

# TECNOLOGÍA DEL HORMIGÓN

APUNTES DE CLASE

ESTRUCTURAS II

CÁTEDRA ING. JOSÉ MARÍA CANCIANI

PROFS. ADJUNTOS ING<sup>s</sup>. CARLOS SALOMONE  
y SALVADOR NAPOLI

- 2009 -

ELABORADO POR EL ARQ. MARIO ANTONIO CARRILLO

### 3. TECNOLOGÍA DEL HORMIGÓN

#### 3.1 PRELIMINARES

El estudio del hormigón armado como material data de poco tiempo atrás. Anteriormente, era prioritario el cálculo estructural. Esta modalidad era debida a que, por los métodos de estudios vigentes, por ser el hormigón armado un material relativamente reciente y no contarse con la suficiente experiencia en su uso, las piezas estructurales se sobredimensionaban.

Sin embargo, el uso de *ligantes* naturales se remonta a la antigüedad. Obtenidos de suelos cohesivos y posteriormente amasados con agua, permitían el moldeo de piezas que endurecían al secarse, las que comúnmente conocemos como "adobes", aunque de escasa durabilidad al contacto con la humedad. Estos mismos elementos resultaban durables a través de un proceso de cocción por calor, dando origen a los materiales "cerámicos". Éstos eran unidos entre sí mediante mezclas de poder adhesivo, de tierras calcáreas calcinadas y mezcladas con arena, que endurecían por secado al contacto con el aire. Ya los romanos descubrieron que, mezclando estas tierras con materiales de origen volcánico (puzolanas), la adherencia se lograba, por sus compuestos de sílice, aún sin la presencia de aire.

Es sólo a partir del siglo XVIII que se continuó con el estudio de las cales hasta lograr, finalmente, su producción industrial. Es así que, en **1824**, se patentó un cemento artificial, el cemento "**Portland**", que produjo una revolución en las técnicas de la construcción al combinar las propiedades de su resistencia, similar a la de una piedra natural, con las del acero. De esta manera quedaba subsanada la casi nula resistencia a la tracción de esta piedra artificial, que conocemos hoy con el nombre de hormigón.

El primer edificio con estructura total de hormigón armado (la combinación del hormigón con el acero) fue construido recién en el siglo XX, en **1903**, por un ingeniero francés, **Antoine Perret**. Es su conocida obra de la calle Franklin, en las afueras de París. A partir de entonces, ese método constructivo se divulgó universalmente con extraordinaria rapidez.

En nuestro país, siendo desconocido en la década del 20, su uso se propagó aceleradamente en la década siguiente. Tanto, que en esos años se construyó en Buenos Aires el edificio más alto del mundo en hormigón armado: el "Kavanagh" (110 m), frente a la plaza San Martín, el cual durante largo tiempo no fue superado en su tipo. En ese mismo tiempo se construyeron las grandes salas de la avenida Corrientes, como el "Gran Rex" y el "Opera", las playas subterráneas de la avenida 9 de Julio, los grandes estadios de fútbol, etc. Es actualmente el material más usado en la construcción.

### 3.2 EVOLUCIÓN DE LAS TÉCNICAS CONSTRUCTIVAS

La utilización masiva del hormigón en obras viales, a través de la actual Dirección Nacional de Vialidad y la Dirección de Pavimentación de la Provincia de Buenos Aires, dio origen a la primera elaboración de especificaciones para el control del material elaborado. En cambio, en las obras civiles, sólo se tomaban precauciones en la ejecución de las obras tales como la adopción de valores muy bajos de resistencia mecánica y escuadrías amplias de los elementos estructurales para permitir un eficiente llenado de los moldes, empleándose agregados limpios y variados (arenas finas de las costas argentinas y gruesas de las costas uruguayas) y no se escatimaba cemento. En general, las grandes obras se hacían con personal que traía la experiencia europea y la ejecución de los trabajos se llevaba a cabo de manera prudente y cuidadosa.

La evolución de las técnicas hizo que los métodos de cálculo y dimensionamiento se hicieran cada vez más sofisticados, mientras que aparecieron en el mercado de la construcción nuevos aceros de mayor resistencia a la rotura. La generalización en el uso del material fue difundiendo el concepto de que el material era suficientemente resistente y así se fue perdiendo el miedo inicial hasta que, paulatinamente, se fueron dejando de lado las medidas de prudencia que se habían adoptado inicialmente; las obras se fueron ejecutando cada vez más rutinariamente, con personal cada vez menos especializado, descuidando los controles que, en un principio, habían sido rigurosos; se fue reemplazando la composición variada del agregado fino (arena) utilizando únicamente arena de la costa argentina, caracterizada por su finura; se hicieron las mezclas más fluidas para mejorar la comodidad y la rapidez de las coladas con la consiguiente disminución de la resistencia mecánica y la durabilidad del material así elaborado; se abreviaron los tiempos de mezclado hasta valores insuficientes y la construcción toda dejó de ser artesanal para prevalecer criterios puramente comerciales.

Paralelamente se difundió el método de cálculo en el período plástico del material, el **cálculo a la rotura**, lo que llevó a proyectar elementos estructurales muy esbeltos y con elevada armadura, congestionando los encofrados e impidiendo su llenado correcto, provocando la segregación de las mezclas y, en los peores casos, con huecos sin llenar, dando así lugar a la corrosión de las armaduras.

Recién en el año **1964** se difundió el Proyecto de Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón (P.R.A.E.H.), basado en normas americanas, el cual nunca llegó a oficializarse y en el que se anunciaba, por primera vez, el control de la calidad del hormigón armado.

Actualmente se cuenta con el reglamento del **C.I.R.S.O.C.** (Centro de Investigación de Reglamentos de Seguridad para las Obras Civiles), basado en la norma **DIN 1045** alemana, de recomendaciones para la ejecución del hormigón armado y el método de cálculo, de uso obligatorio en las obras públicas.

La recopilación de la experiencia de varias décadas en el comportamiento a lo largo del tiempo de estructuras ya terminadas, en aspectos tales como su resistencia y durabilidad, así como también los sistemas de control de calidad requeridos para llevar los trabajos a buen fin (es decir, que el material elaborado responde a las expectativas enunciadas en los cálculos analíticos), se hace cada vez más acuciante por el hecho de que cada vez son más altos los valores de resistencia a la rotura por compresión del hormigón.

En la actualidad, en los Estados Unidos de América se construyen edificios de hormigón armado con valores de resistencia que alcanzan a los 600 kg/cm<sup>2</sup>. Teniendo en cuenta que el hormigón elaborado en forma doméstica, por medio de la tradicional hormigonera tipo "perita", produce material con una resistencia de 70 a 80 kg/cm<sup>2</sup> se deduce que, si los valores estipulados en el cálculo y dimensionamiento llevan a guarismos que superen dichas cantidades, el control de la calidad es primordial para poder alcanzarlos en la realidad.

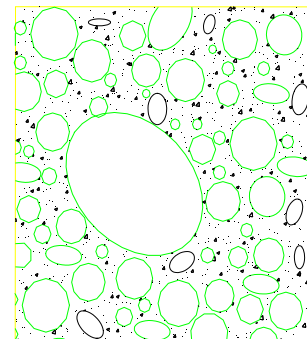
Es por todo esto que la investigación debe continuar ya que, cuando en una estructura surgen anomalías, cunde el pánico, se gastan fortunas en peritajes, ensayos y refuerzos que pueden duplicar el costo original de las obras. Al ser la estructura resistente el apoyo de todo el conjunto edilicio, su colapso puede provocar, además del consiguiente perjuicio económico, pérdida de vidas humanas.

### 3.3 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN

El hormigón es una mezcla homogénea de pasta y materiales inertes que tiene la propiedad de endurecer con el tiempo adquiriendo su resistencia de trabajo a la edad de 28 días.

La **pasta** es una combinación de cemento y agua, en determinadas proporciones, en la que se produce una reacción química que libera calor en el proceso de mezclado e incorpora aire naturalmente (en una proporción del 1 al 2 %). Esta pasta constituye el material ligante.

Los **materiales inertes** se agregan a la pasta por una cuestión de economía al tener similar resistencia a la del material endurecido, procurando que su volumen sea el mayor posible y su conformación lo suficientemente variada como para que no queden huecos sin llenar por la pasta y que ésta los recubra perfectamente.



El proceso de endurecimiento del hormigón comienza luego del mezclado en el cual se produce el inicio de la reacción

química al ponerse el cemento en contacto con el agua. Esta reacción química persiste mientras haya existencia de agua o humedad en la mezcla y necesita para producirse un mínimo de un 20% de agua en relación a la cantidad de cemento empleada, medidas en peso, aunque esta proporción dé lugar a un producto muy poco moldeable, necesitando de agua adicional.

