

### INTRODUCCIÓN A LA GEOTECNIA

En este primer tema se dará a conocer todo lo relacionado con conceptos básicos en la geotecnia, comparación con otras ramas de la Ingeniería, Importancia en el campo laboral, así como un repaso de las propiedades de las rocas y suelos que son importantes para luego realizar un buen diseño de obras civiles y otras aplicaciones en la construcción. a continuación se presenta el esquema a desarrollar:

- Concepto de geotecnia.
- Clasificación geológica general de las rocas.
- Clasificación de las rocas con fines geotécnicos.
- Concepto de macizo rocoso.
- Clasificaciones geomecánicas utilizadas para la clasificación de macizos rocosos.
- Propiedades físicas y mecánicas de las rocas.
- Reconocimiento geotécnico.
- Roca como material de construcción

### GEOTECNIA

Es la rama de la ingeniería civil que se encarga del estudio de las propiedades mecánicas e hidráulicas e ingenieriles de los materiales provenientes de la tierra. Investiga los suelos y la rocas por debajo de la superficie para determinar sus propiedades y diseñar:

**Taludes**, es una pendiente producto del trazado y excavación de una carretera

**Cimentaciones**, de edificios y puentes.

**Presas**, son estructuras que pueden ser construidas de suelo o roca y que para su estabilidad y estanqueidad depende de los materiales sobre el que está asentado o de los que lo rodean.

**Túneles**, son estructuras construidas a través del suelo o roca y dependen de las características de los materiales a través de los cuales son construidos para definir el sistema de construcción, la duración de la obra y los costos.

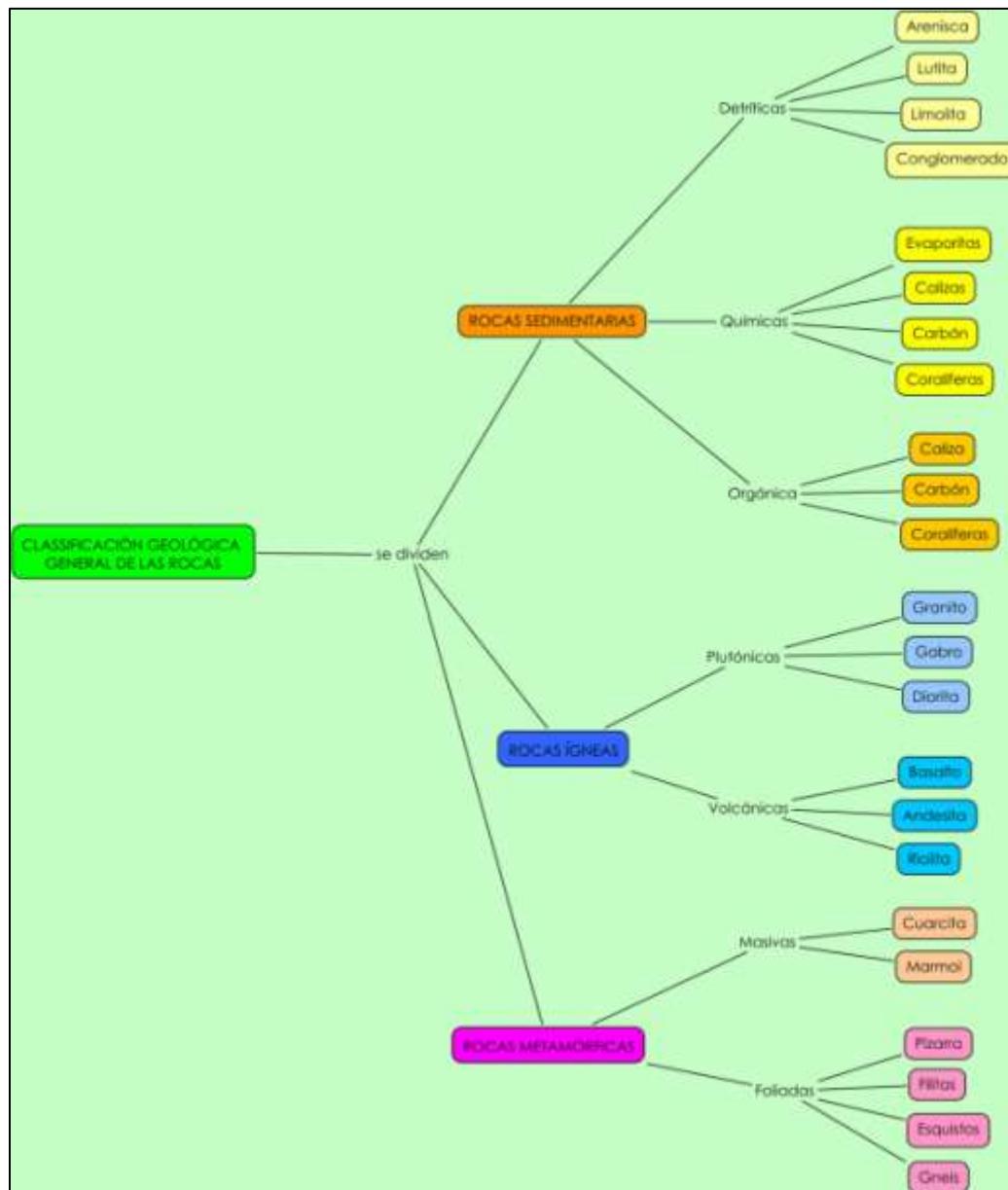


Relación de la geología con la Ingeniería dando soluciones geotécnicas y mitigación de riesgo. (González de Vallejo, Ferrer, Ortúñoz, & Oteo, 2002)

**Las rocas:** son agregados naturales compuesto de partículas de uno o más minerales, con fuertes uniones cohesivas permanentes, que constituyen masas geológicamente independientes y cartografiadas.

