

Universidad Nacional de Córdoba
Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales
Tecnología de los Materiales de Construcción

ACTIVIDADES DE LABORATORIO

TRABAJO PRÁCTICO Nº 3

AGREGADOS FINOS Y GRUESOS

ANÁLISIS GRANULOMETRICO

CURVAS LÍMITES

MEZCLA DE ÁRIDOS

Autor
Inga. María Gabriela Duran
Ing. Pablo Gustavo A. Stumpf

MÉTODO DE DETERMINACIÓN DEL MATERIAL FINO QUE PASA POR EL TAMIZ IRAM 75 μm , POR LAVADO

NORMA DE APLICACIÓN: Norma IRAM 1540

OBJETIVO

Establecer la metodología de ensayo, para determinar la cantidad de material fino que pasa el tamiz IRAM 75 μm , por lavado. En el material fino, que pasa en el lavado, se consideran incluidas las partículas de limo, arcilla y otros materiales que son dispersados por lavados con agua, así como los solubles en agua que son eliminados de los agregados durante el ensayo.

INSTRUMENTAL NECESARIO.

- Tamices *IRAM 75 μm* y otro *IRAM 1,18 mm* que cumplan con las características indicadas en la norma *IRAM 1501*, que a su vez 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 $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Balanza que permita pesar al 0,1% del peso de la muestra a ensayar o de 0,1 g

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	Masa mínima (g)
2,36 mm	100
4,75 mm	500
9,5 mm	1000
19,0 mm	2500
37,5 mm o mayor	5000

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.
- 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 μm 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 μm 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 μm .
- 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 necesarias 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 sobre la muestra lavada.
- f. Se seca la muestra hasta masa constante, registrando la masa limpia.
- g. Se calcula el porcentaje de material pasante tamiz 75 μm 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.

CÁLCULOS

Se calcula la cantidad de material fino que pasa el tamiz IRAM 75 μm , por lavado, aplicando la formula siguiente:

$$m_f = \frac{m_s - m_1}{m_s} \times 100$$

- mf la cantidad de material fino que pasa por el tamiz IRAM 75 μm , por lavado, en gramos por ciento.
- ms la masa seca original de la muestra en gramos
- m1 la masa seca de la muestra después del lavado en gramos;

INFORME.

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

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS

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.

Nota: Las metodologías de ensayo descriptas son versiones simplificadas de las correspondientes normas IRAM, elaboradas con fines didácticos. Si se desea realizar el ensayo con fines profesionales o de investigación se recomienda consultar las normas IRAM citadas.

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.

NORMAS Y REGLAMENTOS A CONSULTAR

- **Norma IRAM 1501:2005** – Tamices de ensayos
- **Norma IRAM 1505: 2005** – Agregados. Análisis granulométrico
- **Norma IRAM 1540:2004** – Agregados. Método de ensayo que pasa por el tamiz 75 μm , por lavado
- **Norma IRAM 1569: 1990** – Morteros y hormigones. Definiciones
- **Norma IRAM 1627:1997** – Granulometría de los agregados para hormigones

INTRODUCCIÓN TEÓRICA

DEFINICIONES Y CONCEPTOS GENERALES

Se define como granulometría de un agregado a la distribución de partículas de acuerdo con su tamaño. Se expresa en función de los porcentajes en peso, retenidos acumulados, sobre cada uno de los tamices de una serie estándar, ordenados según aberturas decrecientes. A ese efecto se entiende por porcentaje retenido acumulado a la cantidad de material de una muestra retenida en un dado tamiz sumado a los porcentajes retenidos en los tamices de mayor abertura.

Para su aplicación al hormigón, se utiliza la serie de tamices establecidos por la norma IRAM 1501-2, serie suplementaria R 40/3. Está compuesta por tamices de abertura cuadrada que tienen las siguientes aberturas: 75 mm; 63 mm; 53 mm; 37,5 mm; 26,5 mm; 19 mm; 13,2 mm; 9,5 mm; 4,75 mm; 2,36 mm; 1,18 mm; 0,600 mm; 0,300 mm; 0,150 mm.

En función del tamaño de sus partículas, se considera agregado grueso cuando ellas quedan retenidas en el tamiz IRAM 4,75 mm (Nº4). Agregado fino es el que pasa el tamiz IRAM 4,75 mm (Nº4) y es retenido en el tamiz IRAM 75 micrómetros (Nº 200).

Por otra parte, se define como tamaño máximo a la abertura del menor tamiz que deja pasar al 95% de las partículas del agregado grueso.

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 más 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:

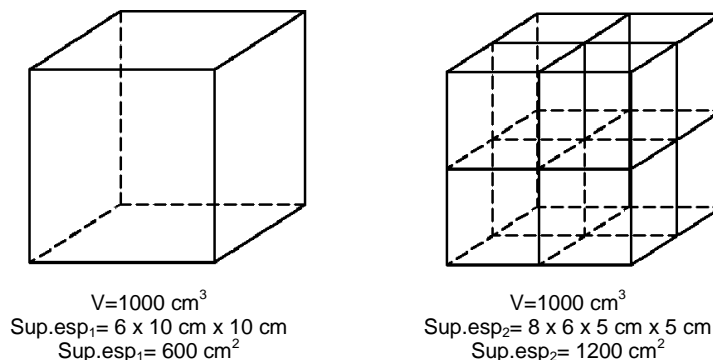


Figura 1 – Esquema de superficie específica de agregados

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).

NORMA IRAM 1505. MÉTODO DE ENSAYO PARA AGREGADO FINO

Instrumental necesario

a. 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.

- b. Tamices *IRAM*, que cumplan con las características indicadas en la *Norma IRAM 1501* y que sean adecuados al uso del material a ensayar.
- c. Fondo recibidor y tapa.
- d. Cuarteador de muestras o partidor de Jones.
- e. Balanza con capacidad de 500 g de 0,1 g de precisión.
- f. Estufa de secado que permita mantener una temperatura de $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Preparación de la muestra

a. 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 Nº 8**
- **500 g...** Agregados con más del 90% en peso que pasa el tamiz **IRAM Nº 4** y más del 5% retenido en el tamiz **IRAM Nº 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.

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 / cm². 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 cm².

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.

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.

NORMA IRAM 1505. MÉTODO DE ENSAYO PARA AGREGADO GRUESO

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 $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

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.

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 1g / cm² 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.

Informe.

Ídem que en el caso de agregado fino.

REPRESENTACIONES GRANULOMÉTRICAS.

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

- Curva Granulométrica (representación gráfica)
- Módulo de Fineza (representación analítica)

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.

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.

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:

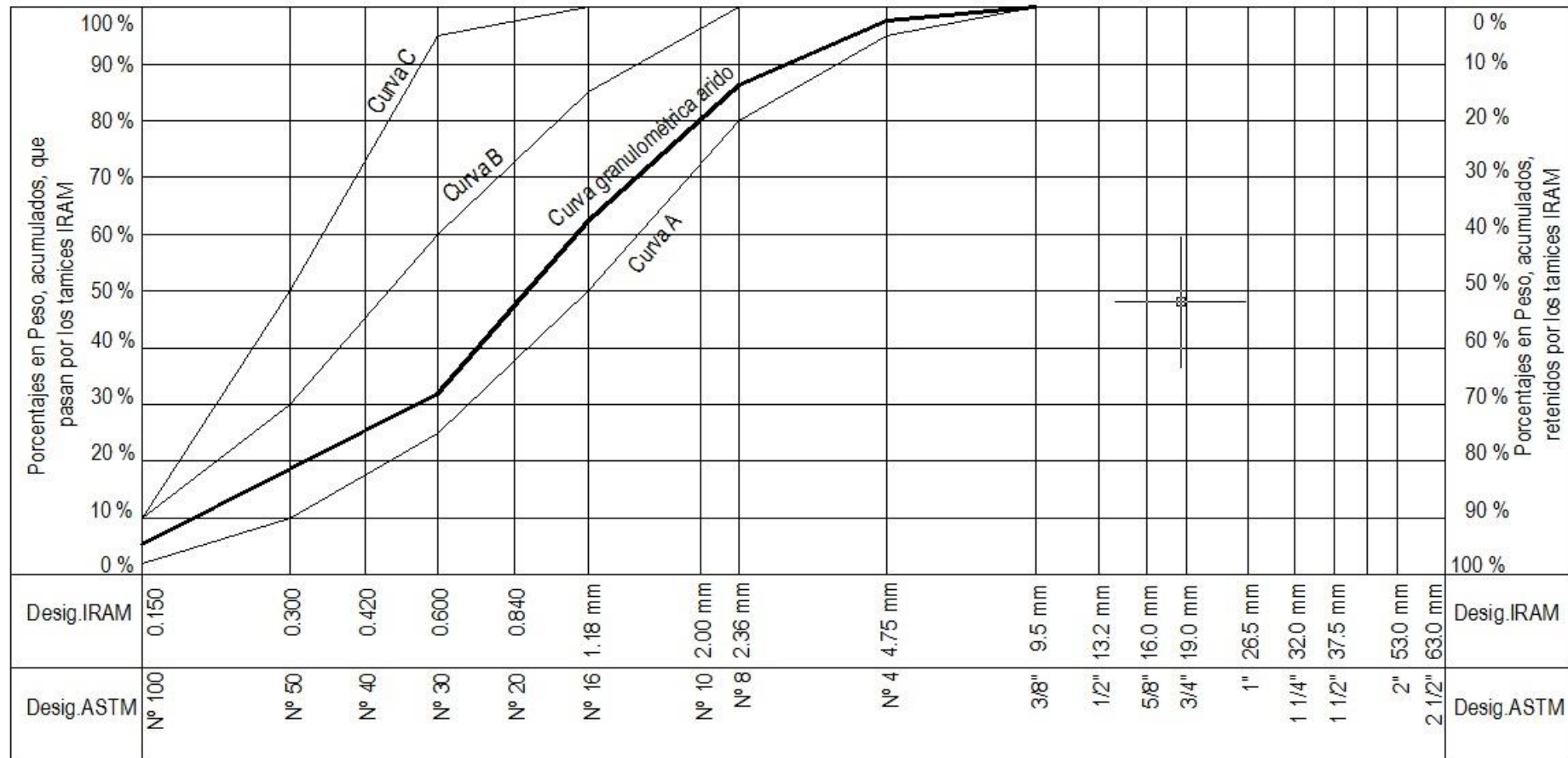
IRAM 75,2 mm	(3")
IRAM 37,5 mm	(1 ½")
IRAM 19,0 mm	(¾")
IRAM 9,5 mm	(⅜")
IRAM 4,75 mm	(Nº 4)
IRAM 2,36 mm	(Nº 8)
IRAM 1,18 mm	(Nº 16)
IRAM 600 µm	(Nº 30)
IRAM 300 µm	(Nº 50)
IRAM 150 µm	(Nº 100)