Esta adición de agua, no necesaria para que se produzca la reacción química, sí lo es para asegurarnos la trabajabilidad de la mezcla fresca, lo que conduce a un eficaz llenado de los moldes sin que se produzcan huecos, pero tiene el doble inconveniente de que reduce proporcionalmente la resistencia final del hormigón y que su evaporación por secado da origen a la aparición de conductos capilares que van desde la masa del hormigón hasta su superficie y que, finalmente, quedan vacíos. A través de estos conductos, en un proceso inverso, puede colarse la humedad y producir la corrosión de las armaduras, disminuyendo la durabilidad del material.

Para lograr la **homogeneidad** del material es necesario contar con una dosificación adecuada, tanto de los materiales ligantes como de los inertes, con una suficiente cantidad de agua como para que la mezcla resulte trabajable y sin un exceso que le haga perder demasiada resistencia. El tiempo de mezclado debe ser suficiente (90 segundos) porque un exceso provocaría la segregación de los materiales y un defecto podría provocar que la pasta no recubriera los áridos en su totalidad.

El transporte del material desde su elaboración hasta su colado debe ser el mínimo como para que la mezcla pueda moldearse sin haber empezado a endurecerse.

Debe controlarse la altura desde la cual se vuelca la mezcla en los moldes para evitar la segregación del material por gravedad.

El tamaño máximo del agregado debe verificar que sea menor que la separación entre barras de la armadura y permita el libre escurrimiento de la mezcla entre ellas y un perfecto llenado de los moldes. Por el mismo motivo, la esbeltez de las estructuras no debe ser excesiva.

El contenido de cemento por metro cúbico de pasta cementicia alcanza a 1600 kg (usando en su composición **únicamente** cemento). Con los agregados inertes esta proporción se disminuye a valores que oscilan entre los 300 y 400 kg de cemento por metro cúbico de hormigón. A esta ventaja se le suma el hecho de que se disminuye el calor del fragüe y en consecuencia se disminuye la dilatación del hormigón que conlleva la formación de grietas que afectan su durabilidad.

Los materiales inertes utilizados en el hormigón son las arenas, gruesas y finas, que constituyen el agregado fino y la piedra partida o canto rodado, que constituyen el agregado grueso, en tamaños lo suficientemente variados. Estos materiales deben ser verdaderamente inertes y no contener partículas de sales minerales u otras sustancias que puedan resultar perjudiciales para el hormigón.

El aire, que es naturalmente incorporado a la mezcla, resulta perjudicial al ocupar un volumen que puede ser eventualmente invadido por la humedad pero que, si es incorporado artificialmente en burbujas microscópicas, es útil por producir un efecto de lubricación que otorga a la mezcla mayor trabajabilidad.

### ***ESTADOS DEL HORMIGÓN***

El hormigón pasa por tres estados en su proceso de endurecimiento:

#### **1) Mezcla Fresca:**

Al tomar contacto con el agua y durante su proceso de mezclado, su estado es líquido; luego del tiempo necesario para obtener una buena mezcla (90 segundos), toma una consistencia cremosa.

Es importante la trabajabilidad del hormigón fresco, su transporte hasta los lugares de moldeo sin producir segregación y llenar los moldes sin que queden huecos ni vacíos, llenando totalmente las armaduras.

La trabajabilidad está relacionada con la consistencia de la mezcla fresca y ésta es medida por su asentamiento a través del cono de Abrams, dependiendo del tipo de elemento estructural a llenar.

#### **2) Fragüe:**

A las dos o tres horas comienza el período de fragüe del hormigón, durante el cual comienza la reacción química del agua con el cemento que inicia el período de endurecimiento.

Este proceso debe comenzar lo más tardíamente posible para permitir el total llenado de los moldes con mezcla en estado fresco y debe terminar lo antes posible a fin de poder desencofrar las estructuras cuando éstas han alcanzado su punto de resistencia.

#### **3) Endurecimiento:**

La mezcla endurecida debe cumplir con una cierta resistencia a determinada edad y al menor costo posible, brindando al hormigón la suficiente durabilidad a lo largo del tiempo mediante su impermeabilidad, evitando así la acción destructora de los agentes externos.

El proceso de endurecimiento del hormigón se sigue produciendo en tanto éste esté en presencia de humedad, de manera que la resistencia aumente con el transcurso del tiempo, aunque no con la misma velocidad que durante los primeros veintiocho días.

Con la edad, el hormigón sufre una deformación por su propio peso o por cargas de acción prolongada, que se denomina **fluencia lenta**. Esta deformación es permanente.

### 3.4 ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DEL HORMIGÓN

#### **AGUA:**

Si bien es imprescindible la presencia del agua para producir la reacción química del cemento, su exceso durante el proceso de fragüe es perjudicial para la resistencia final del hormigón. Cuanto menos agua se incorpora a la mezcla, más resistencia y más impermeabilidad se obtendrá y por lo tanto el hormigón será de más durabilidad. Pero al mismo tiempo, cuanto menos agua se utiliza, menos trabajabilidad tendrá la mezcla, dificultando el proceso de llenado de los encofrados. En cambio, durante el endurecimiento del hormigón, es necesario mantener la presencia de agua para que se siga produciendo la reacción química. Este procedimiento se denomina "curado" del hormigón y debe prolongarse el mayor tiempo posible a fin de incrementar la resistencia y durabilidad.

Si las aguas de mezclado contienen compuestos solubles o expansivos, pueden destruir el hormigón. El agua también es nociva en los procesos de congelación por bajas temperaturas, ya que el aumento de volumen resultante puede resultar en la destrucción del hormigón.

Las condiciones que debe reunir el agua de mezclado son el ser químicamente pura, potable, no contener azúcares, aceites ni sales. De no tenerse la seguridad de la potabilidad del agua, debe realizarse un ensayo, comparando el tiempo de fraguado de la mezcla con el tiempo de fraguado con mezcla con agua potable, verificando las diferencias que resulten entre el inicio del proceso de fragüe (dos horas, aproximadamente) y su terminación (alrededor de las siete horas). También puede compararse la resistencia final mediante el empleo de probetas realizadas con mezcla con el agua a utilizar y otras realizadas con aguas conocidas y su posterior ensayo. Una diferencia en más o en menos del diez por ciento resulta aceptable.

#### **CEMENTOS:**

Al descubrirse las cales hidráulicas, que con su contenido de sílice se combinaban con el óxido de calcio reaccionando con el agua, se inició el proceso que llevó a la aparición del hormigón, mediante una dosificación de minerales de origen calcáreo (65 %) y arcilloso (35 %) finamente pulverizados y cocidos a alta temperatura (1500 °C), obteniéndose así un material granular poroso, el "clinker", compuesto de silicato bicálcico, silicato tricálcico, aluminato tricálcico y ferroaluminato tetracálcico que, mezclados con un 4 % de yeso dihidratado, da origen al cemento "Portland". Estos compuestos del cemento, en sus distintas proporciones en su composición, son los que le dan sus propiedades características.

En nuestro país existen varios tipos de cemento, a saber:

**TIPOS DE CEMENTOS NACIONALES**

SIGLA	CLASE	TIPO	DENOM. COMERC.	PROPIEDADES
CPN	Normal Norma Iram 1503	I	Loma Negra, Hércules, Corcemar, Avellaneda, San Martín	Baja resistencia a las agresiones
CPARI	Alta resistencia inicial Norma Iram 1646	III	Súper Loma Negra, Hércules, Avellaneda extra	Apto para climas fríos, pretensados y prefabricados
CPARS	Alta resistencia a sulfatos Norma Iram 1669	V	ARS Loma Negra, ARS Hércules, ARS Corcemar, ARS Avellaneda	Apto para obras en contacto con agua de mar o hidráulicas.
	Puzolánico Norma Iram 1651		Hércules, Puzolánico Especial Hércules, Corcemar	Fundaciones sobre terrenos agresivos
	Con escoria de alto horno Norma Iram 1636		Corcemar, San Martín	Apto para hormigones masivos
CPBCH	Bajo calor de hidratación	IV	Hércules (Salta)	Apto para grandes volúmenes

El cemento normal tiene baja resistencia a las agresiones. Es apto para estructuras comunes en climas templados.

El cemento de alta resistencia inicial, es vulnerable a las aguas ácidas, carbónicas o sulfatadas a corta edad (7 días). Es apto para climas fríos, por su alto calor de hidratación y para estructuras de dimensiones pequeñas y elementos premoldeados.

