



# Unidad de Aprendizaje: Materiales Para Ingeniería Civil.

## UNIDAD DE COMPETENCIA I: Selección y desarrollo de los materiales

Por: Ing. María Esther Antonio Salinas

Fecha: Agosto 2015.



## Justificación académica.



El material didáctico multimedia es necesario en la Unidad de Aprendizaje denominada Materiales para Ingeniería Civil, que se imparte en la Facultad de Ingeniería de la UAEMEX, derivado a que en ocasiones el alumno no ha tenido contacto directo con los usos técnicos y aspectos normativos establecidos para los materiales, usando diapositivas.

Se complementa con la realización de practicas de laboratorio, con el fin de que no sea la explicación teórica la única forma de realizar la practica de enseñanza-aprendizaje.



# Guión explicativo para el empleo del material.



El presente material didáctico comprende el contenido de la Unidad de Competencia 1 de la Unidad de Aprendizaje denominada Materiales para Ingeniería Civil, que se imparte en la Facultad de Ingeniería de la UAEMEX. Comprende 3 temas principales, donde se busca que el alumno adquiera las competencias de identificar como las propiedades químicas, físicas y mecánicas de los materiales, en un ambiente de servicio definen su selección en una obra.

Se sugiere que se presente en 2 sesiones de 1.5 hrs.



## Sesión 1.

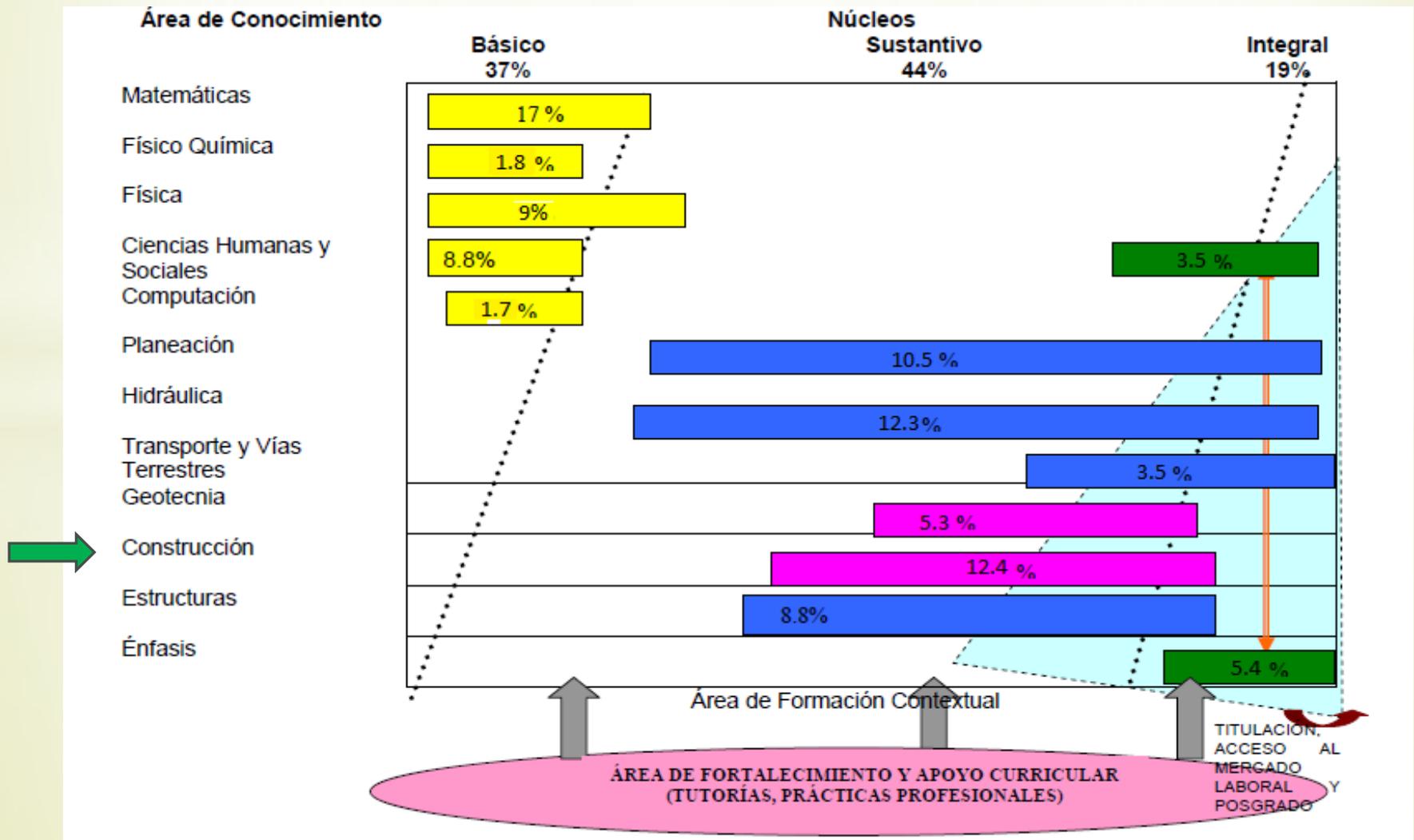


**1. Contextualización de la unidad de Aprendizaje. Evaluación diagnóstica.**

**2. Unidad de Competencia I: Selección y desarrollo de los materiales.**

**3. Consolidación del conocimiento. Evaluación sesión 1 y 2.**

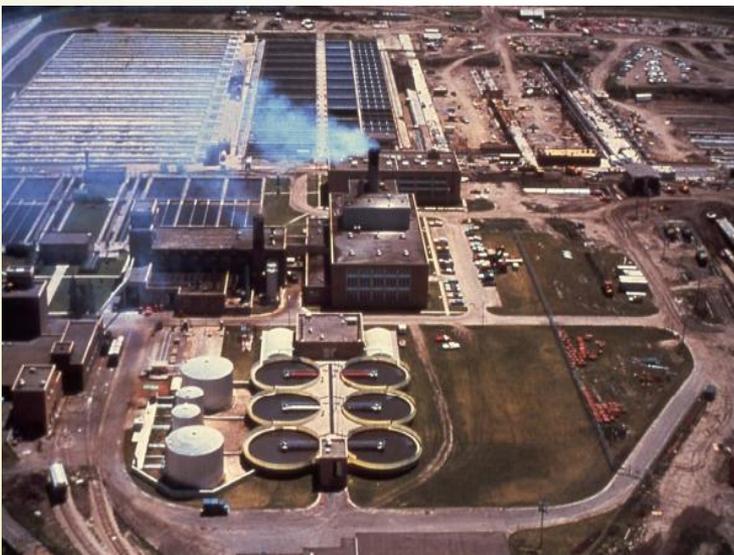
# Contextualización de Materiales para Ingeniería Civil en el Plan de Estudio.



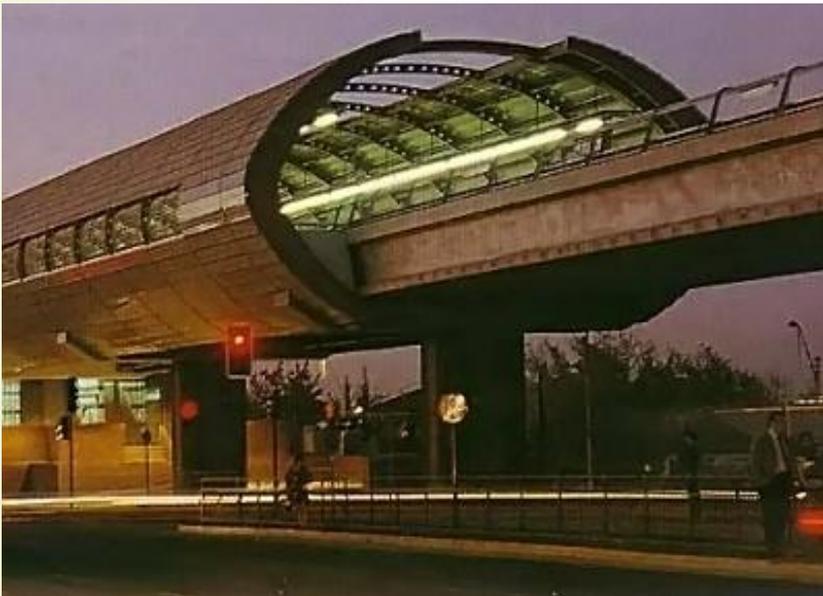
\* La ubicación de la unidad de aprendizaje Materiales para Ingeniería Civil, en el plan F2 vigente en el 5º. Semestre de la Licenciatura de Ingeniería Civil es adecuada, ya que forma parte de los conocimientos del núcleo sustantivo y en esta etapa un alumno regular ya concluyó 24 de las 25 unidades de aprendizaje del núcleo básico.

Núcleo de formación	Área	Nº de Unidades de Aprendizaje	Ubicación de las unidades de aprendizaje del 5º. periodo
<b>Básico</b>	Ciencias Humanas y Sociales	7	Primeros 4 periodos, excepto Mecánica del medio continuo que se imparte en el 5º. período
	Matemáticas	10	
	Física	5	
	Computación	1	
	Física-Química	1	
<b>Sustantivo e integral</b>	Planeación	6	Sistemas de Ingeniería Civil I y Economía
	Hidráulica	7	
	Geotecnia	3	Geología
	Construcción	7	Materiales Para Ingeniería Civil.
	Estructuras	5	Teoría Estructural
	Transporte y Vías Terrestres	2	
	Énfasis	3	
	TOTAL	57	

\* La ingeniería civil se ocupa del diseño, construcción, mantenimiento, inspección y administración de la infraestructura y equipamiento (obras) para el desarrollo de la sociedad.