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

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

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

Gráfico Granulométrico de agregados



Ejemplo de Agregado fino:

Tamiz		% Pasa	% Ret. Ac
IRAM 9,5 mm	(3/8")	100	0
IRAM 4,75 mm	(Nº 4)	94	6
IRAM 2,36 mm	(Nº 8)	82	18
IRAM 1,18 mm	(Nº 16)	51	49
IRAM 600 µm	(Nº 30)	27	13
IRAM 300 µm	(Nº 50)	13	87
IRAM 150 µm	(Nº 100)	6	94
pasa IRAM 150 µm		4	96
		$\Sigma =$	327

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

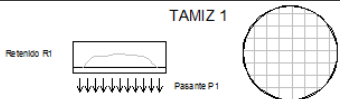
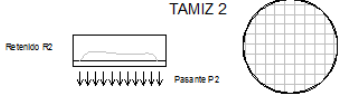
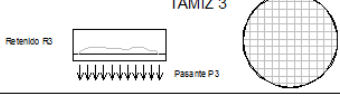
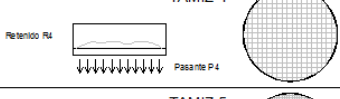
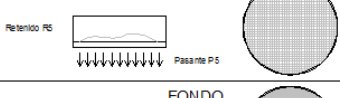
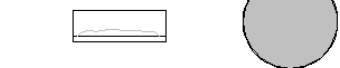
Los tamices de la Serie de Tyler superiores, no se consideran, ya que su RAC es igual a 0.

Ejemplo de Agregado grueso:

Tamiz		% Pasa	% Ret. Ac
IRAM 26.5mm	(1")	99	1
IRAM 19.0mm	(3/4")	89	11
IRAM 13.2mm	(1/2")	57	43
IRAM 9.5 mm	(3/8")	35	65
IRAM 4.75mm	(Nº 4)	6	94
IRAM 2.36mm	(Nº 8)	2	98
pasa IRAM 2.36 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 retenido acumulado es igual a 100.

	RETENIDO ACUMULADO	PASANTE ACUMULADO
 <p>TAMIZ 1</p>	Retenido R1	Pasante 1 = Total de la muestra - Retenido R1
 <p>TAMIZ 2</p>	Retenido R1 + Retenido R2	Pasante 2 = Total de la muestra - (R1 + R2)
 <p>TAMIZ 3</p>	Retenido R1 + Retenido R2 + Retenido R3	Pasante 3 = Total de la muestra - (R1 + R2 + R3)
 <p>TAMIZ 4</p>	Retenido R1 + Retenido R2 + Retenido R3 + Retenido R4	Pasante 4 = Total de la muestra - (R1 + R2 + R3 + R4)
 <p>TAMIZ 5</p>	Retenido R1 + Retenido R2 + Retenido R3 + Retenido R4 + Retenido R5	Pasante 5 = Total de la muestra - (R1 + R2 + R3 + R4 + R5)
 <p>FONDO</p>		Fondo = Pasante 5

CURVAS IDEALES Y CURVA MEZCLA DE AGREGADOS

OBJETIVOS

Determinar la importancia de la calidad de los agregados para el proyecto de morteros y hormigones. Criterio económico. Crear conciencia de calidad. Manejo de Normas

DESARROLLO

El alumno deberá determinar en qué porcentaje se debería mezclar el agregado fino y el agregado grueso del trabajo práctico N° 2, para asemejarse a una curva ideal dada (tomando como curva ideal, la parábola de Fuller). Con estos porcentajes se calculará la curva mezcla y se representará en superposición con la curva ideal. Además, deberá comparar las curvas de agregado fino, agregado grueso y agregado total con las zonas granulométricas según IRAM-CIRSOC.

NORMAS Y REGLAMENTOS A CONSULTAR

- **Norma IRAM 1501: 2004** – Tamices de ensayos
- **Norma IRAM 1505: 2005** – Agregados. Análisis granulométrico
- **Norma IRAM 1569: 1990** – Morteros y hormigones. Definiciones
- **Norma IRAM 1627: 1997** – Granulometría de agregados para hormigones

INTRODUCCIÓN TEÓRICA

CURVAS IDEALES

Las curvas ideales son curvas granulométricas que permiten obtener un dosaje de hormigón compacto, según los granos disponibles. Las ecuaciones de

dichas curvas son función del diámetro de la malla del tamiz d (abscisa), del tamaño nominal máximo D y de algunos factores adimensionales propuestos empíricamente por los distintos investigadores.

La distribución granulométrica de los agregados fue estudiada por muchos investigadores y de sus experiencias surgen curvas tales como las de Füller, Bolomey y EMPA de aplicación en hormigones que compatibilizan dentro de ciertos límites la máxima compacidad con la mejor trabajabilidad.

FÜLLER

$$P = \left(\frac{d}{D}\right)^a$$

P el porcentaje que pasa acumulado para el tamiz de abertura “ d ”.

d el tamaño de la abertura de cada tamiz.

a el factor que tiene en cuenta la forma y textura de las partículas del agregado grueso, siendo 0.5 para agregados redondeados y 0.4 para agregados angulosos.

D el tamaño máximo

BOLOMEY

$$P = A + (100 - A) \times \left(\frac{d}{D}\right)^{0.5}$$

A : Constante que depende del tipo de árido (canto rodado o triturado) y de la consistencia del hormigón.

Tipo de agregado	Consistencia		
	Tierra húmeda (hormigón vibrado)	Tierra pastosa (hormigón no vibrado)	Tierra fluida (hormigón colado)
Agreg. redondeado	5 a 10	10	12
Agregado triturado	8 a 12	12 a 14	14 a 16

ZONAS GRANULOMÉTRICAS IRAM-CIRSOC

En general, no es necesario mantenerse estrictamente en curvas ideales, además es difícil lograrlo y por otra parte resultaría antieconómico. Lo corriente es tratar de conseguir un material cuya curva granulométrica esté comprendida entre dos curvas límites que se suelen establecer en reglamentos o normas o en los pliegos de las condiciones de las obras. En nuestro país, los límites granulométricos los da la norma IRAM 1.627. En la figura 1 y en la figura 2a y 2b, se muestran los límites de granulometría establecidos por la norma IRAM 1.627, tanto para el agregado fino como para el agregado grueso en sus respectivos tamaños máximos.

Esta norma establece los límites de granulometría de agregados de peso normal, aptos para la elaboración de hormigones. Dentro de estos límites, la granulometría podrá obtenerse directamente de los lugares de extracción o producción o por la mezcla de agregados.

Agregado Fino

El agregado fino tendrá una granulometría comprendida dentro de los límites establecidos por la granulometría A y B de la tabla 1

Tamices		Máximo en masa, acumulado, que pasa (%)		
ASTM	IRAM	Granulometría A	Granulometría B	Granulometría C
3/8	9,5 mm	100	100	100
4	4,75 mm	95	100	100
8	2,36 mm	80	100	100
16	1,18 mm	50	85	100
30	600 μ m	25	60	95
50	300 μ m	10	30	50
100	150 μ m	2	10	10

Tabla I - Granulometría del Agregado fino

El agregado fino tendrá una curva granulométrica continua, comprendida dentro de los límites que determinan las curvas A y B (Figura 1) de la tabla I, salvo las excepciones que se indicarán más adelante. El agregado fino de la granulometría especificada podrá obtenerse por mezcla de dos o más arenas de distintas granulometrías. Los porcentajes de la curva A indicados para los tamices 300 μ m y 150 μ m, pueden reducirse a 5% y 0%, respectivamente, si el agregado fino está destinado a hormigones con aire intencionalmente incorporado con no menos de 3,5% del aire total y con 240 kg/m³ de contenido unitario de cemento, como mínimo, u hormigones, sin aire incorporado, con más de 300 kg/m³ de cemento o cuando se emplee en la mezcla una adición mineral adecuada para corregir la granulometría de la arena

Si la granulometría del agregado excede hasta un total de diez unidades porcentuales los límites de la granulometría B en los tamices N° 16, N° 30 y N° 50, se considerará apto. La suma de las diez unidades puede comprender un solo tamiz o formarse por suma de unidades que exceden los límites de más de uno de los tres tamices mencionados. En obras de tipo corriente donde se realice control de calidad de hormigones en obra, podrán aceptarse arenas naturales que excedan la granulometría B, pero sin superar la granulometría C.

Agregado Grueso

El agregado grueso tendrá una granulometría continua y comprendida dentro de los límites que se establecen en la tabla II (Figura 2 a y 2b).