El cemento de alta resistencia a los sulfatos brinda durabilidad frente a aguas o suelos con sulfatos.

El cemento con bajo calor de hidratación es apto para grandes volúmenes de hormigón.

Existen también **cementos puzolánicos** que son cementos mixtos, compuestos



de un 60 a 70 % de clinker y un 30 a un 40 % de puzolana. Estos cementos disminuyen el contenido de cal, mejorando el comportamiento frente a aguas agresivas, pero no dan seguridad en cuanto a su comportamiento frente a los sulfatos.

### **AGREGADOS:**

Los agregados pueden ser de origen natural, como son las rocas, tanto en el estado en que se encuentran (canto rodado) como procesadas por trituración (piedra partida), o artificiales como las arcillas expandidas o las escorias de altos hornos.

Por su forma, los agregados pueden ser esféricos o poliédricos, debiendo desecharse aquéllos de forma lajosa, alargada, por su menor resistencia. Por su textura, son mejores aquéllos de superficies rugosas por brindar mejor adherencia. En cambio, los de superficies lisas mejoran la trabajabilidad del hormigón.

Por su tamaño, los agregados pueden clasificarse en gruesos y finos. Son gruesos aquéllos cuyos tamaños están comprendidos entre 4,8 mm y 150 mm y finos los comprendidos entre 75 micrones y 4,8 mm. Deben clasificarse por zarandeo y tener una granulometría adecuada. Esta se determina midiendo los porcentuales de partículas que pasan por cada tamiz, de una serie prefijada, según normas IRAM (150 mm; 76 mm; 38 mm; 19 mm; 9,5 mm; 4,8 mm (tamiz nº 4); 2,4 mm; 1,2 mm; 590 micrones; 297 micrones; 149 micrones; 75 micrones).

Las curvas granulométricas son características de los agregados y los definen. Se han fijado límites de tolerancia dentro de los cuales debe encontrarse una granulometría específica a utilizar en la elaboración de un hormigón determinado. La curva granulométrica se obtiene llevando en un gráfico de coordenadas cartesianas ortogonales las aberturas de los tamices sobre el eje de las abscisas (en escala logarítmica) y los porcentajes de agregado que pasan los tamices sobre las ordenadas. Estas curvas permiten identificar un agregado por su granulometría. El módulo de finura se obtiene sumando los porcentajes retenidos acumulados en la serie normalizada de tamices.

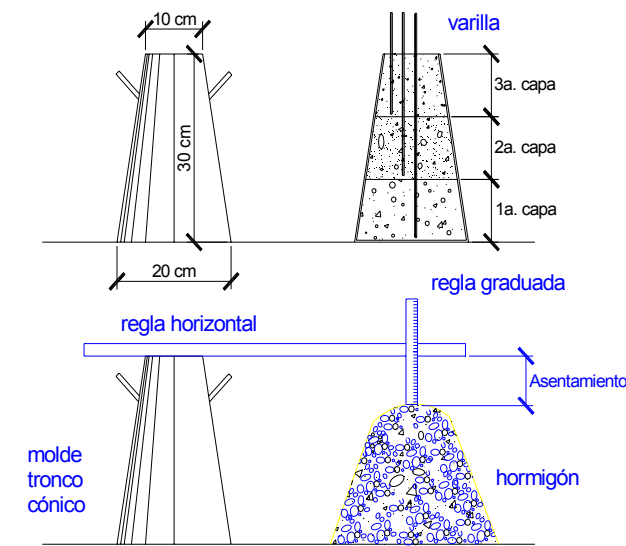
Son características de los agregados, su peso específico, su peso unitario compactado y suelto (incluyendo los espacios vacíos). Los agregados se suponen limpios, secos, saturados y sueltos. Su absorción puede llegar al 25 % de su propio peso. No deben contener partículas sueltas, ni deben ser chatos, alargados o blandos.

Los agregados deben cumplir con la condición de que su tamaño máximo sea menor o igual que la quinta parte de la menor dimensión transversal del elemento estructural y las tres cuartas partes de la menor separación entre barras de armadura.

### **3.5 PROPIEDADES DE LA MEZCLA FRESCA**

El estado de mezcla fresca del hormigón dura entre una y tres horas, tiempo que permite su traslado al lugar de colocación, el llenado de los moldes y su compactación.

La segregación, los huecos, la falta de envoltura de las armaduras se evitan con la trabajabilidad de la mezcla conseguida mediante una adecuada dosificación y un tamaño máximo del agregado grueso para cada elemento estructural a llenar, teniendo en cuenta que se necesita mayor trabajabilidad en vigas y columnas y menor



trabajabilidad en losas y bases.

La trabajabilidad se verifica con ensayos, a través de su consistencia. El ensayo utilizado es con el **cono de Abrams**, un molde troncocónico de 20 cm de diámetro de base y 10 cm de diámetro superior, con una altura de 30 cm. Este molde se llena con mezcla en tres capas sucesivas compactadas con 25 golpes cada una. Al

desmoldar, la mezcla desciende y se mide su **asentamiento**.

El asentamiento deseado varía con el tipo de estructura y la forma de compactación, según sea varillado manual o mecánico por medio de vibradores, entre 2 cm y 18 cm. El ensayo a través del cono de Abrams también determina el **grado de cohesión** de la mezcla, verificándose si ésta se disgrega o no al ser levantado el molde.

Abrams enunció también la ley de la **relación agua-cemento** como responsable de la resistencia final del hormigón, demostrando que distintos hormigones con diferente contenido de agua pueden alcanzar la misma resistencia mecánica, según su contenido de cemento. Las resistencias son las mismas, con distinto grado de fluidez, permitiendo la consistencia adecuada al tipo de compactación disponible. Sin embargo, los hormigones más fluidos son menos durables pues el agua incorporada forma conductos capilares, por la "exudación", que son vías de acceso para los agentes agresivos exteriores, pudiendo lograrse mayor fluidez a través de la incorporación intencional de aire en forma de burbujas microscópicas que actúan como cojinetes lubricantes.

Los ensayos a que se puede someter la mezcla fresca son:

- agua de mezclado: verificando su potabilidad y pureza.
- cemento: controlando su peso específico o estableciendo su

tipo por medio de análisis de laboratorio.

- agregado fino: verificando su peso específico, su absorción, su granulometría y módulo de fineza.
- agregado grueso: controlando su peso específico, su peso unitario compactado, su absorción, su granulometría, su módulo de fineza y su tamaño máximo.

### 3.6 MEZCLAS ENDURECIDAS

Como la hidratación de la pasta cementicia no es instantánea, el comportamiento del hormigón va variando a lo largo del tiempo, incrementando su resistencia, cambiando volumétricamente bajo la acción de la temperatura, la humedad y las cargas de larga duración (fluencia lenta).

**Resistencia mecánica:** Es la capacidad de resistir cargas de compresión que se miden en ensayos hechos con probetas cilíndricas, generalmente de diámetro de 15 cm y 30 cm de alto (En Europa se utilizan probetas cúbicas de 20 cm de lado, respondiendo a la norma DIN 1045), más cercanos a la realidad. Estas probetas deben curarse por lo menos 24 horas en sus moldes y hasta 7 o 28 días desmoldadas.

**Durabilidad:** La durabilidad está directamente relacionada con la existencia de canales capilares formados por exudación. Los líquidos con los que puede entrar en contacto el hormigón (por ejemplo, las bases) pueden contener sustancias químicas en solución que resten cohesión a la pasta (aguas ácidas o carbónicas) o que formen compuestos expansivos (sulfatos) o que aumenten de volumen por congelación. En estos casos deberá dosificarse el hormigón con poca agua.

El aire, los humos ácidos, amoniacales, salitre, o los líquidos residuales, aceites, azúcares o materia orgánica en descomposición, suelos con humus y sales solubles, atacan al hormigón endurecido a través de las grietas producidas por la exudación. Debe evitarse el agrietamiento eligiendo agregados de baja absorción (no livianos), evitando el uso de cementos de alta resistencia inicial, con un alto contenido de cemento y, por sobre todo, efectuar un curado prolongado de las estructuras, de modo tal que la reacción química continúe produciéndose el mayor tiempo posible.

**Aditivos:** Los aditivos otorgan propiedades especiales al hormigón. Generalmente se agregan en el momento de la mezcla, modificándose así las propiedades, ya sea de la mezcla fresca o de la mezcla endurecida.