**Los suelos:** según su acepción geotécnica, son agregados naturales de partículas minerales granulares y cohesivas separables por medios mecánicos de poca energía.

### CLASIFICACION GEOLÓGICA GENERAL DE LAS ROCAS



### CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS CON FINES GEOTECNICOS

La clasificación de las rocas con fines ingenieriles es compleja, debido a que deben cuantificarse las propiedades para emplearlas en el cálculo del diseño.

**a) La resistencia a la compresión simple**, en base a su valor se establecen clasificaciones en mecánica de rocas.

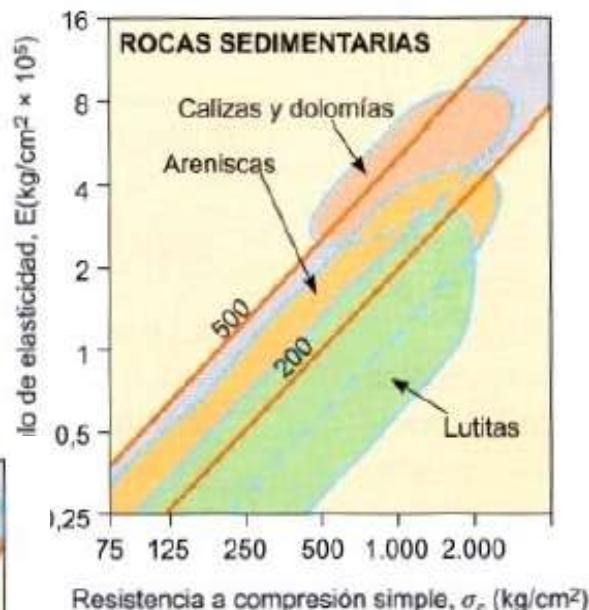
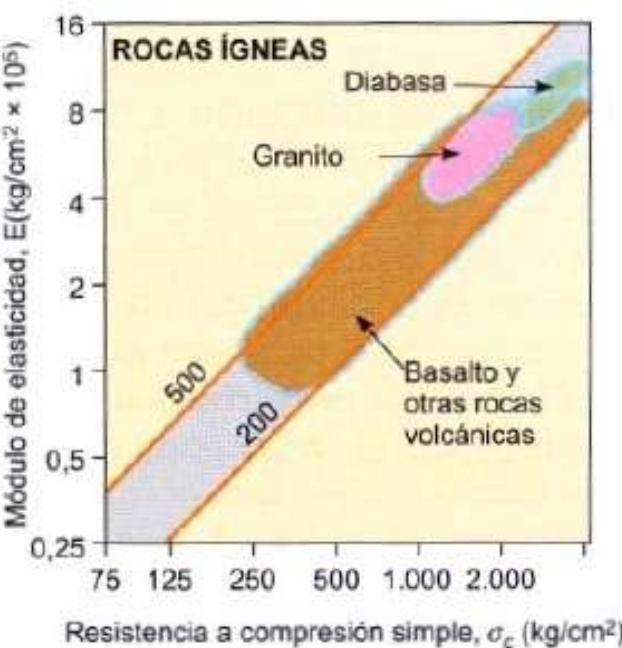
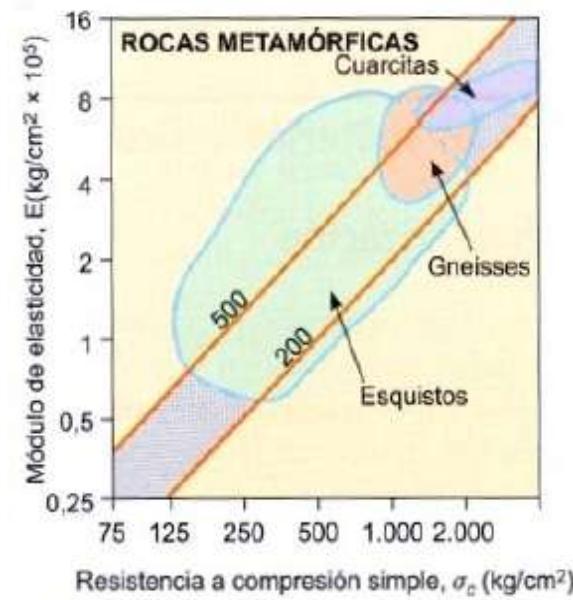
**b) El módulo relativo**, relación entre el módulo de elasticidad (E) y su resistencia a la compresión simple ( $\sigma_c$ ), relación que varía según la litología.

**c) El grado de meteorización**, o alteración de la matriz rocosa permite clasificar las rocas cualitativamente. Aportando una idea sobre sus características mecánicas o geotécnicas. Aumenta la porosidad, permeabilidad y deformabilidad y disminuye su resistencia.

