

MECANICA DE ROCAS

PROPIEDADES INTRINSICAS



MECANICA DE ROCAS

Introducción.

- Para obtener las propiedades de las rocas la muestra debe de tener el tamaño adecuado para que incluya un gran número de partículas constituyentes, excluyendo las discontinuidades estructurales mayores, de forma que las propiedades de la muestra sean homogéneas.
- Las probetas se suelen preparar a partir de los testigos obtenidos sondeos.
- A veces se pueden extraer bloques de roca de la mina y obtener de ellos probetas cilíndricas mediante una sonda en el laboratorio. Estos bloques deben extraerse prescindiendo de voladuras, para evitar posibles errores debido a las tensiones generadas .
- La humedad tiene una influencia sensible en el comportamiento de la roca, las muestras deben parafinarse.

MECANICA DE ROCAS

- Para determinar las propiedades de las rocas, sigue un procedimiento preestablecido, iniciándose con la obtención de testigos de rocas de diámetros variados.
- Posteriormente los testigos son cortados en sus extremos mediante sierras especiales para roca las cuales están diamantadas, luego deberán ser pulidos en máquina esmeril, tratando que las bases sean lo más paralelas posibles entre sí, y de que estas no contengan asperezas. El pulido de las bases se realiza usando el compuesto carburo de silicio, malla 320 y 240, más agua logrando el paralelismo necesario.
- Ensayos {
 - No destructivos. (FISICOS O INTRISICAS)
 - Destructivos. (GEOMECANICOS O EXTRINSICAS)

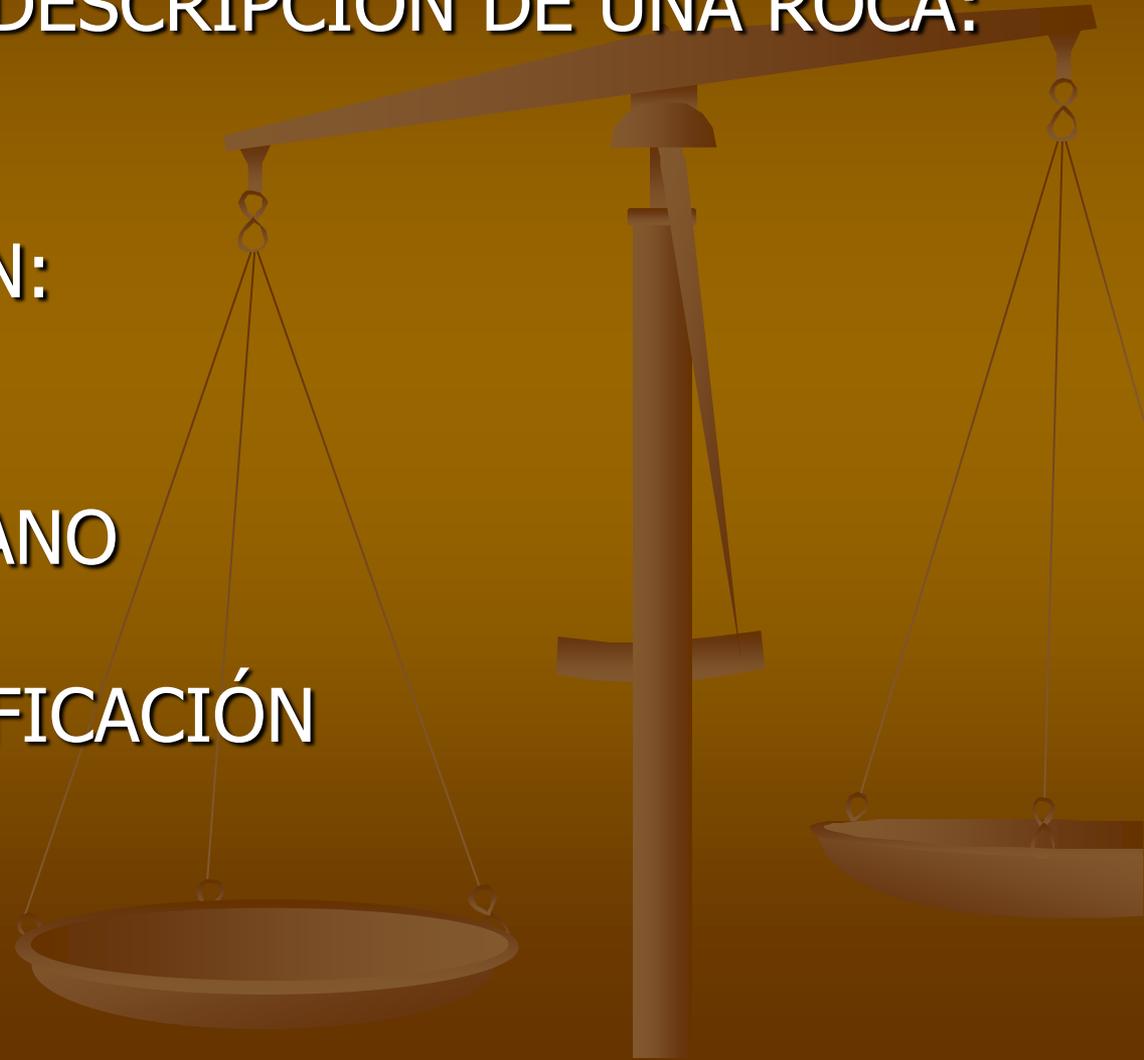
LIMITACIONES DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO

- **REPRESENTATIVIDAD.**- Las muestras corresponden a puntos aislados del macizo rocoso no siendo representativas de todo el ámbito de estudio, ni tampoco las condiciones ambientales.
- **ESCALA.**- Se ensayan pequeñas porciones del material, lo que hace necesario la utilización de factores de conversión o correlaciones para extrapolar los resultados a escala del macizo.
- **VELOCIDAD.**- Los procesos de deformación y rotura se reproducen en el laboratorio en tiempos diferentes que en la naturaleza.

ENSAYOS FISICOS Y MECANICOS EN ROCAS

ELEMENTOS DE LA DESCRIPCIÓN DE UNA ROCA:

- COLOR
- ESTRATIFICACIÓN:
- RESISTENCIA
- INTEMPERISMO
- TAMAÑO DEL GRANO
- MINERALES
- NOMBRE Y CLASIFICACIÓN



ENSAYOS FISICOS Y MECANICOS EN ROCAS

PRUEBAS FISICAS:

FASE SÓLIDA

LENTE DE MANO MICROSCOPIO BINOCULAR	EVALUACIÓN VISUAL DE LA MINERALOGÍA Y COMPOSICIÓN BÁSICA
RASPADURA, DUREZA, COLOR, RAYA, LUSTRE, DENSIDAD	EVALUACIÓN MINERALÓGICA
SECCIÓN DELGADA Y MICROSCOPIO PETROLOGICO MICROSCOPIO ELECTRONICO	CARACTERISTICAS DE LAS PARTICULAS Y LOS CRISTALES

FASE FLUIDA

CONTENIDO DE AGUA Y GAS	PERDIDA DE PESO POR SECADO
-------------------------	----------------------------

ENSAYOS FISICOS Y MECANICOS EN ROCAS

POROSIDAD:

EL VOLUMEN DE VACIOS EN LAS ROCAS GENERALMENTE SE EVALÚA POR LOS VALORES DE LA MASA Y DE LA DENSIDAD EN SECO

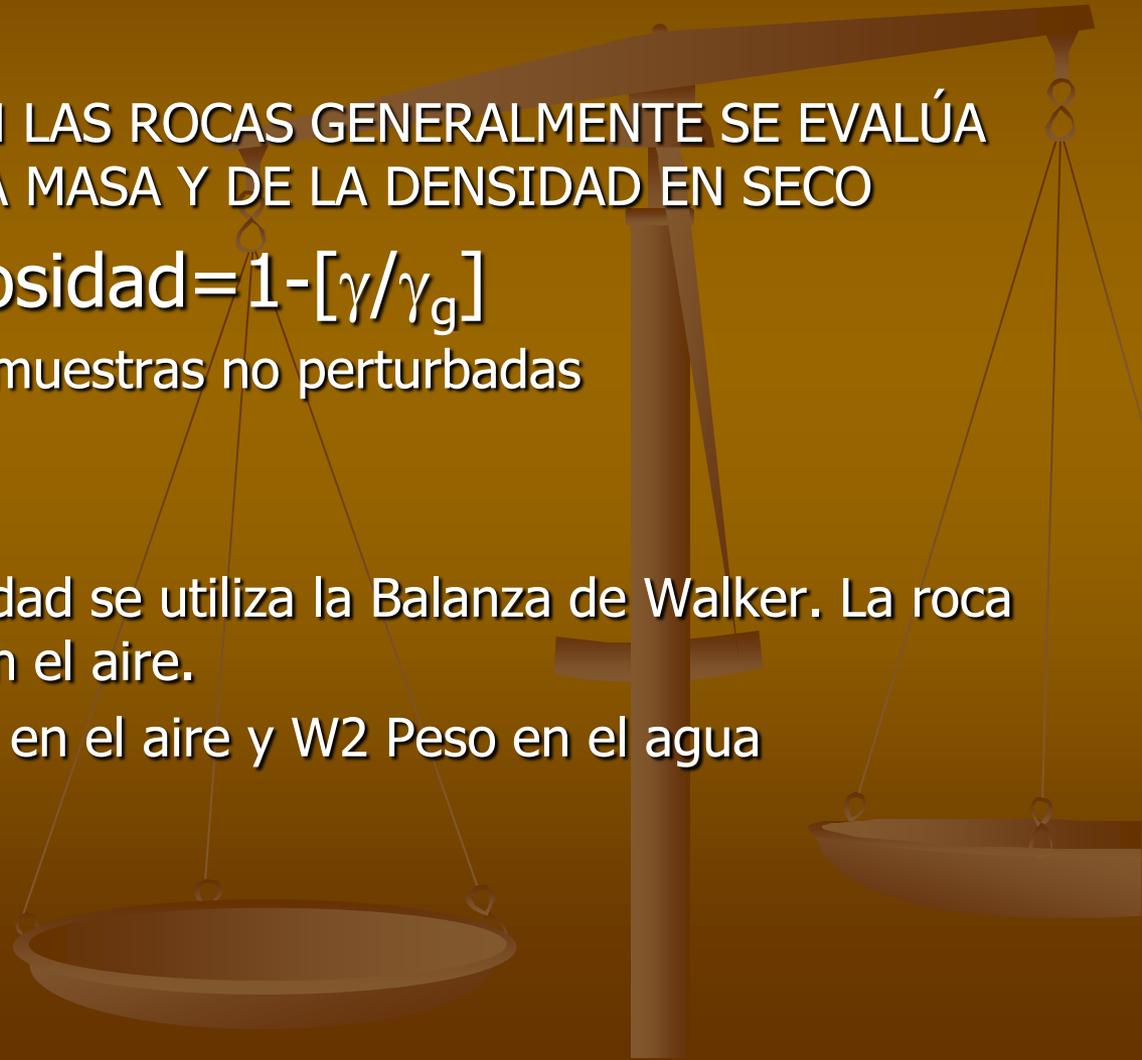
$$\text{Porosidad} = 1 - [\gamma / \gamma_g]$$

Estas pruebas requieren de muestras no perturbadas

GRAVEDAD ESPECIFICA:

Para determinar esta propiedad se utiliza la Balanza de Walker. La roca es pesada en el agua y en el aire.

