



Profesor Titular: Ing. Maximiliano Segerer
Jefe de Trabajos Prácticos: Ing. Carlos Aluz

ASIGNATURA: **TECNOLOGÍA DEL HORMIGÓN**

TRABAJO PRÁCTICO N° 4

CURVAS IDEALES Y CURVA MEZCLA DE AGREGADOS

I. 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

II. DESARROLLO

El alumno deberá determinar en que porcentaje se debería mezclar el agregado fino y el agregado grueso del trabajo práctico N° 3, 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.

III. NORMAS Y REGLAMENTOS A CONSULTAR

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

IV. INTRODUCCIÓN TEÓRICA

A. 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:

$$P = \sqrt{\frac{d}{D}}$$

P: Porcentaje en peso que pasa cada tamiz
d: Abertura de cada tamiz
D: Tamaño máximo.

Observaciones: Bueno para consistencia pastosa, granos redondeados y 250 kg de cemento por m^3 de hormigón.

BOLOMEY (Con cemento):

$$P = A + (100 - A) \sqrt{d/D}$$

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

BOLOMEY (Sin cemento):

$$P = 100 - (100 - A) \left(1 + \frac{\beta}{100} \right) \left(\sqrt{1 - d/D} \right)$$

$\beta/100$: Porcentaje de cemento respecto al peso total de los agregados.

TIPO DE AGREGADO	CONSISTENCIA		
	Tierra húmeda (Hormigón vibrado)	Tierra pastosa (Hormigón no vibrado)	Tierra fluida (Hormigón colado)
Agreg. Redondeado	5 a 10	10	12
Agreg. Machacado	8 a 12	12 a 14	14 a 16

ROS (EMPA) (Sin cemento):