Clasificación de las rocas a partir de su resistencia a la compresión simple ( $\sigma_c$ ) (Ferrer & Gonzalez de V., 2007)

Clasificación de las rocas a partir de su resistencia a la compresión simple

Resistencia a la compresión simple (MPa)	ISRM (1981)	Geological Society of London (1970)	Bieniawski (1973)	Ejemplos
< 1	Suelos			
1-5	Muy blanda	Blanda > 1,25		
5-12,5	Blanda	Moderadamente blanda	Muy baja	Sal, lutita, limolita, marga, toba, carbón.
12,5-25		Moderadamente dura		
25-50	Moderadamente dura	Dura	Baja	Esquisto, pizarra.
50-100	Dura	Dura	Media	Rocas metamórficas esquistosas, mármol, granito, gneiss, arenisca, caliza porosa.
100-200	Muy dura	Muy dura	Alta	Rocas ígneas y metamórficas duras, arenisca muy cementada, caliza, dolomía.
> 200		Extremadamente dura	Muy alta	Cuarcita, gabro, basalto.
> 250	Extremadamente dura			



Clasificación de las rocas en función del módulo relativo ( $E/\sigma_c$ ): categorías, elevado, medio y bajo. (entre 200 y 500) . (González de Vallejo, Ferrer, Ortúñoz, & Oteo, 2002)

### CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE MACIZOS ROCOSOS

**Matriz Rocosa:** es el material rocoso exento de discontinuidades, o los bloques de roca "intacta" que quedan entre ellas, se caracteriza por su peso específico, deformabilidad y resistencia.

**Discontinuidad:** es cualquier plano de origen mecánico o sedimentario en un macizo rocoso, generalmente con una resistencia a la tracción muy baja o nula. La presencia de discontinuidades implica un comportamiento no continuo del macizo rocoso.

**Macizo Rocoso:** es el conjunto de matriz rocosa y discontinuidades. La presencia de discontinuidades de diverso tipo le da al macizo rocoso un carácter heterogéneo y un comportamiento no continuo.

- Clasificación de Bieniawski (RMR)
- Clasificación de Barton (Q)
- Clasificación de Romana (SMR)
- Clasificación de Hoek y Brown (GSI)

### PROPIEDADES FÍSICAS O ÍNDICE DE LAS ROCAS

**1) La porosidad:** es la relación entre el volumen ocupado por los huecos o poros de la roca  $V_v$  y el volumen de la muestra  $V_m$ .

$$(\%)n = \frac{V_v}{V_m}$$

Varían entre valores normales 0% a 100%

**2) El peso específico o el peso unitario,** depende de las componentes, es el peso por unidad de volumen. Se determina con la balanza hidrostática.

Las rocas a diferencia de los suelos, presentan una gran variación del peso específico.

$$\gamma = \frac{W_m}{V_m}$$

Valores de variación 1,9 y 3,0 g/cm<sup>3</sup>, t/m<sup>3</sup> (1900 – 3000) kg/m<sup>3</sup>.

**3) Permeabilidad:** Indica la mayor o menor facilidad con que el agua fluye a través de la roca. La mayoría de las rocas presentan permeabilidades bajas a muy bajas.

Valores de  $K$  comprendidos entre  $10^{-5}$  y  $10^{-13}$  m/s.

**4) Durabilidad:** (alterabilidad) es la resistencia que la roca presenta ante los procesos de alteración y desintegración. La durabilidad de la roca aumenta con la densidad y se reduce con el contenido de agua.

### PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS ROCAS

- Resistencia a la compresión simple ( $\sigma_c$ ).
- Resistencia a la tracción ( $\sigma_t$ ).
- Resistencia de la roca (cohesión ( $c$ ) y ángulo de fricción interna ( $\phi$ )).
- Velocidad de ondas elásticas (Longitudinales  $V_p$  y transversales  $V_s$ ).
- Deformabilidad (módulo de young ( $E$ ) y coeficiente de poisson ( $\nu$ )).

**1) Resistencia a la compresión simple ( $\sigma_c$ ):** (o resistencia uniaxial) es el máximo esfuerzo que soporta la roca sometida a compresión uniaxial. Se determina sobre una probeta cilíndrica sin confinar en el laboratorio:

$$\sigma_c = \frac{F_c}{A} = \frac{\text{Fuerza compresiva aplicada}}{\text{Área de aplicación}}$$

Métodos de determinación:

- Ensayo de compresión uniaxial (ensayo de compresión simple)
- Ensayo de carga puntual, PLT
- Martillo de Schmidt (esclerómetro)
- Índices de campo



Martillo de Schmidt (Arlegui, 2008)

Ábaco del Martillo de Schmidt (Arlegui, 2008)