Los **reductores del contenido de agua**, llamados fluidificantes o plastificantes, mejoran la trabajabilidad de la mezcla fresca sin disminuir la resistencia final del hormigón al no modificar la relación agua-cemento. Con el uso de estos aditivos, el producto final gana en impermeabilidad y en durabilidad. Pueden utilizarse según diversos criterios:

a) reduciendo la cantidad de agua, manteniendo la misma cantidad de cemento, el

uso de estos aditivos mantiene el mismo asentamiento, mejorando la resistencia y la durabilidad al modificarse la relación agua-cemento;

b) manteniendo la misma cantidad de agua, la misma cantidad de cemento, el uso de estos aditivos mejora la trabajabilidad, aumentando el asentamiento pero manteniendo las mismas condiciones de resistencia y durabilidad, aunque puede producirse segregación de la mezcla;

c) usando la misma relación de agua-cemento, pero con menor cantidad de cada uno, el uso de estos aditivos produce igual asentamiento, resistencia y durabilidad, incrementando la economía.

Los **aceleradores de endurecimiento**, mal llamados aceleradores de fragüe, permiten la habilitación rápida de las estructuras, al posibilitar el retiro anticipado de los encofrados y reducir también el tiempo de curado. Estos aditivos son de uso ideal en climas fríos porque compensan el efecto retardador de las bajas temperaturas.

Los **retardadores de fraguado**, permiten traslados prolongados del hormigón fresco, brindando mayor tiempo para la compactación y adaptación a las deformaciones de los encofrados.

Tanto los aceleradores como los retardadores pueden ser fluidificantes, mejorando de este modo la resistencia final.

Los **incorporadores de aire**, mejoran el comportamiento del hormigón ante las heladas. Las burbujas micronésimas lubrican la mezcla fresca mejorando la trabajabilidad y reduciendo la segregación. Usando estos aditivos puede reducirse la cantidad de agua y, por lo tanto, se disminuye la contracción por secado. Las burbujas interceptan los conductos capilares, reduciendo la absorción capilar, aumentando de este modo la impermeabilidad y la durabilidad del hormigón.

### 3.7 PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS

Es importante el **control de la calidad** durante el proceso de preparación y elaboración del hormigón a fin de obtener una mezcla lo más **homogénea** posible.

**Acopio de Materiales:** Tanto el agregado grueso como el fino deben estacionarse en pilas de baja altura de manera de evitar la segregación que produce la gravedad al provocar que los granos más pesados tiendan a irse al fondo de la pila, con lo que se desvirtúa la granulometría del agregado. Debe tenerse la precaución de ir retirando material de la parte del **tercio medio** de la pila, por idénticas razones.

Es importante verificar, en el momento de elaborar la mezcla, el estado de humedad de los agregados a fin de corregir la dosificación, disminuyendo la cantidad de agua de mezclado en igual proporción que la que se les hubiera incorporado.

**Transporte:** Debe evitarse la segregación de la mezcla en el trayecto desde el lugar de su elaboración hasta el de su colocación en los moldes. Debe evitarse, también, la evaporación de manera que ésta resulte la mínima como medio de prevenir el comienzo del fragüe.

**Dosificación:** Es importante controlar que se cumpla la dosificación especificada y, en caso de ser necesario, corregir las desviaciones encontradas para que el hormigón resultante responda a lo previsto en los cálculos del dimensionado,

**Mezclado:** El tiempo de batido debe mantenerse por un mínimo de 60 segundos a fin de lograr que la pasta cementicia recubra perfectamente todos los agregados y no exceder los 90 segundos, aproximadamente, a fin de evitar la segregación por centrifugado.

**Colocación en los moldes:** Es conveniente cuidar que, en la colocación de la colada en los encofrados, no se superen alturas de más de metro y medio de caída libre a los efectos de evitar la segregación de los materiales por gravedad. En el caso particular del llenado de encofrados para columnas, es conveniente prever en ellos un hueco a media altura para su correcto llenado.

**Compactación:** La compactación, tanto sea manual a través del uso de varillas de acero como mecánica por intermedio de vibradores, debe realizarse evitando tocar las armaduras y los encofrados y ***siempre*** en el período en que el hormigón se encuentra en estado de mezcla fresca antes de dar comienzo al fragüe pues, en este último caso, podrían destruirse las propiedades ligantes del material.

**Curado:** El curado del hormigón debe hacerse protegiendo las estructuras en su superficie por intermedio de bolsas húmedas, polietileno, paja, tierra húmeda, etc. El ***tiempo de curado*** no debe ser inferior a siete días en climas templados, incrementándose en un 50 % más en climas fríos o secos. También puede emplearse el método de regado de los encofrados, a fin de mantenerlos húmedos, en los elementos estructurales lineales.

### 3.8 HORMIGONES ESPECIALES

**Hormigones Livianos:** Son aquéllos en los que se emplean agregados de bajo peso específico, tales como granulado volcánico, perlita, poliestireno expandido, aserrín, etc. Estos hormigones livianos tienen propiedades aislantes, tanto térmicas como acústicas aunque, en general, son de menor resistencia que los hormigones de peso normal.

**Hormigones pesados:** Son aquéllos en los que el agregado grueso tiene un alto valor de peso específico, tales como limaduras de hierro. Estos hormigones suelen ser usados como contrapeso o como protección contra radiaciones.

**Hormigón bombeado:** El hormigón bombeado o proyectado es el que se transporta mediante cañerías a presión de aire desde el lugar de su elaboración hasta el de su colocación. En este caso la mezcla debe ser muy trabajable.

**Hormigones sometidos a efectos de congelación y deshielo:** Cuando la temperatura desciende por debajo de los 5°C, las reacciones químicas se paralizan. El hormigón endurecido sometido a los efectos de congelación y deshielo debe proyectarse impermeable. En la elaboración de las mezclas que pueden ser sometidas a estas condiciones extremas durante su colocación, se utilizan cementos de alta resistencia inicial, baja relación agua-cemento (igual o menor que 0,5), agregado de aditivos incorporadores de aire en la mezcla a fin de obtener la trabajabilidad requerida y, de ser necesario, apelar al calentamiento del agua de mezclado y de los agregados hasta temperaturas que pueden alcanzar los 60°C.

El curado de los encofrados, en tiempo frío, debe hacerse con paja seca y suelta sobre bolsas húmedas o poliestireno expandido, protegidos del viento. Si la temperatura es muy baja, se deberá calentar el ambiente con estufas, aislándolo con carpas de plástico o lona. Es menester prolongar el desencofrado de las estructuras tantos días como haya habido temperaturas por debajo de los 5°C.

**Hormigones sometidos a altas temperaturas:** Cuando la temperatura asciende por encima de los 30°C, se produce el secado de la mezcla por evaporación y las reacciones químicas se aceleran. En la elaboración de las mezclas que pueden ser sometidas a estas condiciones extremas durante su colocación, se utilizan cementos de bajo calor de hidratación o bajos contenidos de cemento y retardadores de fragüe y, de ser necesario, apelar al enfriamiento del agua de mezclado agregándole hielo (teniendo la precaución de esperar hasta que éste se derrita antes de mezclar), mantener húmedos los encofrados hasta la colocación del hormigón y regar los agregados para enfriarlos.

**Hormigones sometidos a la agresión de los sulfatos:** Estos hormigones deben proyectarse impermeables, con una baja relación agua-cemento, bajo contenido de agua y el agregado de aditivos incorporadores de aire. No deben utilizarse bajo ningún concepto agregados livianos.

**Hormigones masivos:** Cuando la dimensión lineal mínima de una estructura es del orden de los 60 cm a 90 cm el calor generado por las reacciones químicas no puede disiparse de un modo adecuado. En general, la hidratación del cemento Portland genera una elevación de temperatura del hormigón de 10°C por cada 100 kg/m<sup>3</sup> de cemento del hormigón y posee, en el momento de ser colocado una temperatura de 20°C. Como consecuencia de sus considerables dimensiones en el núcleo del elemento estructural se producirán altas temperaturas, si dicho elemento estructural no permite una adecuada dispersión del calor, existiendo una elevada probabilidad que ese hormigón se fisure.

En la elaboración de las mezclas que pueden ser sometidas a estas condiciones extremas, se utilizan cementos de bajo calor de hidratación o bajos contenidos de cemento y retardadores de fragüe.

**Hormigones con alto contenido de cemento:** Si el contenido de cemento de un hormigón es superior a los 360 kg/m<sup>3</sup> y tiene en el momento de ser colocado una temperatura de 20°C, generando una elevación de temperatura del hormigón de

10°C por cada 100 kg/m<sup>3</sup> de cemento del hormigón, puede esperarse que en el núcleo del elemento estructural la temperatura de dicho hormigón alcance los 55°C, aproximadamente, si dicho elemento estructural no permite una adecuada dispersión del calor, existiendo una elevada probabilidad que ese hormigón se fisure.

