



Profesor Titular: Ing. Maximiliano Segerer

Jefe de Trabajos Prácticos: Ing. Carlos Aluz

ASIGNATURA: TECNOLOGÍA DEL HORMIGÓN

TRABAJO PRÁCTICO N° 3

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS

I. OBJETIVOS

Manejo de los ensayos, cálculos y gráficos para el estudio de las granulometrías. Conocimiento de la terminología técnica del tema. Desarrollo del criterio para calificar la aptitud granulométrica de los agregados. Manejo de Normas.

II. DESARROLLO

El trabajo práctico se desarrollará en gabinete y en el laboratorio. La primera parte consistirá en lectura y explicación de Normas relativas al tema. Se procederá al análisis granulométrico de un agregado fino y un agregado grueso. Las técnicas de ensayo de agregados serán desarrolladas por los alumnos en laboratorio en el Trabajo Práctico N° 6.

III. NORMAS Y REGLAMENTOS A CONSULTAR

- **Norma IRAM 1501** – Tamices de ensayos
- **Norma IRAM 1505** – Agregados. Análisis granulométrico
- **Norma IRAM 1540** – Agregados. Ensayo que pasa por tamiz 75 μm , por lavado
- **Norma IRAM 1569** – Morteros y hormigones. Definiciones
- **Norma IRAM 1627** – Granulometría de los agregados para hormigones
- **Artículos “Paso a Paso” Ensayos de Agregados.** Esta documentación donde figuran las metodologías y fotografías de ensayos debe ser utilizado y puede ser evaluado.

IV. INTRODUCCIÓN TEÓRICA

A. DEFINICIONES Y CONCEPTOS GENERALES

Como sabemos, la *granulometría* es la distribución por tamaños de las partículas que constituyen un agregado.

Si definimos como **Compacidad de un agregado individual** a la relación entre su volumen real y volumen aparente, siendo el volumen real el volumen sólido de todas las partículas y el volumen aparente el volumen sólido más los vacíos que se encuentran entre las partículas:

$$C = \frac{V_{\text{sólido}}}{V_{\text{sólido}} + V_{\text{vacíos}}}$$

Una correcta distribución de las partículas define una granulometría eficaz, la que influencia positivamente las siguientes propiedades:

- **Compacidad del esqueleto granular:** Al disminuir el volumen de vacíos, se obtiene un esqueleto granular compacto, reduciendo la cantidad de pasta de cemento (y con ello la cantidad de cemento) necesario para rellenarlo.
- **Docilidad:** Con granulometrías apropiadas se obtienen hormigones mas trabajables que necesitan menor energía de compactación.
- **Economía:** ya que la pasta de cemento, que es el componente más costoso del hormigón, se ve reducida en virtud de la disminución de vacíos.

Además, la superficie total de las partículas del agregado debe tener el menor valor posible ya que éstas deben estar recubiertas completamente con la pasta aglomerante. Por ello es preferente utilizar el máximo tamaño de agregados permitido, lo que se logra con una buena granulometría. Para ver el efecto del aumento de la superficie con la disminución del volumen de granos se muestra un ejemplo en la Figura 1:

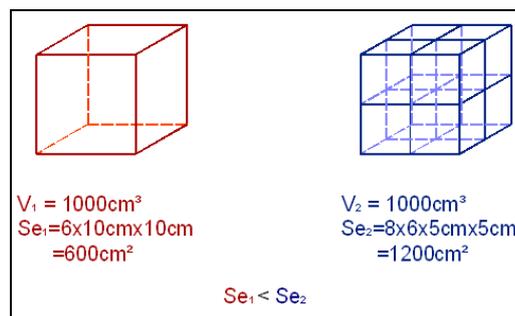


Figura 1 – Esquema de superficie específica de agregados

La superficie específica de un material granular, en este caso de los agregados, se define como la relación entre la superficie de cada uno de sus granos y el peso de los mismos. De esta manera, para materiales más finos, a igualdad de masa o volumen absoluto, la superficie específica es mayor (Caso 2 de la Figura 1).