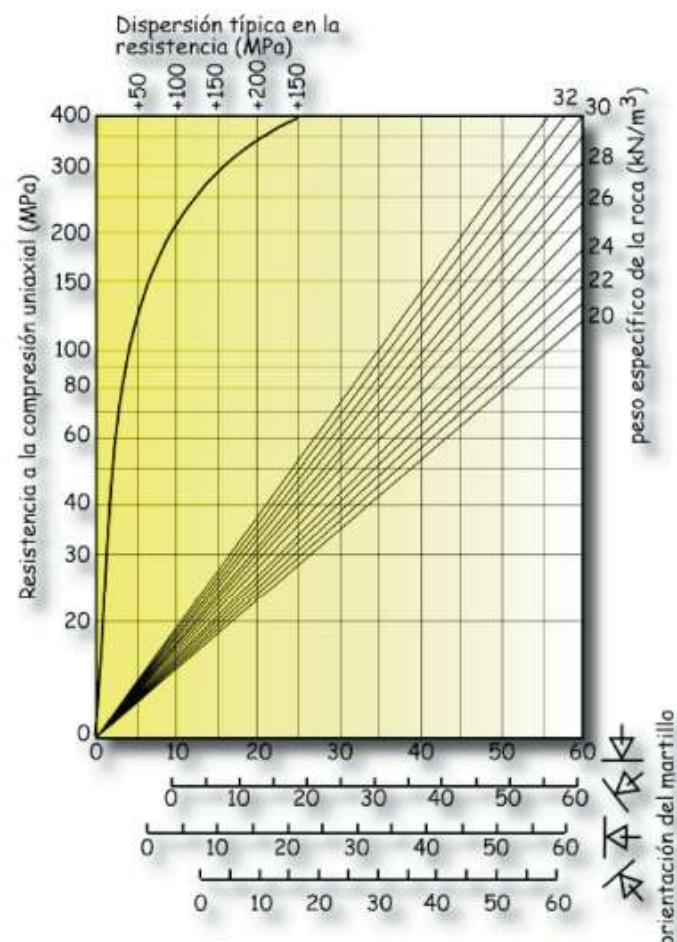


Tabla correspondiente a rangos de resistencia de las rocas

Clase	Descripción	Identificación en el campo	≈MPa
R0	extremadamente blanda	se puede marcar con la uña	0,25-1,0
R1	muy blanda	se desmenuza con el martillo, se talla con navaja	1-5
R2	blanda	se marca con el martillo, cuesta tallar con navaja	5-25
R3	moderadamente dura	no puede tallarse con navaja, se rompe con martillo	25-50
R4	dura	se requiere más de un golpe para romperla	50-100
R5	muy dura	se requieren muchos golpes	100-250
R6	extremadamente dura	al golpear sólo saltan esquirlas	>250

Tabla de índices de campo para rocas del ISRM (1981).

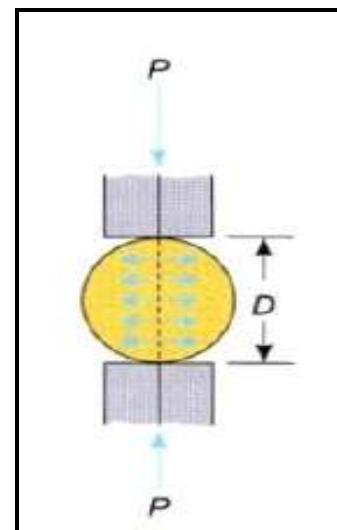
**2) Resistencia a la tracción ( $\sigma_t$ ):** es el máximo esfuerzo que soporta el material ante la rotura por tracción. Se obtiene aplicando fuerzas traccionales o distensivas a una probeta cilíndrica de roca en el laboratorio.

En el ensayo de tracción indirecta o brasileño la resistencia se obtiene mediante la ecuación:

$$\sigma_t = \frac{2P}{\pi DL}$$

Donde:

P = carga que produce la rotura.  
D = diámetro de la probeta.  
L = Longitud de la probeta.



Resistencia a la tracción (González  
de Vallejo, Ferrer, Ortúñoz, & Oteo,

El valor de  $\sigma_t$  de la matriz rocosa suele variar entre el 5% y 10% del valor de su resistencia a la compresión simple.

Muestra de roca sometida a ensayo de tracción, ULA



**3) Resistencia de la roca (cohesión (c) y ángulo de fricción interna ( $\phi$ )):** se utiliza para determinar dichos parámetros el ensayo de compresión triaxial.

Este ensayo representa las condiciones de las rocas in situ sometidas a esfuerzos confinantes, mediante la aplicación de presión hidráulica confinante uniforme alrededor de la probeta.

Permite determinar la envolvente o línea de resistencia del material rocoso ensayado, a partir de los cuales se obtienen los valores de sus parámetros resistentes cohesión (C) y ángulo de fricción interna ( $\phi$ ).

La cohesión varía entre valores de (3 – 100) MPa. y el ángulo de fricción interna varía entre valores de 15° a 55° .

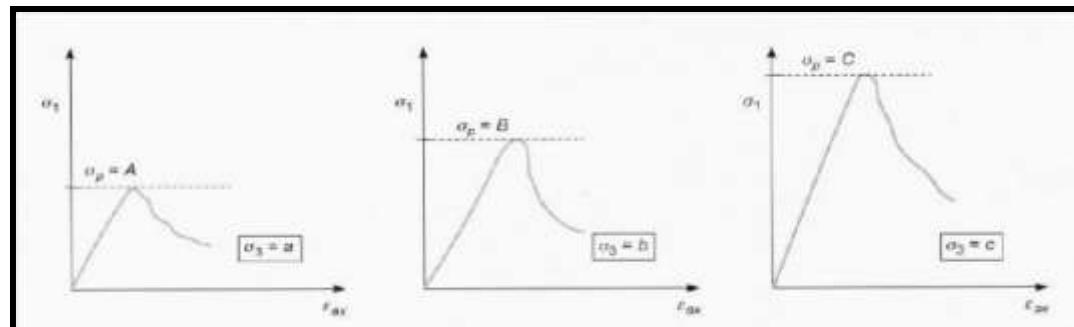


Gráfico esfuerzo Vs deformación en roca para diferentes presiones de confinamiento.