$G = W_1 / (W_1 - W_2)$; W_1 = Peso en el aire y W_2 = Peso en el agua



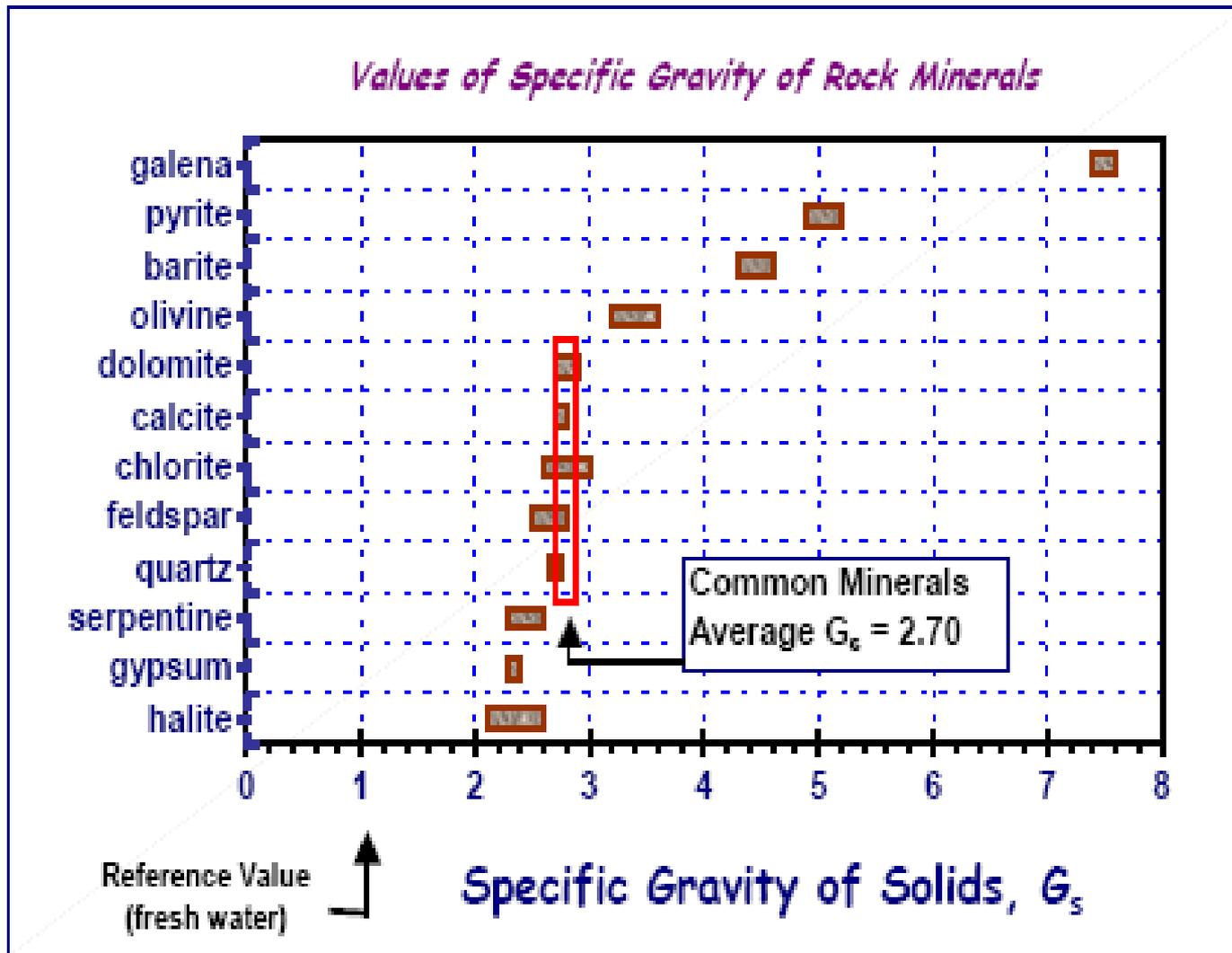


Figure 10-3. Specific Gravity of Solids for Selected Rock Minerals.

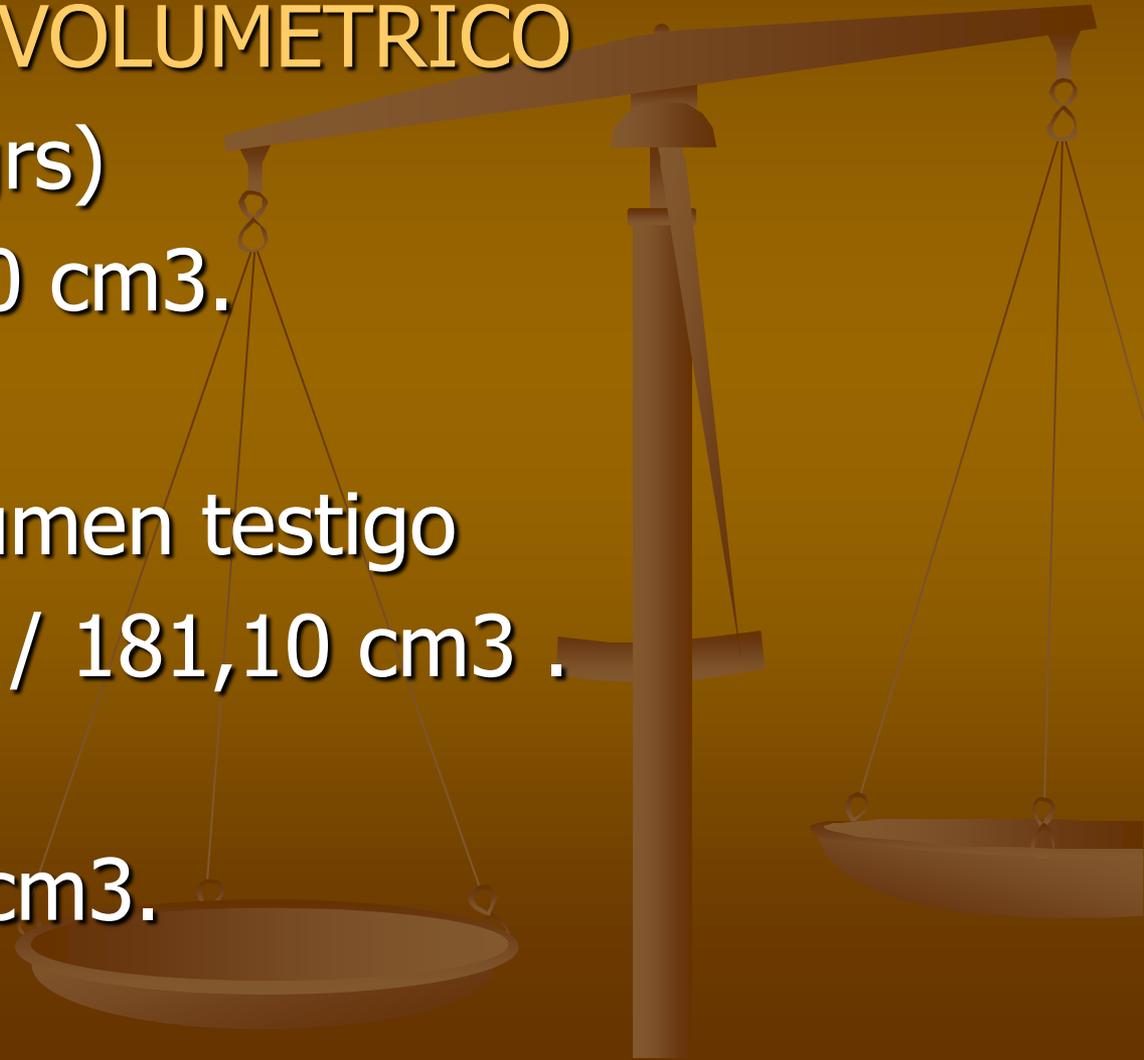
Calidad de macizos rocosos en relación al índice RMR

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

Ensayos No Destructivos

■ PESO VOLUMETRICO

- Peso = 425,60 (grs)
- Volumen= 181,10 cm³.
- PE = Peso / Volumen testigo
- PE = 425,60 grs. / 181,10 cm³ .
- PE = 2,35 grs. / cm³.



Ensayos No Destructivos

■ ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO. (PE)

■ $PE = \frac{\text{Peso Seco}}{(\text{Peso Saturado} - \text{Peso Suspendido})}$

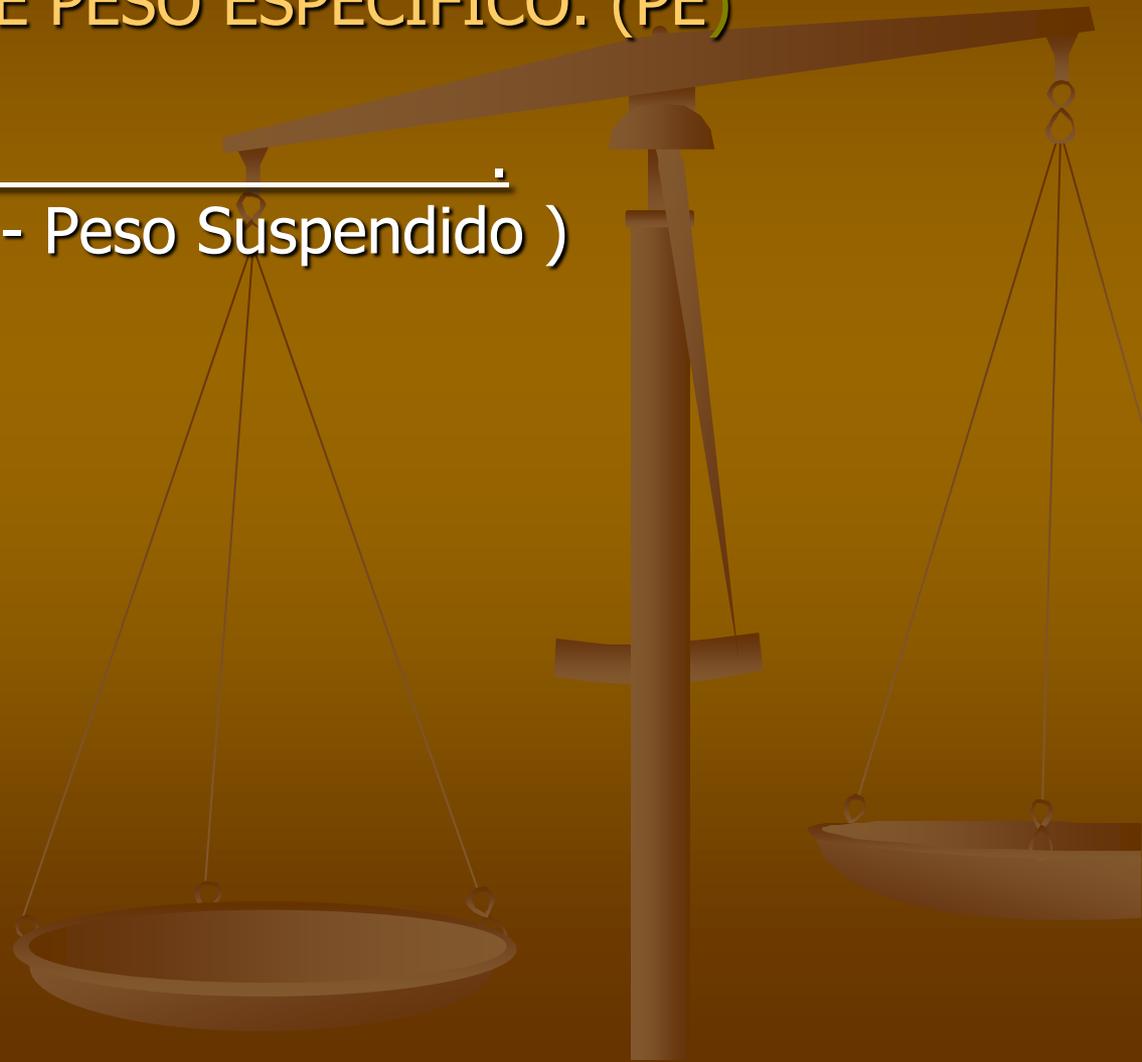
■ Donde:

■ PE = Densidad

■ Cálculo de Densidad.