B. NORMA IRAM 1505. MÉTODO DE ENSAYO PARA AGREGADO FINO

1. Instrumental necesario

- Vibrador mecánico que consiste en un dispositivo con un sistema para sostener una serie de tamices superpuestos y un sacudidor con impulsión directa, accionado por un motor eléctrico que da a los tamices un movimiento circular y otro de avance y retroceso con un golpe vertical. No es indispensable.
- Tamices *IRAM*, que cumplan con las características indicadas en la *Norma IRAM 1501* y que sean adecuados al uso del material a ensayar.
- Fondo recibidor y tapa.
- Cuartheador de muestras o partidor de Jones.
- Balanza con capacidad de 500 g de 0,1 g de precisión.
- Estufa de secado que permita mantener una temperatura de $105\text{ }^\circ\text{C} \pm 5\text{ }^\circ\text{C}$.

2. Preparación de la muestra

- Se mezclan las muestras obtenidas en el muestreo y se reducen, previamente humedecidas para minimizar la segregación y la pérdida de polvo, utilizando el partidor de Jones o el método de cuarteo, hasta que las muestras tengan (después de secadas) los pesos siguientes:
 - **100 g...** Agregados con más del 95% en peso que pasa el tamiz **IRAM N° 8**

- **500 g...Agregados con más del 90% en peso que pasa el tamiz IRAM N° 4 y más del 5% retenido en el tamiz IRAM N° 8**
- b. Primero es condición indispensable ensayar la muestra de agregado según la Norma IRAM 1540. Una vez eliminado el material pasante tamiz # 200, como se describe más adelante en el presente trabajo práctico, sobre esa muestra se procede a realizar el análisis granulométrico. La fracción pasante tamiz # 200 se adicionará al final para la confección de la curva granulométrica.
 - c. Se seca la muestra en la estufa a $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, durante 24 horas o hasta peso constante y se coloca en el tamiz de mayor abertura de la serie que cumpla con las especificaciones del material en estudio, los que deben estar ubicados en orden decreciente de aberturas de arriba hacia abajo.
 - d. Se limpian todos los tamices a emplear y se pesan, registrando los pesos individuales de cada uno de los tamices del agregado fino.

3. Procedimiento.

a. Tamizado manual.

Se sostiene con su fondo recibidor y tapa, en forma individual. Se agita con movimientos verticales, laterales y vibratorios, con el fin de que la muestra tenga un movimiento continuo sobre la superficie del tamiz. En ningún caso la fracción retenida sobre cualquier tamiz al finalizar la operación de tamizado debe pesar más de 1 g/cm^2 . Se puede regular la cantidad de material retenido sobre el tamiz crítico colocando un tamiz de mayor abertura sobre el tamiz en estudio, o seleccionando una cantidad adecuada de muestra. Como ejemplo, los tamices más comunes que son de 20 cm de diámetro tienen una superficie de 314 cm^2 .

b. Tamizado mecánico.

Se coloca el conjunto de tamices por emplear uno encima del otro en orden de tamaño de abertura decreciente de arriba hacia abajo y se coloca la muestra de ensayo en el tamiz superior. Se ubica el conjunto de tamices con la muestra en el vibrador mecánico y se agitan durante un tiempo suficiente para garantizar la efectividad del tamizado.

c. Verificación del tamizado:

Tanto para el tamizado manual como para el tamizado mecánico debe verificarse que el tamizado ha sido efectivo, considerándolo de esta manera cuando luego de 1 minuto de agitación manual, el porcentaje que pasa por cada tamiz es menor que el 1% del material retenido en cada uno de ellos. Debe realizarse sobre todos los tamices empleados para el análisis granulométrico. Si el tamizado no ha sido efectivo en alguno de los tamices, se continúa con el tamizado de dicho tamiz y de los de abertura de malla menor, hasta obtener la condición necesaria.

d. Obtención de los retenidos en los diferentes tamices:

Una vez realizada la verificación del tamizado, se pesan los tamices con el retenido. Realizando la resta entre el tamiz con el retenido en él, menos el peso del tamiz determinado antes de comenzar el tamizado, se obtienen los retenidos parciales de cada uno de los tamices, con precisión de 0,1 g.

4. Informe.

El informe debe incluir uno de los tres porcentajes siguientes:

- a. El porcentaje de material que pasa cada tamiz.
- b. El porcentaje de material retenido parcial por cada tamiz.

c. El porcentaje de material retenido acumulado por cada tamiz.

Los porcentajes deben redondearse al 1% más próximo.