$$P = 50 \left(\frac{d}{D} + \sqrt{\frac{d}{D}} \right)$$

B. ZONAS GRANULOMÉTRICAS IRAM-CIRSOC

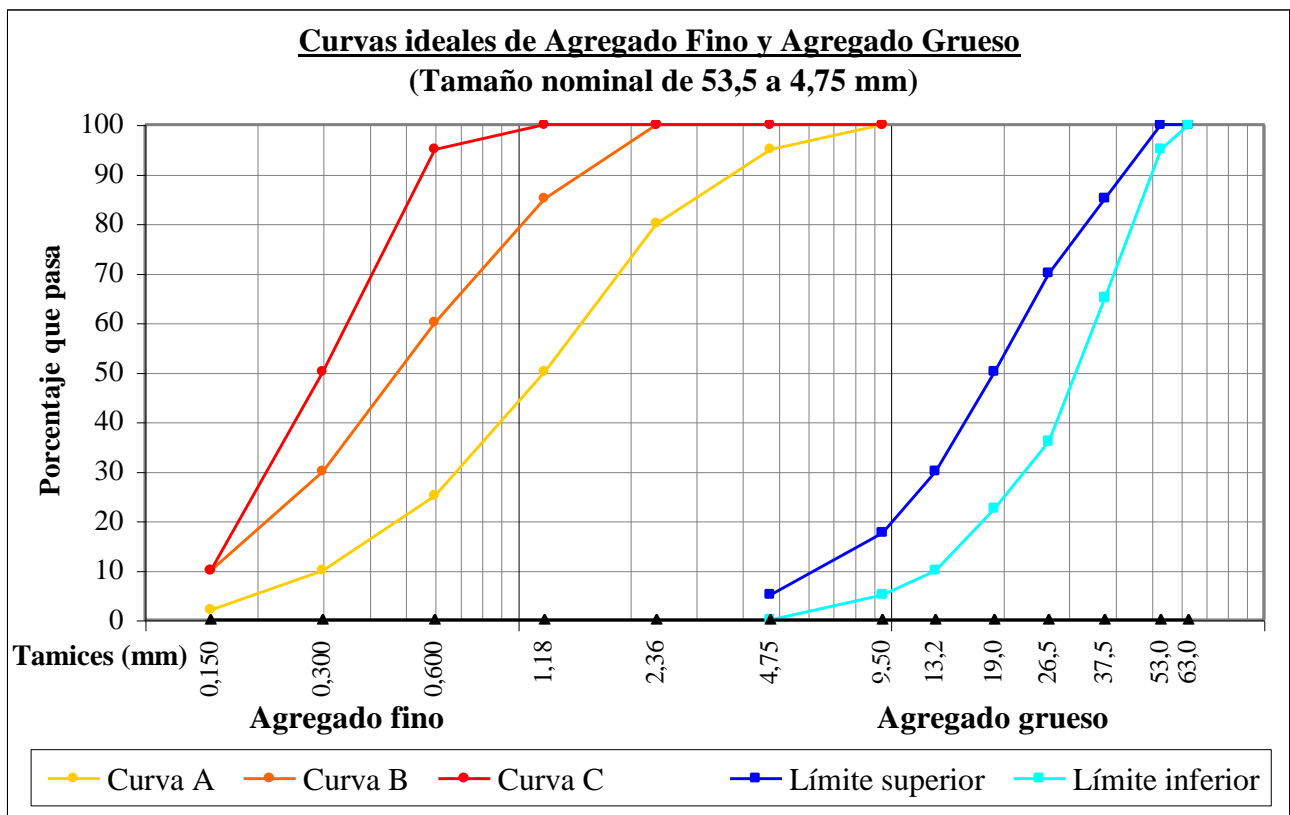


Figura 1 - Zonas granulométricas IRAM - CIRSOC

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, se muestran los límites de granulometría establecidos por la norma IRAM 1.627, tanto para el agregado fino como para el agregado grueso de tamaño máximo 53,5 mm.

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.

B.1. Agregado Fino

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

Tabla 1 - Granulometría del Agregado fino

Tamices	Porcentaje máximo que pasa, acumulado, en masa		
	Curva A	Curva B	Curva C
9,5 mm (3/8")	100	100	100
4,75 mm (N° 4)	95	100	100
2,36 mm (N°8)	80	100	100
1,18 mm (N° 16)	50	85	100
600 μm (N° 30)	25	60	95
300 μm (N° 50)	10	30	50
150 μm (N° 100)	2	10	10

El agregado fino tendrá una curva granulométrica continua, comprendida dentro de los límites que determinan las curvas A y B (Figura 1.22) de la tabla 1.5, 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 μm y 150 μm , 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/m^3 de contenido unitario de cemento, como mínimo, u hormigones, sin aire incorporado, con más de 300 kg/m^3 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.

B.2. Agregado Grueso

El agregado grueso tendrá una granulometría continua y comprendida dentro de los límites que se establecen en la tabla 2.

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.

Tabla 2 - Granulometría del agregado grueso.

Tamaño nominal (mm)	Porcentaje en masa, acumulado, que pasan por los tamices IRAM de mallas cuadradas									
	63,0mm	53,0mm	37,5mm	26,5mm	19,0mm	13,2mm	9,5mm	4,75mm	2,36mm	1,18mm
53 a 4,75	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 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	-
19,0 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 19,0	-	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

B.3. Agregado Total

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

C. 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.

D. CURVA MEZCLA DE AGREGADOS.

D.1. 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.

La figura 2 muestra una granulometría continua de una mezcla de agregados (agregado grueso + agregado fino). Si se analiza el punto A de la curva se tiene que: de la cantidad total del material, un $x\%$ está constituido por partículas de tamaño menor a d_3 ; y un $y\%$, con $y = 100 - x$, partículas de tamaño mayor a d_3 . Se tienen entonces dos fracciones, una de material más fino que d_3 y otra de material más grueso que d_3 .

Si al agregado total se le retira la fracción gruesa y se le efectúa un análisis granulométrico al material fino que queda, se tiene:

El pasante al tamiz d_3 es $100\% = p'_3$.

En el resto se tiene, por regla de tres simple: $(p_2/x) \cdot 100 = p'_2 = (p_2/p_3) \cdot 100$.

La misma relación es válida para el tamiz d_1 : $(p_1/x) \cdot 100 = p'_1 = (p_1/p_3) \cdot 100$.