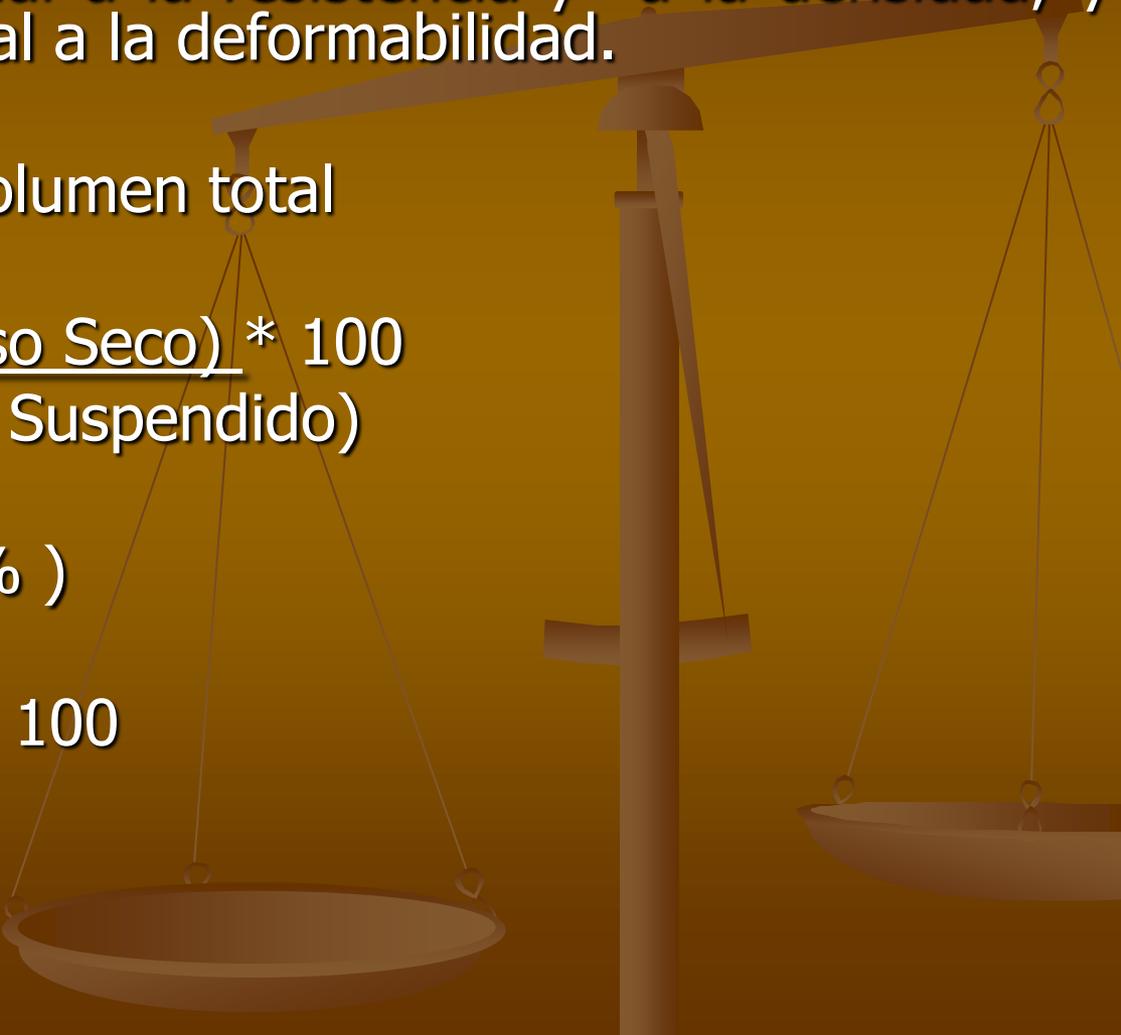
■ $PE = \frac{425,60}{425,79 - 271,42}$

■ $PE = 2,757$



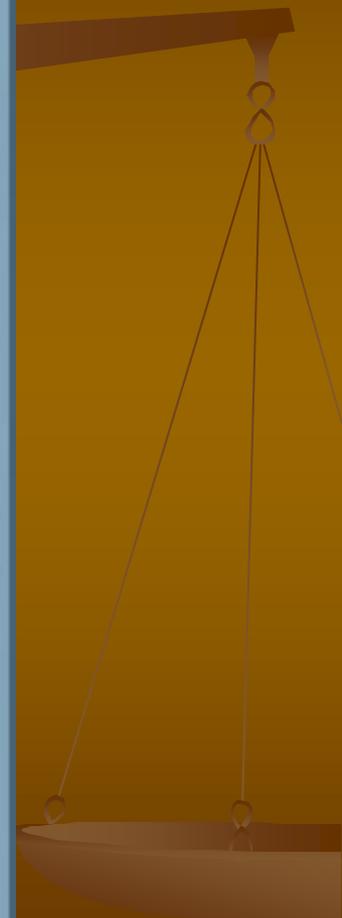
Ensayos No Destructivos

■ ENSAYO DE POROSIDAD

- Esta propiedad es la que mas afecta las características, siendo inversamente proporcional a la resistencia y a la densidad; y directamente proporcional a la deformabilidad.
 - $n = \text{volumen de Poros} / \text{volumen total}$
 - $n = \frac{(\text{Peso Saturado} - \text{Peso Seco}) * 100}{(\text{Peso Saturado} - \text{Peso Suspendido})}$
 - Donde $n = \text{Porosidad} (\%)$
 - $n = \frac{(425,79 - 425,60) * 100}{(425,79 - 271,42)}$
 - $n = 0,123 \%$
- 

Valores típicos del peso específico y porosidad de las rocas

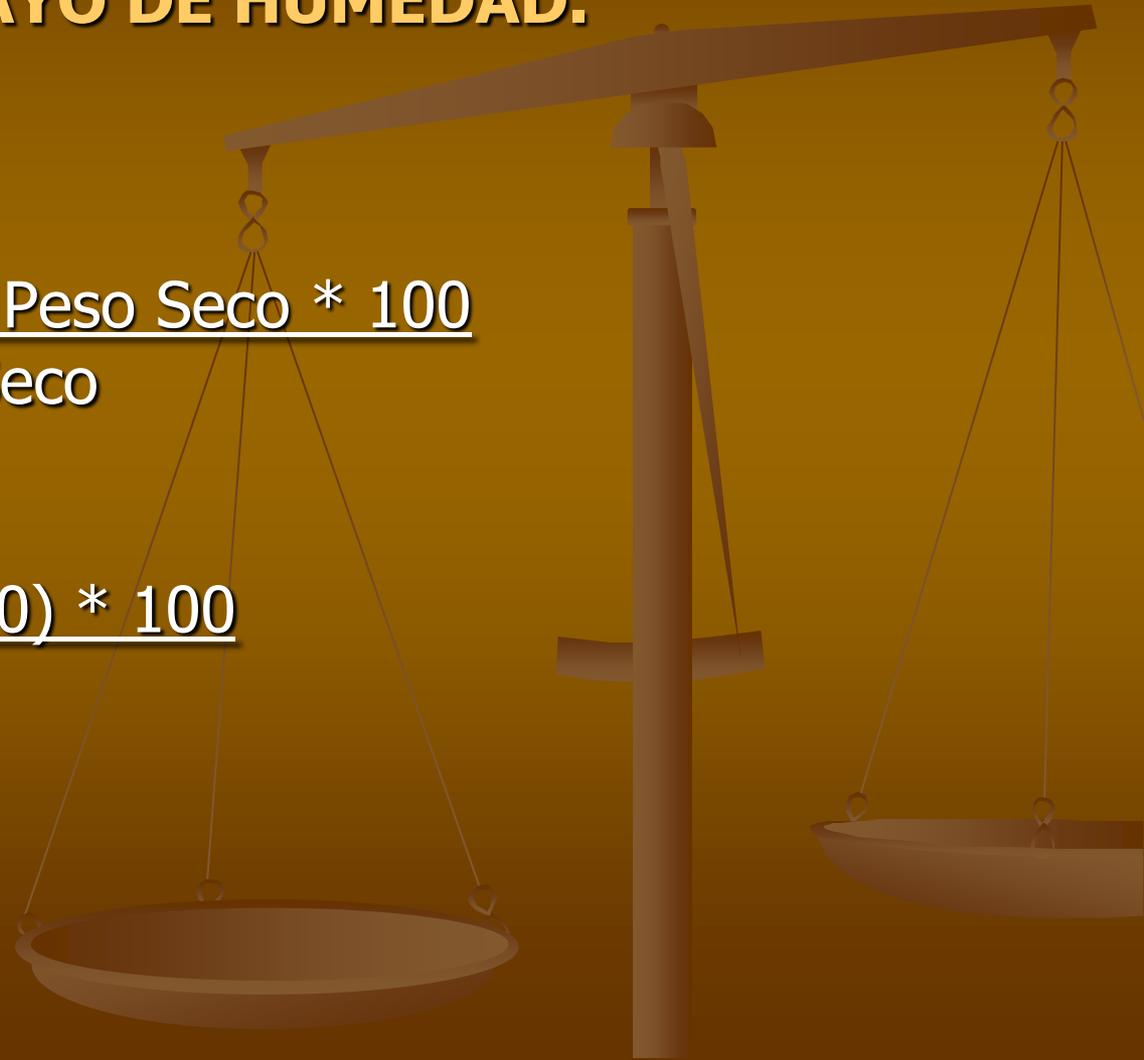
Roca	Peso específico (g/cm ³)	Porosidad (%)
Andesita	2,2-2,35	10-15
Anfibolita	2,9-3,0	—
Arenisca	2,3-2,6	5-25 (16,0)
Basalto	2,7-2,9	0,1-2
Caliza	2,3-2,6	5-20 (11,0)
Carbón	1,0-2,0	10
Cuarcita	2,6-2,7	0,1-0,5
Creta	1,7-2,3	30
Diabasa	2,9	0,1
Diorita	2,7-2,85	—
Dolomía	2,5-2,6	0,5-10
Esquisto	2,5-2,8	3
Gabro	3,0-3,1	0,1-0,2
Gneiss	2,7-3,0	0,5-1,5
Granito	2,6-2,7	0,5-1,5 (0,9)
Grauvaca	2,8	3
Mármol	2,6-2,8	0,3-2 (0,6)
Lutita	2,2-2,6	2-15
Pizarra	2,5-2,7	0,1-1
Riolita	2,4-2,6	4-6
Sal	2,1-2,2	5
Toba	1,9-2,3	14-40
Yeso	2,3	5