En el caso de los tamaños nominales de 51 a 4,8 mm y 38 a 4,8 mm, el agregado grueso se constituirá por una mezcla de dos fracciones que se almacenarán y medirán separadamente. Para el primero, las fracciones serán de 51 a 25 mm y 25 a 4,8 mm; mientras en el segundo rango, 38 a 19 mm y 19 a 4,8 mm.

El agregado que no cumpla lo dispuesto anteriormente será rechazado.

Agregado Totales

La Norma IRAM 1627, también incluye curvas A, B y C para el agregado total, en función del tamaño máximo nominal del agregado, las cuales, aunque el CIRSOC no exige su cumplimiento, es conveniente situarse entre ellas. (Ver anexo A – Tablas y curvas granulométricas totales)

TABLA II – Granulometría de los agregados gruesos

Tamaño nominal (mm)	Acumulados en masa, que pasan por los tamices IRAM (%)									
	63 mm	53 mm	37,5 mm	26,5 mm	19 mm	13,2 mm	9,5 mm	4,75 mm	2,36 mm	1,18 mm
53 a 4,75	100	95 a 100	-	35 a 70	-	15 a 30	-	0 a 5	-	-
37,5 a 4,75	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	0 a 5	-	-
26,5 a 4,75	-	-	100	95 a 100	-	25 a 60	-	0 a 10	0 a 5	-
19 a 4,75	-	-	-	100	90 a 100	-	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-
13,2 a 4,75	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-
53 a 26,5	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-
37,5 a 19	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-
9,5 a 2,36	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5

