



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

ASIGNATURA: TECNOLOGÍA DEL HORMIGÓN

TRABAJO PRÁCTICO N° 5

PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

I. OBJETIVOS

Conocer las propiedades físicas de los agregados para el desarrollo de criterios de obtención de materiales. Introducir conocimientos y propiedades necesarias para la dosificación morteros y hormigones.

II. DESARROLLO

El trabajo será desarrollado en gabinete, donde se darán los conceptos teóricos del tema y será complementado con visitas a laboratorio con el objetivo de fijar los ensayos de determinación de las propiedades. En el Trabajo Práctico N° 6 se realizarán los ensayos en el laboratorio.

III. NORMAS Y REGLAMENTOS A CONSULTAR

- **Norma IRAM 1520** – Agregados finos. Método de laboratorio para la determinación de la densidad relativa, aparente y absorción de agua.
- **Norma IRAM 1533** – Agregados gruesos. Método de laboratorio para la determinación de la densidad relativa, aparente y absorción de agua.
- **Norma IRAM 1548** – Determinación del peso unitario y volumen de vacíos.
- **Norma IRAM 1532** – Método de ensayo de resistencia la desgaste “Los Ángeles”
- **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

- **Volumen sólido:** En los problemas vinculados con el proyecto de mezclas de hormigón y medición de los materiales necesarios para su preparación, interesa conocer el espacio ocupado por las partículas sólidas de los componentes.

Dado que la pasta de cemento es bastante viscosa, es prácticamente imposible que pueda penetrar dentro de los poros capilares conectados con el exterior a través de vías de muy pequeño diámetro (Figura 1).

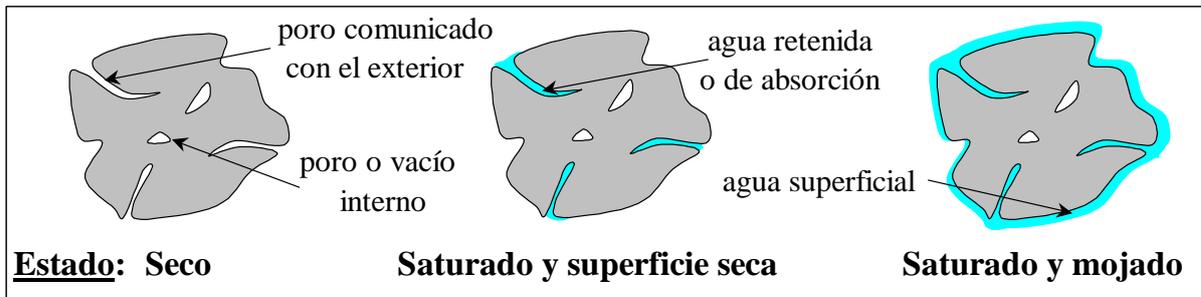


Figura 1 - Esquema de un agregado con los distintos tipos de porosidad y estados de humedad

Al introducir la partícula dentro de la pasta de cemento, ella desplazará un volumen igual al encerrado por su superficie exterior, independientemente de los poros o vacíos internos y de los conectados a la superficie por medio de capilares. Es decir, el volumen desplazado sería el mismo que el encerrado por una membrana estirada sobre la superficie exterior. Este volumen es llamado "volumen sólido". Es entonces el encerrado por la superficie exterior incluyendo los vacíos internos y los comunicados con el exterior.

- **Peso específico:** Es la relación que existe entre el peso de un determinado volumen sólido de un material y el peso de igual volumen de agua, a la misma temperatura, que generalmente es de 20° C.
- **Absorción de agua:** Es la cantidad de agua expresada como un porcentaje, calculada según normas, y que puede ser retenida dentro de los poros de un material, en las condiciones normales de ensayo
- **Agregados en estado Saturado y de Superficie Seca:** Un agregado está en la condición de saturado y superficie seca cuando sus partículas han colmado sus posibilidades de absorber agua y mantienen su superficie libre de humedad. Su contenido de agua es el que corresponde a la absorción.