Ensayos No Destructivos

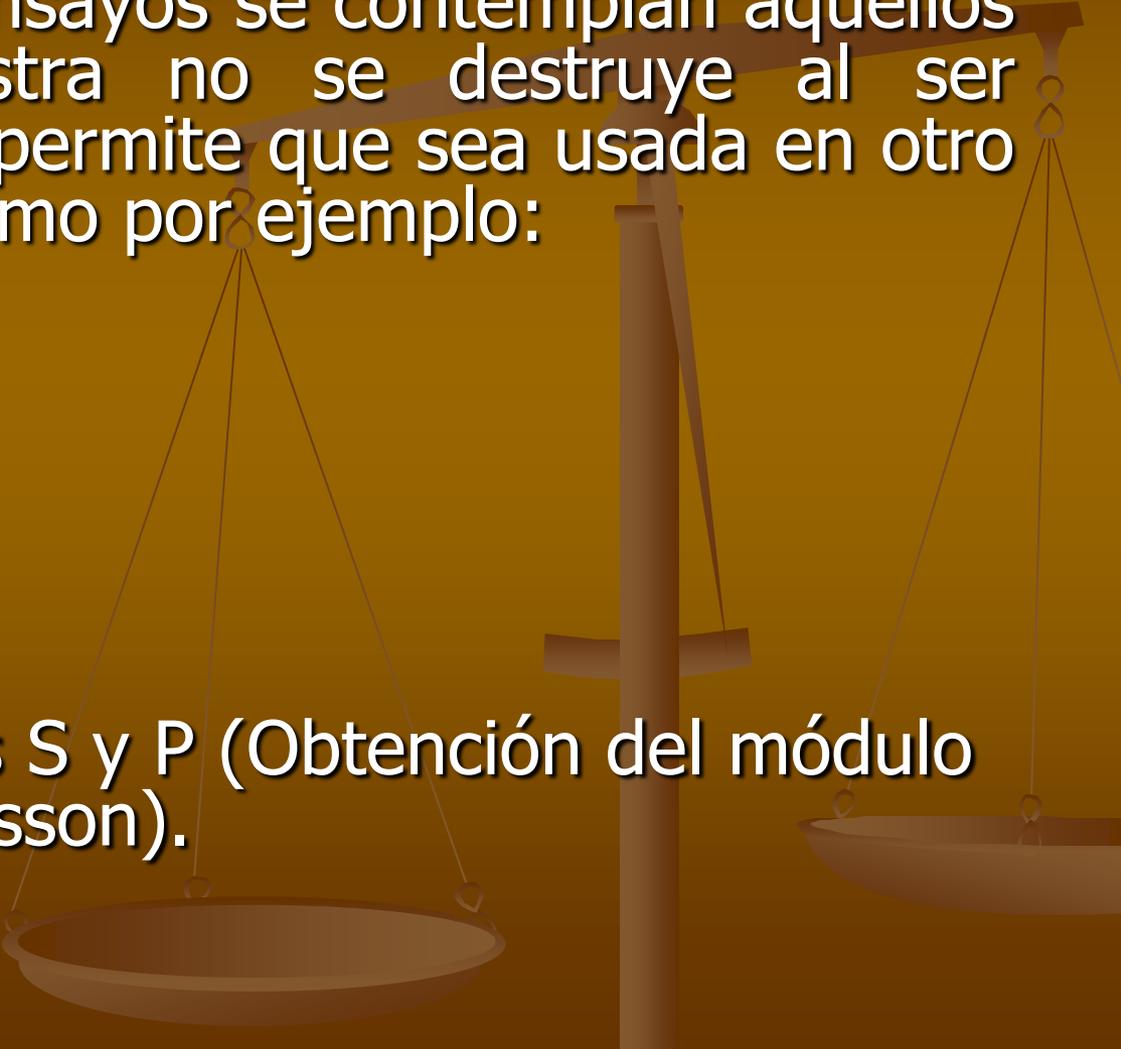
■ ENSAYO DE HUMEDAD.

- $H = \text{Humedad (\%)}$
- $H = \frac{\text{Peso Saturado} - \text{Peso Seco} * 100}{\text{Peso Seco}}$
- $H = \frac{(425,79 - 425,60) * 100}{425,60}$
- $H = 0,045 \%$





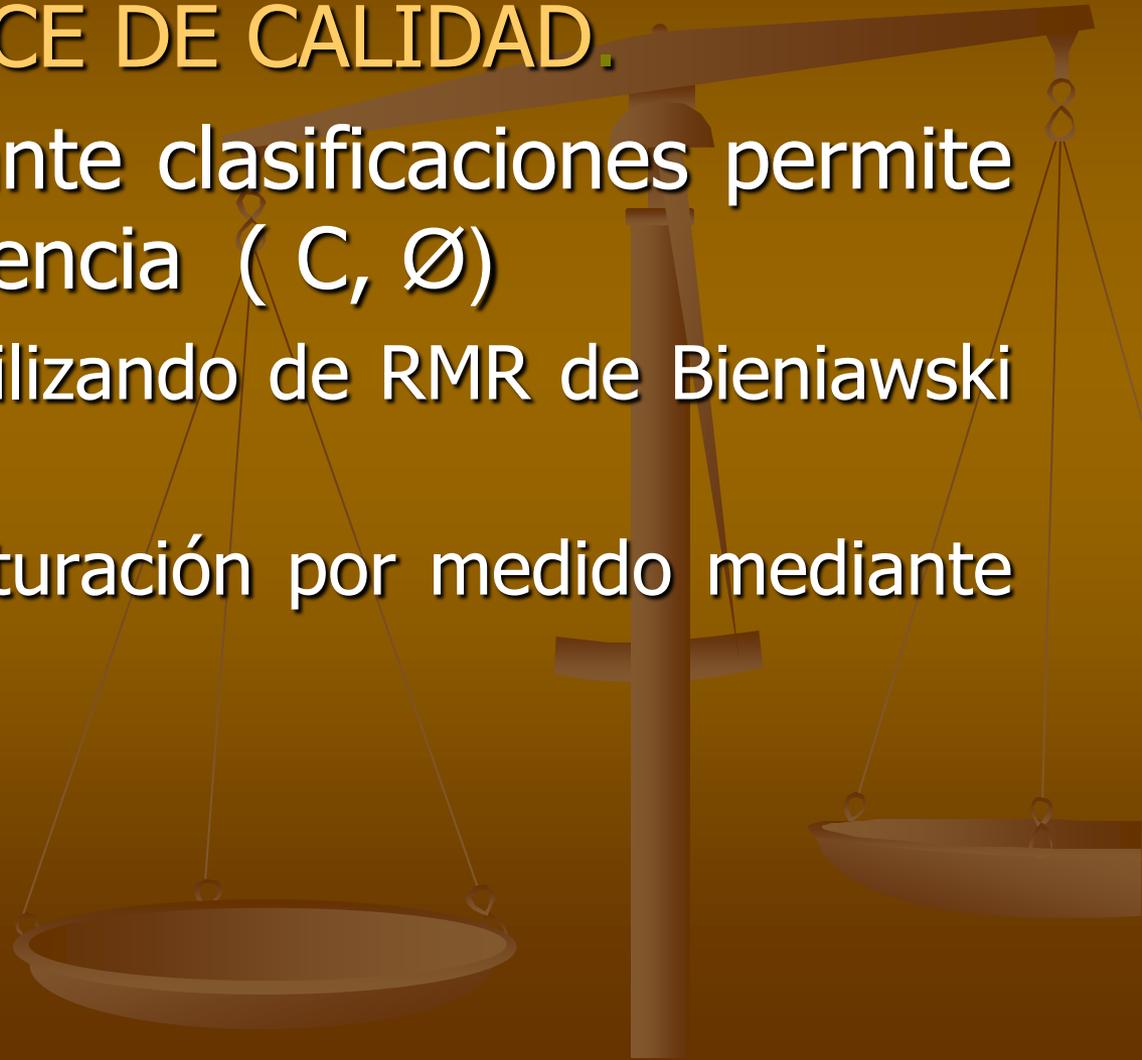
Ensayos No Destructivos

- Dentro de estos ensayos se contemplan aquellos en que la muestra no se destruye al ser ensayada, lo cual permite que sea usada en otro tipo de ensayo, como por ejemplo:
 - Índice de calidad.
 - Peso volumétrico.
 - Porosidad
 - Peso específico
 - Humedad
 - Medición de ondas S y P (Obtención del módulo de Young y de Poisson).
- 

Ensayos No Destructivos

■ INDICE DE CALIDAD.

- Definidos mediante clasificaciones permite estimar la resistencia (C, Ø)
- Se lo establece utilizando de RMR de Bieniawski y la Q de Barton .
- Y el grado de facturación por medido mediante el indice RQD



RQD

- Es la relación entre la suma de la longitud de los fragmentos de testigos mayores de 10 cm y la longitud total del tramo considerado.

$$RQD = \frac{\sum \text{longitud de los trozos de testigo} > 10 \text{ cm}}{\text{longitud total}} \times 100$$

Clasificación de la calidad del macizo rocoso según el índice RQD

RQD %	Calidad
< 25	Muy mala
25-50	Mala
50-75	Media
75-90	Buena
90-100	Muy buena

Clasificación RMR

1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual	> 10	10-4	4-2	2-1	Compresión simple (MPa)		
		Compresión simple	> 250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	< 1
	Puntuación		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90 %-100 %	75 %-90 %	50 %-75 %	25 %-50 %	< 25 %		
	Puntuación		20	17	13	6	3		
3	Separación entre diaclasas		> 2 m	0,6-2 m	0,2-0,6 m	0,06-0,2 m	< 0,06 m		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	> 20 m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0,1 mm	0,1-1,0 mm	1-5 mm	> 5 mm		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
5	Agua freática	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	< 10 litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	> 125 litros/min		
		Relación: Presión de agua/Tensión principal mayor	0	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	> 0,5		
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Gotcando	Agua fluyendo		
	Puntuación		15	10	7	4	0		

Clasificación RMR

Corrección por la orientación de las discontinuidades

Dirección y buzamiento		Muy favorables	Favorables	Medias	Desfavorables	Muy desfavorables
Puntuación	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