En la elaboración de estas mezclas deben utilizarse cementos de bajo calor de hidratación y retardadores de fragüe.

### 3.9 DOSIFICACIÓN DE HORMIGONES DE PESO NORMAL

Siendo el hormigón un **compuesto heterogéneo** formado por materiales de diferentes características, tanto entre sí como entre diferentes partidas de ellos mismos, un método de dosificación solamente brinda una **primera aproximación** para obtener las proporciones de la mezcla deseada y, por lo tanto, dichas proporciones **deberán ser verificadas siempre** con pastones de prueba en el laboratorio y, posteriormente, **reajustadas en la medida en que sea necesario** con los equipos de elaboración en obra para obtener el hormigón de las características requeridas en los cálculos del dimensionamiento de la estructura en la cual será empleado.

Al seleccionar las proporciones de la mezcla de hormigón en forma racional, se debe tener en cuenta que el producto final (hormigón) sea trabajable, durable, resistente y, además, razonablemente económico. En algunos casos especiales, a estas condiciones deben sumárseles otras, tales como una **baja generación de calor** cuando tienen el carácter de masivos o alto contenido de cemento.

**Información previa necesaria para dosificar:** En la medida de lo posible, la selección de las proporciones del hormigón debe estar basada en resultados de **ensayos** o experiencias realizadas con los **mismos materiales** que serán usados en la dosificación.

Si dicha información no se dispone completamente, parte de ella deberá ser reemplazada por estimaciones, obligando a realizar un mayor número de **tanteos** y verificaciones previas sobre el hormigón.

En este sentido, deberá conocerse:

- a) La granulometría de los agregados finos y gruesos.
- b) El peso unitario del agregado seco y compactado.
- c) El peso específico de ambos tipos de agregados secos, peso unitario seco y compactado y su absorción de agua.
- d) Requerimiento de agua de mezclado, para distintos asentamientos, medidos con el tronco de cono, de hormigones preparados con el mismo conjunto de agregados de agregados que los que se utilizarán en la dosificación.
- e) Relaciones entre resistencias a compresión y razón agua/cemento, en peso, para las combinaciones de cemento y agregados

- f) disponibles para dosificar.  
 f) Peso específico del cemento a utilizar. Si se tratase de un cemento Portland sin adiciones, se puede adoptar el valor de 3,15 para dicho parámetro.

**Procedimiento:** Las especificaciones de obra deberían establecer las siguientes condiciones o, al menos, parte de ellas:

- o Máxima razón agua-cemento, en peso.
- o Mínimo contenido de cemento del hormigón.
- o Contenido del aire del hormigón, ya sea normal o intencionalmente incorporado.
- o Asentamiento.
- o Tamaño máximo del agregado
- o Resistencia a compresión.
- o Otros requerimientos relativos a tales aspectos como: aditivos a utilizar, tipos de cemento o agregados especiales, etc.

En la medida que estos parámetros **no** estén especificados, quien realiza el estudio de la dosificación deberá establecerlos, analizando la documentación del proyecto de la obra y los **procedimientos y equipos disponibles** para la elaboración y colocación del hormigón en ella.

La dosificación del hormigón comprenderá los pasos necesarios para determinar las cantidades de materiales a utilizar para preparar **un (1) metro cúbico de hormigón** fresco y compactado.

Estas cantidades de materiales se expresarán en **peso**, pero también pueden transformarse y expresarse en **volúmenes aparentes** de cada uno de los componentes.

La forma de dosificar el hormigón requerido se realizará de acuerdo a los siguientes pasos, utilizando la información establecida o, en su defecto, recurrir a las tablas que brinda el método.

**Paso 1: Elección del asentamiento:** Si el asentamiento no está especificado, puede seleccionarse su valor aproximado de la **Tabla I**.

Deberán utilizarse siempre mezclas lo **menos fluidas posible** que puedan colocarse y compactarse eficientemente con los equipos disponibles en obra.

**TABLA I**  
**ASENTAMIENTOS RECOMENDADOS PARA DISTINTOS TIPOS DE ESTRUCTURAS**

	Asentamiento en centímetros
--	-----------------------------



Tipos de Estructuras				
	Compactación Manual		Vibradores	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
- Bases y muros de fundación armados.	13	5	8	2
- Bases simples, cajones y muros de infraestructura.	10	2	8	2
- Vigas y muros armados.	15	7	10	2
- Columnas de edificios.	15	7	10	2
- Pavimentos y losas.	7	5	8	2

**Paso 2: Elección del tamaño del agregado grueso:** Los agregados gruesos *bien* graduados de *mayor* tamaño máximo, tienen *menos* vacíos entre partículas que los de *menor* tamaño máximo. Por lo tanto, los hormigones con agregados de *mayores* tamaños máximos requieren *menos* volumen de *mortero* por unidad de volumen de hormigón. En general, el tamaño máximo debe ser el mayor económicamente disponible y también debe tener relación con las dimensiones de la estructura.

En ningún caso el tamaño máximo excederá de 1/5 de la menor dimensión entre lados de encofrados, de 1/3 de la profundidad de las losas, ni de 3/4 de la mínima separación entre armaduras. Cuando se necesita un hormigón de alta resistencia, pueden obtenerse mejores resultados con tamaños máximos reducidos debido a que, en estas condiciones, se obtienen mayores resistencias para una razón agua-cemento dada.

Si el tamaño máximo del agregado, no está especificado, puede estimarse con la **Tabla II**.

**Paso 3: Estimación del contenido de agua de mezclado y de aire:** La cantidad de agua por unidad de volumen de hormigón requerida para producir un hormigón con un asentamiento determinado, depende del tamaño máximo del agregado, de la forma de las partículas de los agregados (redondas o lajas) y de su granulometría, y de la cantidad de aire incorporada al hormigón. La cantidad de agua de mezclado no está mayormente afectada por el contenido de cemento del hormigón.

Si no se tiene información previa con el conjunto de materiales utilizados, la demanda de agua de la mezcla puede estimarse, para cada asentamiento, con la **Tabla III**, para hormigones hechos con varios tamaños máximos de agregados, con y sin aire intencionalmente incorporado.

**TABLA II**

**TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO, RECOMENDADO PARA DISTINTOS TIPOS DE ESTRUCTURAS.**

Tipos de estructuras	Tamaño máximo del agregado, en mm.			
	Dimensión mínima de la sección, en cm.			
	6 a 13	15 a 28	30 a 74	76 o más
- Muros, vigas, columnas armadas.	<b>13 a 19</b>	<b>19 a 38</b>	<b>38 a 75</b>	<b>38 a 75</b>
- Muros sin armar.	<b>19</b>	<b>38</b>	<b>75</b>	<b>150</b>
- Losas muy armadas.	<b>19 a 25</b>	<b>38</b>	<b>38 a 75</b>	<b>38 a 75</b>
- Losas sin armar o poco armadas.	<b>19 a 38</b>	<b>38 a 75</b>	<b>75</b>	<b>75 a 150</b>

La cantidad de agua requerida puede ser algo mayor o menor que los valores tabulados, dependiendo de la granulometría, textura y forma de los agregados, pero son suficientemente aproximados para una primera estimación.

La tabla indica la cantidad aproximada de aire atrapado que puede esperarse en los hormigones sin aire intencionalmente incorporado y el promedio recomendado del contenido de aire para hormigones con aire intencionalmente incorporado, todo para distintos tamaños máximos de agregado grueso.

En caso de no estar debidamente especificado por el proyectista, si se desea o si se necesita aire intencionalmente incorporado en el hormigón, se dan en la tabla tres niveles para cada tamaño máximo, dependientes del propósito que se busque con la incorporación intencional de aire y también de la severidad a la que estará expuesta la estructura, en caso que el aire incorporado se necesite por razones de durabilidad.

**Paso 4: Elección de la razón agua-cemento:** La razón agua-cemento requerida debe determinarse no solamente por exigencias de resistencia, sino también por su durabilidad y, además, teniendo en cuenta las propiedades necesarias para una adecuada terminación del hormigón. Cuando existan condiciones extremas de exposición del hormigón, la razón agua-cemento será mantenida tan baja como sea necesario, aún cuando los requerimientos de resistencia puedan ser satisfechos con una razón agua-cemento superior. En estos casos **predominará la condición de durabilidad** sobre la de resistencia. A estos efectos, la **Tabla IV** da las razones agua-cemento máximas admisibles para el hormigón sometido a condiciones extremas de exposición.