C. NORMA IRAM 1505. MÉTODO DE ENSAYO PARA AGREGADO GRUESO

1. Instrumental necesario.

- a. Vibrador mecánico (Tipo Ro-tap o similar). No es indispensable.
- b. Tamices *IRAM* que cumplan con las características indicadas en la norma *IRAM 1501*, que sean adecuados para el tamaño máximo nominal del agregado.
- c. Fondo recibidor y tapa.
- d. Cuarteador de muestras o partidor de Jones.
- e. Balanza que permita pesar al 0,1 % del peso de la muestra a ensayar.
- f. Estufa de secado que permita una temperatura constante de $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

2. Preparación de la muestra.

- a. Se mezclan completamente las muestras obtenidas y se reducen mediante cuarteo o con el partidor de Jones hasta tener, luego de secadas, los pesos que se indican a continuación:

Tamaño máximo nominal (mm)	Masa mínima de muestra de ensayo (kg)
9,5	1
13,2	2
19,0	5
26,5	10
37,5	15
53	20
63	35
75	60
90	100
106	150
125	300

- b. Primero, aunque no es condición indispensable, es recomendable ensayar la muestra de agregado según la Norma *IRAM 1540*. Una vez eliminado el material pasante tamiz # 200, como se describe más adelante en el presente trabajo práctico, sobre esa muestra se procede a realizar el análisis granulométrico. La fracción pasante tamiz # 200 se adicionará al final para la confección del análisis y la curva granulométrica.
- c. Se seca la muestra hasta peso constante.

3. Procedimiento.

a. Tamizado mecánico.

Se prepara la serie de tamices que cumpla con las especificaciones del material en estudio, ubicados en orden decrecientes de aberturas desde arriba hasta abajo. Se coloca la muestra en el tamiz superior, de mayor abertura, y toda la serie con su fondo y tapa se monta en el agitador mecánico, el cual se acciona durante veinte minutos como primera tentativa. Previa pesada del material retenido en cada tamiz, se continúa zarandeando durante 10 minutos más hasta obtener peso retenido en cada tamiz constante.

b. Tamizado manual.

Se procede en forma semejante al tamizado mecánico. Se sostiene cada tamiz con su fondo receptor y tapa y agita con movimientos verticales y horizontales acompañados por vibraciones. Cuando sea necesario se hacen rodar las partículas, para determinar si pasan por una abertura particular. En ningún caso, al igual que en el tamizado de agregados finos, la fracción retenida debe pesar más de 1 g/cm^2 de la superficie del tamiz.

c. Verificación del tamizado:

Tanto para el tamizado manual como para el tamizado mecánico debe verificarse que el tamizado ha sido efectivo, considerándolo de esta manera cuando luego de 1 minuto de agitación manual, el porcentaje que pasa por cada tamiz es menor que el 1% del material retenido en cada uno de ellos. Debe realizarse sobre todos los tamices empleados para el análisis granulométrico del agregado grueso. Si el tamizado no ha sido efectivo en alguno de los tamices, se continúa con el tamizado de dicho tamiz y de los de abertura de malla menor, hasta obtener la condición necesaria.

d. Obtención de los retenidos en los diferentes tamices:

Una vez realizada la verificación del tamizado, se pesan los retenidos en cada uno de los tamices, no debiendo pesar el tamiz con el retenido como en el caso del agregado fino, con precisión de 0,1 g.

4. Informe.

Ídem que en el caso de agregado fino.

D. NORMA IRAM 1540. CONTENIDO DE FINOS PASANTE TAMIZ $74\ \mu\text{m}$ (N° 200)

1. Instrumental necesario.

- Tamices IRAM $75\ \mu\text{m}$ y otro IRAM $1,18\ \text{mm}$ cumplan con las características indicadas en la norma IRAM 1501, que sean adecuados para el tamaño máximo nominal del agregado.
- Recipiente adecuado para contener la muestra cubierta de agua y permitir una vigorosa agitación, sin que se produzcan pérdidas de muestra o de agua
- Estufa de secado que permita una temperatura constante de $105\ \text{°C} \pm 5\ \text{°C}$.
- Balanza que permita pesar al 0,1% del peso de la muestra a ensayar o de 0,1 g