# Ejemplos de obras requeridas por la sociedad



Los materiales de ingeniería se seleccionan para que se comporten en forma satisfactoria en servicio.

Para evaluar las características de comportamiento de un material y para ayudar al ingeniero en la selección de los materiales más apropiados y económicos para un trabajo particular, es necesario conocer las propiedades de los materiales de construcción, desde un punto de vista científico - tecnológico.



# CIENCIA

Meta: Explicar (0% tecnología )

- Definir una hipótesis
- Realizar un experimento para examinar la hipótesis
- Dar una explicación en base a los resultados.

ENSAYO - INTERPRETACIÓN

-

# TECNOLOGÍA

Meta: Modificar (0% Ciencia)

- Identificar un problema
- Proponer, Construir y examinar una solución.
- Cambiar el diseño en base a los resultados.

ENSAYO - ERROR

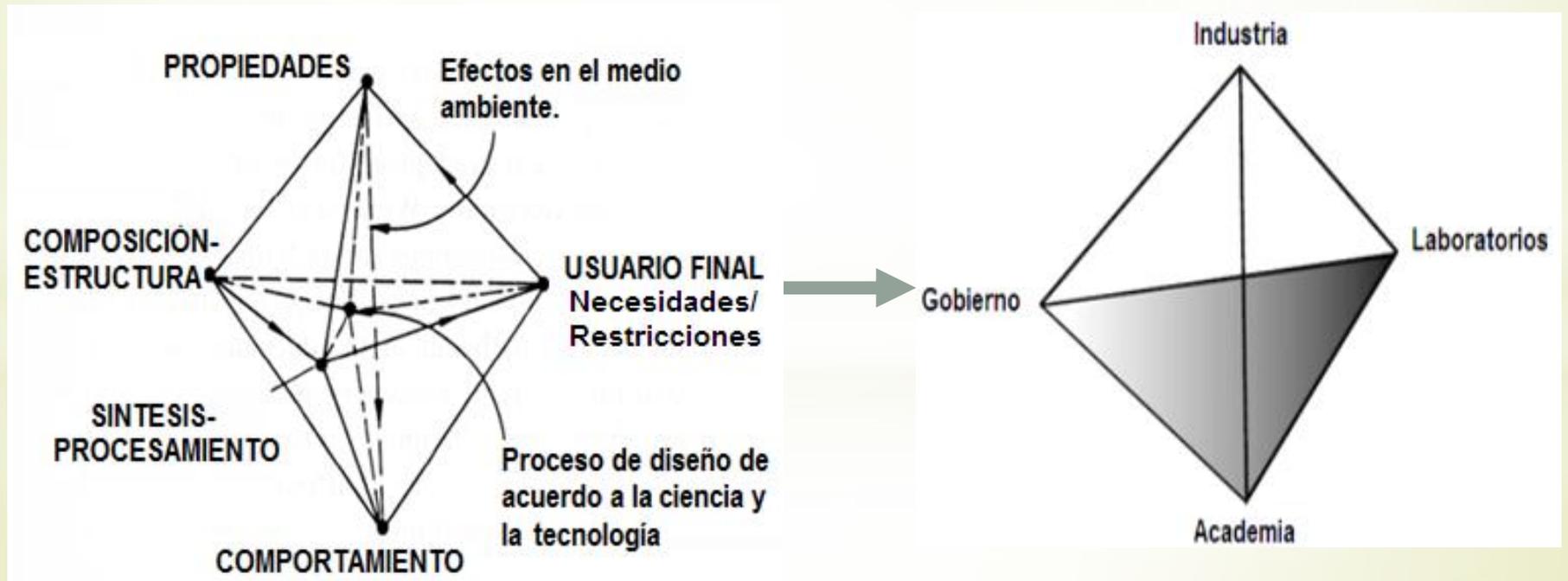


- Comprensión de las propiedades y uso de los materiales.
- Selección de materiales para que se comporten en forma satisfactoria en servicio
- Generación y desarrollo de nuevos materiales.
- Elaboración de Procedimientos constructivos, Reglamentos y Normas de Construcción

**USO ÓPTIMO DE LOS MATERIALES.**

La ciencia de materiales e ingeniería, tratan de los principios relacionados con el descubrimiento, producción, uso, reciclado y desecho de materiales; establece relaciones entre la composición, propiedades, síntesis/procesado, comportamiento y el usuario, para todos los tipos y formas de materiales.

Así mismo, para la producción de un material, los gobiernos emiten documentos como leyes, reglamentos, normas y especificaciones, con los cuales regula las necesidades y las restricciones para los usuarios y la industria, apoyados en las dependencias, laboratorios e instituciones académicas.



**Para su estudio se relacionan:**

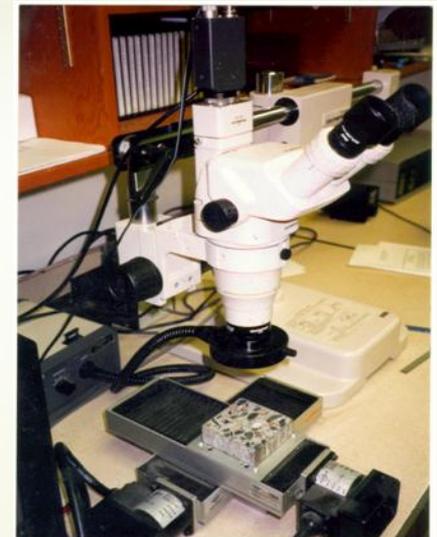
- **Composición (química) - Estructura (arreglo molecular en estado sólido, líquido o gaseoso)**
- **Propiedades(físicas, mecánicas, químicas, ópticas, etc.)**
- **Comportamiento (en función del tipo de estructura y sitio de construcción)**
- **Síntesis/procesado para todos los tipos y formas de materia. La síntesis consiste en el proceso por medio del cual los materiales son elaborados desde materia prima natural por medio de acciones física y/o químicas y procesado significa las diferentes etapas para modificar los materiales en componentes útiles o para modificar sus propiedades.**

Las propiedades generales de los materiales de ingeniería se agrupan en tres categorías:

a) propiedades físicas  
(geométricas, densidad y porosidad)

b) propiedades mecánicas  
(Resistencia a compresión, módulo de elasticidad, etc.)

c) propiedades químicas.  
(composición química, deterioro, corrosión etc.)



# \*Evaluación Diagnóstica

- \*Explique la importancia del estudio de los materiales para los ingenieros civiles.
- \*¿Cuales propiedades de los materiales ha utilizado en asignaturas anteriores?
- \*Indique cuatro ejemplos de materiales diferentes, utilizados en obras civiles que conoce.
- \*Indique 4 ejemplos de leyes, normas, reglamentos o especificaciones para obras civiles. ¿Sabe quien los emite?

# Unidad de competencia 1. Diseño y selección de materiales.

**OBJETIVO:** Que el alumno adquiriera los fundamentos de la ciencia y tecnología de los materiales necesarios para el análisis y evaluación de los mismos para tomar decisiones y resolver problemas sobre su utilización.

## CONTENIDO:

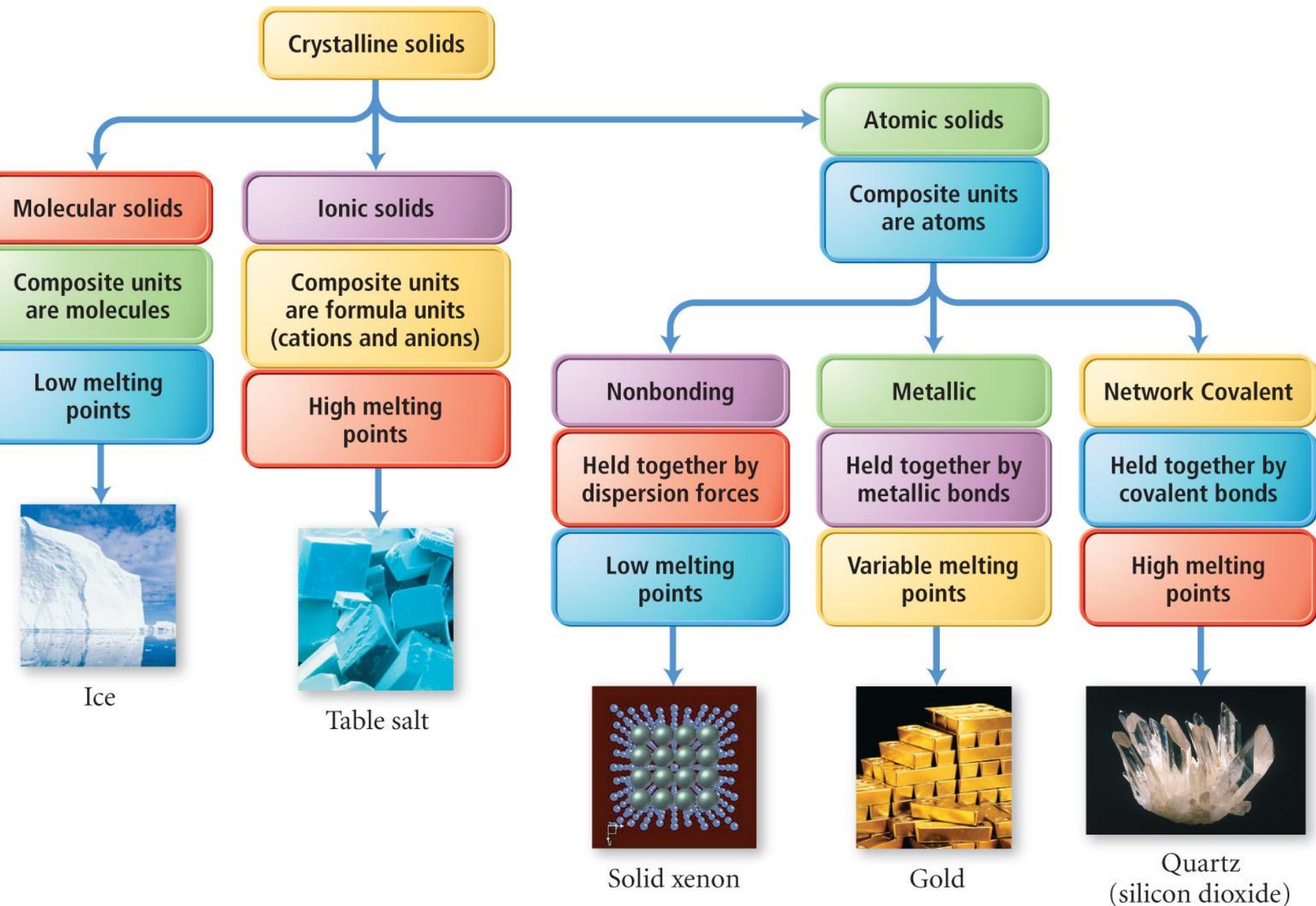
- 1.1. Clasificación de los materiales.
- 1.2. Fuerzas de enlace.
- 1.3. Diseño y selección de materiales.