Si no se dispone de curvas que relacionen la relación agua-cemento en peso con la resistencia de hormigones elaborados con el conjunto de materiales a utilizar, pueden tomarse de la **Tabla V**, correspondientes a ensayos a la compresión a la edad de 28 días, sobre probetas curadas en condiciones

**normalizadas** en laboratorio. La resistencia promedio a la compresión de la dosificación debe exceder la resistencia especificada en un margen suficiente como para tener en cuenta las variaciones inevitables de la resistencia, que se producirán en una obra durante el proceso constructivo de su estructura.

**TABLA III**

**CONTENIDO UNITARIO APROXIMADO DE AGUA PARA DISTINTOS ASENTAMIENTOS Y TAMAÑOS MÁXIMOS DEL AGREGADO GRUESO.**

Asentamientos (cm)	Contenido unitario de agua (l/m <sup>3</sup> de H <sup>o</sup> ) para los tamaños							
	10 mm	13 mm	19 mm	25 mm	38 mm	50 mm	75 mm	150 mm
<b>HORMIGÓN NORMAL</b>								
2 A 5	208	198	183	178	163	153	144	124
7 A 10	228	218	203	193	178	168	158	139
15 A 18	243	228	213	203	188	178	168	149
% de aire incorporado naturalmente	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,3	0,2
<b>HORMIGÓN CON AIRE INTENCIONALMENTE INCORPORADO</b>								
2 A 5	183	178	163	153	144	134	124	109
7 A 10	203	193	178	168	158	149	139	119
15 A 18	213	203	188	178	168	158	149	129
% de aire incorporado artificialmente	8,0	7,0	6,0	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0

En general, el margen de diferencia entre la resistencia especificada (resistencia característica, por ejemplo) y la resistencia promedio de dosificación, está dado en función de la desviación normal  $\underline{s}$  y en función del control de la calidad.

**Paso 5: Cálculo del contenido de cemento:** La cantidad de cemento por unidad de volumen de hormigón se determinará en función de los **pasos 3 y 4 anteriores**. Dicha cantidad de cemento será igual a la cantidad estimada, en peso, del agua de mezclado, dividida por la razón agua-cemento, en peso. No obstante, si el proyecto incluye una cláusula de mínimo contenido de cemento, además de requisitos por durabilidad y resistencia, la mezcla debe basarse en aquel criterio que conduzca a utilizar el **mayor** contenido de cemento.

**TABLA IV: RELACIONES AGUA-CEMENTO (MEDIDAS EN PESO), PARA DISTINTOS TIPOS DE ESTRUCTURAS Y CONDICIONES DE EXPOSICIÓN.**

	CONDICIONES DE EXPOSICIÓN (1)					
	Clima riguroso con grandes cambios de temperatura o frecuente alternancia de congelación y deshielo <b>(emplear únicamente hormigón con aire incorporado)</b>			Clima templado, lluvioso o árido. Sólo por excepción temperatura bajo cero grado centígrado		
	Al aire	A la altura del pelo de agua o dentro de la zona de fluctuación del nivel del agua o riego		Al aire	A la altura del pelo de agua o dentro de la zona de fluctuación del nivel del agua o riego	
		En agua dulce	En agua de mar o en contacto con sulfatos (2)		En agua dulce	En agua de mar o en contacto con sulfatos (2)
Secciones delgadas, como barandas, cordones, losetas, pilotes y columnas de hormigón armado, caños y toda sección de hormigón en la que el recubrimiento de las armaduras sea menos de 2,5 cm.	0,49	0,44	0,4 (3)	0,53	0,49	0,4 (3)
Secciones cuadradas, como muros de sostén, contrafuertes, estribos, pilares y vigas.	0,53	0,49	0,44 (3)	(4)	0,53	0,44 (3)
Porciones exteriores de secciones pesadas (hormigón en masa)	0,58	0,49	0,44 (3)	(4)	0,53	0,44 (3)
Hormigón depositado bajo agua, mediante tolva y tubería.	--	0,44	0,44	--	0,44	0,44
Losas de hormigón colocado sobre el suelo	0,53	--	--	(4)	--	--
Hormigón no sometido a la intemperie, como en el interior de los edificios o bajo el suelo.	(4)	--	--	(4)	--	--
Hormigón que finalmente será protegido por un corsé o relleno, pero que puede estar sometido a los efectos de deshielo y congelación durante varios años antes de tener dicha protección.	0,53	--	--	(4)	--	--

(1) Debe emplearse hormigón con aire incorporado en todos los casos en que la estructura se encuentre sometida a la acción de clima riguroso y puede ser empleado en clima templado con el objeto de mejorar la trabajabilidad de la mezcla.

(2) Suelos o aguas que contengan concentraciones de sulfatos mayores del 0,25.

(3) Cuando se emplean cementos resistentes a la acción de los sulfatos, la razón agua-cemento puede ser aumentada en 0,04.

(4) La razón agua-cemento debe ser elegida en base a los requisitos exigidos de trabajabilidad.

**Paso 6: Estimación del contenido de agregado grueso:** Se verifica que la trabajabilidad del hormigón fresco se da también en función del volumen aparente del agregado grueso seco y compactado por unidad de volumen del hormigón.

Experimentalmente se aprecia que, para igual trabajabilidad, el volumen necesario de agregado grueso por unidad de volumen de hormigón depende solamente del tamaño máximo de aquél y del modulo de finura del agregado fino.

Las diferencias en la cantidad de mortero requerido por razones de trabajabilidad con los diferentes agregados, debido a diferencia de forma y textura de partícula y granulometría están compensadas automáticamente por el contenido de vacíos del agregado seco y compactado.

Es decir, un agregado grueso de granulometría más deficiente, partículas muy rugosas y con tendencia a lajosas, conducirán a obtener un **menor** peso unitario de dicho agregado seco y compactado, lo cual está reflejando una mayor cantidad de vacíos entre partículas del agregado grueso y consecuentemente una **mayor** demanda de mortero para lograr igual trabajabilidad. De esta manera puede estimarse la cantidad necesaria de agregado grueso por unidad de volumen de hormigón y consecuentemente de agregado fino, recurriendo a la **Tabla VI**.

Si se quiere un hormigón más trabajable, por ejemplo cuando el mismo debe ser bombeado o colocado en sectores con alta densidad de armaduras, el método establece que el contenido de agregado grueso estimado según esa tabla, puede reducirse hasta un 10%.

Estas resistencias medias corresponden a hormigones cuyos porcentajes de aire natural y/o intencionalmente incorporado, se indican en la **Tabla III**. Para una razón agua-cemento constante, la resistencia se reduce a medida que el porcentaje de aire aumenta. Para contenidos de aire mayores que los que se indican en **Tabla III** las resistencias serán proporcionalmente menores que las que se indican en esta **Tabla**.

**TABLA V: RESISTENCIAS DE ROTURA A COMPRESIÓN, PARA DISTINTAS RAZONES AGUA-CEMENTO.**

Razón agua-cemento (en peso)	Resistencia probable a compresión (kg/cm <sup>2</sup> ), a la edad de 28 días	
	Hormigón normal	Hormigón con aire incorporado
0,36	422	348
0,44	352	282
0,53	282	225
0,62	225	180
0,71	176	141
0,80	141	113

Las probetas que determinaron las resistencias de esta **Tabla** son las probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, curadas en cámara húmeda en condiciones normalizadas, durante 28 días.

**Tabla VI: VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE HORMIGÓN.**

Tamaño máximo del agregado grueso	Volumen de agregado grueso, seco y compactado por unidad de volumen de hormigón, para distintos módulos de fineza del agregado fino.					
	2,00	2,20	2,40	2,60	2,80	3,00
10 mm	0,50	0,48	0,46	0,44	0,42	0,40
13 mm	0,59	0,57	0,55	0,53	0,51	0,49
19 mm	0,69	0,67	0,65	0,63	0,61	0,59
25 mm	0,74	0,72	0,70	0,68	0,66	0,64
38 mm	0,80	0,78	0,76	0,74	0,72	0,70
50 mm	0,83	0,81	0,79	0,77	0,75	0,73
75 mm	0,88	0,86	0,84	0,82	0,80	0,78

Los volúmenes se refieren a agregados en estado seco y compactado.

Los volúmenes indicados se han tomado de relaciones empíricas que permiten obtener hormigones de un grado de trabajabilidad adecuada para construcciones de hormigón armado del tipo corriente. Para hormigones menos trabajables (pavimentos), los valores pueden ser aumentados un 10 %. Para hormigones más trabajables (bombeados), los valores pueden ser disminuidos hasta en un 10 %.