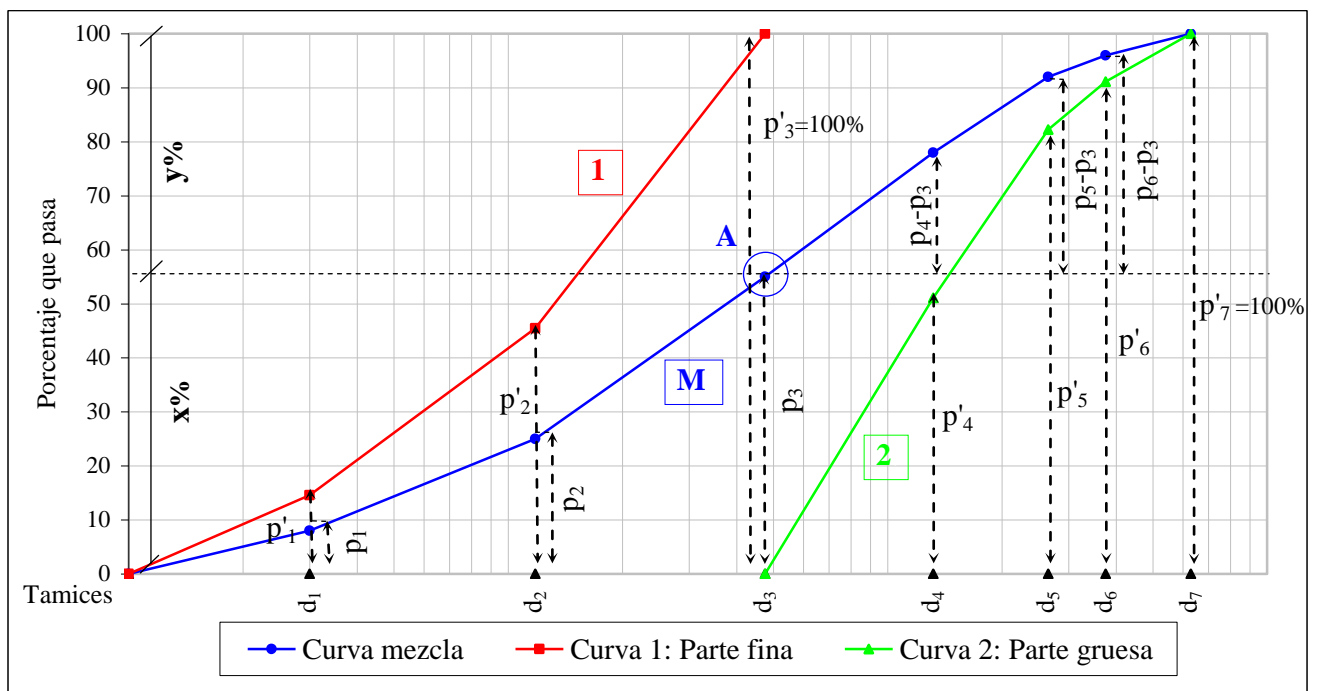


Figura 2 - Curva mezcla.

Es decir, representa las proporciones entre los pasantes respecto de p_3 considerado como un 100% del material. Su curva granulométrica (parte fina) se presenta en la figura 4.1.

El mismo análisis se realiza sobre la fracción gruesa o pasante por d_3 :

El pasante al tamiz d_7 es $100\% = p'_7$.

El pasante al tamiz d_3 es 0% .

El pasante por el tamiz d_4 , por regla de tres simple: $((p_4 - p_3)/y) \cdot 100 = p'_4$.

La misma relación es válida para el tamiz d_5 y d_6 : $((p_{5 \text{ ó } 6} - p_3)/y) \cdot 100 = p'_{5 \text{ ó } 6}$.

También puede procederse en forma inversa. Es decir, se tienen dos materiales cuyas granulometrías se conocen, uno fino de tamaño inferior a d_3 , y otro grueso de tamaño superior d_3 ; y quiere componerse la curva granulométrica de la mezcla de agregados finos y gruesos, o también llamada *curva mezcla*.