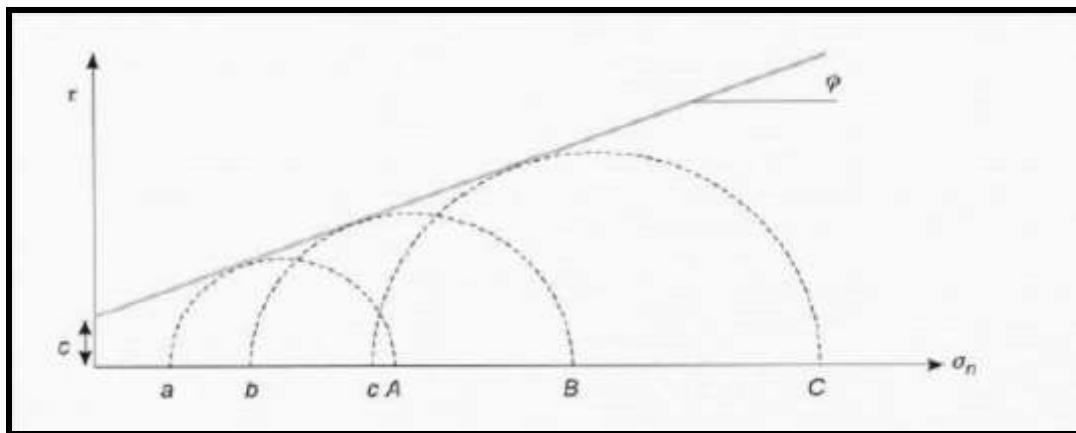


Gráfico de la envolvente de rotura de Mohr - Coulomb en roca obtenido a partir de ensayos triaxiales.

**4) Deformabilidad (módulo de young (E) y coeficiente de poisson (v)):** es la propiedad que tiene la roca para alterar su forma como respuesta a la actuación de fuerzas. La deformabilidad de las rocas se expresan por sus constantes elásticas E y v y se obtienen con el ensayo de compresión simple.

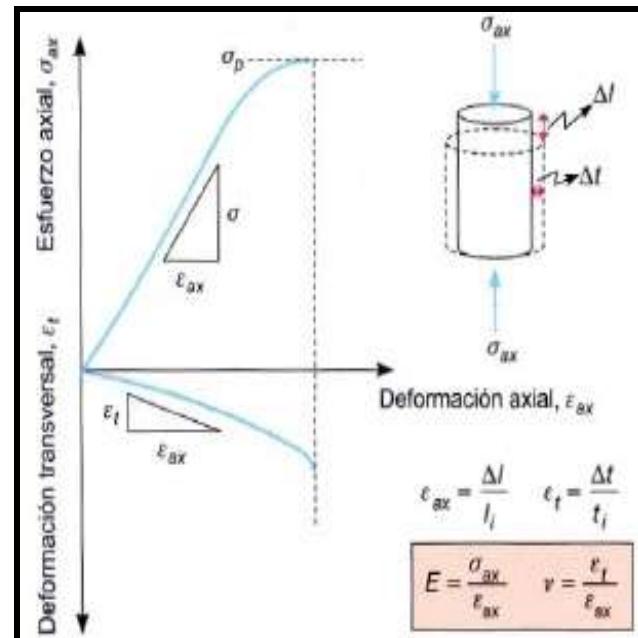


Gráfico esfuerzo Vs deformación a partir de ensayo de compresión simple. Muestra las variables para determinar las constantes elásticas.

El modulo de young, E define la relación lineal elástica entre los esfuerzos aplicados y la deformación producida en la dirección de aplicación del esfuerzo.

El módulo de elasticidad E en una roca varía entre 25.000 a 30.000 MPa o  $(2.5 - 3.0) \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ .

El coeficiente de poisson  $\nu$ , define la deformación entre la deformación transversal y axial, en una roca varía por lo general entre 0,15 a 0,33 .

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_{ax}} \quad (\text{unidades de esfuerzo})$$
$$\nu = \frac{\epsilon_t}{\epsilon_{ax}} \quad (\text{adimensional})$$

Las constantes E y  $\nu$ , también se pueden obtener a partir del ensayo de velocidad de ondas sónicas y corresponde a valores de E y  $\nu$  dinámicos los cuales son mayores a los estáticos.

**5) Velocidad de propagación de las ondas elásticas (Longitudinales  $V_p$  y transversales  $V_s$ )**, al atravesar la roca depende de la densidad y de las propiedades elásticas del material.

La velocidad varía entre 1000 a 6000 m/s. Para las rocas alteradas o meteorizadas < 900 m/s. Por ejemplo; el granito sano presenta velocidades de 6000 m/s y cuando el granito está descompuesto de 800 m/s.

El aparato utilizado para medir la velocidad es el de velocidad de onda sónica.

