*A mi abuela y segunda madre Hilda María (QEPD), que aunque esté ausente, permanece siempre en mi mente y corazón, sus principios y valores inculcados me acompañan y acompañaran en cada ciclo de mi vida.*

*A mi Padre por su amor y apoyo incondicional, y motivarme a seguir adelante con mis sueños y anhelos. Los valores y aportes que has realizado para mi vida son simplemente invaluable.*

*A mi Madre por brindarme todo su cariño, apoyo y paciencia a lo largo de mi vida.*

*A toda mi familia, en especial a mi Tía Helga y mi Tía Mireya, por todo su cariño y compañía durante toda mi vida.*

*A Jorge Hernando, mi gran amor y compañero de proyecto, por brindarme todo su amor incondicional, por tanto apoyo y paciencia a través de estos años de estudio, por estar a mi lado sin importar las circunstancias, por culminar juntos este proceso, y por estos años llenos de momentos maravillosos a su lado, logrando construir lo que siempre hemos soñado.*

*A mis amigos por estar y seguir estando en los momentos buenos y más aún en los malos con su cariño y sus palabras de apoyo, sin ellos no hubiese sido tan gratificante mi paso por la universidad.*

*Vanessa*

## AGRADECIMIENTOS

Este proyecto logro llegar a su culminación gracias a la participación de personas y entidades quienes estuvieron dispuestos a brindarnos su apoyo y acompañamiento durante las diferentes etapas del mismo.  
Entre ellos:

A la universidad Industrial de Santander nuestra el alma mater, y en especial a la escuela de Ingeniería Civil que nos permitió adquirir los conocimientos y formarnos como excelentes profesionales integrales para la sociedad.

A todos los profesores de nuestra carrera, en especial aquellos con los que pudimos formar grandes amistades.

A nuestro director de proyecto M.Sc Wilfredo Deltoro Rodríguez, por depositar su apoyo y confianza en nosotros y en éste trabajo investigativo.

A los ingenieros Hernán Dario Mantilla, Luis Fernando Ramírez y Juan Pablo Espinosa, Andres mauricio Cetina, por todo su conocimiento, aportes y asesoría en éste trabajo investigativo, sin ellos no hubiese sido posible el desarrollo del proyecto.

A nuestras familias y amigos por su amor compañía y comprensión durante toda la experiencia de obtener con gratitud el título de Ingenieros Civiles.

**Gracias a Todos  
Jorge y Vanessa**

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN .....	18
1. INVESTIGACION PRELIMINAR .....	19
1.1. COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE SUELOS SOMETIDOS A ESFUERZOS CÍCLICOS: .....	19
1.2. ENSAYO TRIAXIAL DINÁMICO.....	21
1.3. DINÁMICA DE SUELOS COMO PARTE DE LA MECÁNICA DE SUELOS Y EL COMPORTAMIENTO DEL SUELO SOMETIDO A ESFUERZOS DINÁMICOS.....	22
1.4. NORMATIVIDAD PARA LA REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS TRIAXIALES DINÁMICOS PARA SUELOS EN CONDICIÓN NATURAL .....	23
1.4.1. Normas Internacionales ASTM para el Desarrollo de los Ensayos Triaxiales Dinámicos en Suelos. ....	23
1.4.2. Normas Para Control Del Equipo. I .....	25
1.4.3. Requerimientos. ....	26
2. MUESTRA DEL SUELO A ENSAYAR. ....	30
2.1. OBTENCION DE LA MUESTRA DE SUELO. ....	30
2.2. PREPARACION DE LA MUESTRA DE SUELO A ENSAYAR .....	33
2.2.1. Extracción de la Muestra de Suelo. P .....	33
2.2.2. Corte De La Muestra. Para realizar el corte se debe tener en cuenta el sentido de corte de la broca, el cual está en sentido horario. ....	33
2.2.3. Preparación De La Muestra De Suelo Extraída.....	34

3. DESARROLLO DEL ENSAYO TRIAXIAL DINAMICO PARA LAS 5 MUESTRAS DE SUELO. ....	36
3.1. PREPARACION DE PROBETA DE MUESTRA DE ENSAYO PARA LAS 5 MUESTRAS. ....	36
3.2. PUESTA EN MARCHA DEL EQUIPO ROP. ....	37
4. TRATAMIENTO DE RESULTADOS .....	42
4.1 INTERPRETACION DE ENSAYOS ACUSTICOS (ULTRASONICOS) CON LA RUTINA WAVEDEC DE MATLAB. [6] .....	42
5. CONCLUSIONES.....	53
BIBLIOGRAFIA .....	56
ANEXO.....	58

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Datos generales muestra 1. ....	39
Tabla 2. Datos generales muestra 2. ....	40
Tabla 3. Datos generales muestra 3. ....	40
Tabla 4. Datos generales muestra 4. ....	40
Tabla 5. Datos generales muestra 5. ....	40

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Estados de esfuerzos de un elemento de suelo con una carga móvil...	19
Figura 2. Estado de esfuerzo de elementos de suelos en distintas coordenadas de la carga móvil. ....	20
Figura 3. Deformación plástica irre recuperable de un suelo bajo carga cíclica. ....	20
Figura 4. Distribución en planta, vista frontal. ....	26
Figura 5. Esquema para evaluación de velocidades acústicas por ultrasonido. ...	29
Figura 6. Lado izquierdo frecuencia de Onda P y Lado derecho Frecuencia de Onda S. ....	29
Figura 7. Lugar de extracción de bloque para muestras de suelo en estado natural. ....	30
Figura 8. Muestras obtenidas del bloque de suelo extraído del lote. ....	31
Figura 9. Extracción Manual de la Muestra de Suelo. ....	33
Figura 10. Extracción Manual de la Muestra de Suelo. ....	34
Figura 11. Software Tektronix del Osciloscopio. ....	41
Figura 12. Resultados Señales Acústicas de las Ondas P, Ondas S1 y Ondas S2 en Tipo de archivo (.txt). ....	41
Figura 13. Conversión Resultados Texto(.txt) a Excel (.xlsx). ....	41
Figura 14. Ventana de dialogo para seleccionar las ondas a analizar. ....	43
Figura 15. Discriminación de los tipos de frecuencias en la señal P. ....	43
Figura 16. Zoom hacia la zona de interés. ....	44
Figura 17. Valores de Onda P respecto a la Fuerza.(.xlsx).....	44
Figura 18. Discriminación de los tipos de frecuencias en la señal S. ....	45
Figura 19. Punto de inicio de la señal S. ....	45
Figura 20. Valores de Onda S1 respecto a la Fuerza.(.xlsx).....	46
Figura 21. Datos completos de la muestra teniendo en cuenta Anexo 6. ....	46
Figura 22. Presión Vs Velocidad Acústica P .....	47

Figura 23. Presión Vs Velocidad S1 .....	47
Figura 24. Presión Vs Velocidad S2.....	47
Figura 25. Esfuerzo Vs R.Poisson S1 .....	48
Figura 26. Esfuerzo Vs M.Young S1 .....	48
Figura 27. Esfuerzo Vs R.Poisson S2 .....	49
Figura 28. Esfuerzo Vs M.Young S2 .....	49
Figura 29. M.Young Estático Vs M.Young Dinámico.....	50
Figura 30. Correlación M.Young $R^2 = 1$ .....	51
Figura 31. Parámetros Elásticos para varios Suelos.....	52

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo A. Descripción Gráfica del Equipo Triaxial de Velocidad Acústica .....	58
Anexo B. Tablas del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S) ...	63
Anexo C. Ilustraciones de Equipo e Instrumentación Necesaria para la Preparación de la Muestra de Suelo. ....	68
Anexo D. Ilustraciones de las 5 Muestras ya Preparadas. ....	70
Anexo E. Ilustraciones de las Muestras ya Falladas. ....	71
Anexo F. Tablas de Resultados Completos en Excel de las 5 Muestras Ensayadas Dinamicamente con sus Respectivas Graficas de Onda P, Onda S1, Onda S2, M. Young S1, M Young S2, R. Poisson S1 Y R. Poisson S2.....	72

## RESUMEN

**TÍTULO:** CARACTERIZACION Y ANALISIS DE LAS PROPIEDADES DINAMICAS DE UN SUELO DEL AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA, UTILIZANDO EQUIPO TRIAXIAL DE VELOCIDAD ACUSTICA.

**AUTORES:** JORGE HERNANDO CAMARGO GUTIERREZ, VANESSA CAMARGO ROMERO. \*\*

**PALABRAS CLAVES:** Ensayo Triaxial; Endcaps; Velocidad Acústica; Tiempo de Viaje; Onda de Corte; Onda de Compresión; Osciloscopio.

Consciente del papel que una institución educativa desempeña en el sector productivo aplicado en laboratorios experimentales de ingeniería, se ha implementado un sistema de aseguramiento de la calidad que permita elevar el nivel de credibilidad y confiabilidad de los trabajos que realiza, buscando que se refleje fuertemente en la formación profesional de los estudiantes de ingeniería. En los laboratorios de ingeniería se muestran los fenómenos físicos básicos y a veces complejos en donde se brindan a los estudiantes experiencias directas con los equipos, sistemas y procedimientos a utilizar, los cuales generan una mejor comprensión de las propiedades de los materiales. Por lo tanto los estudiantes pueden hacer mayor énfasis a la estimación de estos mismos materiales y como pueden afectar la medición en los diferentes métodos de prueba. Teniendo presente que la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander se realiza ensayos de laboratorio, se plantea proporcionar a la escuela y a los estudiantes los conocimientos necesarios para la correcta ejecución e interpretación de las propiedades dinámicas de un suelo existente del Área Metropolitana de Bucaramanga utilizando un Equipo Triaxial de Velocidad Acústica, donde se mejore el conocimiento de las propiedades de los suelos mediante la caracterización de los mismos, dejando establecidos los procedimientos, protocolos y/o normatividades válidas para ser utilizadas a futuro en la Escuela de Ingeniería Civil.

\* Trabajo de grado.

\*\* Facultad de ingenierías físico-mecánicas. Escuela de ingeniería civil. Director: Ing, Civil Wilfredo Del Toro Rodríguez.

## ABSTRACT

**TITLE:** CHARACTERIZATION AND ANALYSIS OF THE DYNAMIC PROPERTIES OF A SOIL IN THE METROPOLITAN AREA FROM BUCARAMANGA, USING TRIAXIAL EQUIPMENT OF ACOUSTIC SPEED.

**AUTHORS:** JORGE HERNANDO CAMARGO GUTIERREZ, VANESSA CAMARGO ROMERO.\*\*

**KEY WORDS:** Triaxial Trial; Endcups; Acoustic speed; Travel Time; Shear Wave; Compression wave; Oscilloscope.

Aware of the role that school plays in the productive sector applied engineering research laboratory, has implemented a system of quality assurance that will raise the level of credibility and reliability of the work done, looking to be reflected strongly in training professional engineering students. In the engineering laboratories are shown the basic physical phenomena and sometimes complex ones in which students are given direct experience with the equipment, systems and procedures to be used, thus, the things before mentioned generate a better understanding of the properties of materials. Therefore, students can do more emphasis to the estimation of these same materials and how they can affect the measurement in the different test methods. Having into account that the School of Civil Engineering at Universidad Industrial de Santander are performing laboratory test, it is proposed to provide the school and the students with the necessary knowledge for a proper performance and interpretation of the dynamic properties of an existing soil in the metropolitan area from Bucaramanga using a Triaxial Equipment of Acoustic Speed, where can be enhanced the knowledge of the soil properties by the characterization of it, so, establishing the procedures, protocols and / or valid standards to be used in future opportunities in the School of Civil Engineering.

\* Project degree

\*\* Physic-Mechanic engineering Faculty. Civil engineering school. Director: MSc, Ing. Civil Wilfredo Del Toro Rodríguez.

## INTRODUCCIÓN

La Dinámica de los Suelos es un área de estudio de la Ingeniería Civil que estudia las propiedades dinámicas y el comportamiento de los diferentes suelos sometidos a cargas dinámicas; en donde teniendo en cuenta que el suelo para su estudio es complejo, se han desarrollado procedimientos o pruebas teóricas experimentales a través de la ejecución de ensayos de laboratorio para estudiar los aspectos más relevantes del comportamiento esfuerzo-deformación de los suelos.

El ensayo Triaxial con Equipo de Velocidad Acústica constituye uno de los métodos más versátiles en el estudio de las propiedades esfuerzo-deformación. Con este ensayo es posible obtener una gran variedad de estados reales de carga, en donde una muestra cilíndrica de un suelo es sometida a una presión de confinamiento. A continuación se incrementan los esfuerzos axiales y esfuerzos radiales hasta que la muestra falle.

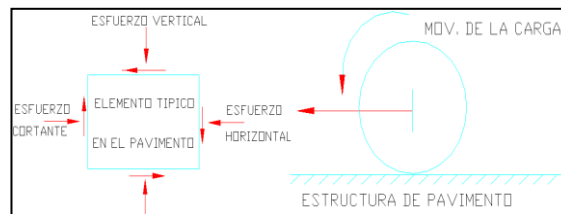
Para nuestro caso y muestra de suelo que es un Limo Rojo se presenta la necesidad de caracterizar el comportamiento dinámico de los suelos a partir de métodos directos (Estáticos) e indirectos (Dinámicos) con un equipo triaxial de velocidad acústica ROP DT 14210, ya que para esto generalmente se usan correlaciones empíricas como por ejemplo las Relación de Poisson y el Modulo de Young.

## 1. INVESTIGACION PRELIMINAR

### 1.1. COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE SUELOS SOMETIDOS A ESFUERZOS CÍCLICOS:

El ensayo con equipo triaxial cíclico o un suelo sometido a esfuerzos cíclicos, consiste en la aplicación de cargas de confinamiento y axial a una muestra de suelo, en forma CÍCLICA tratando de simular la frecuencia y magnitud de las cargas que en la vida de servicio podría estar sometida una muestra de suelo. Por ejemplo el patrón de esfuerzos inducidos a una estructura de pavimento como resultado del tránsito de vehículos. (Ver Figura 1). [1]

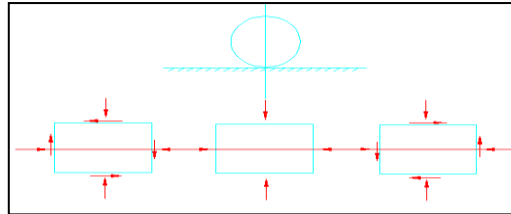
**Figura 1. Estados de esfuerzos de un elemento de suelo con una carga móvil.**



Un elemento de pavimento está sujeto a pulsos de carga que involucran componentes de esfuerzos normales y cortantes. Los esfuerzos son transitorios y cambian con el tiempo conforme la carga avanza.

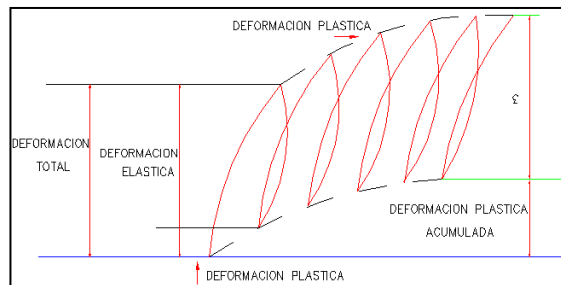
El esfuerzo cortante cambia de sentido conforme la carga pasa, provocando así una rotación de los ejes de esfuerzos principales. (Ver Figura 2)

**Figura 2. Estado de esfuerzo de elementos de suelos en distintas coordenadas de la carga movil.**



Luego el suelo de pasar por estos efectos de cargas vehiculares o cargas ciclicas se producen deformaciones en la masa de suelo, algunas son elásticas o recuperables (resilientes) y otras son permanentes o no plásticas. (Ver Figura 3)

**Figura 3. Deformacion plastica irrecuperable de un suelo bajo carga ciclica.**



En laboratorio se realizan pruebas triaxiales simulando o tratando de reproducir las condiciones más desfavorables de cargas sabiendo que las propiedades dinámicas son las variables que mejor caracterizan el movimiento del suelo ante cargas cíclicas como las provocadas por sismos.

En un Equipo Triaxial de Velocidad Acústica ROP DT 14210 en teoría se pueden realizar estos ensayos teniendo muy en cuenta que se debe hacer la carga cíclica manualmente y esto resulta tedioso por qué se debe controlar la presión con la bomba y la válvula del equipo, y por un error de tipo humano los resultados no serían tan exactos y por ende el ensayo no tendrá validez.

Para ensayos de esfuerzos cíclicos es más viable realizarlos en un Equipo MTS (Mechanical Test System) el cual maneja software para este tipo de ensayo y solo con implantarle la RUTINA al software y los datos de información de la muestra de suelo, este dará los resultados dinámicos del suelo sometido a esfuerzos cíclicos.

## 1.2. ENSAYO TRIAXIAL DINÁMICO

El ensayo triaxial Dinámico es el más usado para determinar las características de esfuerzo-deformación y de resistencia al esfuerzo cortante de los suelos. El ensayo consiste en aplicar esfuerzos laterales y verticales, a probetas cilíndricas de suelo y estudiar su comportamiento. El ensayo se realiza en una cámara de pared transparente (cámara triaxial) llena de aceite mineral, en la que se coloca la probeta cilíndrica de suelo que, salvo que se adopten precauciones especiales, tiene una altura igual a dos veces su diámetro, forrada con una membrana de caucho(enchaquetado). Esta membrana va sujeta a un pedestal y a un cabezal sobre los que se apoyan los extremos de la probeta (Endcap superior y Endcap inferior con sus respectivos cristales piezoeléctricos) los cuales se encargan de medir las ondas acústicas y por consiguiente realizan otros procedimientos que harán cumplir el objetivo de hallar los esfuerzos dinámicos de la muestra a trabajar. [2]

En el Anexo 1 se encuentran Fotos Equipo Triaxial de Velocidad Acústica detalladamente.

### **1.3. DINÁMICA DE SUELOS COMO PARTE DE LA MECÁNICA DE SUELOS Y EL COMPORTAMIENTO DEL SUELO SOMETIDO A ESFUERZOS DINÁMICOS.**

La Dinámica de Suelos es un área de la Mecánica de Suelos que estudia las propiedades y el comportamiento del suelo bajo esfuerzos dinámicos. Estas acciones dinámicas en los suelos se atribuyen a sismos, explosiones, vibración de maquinaria, procesos constructivos, explotación de bancos, tráfico vehicular, viento, oleaje, etc.

La Dinámica de Suelos comprende el estudio tanto teórico como experimental del efecto de las fuerzas dinámicas sobre masas de suelo, para esto se complementa con otras áreas del conocimiento de la Ingeniería Civil como lo son la Dinámica Estructural, Dinámica del medio continuo y la Ingeniería Sísmica, entre otras.

Ahora bien, dentro de los diferentes comportamientos que el suelo presenta ante cargas o sollicitaciones dinámicas se puede mencionar:

- Pérdida de resistencia o pérdida de la capacidad portante del suelo.
- Cambios de volumen en el suelo.
- Cambios en el estado de esfuerzos de las masas de suelos.
- Amplificación dinámica y resonancia en suelos blandos.

Este comportamiento especial que tiene el suelo ante cargas solo puede ser comprendido y anticipado con la Dinámica de Suelos, a través del estudio y determinación de lo que se conoce como Parámetros Dinámicos del Suelo los cuales se utilizan como datos en modelos matemáticos para análisis sísmico y aplicaciones de diseño de estructuras.

Dentro de los parámetros dinámicos del suelo de singular interés, se encuentran: módulo de rigidez estático ( $G$ ), módulo de rigidez dinámico ( $\mu$ ), relación de amortiguamiento ( $\xi$ ), relación de Poisson ( $\nu$ ) y el módulo de Young. La obtención de estos parámetros se hace ya sea en el laboratorio o bien en campo, por medio de procedimientos de ensayos, algunos de los cuales se encuentran documentados en las normas de la Asociación Americana para Pruebas y Materiales ASTM.

#### **1.4. NORMATIVIDAD PARA LA REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS TRIAXIALES DINÁMICOS PARA SUELOS EN CONDICIÓN NATURAL**

-CONDICIONES GENERALES:

##### **1.4.1. Normas Internacionales ASTM para el Desarrollo de los Ensayos Triaxiales Dinámicos en Suelos.**

**-PREPARACIÓN DE LA MUESTRA DE SUELO.**

- ASTM D421-85 “Standard Practice for Dry Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soil Constants”
- “Práctica estándar para la preparación en seco de muestras de suelo para partículas de tamaño Análisis y determinación de las constantes del suelo”
- ASTM D2217 “Standard Practice for Wet Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soil Constants”
- “Práctica estándar para la preparación de muestras de suelo húmedo para partículas de tamaño Análisis y determinación de las constantes del suelo”
- ASTM D 4543-08 “Standard Practices for Preparing Rock Core Specimens and Determining Dimensional and Shape Tolerances”

- “Práctica estándar para la preparación de muestras de roca y Determinación de dimensiones y tolerancias de forma” (Para muestras de roca). [3]

#### **- ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL PARA SUELOS.**

- ASTM D2850-03 “Standard Test Method for Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils”

“Método de prueba estándar para no consolidado-sin drenaje Prueba de compresión triaxial en suelos cohesivos”

- ASTM D4767-11 “Standard Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for cohesive Soils”

“Método de prueba estándar para la prueba de compresión triaxial consolidado no drenado de suelos cohesivos”.