Tabla 3 - Materiales a mezclar. M_1 y M_2

TAMIZ	% PASA	
	FINO	GRUESO
d_7	100	100
d_6	100	P_6
d_5	100	P_5
d_4	100	P_4
d_3	100	0
d_2	P_2	-
d_1	P_1	-
d_0	0	-

Se procede a mezclarlos tomando x % de fino (F) e y % de grueso (G). Vemos cuanto aporta cada material a través de cada tamiz, mezclados en dichas proporciones. Se mezcla “ x ” material de M_1 e “ y ” material de M_2 y se obtiene la curva mezcla.

Tabla 4 - Obtención de la curva mezcla.

TAMIZ	X de FINO	Y de GRUESO	% Total que pasa
d_7	$x \cdot 100 = x \cdot P'_3 = P_3 = X$	$y \cdot 100 = (P_7 - P_3) = Y$	$X + Y = P_7 - P_3 + P_3 = P_7$
d_6	$x \cdot 100 = P_3$	$y \cdot P'_6 = (P_6 - P_3)$	$P_6 - P_3 + P_3 = P_6$
d_5	$x \cdot 100 = P_3$	$y \cdot P'_5 = (P_5 - P_3)$	$P_5 - P_3 + P_3 = P_5$
d_4	$x \cdot 100 = P_3$	$y \cdot P'_4 = (P_4 - P_3)$	$P_4 - P_3 + P_3 = P_4$
d_3	$x \cdot 100 = P_3$	$y \cdot 0 = 0$	$P_3 + 0 = P_3$
d_2	$x \cdot P'_2 = P_2$	$y \cdot 0 = 0$	$P_2 + 0 = P_2$
d_1	$x \cdot P'_1 = P_1$	$y \cdot 0 = 0$	$P_1 + 0 = P_1$
d_0	$x \cdot P'_0 = P_0$	$y \cdot 0 = 0$	$P_0 + 0 = P_0$

Con lo cual obtenemos la curva del agregado total de la cual partimos.

Conclusión:

- Dados dos agregados con la condición que no aporten fracción alguna uno sobre el otro, la curva mezcla pasará por un punto sobre la vertical determinada por el 100% pasante del material fino y el 0% pasante del material grueso.
- Dados dos agregados con la condición que no aporten fracción alguna uno sobre el otro, y una curva deseada; los porcentajes x e y en que deben mezclarse quedan determinados por la vertical mencionada y la curva deseada.

D.2. Método analítica del módulo de fineza.

Algunos autores indican que es suficiente para obtener una curva mezcla dada MF, que tenga igual módulo de fineza que la deseada MF_d , para obtener similares propiedades del hormigón. Esto significa que las áreas comprendidas a uno y otro lado de MF_d , es decir, el área entre MF y MF_d se compensa, como lo muestra la figura 3.4

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

$$\begin{array}{r} x \cdot MF_1 + y \cdot MF_2 = MF_d \\ x + y = 1 \end{array}$$

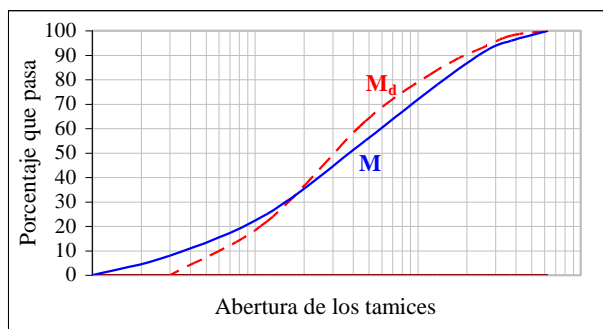


Figura 3 – Método del módulo de fineza.

Donde MF significa módulo de fineza: MF_1 , MF_2 relativos a los materiales 1 y 2; y MF_d 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.

V. INFORME

Realizar un informe respetando el siguiente orden:

I) ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.

- Trazar las curvas de las zonas granulométricas de IRAM para el agregado fino y para el agregado grueso, para el tamaño máximo del agregado que corresponda según el práctico anterior
- Superponer en el mismo gráfico, las curvas granulométricas obtenidas del práctico anterior
- Calcular y trazar la parábola de Füller para confrontarla con la curva granulométrica de la mezcla compuesta de agregados, considerando como primera estimación un 40% de agregado fino y 60% de agregado grueso

II) CURVA MEZCLA.