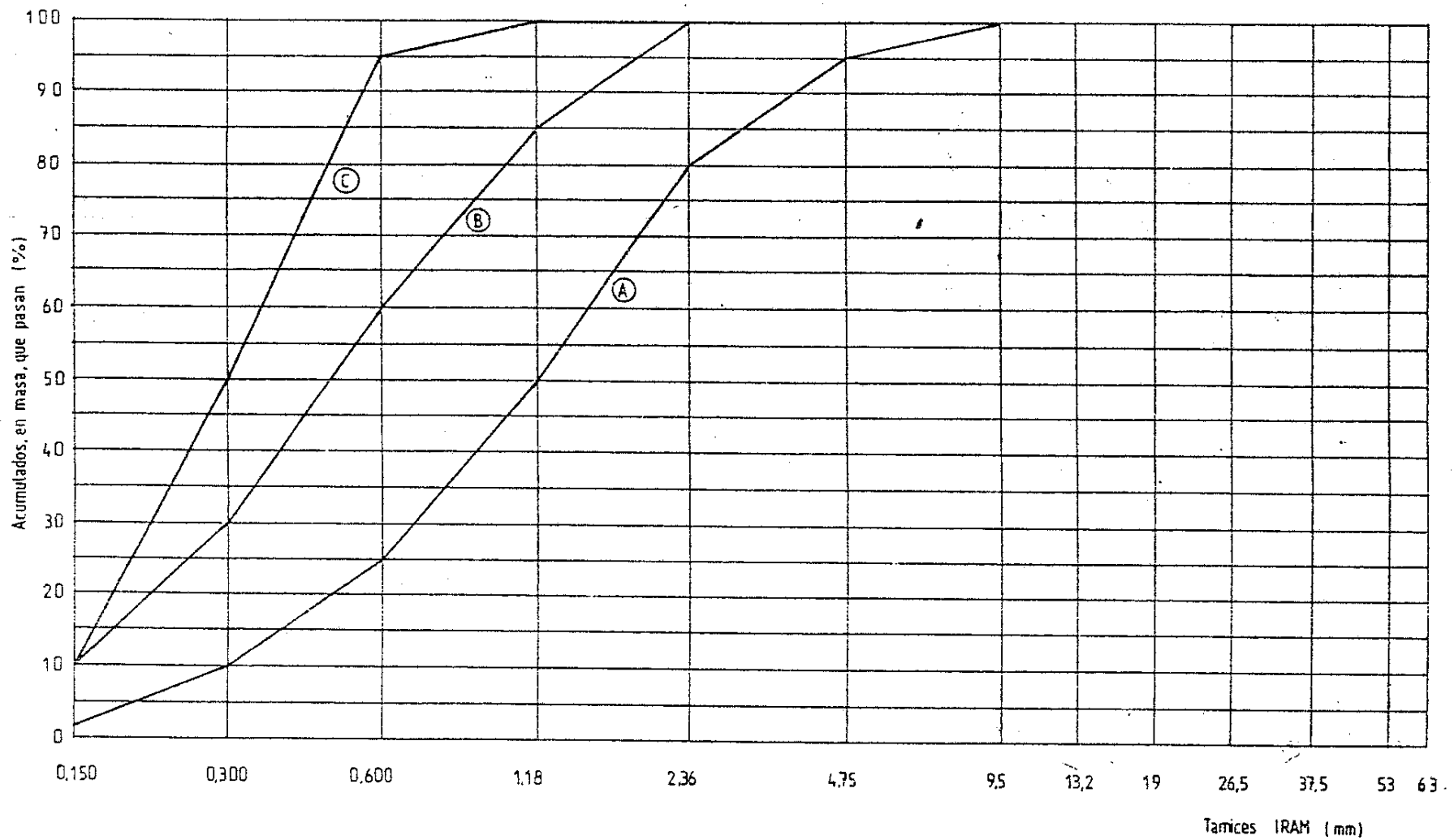


Figura 1
Gráfico granulométrico de agregados finos

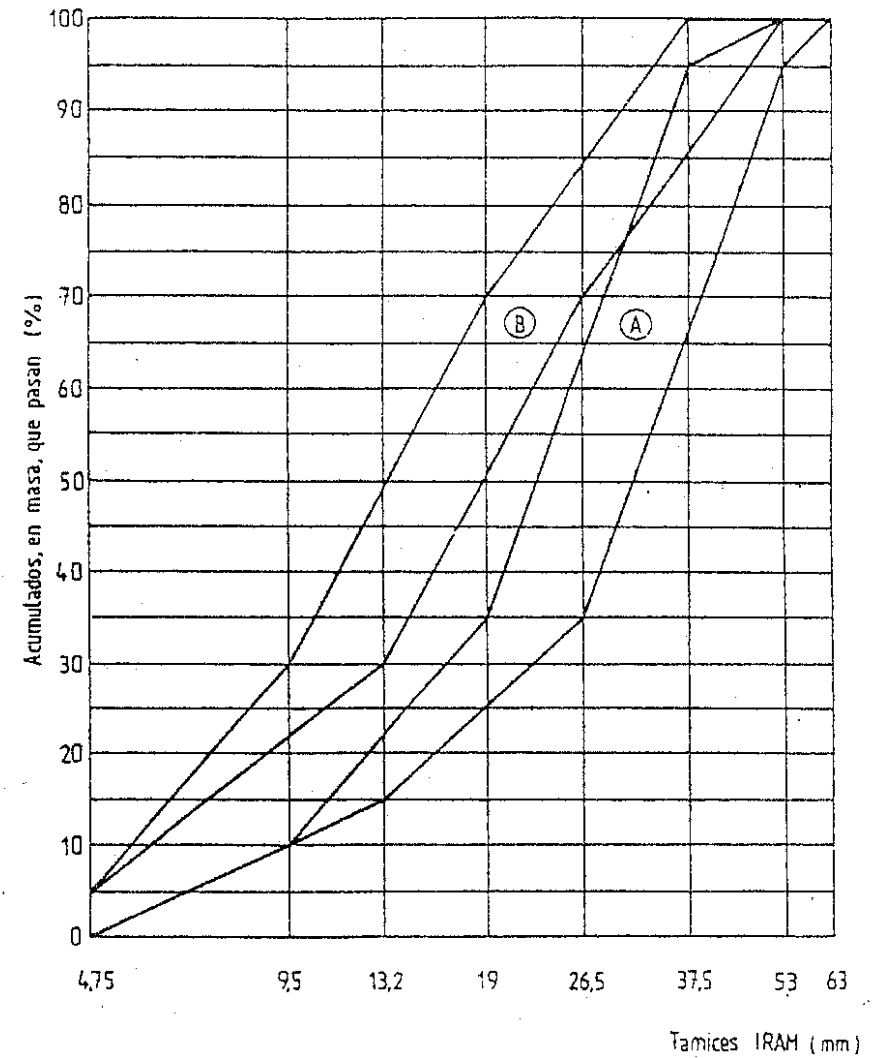
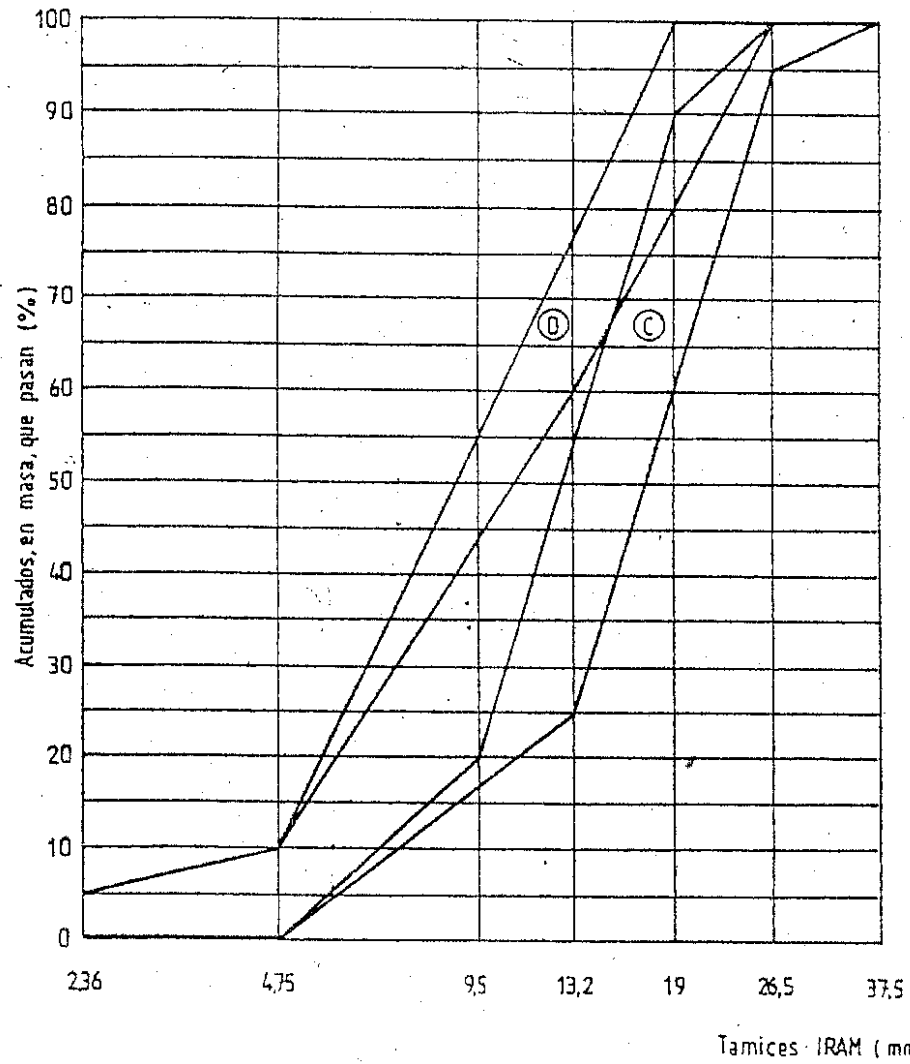
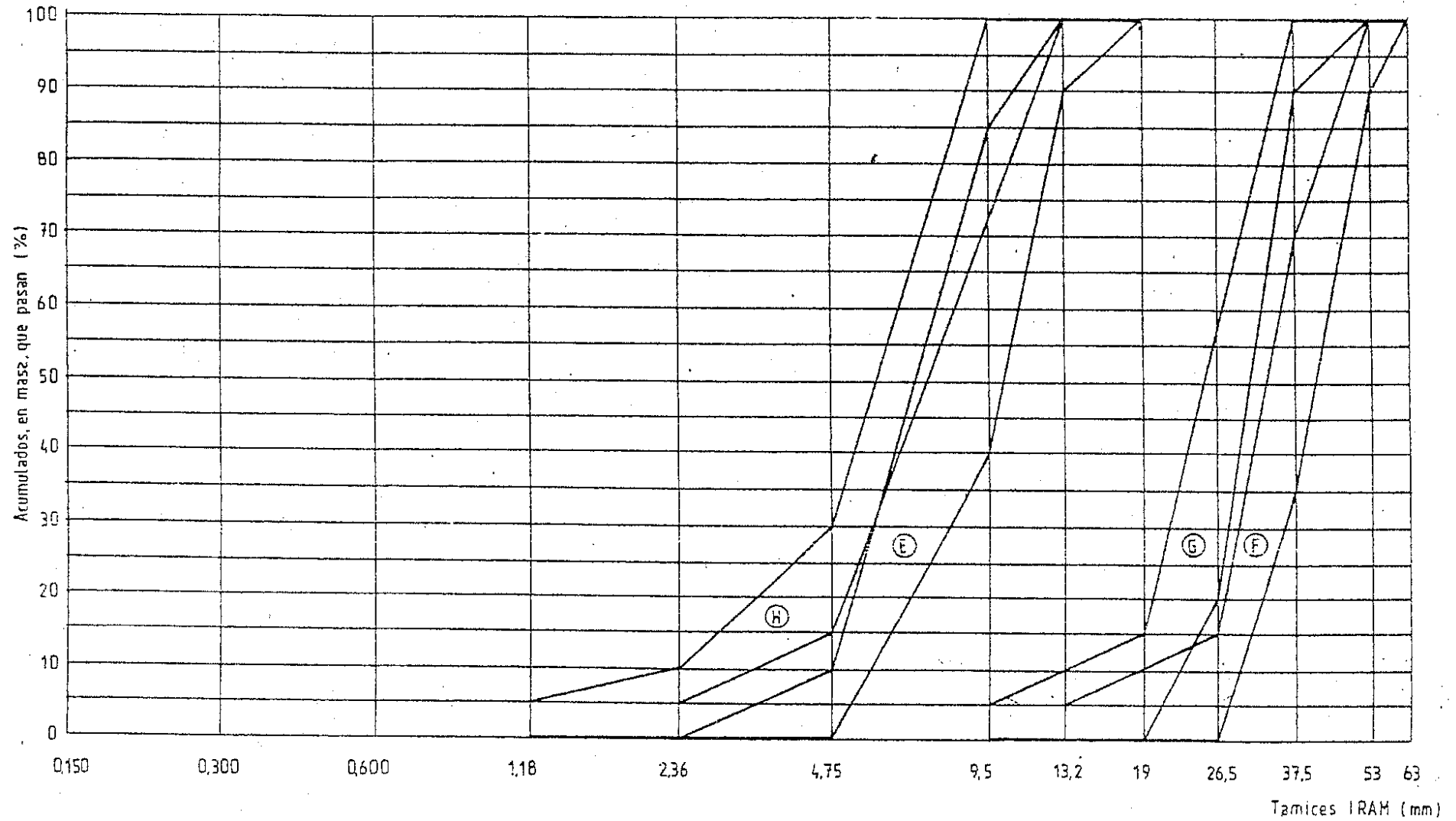


Figura 2 a
Gráfico granulométrico de agregados gruesos



IMPORTANCIA DE UNA GRANULOMETRÍA CONTINUA.

Muchos investigadores llegaron a la conclusión que lograda la máxima compacidad se podían obtener hormigones de buena calidad, así surgen las curvas granulométricas ideales de Füller, Bolomey y otros que tratan de acercarse a tal condición.

Asociando la compacidad con el tamaño máximo, máximo compatible con la estructura y lo disponible en yacimientos (condición que nos daría la menor superficie específica) y con una excelente granulometría, podemos decir que solucionamos uno de los factores de mayor importancia en el diseño de hormigones de buena calidad.

La granulometría de los agregados influye sobre:

- Trabajabilidad de la mezcla fresca.
- Resistencia mecánica.
- Resistencia a los agentes químicos.
- Economía.

De allí la importancia de lograr esqueletos granulares compactos. En general podemos afirmar que para cada tipo de obra existe una granulometría característica u óptima.

CURVA MEZCLA DE AGREGADOS.

Conceptos generales

La curva mezcla de los agregados, consiste en componer una curva de agregado total en función de las fracciones de agregado fino y agregado grueso que lo componen, con el objeto de obtener una granulometría continua adecuada, teniendo en cuenta el elemento estructural y los medios de mezclado y colocación del hormigón.

Una vez que se cumplen con los requisitos de las zonas granulométricas IRAM-CIRSOC para el agregado fino y el agregado grueso, debe encontrarse que fracción de cada uno o en que porcentaje participan para lograr un hormigón resistente, durable, económico y trabajable.

Método Gráfico - Método de Rothfuchs

Es un método gráfico, el cual, dada una curva granulométrica cualquiera, permite separar dicha granulometría en dos o más porciones entre los tamices deseados. Consiste esencialmente en lo siguiente:

- Se dibuja la curva representativa de la granulometría del árido deseado, utilizando en ordenadas los porcentajes pasantes; la escala de abscisas debe elegirse de tal manera que la granulometría dibujada sea una línea recta. Esto se puede hacer, dibujando una línea recta inclinada y marcando sobre ella las aberturas de tamices correspondientes a los distintos porcentajes que pasan por cada tamiz.
- Las curvas granulométricas de los áridos que se van a mezclar se dibujan en la escala de abscisas antes determinadas. Generalmente se encontrará que no son líneas rectas.
- Con la ayuda de una regla transparente se dibujan las líneas rectas que se aproximen más a las curvas granulométricas de cada agregado; esto se realiza eligiendo para cada curva una línea recta, de tal forma que el área comprendida entre ella y la curva sea un mínimo, y que las áreas que quedan a cada lado de la línea recta sean aproximadamente iguales.
- Se unen los extremos opuestos de estas líneas rectas y las proporciones para la mezcla pueden leerse a partir de los puntos donde estas líneas de unión cortan a la recta que representa el árido deseado.

Es de fundamental importancia el trazado de las rectas compensadoras de los agregados, ya que pequeñas oscilaciones en su inclinación representan variaciones importantes en el porcentaje de los áridos que constituirán la mezcla. La figura 3 muestra el procedimiento utilizado por el método de Rothfuchs.

Dada la curva mezcla M y teniendo 3 agregados que se desean mezclar para llegar a dicha curva; los porcentajes $x\%$, $y\%$ y $z\%$ representan la cantidad de agregado 1, agregado 2 y agregado 3, respectivamente, que deben proporcionarse para llegar a la curva mezcla M.