## 1.1. Clasificación de los materiales.

La materia es todo lo que ocupa un lugar en el espacio (volumen) y tiene inercia (masa). Se encuentra en tres estados: sólida, líquida y gaseosa.

De acuerdo a su respuesta a la carga, los materiales líquidos y gases fluyen cuando se ejerce fuerza en ellos, mientras que los sólidos la resisten; los materiales de construcción se consideran de materia sólida.

Los materiales sólidos, se dividen en cristalinos y no cristalinos o amorfos. Un material cristalino tiene a sus átomos arreglados en forma periódica, mientras que los amorfos no presentan ese arreglo.



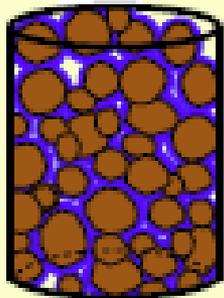
Las propiedades básicas definidas por masa y volumen son: densidad, masa específica, contenido de agua, Grado de saturación y porosidad.

### Ejemplo: DENSIDAD DE 10 MATERIALES

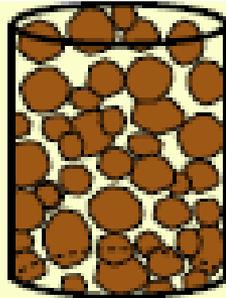
Material (25 °C)	Densidad	Estado
Aluminio	2.70	Sólido
Cobre	8.960	Sólido
Madera	0.20-0.80	Sólido
Plomo	11.300	Sólido
Cuarzo	2,65	Sólido
Aceite	0.92	Líquido
Gasolina	0.68	Líquido
Agua destilada	0.998	Líquido
Aire	1.30	Gaseoso
Butano	2.6	Gaseoso
Hidrógeno	0.8	Gaseoso

Generalmente un material está constituido por materia sólida, líquida y aire, el cual puede esquematizarse de la siguiente manera:

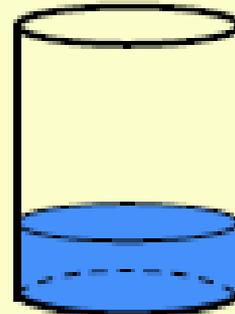
Material



Sólido - aire



Líquido



Utilizando las magnitudes medibles de masa y volumen

Masa

Masa de aire  $W_a = 0$

Masa de líquido  $W_w$

Masa de sólido  $W_s$



Volumen

$V_a$  Volumen de aire

$V_w$  Volumen de líquido

$V_s$  Volumen de sólido

La Densidad del material, se relaciona con la masa para determinar el volumen a partir de la siguiente expresión

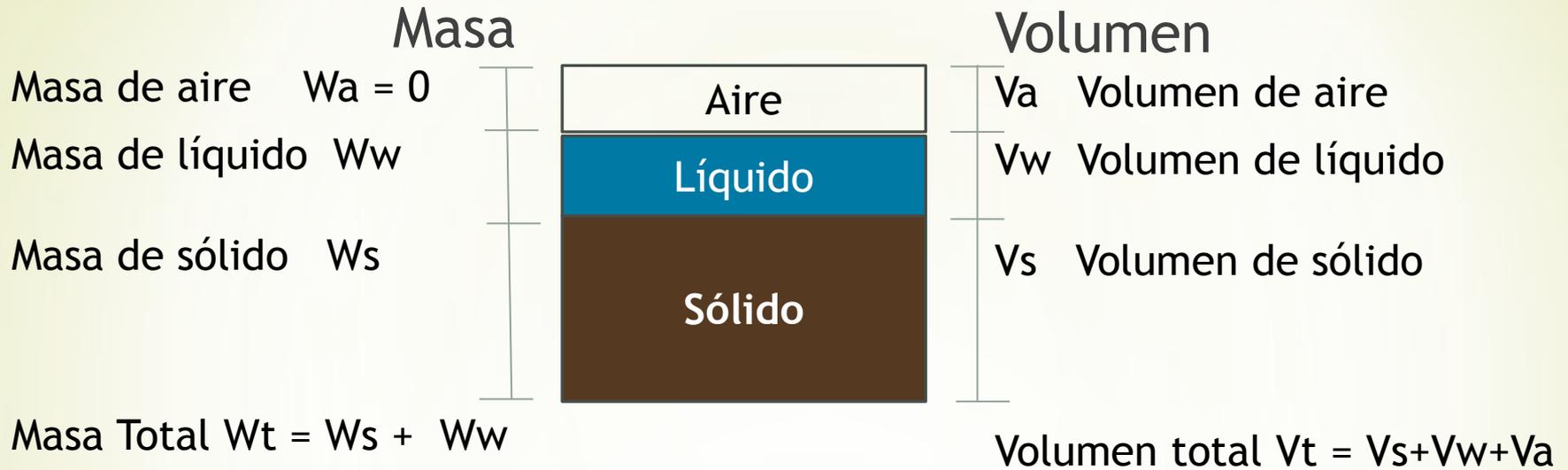
$$V_i = \frac{W_i}{D_i}$$

Donde:

W<sub>i</sub>: Masa del Material i en g

D<sub>i</sub>: Densidad del material, teniendo como unidad implícita  $g/cm^3$

V<sub>i</sub>: volumen del material i, en  $cm^3$



Las propiedades que se determinan utilizando esta representación son:

**Masa unitaria del material**  $\gamma = \frac{W_t}{V_t}$  en  $\text{kg/m}^3$  o  $\text{ton/m}^3$

**Masa unitaria seca del material**  $\gamma_d = \frac{W_s}{V_t}$  en  $\text{kg/m}^3$  o  $\text{ton/m}^3$

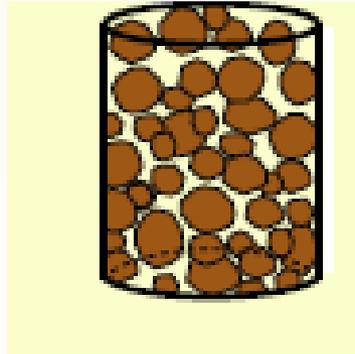
**Contenido de líquido**  $w = \frac{W_w}{W_s}$  en porcentaje o decimal.

*Si se conoce el contenido de líquido :*

*Masa*

$$W_s = \frac{W_t}{1+w}$$

$$W_t = W_s (1 + w), \quad w \text{ en decimal}$$



Muestra del sólido

*Masa Unitaria seca*

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+w}$$

$$\gamma = \gamma_d (1+w) \quad w \text{ en decimal}$$



## Volumen

$V_a$  Volumen de aire

$V_w$  Volumen de líquido

$V_s$  Volumen de sólido

Volumen total  $V_t = V_s + V_w + V_a$

*Relaciones en volumen:*

*Grado de saturación:*  $S = \frac{V_w}{V_w + V_a} \times 100$  en porcentaje       $S = \frac{V_w}{V_v} \times 100$

*Porosidad*  $n = \frac{V_w + V_a}{V_t} \times 100$  en porcentaje, también  $n = \frac{V_v}{V_t}$

$n = V_t - V_s$       *Cuando:*  $V_t = 1$  o 100%

$n = V_v$        $\therefore V_s = 1 - n$        $V_w = n S$

**Ejemplo: Un espécimen de roca de 4.8 cm de diámetro 4.8 cm y 9.9 cm de altura** peso en estado natural  $W_T = 341.9$  g y después de ser secado en el horno peso  $W_s = 315$  g. Calcular su masa unitaria, contenido de agua, masa unitaria seca y su representación esquemática.