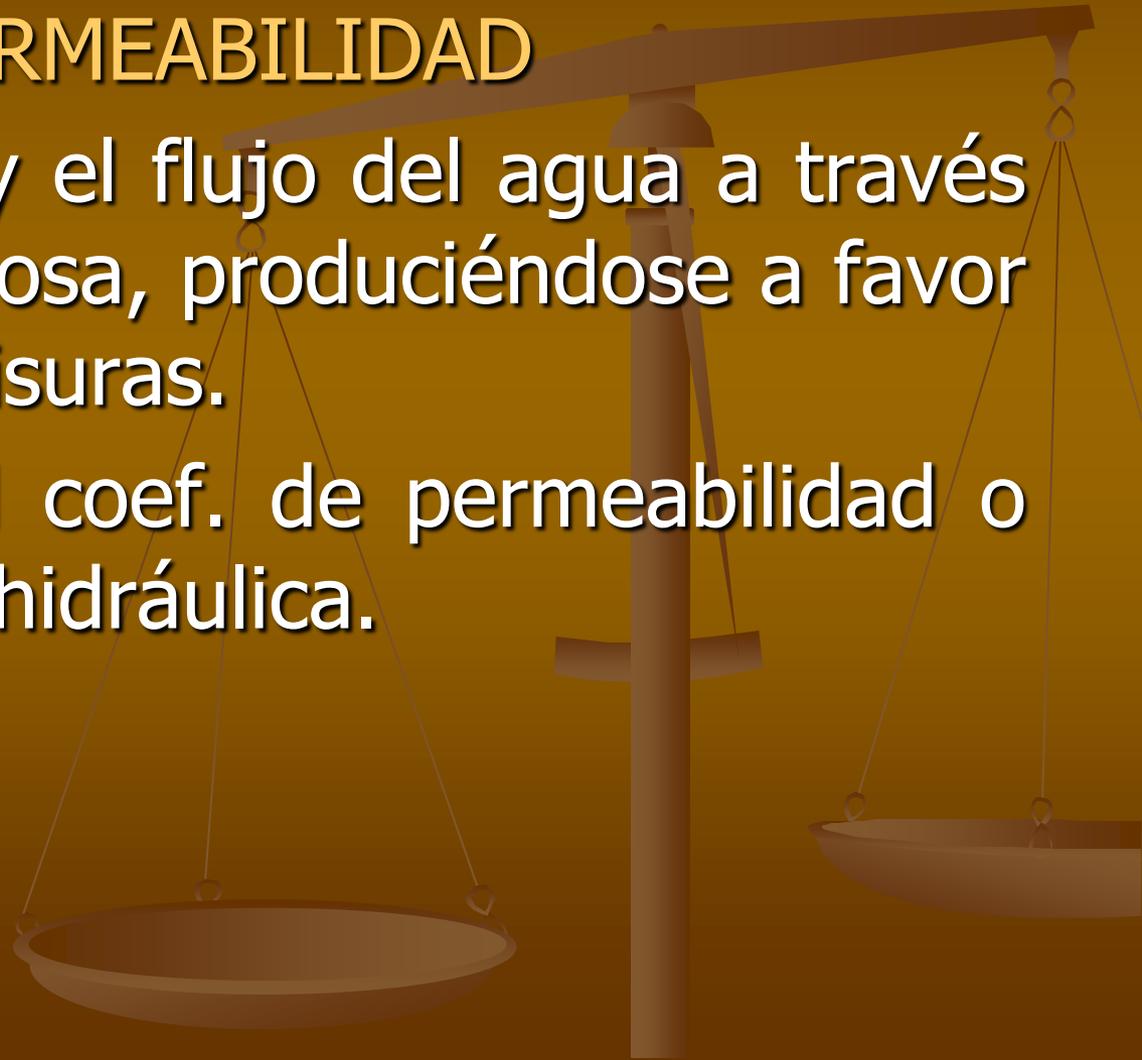
Clasificación

Clase	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala
Puntuación	100-81	80-61	60-41	40-21	< 20

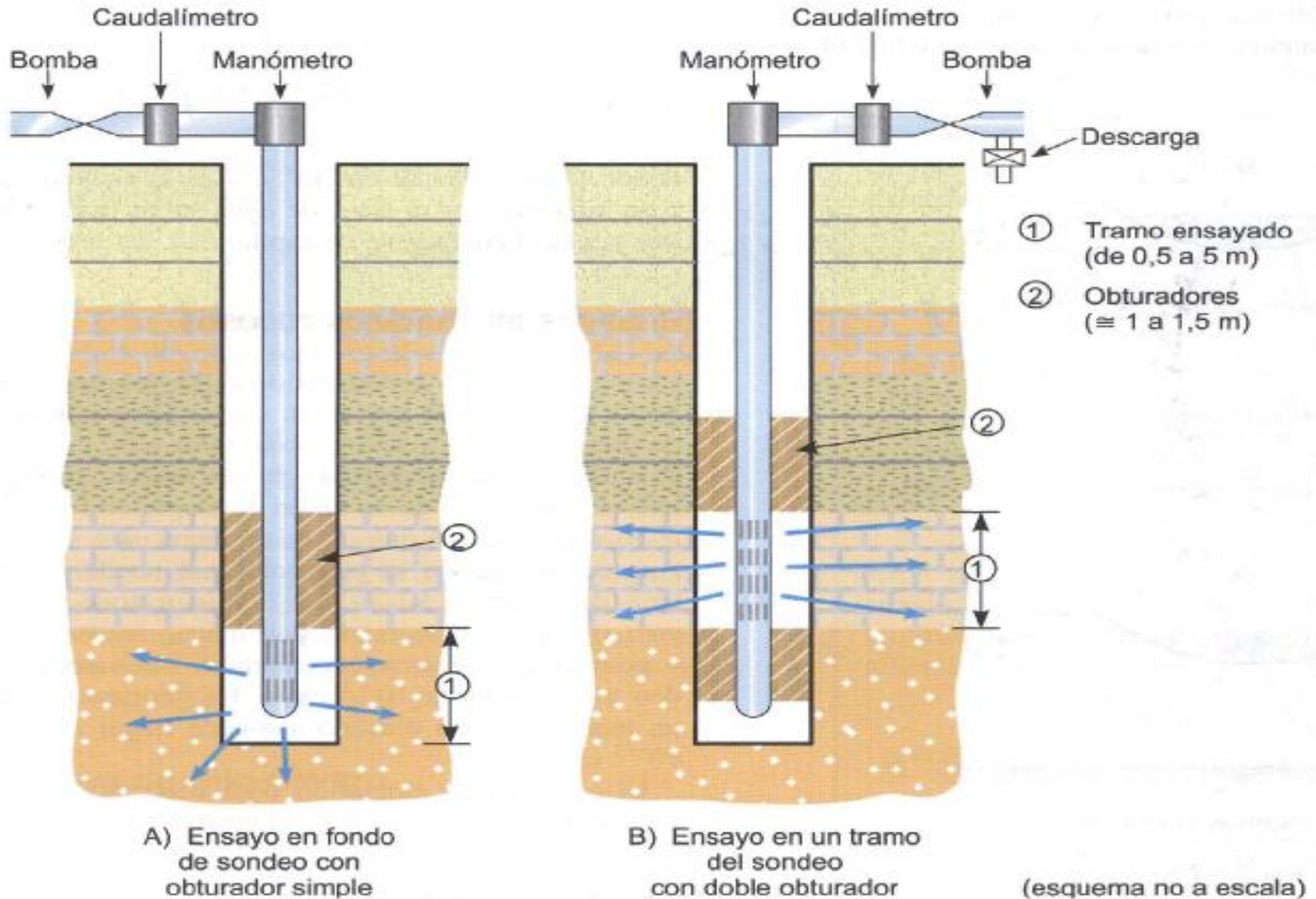
Ensayos No Destructivos

■ PERMEABILIDAD

- Es la filtración y el flujo del agua a través de la matriz rocosa, produciéndose a favor de los poros y fisuras.
- Se mide con el coef. de permeabilidad o conductibilidad hidráulica.



ENSAYO LUGEON



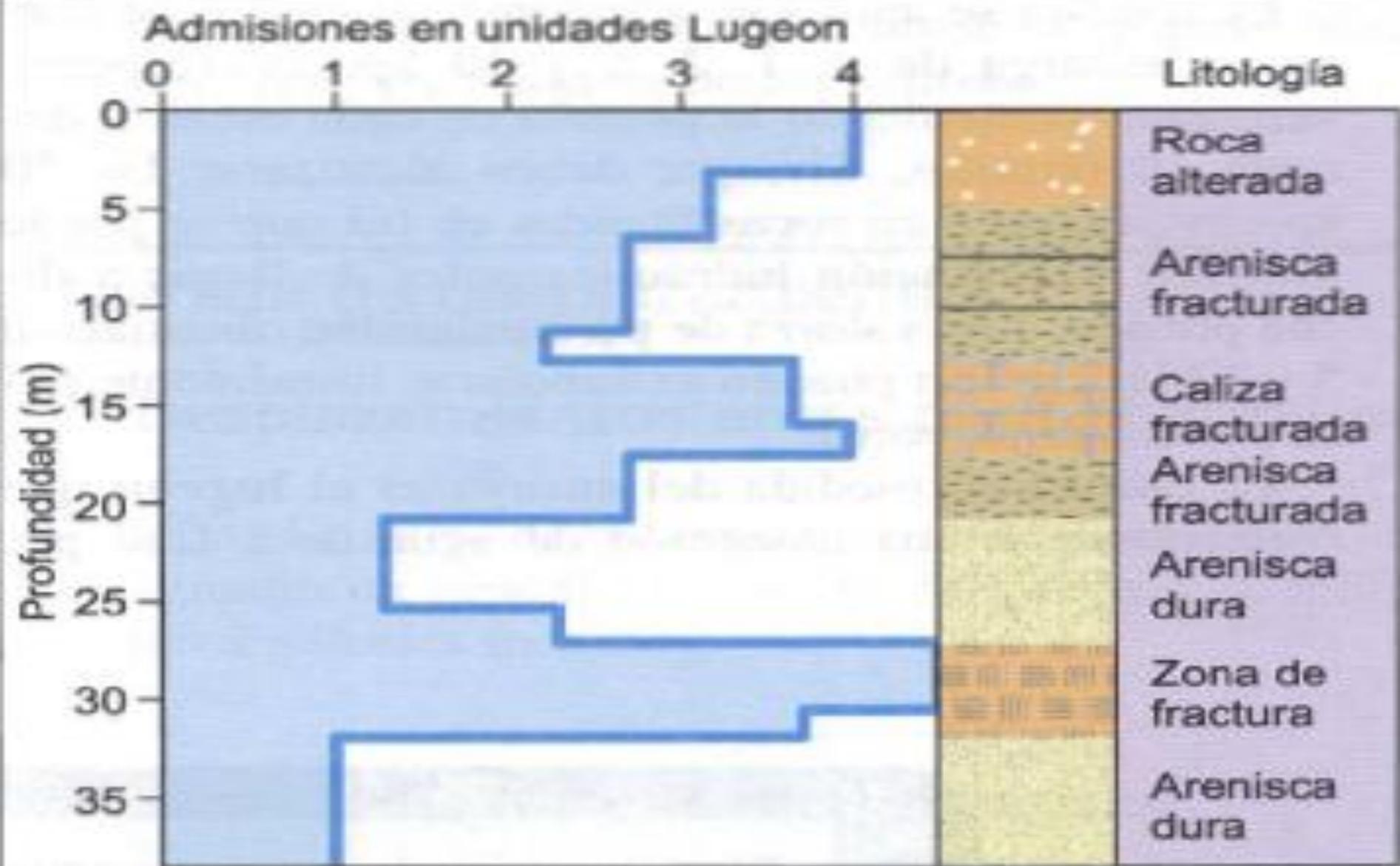


Figura 6.89 Ejemplo de resultado del ensayo Lugeon.