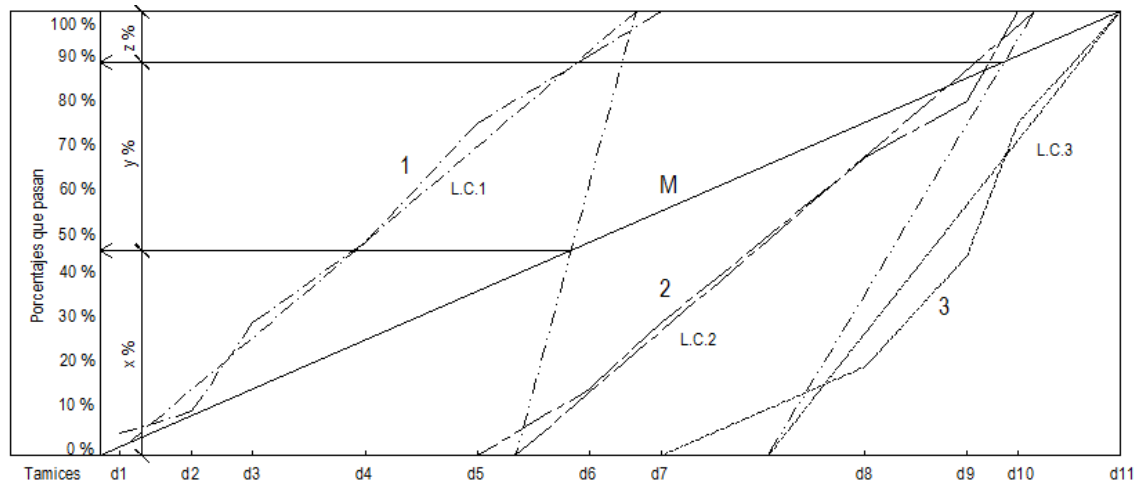


Figura 3 – Método de Rothfuchs

Método analítico - Módulo de fineza

Este método se basa en obtener una mezcla de áridos con el mismo módulo de fineza que la del árido deseado. Como se señaló anteriormente el módulo de fineza es un indicador del tamaño medio del árido y gráficamente representa el área limitada por la curva granulométrica con el eje de ordenadas y la horizontal usada a la altura del 100%, por lo tanto podríamos decir que el método se basa en igualar estas áreas.

Se resuelve para el caso de dos agregados, dos ecuaciones con dos incógnitas:

$$\begin{array}{rcl} x \cdot MF1 + y \cdot MF2 & = & MFd \\ x + y & = & 1 \end{array}$$

Donde MF1 y MF2 son los módulos de fineza de los materiales 1 y 2 respectivamente; y MFd del agregado deseado. Las fracciones x e y, indican el porcentaje de material 1 y material 2, respectivamente, que debe mezclarse para lograr la granulometría deseada.

Para el caso de tres agregados este método pierde efectividad puesto que se llega a tener tres incógnitas y se pueden plantear sólo dos ecuaciones. Se puede condicionar una tercera, pero esto es arbitrario. El método gráfico lo aventaja en este aspecto, ya que permite llevar a cabo mezclas con tres o más tipos de agregados.

El método gráfico y el analítico permiten aproximarse a la curva deseada en uno o más puntos. En general, se especifican los límites de cada tamaño. En este caso la curva deseada puede tomarse para un primer tanteo como la curva media de cierta granulometría, dada por IRAM.

Ejemplos

1 - Realizar una mezcla de árido fino y grueso, en proporciones tales que permita obtener una curva mezcla que se aproxime a la curva ideal de Fuller y comparar la curva mezcla , con las curvas límites fijadas en la norma IRAM 1627

Tamiz Iram (mm)	Arido 1	Arido 2
	% Acum.que pasa	% Acum.que pasa
63,0	100	100
50,0	100	100
37,5	100	100
26,5	100	100
19,0	100	99
13,2	100	57
9,5	100	49
4,75	100	16
2,36	88	4
1,18	63	0
0,600	31	0
0,300	2,5	0
0,150	0,5	0

Curva de Fuller y Curvas Límites

	% que pasa			
Abertura de tamiz IRAM (mm)	TMNominal (mm)	19,00		Fuller
	Límites según Norma IRAM			
	A	B	C	
63	100	100	100	100
50	100	100	100	100
37,5	100	100	100	100
26,5	100	100	100	100
19,0	94	97	100	100
13,2	70	77	93	81,1
9,5	55	65	86	70,7
4,75	41	46	72	50,0
2,36	32	43	58	35,2
1,18	22	36	44	24,9
0,600	11	24	28	17,8
0,300	4	10	15	12,6
0,150	1	2	4	8,9

Desarrollo

Abertura de tamiz IRAM (mm)	Árido 1		Árido 2		Árido deseado Curva de Fuller %Retenido	Mezcla de áridos	
	% Pasa	%Retenido	% Pasa	%Retenido		% Pasa	%Retenido
63	100	0	100	0	0,0	100,0	0,0
50	100	0	100	0	0,0	100,0	0,0
37,5	100	0	100	0	0,0	100,0	0,0
26,5	100	0	100	0	0,0	100,0	0,0
19,0	100	0	99	1	0,0	99,5	0,5
13,2	100	0	57	43	18,9	77,6	22,4
9,5	100	0	49	51	29,3	73,5	26,5
4,75	100	0	16	84	50,0	56,3	43,7
2,36	88	12	4	96	64,8	44,3	55,7
1,18	63	37	0	100	75,1	30,2	69,8
0,600	31	69	0	100	82,2	14,9	85,1
0,300	2,5	97,5	0	100	87,4	1,2	98,8
0,150	0,5	99,5	0	100	91,1	0,2	99,8
Módulo de fineza		3,15		6,32	4,80		4,80

Solución

$$X \cdot 3,15 + Y \cdot 6,32 = 4,8$$

$$X + Y = 1$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones obtenemos los valores de x e y

$$X = 0.48$$

$$Y = 0.52$$

Para obtener la curva mezcla de agregados se procede de la siguiente manera en todos los tamices, multiplicando el porcentaje respectivo por el % retenido acumulado para luego sumarlos. Ejemplo

Tamiz 19mm

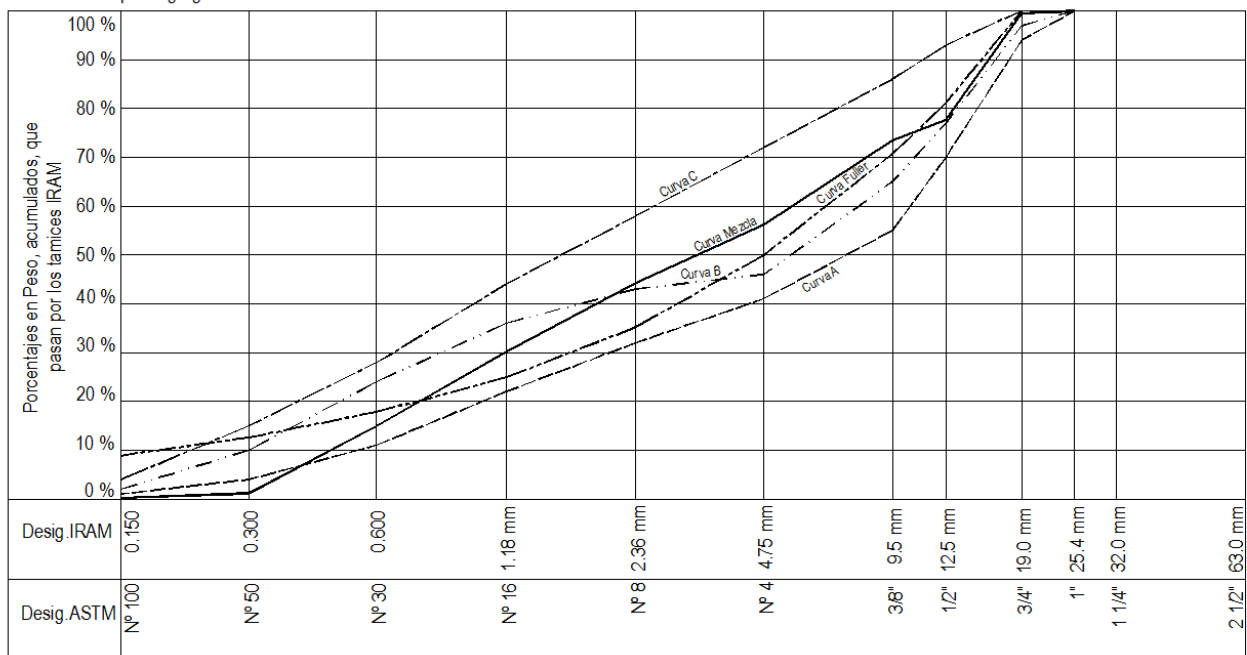
$$0.48 \times 0 + 0.52 \times 1 = 0.52$$

Grafico granulométrico

Luego de hacer los cálculos respectivos es necesario realizar las curvas correspondientes.