2. Preparación de la muestra.

- Se realiza el muestreo de agregado según la Norma IRAM 1509, procediendo luego a la reducción de la muestra, hasta llegar a las siguientes masas mínimas:

Tamaño máximo nominal (mm)	Masa mínima de muestra de ensayo (g)
2,4	100
4,8	500
9,5	1000
19,0	2500
Mayor 37,5	5000

3. Procedimiento.

- Como se mencionó anteriormente, para los agregados finos es indispensable realizar este ensayo antes de proceder al análisis granulométrico según la Norma IRAM 1505. Para el agregado grueso, aunque no es obligatorio es recomendable.
- Se seca la muestra hasta masa constante, determinando la masa al 0,1 g.

- c. Se coloca la muestra de ensayo en el recipiente y se agrega agua hasta cubrirla completamente. Se agita la muestra con vigor para lograr la completa separación de todas las partículas más finas que $75 \mu\text{m}$ de las partículas más gruesas.
- d. Inmediatamente se vierte el agua de lavado que contiene los sólidos disueltos y en suspensión sobre el juego de tamices, procurando que el material pasante tamiz $75 \mu\text{m}$ pase por dicho tamiz. Esta tarea debe realizarse con sumo cuidado para evitar perder cualquier cantidad aunque sea muy pequeña de muestra y que todo el agua siempre pase por el tamiz $75 \mu\text{m}$.
- e. Se agrega una segunda capa de agua a la muestra contenida en el recipiente, se agita y se procede según el punto anterior. Esta operación se repite hasta que el agua de lavado sea límpida. Para lograr esta condición pueden ser necesarios una importante cantidad de repeticiones de la operación. Se regresa todo el material retenido en los tamices al recipiente, mediante la aplicación de un chorro de agua.
- f. Se seca la muestra hasta masa constante, registrando la masa limpia.
- g. Se calcula el porcentaje de material pasante tamiz $75 \mu\text{m}$ como diferencia entre la masa seca antes del lavado y la masa seca después de lavado, referida en porcentaje a la masa seca antes del lavado.

4. Informe.

Se informa el porcentaje de material pasante con precisión del 0,1 %.

E. REPRESENTACIONES GRANULOMÉTRICAS.

Una vez efectuado el tamizado, las fracciones de agregado pueden identificarse mediante:

- o Representación gráfica

{	1. Curva Granulométrica
	2. Punto (Triángulo de Feret)
- o Representación analítica 3. Módulo de Fineza (número)

Normalmente se expresa con la forma 1. acompañada por la 3.

E.1. Curva Granulométrica.

Para poder trazar la curva granulométrica, deben tenerse los resultados del ensayo de análisis granulométrico (IRAM 1.505), los que se presentan en planillas de análisis granulométrico (se adjunta al final). La primera columna indica la designación de los tamices. La segunda columna, retenido parcial, consigna el peso retenido en cada tamiz al realizar el ensayo de tamizado; esta es la columna que debe completarse con los valores del ensayo del análisis granulométrico (pesos retenidos de agregado en cada tamiz). La tercera columna, retenido total, se obtiene sumando el retenido anterior en cada tamiz, es decir, los granos que son mayores que la abertura del tamiz. La cuarta columna se obtiene restando el peso total de la muestra a los distintos retenidos totales; es decir, es el peso de material cuyos diámetros son menores a los del tamiz en estudio. La quinta y sexta columna, son los porcentajes referidos al peso total de la muestra, pasado y retenidos acumulados. Comúnmente se representa en abscisas la abertura de los tamices en escala logarítmica y en ordenadas los porcentajes acumulados de la muestra retenidos por cada tamiz. En la curva, la diferencia entre ordenadas correspondientes a dos tamices consecutivos indica el porcentaje retenido por el tamiz inferior. Cuando este retenido parcial tiende a cero, la tangente de la curva tiende a ser paralela al eje x, significando ello una discontinuidad de la graduación granulométrica en el entorno comprendido entre los dos tamices considerados. En cada tamiz representado, el complemento a 100% de la ordenada correspondiente indica el retenido total o acumulado de material en dicho tamiz.