Cálculos:

$$\text{Masa unitaria } \gamma = \frac{W_T}{V_T} = \frac{341.9 \text{ g}}{\pi(2.4 \text{ cm})^2(9.9 \text{ cm})} \times 1000 = \frac{341.9}{179.146} \times 1000 = 1908.5 \text{ kg/m}^3$$

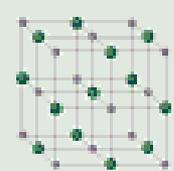
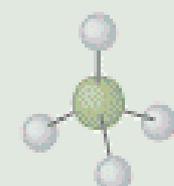
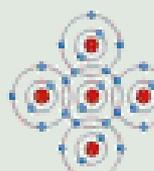
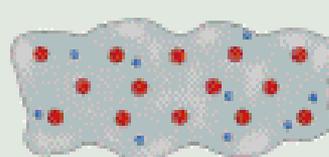
$$\text{Contenido de agua } w = \frac{W_t - W_s}{W_s} = \frac{341.9 - 315}{315} = \frac{26.9}{315} = 0.085 \text{ en decimal} = 8.5\%$$

$$\text{Masa unitaria seca } \gamma_d = \frac{W_s}{V_T} = \frac{\gamma}{1 + w} = \frac{1909}{1 + 0.085} = 1759.44 \text{ kg/m}^3$$

Material	Masa $W_i$	Densidad $D_i$	Volumen $V_i = \frac{W_i}{D_i} \text{ cm}^3$	%Volumen $\% V_i = \frac{V_i}{V_t} \times 100$
Solido	315 g	2.448	$V_s = 128.676 \text{ cm}^3$	71.8%
Agua	26.9 g	1.00	$V_w = 26.900 \text{ cm}^3$	15.0%
		$V_t =$	$179.146 \text{ cm}^3$	
Aire	---	$V_t - V_s - V_w =$	$V_a = 23.570 \text{ cm}^3$	13.2%

Aire $V_a = 13.2\%$
Líquido Agua $V_w = 15.0\%$
Solido $V_s = 71.8\%$

# 1.2. Fuerzas de enlace.

TIPO DE ENLACE	TIPO DE ESTRUCTURA	EJEMPLO DE ESTRUCTURA	PROPIEDADES CARACTERÍSTICAS
<p>Enlace iónico</p>  <p>▲ ejemplo: KCl</p>	Red iónica	 <p>▲ Cloruro de potasio, KCl</p>	<p>Sólidos cristalinos</p> <p>Puntos de fusión elevados</p> <p>Puntos de ebullición elevados</p> <p>Solubles en agua</p> <p>Conducen la electricidad fundidos o en disolución</p> <p>No conducen la electricidad en estado sólido</p>
<p>Enlace covalente</p>  <p>▲ ejemplo: CH<sub>4</sub></p>	Moléculas simples	 <p>▲ Metano, CH<sub>4</sub></p>	<p>Fundamentalmente líquidos y gases</p> <p>Puntos de fusión bajos</p> <p>Puntos de ebullición bajos</p> <p>Insolubles en agua</p> <p>No conducen la electricidad</p>
 <p>▲ ejemplo: C</p>	Moléculas gigantes	 <p>▲ Diamante, C</p>	<p>Sólidos</p> <p>Puntos de fusión elevados</p> <p>Puntos de ebullición elevados</p> <p>La solubilidad y conductividad varían de una sustancia a otra</p>
<p>Enlace metálico</p>  <p>▲ ejemplo: Ag</p>	Red metálica	 <p>▲ Plata, Ag</p>	<p>Sólidos cristalinos</p> <p>Dúctiles y maleables</p> <p>Puntos de fusión elevados</p> <p>Puntos de ebullición elevados</p> <p>Insolubles en agua</p>
<p>Enlace polimérico</p> $\left( \begin{array}{cc} \text{H} & \text{H} \\   &   \\ -\text{C} & -\text{C}- \\   &   \\ \text{H} & \text{H} \end{array} \right)_n$ <p>▲ ejemplo: Polietileno</p>	Moléculas gigantes	 <p>▲ Polietileno (CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>)<sub>n</sub></p>	<p>Sólidos cristalinos</p> <p>Dúctiles y maleables</p> <p>Puntos de fusión elevados</p> <p>Puntos de ebullición elevados</p> <p>Insolubles en agua</p>

# \*Evaluación Sesión 1.

- \* ¿Qué magnitudes distinguen a la materia?
- \* ¿Cuales son las propiedades generales de la materia?
- \* Investigue dos ejemplos de materiales para ingeniería, de acuerdo al tipo de enlace químico.
- \* Investigue que es un diagrama de fases de equilibrio y su uso, con dos ejemplos de materiales para obras de ingeniería.

## 1.3. Diseño y selección de materiales.

Los factores que intervienen en la selección de los materiales, son el espacio geométrico disponible para construirlo (variables geométricas como longitud y área), la función del elemento (variables funcionales) y la durabilidad o resistencia a las acciones a las que va a estar sometida (variables mecánicas como el esfuerzo en el límite elástico), a partir de su análisis, se puede determinar el material que minimiza o maximiza su comportamiento de falla bajo esfuerzos o deformaciones admisibles, en un tiempo estimado, denominado vida útil.

Los materiales de ingeniería se seleccionan para que se comporten en forma satisfactoria en servicio.

Para un diseño óptimo es necesario maximizar (o minimizar) el comportamiento de la fuerza  $F$ . La función de comportamiento se expresa como:

$$P = f_1(\text{Var. Funcionales}) f_2(\text{Var. Geométricas}) f_3(\text{Var. Mecánicas})$$

Cuando la ecuación es separable, el subconjunto óptimo de materiales se puede identificar sin resolver completamente el problema de diseño cuando se conocen los aspectos funcionales y geométricos. Lo que representa una simplificación importante para solo definir las propiedades de mecánicas de los materiales respecto a la carga.

Se reconocen tres tipos de carga:

1. Estáticas
2. Dinámicas
3. Ambientales

Las cargas estáticas se consideran:

1. Lentamente aplicadas.
2. Sostenidas por un periodo de tiempo.
3. Lentamente retirada.

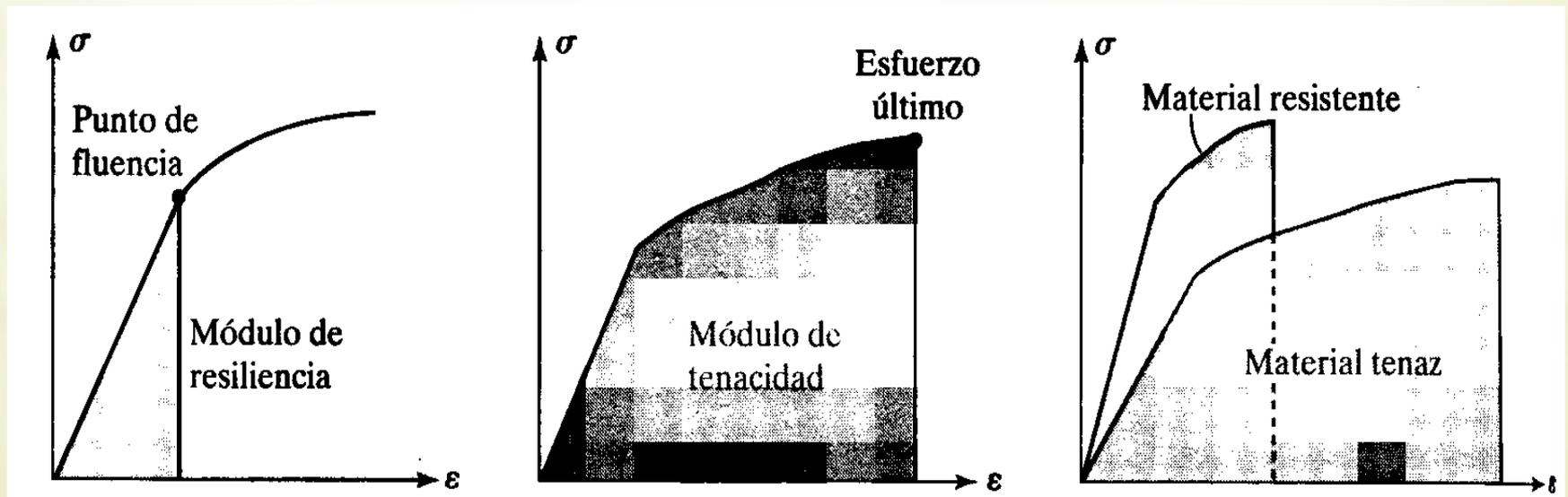
También se clasifican como:

- a) Cargas muertas: peso propio de los materiales, objetos fijos, etc.
- b) Cargas vivas: objetos móviles, personas, etc.