#### **- DIRECTRICES PARA CIFRAS SIGNIFICATIVAS Y REDONDEO.**

- ASTM D6026-13 “Standard Practice for Using Significant Digits in Geotechnical Data”

“Práctica estándar para el uso de dígitos significativos en Datos de Geotécnica.”

#### **- VELOCIDADES DE ONDAS ULTRASÓNICAS.**

- ASTM D2845-08 “Standard Test Method for Laboratory Determination of Pulse Velocities and Ultrasonic Elastic Constants of Rock”

“Método de Prueba Estándar para Laboratorio, para la Determinación de Velocidades y Pulso Ultrasónico y Constantes Elásticas en Muestras de Roca.”

Esta última norma internacional la tomamos como base a pesar de que es para constantes elásticas para muestras de roca, debido a que no existe una norma que guíe como realizar la prueba estándar para la determinación de velocidades acústicas para muestras de suelos.

**1.4.2. Normas Para Control Del Equipo.** El equipo de Velocidades Acústicas ROP DT14210 es un dispositivo diseñado para realizar pruebas acústicas y pseudo estáticas bajo confinamiento axial y triaxial. Aplica las cargas a la muestra de suelo mediante un sistema hidráulico accionado por una bomba de desplazamiento positivo. El sistema acústico funciona por medio de cristales piezoeléctricos, un generador de pulsos y un osciloscopio, el osciloscopio registra la velocidad de tránsito de las ondas a través de la muestra de suelo, para un posterior análisis y cálculo de propiedades mecánicas de la muestra de suelo. El sistema para registrar las deformaciones en las pruebas pseudos estáticas consta de un montaje mecánico sobre los actuadores del equipo acompañado de un micrómetro digital que registra las deformaciones longitudinales sufridas por la muestra de suelo. El control del sistema hidráulico se basa en el manejo de la bomba de desplazamiento positivo y el accionamiento manual de válvulas de paso y control del fluido de accionamiento o de trabajo. La celda de carga está constituida en su totalidad por acero inoxidable de alta resistencia mecánica. El panel de instrumentos y estructura del equipo son constituidos en su mayoría por acero al carbono y algunos componentes en fibra de vidrio acrílico y de igual manera que en la celda de confinamiento de acero inoxidable. [4]

### 1.4.3. Requerimientos.

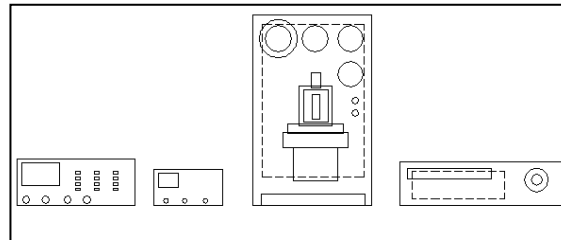
#### • INSTALACION INICIAL.

El equipo se colocará de acuerdo a la disposición ilustrada (Ver Figura 4). Apoyado sobre una superficie nivelada y que soporte el peso del equipo aproximadamente de 40Kg. Los pasos principales para el correcto montaje son:

- Nivelación de la celda, panel de control y bomba.
- Conexión de la energía eléctrica de la bomba, osciloscopio y generador de pulsos.

En el Anexo 1 se encuentran Fotos Equipo Triaxial de Velocidad Acústica detalladamente.

**Figura 4. Distribución en planta, vista frontal.**



#### • ELEMENTOS NECESARIOS PARA LA OPERACIÓN.

- Bomba hidráulica “Gilson 305”
- Generador de pulsos “Sofranel Model 5055 PR”
- Osciloscopio
- Crema de conductora de vacío
- Aceite mineral (klearol, para la presión de confinamiento) con las siguientes características:
  - ✓ Gravedad específica a 25C: de 0.827 a 0.838

- ✓ Viscosidad dinámica a 40C: de 6,7 a 9,7 cSt
- Fuente de aire comprimido: Bomba manual o compresor de aire.

- **PARAMETROS DE OPERACIÓN**

- Presión de Trabajo: 25 MPa, 3625 psi
- Presión de confinamiento: gradiente 14.5 psi/ft
- Temperatura de Trabajo: desde 20°C hasta 50°C
- Longitud de la muestra: hasta 70mm
- Diámetro de la muestra: hasta 31mm
- Volumen de celda: 560 cm<sup>3</sup>
- Presión máxima de trabajo: 37.5 MPa, 5438psi

- **EVALUACION DE LA DENSIDAD TOTAL**

La densidad total de la muestra de suelo se evalúa a partir de la medición separada del volumen total de la muestra y su masa y es calculada a partir de la Ecuación (1).

$$\rho = \frac{M}{\pi r^2 l} \quad (1)$$

Donde  $\rho$  es la densidad total, dada en gr/cc, M es la masa de la muestra de suelo dada en gr y r es el radio de la muestra y l es la longitud de la misma, dados en cm. En este caso, a todas las muestras ensayadas y preparadas se les realizó el cálculo de densidad total.

- **EVALUACIÓN DE VELOCIDADES ACÚSTICAS POR ULTRASONIDO**

Durante los ensayos de compresión o bajo condiciones normales de presión (es decir, con presión atmosférica) se realiza la medición de velocidades acústicas por ultrasonido, las cuales son obtenidas mediante la transmisión de ondas de sonido emitidas y recibidas por piezoeléctricos que se encargan de convertir las

ondas mecánicas en ondas eléctricas (ejemplos: ver Figura 5 donde se presenta el circuito utilizado para transmisión de las ondas y ver Figura 6 donde se presenta al lado izquierdo una ondícula de onda P y su análisis de espectro de frecuencias y al lado derecho las imágenes correspondientes a ondículas y espectros de frecuencia de la Onda S); luego estas velocidades son calculadas a partir de la Ecuación (2) y finalmente, se computan los parámetros acústicos de relación de Poisson (ver Ecuación (4)) y módulo de Young por ultrasonido (ver Ecuación (3)). ASTM D 2845-08.

$$V_o = \frac{1000 * L}{T_o - T_{o-endcap}} \quad (2)$$

$$E = \left[ \frac{\rho * V_s^2 * (3 * V_p^2 - 4 * V_s^2)}{V_p^2 - V_s^2} \right] \quad (3)$$

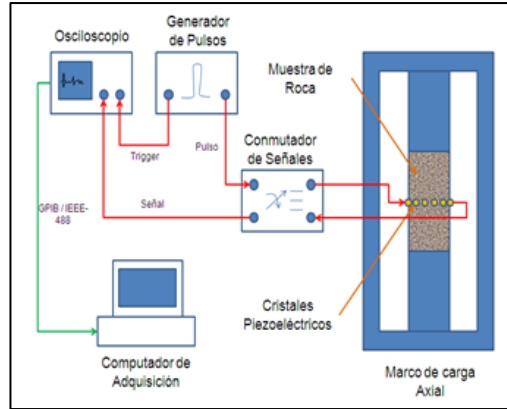
$$\nu = \frac{V_p^2 - 2 * V_s^2}{2 * (V_p^2 - V_s^2)} \quad (4)$$

Donde  $V_o$  es la velocidad observada (P o S según corresponda), L es la longitud de viaje de la onda,  $T_o$  es el tiempo de viaje de la onda observada,  $T_{o-endcap}$  es el tiempo de viaje en el endcap de la onda observada, E es el módulo de Young evaluado por ultrasonido,  $\rho$  es la densidad total de la muestra de suelo,  $V_p$  es la velocidad Primaria,  $V_s$  es la velocidad secundaria y  $\nu$  es la relación de Poisson evaluada por ultrasonido.  $V_p$  con la Ecuación (5) y  $V_s$  con la Ecuación (6).

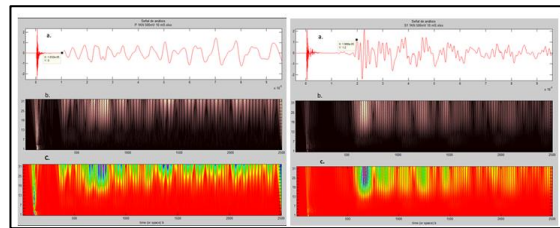
$$V_p = L_p / T_p \quad (5)$$

$$V_s = L_s / T_s \quad (6)$$

**Figura 5. Esquema para evaluación de velocidades acústicas por ultrasonido.**



**Figura 6. Lado izquierdo frecuencia de Onda P y Lado derecho Frecuencia de Onda S.**



## 2. MUESTRA DEL SUELO A ENSAYAR.

### 2.1. OBTENCION DE LA MUESTRA DE SUELO.

**-Características de las unidades geológicas del lote y del área donde se obtuvo la muestra de suelo.**

*Terraza de Bucaramanga (Miembro Limos Rojos)*

\*Obtención:

Se debe realizar una ejecución limpia a la hora de la obtención de la muestra de suelo a ensayar de tal manera que se garantice que el suelo no sufra variaciones en su rigidez y resistencia, procediendo a contenerla lo más natural posible a su estado inicial para luego ser ensayada en Laboratorio.

A la profundidad de 14.5 metros se hace una excavación para obtener un bloque de muestra de suelo en estado natural y sacar del bloque las muestras a ensayar. (Ver Figura 7).

**Figura 7. Lugar de extracción de bloque para muestras de suelo en estado natural.**



**\*Descripción:**

Este nivel superior de la formación Bucaramanga está compuesto por arenas limosas y arcillosas con fragmentos de rocas ígneas y metamórficas y bloques de areniscas de variada granulometría y coloración.

**\*Espesor:**

El nivel Limos Rojos de la formación Bucaramanga en el lote y en el área donde se obtuvo la muestra de suelo para ensayo alcanza un espesor superior a 14.5 metros. SUELOS ALUVIALES, compuestos por arenas limosas, densas, algo húmedas, resistentes, color rojizo, marrón y naranja, con bloques de arenisca, color gris claro. (Ver Figura 8)

**Figura 8. Muestras obtenidas del bloque de suelo extraído del lote.**



La totalidad del área donde se obtuvo la muestra de suelo para ensayo en su totalidad se encuentra sobre los Limos Rojos del abanico aluvial de Bucaramanga.

**-Características físicas generales del lote y del área donde se obtuvo la muestra de suelo:**

El lote hace parte del sector Norte-Central de la zona urbana de Bucaramanga; se encuentra localizado en el abanico aluvial de Bucaramanga con alturas de 1004 a 1006 m.s.n.m, y pendiente promedio aproximada del 2%.

### **-Características Ambientales:**

Bucaramanga se localiza ecológicamente en el bosque seco tropical con transición al fresco húmedo premontano.

El piso térmico sobre el cual se encuentra la ciudad de Bucaramanga, es templado con variaciones importantes de temperatura.

#### **\*Temperatura:**

Bucaramanga presenta una temperatura media de 24°C con 23.7°C en la parte norte de la terraza y 24.3°C en la parte sur más cerca de Girón.

#### **\*Precipitación:**

La lluvia en la ciudad de Bucaramanga se caracteriza por presentar un comportamiento anual bien definido así: un periodo seco inicial bastante fuerte durante los meses de Enero, Febrero y parte de Marzo, luego se presentan dos periodos lluviosos entre Abril y Junio y luego entre Septiembre y Noviembre con un periodo seco intermedio entre Julio y Agosto, se presentan algunas lluvias importantes. La precipitación anual promedio es de 1.450 mm.

#### **\*Drenaje e Infiltración:**

El drenaje superficial es regular debido a la pendiente relativamente baja del terreno circundante, lo cual facilita la infiltración de la escorrentía. Los suelos superficiales presentan una capacidad de infiltración moderada; sin embargo, la cantidad de infiltración es baja debido a la escasa área de aferencia del lote.

En el Anexo 2 se encuentran Las Tablas del sistema Unificado de Clasificación de suelos (S.U.C.S) por las cuales fueron guía para clasificar el suelo ensayado.

## 2.2. PREPARACION DE LA MUESTRA DE SUELO A ENSAYAR

**2.2.1. Extracción de la Muestra de Suelo.** Para la extracción manual de la muestra de suelo se procede a emplear una broca hueca de acero con un cilindro guía para realizar un corte de aproximadamente 1.3 in de diámetro (Ver Figura 9), y así el cilindro de suelo extraído pueda quedar de aproximadamente 1 in de diámetro.

**Figura 9. Extracción Manual de la Muestra de Suelo.**



**2.2.2. Corte De La Muestra.** Para realizar el corte se debe tener en cuenta el sentido de corte de la broca, el cual está en sentido horario.

Se ajusta a la punta de un taladro el cilindro guía, después se gira suavemente la broca, siendo precavido de no desalinear el montaje y así avanzar lentamente con el corte y de manera continua.

Cuando la profundidad de corte sea superior o igual a 4 pulgadas, se detiene el corte y se retira la broca suavemente para que no afecte la muestra, (ver Figura 10) después muy delicadamente se extrae el cilindro de suelo obtenido mediante el corte con la broca.

**Figura 10. Extracción Manual de la Muestra de Suelo.**



**2.2.3. Preparación De La Muestra De Suelo Extraída.** Los procedimientos que se realizan en la preparación de las muestras de suelo están basados en las normas internacionales ASTM D421-85 “Standard Practice for Dry Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soil Constants”, ASTM D2217 “Standard Practice for Wet Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soil Constants” para muestras de suelos, y la norma internacional ASTM D 4543-08 “Standard Practices for Preparing Rock Core Specimens and Determining Dimensional and Shape Tolerances” para muestras de roca.

#### **-EQUIPO E INSTRUMENTACIÓN NECESARIA.**

Durante la preparación de la muestra de suelo son utilizados los siguientes equipos e instrumentos:

- Perfiladora de superficies: este equipo es utilizado para realizar el pulimento de las caras de las muestras.
- Calibrador digital: Los calibradores son utilizados para medir la longitud y diámetro de la muestra.
- Balanza digital: Es utilizada para determinar la masa de la muestra.
- Lija BUEHLER: 1200/P2500
- Chaqueta Termoencogible: 0.5 mm de espesor.

En el Anexo 3 se encuentran ilustraciones de equipo e instrumentación necesaria para la preparación de la muestra de suelo.

### **-DETERMINACIÓN DE LAS DIMENSIONES DE LA MUESTRA DE SUELO A ENSAYAR.**

- El diámetro de la muestra debe cumplir una relación de 10/1 con respecto al grano de mayor tamaño del suelo.
- Las muestras deben tener forma regular cilíndrica. (Tratar de mantener la cilindridad que obtuvo la muestra al ser extraída con el taladro y la broca como se muestra en la Figura 9 y Figura 10).
  
- Relación geométrica de la muestra:
  - a. Para el caso de una prueba uniaxial, triaxial o hidrostática se debe cumplir con una relación longitud a diámetro mayor que 2 y menor que 2.5.
  - b. Si se trata de pruebas de tensión indirecta se debe cumplir con una relación longitud a diámetro entre 0.5 y 0.75.

### **3. DESARROLLO DEL ENSAYO TRIAXIAL DINAMICO PARA LAS 5 MUESTRAS DE SUELO.**

Antes del inicio del ensayo triaxial dinámico, se realiza una revisión de la acústica de los endcaps acústicos, mediante esta podemos verificar el buen funcionamiento de los mismos y a su vez podemos verificar la buena conexión de los cristales piezoeléctricos.

#### **3.1. PREPARACION DE PROBETA DE MUESTRA DE ENSAYO PARA LAS 5 MUESTRAS.**

1. Preparar la muestra de suelo aplicándole crema de vació en sus extremos y ubicarla sobre la superficie superior del pistón inferior, alineada con la periferia del pistón.
2. Cortar 11cm de camisa termoencogible del respectivo diámetro de la probeta para probetas de 54mm, como la que se va a llevar a ensayo.
3. Colocar la camisa de material termoencogible alrededor de la muestra de suelo y ubicarla de tal manera que cubra al pistón inferior 2 cm. a lo largo del pistón.
4. Ubicar el pistón superior sobre la muestra de suelo y de igual manera que con el pistón inferior, la camisa termoencogible debe cubrir el pistón 2 cm. a lo largo de este. Alinear los pistones con la marca longitudinal que se encuentra en cada pistón para asegurar que los cristales piezoeléctricos este enfrentados uno con otro.
5. Con una pistola de calor que aumente la temperatura a 100 C<sup>o</sup> se procede a encoger la camisa termoencogible, aplicando calor alrededor de esta hasta lograr que se ajuste fuertemente a la muestra de suelo y los pistones.
6. Cortar 6 tramos de alambre dulce, cada uno de 30cm.

7. Con cada uno de los tramos de alambre, 3 en la parte superior y 3 en la inferior, hacer abrazaderas alrededor de la zona cubierta con teflón para fijar fuertemente el extremo de la camisa a cada uno de los extremos de los pistones.
8. Aplicar silicona en la periferia del final o borde de la camisa en ambos extremos en contacto con los pistones para aislar completamente la roca de cualquier contacto con el fluido de trabajo.
9. Introducir, si es necesario, los anillos de extensión en el pistón superior según el largo de la probeta de suelo. [4]

### **3.2. PUESTA EN MARCHA DEL EQUIPO ROP.**

1. Comprobar que todas las válvulas del panel de control se encuentren cerradas.
2. Conectar línea de salida de la bomba a la extensión del conector E en el panel de control. Para esto es necesario utilizar una llave de copa de ½ pulgada.
3. Introducir el pistón inferior en la cavidad de accionamiento de carga axial de la base de la celda, al fondo de la misma. Alinear el pistón verificando que el orificio que se encuentra en la superficie en contacto con la muestra de suelo, este ubicada hacia atrás y en línea recta con el eje longitudinal de la celda de confinamiento.
4. Colocar el tapón de la celda de confinamiento sobre la base de la celda, deslizándolo sobre el pistón inferior.
5. Conectar línea entre conector F del panel de control y conector izquierdo de la base de la celda de confinamiento. Para este paso es necesario utilizar una llave de copa de 9/16 pulgadas.

6. Conectar la línea entre el conector G del panel de control y el conector derecho de la base de la celda de confinamiento. Utilizar de nuevo una llave de copa de 9/16 pulgadas.
7. Colocar la cinta de teflón alrededor de cada extremo de los pistones, aproximadamente a 1cm del extremo de cada pistón dando dos o tres vueltas de cinta alrededor de cada pistón.
8. Teniendo ya preparada la probeta de muestra de suelo, se continua introduciendo la campana en el pistón superior desde arriba del mismo hasta que la campana llegue a tope y ajuste con el O-Ring exterior del tapón. Con ayuda de un mazo de caucho golpear suavemente la parte superior de la campana para que esta se deslice a lo largo del cuerpo del pistón superior teniendo precaución de no desalinear los pistones de sus marcas de alineación.
9. Colocar el cierre roscado sobre la campana de confinamiento y ajustando la rosca sobre la base de la celda con la herramienta de ajuste del cierre. El ajuste debe ser manual y no mayor a 1/8 de vuelta del cierre roscado. Tener precaución de no alterar la alineación del pistón superior respecto al eje longitudinal de la celda, al roscar el cierre.
10. Colocar el anillo portador de la válvula de alivio alrededor de la campana de confinamiento, girándolo hasta que coincidan los orificios de roscado de la válvula de alivio con el orificio de la salida de fluido de la campana. Ajustarlo a la campana apretando los tornillos de sujeción con ayuda de una llave hexagonal o Bristol de 1/16 de pulgada.
11. Roscar la válvula de alivio en el anillo portador hasta lograr un ajuste firme. Este ajuste se debe realizar manualmente y no mayor a ¼ de vuelta. Verificar que la válvula este abierta.
12. Realizar las conexiones eléctricas según plano de conexiones eléctricas. (Ver Figura 5 esquema conexiones eléctricas)

13. Aplicamos presión al tanque de almacenamiento y luego abrimos las válvulas que permiten el paso del aceite a la cámara.
14. En estas condiciones aplicamos el tipo de triaxial solicitado; llegando en cualquier caso a aplicar la carga hasta romper la muestra; anotándose las lecturas de las deformaciones axiales y de la carga aplicada, se comienza a realizar la toma acústica: una onda P y dos ondas S.
15. Se comienza de 0 Bar a realizar la toma de ondas acústicas de 1 en 1 hasta 10 Bar, de 2 en 2 hasta 30Bar y de 5 en 5 hasta la falla de la muestra.
16. Una vez terminado el ensayo se reduce la presión y se devuelve el aceite al tanque de almacenamiento, se seca la cámara y luego a la muestra con mucho cuidado con el objeto de graficar la fractura o falla y procedemos a la realización de cálculos e interpretación de resultados
17. Todo este proceso lo repetimos con las demás muestras de suelo.