### EXPLORACIÓN GEOTECNICA

#### Importancia de la exploración de roca:

En ingeniería de roca, la exploración de roca es tan importante como lo es la exploración del suelo en ingeniería de suelos y fundaciones. La práctica de la ingeniería civil ha demostrado que el diseño cuidadoso de una estructura de ingeniería no es todo lo que se necesita para su seguridad y estabilidad.

La exploración de la roca de un sitio de construcción y sus alrededores es hecha usualmente atendiendo a los siguientes siete parámetros:

- Exploración Geológica.
- Exploración Hidrológica.
- Exploración Geofísica.
- Exploración Térmica.
- Evaluación de la roca en cuanto a su trabajabilidad.
- Un estudio de la obtención de roca para la construcción.

- Pruebas in-situ y de laboratorio de propiedades de resistencia de las rocas.

### Exploración geológica:

La exploración geológica tiene que ver con las condiciones geológicas de las rocas del terreno y las obras de construcción, así como con las diversas propiedades de la roca. De interés son las estructuras geológicas, la estratificación, las condiciones tectónicas como las fallas y los sistemas de fallas, y la naturaleza de las debilidades y discontinuidades de las rocas; la naturaleza petrográfica de las rocas y sus efectos sobre las cargas de apoyo; y el rendimiento de la roca bajo la acción de cargas, agua, y temperaturas.

### Exploración hidrológica:

La exploración hidrológica debe proporcionar información sobre:

- Precipitación.
- Superficies de escorrentía.
- Condiciones de inundación y marea.
- Lo concerniente a las capas de agua subterránea (su número, su profundidad).
- La posición de la capa freática y sus fluctuaciones.
- El flujo de agua subterránea (dirección y velocidad).
- La ubicación de los manantiales, la posibilidad de filtración de agua en las excavaciones de roca.
- Aberturas subterráneas.

También, el agua subterránea debe ser probada por su agresividad con respecto al suelo, las rocas y los materiales de base de la construcción.

### Exploración geofísica:

La exploración geofísica se practica para detectar cambios en la roca de algunas propiedades físicas, por ejemplo, la gravedad específica, el magnetismo, o la transmisión o reflexión de las ondas sísmicas. La Exploración de la roca in situ se puede hacer de forma rápida y relativamente económica por medio de métodos sísmicos. A partir del tiempo de viaje de las ondas sísmicas, que son recogidos en la superficie

del suelo por medio de sismógrafos, se puede determinar el espesor y el estado de diferentes estratos de roca.

### Exploración térmica:

La Exploración Térmica e hidrotermal deberán presentar información acerca de temperaturas subterráneas y los gradientes termales en la roca. Esta información se necesita para el diseño de la ventilación y/o sistemas de aire acondicionado para las estructuras subterráneas durante su construcción y los servicios. Las variaciones de temperatura pueden provocar desprendimientos de roca. Grandes variaciones en la temperatura inducen tensiones termales en la roca, sobre todo en granito y otras rocas de grano grueso.

### Evaluación de la roca en cuanto a su trabajabilidad.

La evaluación de la roca en cuanto a su viabilidad y trabajabilidad es de gran importancia, y es necesario para la adquisición y el uso eficaz de los equipos de trabajo en la roca. Esta evaluación también tiene una incidencia en excavación, en la toma de decisiones en cuanto a si es o no el empernado de roca que se necesita, o si el anillo de soporte se va a utilizar para apoyar a las paredes del túnel, y similares.

Las rocas son muy diferentes en su valor para la construcción. Varían notablemente en sus cualidades de resistencia a la intemperie a los agentes atmosféricos como la lluvia, las heladas y el viento. Las rocas varían también en cuanto a su dureza, este factor afecta a la velocidad de perforación sobre ellas y por tanto el coste.

### RECONOCIMIENTO GEOTECNICO:

Permite reconocer las características del terreno involucrado.

- Define la tipología y dimensiones de la obra.
- Determina los problemas constructivos.

Determinación del volumen, localización y tipos de materiales que han de ser excavados, forma y maquinaria adecuada para llevar a cabo la excavación.

Localización y características de materiales para préstamo.

Problemas hidrogeológicos: profundidad del nivel freático, riesgo de filtraciones, influencia del agua en la estabilidad y asiento de las estructuras.

### TECNICAS DE RECONOCIMIENTO:

- Inspección Visual (caracterización del macizo rocoso, Identificación del tipo de suelo)
- Técnicas de campo. (calicatas, sondeos, métodos geofísicos)

**a) Calicatas:** Son excavaciones de profundidades pequeñas (5m), realizada con palas retroexcavadora.

- Permite inspección directa del suelo.
- Muestreo del suelo. (toma de muestras, pueden ser alteradas o inalteradas)
- Materiales de construcción.
- Realización de ensayos de campo (densímetro nuclear).

**b) Sondeos:** Prospección manual o mecánica.

- Se obtienen testigos del terreno perforado, que permiten realizar ensayos en el laboratorio.
- Se alcanzan profundidades mayores a las de las calicatas.
- Reconocer el terreno bajo el nivel freático.
- Atravesar capas de roca o suelo resistente.
- Realizar ensayos "in situ" SPT, Permeabilidad (Lugeon).
- Se pueden obtener muestras alteradas SPT (cuchara partida) o muestras inalteradas con el toma muestra de pared delgada tipo shelby.