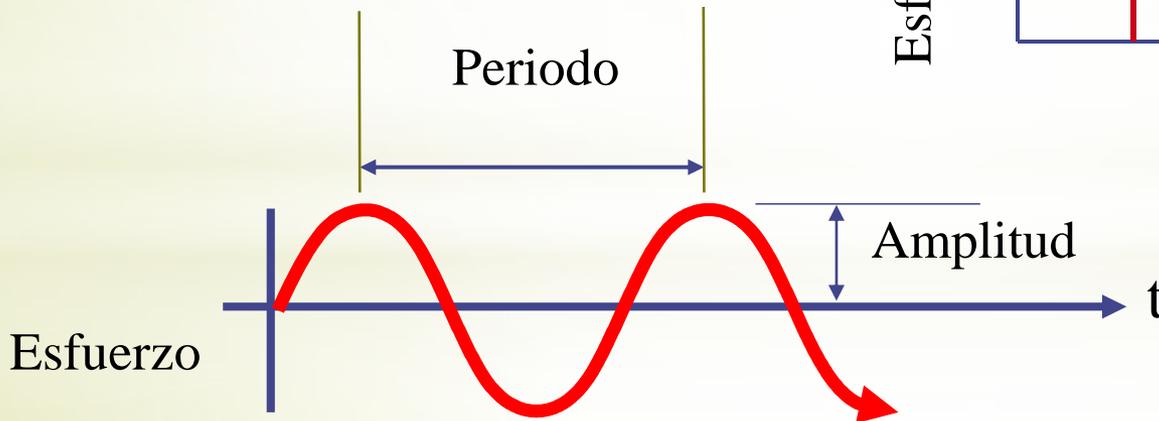
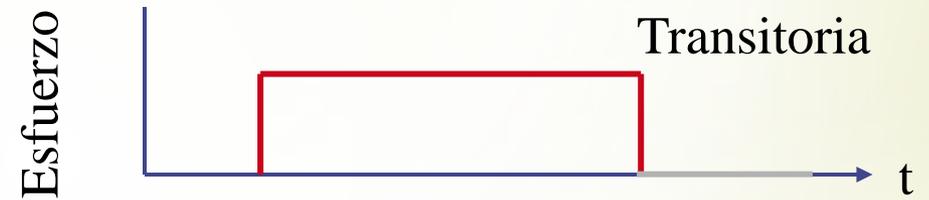
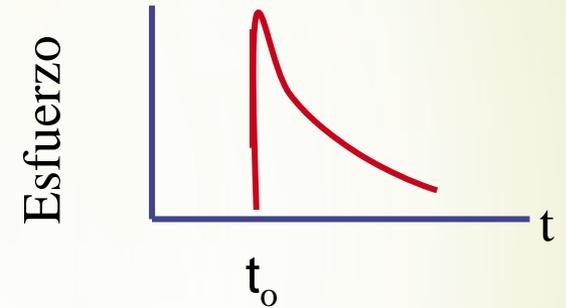
Prueba de resistencia del mortero en compresión

El comportamiento bajo cargas se describe en gráficas esfuerzo-deformación ( $\sigma-\varepsilon$ ) o gráficas esfuerzo-tiempo. El esfuerzo nos indica cuanta fuerza se necesita para romper algo, pero no nos dice nada de lo que ocurre con la muestra mientras estamos tratando de romperla, ahí es donde corresponde estudiar el comportamiento de la deformación de la probeta.



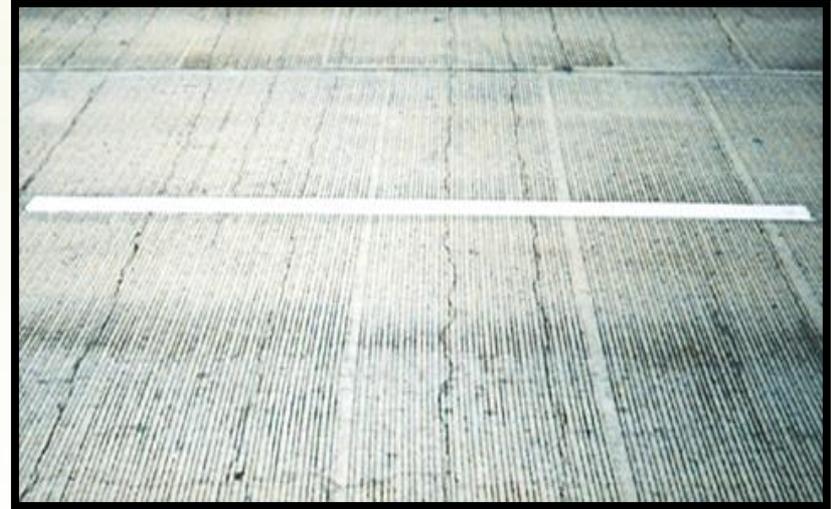
# Cargas dinámicas pueden ser de:

1. Impulso o impacto
2. Vibración
  - a) Aleatorias
  - b) Transitorias
  - c) Periódicas



# Acciones ambientales

1. Físicas
2. Químicas
3. Otras



**Agrietamiento por dilatación-expansión**

Diferentes  
condiciones:

- Por temperatura
- Por humedad
- Por congelamiento
- Por abrasión



**Ataque por sulfatos**



**Corrosión**

# Fuerzas Estáticas y Esfuerzos

1. Esfuerzo por flexión

$$\sigma = \frac{M}{I} c$$

2. Esfuerzo cortante por flexión

$$\tau = \frac{V Q}{I t}$$

3. Esfuerzo axial de tensión

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

4. Esfuerzo axial por compresión

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

5. Esfuerzo cortante por torsión

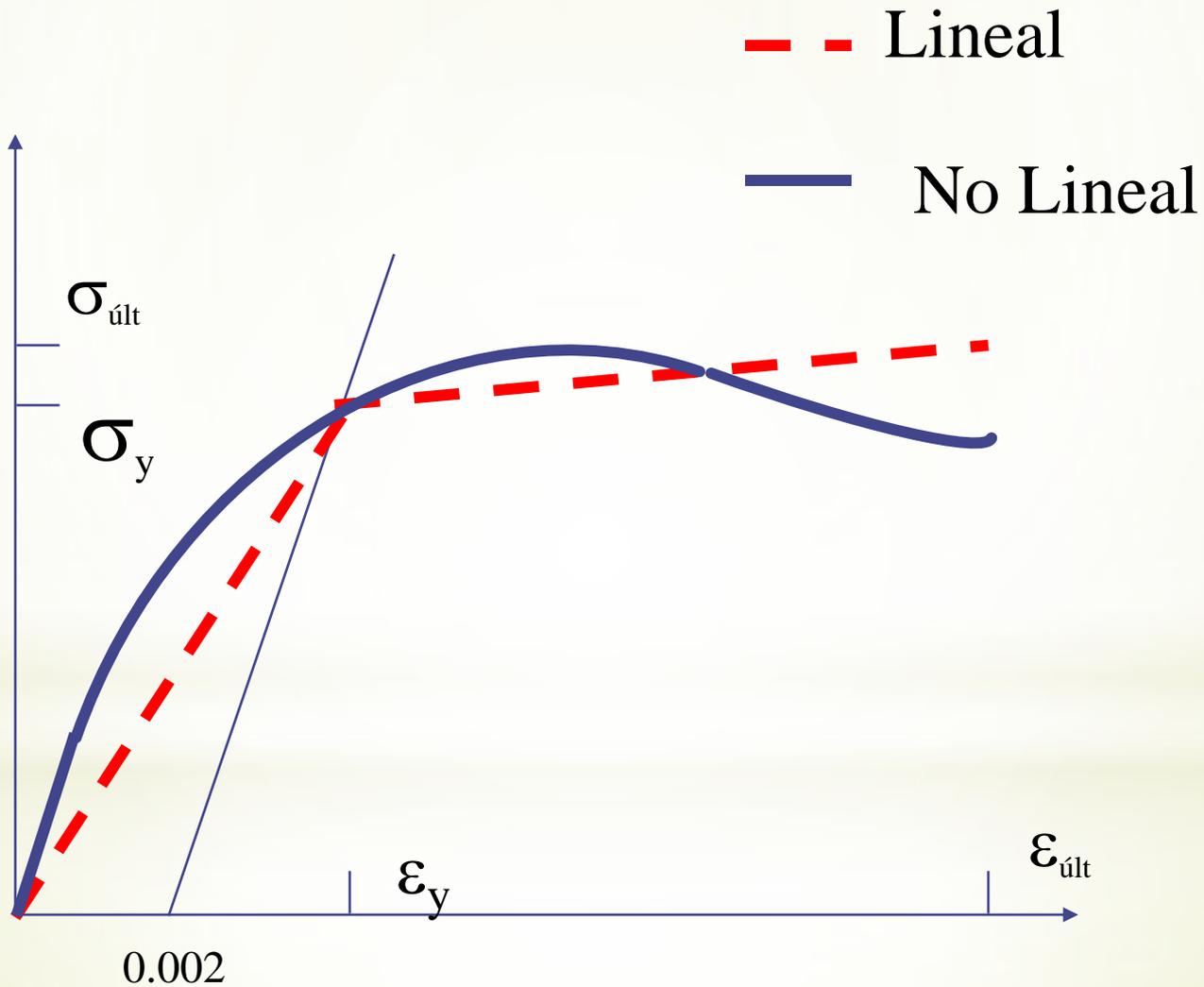
$$\tau = \frac{T r}{I_P}$$

Equilibrio de fuerzas:

Externas e Internas

1. Módulo elástico, relación de Poisson
2. Esfuerzos combinados
3. Esfuerzo de fluencia
4. Supuestos de la teoría elasticidad