$$A = \left[\frac{(P_{SSS} - P_s)}{P_s} \right] 100$$

P_{SSS} = Peso saturado con superficie seca

P_s = Peso seco

- **Humedad Superficial:** Es la cantidad de agua expresada en porcentaje, y que se encuentra en las superficies de las partículas una vez que ellas han colmado sus posibilidades de absorber agua.

$$H_s = \left[\frac{(P_H - P_{SSS})}{P_s} \right] 100$$

P_H = Peso húmedo

- **Humedad Total:** Es la cantidad de agua expresada en porcentaje, total que contiene el agregado y puede obtenerse como el agua de absorción más el contenido de humedad superficial. Es la humedad que se determina del agregado al secarlo hasta masa constante.

$$H_T \% = H_s \% + A \%$$

$$H_T = \left[\frac{(P_H - P_s)}{P_s} \right] 100$$

B. AGREGADO FINO. Determinación de las densidades y absorción.

1. INSTRUMENTAL NECESARIO

- a. Balanza con precisión de 0,1 g y capacidad 2 kg.
- b. Matraz aforado de 500 cm³ (método gravimétrico) o un frasco de Le Chatelier (método volumétrico)
- c. Molde troncocónico metálico de diámetro superior de 40 mm, inferior 90 mm y 75 mm de altura.
- d. Pisón de compactación metálica de 340 g de peso con superficie de compactación plana, diámetro 25 mm
- e. Estufa regulada a una temperatura de $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$
- f. Ventilador o instrumento para suministrar aire caliente a velocidad moderada
- g. Baño de agua termostatzado a $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$

2. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- a. Se secan aproximadamente 1 kg de agregado fino adecuadamente muestreado, hasta peso constante a temperatura de $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- b. Se sumerge en agua durante 24 horas la muestra
- c. Se retira la muestra del agua y se seca bajo la acción de aire caliente sobre una superficie plana, removiendo para asegurar secado uniforme hasta que los granos no se adhieran marcadamente entre sí
- d. Se coloca el agregado fino en el molde troncocónico llenándolo hasta enrasar, se apisona 25 veces con el pisón con una altura de caída de 5 mm sobre la superficie y se levanta verticalmente el molde. Si todavía tiene humedad superficial, el agregado retiene la forma del molde.
- e. En este caso, se continúa el proceso hasta que al levantar el molde, el agregado se desmorone. En este momento el agregado está en la condición de saturado y superficie seca. (Ver Figura 2)
- f. En el caso que el agregado ha sido secado más allá de su punto de saturación con superficie seca, se agregan unos cm³ de agua, se mezcla íntimamente y se deja 30 minutos en un recipiente tapado, luego se repite el proceso.