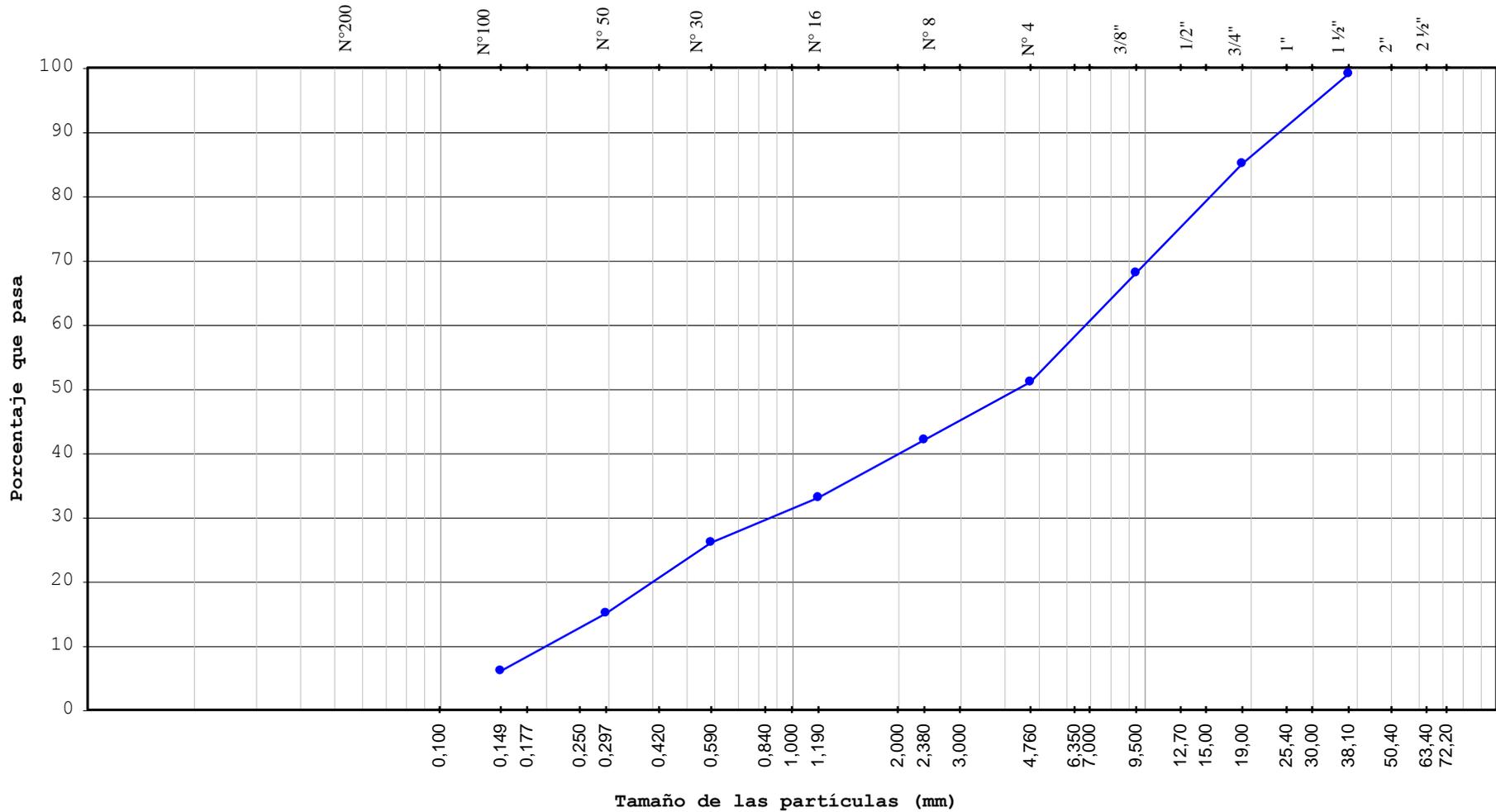
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO
Facultad de Ingeniería