# Comportamiento lineal y no lineal de los materiales.



# Módulo de Elasticidad

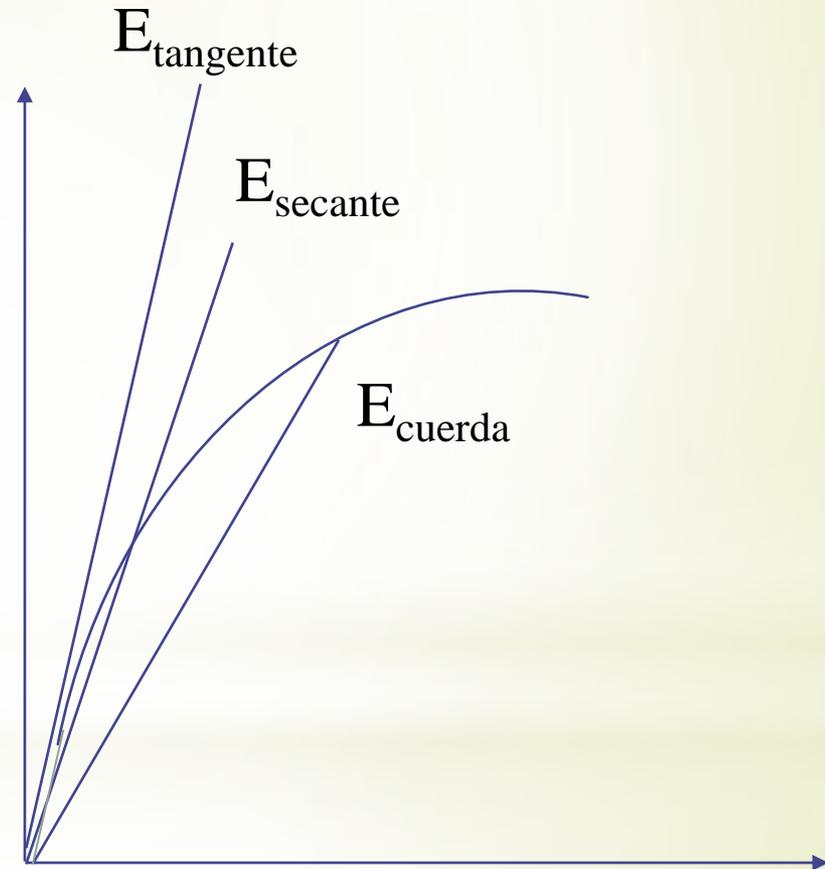
Tangente

Secante

Cuerda

Módulo Cortante

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)}$$



## Deformación y esfuerzo

1. Axial  $\sigma = E\varepsilon$

2. Flexión (secciones planas permanecen planas)  $\frac{M_x}{EI} = \varepsilon$

3. Compresión y Tensión  $\varepsilon = \frac{\Delta}{L}$

4. Deformación cortante (distorsión)  $G = \frac{\tau}{\gamma}$

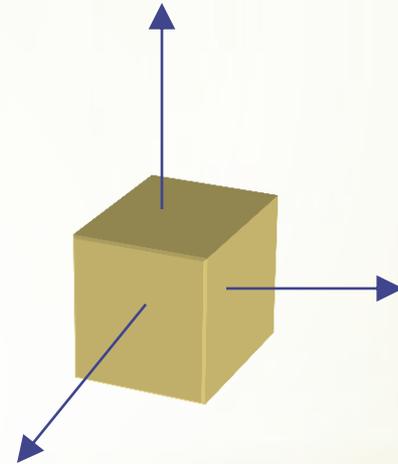
5. Relación de Poisson  $\nu = \frac{\varepsilon_{lat}}{\varepsilon_{long}}$

## Ley de Hooke Generalizada

$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)}{E}$$

$$\varepsilon_y = \frac{\sigma_y - \nu(\sigma_x + \sigma_z)}{E}$$

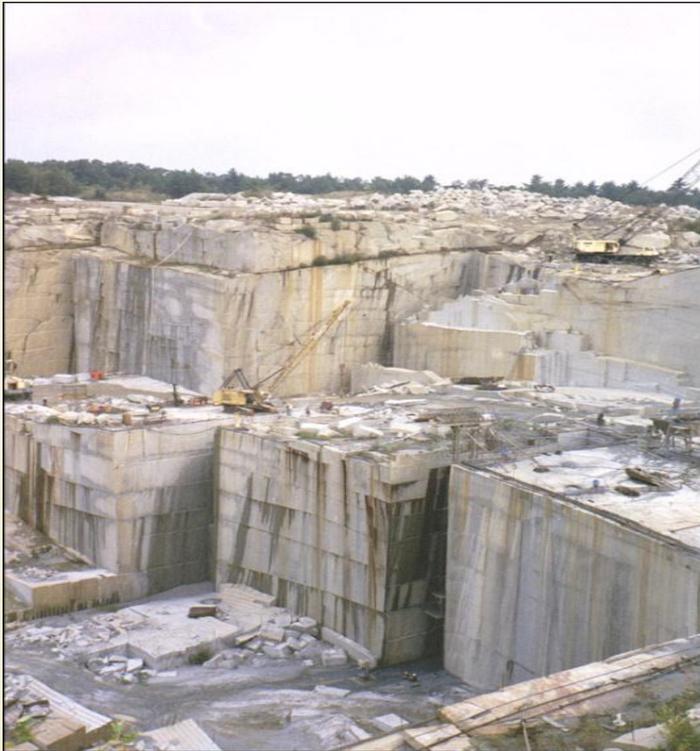
$$\varepsilon_z = \frac{\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)}{E}$$



# DESARROLLO DE LOS MATERIALES

(ejemplo de agregados minerales para concreto hidráulico)

1. Selección de la materia prima: Roca intacta o fragmentos de roca en la superficie terrestre.



# DESARROLLO DE LOS MATERIALES

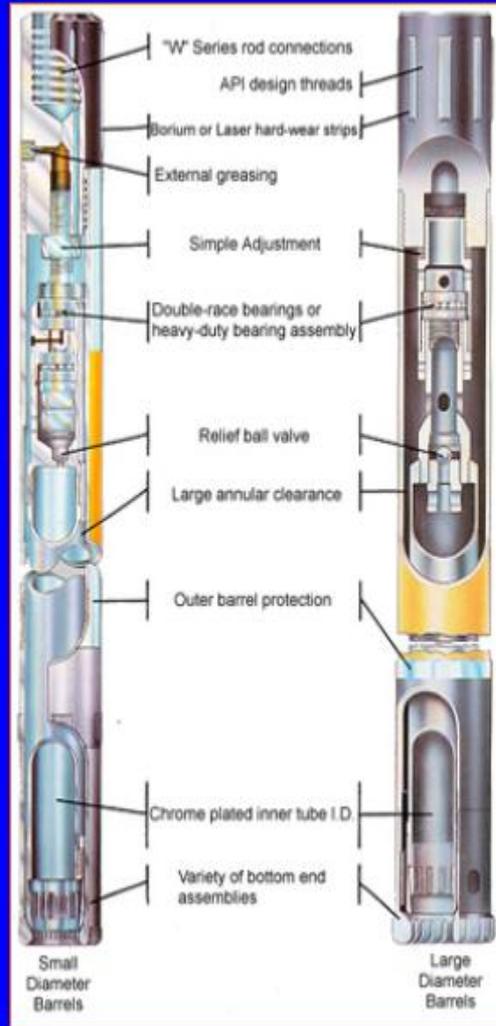
(ejemplo de agregados minerales para concreto hidráulico)