Valores típicos de permeabilidad de la matriz rocosa

Roca	k (m/s)
Arenisca	10^{-5} - 10^{-10}
Caliza y dolomía	10^{-6} - 10^{-12}
Esquisto	10^{-7} - 10^{-8}
Pizarra	10^{-11} - 10^{-13}
Granito	10^{-9} - 10^{-12}
Lutita	10^{-9} - 10^{-13}
Rocas metamórficas	10^{-9} - 10^{-12}
Rocas volcánicas	10^{-7} - 10^{-12}
Sal	$< 10^{-11}$ - 10^{-13}

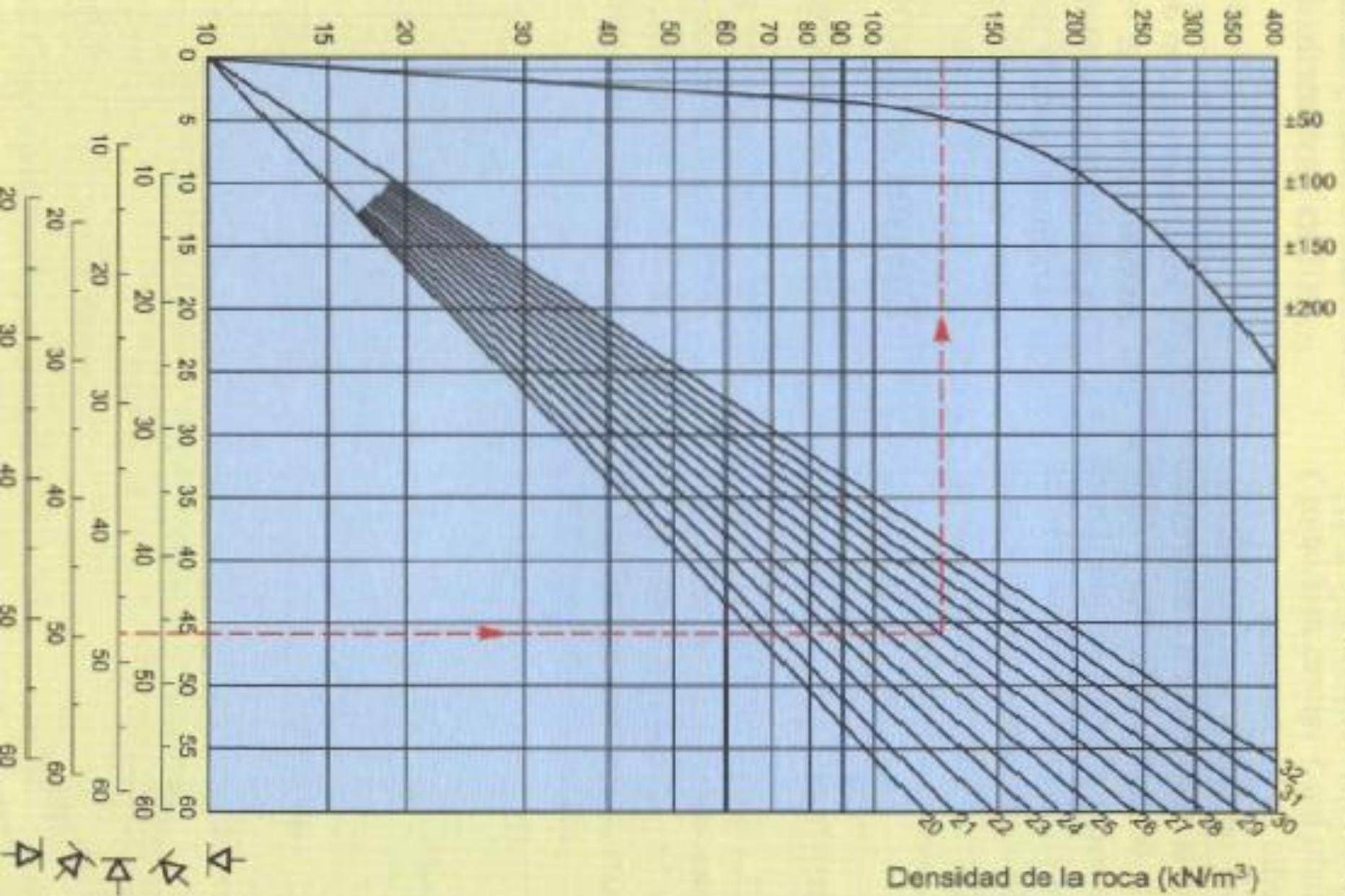
Ensayos No Destructivos

RESISTENCIA A COMPRESION SIMPLE (MARTILLO DE SCHMIDT)



Dispersión media de valores de resistencia para la mayoría de rocas (MPa)

Resistencia uniaxial a compresión σ_c (MPa)



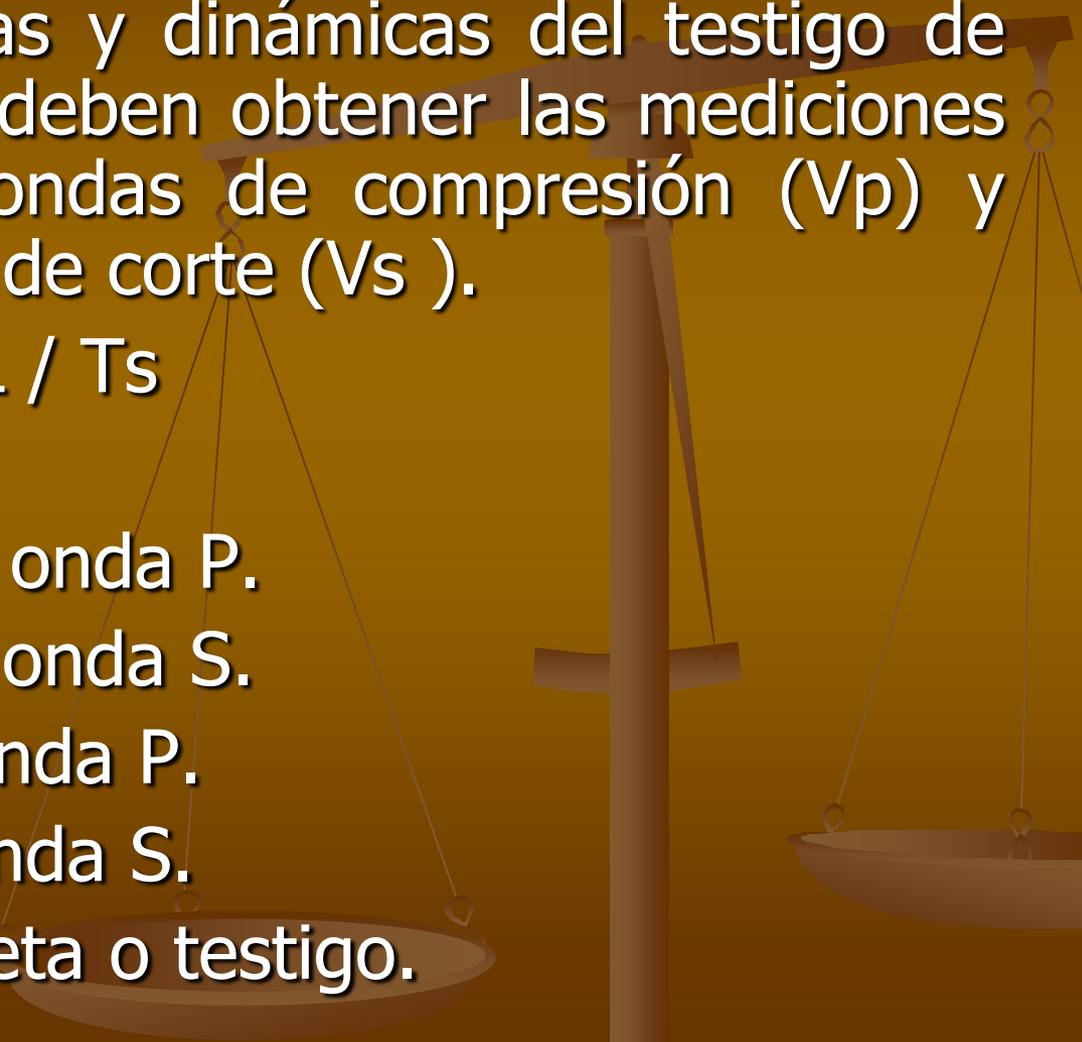
Representación del martillo

Valores de resistencia de la matriz rocosa sana

Roca sana	Resistencia a compresión simple (kp/cm ²)		Resistencia a la tracción (kp/cm ²)
	Valores medios	Rango de valores	
Andesita	2.100-3.200	1.000-5.000	70
Anfibolita	2.800	2.100-5.300	230
Anhidrita	900	800-1.300	60-120
Arenisca	550-1.400	300-2.350	50-200
Basalto	800-2.000	600-3.500	50-250
Caliza	600-1.400	500-2.000	40-300
Cuarcita	2.000-3.200	1.000-5.000	100-300
Diabasa	2.400-3.500	1.300-3.650	550
Diorita	1.800-2.450	1.200-3.350	80-300
Dolerita	2.000-3.000	1.000-3.500	150-350
Dolomía	600-2.000	500-3.500	50-250
Esquisto	300-600	200-1.600	20-55
Gabro	2.100-2.800	1.800-3.000	140-300
Gneiss	600-2.000	500-2.500	50-200
Granito	700-2.000	500-3.000	70-250
Grauvaca	1.000-1.500	800-2.200	55-150
Limolita		350-2.500	27
Lutita	200-400	100-900	15-100
Marga	300-700	200-900	5-10*
Mármol	1.200-2.000	600-2.500	65-200
Pizarra	400-1.500	300-2.000	70-200
Sal	120	50-300	
Toba		100-460	10-40
Yeso	250	100-400	10-25

(*) A favor de superficies de laminación.

Ensayo de Velocidad de Ondas P y S.