- Determinar el módulo de finura de la parábola de Füller para el tamaño máximo en estudio
- Determinar en qué porcentajes se debería mezclar el agregado fino y el agregado grueso del trabajo práctico anterior, para asemejarse a la parábola de Füller; empleando el método analítico
- Calcular la curva mezcla

- d) Representar la curva mezcla superponiéndola a la parábola de Füller y a las curvas IRAM-CIRSOC para agregado total (Ver Norma IRAM 1627: 1997)
- e) Determinar conclusiones respecto a las curvas granulométricas de los agregados finos y gruesos y del agregado total
- f) ¿Qué correcciones realizaría sobre los agregados o bien ensayos u observaciones adicionales para validarlos?

APLICACIÓN DE CURVA MEZCLA:

Tamiz	Retenido (g)		Pasado (g)	Pasado %	Rac %	Obs
	Parcial	Total				
3/8 "	0	0	884	100%	0%	
# 4	121,2	121,2	762,8	86%	14%	
# 8	196,5	317,7	566,3	64%	36%	
# 16	123,2	440,9	443,1	50%	50%	
# 30	140,9	581,8	302,2	34%	66%	
# 50	112,6	694,4	189,6	21%	79%	
# 100	85,6	780,0	104,0	12%	88%	
Pasa # 100	66,3	882,7	1,3	0%	100%	

332

1 PM sin lavar 884 g

2 PM lavada 847,6 g

Valor #200 (1-2)/1 4,1 %

MF2	3,32
-----	------

Corrección Tamiz #200 $1 \times 0,8 = 36,4$

Tamiz	Retenido (g)		Pasado (g)	Pasado %	Rac %	Obs
	Parcial	Total				
1"	12	12	9134,7	100%	0%	
3/4"	824,3	836,3	8310,4	91%	9%	
1/2"	3351,9	4188,2	4958,5	54%	46%	
3/8"	2723,7	6911,9	2234,8	24%	76%	
N° 4	2003,1	8915	231,7	3%	97%	
N° 8	120,4	9035,4	111,3	1%	99%	
N° 16	38	9146	0,7	0%	100%	

681

1 PM sin lavar 9146,7 g

MF1	6,81
-----	------

2 PM lavada 9074,1 g

T max 1"

Valor
#200 (1-2)/1 0,8 %

Corrección Tamiz #200 $1 \times 0,8 = 72,6$

Verificar la forma de obtener el MF del agregado grueso.

CURVA MEZCLA CON VALORES DETERMINADOS

Tamiz	%p AF	0,4 (40%)	%p AG	0,6 (60%)	Curva Mezcla
		0,4 x %p AF		0,6 x %p AG	
1"	100%	40%	100%	60%	100%
3/4"	100%	40%	91%	55%	95%
1/2"	100%	40%	54%	33%	73%
3/8"	100%	40%	24%	15%	55%
N° 4	86%	35%	3%	2%	36%
N° 8	64%	26%	1%	1%	26%
N° 16	50%	20%	0%	0%	20%
# 30	34%	14%	0%	0%	14%
# 50	21%	9%	0%	0%	9%
# 100	12%	5%	0%	0%	5%
Pasa # 100	0%	0%	0%	0%	0%

CURVA DE FÜLLER

TMN= 1" 25,4

Tamiz ASTM	Tamiz IRAM	%p	Rac %
1"	25,4	100%	0%
3/4"	19,1	87%	13%
1/2"	12,7	71%	29%
3/8"	9,52	61%	39%
N° 4	4,76	43%	57%
N° 8	2,38	31%	69%
N° 16	1,19	22%	78%
# 30	0,59	15%	85%
# 50	0,297	11%	89%
# 100	0,149	8%	92%
Pasa # 100			

523

MFF	5,23
------------	------

Comparar la curva de Füller con la curva mezcla con valores determinados (40% y 60%) y después determinar los porcentajes de agregado fino y grueso para el método analítico y superponer nuevamente las dos curvas.