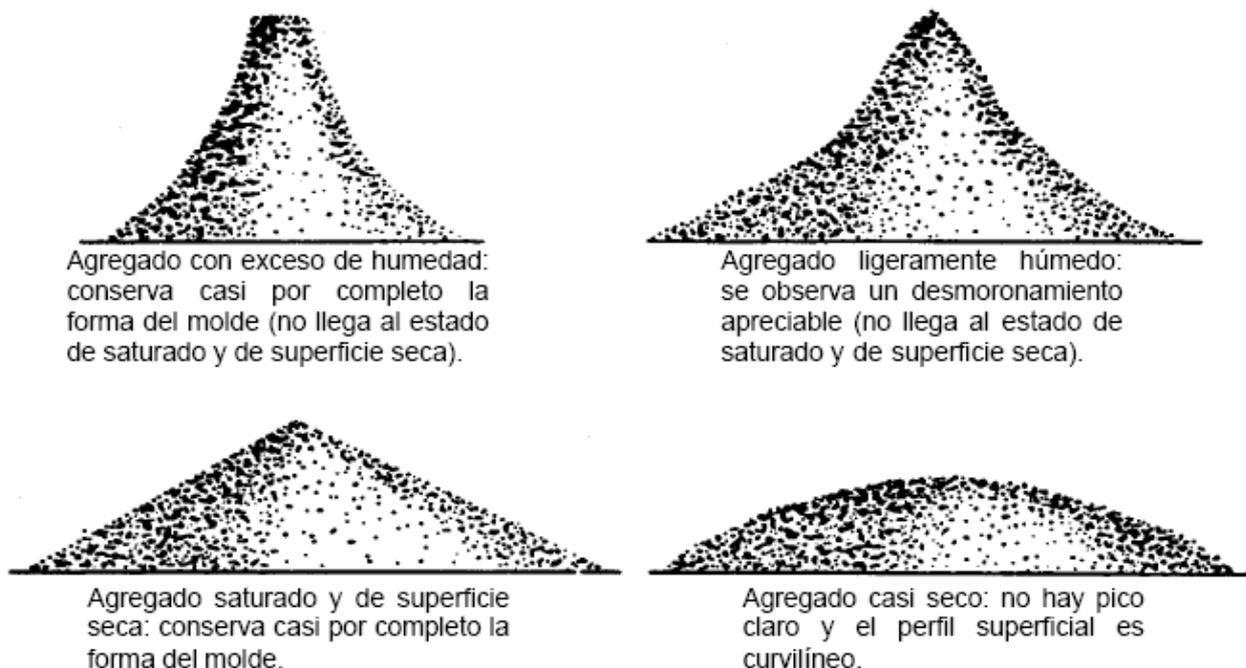


Figura 2 – Comprobación visual del estado de humedad de los agregados

3. DETERMINACIÓN DE LAS DENSIDADES – Método Gravimétrico

- Introducir en el frasco entre 490 y 510 g de la muestra pesada al 0,1 g y en la condición de saturada y superficie seca, registrando esta masa (m_{sss})
- Se coloca la muestra de agregado fino en el matraz y se toma la masa del conjunto (m_1)
- Se llena con agua el matraz hasta cerca de la marca de 500 cm³. Se mueve el matraz para que se eliminen las burbujas de aire y luego se coloca en el baño termostático a $20 \pm 2^\circ\text{C}$
- Después de 1 hora, se completa con agua hasta la marca de 500 cm³ y se determina la masa del conjunto (m_2)
- Se retira la muestra y se seca hasta peso constante, registrando la masa (m_s).

4. CÁLCULOS – Fórmulas de aplicación directa que figuran en IRAM 1520

Densidad relativa real (d1)	$d1 = \frac{m_s}{d_a \cdot V - (m_2 - m_1) - (m_{sss} - m_s)}$	Redondear al 0,01
Densidad relativa aparente de agregado seco (d2)	$d2 = \frac{m_s}{V \cdot d_a - (m_2 - m_1)}$	Redondear al 0,01
Densidad relativa aparente de agregado SSS (d3)	$d3 = \frac{m_{sss}}{V \cdot d_a - (m_2 - m_1)}$	Redondear al 0,01
Absorción del agregado fino (A)	$A = \frac{m_{sss} - m_s}{m_s} \cdot 100$	Redondear al 0,1%

m_s = Masa seca del agregado fino a masa constante [g]

m_{sss} = Masa en estado saturado y superficie seca del agregado fino [g]

m_1 = Masa del matraz con la muestra del agregado fino sin agua [g]

m_2 = Masa del matraz con la muestra del agregado fino y lleno de agua [g]

V = Volumen del matraz (500 cm³) [cm³]

d_a = Densidad del agua a 20° C (0,998 g/cm³) [g/cm³]

C. AGREGADO GRUESO. Determinación de las densidades y absorción.

1. INSTRUMENTAL NECESARIO.

- Balanza con precisión de 0,5 g y capacidad de 10 kg, la cual debe contar con un dispositivo para sujetar el cesto de alambre
- Cesto de alambres de malla IRAM 3,35 mm (N° 6) como máximo con una capacidad de 4 a 7 dm³ para agregado con TMN de hasta 37,5 mm
- Tanque de agua, dentro del cual pueda sumergirse completamente el cesto de alambre con la muestra
- Estufa regulada a una temperatura de $105 \pm 5^\circ\text{C}$
- Tamiz IRAM 4,75 mm (N° 4)
- Baño de agua termostático a $20 \pm 2^\circ\text{C}$

2. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- Se obtienen 2 kg, 3 kg, 4 kg, 5 kg u 8 kg por el método de cuarteo, según sea el tamaño máximo nominal del agregado de 12 mm, 19 mm, 25 mm, 38 mm ó 50 mm respectivamente; descartando el todo el pasante del tamiz N° 4 por vía seca. Se lava la muestra para quitar el polvo y toda película adherida a la superficie de las partículas, se seca en estufa a hasta peso constante.