**Paso 7: Estimación del contenido del agregado fino:** Hasta aquí se han estimado todos los componentes del hormigón excepto el agregado fino. Su cantidad se determina por diferencia entre los volúmenes absolutos desplazados por los demás componentes, inclusive el aire, y la unidad de volumen del hormigón (1 m<sup>3</sup>).

**Paso 8: Ajustes por la humedad de los agregados:** El método establece las proporciones en peso de todos los componentes y en particular de los agregados en estado seco hasta peso constante pero, en la práctica, ellos están húmedos y aún con cierto contenido de humedad superficial. En consecuencia, el peso del agua de mezclado debe ser reducido en la misma cantidad de agua que aportan los agregados, única forma de mantener la razón agua-cemento y las proporciones nominales calculadas para la mezcla.

En general, las proporciones finales nominales de la mezcla se expresan en cantidades en peso para preparar un metro cúbico de hormigón con los agregados saturados y con su superficie seca. Estas proporciones deben corregirse en obra, en cada caso, por la humedad de los agregados.

**Paso 9: Ajustes en pastones de prueba:** La mezcla calculada debe ser verificada en pastones de prueba en laboratorio, con moldeo y ensayo de probetas normalizadas, o en pastones completos con los equipos a utilizar en la misma obra.

En este último caso debe verificarse que el hormigón resultante tenga una adecuada trabajabilidad, sin segregación, y una adecuada terminación. En el primer pastón se agregará agua de mezclado hasta alcanzar el asentamiento requerido, independientemente del agua de mezclado estimada en un principio por la **Tabla III**. De tal modo se obtendrá una primera aproximación de la demanda **real** de agua de mezclado para la mezcla en estudio.

Pon consiguiente, de ser necesario, se realizarán nuevos pastones de prueba, corrigiendo los defectos de los anteriores, hasta obtener una mezcla con las propiedades deseadas.

### 3.10 PROYECTO DE DOSIFICACIÓN DE UN HORMIGÓN NORMAL

Datos: Tipo de estructura: edificio corriente.  
 Menor dimensión de elemento estructural:  $e = 15\text{cm}$ .  
 Forma de colocación: punzonado con varilla y golpeteo de encofrado.  
 Elaboración: control riguroso.  
 Resistencia utilizada en el cálculo: H-17 ( $170\text{ daN/cm}^2$ ).

Materiales a utilizar:

	Cemento Portland Normal	( $p_e = 3,15\text{ daN/dm}^3$ )
1,6)	Arena fina	( $p_{e_{sss}} = 2,64\text{ daN/dm}^3$ ; $M_f =$
3,1)	Arena gruesa	( $p_{e_{sss}} = 2,04\text{ daN/dm}^3$ ; $M_f =$
25 mm	Agregado grueso: canto rodado del río Uruguay:	T. máximo:
daN)		( $p_e = 2,6\text{ daN/dm}^3$ ; $p_{u_{comp}} = 1700$

1) ESTIMACIÓN DEL ASENTAMIENTO ADECUADO:

El asentamiento adecuado para las secciones más solicitadas (vigas y columnas), se busca en la **Tabla I**, primera columna, y se selecciona entre el máximo y el mínimo indicados según el tipo de colocación. En este caso (para compactación manual) columnas tercera y segunda (7 a 15 cm). Dentro de esos límites elegimos un asentamiento. Para este ejemplo adoptamos 10 (con un error de 1 cm).

2) ELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO:

El tamaño máximo recomendado para distintos tipos estructurales se busca también según las secciones más críticas (vigas y columnas), en la **Tabla II**, en función de la dimensión mínima de la sección. En este caso ( $e = 15 \text{ cm}$ ), la tercera columna indica un tamaño máximo entre 19 y 38 mm. Verificamos que el tamaño máximo del agregado disponible (25 mm) se encuentra entre los valores indicados.

### 3) ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO UNITARIO DE AGUA:

El contenido de agua necesario para un asentamiento determinado está en función del tamaño máximo del agregado. Entrando en la **Tabla III**, (para un asentamiento de 7 a 10 cm y un tamaño máximo de 25 mm) primera y quinta columnas, en este caso corresponde un contenido unitario de agua de  $193 \text{ l/m}^3$  de hormigón (para hormigón normal). La tabla también brinda el porcentaje de aire incorporado naturalmente en la mezcla (1,5 % que, para  $1 \text{ m}^3$  de hormigón es:  $0,015 \times 1000 \text{ dm}^3 = 15 \text{ dm}^3$  de aire).

### 4) DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO:

La relación agua/cemento debe ajustarse a las condiciones de exposición a las que estará sometida la estructura y a su propio tipo estructural. En nuestro caso, para secciones moderadas (vigas y columnas), tanto la columna primera de la **Tabla IV**, para hormigón no sometido a la intemperie (como es el interior de edificios o bajo el suelo) o la columna quinta para hormigón al aire, para clima templado, nos indica (4) que la razón agua/cemento debe ser elegida en base a los requisitos exigidos de trabajabilidad y resistencia.

### 5) DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DESEADA:

La resistencia esperada está directamente relacionada con el control de calidad. En nuestro caso, se ha dispuesto que el control será riguroso, lo que implica un coeficiente de variación  $\delta = 0,15$ . Por lo tanto la relación  $\sigma'_{bm}/\sigma'_{bk} = 1,33$ . De donde:

$\sigma'_{bm} = 1,33 \times \sigma'_{bk} = 1,33 \times 170 \text{ daN/cm}^2 = 225 \text{ daN/cm}^2$ , que es la resistencia esperada (resistencia media)

### 6) ELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO EN FUNCIÓN DE LA RESISTENCIA MEDIA:

La **Tabla V** indica las distintas resistencias de rotura a compresión para distintas razones agua/cemento, a los 28 días de edad del hormigón. Entrando por la segunda columna (hormigón normal) buscamos el valor de resistencia media ( $225 \text{ daN/cm}^2$ ) al que le corresponde, en la primera columna, una razón agua/cemento de 0,62 (en peso).

### 7) DETERMINACIÓN DEL MODULO DE FINURA DEL AGREGADO FINO:

En general, el modulo de finura del agregado fino debe estar comprendido entre 2



y 3. Como la arena argentina tiene un módulo de finura menor que 2, no conviene su utilización sola y debe mezclarse con arena gruesa (oriental) para elevar su módulo de finura total. En mezclas con poco contenido de cemento conviene adoptar módulos de finura bajos. En nuestro caso adoptamos el mínimo: 2

8) CALCULO DE LA COMPOSICIÓN DEL AGREGADO FINO:

Para obtener un módulo de finura de valor 2, es necesario mezclar la arena fina y la gruesa en una determinada proporción. Puede utilizarse el método de sistemas de ecuaciones para averiguarlo.

$$Mf_t = mf_1(\text{arena fina}) + mf_2(\text{arena gruesa})(1)$$

$$2 = 1,6x + 3,1y \quad (1)$$

$$1 = x(\% \text{ arena fina}) + y (\% \text{ arena gruesa})(2)$$

$$1 = x + y \quad (2)$$

Despejando  $x$  en (2):

$$x = 1 - y \quad (3)$$

Reemplazando (3) en (1):

$$2 = 1,6(1-y) + 3,1y$$

$$2 = 1,6 - 1,6y + 3,1y$$

$$2 - 1,6 = 3,1y - 1,6y$$

$$0,4 = 1,5y$$

$$y = 0,4/1,5 = 0,27$$

Reemplazando en (3):

$$x = 1 - 0,27 = 0,73$$

Por lo tanto la composición resulta:

73 % de arena fina y 27 % de arena gruesa.

9) DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL AGREGADO GRUESO:

El volumen del agregado grueso se obtiene en función del tamaño máximo del agregado y del módulo de finura adoptado para el agregado fino, en la **Tabla VI**, buscando en la primera columna el tamaño del agregado grueso (25 mm) y el módulo de finura del agregado fino. En nuestro caso, en la segunda columna (2,0), se obtiene un volumen de agregado grueso, por metro cúbico de hormigón, de 0,74. Es decir 74 % de agregado grueso por metro cúbico de hormigón.