Nunca exceder la presión máxima de operación del equipo, 250 bar = 3625 PSI. Esto para evitar que los manómetros se descalibren y sufran daños irreparables.  
[5]

✓ DATOS DE LAS 5 MUESTRAS.

**Tabla 1. Datos generales muestra 1.**

DATOS DE LA MUESTRA 1	
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	2689,637
Longitud (mm)	52,400
Masa (gr)	74,770
Diámetro (mm)	25,990
Volumen (m <sup>3</sup> )	2,780E-05

**Tabla 2. Datos generales muestra 2.**

DATOS DE LA MUESTRA 2	
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	2783,453
Longitud (mm)	50,600
Masa (gr)	73,860
Diámetro (mm)	25,840
Volumen (m <sup>3</sup> )	2,654E-05

**Tabla 3. Datos generales muestra 3.**

DATOS DE LA MUESTRA 3	
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	2706,815
Longitud (mm)	51,800
Masa (gr)	74,100
Diámetro (mm)	25,940
Volumen (m <sup>3</sup> )	2,738E-05

**Tabla 4. Datos generales muestra 4.**

DATOS DE LA MUESTRA 4	
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	2756,441
Longitud (mm)	50,500
Masa (gr)	74,190
Diámetro (mm)	26,050
Volumen (m <sup>3</sup> )	2,692E-05

**Tabla 5. Datos generales muestra 5.**

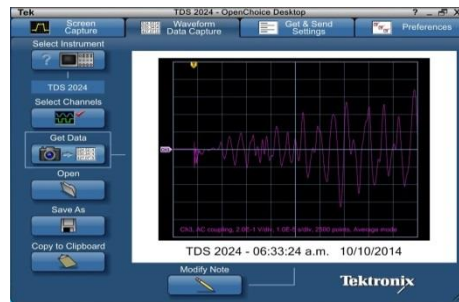
DATOS DE LA MUESTRA 5	
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	2617,889
Longitud (mm)	53,100
Masa (gr)	75,460
Diámetro (mm)	26,290
Volumen (m <sup>3</sup> )	2,882E-05

En el Anexo 4 se encuentran Ilustraciones de las 5 Muestras ya Preparadas.

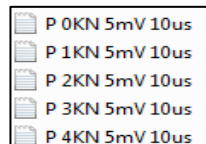
Al realizar el ensayo para cada muestra en el equipo triaxial de velocidad acústica, y por medio del osciloscopio y de su software de computador llamado TEKTRONIX (Ver Figura 11) recopilamos las señales acústicas de cada muestra

con sus respectivos resultados de ondas P, ondas S1 y ondas S2 (ondas de corte y ondas de compresión) desde 0 kN hasta la fuerza a la que cada muestra falle respectivamente, estos resultados nos da a guardar en Tipo de archivo “Documento de Texto (.txt)”. (Ver Figura 12).

**Figura 11. Software Tektronix del Osciloscopio.**

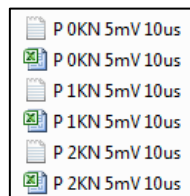


**Figura 12. Resultados Señales Acústicas de las Ondas P, Ondas S1 y Ondas S2 en Tipo de archivo (.txt).**



Procediendo se abre un archivo Excel (.xlsx) en blanco para cada archivo Texto (.txt) resultado de cada muestra de suelo para hacer la conversión de Texto (.txt) a Excel (.xlsx), (Ver Figura 13 ) ya que en este formato se dará tratamiento a los resultados de cada muestra de suelo registrado durante el ensayo triaxial dinámico.

**Figura 13. Conversión Resultados Texto(.txt) a Excel (.xlsx).**



En el Anexo 5 se encuentran Ilustraciones de las muestras ya falladas.

## 4. TRATAMIENTO DE RESULTADOS

Se realiza el tratamiento de los resultados obtenidos de la Muestra 1 (archivos Excel (.txt)) en la rutina WAVEDEC.m de MATLAB que se trabaja en conjunto con la hoja de cálculo en la cual se programaron por completo las ecuaciones para hallar las velocidades acústicas, el módulo de Young y la relación de Poisson, datos de la muestra a ensayar, datos de Endcup, valores de Ondas P y Ondas S hallados de Matlab.

Para así realizar las respectivas graficas donde se representan los resultados dinámicos finales.

Estos procedimientos la Muestra 1, fueron realizados con la Muestra 2, Muestra 3, Muestra 4 y Muestra 5 las cuales se dan a conocer en la parte de Anexos del presente artículo Investigativo.

### 4.1 INTERPRETACION DE ENSAYOS ACUSTICOS (ULTRASONICOS) CON LA RUTINA WAVEDEC DE MATLAB. [6]

#### -Transformada de Wavelet:

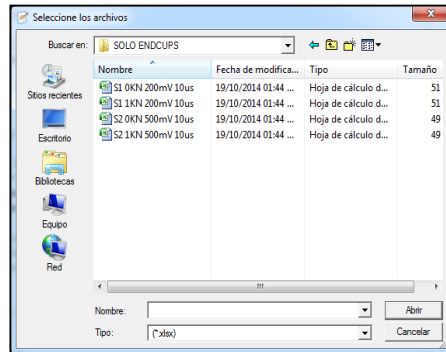
Metodología implementada en la rutina *Wavedec.m* donde se realiza el procesamiento de la señal.

#### -Lectura de los datos:

Una vez se encuentre en la rutina *Wavedec.m*, clic sobre el botón de inicio .

Cuando haya finalizado el compilador saldrá una ventana de diálogo (Ver Figura 14) que pedirá los datos de la señal acústica en extensión de archivo separado por comas (.xlsx).

**Figura 14. Ventana de dialogo para seleccionar las ondas a analizar.**

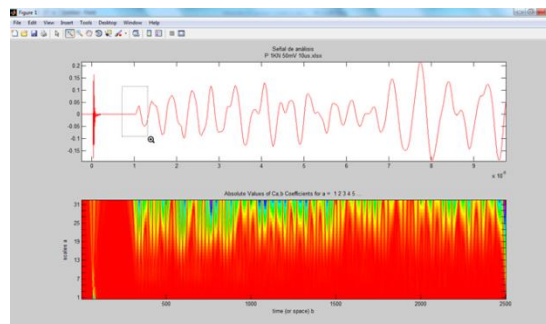


**-Análisis acústico con *Wavedec.m*: [7]**

- **Interpretación Onda P:**

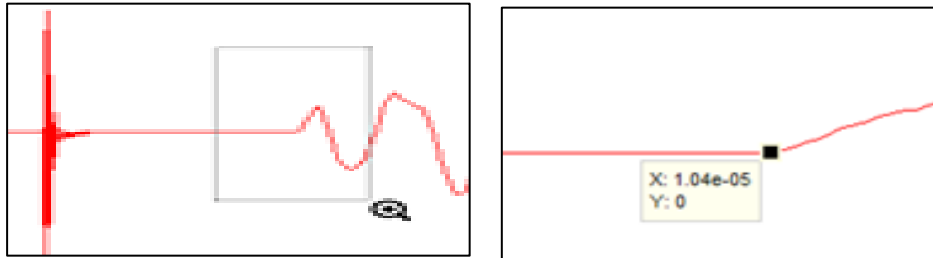
Se identifica el punto inicial de la señal compresional picando sobre el inicio de la señal acústica; para esto se hace clic sobre el icono en forma de lupa con un signo de mas (Zoom +) y establece la zona donde se encuentra el inicio de la señal. (Ver Figura 15).

**Figura 15. Discriminación de los tipos de frecuencias en la señal P.**



Se Establece el punto de inicio haciendo clic en el botón de Data cursor que se encuentra en la barra de herramientas de imagen de Matlab ; en el punto donde la línea deje de ser completamente horizontal. (Ver Figura 16).

**Figura 16. Zoom hacia la zona de interés.**



Una vez picada la señal de la onda P (Tiempo P) se procede a la hoja de cálculo ubicando el valor obtenido con la fuerza según corresponda. (Ver Figura 17, imagen tomada de Excel)

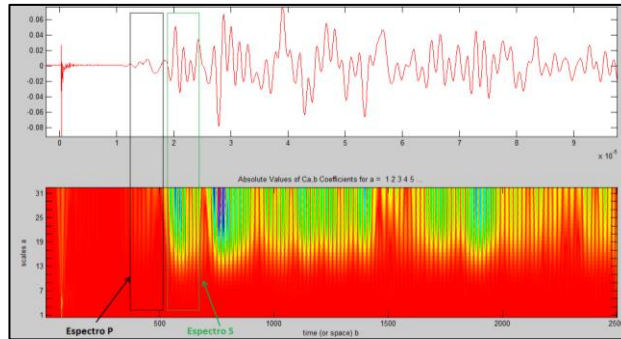
**Figura 17. Valores de Onda P respecto a la Fuerza.(.xlsx)**


Fuerza (kN)	Tiempo P (s)
0	2,220E-05
1	2,208E-05
2	2,200E-05

- **Interpretación onda S1 y onda S2:**

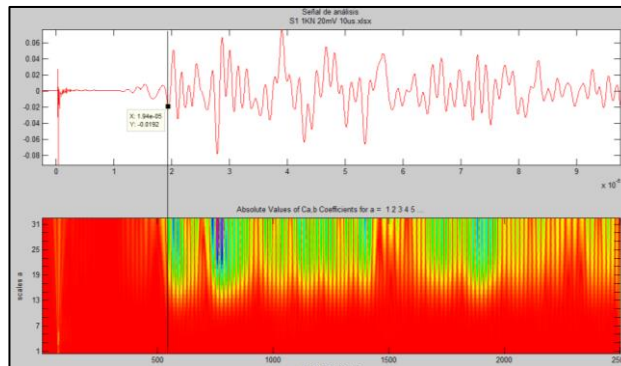
Se caracteriza los diferentes tipos de señal que se encuentran representadas en la señal de corte, identificando y diferenciando cada uno de los espectros; para esto se verifican los cambios energéticos en el espectro de frecuencia (Ver Figura 18).

**Figura 18. Discriminación de los tipos de frecuencias en la señal S.**



Se hace clic en el icono de *Data Cursor*  y se realiza el picado en el punto más cercano donde se identificó el cambio de frecuencia. (Ver Figura 19).

**Figura 19. Punto de inicio de la señal S.**



Se recomienda realizar el picado de la señal en un pico alto, que muestra un cambio significativo de la amplitud.

Una vez picada la señal de la onda S (Tiempo S) se procede a la hoja de cálculo ubicando el valor obtenido con la fuerza según corresponda. (Ver Figura 20, imagen tomada de Excel)

**Figura 20. Valores de Onda S1 respecto a la Fuerza.(.xlxs)**

Fuerza (kN)	Tiempo P (s)	Tiempo S1 (s)
0	2,220E-05	4,540E-05
1	2,208E-05	4,536E-05
2	2,200E-05	4,528E-05

Estos datos se llevan a la Ecuación (5) y Ecuación (6) respectivamente ya sea para la Onda P o para la Onda S, mediante estas ecuaciones obtenemos los resultados de la velocidad acústica de la onda, el M.Young y R. Poisson. (Ver Figura 21. de Excel, datos completos de la muestra teniendo en cuenta el Anexo 6)

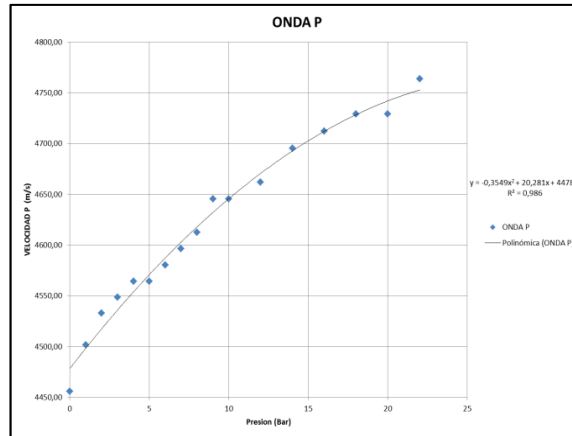
**Figura 21. Datos completos de la muestra teniendo en cuenta Anexo 6.**

DATOS ONDA P Y ONDA S1							
Fuerza (kN)	Tiempo P (s)	Tiempo S1 (s)	Velocidad P (m/s)	Velocidad S1 (m/s)	M. Young S1 (Pascals)	R. Poisson S1 (N/A)	M. Young S1 (PSI)
0	2,220E-05	4,540E-05	4455,78	2053,29	2,26E+10	0,3652	3,28E+06
1	2,208E-05	4,536E-05	4501,72	2056,51	2,28E+10	0,3681	3,30E+06

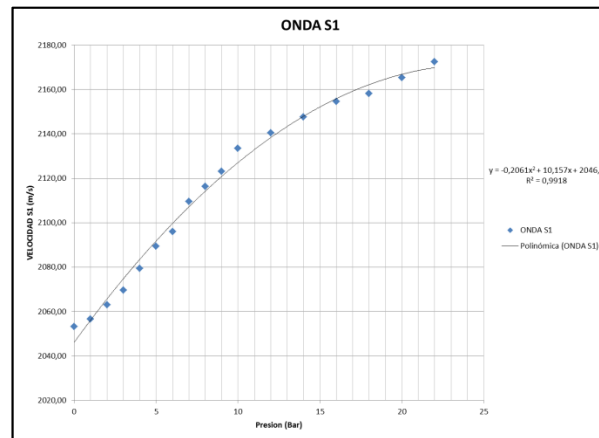
En el Anexo 6 se encuentran Tablas de resultados completos en Excel de las 5 muestras ensayadas dinámicamente con sus respectivas graficas de Onda p, Onda S1, Onda S2, M. Young S1, M. Young S2, R. Poisson S1 y R. Poisson S2.

Se inserta una gráfica Fuerza Vs Velocidad Acústica P (Ver Figura 22), Grafica Fuerza Vs Velocidad S1 (Ver Figura 23), Grafica Fuerza Vs Velocidad S2 (Ver Figura 24), una gráfica de Fuerza Vs M.Young (Ver Figura 26 y Ver Figura 28) y una gráfica Fuerza Vs R.Poisson (Ver Figura 25 y Ver Figura 27) en la cual se representa la ecuación, la gráfica y el valor de  $R^2$ .  $R^2$  Se utiliza para correlacionar los datos y así poder estimar el dato siguiente pues el  $R^2$  dice cuanto se ajustan los datos a la regresión estimada.

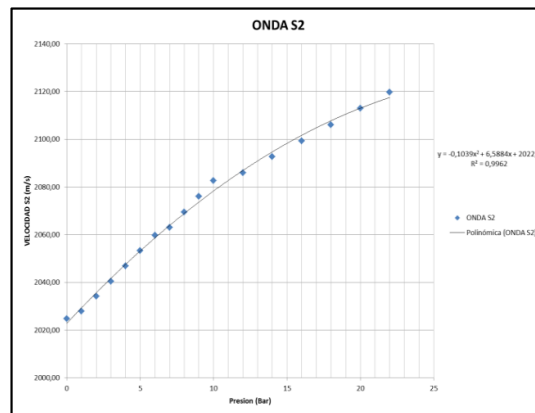
**Figura 22. Presión Vs Velocidad Acústica P**



**Figura 23. Presión Vs Velocidad S1**

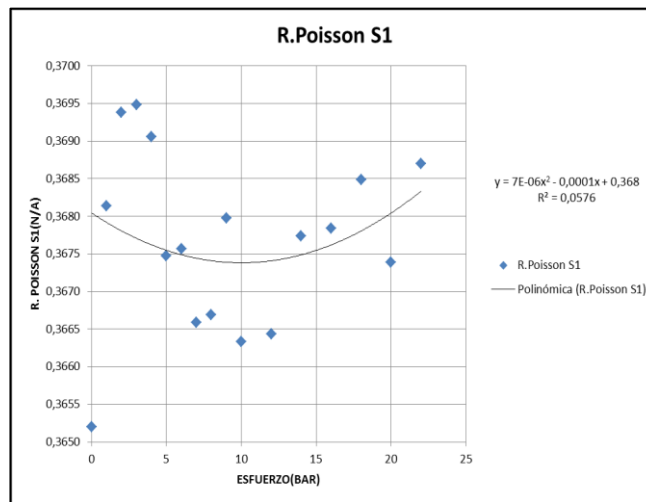


**Figura 24. Presión Vs Velocidad S2**

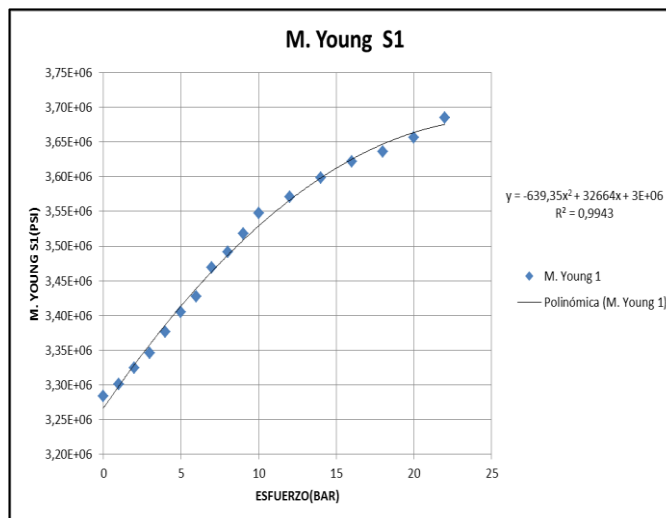


Para la muestra que se toma como ejemplo, es decir la Muestra 1, se grafica el M. de Young y la R. Poisson para las ondas de corte S1 y S2, se toman las gráficas que se ajusten mejor a  $R^2$  es decir las q tengan un valor cercano a 1. Para la Muestra 1 los resultados que mejor se ajustaron a la regresión lineal fueron las de onda de corte S2. Para Ondas S1 (ver Figura 25 y ver Figura 26), para Ondas S2 (ver Figura 27 y ver Figura 28).

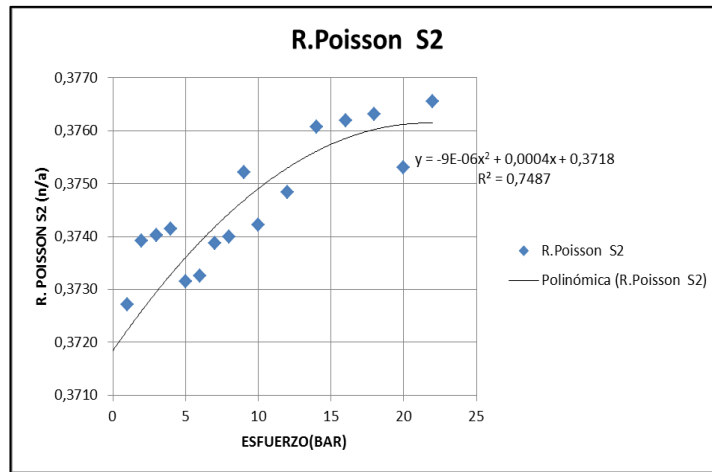
**Figura 25. Esfuerzo Vs R.Poisson S1**



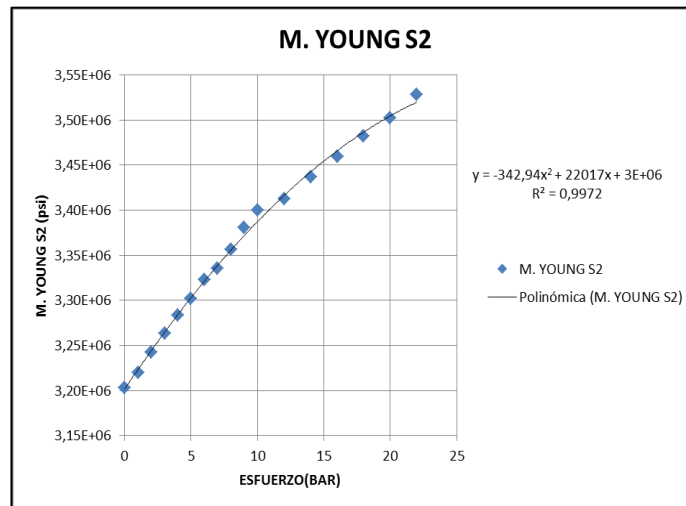
**Figura 26. Esfuerzo Vs M.Young S1**



**Figura 27. Esfuerzo Vs R.Poisson S2**



**Figura 28. Esfuerzo Vs M.Young S2**

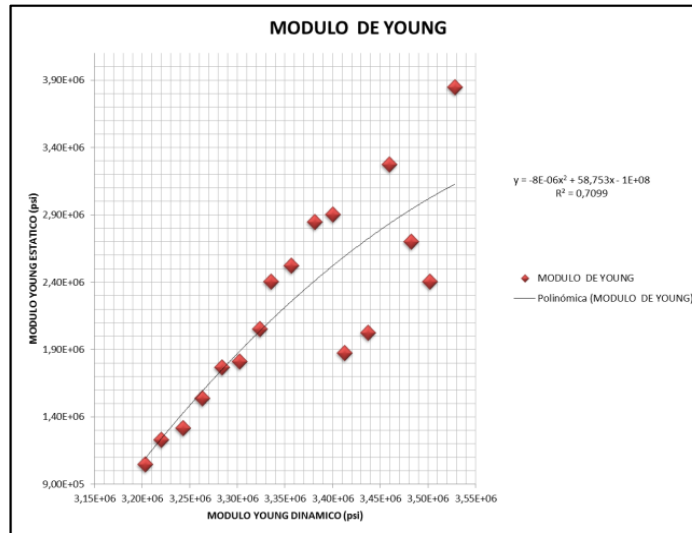


El módulo de Young a reportar para este ensayo triaxial dinámico para la muestra 1 será el módulo de Young de la onda S2.