- Se sumerge la muestra en agua durante 24 horas.
- Se sumerge el cesto de alambre sin la muestra y se determina la masa del cesto sin la muestra (m_b), como se muestra en la Figura 3
- Se retira del agua, se coloca en el cesto de alambre, se lo sumerge en agua mantenida a $20 \pm 2^\circ\text{C}$ y se pesa en agua, obteniendo la masa del cesto de alambre y la muestra sumergida, eliminando todas las burbujas de aire (m_c)
- Se retira la muestra del agua y se envuelve en una tela absorbente hasta que el agua visible sea eliminada, aunque la superficie de las partículas todavía se muestre húmeda. Los fragmentos grandes se secan individualmente. Es necesario evitar la evaporación del agua de los poros del agregado durante la operación de secado superficial de la muestra.
- Se pesa la muestra, de inmediato, y se determina la masa saturada y de superficie seca (m_{sss})
- Se seca la misma muestra a $105 \pm 5^\circ\text{C}$ hasta masa constante (m_s), se deja enfriar hasta temperatura ambiente durante 1 a 3 horas.

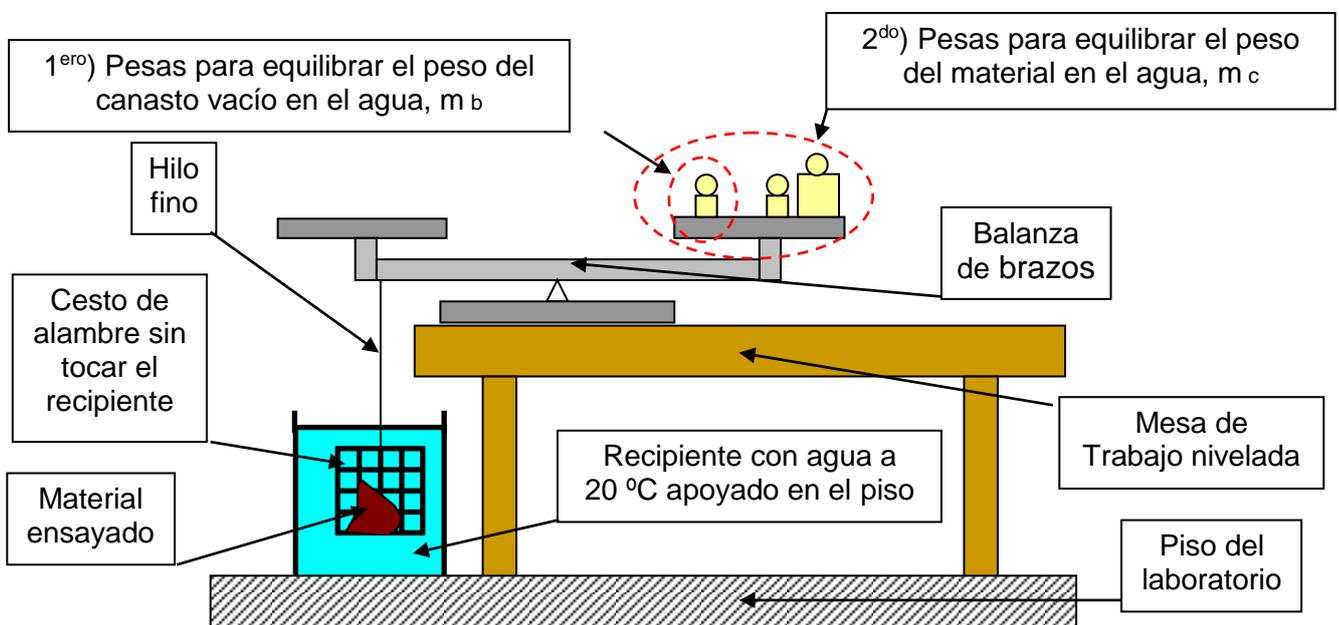


Figura 3 – Esquema para la determinación del peso específico del agregado grueso

3. CÁLCULOS - Fórmulas de aplicación directa que figuran en IRAM 1533

Densidad relativa real (d_1)	$d_1 = \frac{m_s}{m_s - (m_c - m_b)}$	Redondear al 0,01
Densidad relativa aparente de agregado seco (d_2)	$d_2 = \frac{m_s}{m_{sss} - (m_c - m_b)}$	Redondear al 0,01
Densidad relativa aparente de agregado SSS (d_3)	$d_3 = \frac{m_{sss}}{m_{sss} - (m_c - m_b)}$	Redondear al 0,01
Absorción del agregado fino (A)	$A = \frac{m_{sss} - m_s}{m_s} \cdot 100$	Redondear al 0,1%

m_s = Masa seca del agregado grueso a masa constante [g]

m_{sss} = Masa en estado saturado y superficie seca del agregado grueso [g]

m_b = Masa del cesto sumergido en el agua sin el agregado grueso [g]

m_c = Masa del cesto sumergido en el agua con el agregado grueso [g]

V = Volumen del matraz (500 cm^3) [cm^3]