Mezcla de Aridos Gráfico Granulométrico de agregados

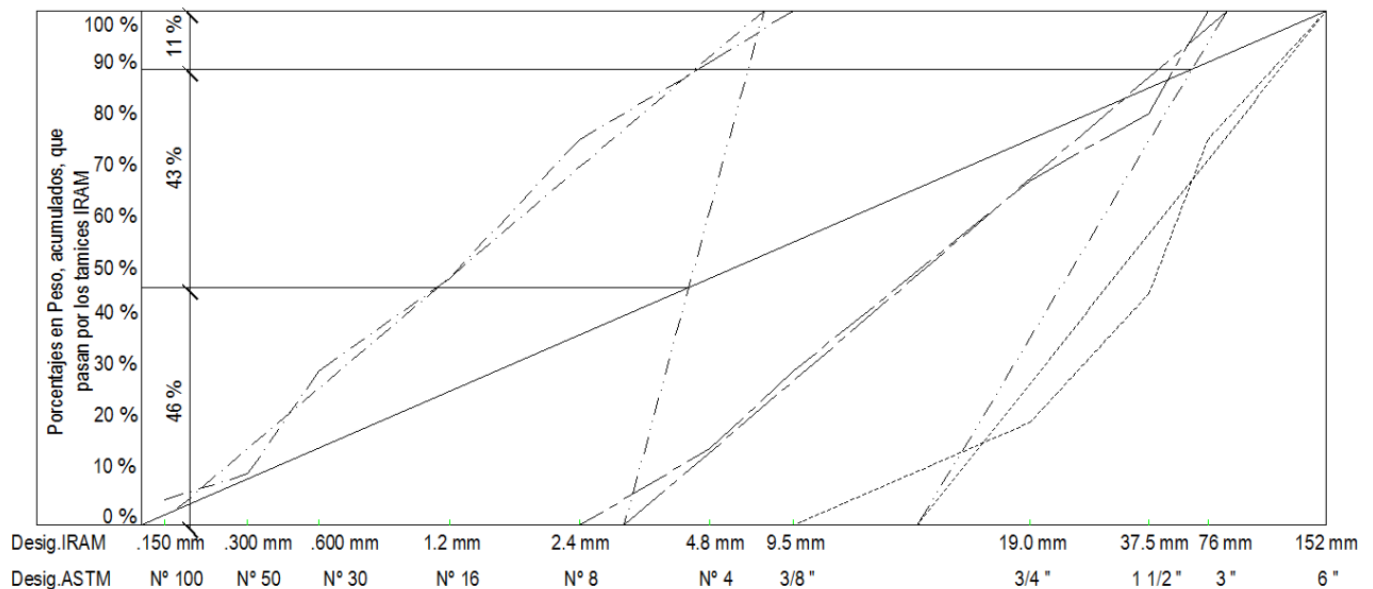
Curvas límites para agregados totales de tamaño máximo nominal 19.00 mm



2 – En que proporciones deben mezclarse tres áridos para obtener la mezcla deseada

Tamiz (mm)	% que pasa				
	Árido deseado	Árido 1	Árido 2	Árido 3	Árido Mezcla
152	100	100	100	100	100
76	90	100	100	75	97,3
37,5	85	100	80	45	85,4
19,0	75	100	67	20	77,0
9,5	55	100	30	0	58,9
4,75	48	90	15	0	47,9
2,36	37	75	0	0	34,5
1,2	26	50	0	0	23,0
0,600	15	30	0	0	13,8
0,300	9	10	0	0	4,6
0,150	2	5	0	0	2,3

Gráfico Grafico - mezcla de 3 agregados



Referencias

Trabajos Prácticos Cátedra de Tecnología de los Materiales de Construcción Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales– Universidad Nacional de Córdoba

Tecnología del Hormigón – Universidad Nacional de Cuyo

Normas IRAM

Hormigón – Materiales, vida útil y criterios de conformidad y su consideración en el Reglamento CIRSOC 201 – 2005 – Alberto Giovambattista - INTI

ANEXO A

TABLAS Y CURVAS GRANULOMETRICAS LIMITES TOTALES NORMA IRAM 1627

TABLA III – Granulometría de los agregados totales de tamaño máximo nominal 53 mm

Tamices IRAM	Acumulado, en masa, que pasan (%)		
	Curva A	Curva B	Curva C
63 mm	100	100	100
53 mm	95	100	100
37,5 mm	78	91	95
26,5 mm	59	82	90
19 mm	51	71	85
13,2 mm	44	59	79
9,5 mm	40	53	74
4,75 mm	33	44	63
2,36 mm	25	41	53
1.18 mm	18	37	42
600 μ m	10	27	30
300 μ m	4	14	17
150 μ m	1	4	4

TABLA IV – Granulometría de los agregados totales de tamaño máximo nominal 37,5 mm

Tamices IRAM	Acumulado, en masa, que pasan (%)		
	Curva A	Curva B	Curva C
53 mm	100	100	100
37,5 mm	97	98	100
26,5 mm	78	85	94
19 mm	60	71	88
13,2 mm	52	61	83
9,5 mm	45	52	77
4,75 mm	39	43	66
2,36 mm	29	38	53
1.18 mm	20	33	42
600 μ m	10	22	30
300 μ m	4	9	17
150 μ m	1	2	4

TABLA V – Granulometría de los agregados totales de tamaño máximo nominal 26,5 mm

Tamices IRAM	Acumulado, en masa, que pasan (%)		
	Curva A	Curva B	Curva C
37,5 mm	100	100	100
26,5 mm	95	98	100
19 mm	75	82	94
13,2 mm	55	66	87
9,5 mm	48	58	81
4,75 mm	35	43	69
2,36 mm	27	38	56
1.18 mm	19	33	44
600 μ m	10	22	31
300 μ m	4	9	18
150 μ m	1	2	5

TABLA VI – Granulometría de los agregados totales de tamaño máximo nominal 19 mm

Tamices IRAM	Acumulado, en masa, que pasan (%)		
	Curva A	Curva B	Curva C
26,5 mm	100	100	100
19 mm	94	97	100
13,2 mm	70	77	93
9,5 mm	55	65	86
4,75 mm	41	46	72
2,36 mm	32	43	58
1.18 mm	22	36	44
600 µm	11	24	28
300 µm	4	10	15
150 µm	1	2	4

TABLA VII – Granulometría de los agregados totales de tamaño máximo nominal 13,2 mm

Tamices IRAM	Acumulado, en masa, que pasan (%)		
	Curva A	Curva B	Curva C
19 mm	100	100	100
13,2 mm	95	97	100
9,5 mm	70	78	93
4,75 mm	48	52	78
2,36 mm	36	48	64
1.18 mm	24	41	50
600 µm	12	27	35
300 µm	5	12	20
150 µm	2	3	5

TABLA VIII - Granulometría de los agregados totales de tamaño máximo nominal 9,5 mm

Tamices IRAM	Acumulado, en masa, que pasan (%)		
	Curva A	Curva B	Curva C
13,2 mm	100	100	100
9,5 mm	88	95	100
4,75 mm	35	44	50
2,36 mm	25	31	38
1.18 mm	15	23	27
600 µm	8	12	16
300 µm	3	5	7
150 µm	0	1	3