1. Selección de la materia prima: Estudios preliminares por métodos directos.



# 1. Selección de la materia prima: Estudios preliminares obtención de muestras.

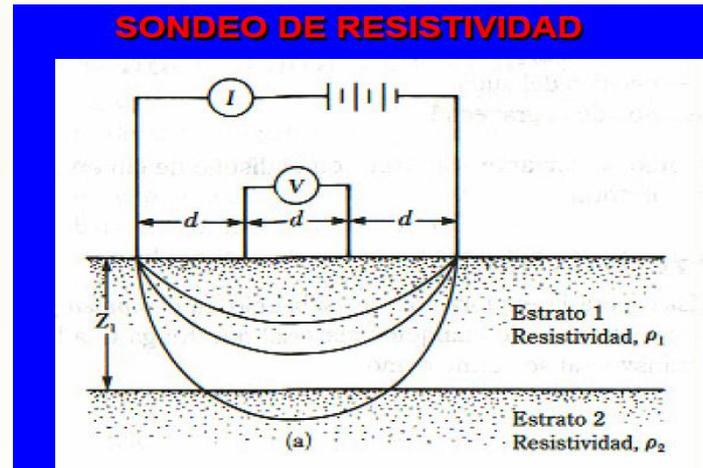
## Toma-núcleos



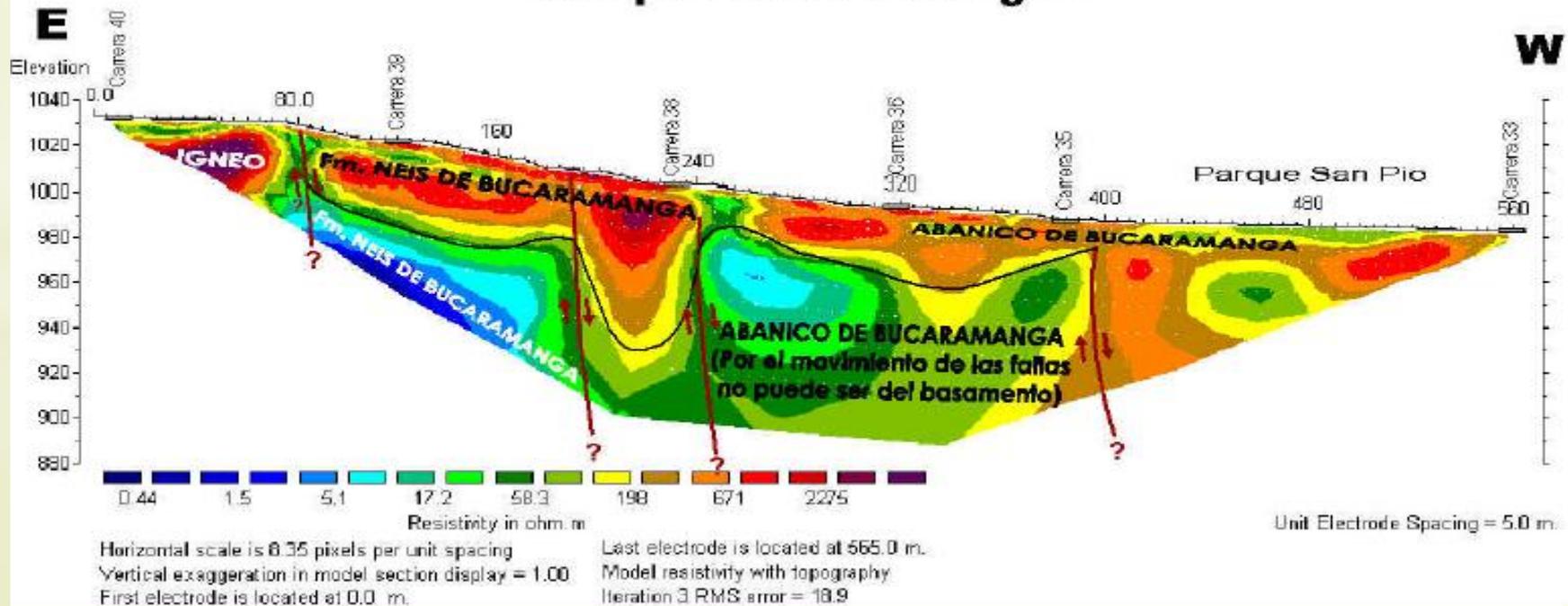
1. Selección de la materia prima: Estudios preliminares por métodos indirectos.



# 1. Selección de la materia prima: Estudios preliminares, representación de zonas explotables.



## Interpretación Geológica



## 2. Explotación de Rocas y suelos.



colocación de Retardadores EZDT de 60 FT



colocacion de Nitrato ANFO Dinamita.

## 2. Explotación de Rocas y suelos.



Zanja formada por la voladura.



Afloramiento de material basáltico.

### 3. Extracción, traslado y producción de los agregados.



Transportación de material del banco a la trituradora.



Colocación de material en la trituradora.

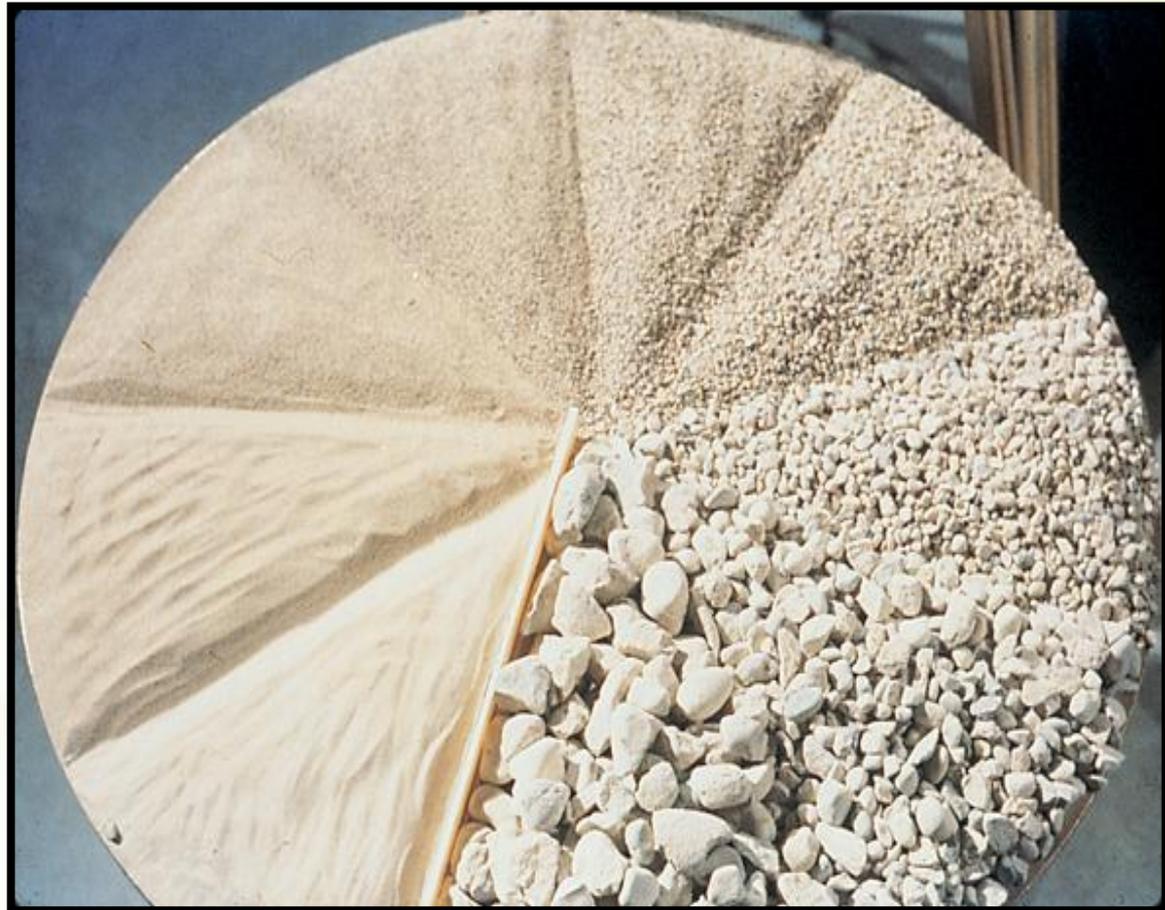
### 3. Extracción, traslado y producción de los agregados.



## 4. Control de calidad: Muestreo NMX-C-030-ONNCCE



#### 4. Control de calidad: Análisis Granulométrico, separación por el tamaño de las partículas (NMX-C-077-ONNCCE)

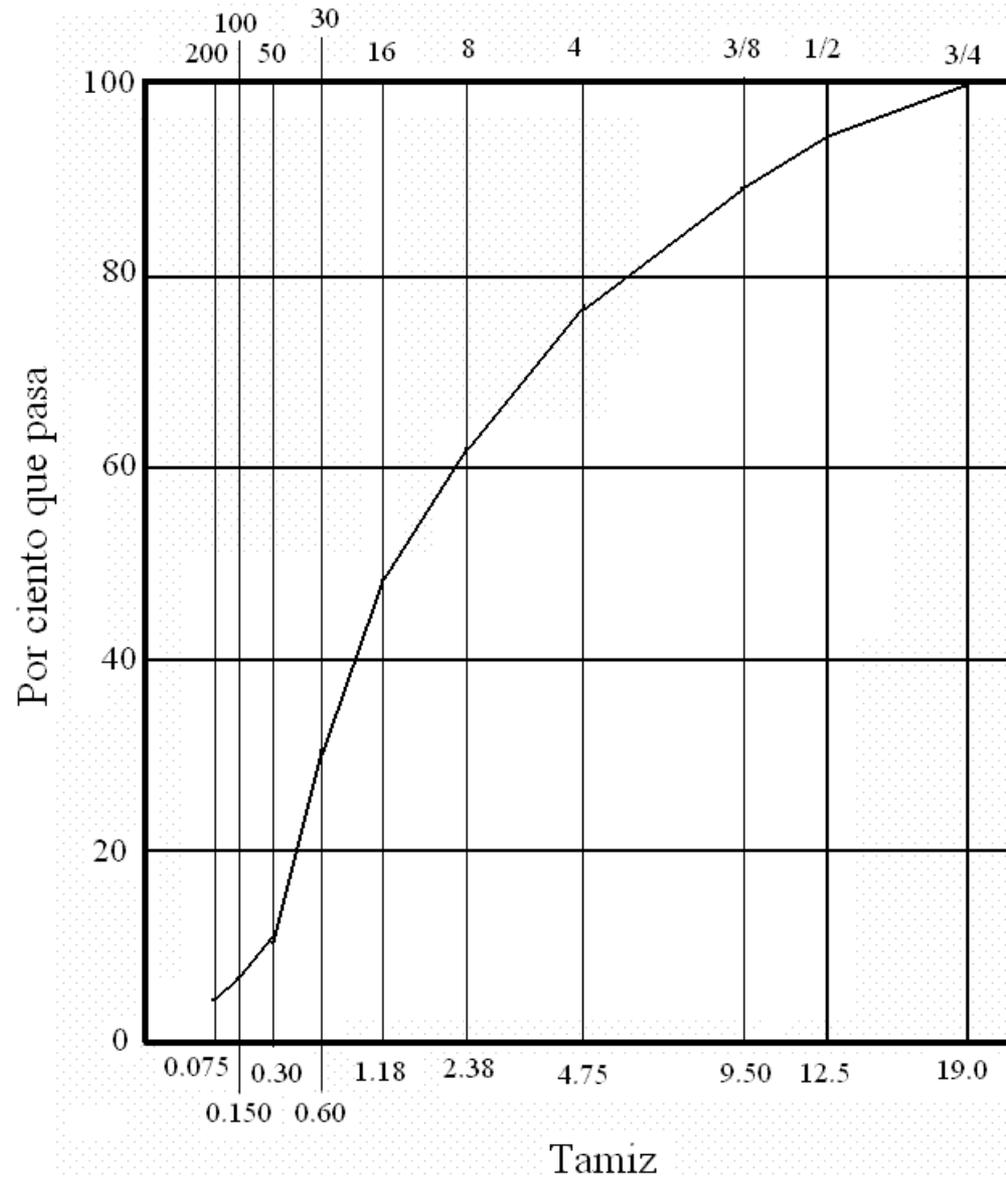


## 4. Control de calidad: Análisis Granulométrico NMX-C-077-ONNCCE

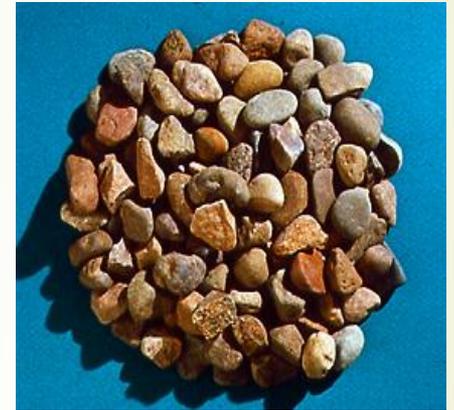
Tamaño máximo de agregado ¾''      Tamaño nominal de agregado ½''