d_a = Densidad del agua a 20°C ($0,998 \text{ g/cm}^3$) [g/cm^3]

D. DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO DEL AGREGADO.

El peso unitario es el peso de la unidad de volumen de material a granel en las condiciones de compactación y humedad es que se efectúa el ensayo, expresada en kg/m^3 . Aunque puede realizarse el ensayo sobre agregado fino y agregado grueso; el valor que es empleado en la práctica como parámetro para la dosificación de hormigones, es el peso unitario compactado del agregado grueso.

1. INSTRUMENTAL NECESARIO.

- a. Balanza con una capacidad de 50 kg y que permita apreciar 10 g.
- b. Varilla de compactación de acero, de 16 mm de diámetro y 600 mm de largo, con un extremo en forma de semiesfera de diámetro igual al de la varilla
- c. Recipiente cilíndrico, rígido e indeformable y provisto de asas; con una capacidad mínima según la tabla siguiente

Tamaño máximo nominal del agregado "tm" (mm)	Recipiente		
	Capacidad mínima (dm^3)	Diámetro interior (mm)	Altura interior (mm)
$tm \leq 37,5$	10	220	268
$37,5 < tm \leq 50$	15	260	282
$50 < tm \leq 75$	30	360	294

- d. Placa de calibración de vidrio de 6 mm de espesor y que exceda como mínimo 25 mm del diámetro del recipiente

Para calibrar el recipiente se lo llena con agua a temperatura a 20°C . No se llena al desborde y se coloca la placa de calibración de vidrio sobre las $2/3$ partes de la superficie del recipiente. Se sigue colocando agua despacio hasta que en la placa se vea que se ha llenado el recipiente, con lo cual se determina la masa del recipiente con agua y al restarle la masa del recipiente vacío, se obtiene el volumen del recipiente, en función de la densidad de agua.

Para cualquiera de los métodos, el tamaño de la muestra será aproximadamente de un 150% de la cantidad requerida para llenar el recipiente, manipulándola de manera de evitar la segregación del agregado. Según la norma, debe secarse la muestra en estufa hasta masa constante antes de realizar el ensayo.