**LABORATORIO DE ENSAYO
DE MATERIALES**

Cátedra : **Tecnología del Hormigón**

CURVA GRANULOMETRICA

Granulomería



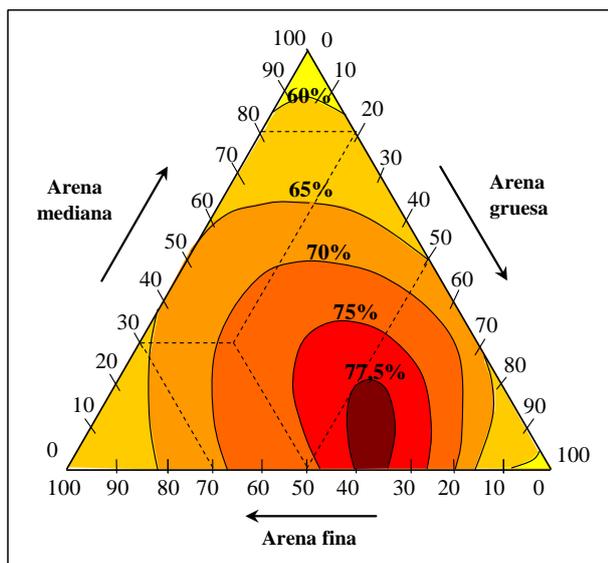
Mza, 25 de agosto de 2008

Mientras más alta se presente la curva al trazarla, más fino es el material granular analizado. Esto es debido a que los tamices dejan pasar mayor cantidad de material por su malla.

E.2. Triángulo de Feret

Este método permite representar mediante un punto las características granulométricas de un agregado, en este caso el fino. Esta representación se debe a Feret, cuando en 1892 realizó sus estudios sobre compacidad de agregado fino. Para ello separa la arena en tres fracciones según su tamaño:

- Gruesa: 4,8mm (N° 4) a 2,4mm (N° 8)
- Mediana: 2,4mm (N° 8) a 0,59mm (N° 30)
- Fina: 0,59mm (N° 30) a 0,074mm (N° 200)



La representación gráfica consiste en un triángulo equilátero, donde cada lado del mismo representa una de las fracciones con su proporción en la que interviene. La representación se establece en cierta escala y guardando un orden de rotación.

Trazando una línea por el porcentaje de cada fracción que compone la muestra paralela al lado anterior (en sentido antihorario), se obtiene un punto que indica la compacidad de la muestra.

Se observa de la figura que la máxima compacidad se obtiene con el 60% de arena mediana y el 40% de arena fina. Mientras que la mínima compacidad resulta del 100% de una sola fracción de arena.

El inconveniente que presenta esta representación es que no permite conocer la distribución de tamaños intermedios entre los indicados.

E.3. Módulo de fineza.

Se obtiene dividiendo por 100 la suma de los porcentajes totales retenidos sobre cada uno de los tamices de la siguiente serie:

- IRAM 76 mm (3")
- IRAM 38 mm (1 1/2")
- IRAM 19 mm (3/4")
- IRAM 9,5 mm (3/8")
- IRAM 4,8 mm (N° 4)
- IRAM 2,4 mm (N° 8)
- IRAM 1,2 mm (N° 16)
- IRAM 590 μ (N° 30)
- IRAM 297 μ (N° 50)
- IRAM 149 μ (N° 100)

En esta serie la abertura entre dos tamices consecutivos guardan la relación 1:2.

$$M_f = \frac{\sum \text{Retenidos acumulados en tamices de la Serie Tyler}}{100}$$

El módulo de finura representa el área sobre la curva granulométrica, mientras mayor sea dicha área, más grueso resulta el agregado

Ejemplo de Agregado fino:

Tamiz			% Pasa	% Ret. Ac.
IRAM	9,5 mm	(3/8")	100	0
IRAM	4,8 mm	(N° 4)	94	6
IRAM	2,4 mm	(N° 8)	82	18
IRAM	1,2 mm	(N° 16)	51	49
IRAM	590 μ	(N° 30)	27	73
IRAM	297 μ	(N° 50)	13	87
IRAM	149 μ	(N° 100)	6	94
pasa	IRAM 149 μm		4	96

$$\Sigma = 327$$

Módulo de finura: Σ Retenidos Acumulados #4, #8, #16, #30, #50 y #100 = 327 / 100 = **3,27**

Los tamices de la Serie de Tyler superiores, no se consideran, ya que su RAC es igual a 0.