### Ensayo de Penetración

**Normal SPT:** Consiste en contar el número de golpes que se requieren para hincar 30 cm. Se utiliza una cuchara saca muestras (cuchara partida) de aproximadamente 2" de diámetro se hinca, en el fondo del pozo mediante la



Equipo de perforación geotécnica. Realiza el ensayo de SPT ULA.

acción de golpes de un martíete que pesa 65 kg, el cual cae de una altura de 75 cm.

### c) Métodos Geofísicos:

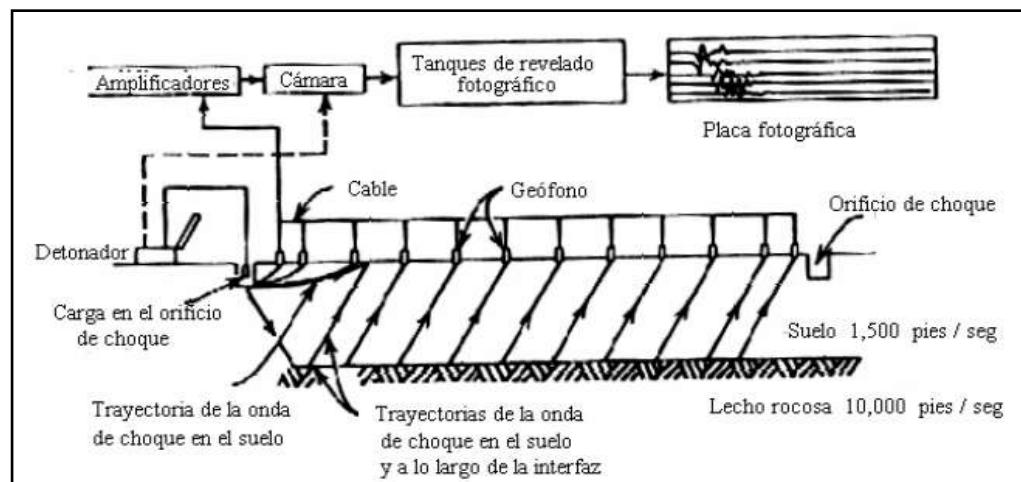
**Métodos Eléctricos:** Consiste en enviar mediante dos electrodos imparablemente una corriente eléctrica de intensidad  $i$ , e ser posible continua y medir la diferencia de potencial  $\Delta V$ , existente entre los dos electrodos, permitiendo calcular la resistividad.

tabla de Resistividad

[http://icc.ucv.cl:8080/geotecnia/03\\_docencia/02\\_laboratorio/manual\\_laboratorio/prospeccion\\_de\\_suelos.pdf](http://icc.ucv.cl:8080/geotecnia/03_docencia/02_laboratorio/manual_laboratorio/prospeccion_de_suelos.pdf)

Tipo de Suelo	Resistividad ( Ohms * cm )
Arcilla o limo orgánico saturado	500 - 2000
Arcilla o limo inorgánico saturado	1000 - 5000
Arcillas y limos duros semisaturados, arenas y gravas saturadas	5000 - 15000
Lutitas, arcillas y limos secos	10000 - 50000
Areniscas, arenas y gravas secas	20000 - 100000
Rocas cristalinas, sanas	100000 - 1000000

**Métodos Sísmicos (refracción):** A cierta distancia del lugar donde se produce el impacto, se colocan geófonos, dispuestos en línea recta. A través de un sismógrafo se registra el tiempo empleado por la onda elástica en llegar a cada detector y por medio de una ecuación se determina el espesor del estrato de estudio.



Método sísmico de refracción

tabla de Velocidad

[http://icc.ucv.cl:8080/geotecnia/03\\_docencia/02\\_laboratorio/manual\\_laboratorio/prospeccion\\_de\\_suelos.pdf](http://icc.ucv.cl:8080/geotecnia/03_docencia/02_laboratorio/manual_laboratorio/prospeccion_de_suelos.pdf)

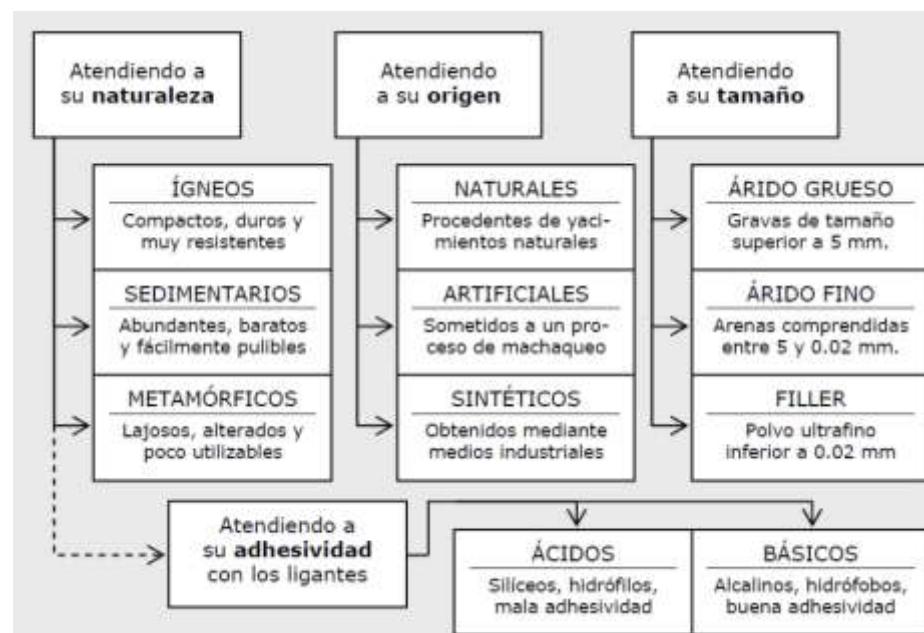
Tipo de suelo	Velocidad ( mt / seg )
Arena suelta seca	150 - 450
Arcilla dura parcialmente saturada	600 - 1200
Suelo seco saturado	1600
Suelo saturado	1200 - 3000
Roca sana	2000 - 6000