Se procede a comparar el M. Young Dinámico con el M. Young Estático (Ver Figura 29).

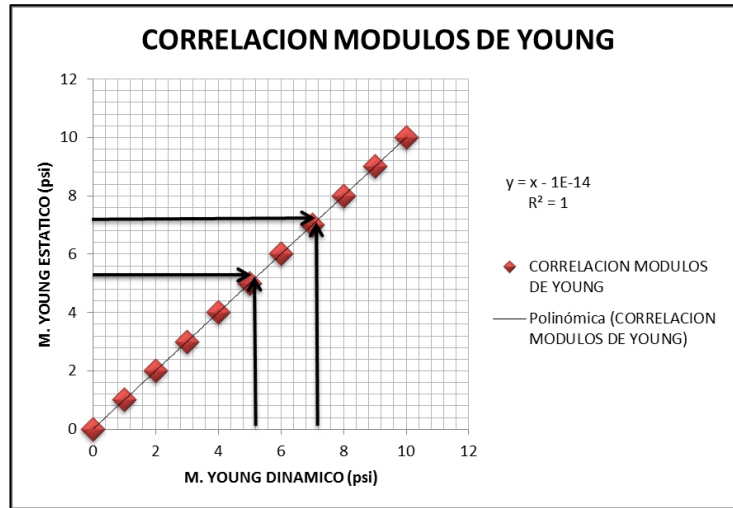
Para la toma de datos Estáticos se programó una hoja de cálculo donde a medida que se avanzaba el ensayo triaxial se registraban, los datos resultantes de los manómetros y deformímetros.

**Figura 29. M.Young Estático Vs M.Young Dinámico.**



Al graficar los módulos de Young resultantes, tanto estática como dinámicamente, se realiza una nueva correlación donde se calcula de nuevo un  $R^2$  el cual debe ser igual o cercano a 1 en forma exponencial, logarítmica, polinómica, potencial y lineal de acuerdo a la que mejor se ajuste (Ver ejemplo Figura 30.), entonces una vez que se tiene un nuevo valor de Módulo de Young dinámico se puede estimar un valor de Módulo de Young estático y así poder estimar el valor de la deformación del suelo ensayado.

**Figura 30. Correlación M.Young  $R^2 = 1$**



Para la muestra 1 ensayada resulta un valor de  $R^2 = 0,7099$ , la cual tiene un error del 0,2901 %, se puede tener la seguridad de que los valores resultantes de M. Young Dinámicos son correctos caso contrario con los datos de Módulos Estáticos donde pudieron haber desviaciones tales como:

- Des-calibración de la Maquina.
- Fallas durante la rutina de ensayo
- Fallas en el montaje de la Probeta.
- Fallas en la preparación de la Muestra.
- Omitir Normatividad existente para el ensayo.

Teniendo los resultados de los Módulos Dinámicos y Módulos Estáticos se puede hacer una clasificación en cuanto a parámetros elásticos de nuestro suelo. El cual puede ser calculado tomando un valor cualquiera resultado del ensayo y realizando una regla de 3 la cual sería de la siguiente manera:

-Valor M.Young Dinamico:  $3,5 \times 10^6 \text{Psi}$

-1 Bar = 0,145Psi

$$\begin{array}{ccc}
 1\text{kN/m}^2 & \longrightarrow & 0,145 \text{ psi} \\
 & & X \\
 & \longleftarrow & 3,5 \times 10^6 \text{ psi}
 \end{array}$$

$$x = \frac{3,5 \times 10^6}{0,145} = 24,1 \text{ MN/m}^2$$

**Figura 31. Parámetros Elásticos para varios Suelos. [8]**

MODULOS DE ELASTICIDAD, Es			
TIPO DE SUELO	lb/pulg <sup>2</sup>	MN/m <sup>2</sup>	Relacion de Poisson, Us
Arena suelta	1,500-3,500	10.35-24.15	0.20-0.40
Arena densa media	2,500-4,000	17.25-27.60	0.25-0.40
Arena densa	5,000-8000	34.50-55.20	0.30-0.45
Arena limosa	1,500-2,500	10.35-17.25	0.20-0.40
Arena y grava	10,000-25,000	69.00-172.50	0.15-0.35
Arena Suave	600-3,000	4.1-20.7	
Arcilla media	3,000-6,000	20.7-41.4	0.20-0.50
Arcilla firme	6,000-14,000	41.4-96.6	

De acuerdo a la regla de 3 y a la tabla de parámetros elásticos para suelos el resultado obtenido que nuestro suelo está clasificado en suelo fino medio.

## 5. CONCLUSIONES

El conocimiento de caracterizar y analizar los suelos, es básico e importante, ya que con sus características geomecánicas, se puede deducir su tipo de comportamiento, teniendo en cuenta factores como el nivel de esfuerzo inducido al suelo, la calidad de información y los resultados. La depuración de los datos es un factor importante para el análisis final, lo cual es posible con este Ensayo Triaxial.

- Para un mejor ajuste de los valores resultantes se captan al menos dos ondas secundarias (S1 y S2)
- Con el suelo ensayado en este trabajo investigativo se pudo observar que ninguna correlación se ajustó, esto debido a que el suelo no presenta las características ideales (homogeneidad e isotropía) o que durante el protocolo de ensayo se tuvieron algunas desviaciones anteriormente ya mencionadas.
- Cuando la muestra de suelo es muy porosa el tiempo de tránsito de la Onda es mayor, por lo tanto se tendría un cálculo de Modulo Menor.
- Con base en la investigación realizada, la cual fue teórica y práctica, se puede concluir que para ensayos triaxiales con un equipo de velocidad acústica del suelo ensayado, empleando los datos de entrada, se obtienen resultados confiables de los parámetros Dinámicos y Elásticos del suelo.
- Con las resultados de laboratorio: Equipo Triaxial de velocidad acústica, se obtienen las principales propiedades dinámicas del suelo de interés: R.

Poisson, M.Young, módulo de elasticidad dinámico y velocidad de ondas de corte ( $V_s$  y  $V_p$ ); los cuales son parámetros importantes para todo tipo de estructuras a diseñar.

- Al utilizar un equipo de laboratorio, debe realizarse de acuerdo a las especificaciones Normativas que estas poseen, esto asegurara que del equipo a utilizar se obtendrán resultados de pruebas confiables y dentro de los rangos que la rigen.

## **OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES**

- Se recomienda buscar la manera de realizar ensayos en suelos diferentes al caracterizado en este trabajo investigativo para estudiar la conveniencia de adquirir un Equipo Triaxial Acústico de este tipo por parte de la Universidad.
- Se recomienda un convenio UIS con un centro de investigación y desarrollo, para que el principal objetivo sea brindar a los estudiantes de Ingeniería Civil soluciones tecnológicas innovadoras y de calidad, que le generan valor agregado a la operación de caracterización de suelos.

## REFERENCIAS

- [1] Brown, S F. 36th Rankine Lecture: Soil Mechanics in Pavement Engineering. Geotechnique, 1996, Vol. 46, No. 3. P. 383-426.
- [2] M. Pastor, R. Blazquez, C. Olaya. Caracterización en laboratorio de las propiedades dinámicas de los suelos. Revista de Obras Públicas, Junio 1983, p. 418- 433
- [3]. Normas ASTM, Normas de ensayo y procedimientos de mecánica para Suelos y Geotecnia, Book of Standars. V4.08 y 4.09, Philadelphia. P.1-6
- [4] Construcciones mecaniques ROP. 1990. Manual de operacion equipo DT14210 ROP. P.1-89
- [5] M. Hernan. Dario, R. Javier. Recuperación y Optimización del equipo de velocidades acústicas ROP DT14210 del Laboratorio de Mecánica de Rocas. P. 6-22
- [6] R. Silva Luis. Fernando. Procedimiento de interpretación acústica, laboratorio de mecánica de rocas. Instituto Colombiano del Petróleo ICP. P.2-6
- [7] Desarrollo de un sistema de procesado de señal para evaluación no destructiva (end) ultrasónica. Transformada de Wavelet: <http://ceres.ugr.es/~alumnos/sigpro/> (citado el 4 octubre de 2014)
- [8] Braja M. Das, Principios de Ingeniería de Cimentaciones, Cuarta Edicion,2011.p.20-5

## BIBLIOGRAFIA

BRAJA M. DAS, Principios de Ingeniería de Cimentaciones, Cuarta Edición, 2011. p.20-5

BROWN, S F. 36th Rankine Lecture: Soil Mechanics in Pavement Engineering.

CONSTRUCTIONS MECANIQUE S ROP. 1990. Manual de operación equipo DT14210 ROP. P.1-89

CERES.UGR. Desarrollo de un sistema de procesamiento de señal para evaluación no destructiva (end) ultrasónica. Transformada de Wavelet: <http://ceres.ugr.es/~alumnos/sigpro/> (citado el 4 octubre de 2014)

GEOTECHNIQUE, 1996, Vol. 46, No. 3. P. 383-426.

M. HERNAN. DARIO, R. JAVIER. Recuperación y Optimización del equipo de velocidades acústicas ROP DT14210 del Laboratorio de Mecánica de Rocas. P. 6-22

M. PASTOR, R. BLAZQUEZ, C. OLAYA. Caracterización en laboratorio de las propiedades dinámicas de los suelos. Revista de Obras Públicas, Junio 1983, p. 418- 433

NORMAS ASTM, Normas de ensayo y procedimientos de mecánica para Suelos y Geotecnia, Book of Standards. V4.08 y 4.09, Philadelphia. P.1-6

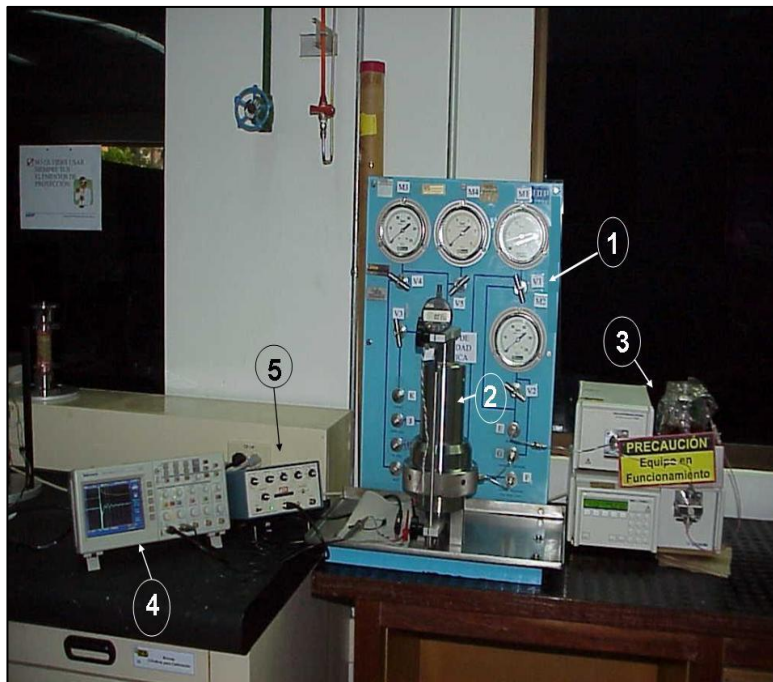


CONSTRUIMOS FUTURO

R. SILVA LUIS. Fernando. Procedimiento de interpretación acústica, laboratorio de mecánica de rocas. Instituto Colombiano del Petróleo ICP. P.2-6

## ANEXO

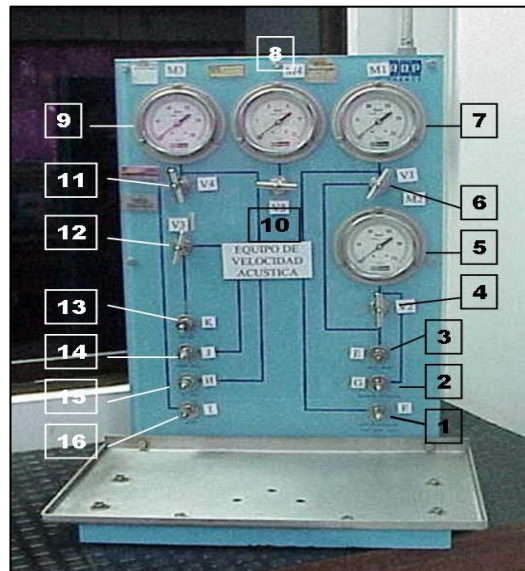
### Anexo A. Descripción Gráfica del Equipo Triaxial de Velocidad Acústica



Vista general del equipo

Ref	Descripción
1	Estructura panel de control
2	Celda de confinamiento
3	Bomba hidráulica
4	Osciloscopio
5	Generador de pulsos

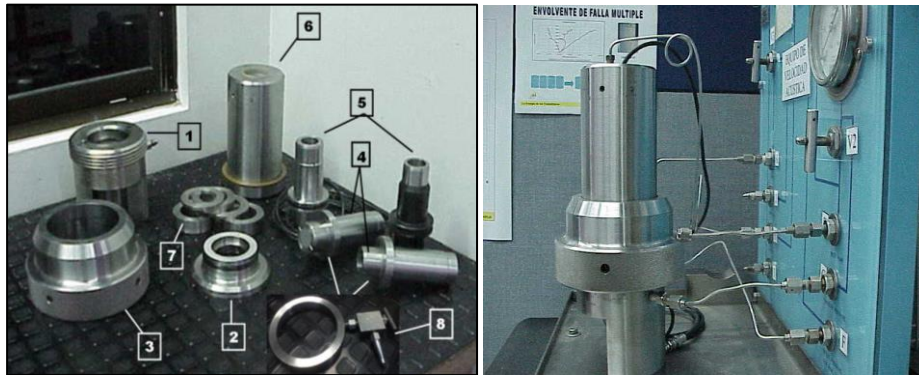
### PANEL DE CONTROL



Vista general panel de control

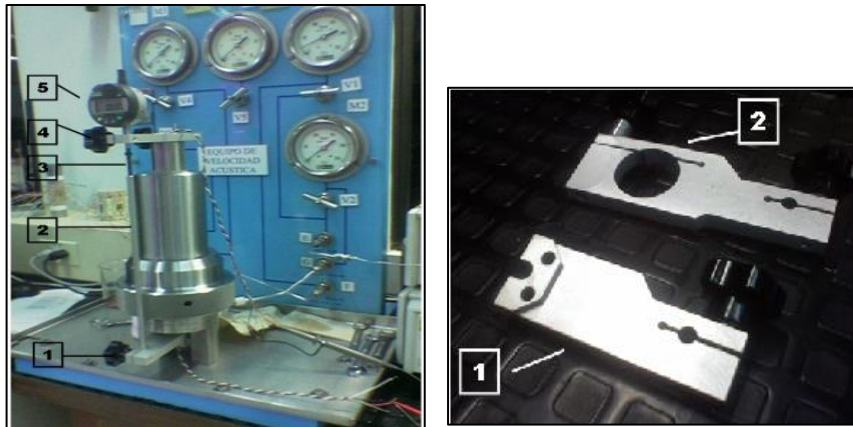
Ref	Descripción
1	Conector F. Accionamiento pistón de carga
2	Conector G. Llenado campana de confinamiento
3	Conector E. Entrada de fluido al sistema de carga
4	Válvula V2. Control llenado campana
5	Manómetro M2. Indica presión en la campana de confinamiento
6	Válvula V1. Control accionamiento pistón de carga
7	Manómetro M1. Indica presión en circuito accionamiento pistón.
8	Manómetro M4. Indica presión de saturación en la muestra.
9	Manómetro M3. Indica presión de saturación en la muestra
10	Válvula V5. Control de manómetro M4
11	Válvula V4. Control de ingreso al circuito de saturación
12	Válvula V3. Control de salida de fluido del circuito de saturación
13	Conector K. Salida de fluido del circuito de saturación
14	Conector J. Conector de salida del pistón superior. From Cell
15	Conector H. Conector de entrada al pistón inferior. To cell
16	Conector I. Entrada de fluido al circuito de saturación

CELDA DE CONFINAMIENTO



Descripción piezas celda de confinamiento

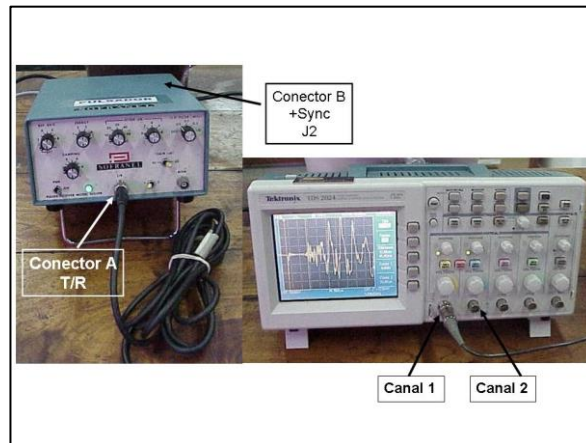
Ref	Descripción
1	Base celda confinamiento
2	Tapón
3	Cierre roscado
4	Pistón superior 1"1/2 y 1" respectivamente
5	Pistón inferior 1"1/2 y 1" respectivamente
6	Campana confinamiento
7	Anillos aumento de pistón superior
8	Anillo sujetador válvula de alivio



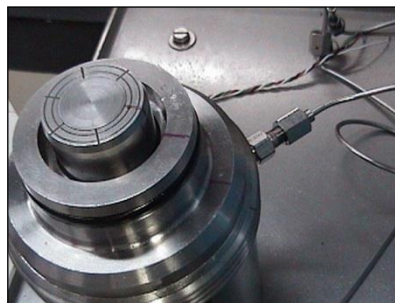
Descripción montaje micrómetro

Ref	Descripción
1	Sujetador inferior
2	Barra extensión
3	Tornillo regulador
4	Sujetador superior
5	Extensómetro digital

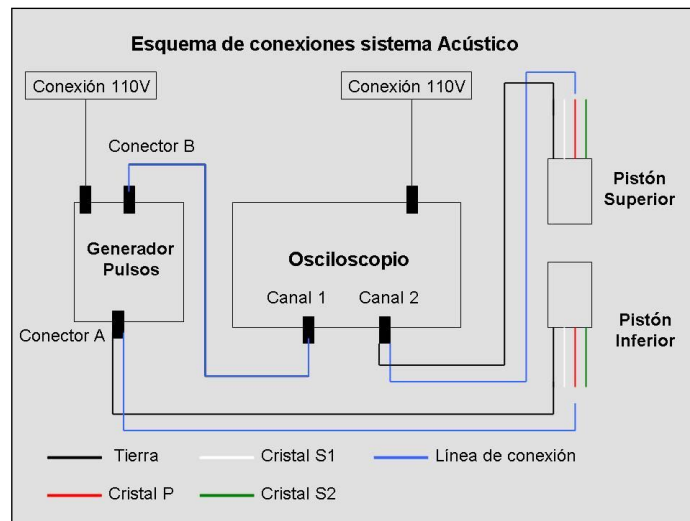
**MONTAJE ELECTRONICO**



Descripción conexiones sistema acústico (Generador de Pulso y Osciloscopio).



Marcas guía en la base, tapón y pistón inferior para alineación.



Esquema de conexiones eléctricas.