Ejemplo de Agregado grueso:

Tamiz			% Pasa	% Ret. Ac.
IRAM	26,5 mm	(1")	99	1
IRAM	19,0 mm	(3/4")	89	11
IRAM	12,1 mm	(1/2")	57	43
IRAM	9,5 mm	(3/8)	35	65
IRAM	4,8 mm	(# 4)	6	94
IRAM	2,4 mm	(# 8)	2	98
pasa	IRAM 2,4 mm		0	100

Módulo de finura: Σ Ret. Ac. #3/4", #3/8", #4, #8 + 400 (#16, #30, #50 y #100) = 668 / 100 = **6,68**

Los tamices de la Serie de Tyler inferiores deben considerarse porque su RAC es igual a 100.

V. CUESTIONARIO

Realizar un informe respetando el siguiente orden:

1. DEFINICIONES.

Transcribir las definiciones de la norma IRAM 1569 de: agregados, granulometría, módulo de finura, tamaño nominal, tamaño máximo nominal, agregado fino y agregado grueso

2. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

- Explicar el método establecido por la norma IRAM 1505, para el caso de mezclas de agregados finos y gruesos
- Transcribir el método operativo que fija la norma IRAM 1505 para análisis granulométrico del agregado fino
- Indicar las diferencias entre el análisis granulométrico del agregado grueso y del agregado fino

3. INFORME DE RESULTADOS

Indicar los requisitos establecidos en la norma IRAM 1505 para confeccionar el informe del análisis granulométrico. Precisión y redondeo de los resultados.

VI. ACTIVIDAD PRÁCTICA

Determinar el contenido de humedad y el contenido de finos pasante tamiz # 200.

1. *Contenido de Humedad y determinación del contenido de finos:* Se emplea una muestra de 1320,5 g de agregado fino. La misma se seca hasta masa constante obteniendo un valor de 1221,3 g. Se lava adecuadamente la muestra según la Norma IRAM 1540 y se seca hasta masa constante obteniendo un peso de 1168,8 g.

Realizar el análisis granulométrico, determinar el material pasante tamiz # 200, determinar el módulo de fineza de cada uno de los siguientes agregados y trazar la curva granulométrica según el modelo presentado en las planillas adjuntas:

2. *Análisis de agregado fino.* Masa de la muestra seca a masa constante antes del lavado por el tamiz # 200: 884,0 g. Masa de ensayo granulométrico seca a masa constante después del lavado por tamiz # 200: 847,6 g.

Tamiz	Retenido Parcial (g)
3/8 "	0,0
# 4	121,2
# 8	196,5
# 16	123,2
# 30	140,9
# 50	112,6
# 100	85,6
Pasa # 100	66,3

3. *Análisis de agregado grueso.* Masa de la muestra seca a masa constante antes del lavado por el tamiz # 200: 9146,7 g. Masa de ensayo granulométrico seca a masa constante después del lavado por tamiz # 200: 9074,1 g.

Tamiz	Retenido Parcial (g)
1"	12,0
3/4"	824,3
1/2 "	3351,9
3/8 "	2723,7
# 4	2003,1
# 8	120,4
Pasa # 8	38,0

Recordar que debe corregirse en primer lugar el análisis granulométrico, con el contenido de material pasante tamiz # 200 indicado para cada fracción y después trazar la curva granulométrica y calcular el módulo de finura.

Se adjuntan a continuación:

- Planillas modelo para el análisis granulométrico

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO
Facultad de Ingeniería

**LABORATORIO DE ENSAYO
DE MATERIALES**

Análisis
Granulométrico

Cátedra: **"Tecnología del Hormigón"**

Identificación de procedencia:

Material - Designación del Agregado:

Interesado - Cliente:

Cantidad de muestra antes del cuarteo:

Cantidad de muestra para el ensayo:

Contenido de Humedad:

Normas de Ensayo:

TAMIZ		RETENIDO (g)		PASADO (g)	% PASADO	(Rac) = % RETENIDO ACUMULADO	OBSERVACIONES
ASTM	mm	PARCIAL	TOTAL				
3"	76,2						
2 ½"	63,5						
2"	50,8						
1 ½"	38,1						
1"	25,4						
¾"	19,1						
½"	12,7						
3/8"	9,5						
N° 4	4,8						
N° 8	2,4						
N° 16	1,2						
N° 30	0,590						
N° 50	0,297						
N° 100	0,149						
Fondo	Pasa N°100						
Lavado	Pasa N°200						