2. PESO UNITARIO DEL AGREGADO COMPACTO (PUC)**Método A - Método de apisonado**

- a. Se utiliza este método para tamaño máximo menor o igual a 37,5 mm
- b. Se determina la masa del recipiente vacío (m_r) y se registra ese valor.
- c. Se llena el recipiente con la muestra hasta un tercio de su capacidad y se nivela la superficie con los dedos.
- d. Se efectúa la compactación de la capa de agregado mediante 25 golpes de la varilla distribuidos uniformemente en toda la superficie del material
- e. Se continúa el llenado del recipiente hasta $2/3$ de su capacidad y se compacta esta segunda capa con 25 golpes de varilla, sin penetrar en la capa previa ya compactada.
- f. Finalmente, se vuelve a llenar el recipiente hasta que desborde y se compacta con 25 golpes de la varilla, sin penetrar en la capa previa ya compactada.

- g. Se nivela la capa superficial del agregado en forma manual utilizando la varilla, de manera de enrasarla con el borde superior del recipiente.
- h. Se determina la masa del recipiente más su contenido (m_{ar}) y se registra.

Método B - Método de sacudido

- a. Se utiliza este método para tamaño máximo de agregados mayor a 37,5 mm.
- b. Se determina la masa del recipiente vacío (m_r) y se registra ese valor.
- c. Se llena el recipiente con la muestra hasta un tercio de su capacidad y se nivela la superficie con los dedos.
- d. Se efectúa la compactación de la capa de agregado colocando el recipiente sobre una base firme, tal como un piso nivelado, elevando alternativamente los lados opuestos alrededor de 50 mm y dejándolos caer, de forma tal que el compactado se produzca por la acción de los golpes secos. Se compacta la capa de agregado golpeando el recipiente 50 veces (25 de cada lado).
- e. Se continúa el llenado del recipiente hasta 2/3 de su capacidad y se compacta esta segunda capa con 50 golpes, igual que en el caso anterior.
- f. Finalmente, se vuelve a llenar el recipiente hasta que desborde y se compacta con los últimos 50 golpes por caída del recipiente de 50 mm (25 de cada lado).
- g. Se nivela la capa superficial del agregado en forma manual, de manera de enrasarla con el borde superior del recipiente.
- h. Se determina la masa del recipiente más su contenido (m_{ar}) y se registra este valor.

Cálculo del Peso Unitario Compacto del Agregado

Peso Unitario Compacto (PUC)	$PUC = \frac{m_{arC} - m_r}{V_r}$	Redondear a 10 kg/m ³
Peso Unitario Compacto en estado SSS (PUC _{SSS})	$PUC_{SSS} = PUC \cdot \left(1 + \frac{A}{100}\right)$	Redondear a 10 kg/m ³

m_{arC} = Masa del recipiente con el agregado compactado [kg]

m_r = Masa del recipiente vacío [kg]

V_r = Volumen del recipiente [m³]

3. PESO UNITARIO DE AGREGADO SUELTO (PUS)

- a. Se determina la masa del recipiente vacío (m_r) y se registra ese valor.
- b. Se llena el recipiente hasta el desborde por medio de una pala o cuchara, descargando el agregado desde una altura que no exceda los 50 mm por sobre el borde superior del recipiente. Se debe evitar en lo posible la segregación de los agregados que componen la muestra.
- d. Se nivela la capa superficial de forma manual
- e. Se determina la masa del recipiente más su contenido (m_{ar}) y se registra este valor.

Cálculo del Peso Unitario Suelto del Agregado

Peso Unitario Suelto (PUS)	$PUS = \frac{m_{arS} - m_r}{V_r}$	Redondear a 10 kg/m ³
Peso Unitario Suelto en estado SSS (PUS _{SSS})	$PUS_{SSS} = PUS \cdot \left(1 + \frac{A}{100}\right)$	Redondear a 10 kg/m ³

m_{arS} = Masa del recipiente con el agregado suelto [kg]

m_r = Masa del recipiente vacío [kg]

V_r = Volumen del recipiente [m³]

OBSERVACIONES:

- Deben realizarse al menos 3 determinaciones por cada tipo de agregado a ensayar y su promedio se considera como 1 resultado de ensayo
- Los resultados se expresan en kg/m³ y con una precisión de 10 kg/m³
- Debe verificarse que los resultados de los tres ensayos realizados con la misma muestra no difieren en más del 1% del promedio
- Al expresar el peso unitario se hará referencia a la condición de compactación y de humedad en que el agregado fue ensayado

4. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE VACÍOS

Se calcula el contenido de espacios vacíos en los agregados mediante la densidad a granel determinada anteriormente, empleando la fórmula siguiente:

Volumen de espacios de vacíos (E_v)	$E_v = \frac{(d_2 \cdot d_a) - PUC}{d_2 \cdot d_a} \cdot 100$	Redondear al 1%
---	---	-----------------

d_2 = densidad aparente real del agregado en estado seco

d_a = Densidad del agua a 20° C (998 kg/m³) [kg/m³]

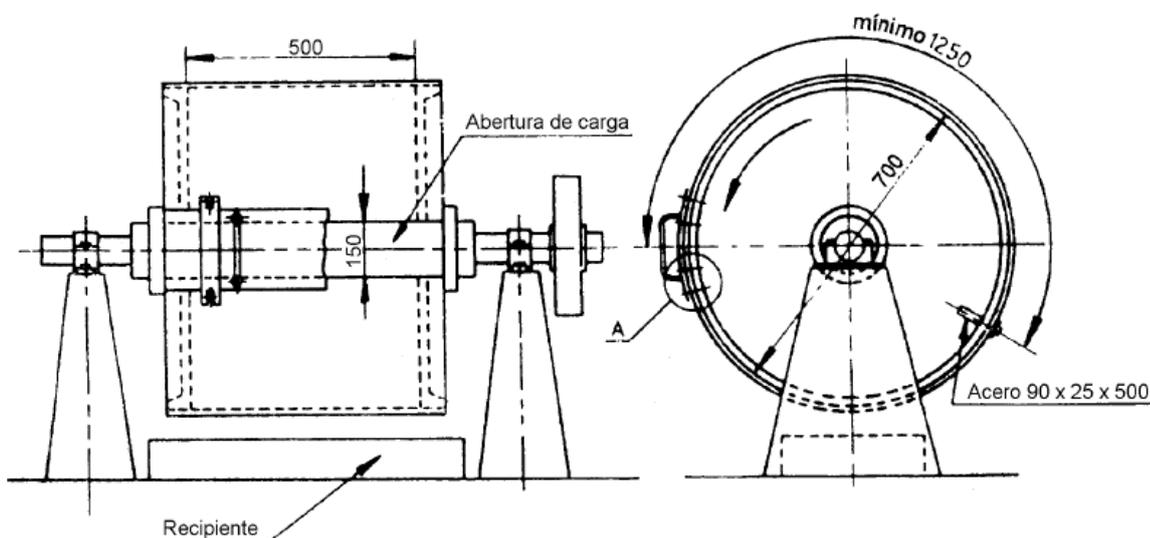
PUC = Peso Unitario Compactado del agregado [kg/m³]

E. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE – ENSAYO LOS ÁNGELES.

En la Norma IRAM 1532 se establece el método de ensayo de desgaste de los agregados gruesos usando la máquina “Los Ángeles”. Si bien, no es un método de desgaste puro, sino de resistencia al impacto y tenacidad de los agregados, es el método más empleado en la actualidad para determinar la aptitud de los agregados para su empleo, fundamentalmente, en pavimentos y otras aplicaciones en el que pueda estar expuesto a la erosión y a la abrasión.

1. INSTRUMENTAL NECESARIO.

- Máquina “Los Ángeles”, que consiste básicamente en un cilindro hueco de unos 50 cm de largo y 70 cm de diámetro, con su eje horizontal fijado a un dispositivo exterior que pueda transmitirle un movimiento de rotación alrededor del mismo. Además, debe contar con una abertura que pueda cerrarse luego de introducir la muestra de agregado y tendrá una pestaña en su interior