## LA ROCA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN:

**A) Como agregados (áridos):** arena, piedra picada, polvo de roca (equivale entre el 75% al 85% el volumen de las estructuras de pavimentos)

- o Agregados naturales: gravas y arenas.
- o procesados: han sido triturados y tamizados antes de ser usados. Por ejemplo las gravas naturales son trituradas y los fragmentos de roca se reducen de tamaño.

Criterios de clasificación de los áridos. (Bañón Blázquez & Beviá García, 2002)  
<http://hdl.handle.net/10045/1787>



**B) Como piedra de construcción:** Las rocas de las que se pueden extraer áridos son: rocas calcáreas, rocas ígneas y metamórficas (granito, basalto y cuarcita).

### C) Confección de hormigones (concreto) y morteros:

- Hormigón (piedra picada, grava y arena y corresponde al 80%, cemento, agua y aditivos).
- Morteros (cemento, arena y agua).

### D) Balastos de vías férreas:

- Piedra donde se colocan los durmientes, evita que nazca la vegetación, distribución de las cargas, colchón de plasticidad.
- Materiales: piedra caliza triturada, ya que era muy abundante, pero hoy en día se usan piedras más duras, como el granito o la gravilla.
- El tamaño del balasto está entre 2,5 y 6 cm.

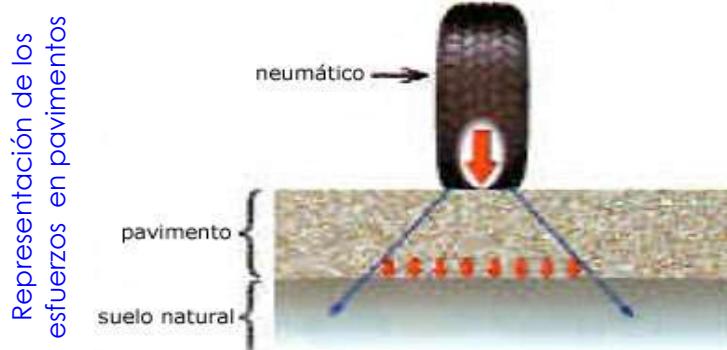
El balasto sujeta la vía en su emplazamiento y le proporciona el drenaje adecuado, a la vez que reparte la presión bajo la traviesa para impedir que el subsuelo blando se dañe con el peso de los trenes.



Balastos en vías férreas.

**E) Base y sub-bases de carreteras:** Las bases y sub-bases son capas de material pétreo adecuadamente seleccionadas para traspasar las cargas de la carpeta de rodadura a la sub-rasante (Infraestructura). Puesto que los esfuerzos en un pavimento decrecen con la profundidad, la ubicación de estos materiales dentro

de la estructura de un pavimento (superestructura), está dada por las propiedades mecánicas de cada una de ellas.



La sub-base: Es la capa granular localizada entre la sub-rasante y la base en

pavimentos flexibles o rígido y ocasionalmente, sobre todo en pavimentos rígidos, se puede prescindir de ella.

**La base:** Capa sobre sub-base o sub-rasante destinada a sustentar la estructura del pavimento. Es la capa que recibe la mayor parte de los esfuerzos producidos por los vehículos. Regularmente esta capa además de la compactación, necesita otro tipo de mejoramiento (estabilización) para poder resistir las cargas del tránsito sin deformarse y además transmitirlas en forma adecuada a las capas inferiores.

**F) Para terraplenes de presas de tierra.**

**G) Elaboración de cemento (calizas trituradas)**

**H) Rellenos:** Escolleras, pedraplén, terraplén.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arlegui. (2008). *Ingeniería Geológica y prospección geofísica*.

Bañón Blázquez, L., & Beviá García, J. (2002). *Manual de Carreteras* (Vol. Volumen II: construcción y mantenimiento). Alicante : Ortiz e Hijos, Contrastista de Obras, S.A.,.

Ferrer, M., & Gonzalez de V., L. (2007). *Manual de campo para la descripción y caracterización de macizos rocosos en afloramientos* (2 ed.). Madrid, España: Instituto Geológico y Minero de España.

González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortúñoz, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería geológica*. Madrid: Pearson Educación.

Otras referencias

Hoek, E., 2001. *Rock engineering. Course notes by Evert Hoek*. Rocscience Inc. 324 pp.  
Documento pdf. [http://www.rockscience.com/education/hoeks\\_corner](http://www.rockscience.com/education/hoeks_corner)