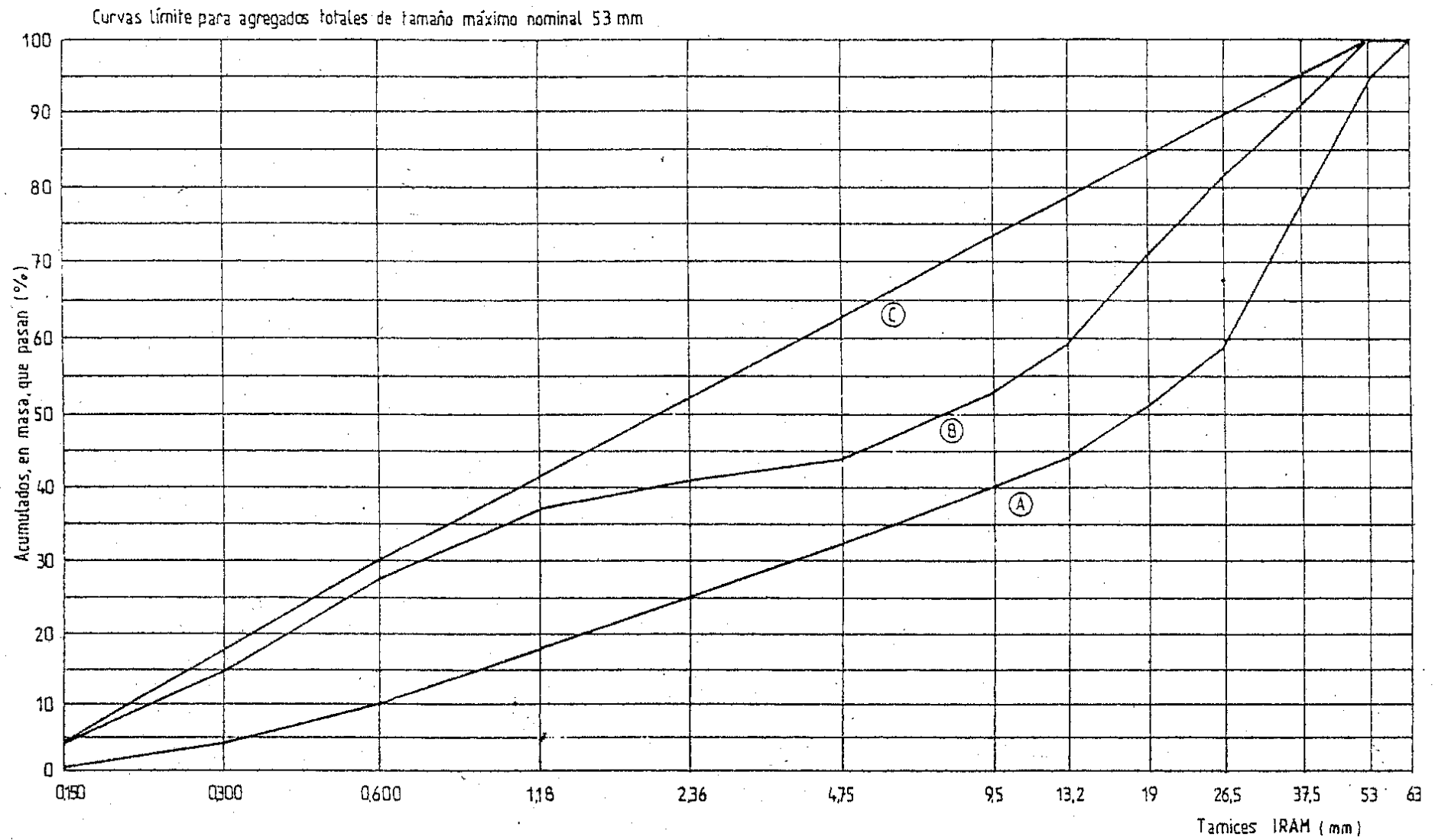


Figura 3
Gráfico Granulométrico de agregados totales

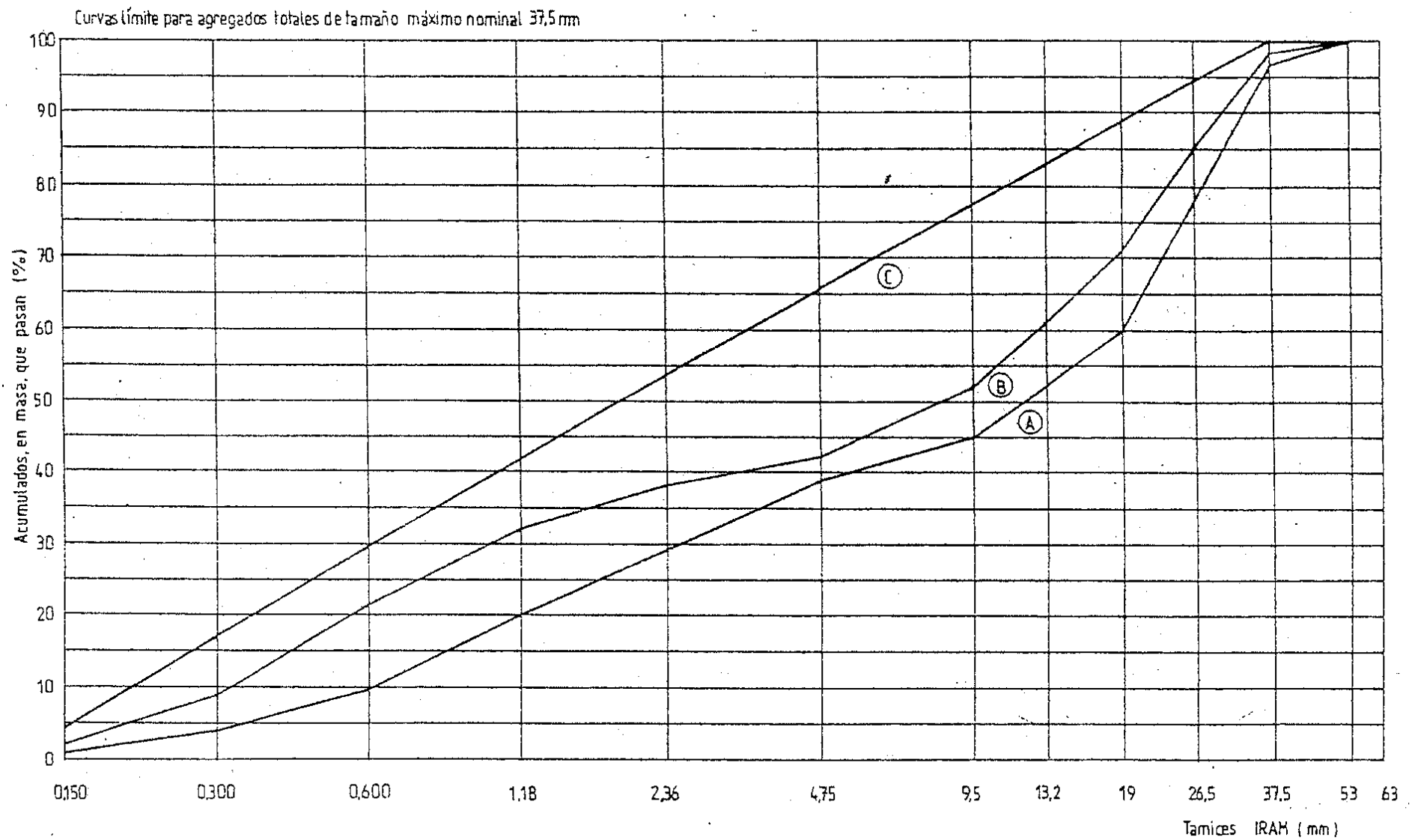


Figura 4
Gráfico Granulométrico de agregados totales

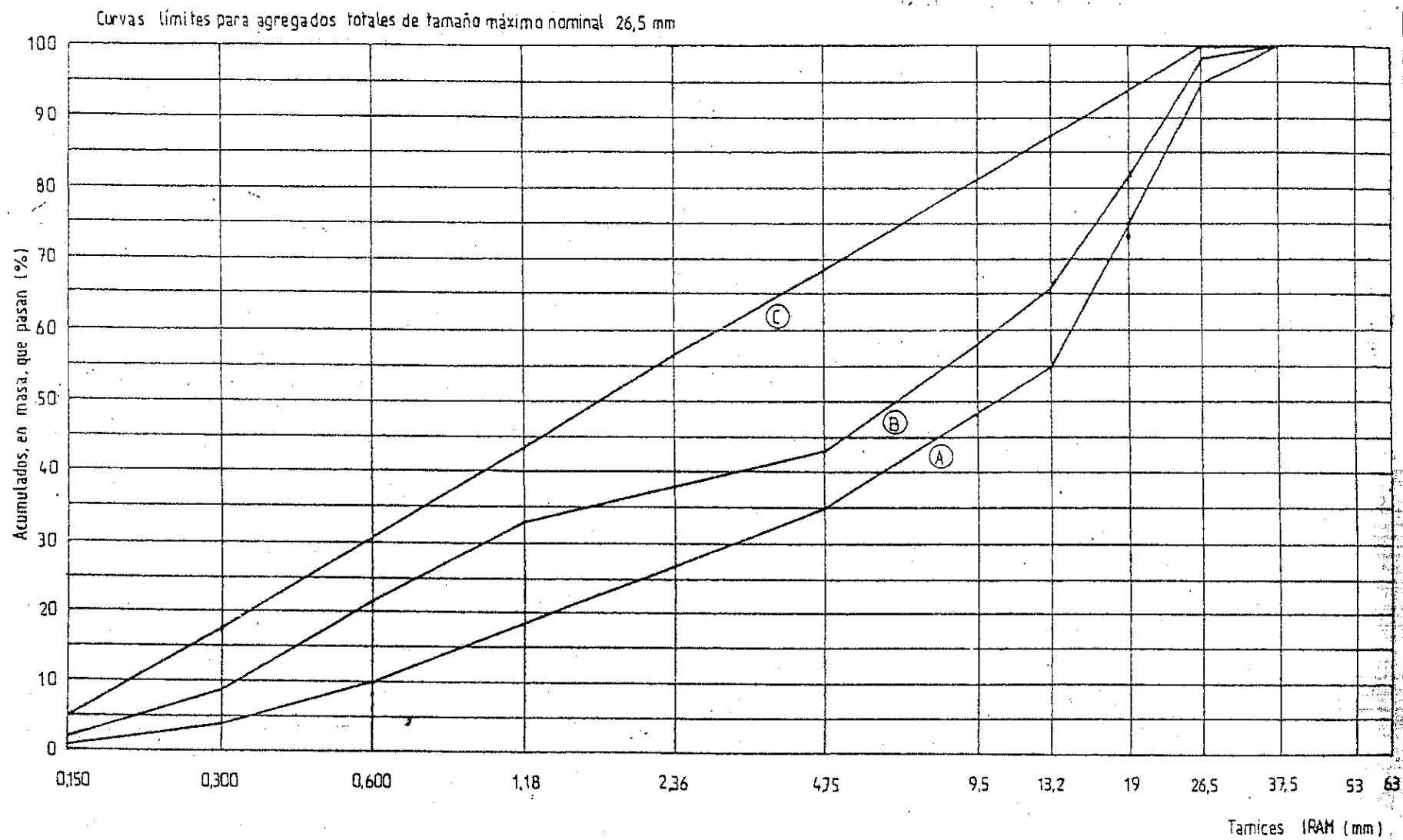


Figura 5
Gráfico Granulométrico de agregados totales