EndCap completo, pieza superior y pieza inferior



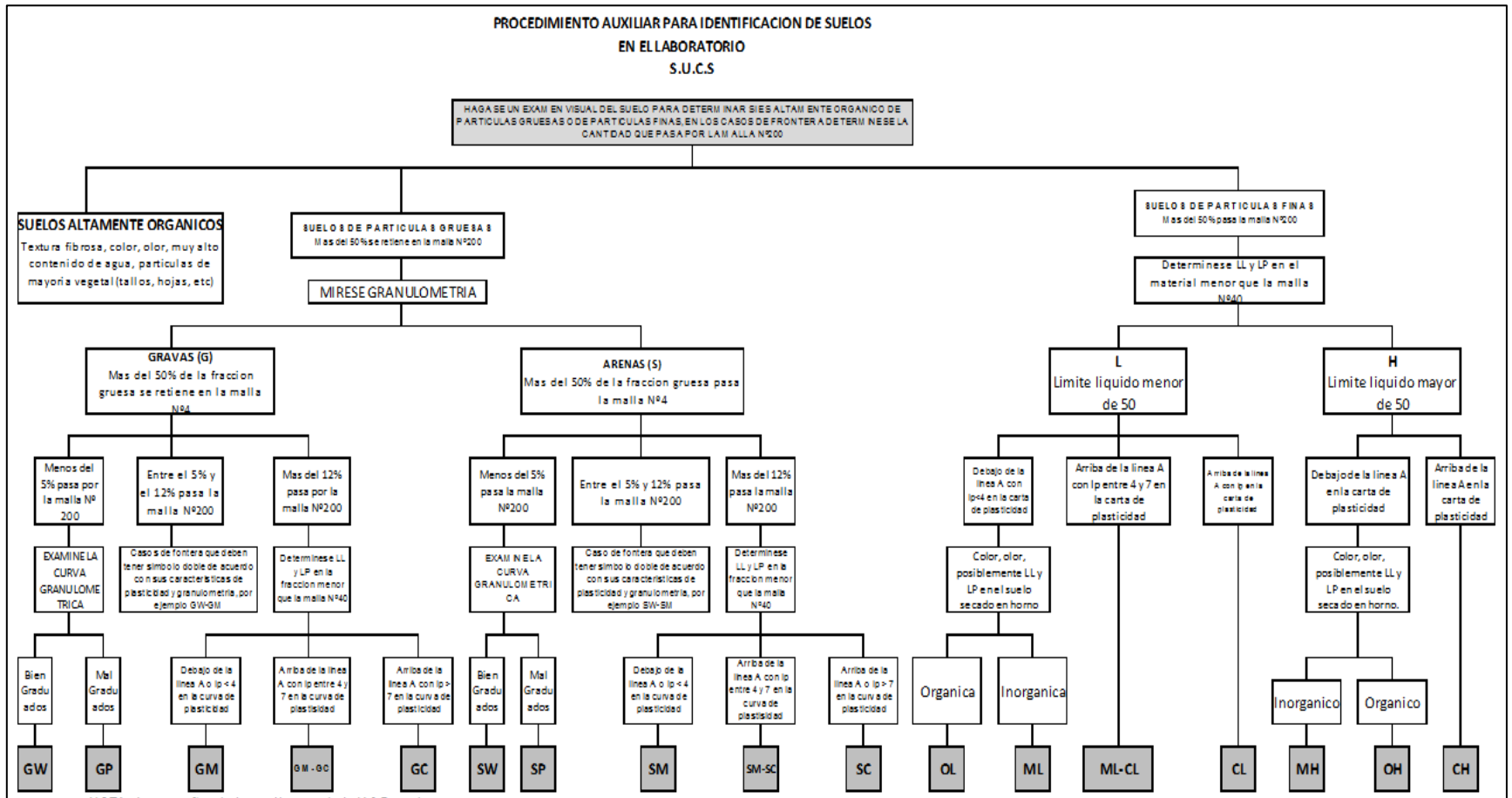
Cristales piezoeléctricos



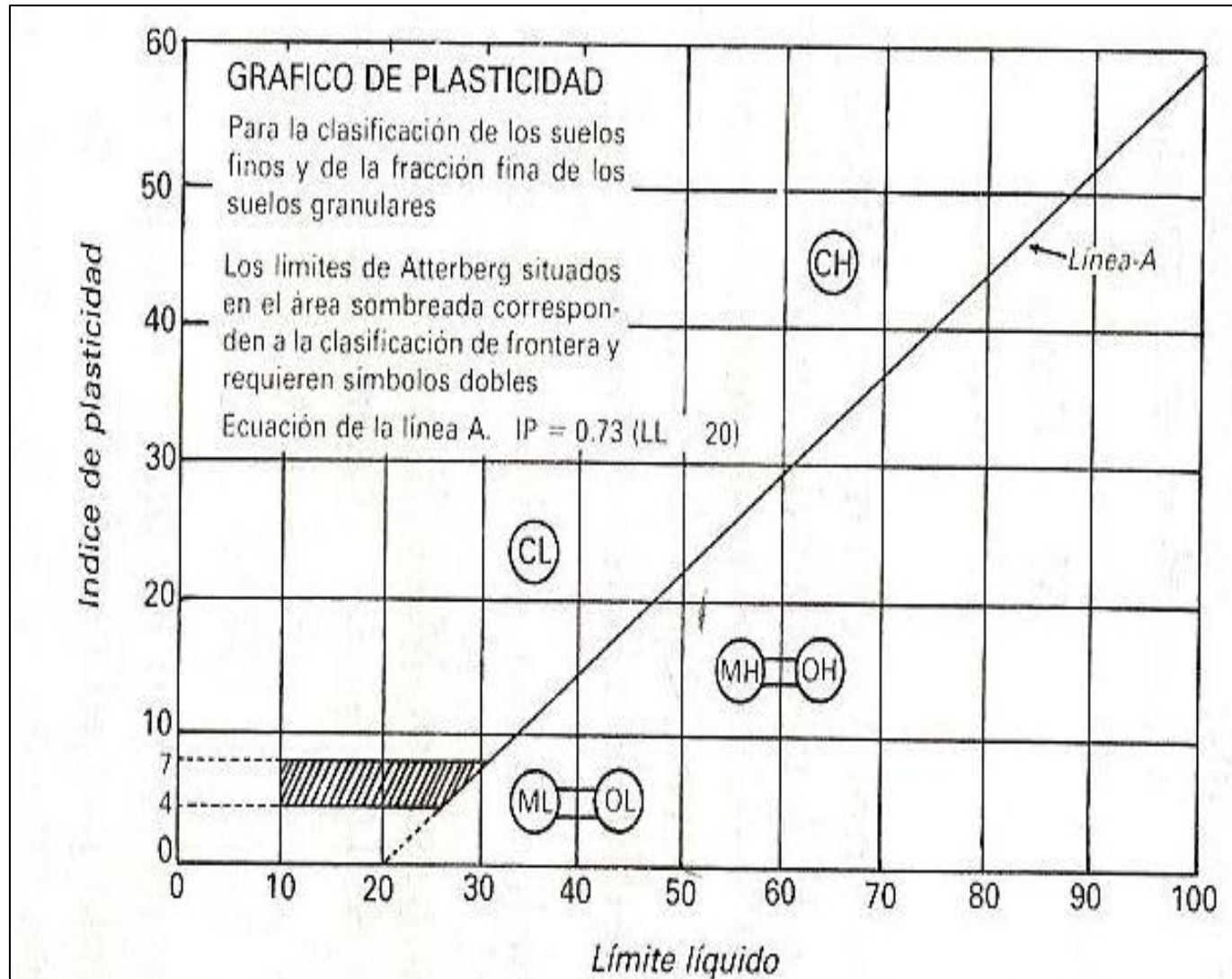
Montaje de los cristales piezoeléctricos

## Anexo B. Tablas del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S)

### ORGANIGRAMA PARA CLASIFICACIÓN



**GRAFICO DE PLASTICIDAD**





GRAFICA DESCRIPCION DEL SUELO

DIVISION PRINCIPAL		SÍMBOLO DEL GRUPO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACION		
SUELOS DE GRANOS GRANESOS 50% o más en peso en el tamiz No. 200	GRAVIAS 50% o más de la fracción gruesa es retenido en el tamiz No. 4.	GW	Gravas bien gradadas y mezclas de arena y grava con pocos finos o sin finos	<p>Clasificación basada en el porcentaje de finos</p> <p>Menos del 5% pasa por el tamiz No. 200 GW, GP, SW, SP</p> <p>Más del 5% pasa por el tamiz No. 200 GM, GP, GC, SM, SC</p> <p>Más del 12% pasa por el tamiz No. 200 GM, GC, SM, SC</p> <p>15% o 12% pasa por el tamiz No. 200</p> <p>Para clasificación de fronteras se necesitan símbolos dobles</p>	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ Mayor que 4 $C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} D_{10}}$ Entre 1 y 3	
		GP	Gravas y arenas mal gradadas con pocos finos o sin finos		Si los criterios para GW no se cumplen	
		GM	Gravas limosas, mezclas de grava - arena y limo		Si los límites de Atterberg se localizan en el área sombreada se debe clasificar utilizando símbolos dobles	
		GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava - arena y arcilla			
	ARENAS Más del 50% de la fracción gruesa pasa por el tamiz	ARENAS LIMPIAS	SW		Arenas y arenas gravosas bien gradadas con pocos finos o sin finos	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ Superior a 6 $C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} D_{10}}$ Entre 1 y 3
			SF		Arenas y arenas gravosas mal gradadas con pocos finos o sin finos	Si no se cumplen los criterios para SW
		ARENAS CON FINOS	SM		Arenas limosas, mezclas de arena - limo	Para los límites de Atterberg localizados en el área sombreada se debe clasificar utilizando símbolos dobles.
	SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla				
	SUELOS DE GRANOS FINOS 50% o más peso por el tamiz No. 200	LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido de 50% o inferior	ML		Limos inorgánicos, arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas	<p><b>GRAFICO DE PLASTICIDAD</b></p> <p>Para la clasificación de los suelos limos y de la fracción fina de los suelos granulares</p> <p>Los límites de Atterberg situados en el área sombreada corresponden a la clasificación de frontera y requieren símbolos dobles</p> <p>Ecuación de la línea A: <math>P = 0.73(LL - 20)</math></p>
			CL		Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, suelos sin mucha arcilla	
OL			Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad			
LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido superior a 50%		MH	Limos inorgánicos, arenas finas o limos micáceos o de diatomáceas limos alúvicos			
		CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas			
		OH	Arcillas orgánicas de plasticidad alta o media			
Suelos altamente orgánicos	PT	Turba, esfénol y otros suelos altamente orgánicos	Para la identificación visual y manual, véase ASTM norma D 3488	Berry, P. L., y Reid. (1992)		

**TABLA PROPIEDADES DEL SUELO**

TIPO DE SUELO <sup>1</sup>	PERMEABILIDAD	RESISTENCIA A LA TUBIFICACION	RESISTENCIA AL CORTANTE	COMPRESIBILIDAD	SUSCEPTIBILIDAD AL AGRIETAMIENTO	SUSCEPTIBILIDAD A LA LICUACION	MANEJABILIDAD	
GW	Permeable	Alta	Muy alta	De baja compresibilidad siempre y cuando hayan sido colocados y compactados adecuadamente. Su compactación es fundamental	No susceptible al agrietamiento	No susceptibles a la licuación cuando estén bien compactadas.	Muy buena	
GP	Permeable a muy permeable	De alta a media	Alta				Muy buena	
SW	Permeable	Alta a media	Muy alta				Muy buena	
SP	Semipermeable a permeable	Baja a muy baja	Alta				De buena a correcta	
GM	Semipermeable	Alta a media	Alta	Compresibilidad baja si más del 60% del material es grueso (tamaño superior a la malla No. 4). Si el material contiene menos de 35% de material grueso, se pueden estimar los asentamientos con base en la compresibilidad de finos.	Control de humedad de compactación muy importante	Mediana a alta	Media si mal compactados	Muy buena
GC	Impermeable	Muy alta	Alta			Baja	Muy buena	
SM	Semipermeable a impermeable	Media a baja	Alta			Mediana a alta	Muy susceptible si mal compactados	Buena a correcta
SC	Impermeable	Alta	Alta a media			Mediana a baja	Muy baja	Buena a correcta
ML	Impermeable	Baja a muy baja	Media a baja	Los asentamientos pueden ser grandes y se calculan con base en pruebas de consolidación	Muy susceptibles; deben colocarse con alto grado de saturación.	Media a alta si mal compactados	Correcta a muy pobre	
MH	Muy impermeable	Media a alta	Baja			Muy baja	Buena a correcta	
CL	Impermeable	Alta	Media		Mediana a alta	Media a alta si mal compactados	Pobre a muy pobre	
CH	Muy impermeable	Muy alta	Baja a media			Muy baja	Muy pobre	
OL	Impermeable	Media	Baja			Muy baja	Correcta a pobre	

### TABLA PROPIEDADES DEL SUELO Y SUS APLICACIONES

CARACTERÍSTICAS DE APLICACIÓN DE LOS SUELOS CLASIFICADOS POR EL SISTEMA U.S.C.S.																
Denominaciones Típicas de Grupos de Suelo	S í m b o l o	G r u p o	Propiedades Importantes				Grado relativo de calidad para diversas aplicaciones									
			Permeabilidad en estado compactado	Resistencia al corte en estado compactado saturado	Compresibilidad en estado compactado saturado	Trabajabilidad como material de construcción	Tranques de tierra compactados			Sección transversal en canal		Fundaciones		Carreteras		
							Muro homogéneo	Núcleo	Carcaza	Resistencia a la erosión	Revestimiento compactado	Con flujo de agua importante	Con flujo de agua despreciable	Terraplenes		Capa de rodado si tienen grava
														Sin posibilidad de expansión por la helada	Posibilidad de expansión por la helada	
Gravas bien gradadas, mezclas de grava y arena con pocos finos o sin ellos	GW	Permeable	Excelente	Insignificante	Excelente	—	—	1	1	—	—	1	1	1	1	3
Gravas mal gradadas, mezclas de grava y arena con pocos finos o sin ellos	GP	Muy permeable	Buena	Insignificante	Buena	—	—	2	2	—	—	3	3	3	3	—
Gravas limosas mal gradadas, mezclas de grava, arena y limo	GM	Semipermeable a impermeable	Buena	Insignificante	Buena	2	4	—	4	4	1	4	4	9	5	
Gravas arcillosas, mezclas mal gradadas de grava, arena y arcilla	GC	Impermeable	Buena a regular	Muy baja	Buena	1	1	—	3	1	2	6	5	5	1	
Arenas bien gradadas, arenas con grava, con pocos finos o sin ellos	SW	Permeable	Excelente	Insignificante	Excelente	—	—	3 si es con grava	6	—	—	2	2	2	4	
Arenas mal gradadas, arenas con grava, con pocos finos o sin ellos	SP	Permeable	Buena	Muy baja	Regular	—	—	4 si es con grava	7 si es con grava	—	—	5	6	4	—	
Arenas limosas, mezclas mal gradadas de arena y limo	SM	Semipermeable a impermeable	Buena	Baja	Regular	4	5	—	8 si es con grava	5 es erosionable	3	7	8	10	6	
Arenas arcillosas, mezclas mal gradadas de arena y arcilla	SC	Impermeable	Buena a regular	Baja	Buena	3	2	—	5	2	4	8	7	6	2	
Limos inorgánicos, arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas con ligera plasticidad	ML	Semipermeable a impermeable	Regular	Media	Regular	6	6	—	—	6 es erosionable	6	9	10	11	—	
Arcillas inorgánicas de plasticidad baja o media, arcillas con gravas, arcillas arenosas y limosas, arcillas magras	CL	Impermeable	Regular	Media	Buena a regular	5	3	—	9	3	5	10	9	7	7	
Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas, de baja plasticidad	OL	Semipermeable a impermeable	Mala	Media	Regular	8	8	—	—	7 es erosionable	7	11	11	12	—	
Limos inorgánicos, suelos finos arenosos o limosos con mica o diatomáceos, limos elásticos	MH	Semipermeable a impermeable	Regular a mala	Alta	Mala	9	9	—	—	—	8	12	12	13	—	
Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas	CH	Impermeable	Mala	Alta	Mala	7	7	—	10	8 cambia de volumen	9	13	13	8	—	
Arcillas orgánicas de plasticidad, media a alta	OH	Impermeable	Mala	Alta	Mala	10	10	—	—	—	10	14	14	14	—	
Turba y otros suelos inorgánicos	Pt	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

## Anexo C. Ilustraciones de Equipo e Instrumentación Necesaria para la Preparación de la Muestra de Suelo.



Broca hueca de acero con un cilindro guía para extraer muestras a ensayar.



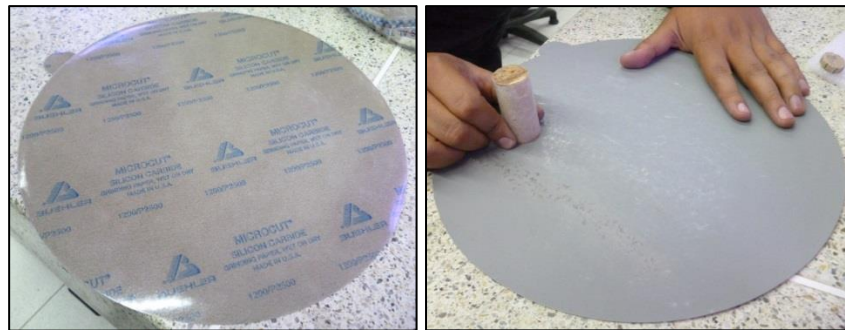
Perfiladora de superficies: este equipo es utilizado para realizar el pulimento de las caras de las muestras.



Calibrador digital: Los calibradores son utilizados para medir la longitud y diámetro de la muestra.



Balanza digital: Es utilizada para determinar la masa de la muestra.



Lija BUEHLER: 1200/P250



Chaqueta Termoencogible: 0.5 mm de espesor.