$$\text{MÓDULO DE FINEZA} = \frac{\sum \text{Rac}}{100} = \frac{\quad}{100}$$

MÓDULO DE FINEZA = Mza, de de

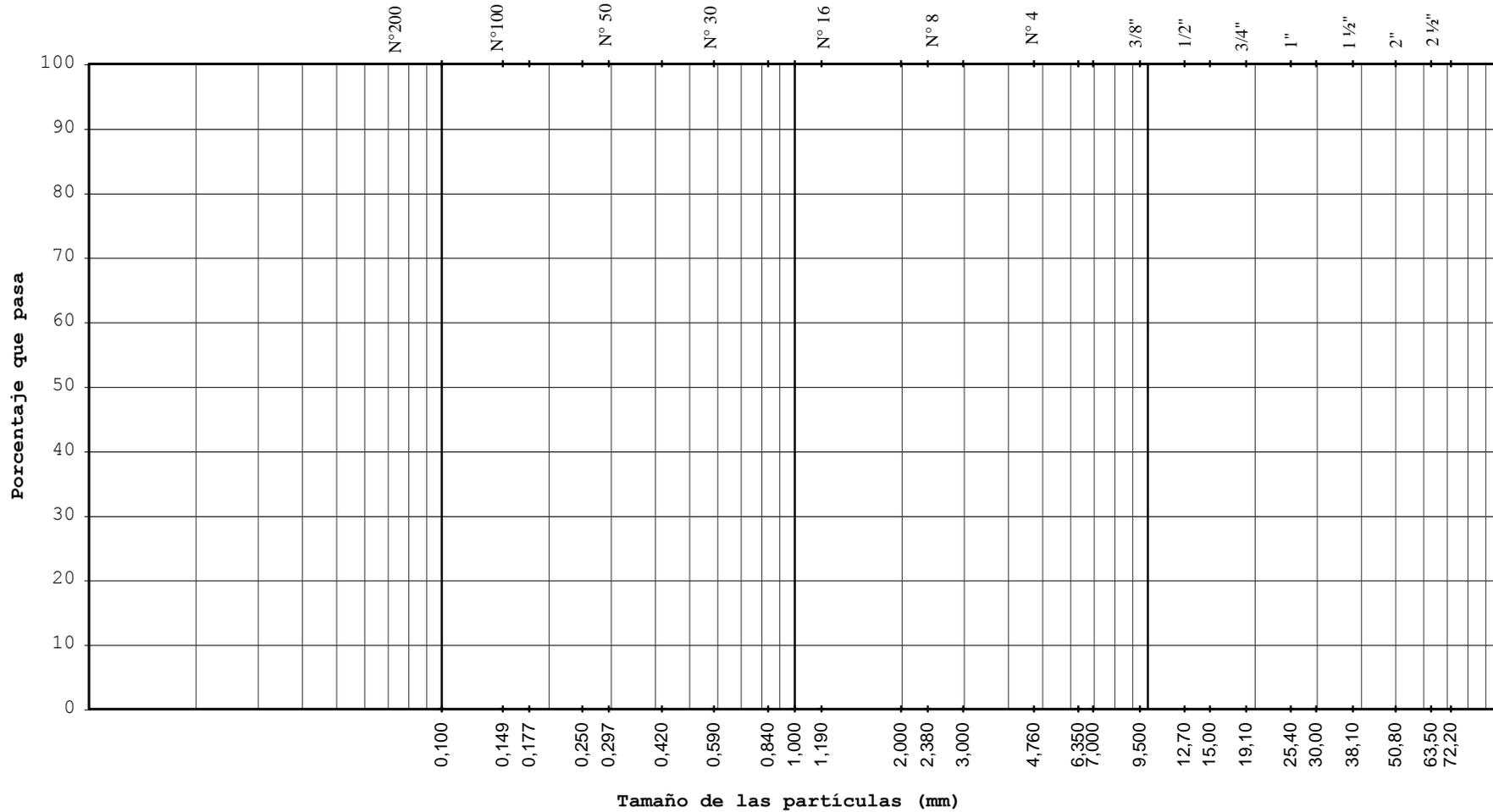
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO
Facultad de Ingeniería

LABORATORIO DE ENSAYO
DE MATERIALES

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Cátedra : **Tecnología del Hormigón**

Granulomería



Mza, de de