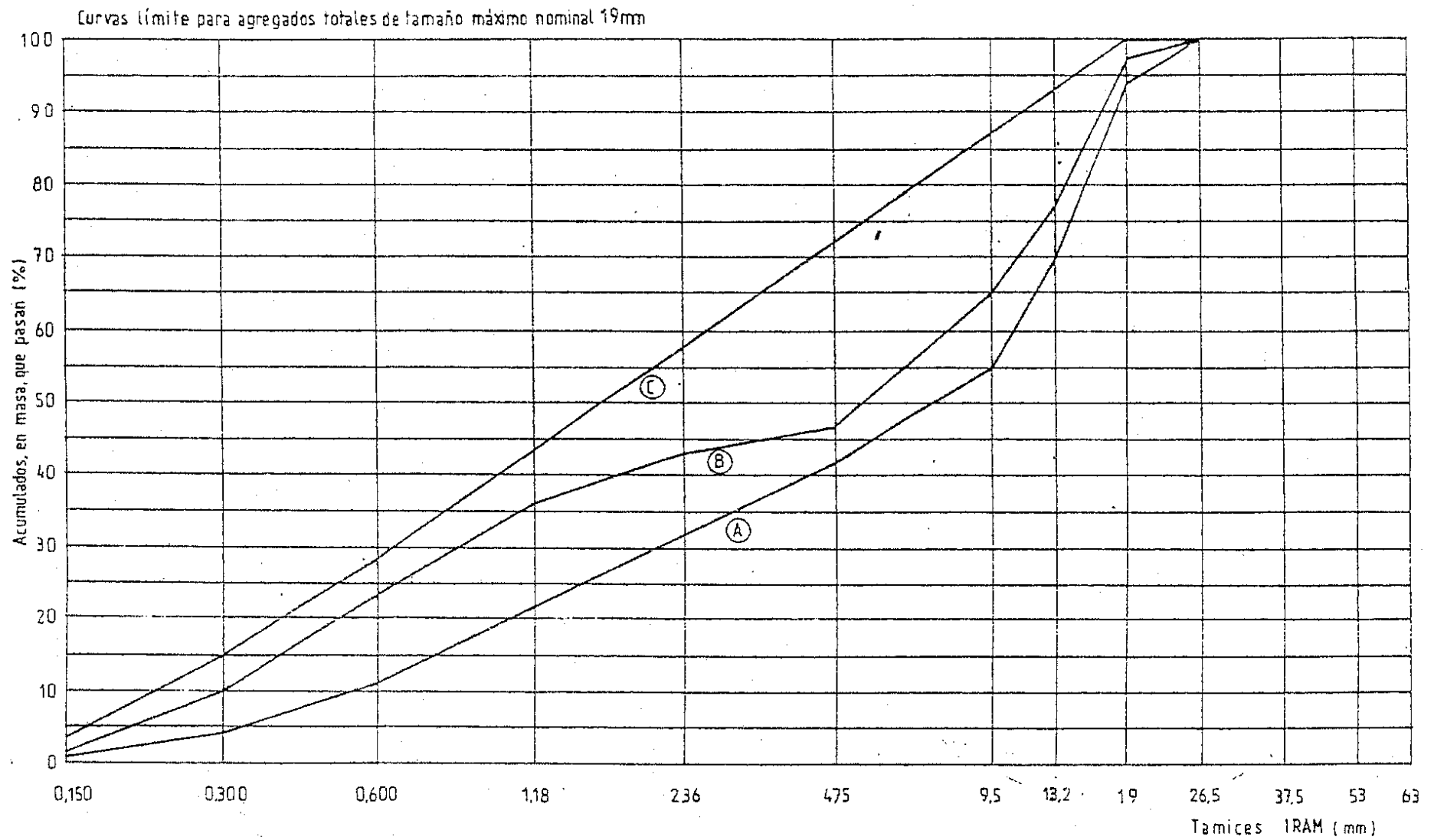


Figura 6
Gráfico Granulométrico de agregados totales

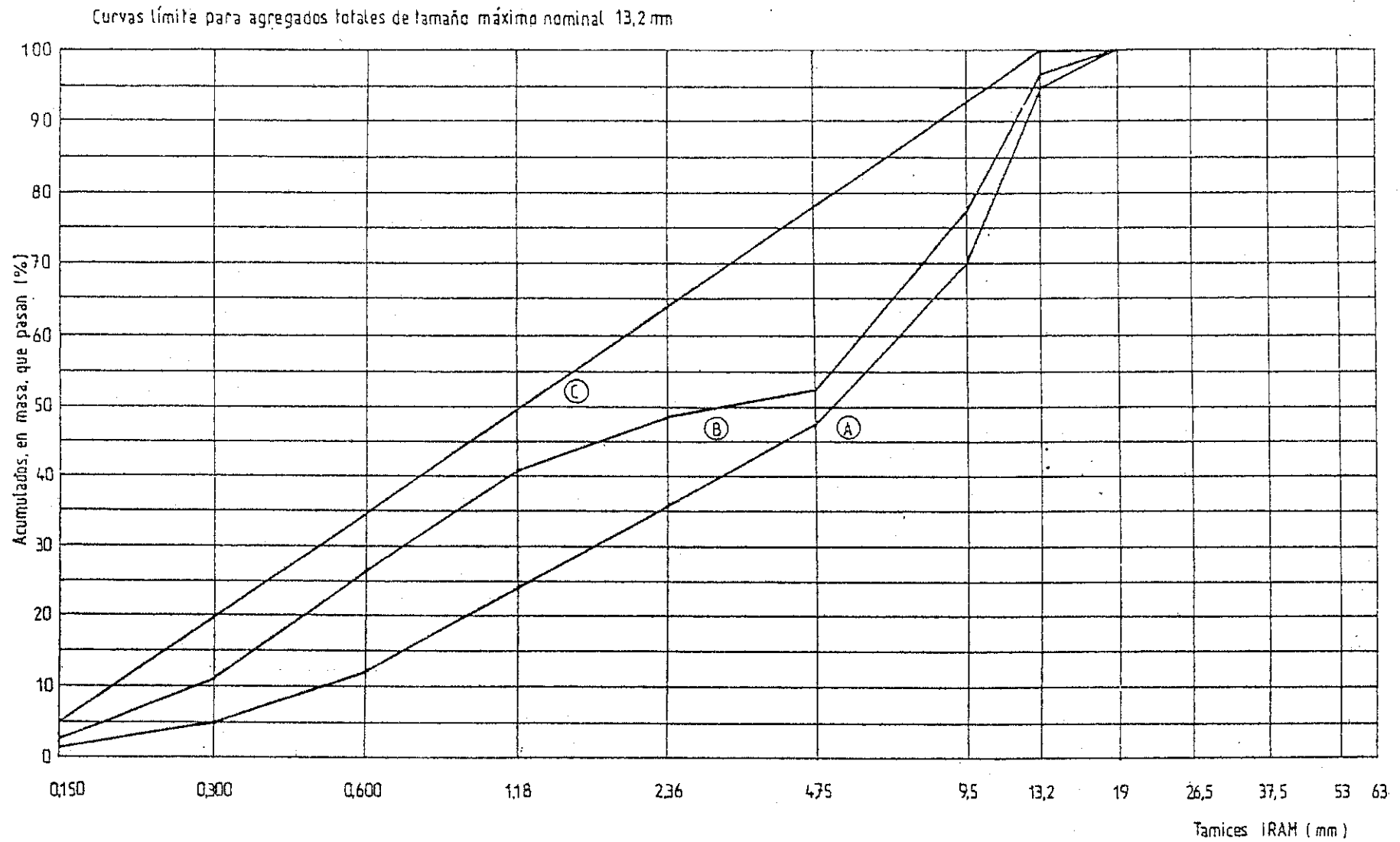


Figura 7
Gráfico Granulométrico de agregados totales

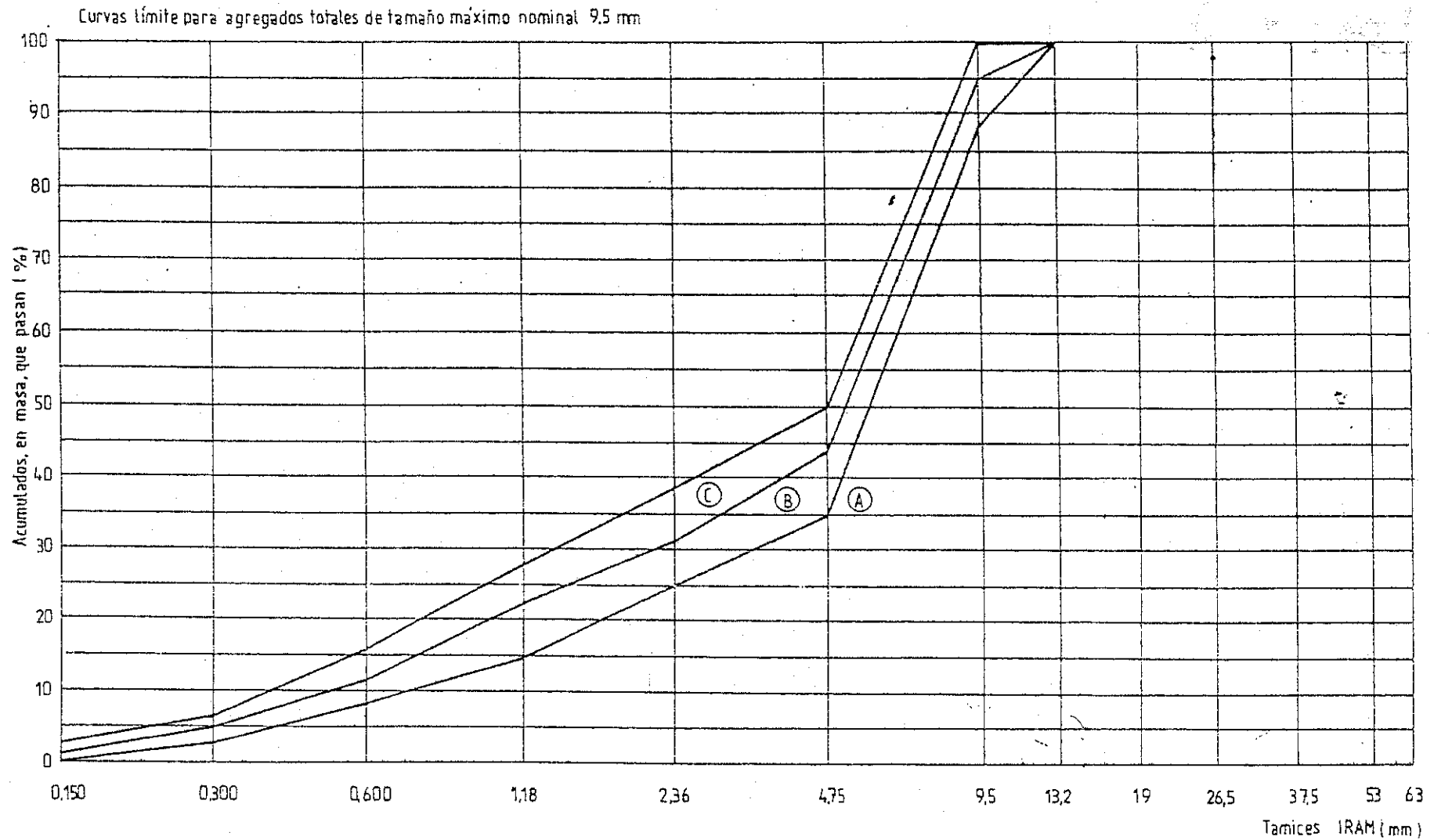


Figura 8
Gráfico Granulométrico de agregados totales