### Anexo D. Ilustraciones de las 5 Muestras ya Preparadas.



MUESTRA 1



MUESTRA 2



MUESTRA 3



MUESTRA 4



MUESTRA 5

**Anexo E. Ilustraciones de las Muestras ya Falladas.**



MUESTRA 1

MUESTRA 2



MUESTRA 3

MUESTRA 4

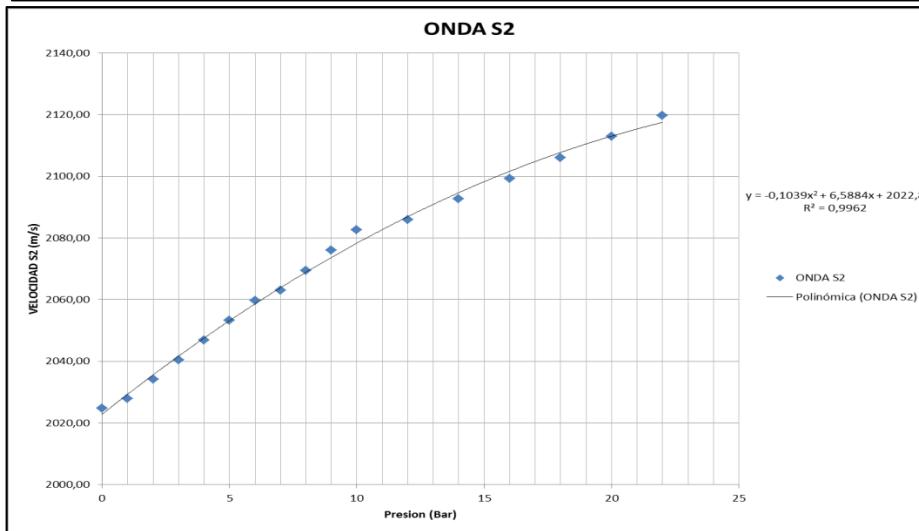
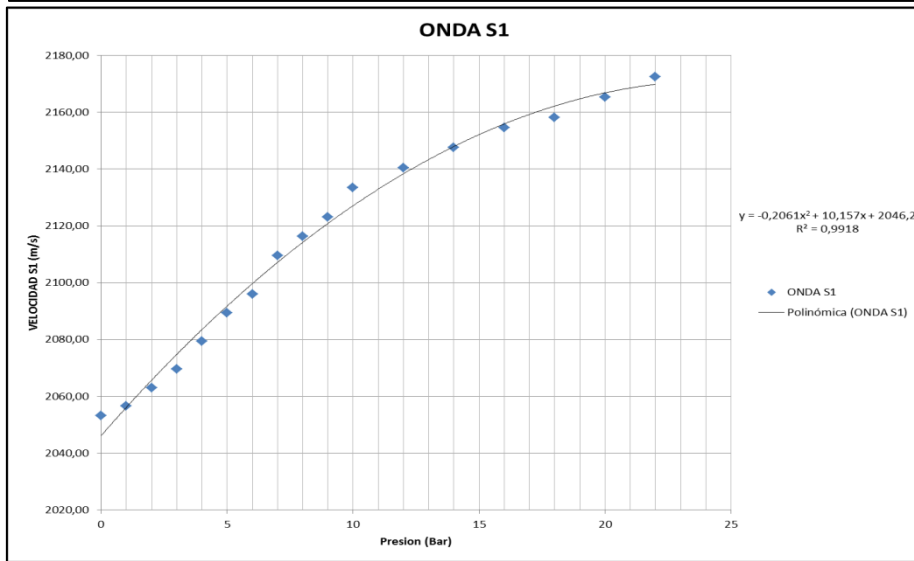
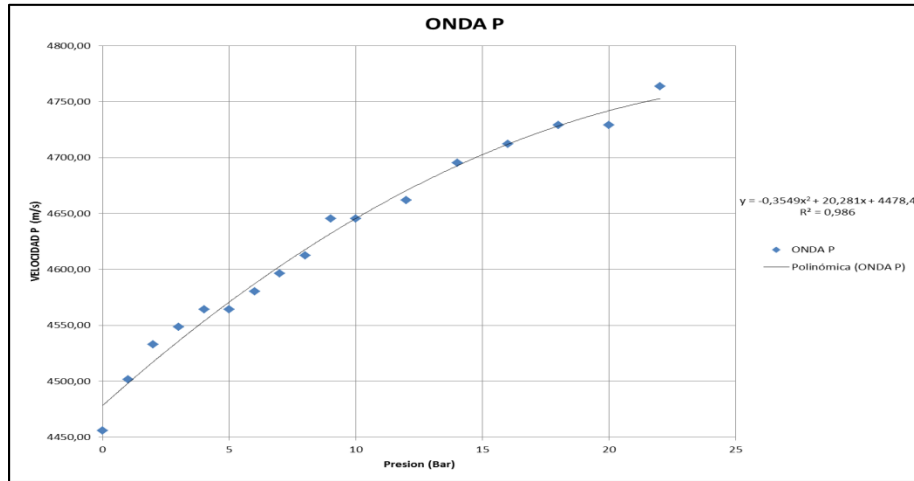


MUESTRA 5

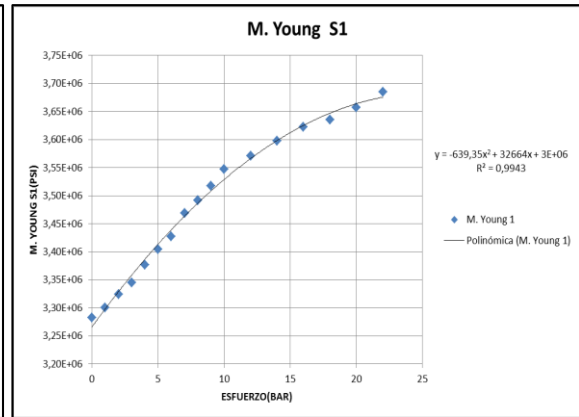
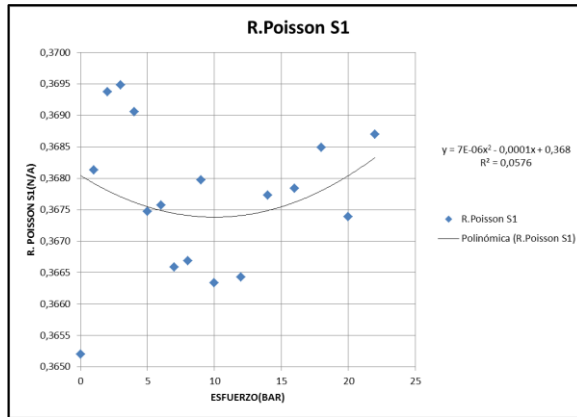
**Anexo F. Tablas de Resultados Completos en Excel de las 5 Muestras Ensayadas Dinamicamente con sus Respectivas Graficas de Onda P, Onda S1, Onda S2, M. Young S1, M Young S2, R. Poisson S1 Y R. Poisson S2.**

**MUESTRA 1:**

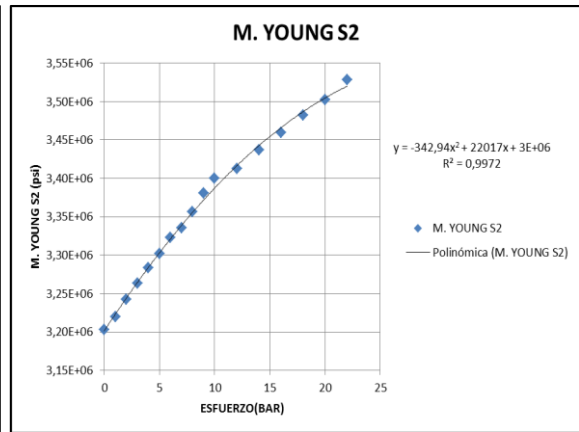
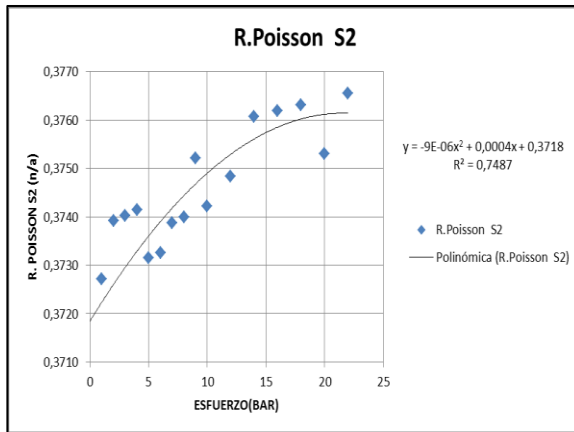
DATOS DE LA MUESTRA 1		DATOS ONDA P Y ONDA S1							
Densidad (Kg/m3)	1966,857	Presion (Bar)	Tiempo P (s)	Tiempo S1 (s)	Velocidad P (m/s)	Velocidad S1 (m/s)	M. Young S1 (Pascuales)	R. Poisson S1 (N/A)	M. Young S1 (PSI)
Longitud (mm)	52,400	0	2,220E-05	4,540E-05	4455,78	2053,29	2,26E+10	0,3652	3,28E+06
Masa (gr)	51,200	1	2,208E-05	4,536E-05	4501,72	2056,51	2,28E+10	0,3681	3,30E+06
Diámetro (mm)	25,150	2	2,200E-05	4,528E-05	4532,87	2062,99	2,29E+10	0,3694	3,32E+06
Volumen (m3)	2,603E-05	3	2,196E-05	4,520E-05	4548,61	2069,51	2,31E+10	0,3695	3,35E+06
Datos Endcups		4	2,192E-05	4,508E-05	4564,46	2079,37	2,33E+10	0,3691	3,38E+06
DATO	Valor	5	2,192E-05	4,496E-05	4564,46	2089,31	2,35E+10	0,3675	3,40E+06
Tiempo P (s)	1,044E-05	6	2,188E-05	4,488E-05	4580,42	2096,00	2,36E+10	0,3676	3,43E+06
Tiempo S (s)	1,988E-05	7	2,184E-05	4,472E-05	4596,49	2109,50	2,39E+10	0,3666	3,47E+06
Tiempo S2 (s)	2,000E-05	8	2,180E-05	4,464E-05	4612,68	2116,32	2,41E+10	0,3667	3,49E+06
Longitud (mm)	60,28	9	2,172E-05	4,456E-05	4645,39	2123,18	2,43E+10	0,3680	3,52E+06
Densidad (kg/m3)	8000	10	2,172E-05	4,444E-05	4645,39	2133,55	2,45E+10	0,3663	3,55E+06
Datos acústicos ENDCUPS		12	2,168E-05	4,436E-05	4661,92	2140,52	2,46E+10	0,3664	3,57E+06
Vel. P (m/s)	5773,946	14	2,160E-05	4,428E-05	4695,34	2147,54	2,48E+10	0,3677	3,60E+06
Vel. S (m/s)	3032,193	16	2,156E-05	4,420E-05	4712,23	2154,61	2,50E+10	0,3678	3,62E+06
Vel. S2 (m/s)	3014,000	18	2,152E-05	4,416E-05	4729,24	2158,15	2,51E+10	0,3685	3,64E+06
Young (GPa)/PSI	192,6513 2,79E+07	20	2,152E-05	4,408E-05	4729,24	2165,29	2,52E+10	0,3674	3,66E+06
Poisson (N/A)	0,30960	22	2,144E-05	4,400E-05	4763,64	2172,47	2,54E+10	0,3687	3,68E+06
Young S2 (GPa)/PSI	190,8015 2,77E+07	24	1,360E-05	0,000E+00	16582,28	-2635,81	4,06E+10	0,4870	5,89E+06
Poisson S2 (GPa)	0,31273	26	1,320E-05	0,000E+00	18985,51	-2635,81	4,07E+10	0,4902	5,91E+06
		28	1,320E-05	0,000E+00	18985,51	-2635,81	4,07E+10	0,4902	5,91E+06
		DATOS ONDA S2							
		Presion (Bar)	Tiempo P (seg)	Tiempo S2 (seg)	Velocidad P (m/s)	Velocidad S2 (m/s)	M. Young S2 (Pascuales)	R. Poisson S2 (N/A)	M. Young S2 (PSI)
		0	2,220E-05	4,59E-05	4455,78	2024,73	2,21E+10	0,3699	3,20E+06
		1	2,208E-05	4,58E-05	4501,72	2027,86	2,22E+10	0,3727	3,22E+06
		2	2,200E-05	4,58E-05	4532,87	2034,16	2,24E+10	0,3739	3,24E+06
		3	2,196E-05	4,57E-05	4548,61	2040,50	2,25E+10	0,3740	3,26E+06
		4	2,192E-05	4,56E-05	4564,46	2046,88	2,26E+10	0,3741	3,28E+06
		5	2,192E-05	4,55E-05	4564,46	2053,29	2,28E+10	0,3732	3,30E+06
		6	2,188E-05	4,54E-05	4580,42	2059,75	2,29E+10	0,3733	3,32E+06
		7	2,184E-05	4,54E-05	4596,49	2062,99	2,30E+10	0,3739	3,34E+06
		8	2,180E-05	4,53E-05	4612,68	2069,51	2,31E+10	0,3740	3,36E+06
		9	2,172E-05	4,52E-05	4645,39	2076,07	2,33E+10	0,3752	3,38E+06
		10	2,172E-05	4,52E-05	4645,39	2082,67	2,34E+10	0,3742	3,40E+06
		12	2,168E-05	4,51E-05	4661,92	2085,99	2,35E+10	0,3748	3,41E+06
		14	2,160E-05	4,50E-05	4695,34	2092,65	2,37E+10	0,3761	3,44E+06
		16	2,156E-05	4,50E-05	4712,23	2099,36	2,39E+10	0,3762	3,46E+06
		18	2,152E-05	4,49E-05	4729,24	2106,11	2,40E+10	0,3763	3,48E+06
		20	2,152E-05	4,48E-05	4729,24	2112,90	2,42E+10	0,3753	3,50E+06
		22	2,144E-05	4,47E-05	4763,64	2119,74	2,43E+10	0,3766	3,53E+06
		24	1,136E-05	0,00E+00	56956,52	-2620,00	4,05E+10	0,4989	5,87E+06
		26	1,089E-05	0,00E+00	116444,44	-2620,00	4,05E+10	0,4997	5,87E+06
		28	1,034E-05	0,00E+00	524000,00	-2620,00	4,05E+10	0,5000	5,87E+06



**R. POISSON S1 Y M. YOUNG S1**



**R. POISSON S2 Y M. YOUNG S2**



**MUESTRA 2:**

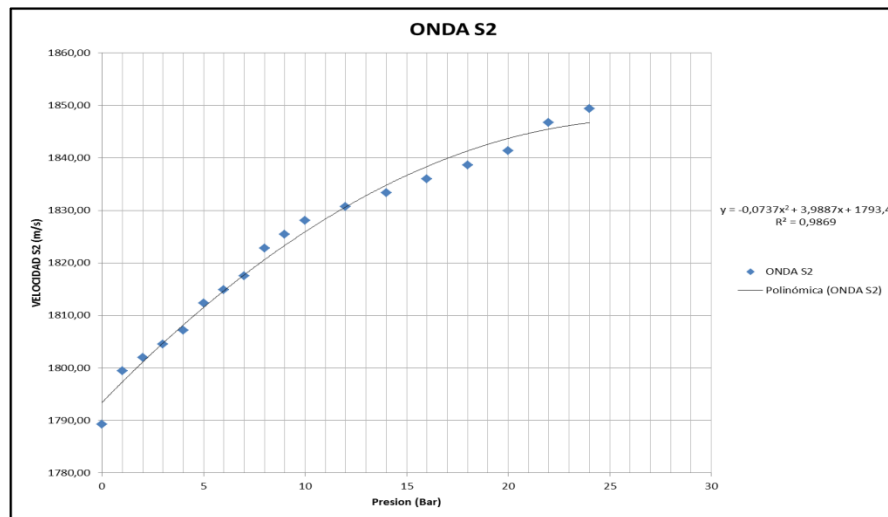
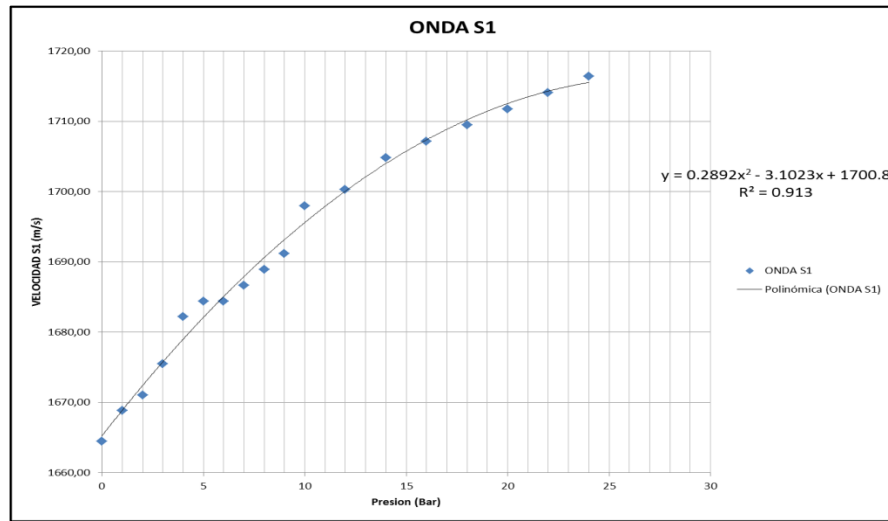
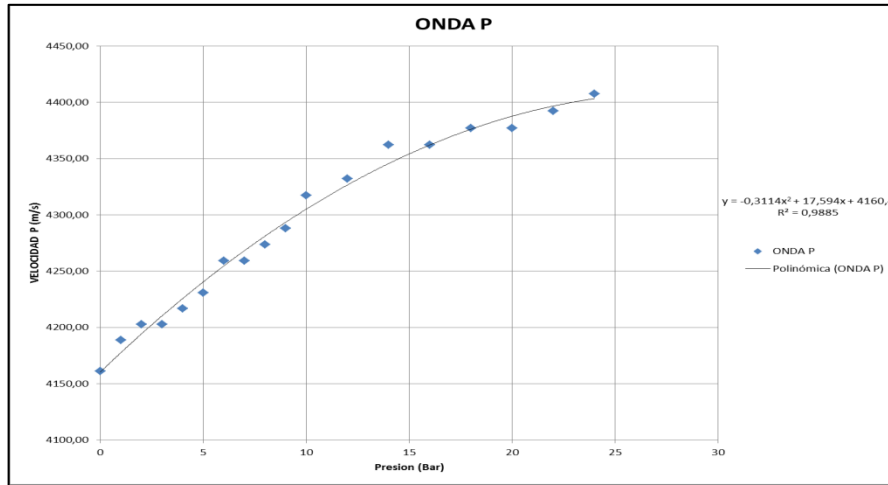
DATOS DE LA MUESTRA 2	
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	2783,453
Longitud (mm)	50,600
Masa (gr)	73,860
Diámetro (mm)	25,840
Volumen (m <sup>3</sup> )	2,654E-05

Datos Endcups	
DATO	Valor
Tiempo P (s)	1,044E-05
Tiempo S (s)	1,988E-05
Tiempo S2 (s)	2,000E-05
Longitud (mm)	60,28
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	8000

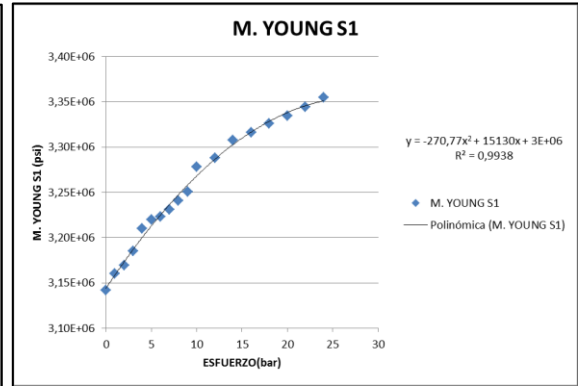
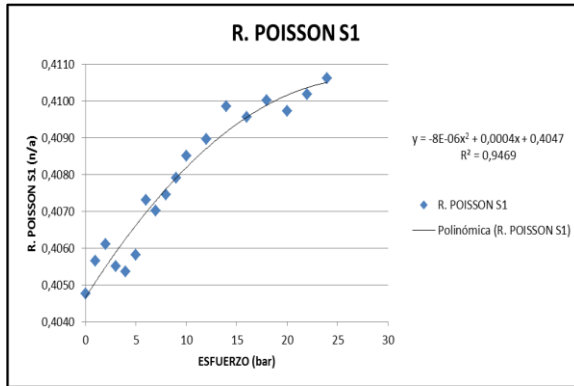
Datos acústicos ENDCUPS	
Vel. P (m/s)	5773,946
Vel. S (m/s)	3032,193
Vel. S2 (m/s)	3014,000
Young (GPa)/PSI	192,6513 2,78E+07
Poisson (N/A)	0,30960
Young S2 (GPa)/PSI	190,8015 2,77E+07
Poisson S2 (GPa)	0,31273

DATOS ONDA P Y ONDA S1							
Presion (Bar)	Tiempo P (s)	Tiempo S1 (s)	Velocidad P (m/s)	Velocidad S1 (m/s)	M. Young S1 (Pascuales)	R. Poisson S1 (N/A)	M. Young S1 (PSI)
0	2,260E-05	5,028E-05	4161,18	1664,47	2,17E+10	0,4048	3,14E+06
1	2,252E-05	5,020E-05	4188,74	1668,87	2,18E+10	0,4057	3,16E+06
2	2,248E-05	5,016E-05	4202,66	1671,07	2,19E+10	0,4061	3,17E+06
3	2,248E-05	5,008E-05	4202,66	1675,50	2,20E+10	0,4055	3,18E+06
4	2,244E-05	4,996E-05	4216,67	1682,18	2,21E+10	0,4054	3,21E+06
5	2,240E-05	4,992E-05	4230,77	1684,42	2,22E+10	0,4058	3,22E+06
6	2,232E-05	4,992E-05	4259,26	1684,42	2,22E+10	0,4073	3,22E+06
7	2,232E-05	4,988E-05	4259,26	1686,67	2,23E+10	0,4070	3,23E+06
8	2,228E-05	4,984E-05	4273,65	1688,92	2,23E+10	0,4075	3,24E+06
9	2,224E-05	4,980E-05	4288,14	1691,18	2,24E+10	0,4079	3,25E+06
10	2,216E-05	4,968E-05	4317,41	1697,99	2,26E+10	0,4085	3,28E+06
12	2,212E-05	4,964E-05	4332,19	1700,27	2,27E+10	0,4090	3,29E+06
14	2,204E-05	4,956E-05	4362,07	1704,85	2,28E+10	0,4099	3,31E+06
16	2,204E-05	4,952E-05	4362,07	1707,15	2,29E+10	0,4096	3,32E+06
18	2,200E-05	4,948E-05	4377,16	1709,46	2,29E+10	0,4100	3,33E+06
20	2,200E-05	4,944E-05	4377,16	1711,77	2,30E+10	0,4097	3,33E+06
22	2,196E-05	4,940E-05	4392,36	1714,09	2,31E+10	0,4102	3,34E+06
24	2,192E-05	4,936E-05	4407,67	1716,42	2,31E+10	0,4106	3,35E+06
26	2,008E-05	0,000E+00	5248,96	-2545,27	4,86E+10	0,3463	7,04E+06
28	1,992E-05	0,000E+00	5337,55	-2545,27	4,88E+10	0,3528	7,07E+06