- b. Carga abrasiva en esferas de fundición de hierro o acero, de aproximadamente 47 mm de diámetro con una masa comprendida entre 390 y 445 g, en cantidad suficiente según el tipo de material, variando de 2500 a 5000 g (6 a 2 esferas)
- c. Balanza, que aprecie el 0,5 g
- d. Estufa para secado a masa constante
- e. Un juego de tamices que incluyan los siguientes: 75 mm, 63 mm, 50 mm, 38 mm, 25 mm, 19 mm, 13 mm, 9,5 mm, 6,3 mm, # 4, # 8 y # 12
- f. Elementos accesorios como bandejas, cucharas y cepillos

2. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- a. La muestra destinada al ensayo se obtiene separando por tamizado las distintas fracciones del agregado, de acuerdo con los tamices indicados
- b. Se lava y se seca separadamente cada una de las fracciones en estufa
- c. Se selecciona de la tabla, la graduación (A, B, C, D, E, F o G) que más se acerque a la granulometría de la muestra. Se pesan las cantidades correspondientes para completar los valores parciales y totales que se indican en la tabla y se mezclan entre sí

Fracciones y cantidad de muestra

Tamices IRAM (mm)		Muestra – masa parcial (g)						
Material		Graduación						
Pasa	Retenido	A	B	C	D	E	F	G
75	63					2500 ± 50		
63	50					2500 ± 50		
50	37,5					5000 ± 50	5000 ± 50	
37,5	25	1250 ± 25					5000 ± 25	5000 ± 25
25	19	1250 ± 25						5000 ± 25
19	12,5	1250 ± 10	2500 ± 10					
12,5	9,5	1250 ± 10	2500 ± 10					
9,5	6,3			2500 ± 10				
6,3	4,75			2500 ± 10				
4,75	2,36				5000 ± 10			
Masas totales (g)		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	10000 ± 100	10000 ± 75	10000 ± 50
Número de rotaciones del tambor		500	500	500	500	1000	1000	1000

- d. Se establece el número de esferas, según la graduación: Para A, E, F y G se emplean 12 esferas, para B 11 esferas, para C 8 esferas y para D 6 esferas
- e. Se pesa la muestra obtenida, se seca a estufa y se coloca, junto con la carga abrasiva dentro del tambor, haciéndolo girar a una velocidad entre 30 y 330 vueltas/minuto, hasta completar el número de vueltas indicado en la tabla (500 ó 1000 vueltas). Esta masa se denomina m
- f. Se retira el material del tambor y se tamiza por el tamiz IRAM 1,7 mm (# 12)
- g. Se lava y seca en estufa a masa constante la muestra anterior tamizada, registrando su peso al llegar a masa constante. Esta masa se denomina m₁

3. CÁLCULOS

Porcentaje de pérdida por abrasión (P%)	$P\% = \frac{m - m_1}{m}$	Redondear al 1%
---	---------------------------	-----------------

V. ACTIVIDAD PRÁCTICA

1. Una muestra de agregado fino pesa en estado natural 580,7 g y secado a masa constante, 533,5 g. Además, por ensayo previo según IRAM 1520 se determina que su absorción es igual a 1,2%.

Determinar:

- a. Humedad total.
 - b. Humedad superficial.
2. En la determinación de la densidad de un agregado fino, se tiene que:

Masa en estado saturado y superficie seca del agregado fino = 499,3 g

Masa seca del agregado fino a masa constante = 490,3 g

Masa del matraz con la muestra del agregado fino sin agua = 665,2 g

Masa del matraz con la muestra del agregado fino y lleno de agua = 968,2 g

Volumen del matraz = 500 cm³

Temperatura del agua = 20° C

Determinar:

- a. Densidades relativas: real, aparente y aparente en estado SSS total.
 - b. Absorción del agregado fino
3. En la determinación del Peso unitario compactado de un agregado grueso de tamaño máximo 25 mm (1"), se tiene que:

Masa del recipiente vacío = 1,25 kg

Masa seca del recipiente con el agregado compactado = 15,77 kg

Volumen del recipiente = 9,53 litros

Determinar:

- a. El procedimiento adecuado para la compactación
- b. Peso Unitario Compactado del material en estado seco
- c. Volumen de vacíos, considerando que la densidad aparente es 2,64