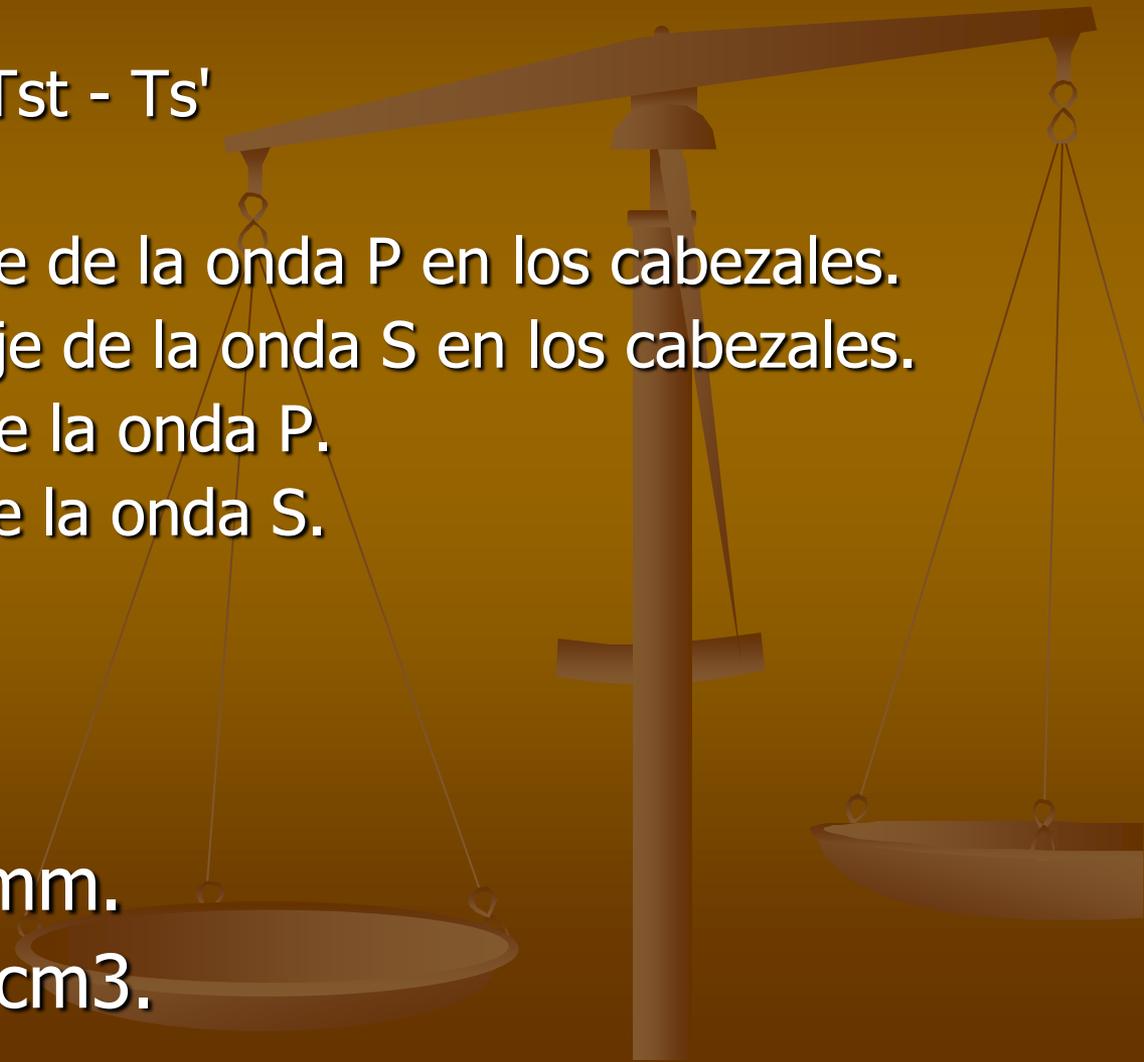
- **Ensayo de Velocidad de Ondas P y S.**
 - Este ensayo se realiza para obtener las constantes elásticas y dinámicas del testigo de roca, para ello se deben obtener las mediciones de velocidad de ondas de compresión (V_p) y velocidad de onda de corte (V_s).
 - $V_p = L / T_p$ $V_s = L / T_s$
 - Donde :
 - V_p = Velocidad de onda P.
 - V_s = Velocidad de onda S.
 - T_p = Tiempo de Onda P.
 - T_s = Tiempo de Onda S.
 - L = Largo de probeta o testigo.
- 

Ensayo de Velocidad de Ondas P y S.

- Además:
- $T_p = T_{pt} - T_{p'}$ $T_s = T_{st} - T_{s'}$
- Donde :
- $T_{p'}$ = Tiempo de viaje de la onda P en los cabezales.
- $T_{s'}$ = Tiempo de viaje de la onda S en los cabezales.
- T_{pt} = Tiempo total de la onda P.
- T_{st} = Tiempo total de la onda S.

Datos :

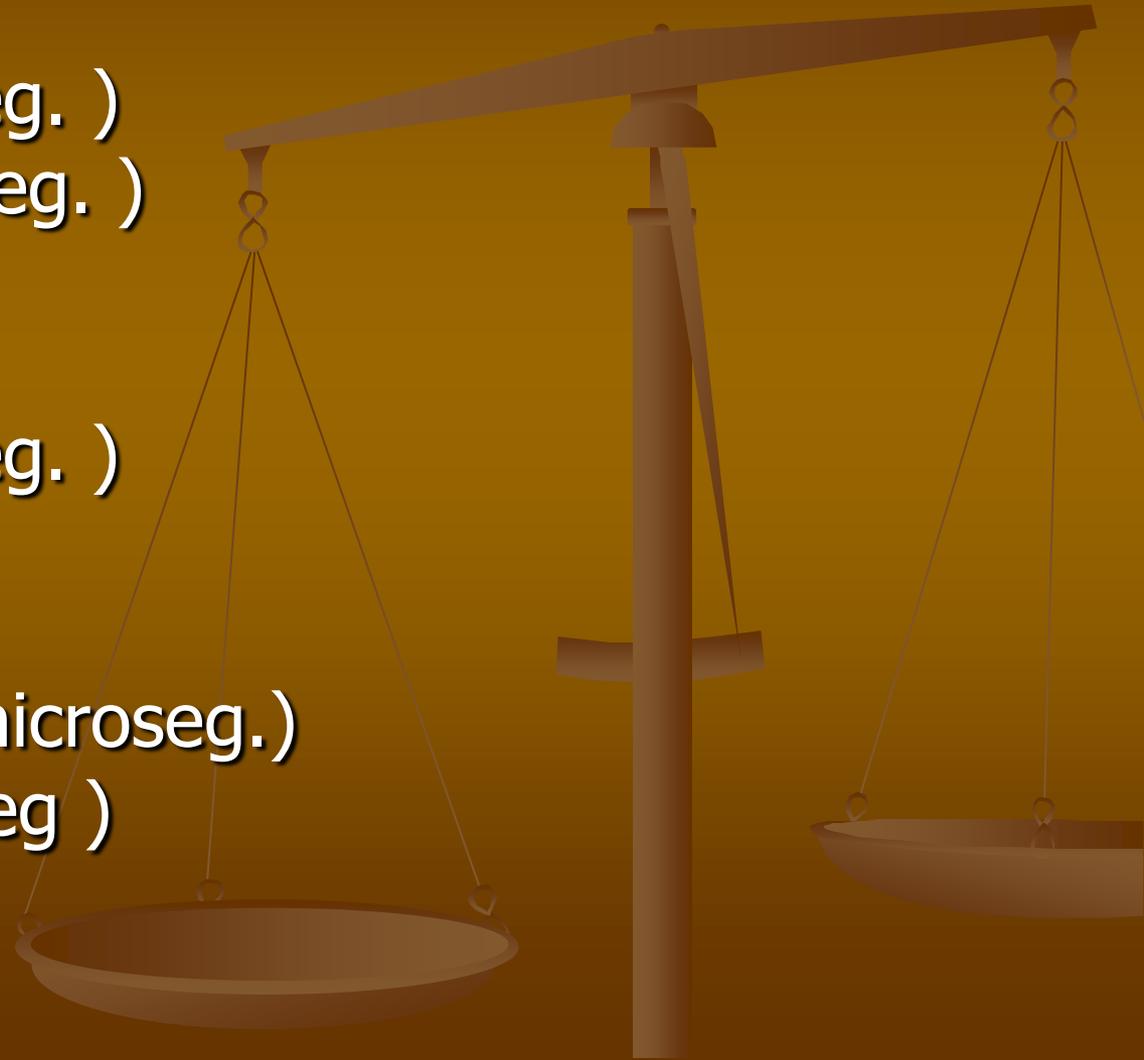
- $L = 96,2$ mm.
- Diámetro = $45,2$ mm.
- $P_e = 2,757$ grs. / cm^3 .



Ensayo de Velocidad de Ondas P y S.

Cálculo de Velocidad de Onda P.

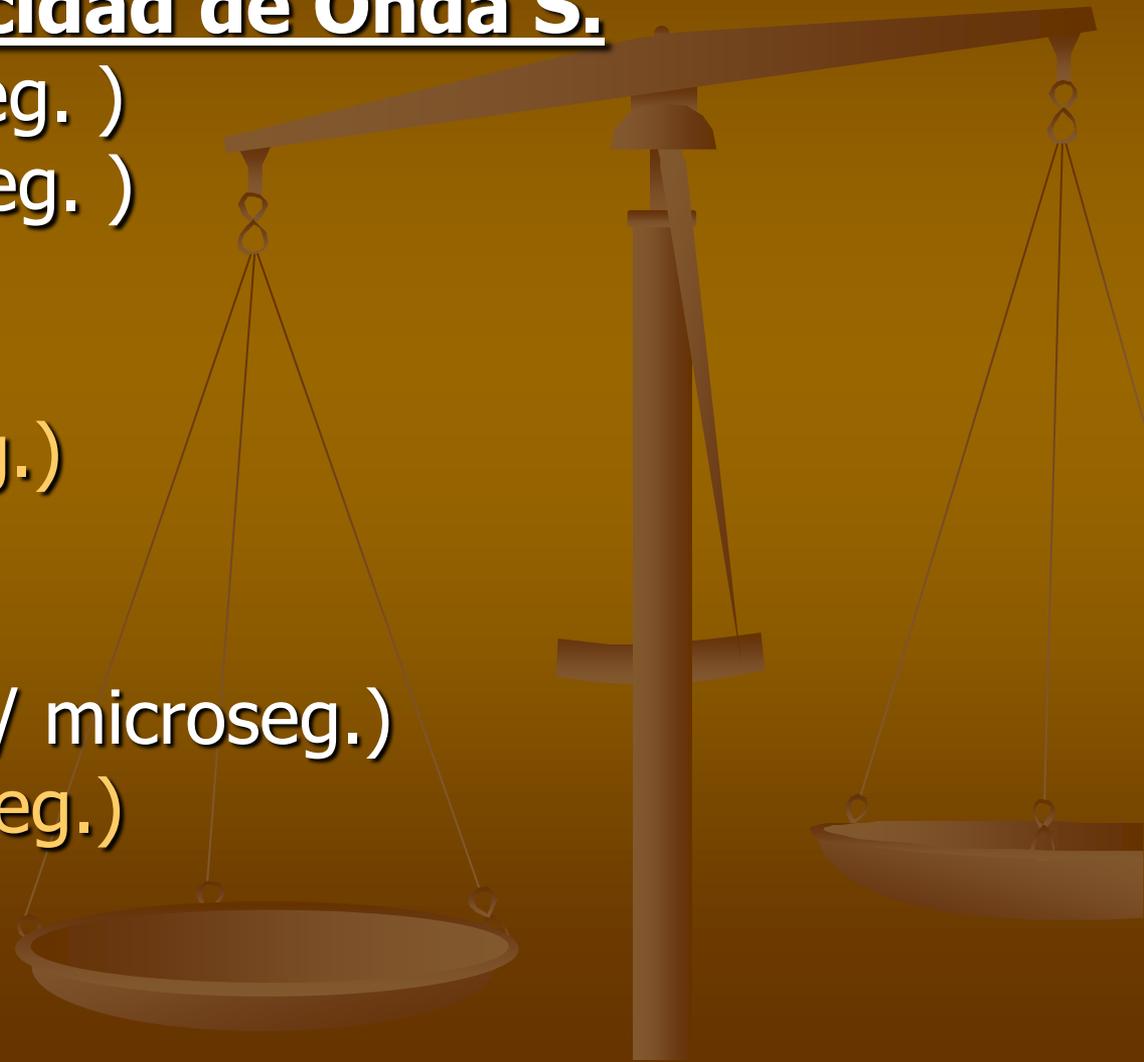
- $T_p' = 6$ (microseg.)
- $T_{pt} = 19$ (microseg.)
- $T_p = T_{pt} - T_p'$
- $T_p = 19 - 6$
- $T_p = 13$ (microseg.)
- $V_p = L / T_p$
- $V_p = 96.2 / 13$
- $V_p = 7,4$ (mm. /microseg.)
- $V_p = 7400$ (m / seg)



Ensayo de Velocidad de Ondas P y S.