Tamiz	Peso retenido, g	Retenido, %	Retenido Acumulado, %	Que pasa, %
¾	0	0	0	100
½	89.9	4.3	4.3	95.7
3/8	159.7	7.7	12.0	88.0
No. 4	238.5	11.5	23.5	76.5
No. 8	311.1	15.0	38.5	61.5
No. 16	300.7	14.5	53.0	47.0
No. 30	398.2	19.2	72.2	27.8
No. 50	327.7	15.8	88.0	12.0
No. 100	149.3	7.2	95.2	4.8
No. 200	16.6	0.8	96.0	4.0
Charola	24.9	1.2	97.2	
Lavado	58.1	2.8	100.0	
Total	2074.0	100.0		

# Datos del ejemplo

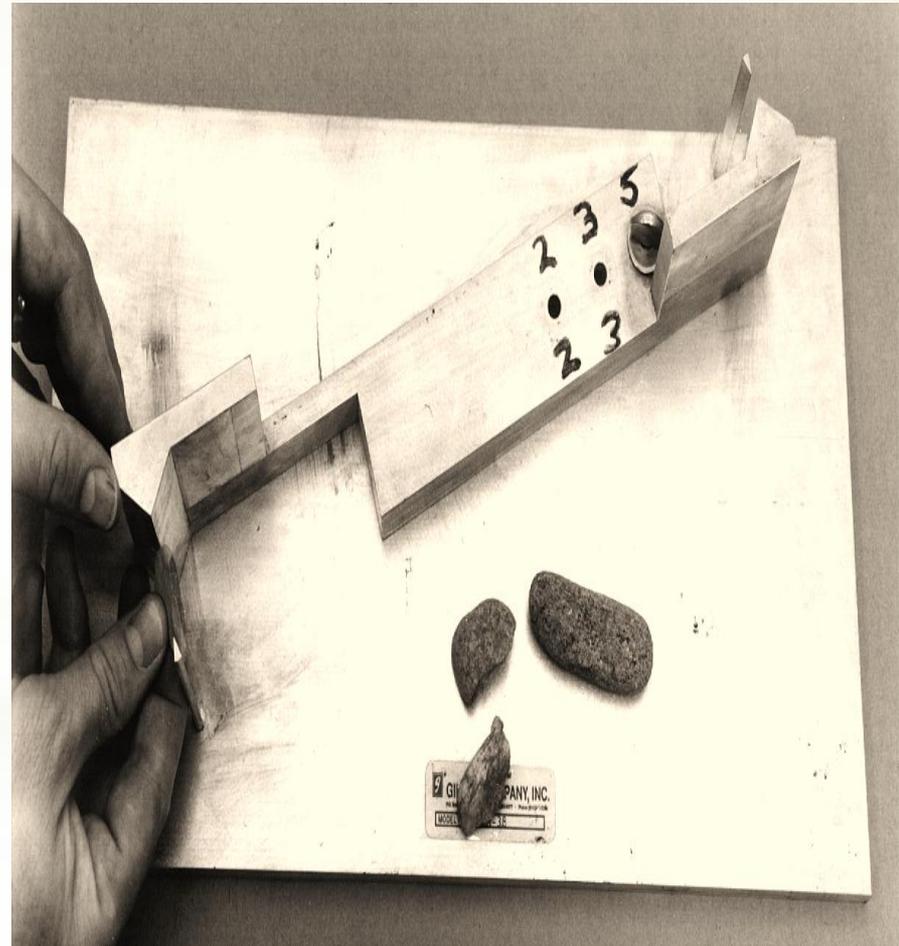


4. Control de calidad: Determinación de la resistencia a la degradación por abrasión e impacto de agregados gruesos usando la máquina de los ángeles, NMX-C-196-ONNCCE.



#### 4. Control de calidad: Examen petrográfico NMX-C-265-ONNCCE-2010.

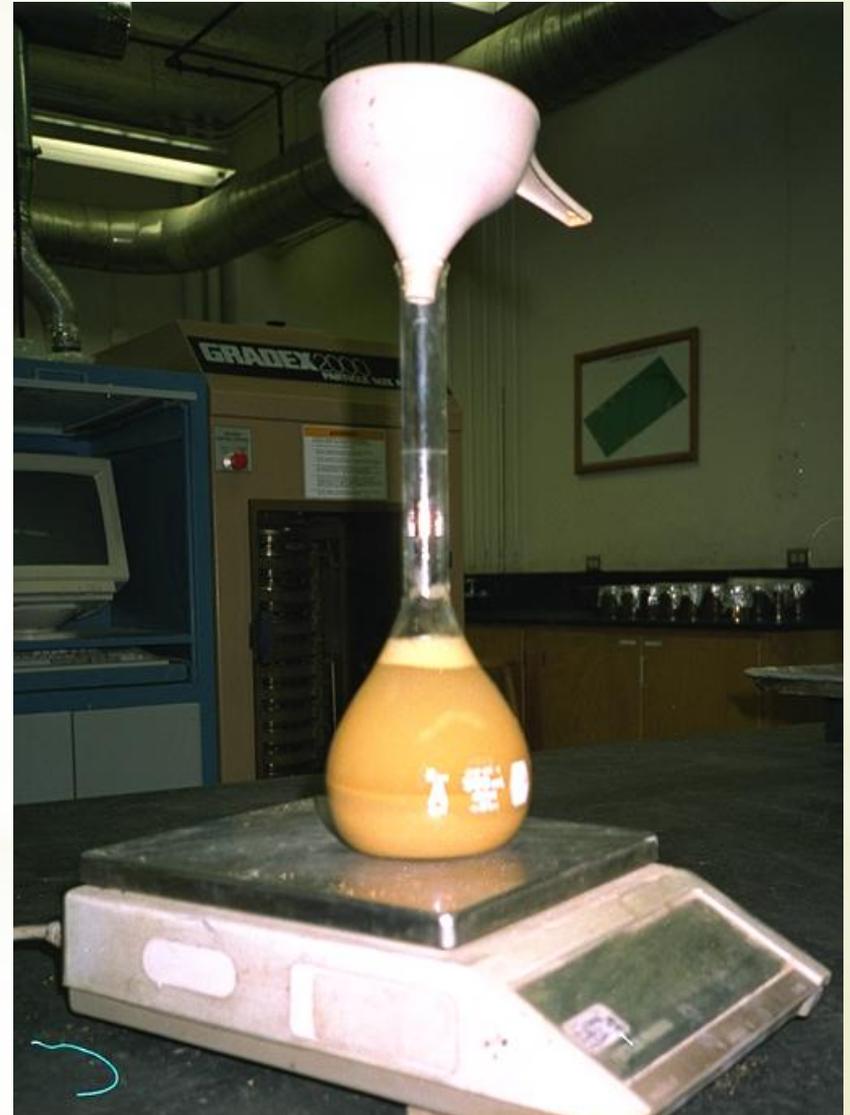
Partículas alargadas y lajeadas de agregados pétreos M·MMP·4·04·005.



#### 4. Control de calidad: Determinación de la densidad relativa y absorción de agua del agregado grueso. NMX-C-164-ONNCCE.



#### 4. Control de calidad: Determinación de la densidad relativa y absorción de agua del agregado fino NMX-C-165-ONNCCE



# \*Evaluación Sesión 2.

- \* ¿Qué variables se consideran para la selección de los materiales?
- \* ¿Cómo influye cada variable en la selección del material?
- \* ¿Porque es importante efectuar la gráfica esfuerzo-deformación en un elemento estructural?
- \* Identifique 4 diferencias entre las especificaciones NMX-C-111- ONNCCE y N·CMT·2·02·002 para los agregados pétreos para concreto hidráulico.

## Referencias bibliográficas:

Ashby M.F., *Materials Selection in Mechanical Design*, 3ª. Edición, Elsevier, 2005.

Calliester, W.D., *Introducción a la ciencia de los materiales*, cap. 21, Editorial Reverté, Barcelona, 2004, pp. 21.1 - 21.49.

Dieter G.E., *Engineering Design*, McGraw-Hill, Nueva York, 1986.

<https://es.wikipedia.org/wiki>, consultada en agosto de 2015.

<http://www.onncce.org.mx/> consultada en agosto de 2015

<http://normas.imt.mx/>, consultada en agosto de 2015