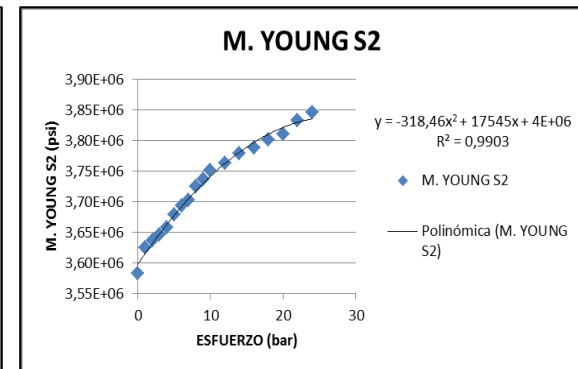
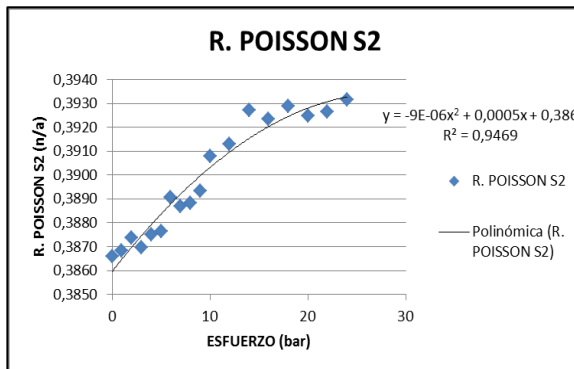
DATOS ONDA S2							
Presion (Bar)	Tiempo P (seg)	Tiempo S2 (seg)	Velocidad P (m/s)	Velocidad S2 (m/s)	M. Young S2 (Pascuales)	R. Poisson S2 (N/A)	M. Young S2 (PSI)
0	2,260E-05	4,828E-05	4161,18	1789,25	2,47E+10	0,3866	3,58E+06
1	2,252E-05	4,812E-05	4188,74	1799,43	2,50E+10	0,3868	3,62E+06
2	2,248E-05	4,808E-05	4202,66	1801,99	2,51E+10	0,3874	3,64E+06
3	2,248E-05	4,804E-05	4202,66	1804,56	2,51E+10	0,3870	3,65E+06
4	2,244E-05	4,800E-05	4216,67	1807,14	2,52E+10	0,3875	3,66E+06
5	2,240E-05	4,792E-05	4230,77	1812,32	2,54E+10	0,3876	3,68E+06
6	2,232E-05	4,788E-05	4259,26	1814,92	2,55E+10	0,3891	3,69E+06
7	2,232E-05	4,784E-05	4259,26	1817,53	2,55E+10	0,3887	3,70E+06
8	2,228E-05	4,776E-05	4273,65	1822,77	2,57E+10	0,3888	3,72E+06
9	2,224E-05	4,772E-05	4288,14	1825,40	2,58E+10	0,3893	3,74E+06
10	2,216E-05	4,768E-05	4317,41	1828,03	2,59E+10	0,3908	3,75E+06
12	2,212E-05	4,764E-05	4332,19	1830,68	2,60E+10	0,3913	3,76E+06
14	2,204E-05	4,760E-05	4362,07	1833,33	2,61E+10	0,3927	3,78E+06
16	2,204E-05	4,756E-05	4362,07	1835,99	2,61E+10	0,3924	3,79E+06
18	2,200E-05	4,752E-05	4377,16	1838,66	2,62E+10	0,3929	3,80E+06
20	2,200E-05	4,748E-05	4377,16	1841,34	2,63E+10	0,3925	3,81E+06
22	2,196E-05	4,740E-05	4392,36	1846,72	2,64E+10	0,3926	3,83E+06
24	2,192E-05	4,736E-05	4407,67	1849,42	2,65E+10	0,3932	3,85E+06
26	2,008E-05	0,000E+00	5248,96	-2530,00	4,81E+10	0,3487	6,97E+06
28	1,992E-05	0,000E+00	5337,55	-2530,00	4,83E+10	0,3551	7,00E+06



R. POISSON S1 Y M. YOUNG S1



R. POISSON S2 Y M. YOUNG S2



MUESTRA 3

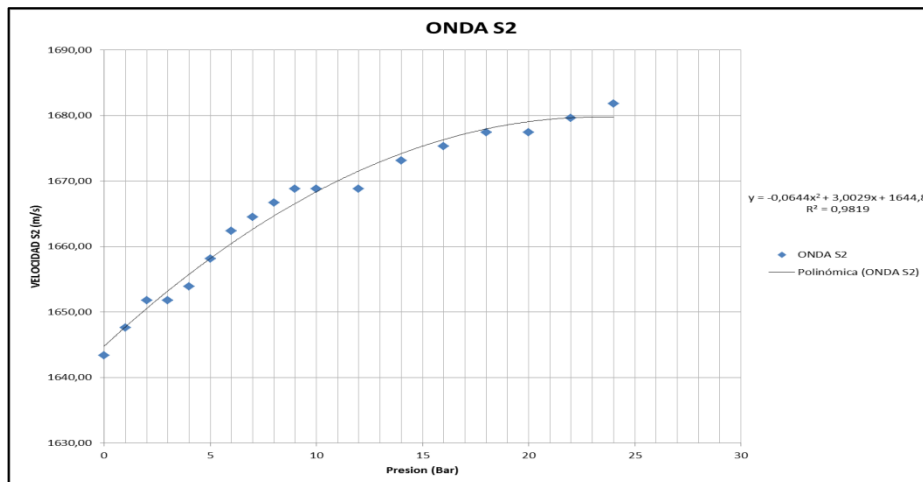
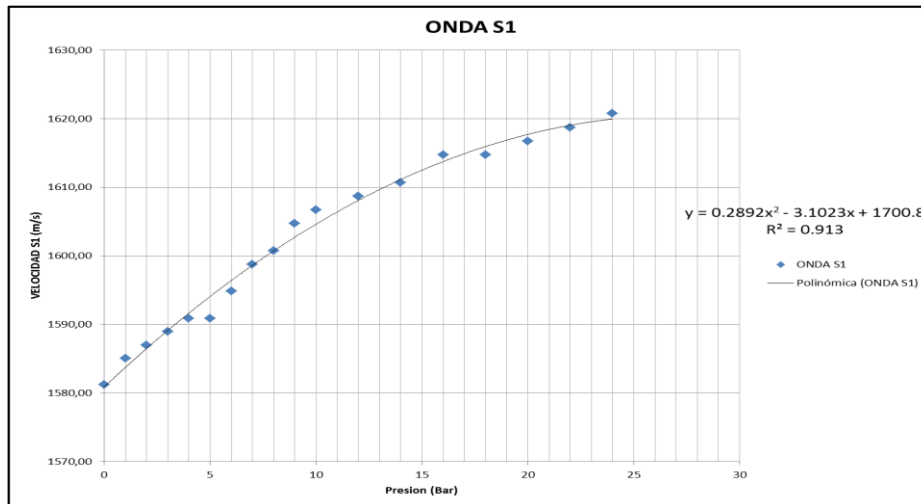
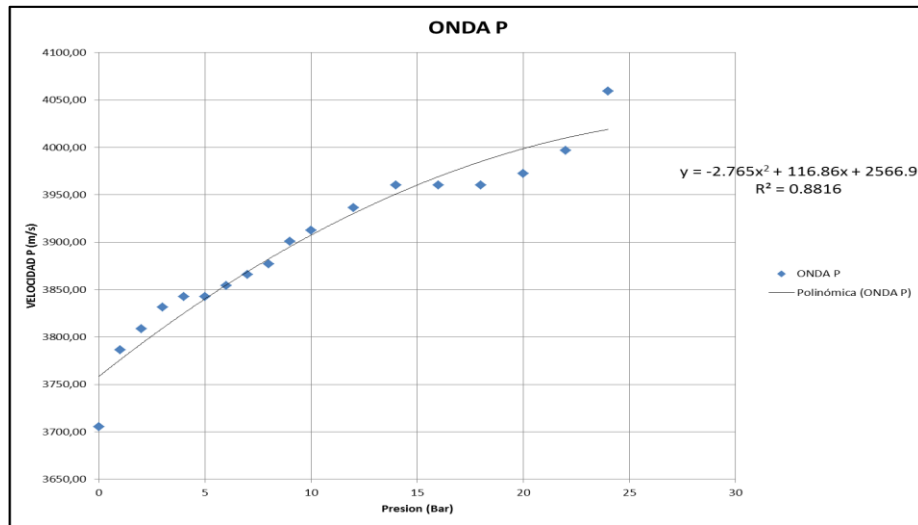
DATOS DE LA MUESTRA 3	
Densidad (Kg/m3)	2706,815
Longitud (mm)	51,800
Masa (gr)	74,100
Diámetro (mm)	25,940
Volumen (m3)	2,738E-05

Datos Endcups	
DATO	Valor
Tiempo P (s)	1,044E-05
Tiempo S (s)	1,988E-05
Tiempo S2 (s)	2,000E-05
Longitud (mm)	60,28
Densidad (kg/m3)	8000

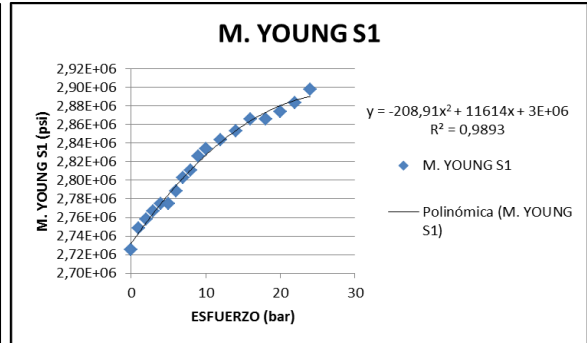
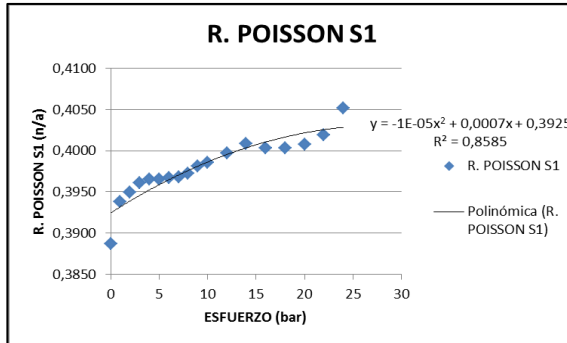
Datos acústicos END CUPS	
Vel. P (m/s)	5773,946
Vel. S (m/s)	3032,193
Vel. S2 (m/s)	3014,000
Young (GPa)/PSI	192,6513 2,79E+07
Poisson (N/A)	0,30960
Young S2 (GPa)/PSI	190,8015 2,77E+07
Poisson S2 (GPa)	0,31273

DATOS ONDA P Y ONDA S1							
Presion (Bar)	Tiempo P (s)	Tiempo S1 (s)	Velocidad P (m/s)	Velocidad S1 (m/s)	M. Young S1 (Pascales)	R. Poisson S1 (N/A)	M. Young S1 (PSI)
0	2,442E-05	5,264E-05	3705,29	1581,20	1,88E+10	0,3887	2,73E+06
1	2,412E-05	5,256E-05	3786,55	1585,07	1,90E+10	0,3938	2,75E+06
2	2,404E-05	5,252E-05	3808,82	1587,01	1,90E+10	0,3950	2,76E+06
3	2,396E-05	5,248E-05	3831,36	1588,96	1,91E+10	0,3961	2,77E+06
4	2,392E-05	5,244E-05	3842,73	1590,91	1,91E+10	0,3966	2,77E+06
5	2,392E-05	5,244E-05	3842,73	1590,91	1,91E+10	0,3966	2,77E+06
6	2,388E-05	5,236E-05	3854,17	1594,83	1,92E+10	0,3967	2,79E+06
7	2,384E-05	5,228E-05	3865,67	1598,77	1,93E+10	0,3968	2,80E+06
8	2,380E-05	5,224E-05	3877,25	1600,74	1,94E+10	0,3973	2,81E+06
9	2,372E-05	5,216E-05	3900,60	1604,71	1,95E+10	0,3981	2,83E+06
10	2,368E-05	5,212E-05	3912,39	1606,70	1,95E+10	0,3986	2,83E+06
12	2,360E-05	5,208E-05	3936,17	1608,70	1,96E+10	0,3997	2,84E+06
14	2,352E-05	5,204E-05	3960,24	1610,70	1,97E+10	0,4009	2,85E+06
16	2,352E-05	5,196E-05	3960,24	1614,71	1,98E+10	0,4003	2,87E+06
18	2,352E-05	5,196E-05	3960,24	1614,71	1,98E+10	0,4003	2,87E+06
20	2,348E-05	5,192E-05	3972,39	1616,73	1,98E+10	0,4007	2,87E+06
22	2,340E-05	5,188E-05	3996,91	1618,75	1,99E+10	0,4019	2,88E+06
24	2,320E-05	5,184E-05	4059,56	1620,78	2,00E+10	0,4052	2,90E+06
26	1,760E-05	0,000E+00	7234,64	-2605,63	5,24E+10	0,4255	7,60E+06
28	1,848E-05	0,000E+00	6442,79	-2605,63	5,15E+10	0,4022	7,47E+06

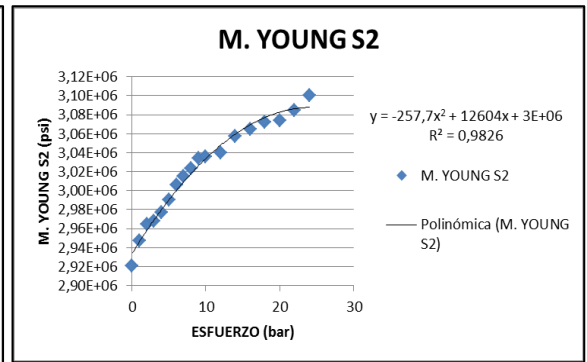
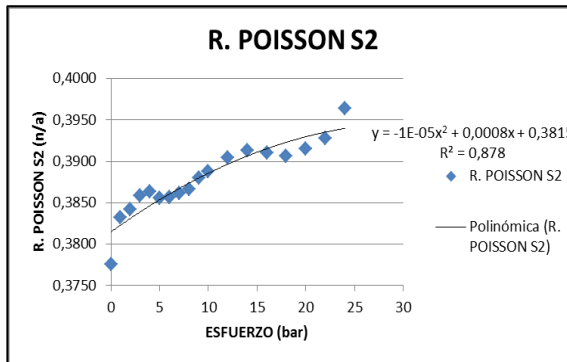
DATOS ONDA S2							
Presion (Bar)	Tiempo P (seg)	Tiempo S2 (seg)	Velocidad P (m/s)	Velocidad S2 (m/s)	M. Young S2 (Pascales)	R. Poisson S2 (N/A)	M. Young S2 (PSI)
0	2,442E-05	5,152E-05	3705,29	1643,40	2,01E+10	0,3776	2,92E+06
1	2,412E-05	5,144E-05	3786,55	1647,58	2,03E+10	0,3832	2,95E+06
2	2,404E-05	5,136E-05	3808,82	1651,79	2,04E+10	0,3842	2,96E+06
3	2,396E-05	5,136E-05	3831,36	1651,79	2,05E+10	0,3859	2,97E+06
4	2,392E-05	5,132E-05	3842,73	1653,90	2,05E+10	0,3863	2,98E+06
5	2,392E-05	5,124E-05	3842,73	1658,13	2,06E+10	0,3856	2,99E+06
6	2,388E-05	5,116E-05	3854,17	1662,39	2,07E+10	0,3857	3,01E+06
7	2,384E-05	5,112E-05	3865,67	1664,52	2,08E+10	0,3862	3,01E+06
8	2,380E-05	5,108E-05	3877,25	1666,67	2,09E+10	0,3867	3,02E+06
9	2,372E-05	5,104E-05	3900,60	1668,81	2,09E+10	0,3880	3,03E+06
10	2,368E-05	5,104E-05	3912,39	1668,81	2,09E+10	0,3888	3,04E+06
12	2,360E-05	5,104E-05	3936,17	1668,81	2,10E+10	0,3904	3,04E+06
14	2,352E-05	5,096E-05	3960,24	1673,13	2,11E+10	0,3914	3,06E+06
16	2,352E-05	5,092E-05	3960,24	1675,29	2,11E+10	0,3910	3,06E+06
18	2,352E-05	5,088E-05	3960,24	1677,46	2,12E+10	0,3907	3,07E+06
20	2,348E-05	5,088E-05	3972,39	1677,46	2,12E+10	0,3915	3,07E+06
22	2,340E-05	5,084E-05	3996,91	1679,64	2,13E+10	0,3928	3,08E+06
24	2,320E-05	5,080E-05	4059,56	1681,82	2,14E+10	0,3964	3,10E+06
26	1,760E-05	0,000E+00	7234,64	-2590,00	5,18E+10	0,4265	7,51E+06
28	1,848E-05	0,000E+00	6442,79	-2590,00	5,10E+10	0,4036	7,39E+06



**R. POISSON S1 Y M. YOUNG S1**



**R. POISSON S2 Y M. YOUNG S2**

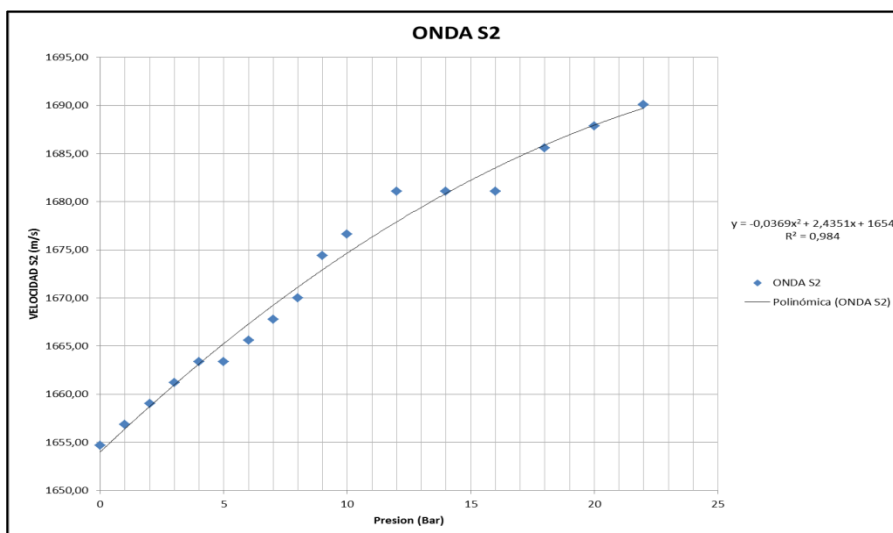
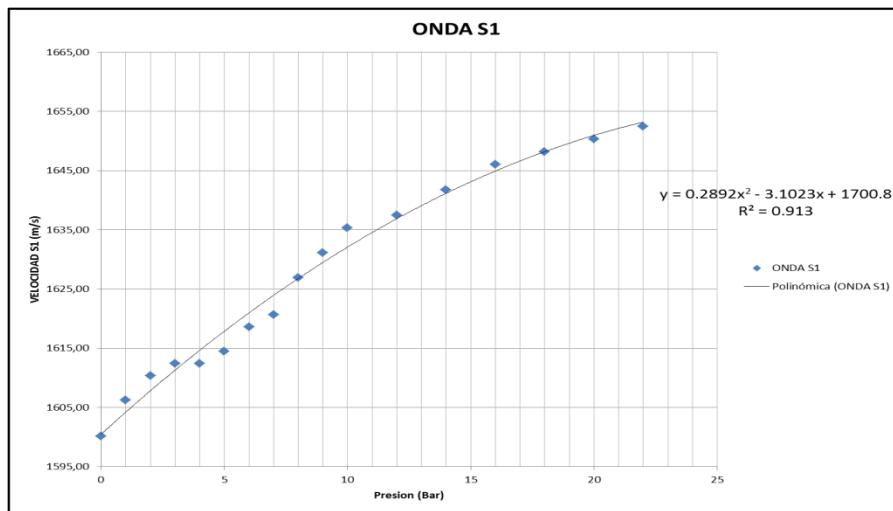
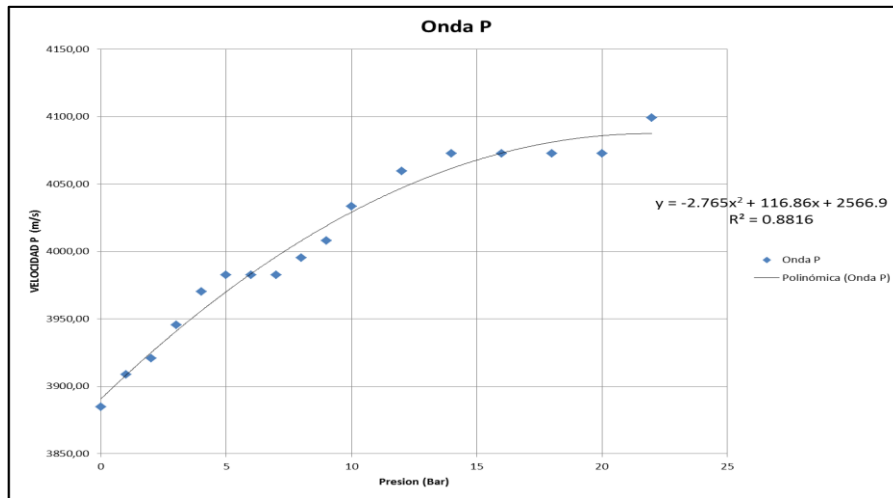