■ Cálculo de Velocidad de Onda S.

- $T_{s'} = 11$ (microseg.)
- $T_{st} = 35$ (microseg.)
- $T_s = T_{st} - T_{s'}$
- $T_s = 35 - 11$
- $T_s = 24$ (microseg.)
- $V_s = L / T_s$
- $V_s = 96,2 / 24$
- $V_s = 4,008$ (mm. / microseg.)
- $V_s = 4008$ (m. / seg.)



Ensayo de Velocidad de Ondas P y S.

■ Cálculo de Módulo de Rigidez (G).

■ Donde:

■ $K = 1,0189 * 10^{-6}$ (factor de conversión a Kg / cm².)

■ PE = Peso específico.

■ Datos:

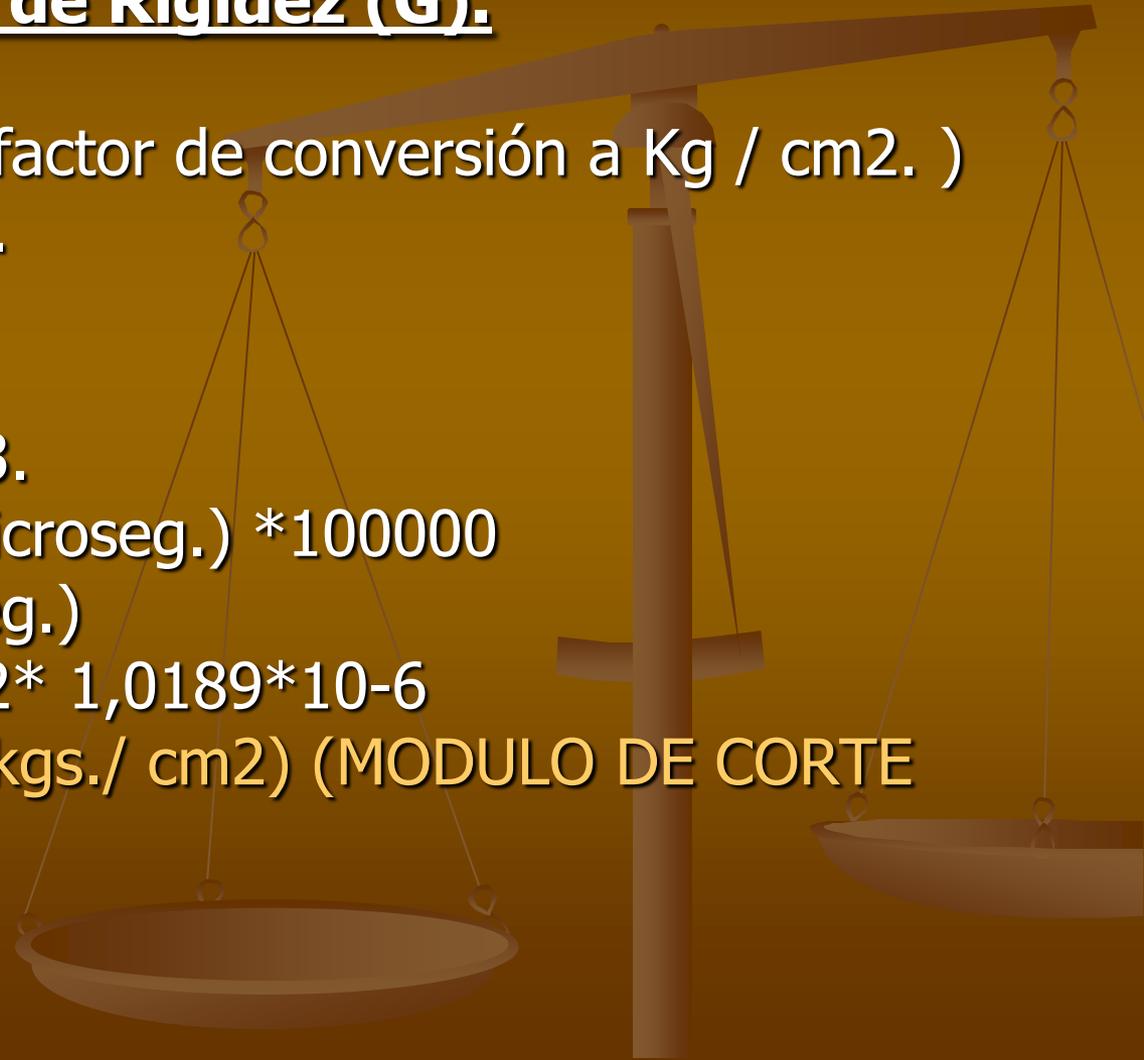
■ PE = 2,757 grs./ cm³.

■ $V_s = 4,008$ (mm / microseg.) *100000

■ $V_s = 400800$ (cm./ seg.)

■ $G = 2,757 * 400800^2 * 1,0189 * 10^{-6}$

■ $G = 451,257 * 10^3$ (kgs./ cm²) (MODULO DE CORTE DINAMICO)



Ensayo de Velocidad de Ondas P y S.

■ Cálculo de la Razón de Poisson.

■ Datos:

■ $V_p = 7,4$ (mm. / microseg.)

■ $V_s = 4,008$ (mm. / microseg.)

■ $V = \frac{(7,4)^2 - 2 * (4,008)^2}{2 * [(7,4)^2 - (4,008)^2]}$

■ $V = 0,294$

■ $V = 0,294$

■ Cálculo del módulo de Young.

■ $E = 2 * 451,257 * 10^3 * (1 + 0,294)$

■ $E = 1,1678 * 10^6$ (Kgs/cm²)

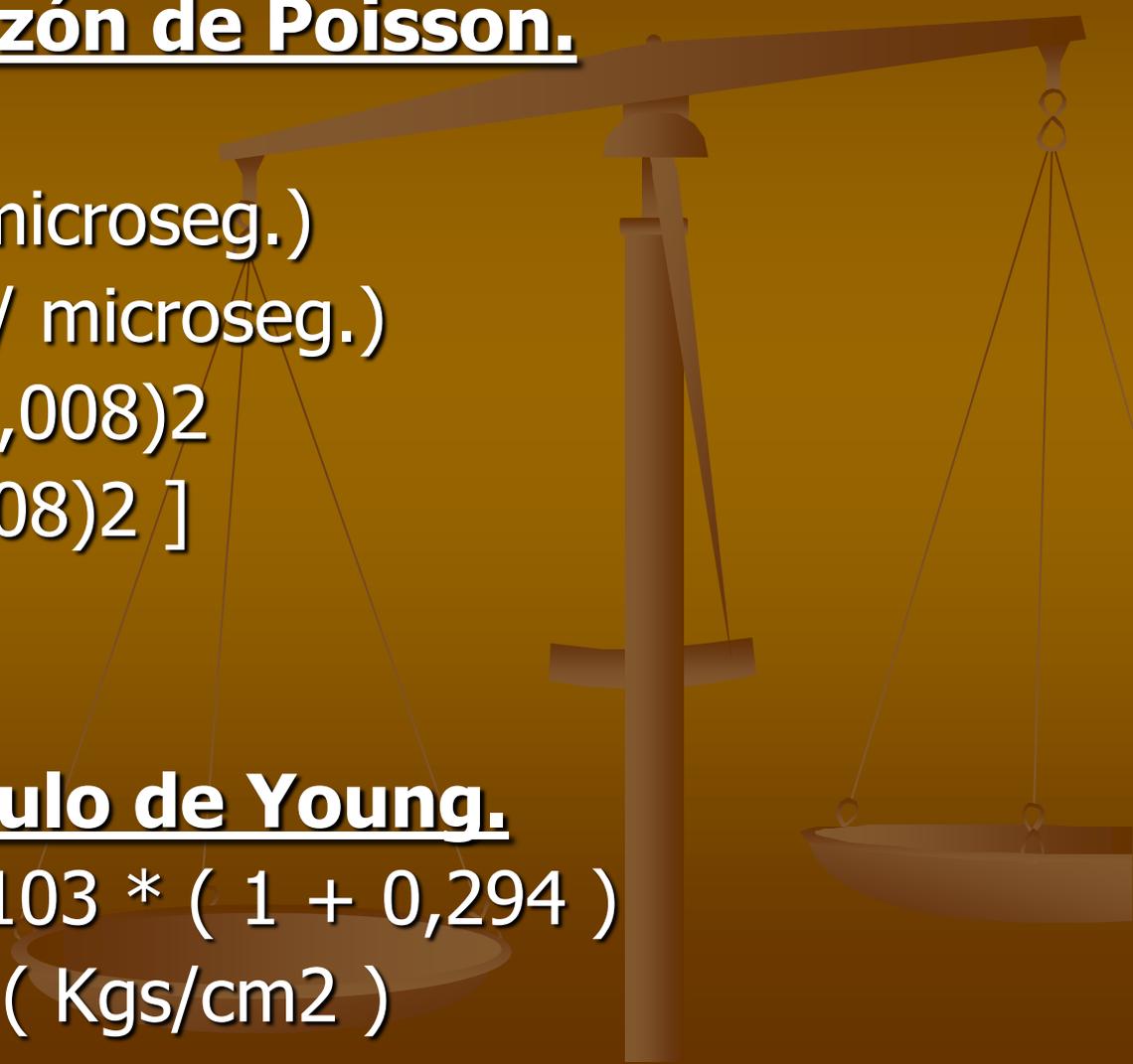




Figura 3.65 Aparato para el ensayo de velocidad sónica (foto L. G. de Vallejo).

Velocidad de propagación de las ondas longitudinales en rocas

Roca sana	Velocidad de propagación de las ondas V_p (m/s)
Arenisca	1.400-4.200
Basalto	4.500-6.500
Caliza	2.500-6.000
Conglomerado	2.500-5.000
Cuarcita	5.000-6.500
Diabasa	5.500-7.000
Dolerita	4.500-6.500
Dolomía	5.000-6.000
Gabro	4.500-6.500
Gneiss	3.100-5.500
Granito sano	4.500-6.000
Lutita	1.400-3.000
Marga	1.800-3.200
Mármol	3.500-6.000
Pizarra	3.500-5.000
Sal	4.500-6.000
Yeso	3.000-4.000