**MUESTRA 4**

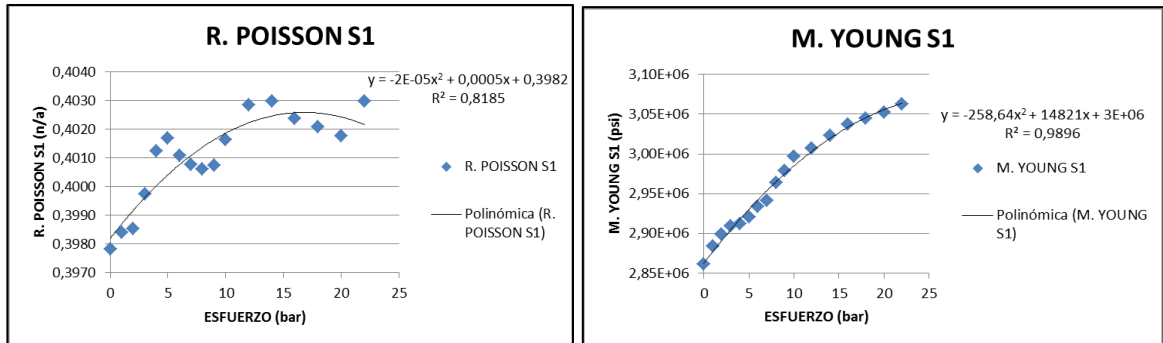
DATOS DE LA MUESTRA 4	
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	2756,441
Longitud (mm)	50,500
Masa (gr)	74,190
Diámetro (mm)	26,050
Volumen (m <sup>3</sup> )	2,692E-05
Datos Endcups	
DATO	Valor
Tiempo P (s)	1,044E-05
Tiempo S (s)	1,988E-05
Tiempo S2 (s)	2,000E-05
Longitud (mm)	60,28
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	8000
Datos acústicos ENDCUPS	
Vel. P (m/s)	5773,946
Vel. S (m/s)	3032,193
Vel. S2 (m/s)	3014,000
Young (GPa)/PSI	192,6513 2,79E+07
Poisson (N/A)	0,30960
Young S2 (GPa)/PSI	190,8015 2,77E+07
Poisson S2 (GPa)	0,31273

DATOS ONDA P Y ONDA S1							
Presion (Bar)	Tiempo P (s)	Tiempo S1 (s)	Velocidad P (m/s)	Velocidad S1 (m/s)	M. Young S1 (Pascales)	R. Poisson S1 (N/A)	M. Young S1 (PSI)
0	2,344E-05	5,144E-05	3884,62	1600,13	1,97E+10	0,3978	2,86E+06
1	2,336E-05	5,132E-05	3908,67	1606,23	1,99E+10	0,3984	2,88E+06
2	2,332E-05	5,124E-05	3920,81	1610,33	2,00E+10	0,3985	2,90E+06
3	2,324E-05	5,120E-05	3945,31	1612,39	2,01E+10	0,3997	2,91E+06
4	2,316E-05	5,120E-05	3970,13	1612,39	2,01E+10	0,4012	2,91E+06
5	2,312E-05	5,116E-05	3982,65	1614,45	2,01E+10	0,4017	2,92E+06
6	2,312E-05	5,108E-05	3982,65	1618,59	2,02E+10	0,4011	2,93E+06
7	2,312E-05	5,104E-05	3982,65	1620,67	2,03E+10	0,4008	2,94E+06
8	2,308E-05	5,092E-05	3995,25	1626,93	2,04E+10	0,4006	2,96E+06
9	2,304E-05	5,084E-05	4007,94	1631,14	2,05E+10	0,4007	2,98E+06
10	2,296E-05	5,076E-05	4033,55	1635,36	2,07E+10	0,4016	3,00E+06
12	2,288E-05	5,072E-05	4059,49	1637,48	2,07E+10	0,4028	3,01E+06
14	2,284E-05	5,064E-05	4072,58	1641,74	2,08E+10	0,4030	3,02E+06
16	2,284E-05	5,056E-05	4072,58	1646,02	2,09E+10	0,4024	3,04E+06
18	2,284E-05	5,052E-05	4072,58	1648,17	2,10E+10	0,4021	3,04E+06
20	2,284E-05	5,048E-05	4072,58	1650,33	2,10E+10	0,4018	3,05E+06
22	2,276E-05	5,044E-05	4099,03	1652,49	2,11E+10	0,4030	3,06E+06
24	1,828E-05	0,000E+00	6441,33	-2540,24	5,01E+10	0,4079	7,26E+06
26	1,464E-05	0,000E+00	12023,81	-2540,24	5,25E+10	0,4766	7,62E+06
28	1,192E-05	0,000E+00	34121,62	-2540,24	5,33E+10	0,4972	7,72E+06

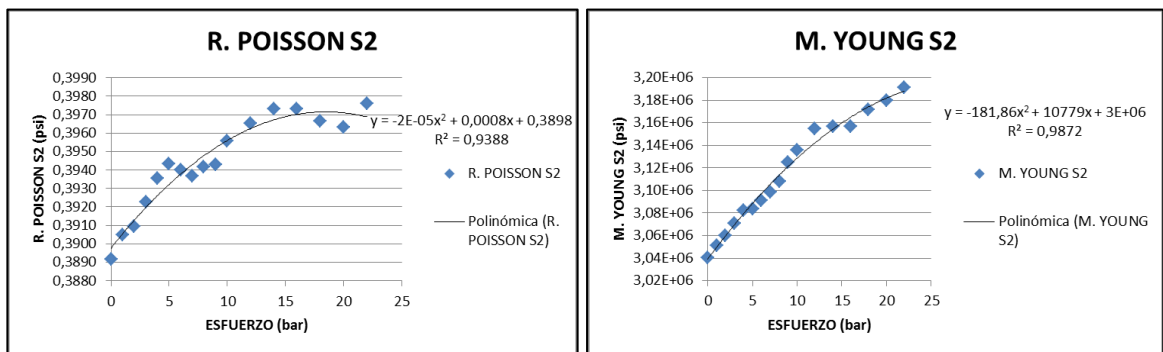
DATOS ONDA S2							
Presion (Bar)	Tiempo P (seg)	Tiempo S2 (seg)	Velocidad P (m/s)	Velocidad S2 (m/s)	M. Young S2 (Pascales)	R. Poisson S2 (N/A)	M. Young S2 (PSI)
0	2,344E-05	5,052E-05	3884,62	1654,65	2,10E+10	0,3892	3,04E+06
1	2,336E-05	5,048E-05	3908,67	1656,82	2,10E+10	0,3905	3,05E+06
2	2,332E-05	5,044E-05	3920,81	1659,00	2,11E+10	0,3910	3,06E+06
3	2,324E-05	5,040E-05	3945,31	1661,18	2,12E+10	0,3923	3,07E+06
4	2,316E-05	5,036E-05	3970,13	1663,37	2,13E+10	0,3935	3,08E+06
5	2,312E-05	5,036E-05	3982,65	1663,37	2,13E+10	0,3944	3,08E+06
6	2,312E-05	5,032E-05	3982,65	1665,57	2,13E+10	0,3940	3,09E+06
7	2,312E-05	5,028E-05	3982,65	1667,77	2,14E+10	0,3937	3,10E+06
8	2,308E-05	5,024E-05	3995,25	1669,97	2,14E+10	0,3941	3,11E+06
9	2,304E-05	5,016E-05	4007,94	1674,40	2,16E+10	0,3943	3,12E+06
10	2,296E-05	5,012E-05	4033,55	1676,63	2,16E+10	0,3956	3,14E+06
12	2,288E-05	5,004E-05	4059,49	1681,09	2,18E+10	0,3965	3,15E+06
14	2,284E-05	5,004E-05	4072,58	1681,09	2,18E+10	0,3973	3,16E+06
16	2,284E-05	5,004E-05	4072,58	1681,09	2,18E+10	0,3973	3,16E+06
18	2,284E-05	4,996E-05	4072,58	1685,58	2,19E+10	0,3966	3,17E+06
20	2,284E-05	4,992E-05	4072,58	1687,83	2,19E+10	0,3963	3,18E+06
22	2,276E-05	4,988E-05	4099,03	1690,09	2,20E+10	0,3976	3,19E+06
24	1,828E-05	0,000E+00	6441,33	-2525,00	4,95E+10	0,4092	7,18E+06
26	1,464E-05	0,000E+00	12023,81	-2525,00	5,19E+10	0,4769	7,53E+06
28	1,192E-05	0,000E+00	34121,62	-2525,00	5,26E+10	0,4972	7,63E+06



**R. POISSON S1 Y M. YOUNG S1**



**R. POISSON S2 Y M. YOUNG S2**

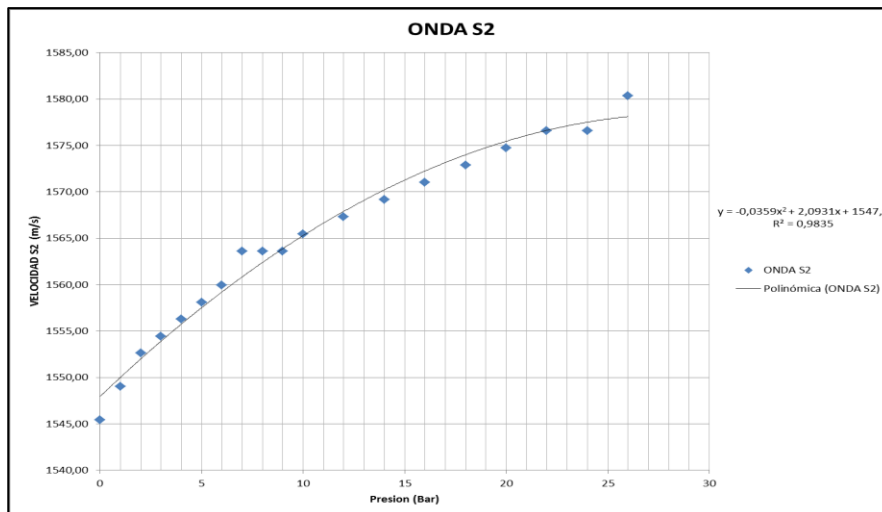
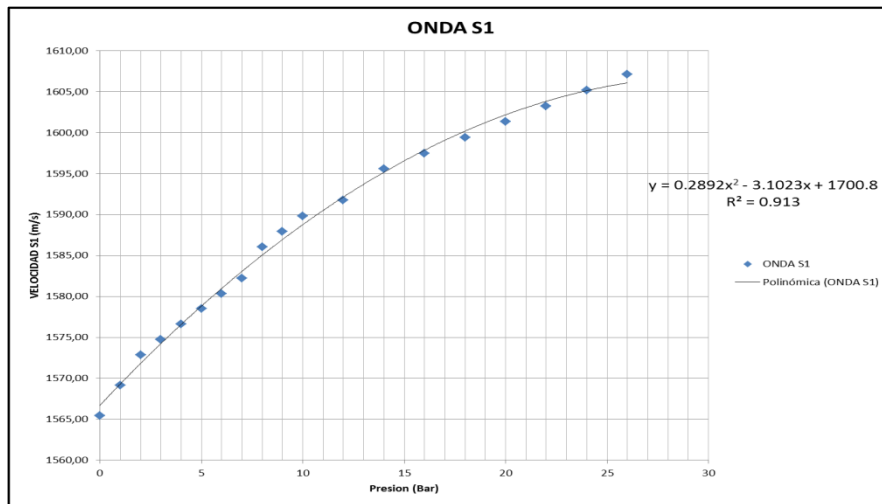
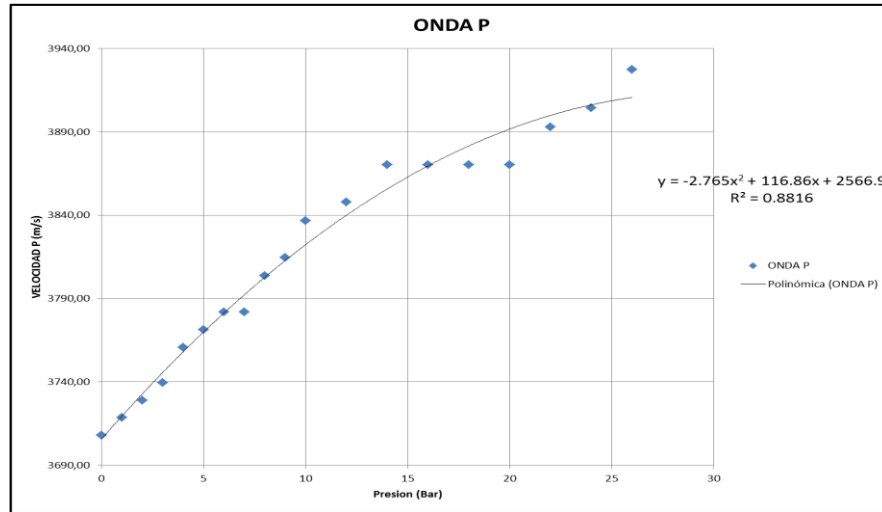


**MUESTRA 5**

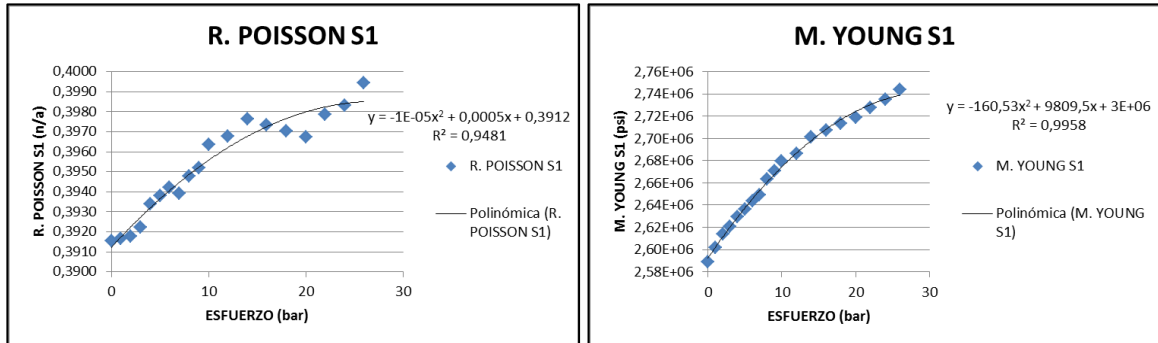
DATOS DE LA MUESTRA 5	
Densidad (Kg/m3)	2617,889
Longitud (mm)	53,100
Masa (gr)	75,460
Diámetro (mm)	26,290
Volumen (m3)	2,882E-05
Datos Endcups	
DATO	Valor
Tiempo P (s)	1,044E-05
Tiempo S (s)	1,988E-05
Tiempo S2 (s)	2,000E-05
Longitud (mm)	60,28
Densidad (kg/m3)	8000
Datos acústicos ENDCUPS	
Vel. P (m/s)	5773,946
Vel. S (m/s)	3032,193
Vel. S2 (m/s)	3014,000
Young (GPa)/PSI	192,6513 <small>2,79E+07</small>
Poisson (N/A)	0,30960
Young S2 (GPa)/PSI	190,8015 <small>2,77E+07</small>
Poisson S2 (GPa)	0,31273

DATOS ONDA P Y ONDA S1							
Presion (Bar)	Tiempo P (s)	Tiempo S1 (s)	Velocidad P (m/s)	Velocidad S1 (m/s)	M. Young S1 (Pascuales)	R. Poisson S1 (N/A)	M. Young S1 (PSI)
0	2,476E-05	5,380E-05	3708,10	1565,45	1,79E+10	0,3916	2,59E+06
1	2,472E-05	5,372E-05	3718,49	1569,15	1,79E+10	0,3917	2,60E+06
2	2,468E-05	5,364E-05	3728,93	1572,87	1,80E+10	0,3918	2,61E+06
3	2,464E-05	5,360E-05	3739,44	1574,73	1,81E+10	0,3922	2,62E+06
4	2,456E-05	5,356E-05	3760,62	1576,60	1,81E+10	0,3934	2,63E+06
5	2,452E-05	5,352E-05	3771,31	1578,48	1,82E+10	0,3938	2,64E+06
6	2,448E-05	5,348E-05	3782,05	1580,36	1,82E+10	0,3942	2,64E+06
7	2,448E-05	5,344E-05	3782,05	1582,24	1,83E+10	0,3939	2,65E+06
8	2,440E-05	5,336E-05	3803,72	1586,02	1,84E+10	0,3948	2,66E+06
9	2,436E-05	5,332E-05	3814,66	1587,92	1,84E+10	0,3952	2,67E+06
10	2,428E-05	5,328E-05	3836,71	1589,82	1,85E+10	0,3964	2,68E+06
12	2,424E-05	5,324E-05	3847,83	1591,73	1,85E+10	0,3968	2,69E+06
14	2,416E-05	5,316E-05	3870,26	1595,55	1,86E+10	0,3976	2,70E+06
16	2,416E-05	5,312E-05	3870,26	1597,47	1,87E+10	0,3973	2,71E+06
18	2,416E-05	5,308E-05	3870,26	1599,40	1,87E+10	0,3970	2,71E+06
20	2,416E-05	5,304E-05	3870,26	1601,33	1,88E+10	0,3967	2,72E+06
22	2,408E-05	5,300E-05	3892,96	1603,26	1,88E+10	0,3979	2,73E+06
24	2,404E-05	5,296E-05	3904,41	1605,20	1,89E+10	0,3983	2,74E+06
26	2,396E-05	5,292E-05	3927,51	1607,14	1,89E+10	0,3994	2,74E+06
28	2,028E-05	0,000E+00	5396,34	-2671,03	5,00E+10	0,3378	7,25E+06

DATOS ONDA S2							
Presion (Bar)	Tiempo P (seg)	Tiempo S2 (seg)	Velocidad P (m/s)	Velocidad S2 (m/s)	M. Young S2 (Pascuales)	R. Poisson S2 (N/A)	M. Young S2 (PSI)
0	2,476E-05	5,436E-05	3708,10	1545,40	1,74E+10	0,3949	2,53E+06
1	2,472E-05	5,428E-05	3718,49	1549,01	1,75E+10	0,3950	2,54E+06
2	2,468E-05	5,420E-05	3728,93	1552,63	1,76E+10	0,3951	2,55E+06
3	2,464E-05	5,416E-05	3739,44	1554,45	1,77E+10	0,3956	2,56E+06
4	2,456E-05	5,412E-05	3760,62	1556,27	1,77E+10	0,3967	2,57E+06
5	2,452E-05	5,408E-05	3771,31	1558,10	1,78E+10	0,3971	2,57E+06
6	2,448E-05	5,404E-05	3782,05	1559,93	1,78E+10	0,3975	2,58E+06
7	2,448E-05	5,396E-05	3782,05	1563,60	1,79E+10	0,3969	2,59E+06
8	2,440E-05	5,396E-05	3803,72	1563,60	1,79E+10	0,3983	2,60E+06
9	2,436E-05	5,396E-05	3814,66	1563,60	1,79E+10	0,3990	2,60E+06
10	2,428E-05	5,392E-05	3836,71	1565,45	1,80E+10	0,4001	2,60E+06
12	2,424E-05	5,388E-05	3847,83	1567,30	1,80E+10	0,4005	2,61E+06
14	2,416E-05	5,384E-05	3870,26	1569,15	1,81E+10	0,4016	2,62E+06
16	2,416E-05	5,380E-05	3870,26	1571,01	1,81E+10	0,4014	2,63E+06
18	2,416E-05	5,376E-05	3870,26	1572,87	1,81E+10	0,4011	2,63E+06
20	2,416E-05	5,372E-05	3870,26	1574,73	1,82E+10	0,4008	2,64E+06
22	2,408E-05	5,368E-05	3892,96	1576,60	1,82E+10	0,4019	2,65E+06
24	2,404E-05	5,368E-05	3904,41	1576,60	1,83E+10	0,4026	2,65E+06
26	2,396E-05	5,360E-05	3927,51	1580,36	1,84E+10	0,4034	2,66E+06
28	2,028E-05	0,000E+00	5396,34	-2655,00	4,95E+10	0,3403	7,17E+06



R. POISSON S1 Y M. YOUNG S1



R. POISSON S2 Y M. YOUNG S2