10) DETERMINACIÓN DEL PESO Y VOLUMEN DE LOS ELEMENTOS:

agua: (del punto 3):	peso: 193 daN. volumen: 193 dm <sup>3</sup> .
aire: (del punto 3):	peso: - - volumen: 15 dm <sup>3</sup> .
cemento: (del punto 6): a/c = 0,62	

$$c = a/0,62 = 193 \text{ daN}/0,62 = 311 \text{ daN} \quad \text{peso: } 311 \text{ daN.}$$

$$V = P/pe = 311 \text{ daN}/3,15 \text{ daN/dm}^3 = 99 \text{ dm}^3 \quad \text{volumen: } 99 \text{ dm}^3.$$

agregado grueso (del punto 9):

$$P = Pu * V = 1700 \text{ daN} * 0,74 = 1258 \text{ daN} \quad \text{peso: } 1258 \text{ daN.}$$

$$V = P/pe = 1700 \text{ daN}/2,6 \text{ daN/dm}^3 = 484 \text{ dm}^3 \quad \text{volumen: } 484 \text{ dm}^3.$$

arena:

$$V = 1000 \text{ dm}^3 - (193 \text{ dm}^3 + 15 \text{ dm}^3 + 99 \text{ dm}^3 + 484 \text{ dm}^3)$$

$$V = 1000 \text{ dm}^3 - 791 \text{ dm}^3 = 209 \text{ dm}^3$$

arena fina:

$$V = 0,73 * 209 \text{ dm}^3 = 146 \text{ dm}^3 \quad \text{volumen: } 146 \text{ dm}^3.$$

$$P = pe * V = 2,62 \text{ daN/dm}^3 * 146 \text{ dm}^3 = 385 \text{ daN} \quad \text{peso: } 385 \text{ daN.}$$

arena gruesa:

$$V = 0,27 * 209 \text{ dm}^3 = 63 \text{ dm}^3 \quad \text{volumen: } 63 \text{ dm}^3.$$

$$P = pe * V = 2,04 \text{ daN/dm}^3 * 63 \text{ dm}^3 = 129 \text{ daN} \quad \text{peso: } 129 \text{ daN.}$$

11) DOSIFICACIÓN:

elemento	peso (daN)	volumen (dm <sup>3</sup> )
agua	193	193
aire		15
cemento	311	99
canto rodado	1258	484
arena fina	385	146
arena gruesa	129	63

El dosaje en relación al contenido de cemento se obtiene dividiendo las cantidades en peso de cada uno de los elementos por el peso del cemento. Así:

$$\text{agregado fino: } (385 \text{ daN} + 129 \text{ daN})/311 \text{ daN} = 1,65$$

$$\text{agregado grueso: } 1258 \text{ daN}/311 \text{ daN} = 4,04$$

El dosaje obtenido para nuestro ensayo es: 1:1,65:4 que podemos aproximarlo a: **1:2:4**.

Si el pastón se desea por bolsa de cemento, deben relacionarse las cantidades con el peso de la bolsa de cemento (50 daN).

agua: $0,62 * 50 \text{ daN} = 31 \text{ daN}$ equivalentes a 31 l.	31 l.
cemento:	50 daN.
canto rodado: $4,04 * 50 \text{ daN} = 202 \text{ daN}$	202 daN.
arena fina: $385 \text{ daN} * 50 \text{ daN}/311 \text{ daN} = 62 \text{ daN}$	62 daN.
arena gruesa: $129 \text{ daN} * 50 \text{ daN}/311 \text{ daN} = 21 \text{ daN}$	21 daN.

Siempre se debe hacer una verificación de la dosificación proyectada, porque los

materiales suelen contener cierta humedad que modifica el asentamiento. Se hace un pastón de prueba de 30 l de capacidad. Si el asentamiento difiere del esperado, la dosificación se ajusta mediante el agregado fino, calculando que por cada 2 cm de asentamiento (en más o en menos), corresponde agregar o quitar un 10% de arena. Por medio de una simple regla de tres, se lleva este ajuste a las proporciones de un metro cúbico de hormigón.

Considerando que los agregados del proyecto de dosificación se han supuesto secos, cualquier modificación de la humedad, verificable mediante su pesaje, puede corregirse disminuyendo el mismo peso del contenido de agua de la mezcla.

Se puede obtener el resultado impreso del mismo ejemplo de dosificación de un hormigón normal, mediante la utilización del programa de computación **"DOSIFIC"**, realizado por el Arq. Mario Carrillo.

La hoja impresa describe cada una de las variables tenidas en cuenta para el proceso del cálculo como, asimismo, las características de los materiales empleados.

## ANEXOS

### 3.11 CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES ÁRIDOS A EMPLEAR EN EL PROYECTO DE UNA DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN.

En razón de que no siempre son conocidas las características de los materiales áridos a emplear en una dosificación resulta práctico conocer algunos métodos sencillos de ensayos de los áridos que pueden hacerse con elementos simples tales como una balanza y tamices que pueden fabricarse en forma casera.

Datos necesarios:

- Peso específico o densidad relativa.
- Peso unitario suelto compactado.
- Porcentaje de vacíos por unidad de volumen.
- Grado de humedad.
- Módulo de finura.

#### PESO ESPECÍFICO O DENSIDAD RELATIVA:

Colocando una cierta cantidad de árido en un cesto de alambre de malla tal que no permita el paso de las partículas y de peso y volumen conocidos, la diferencia entre el peso total del canasto con el árido y el peso del canasto vacío será el **peso del árido**.

Sumergiendo completamente el canasto con el árido en otro recipiente con agua previamente pesado, la diferencia entre el peso del conjunto y el peso del recipiente con agua será equivalente al volumen del canasto (conocido) más el volumen del árido. La diferencia entre este valor y el volumen del canasto será el **volumen del árido**.

El cociente entre el peso y el volumen del árido será su **peso específico o densidad relativa**.

#### PESO UNITARIO:

Colocando una cierta cantidad de árido grueso en un recipiente de peso y volumen conocidos hasta llenarlo completamente al ras, la diferencia entre el peso total y el peso del recipiente será el **peso del material suelto**. El cociente entre ese peso y el volumen del recipiente es el **peso unitario suelto**.

Compactando y llenando al ras el recipiente, sucesivamente hasta completarlo, la diferencia entre el peso total y el peso del recipiente será el **peso del material suelto compactado**. El cociente entre ese peso y el volumen del recipiente es el **peso unitario suelto compactado**, dato necesario para la dosificación de hormigones.

### **PORCENTAJE DE VACÍOS:**

Agregando agua al recipiente con el árido compactado, la diferencia entre el peso total y el peso sin agua es equivalente al agua agregada, en volumen. El cociente entre ese volumen y el volumen del recipiente es el **valor porcentual de vacíos** del agregado grueso.

A este valor se llega también si se conoce la densidad relativa del árido y su peso unitario suelto compactado en estado seco. El porcentaje de vacíos del agregado grueso es el cociente de la diferencia entre el peso específico y el peso unitario del árido y su peso específico.

### **GRADO DE HUMEDAD:**

Pesando el material seco y la misma cantidad de material húmedo, haciendo el cociente entre éste y el primero, menos la unidad, se obtiene el **grado de humedad porcentual** del agregado.

### **GRADO DE ESPONJAMIENTO:**

Conocido el grado de humedad del agregado es posible obtener los pesos unitarios compactados seco y húmedo del árido y los pesos del agregado seco y húmedo. Haciendo el cociente entre los pesos y los pesos unitarios, secos y húmedos, respectivamente, se obtienen los volúmenes, secos y húmedos, del árido. El **grado de esponjamiento** del agregado es el cociente entre el volumen húmedo y el volumen seco, menos la unidad.

El esponjamiento se produce únicamente en arena humedecida. En arena inundada el volumen es el inicial.

### **GRANULOMETRÍA DE LOS ÁRIDOS:**

Es importante que los áridos estén bien graduados en sus tamaños para llenar completamente los vacíos y economizar pasta, logrando menor costo a igual resistencia final.

Las granulometrías se especifican de modo tal que cumplan ciertos límites. Uno de ellos es la **curva de cribado**.

La clasificación de las partículas del material granular, de acuerdo a los grupos de tamaños que lo constituyen, se hace con tamices (mallas de aberturas cuadradas) de acuerdo a normas especificadas por el INSTITUTO ARGENTINO DE RACIONALIZACIÓN DE MATERIALES (I.R.A.M.), para cada grupo de tamaños de agregado grueso.

Las aberturas de malla utilizadas para la determinación del Módulo de Finura son las siguientes:

agregado grueso:

pulgadas	milímetros
6	150
3	75
1□	37,5 (38)
3/4	18,75 (19)
3/8	8,5 (9)

agregado fino:

n°	milímetros
4	4,75
8	2,36
16	1,18
30	600 μ
50	300 μ
100	150 μ

El resultado se expresa como: 1) porcentaje (%) que pasa el tamiz.

2) porcentaje (%) retenido sobre el tamiz.

El **módulo de finura** de un agregado es la suma de los porcentajes retenidos, acumulados, en la serie de tamices, dividido por cien.

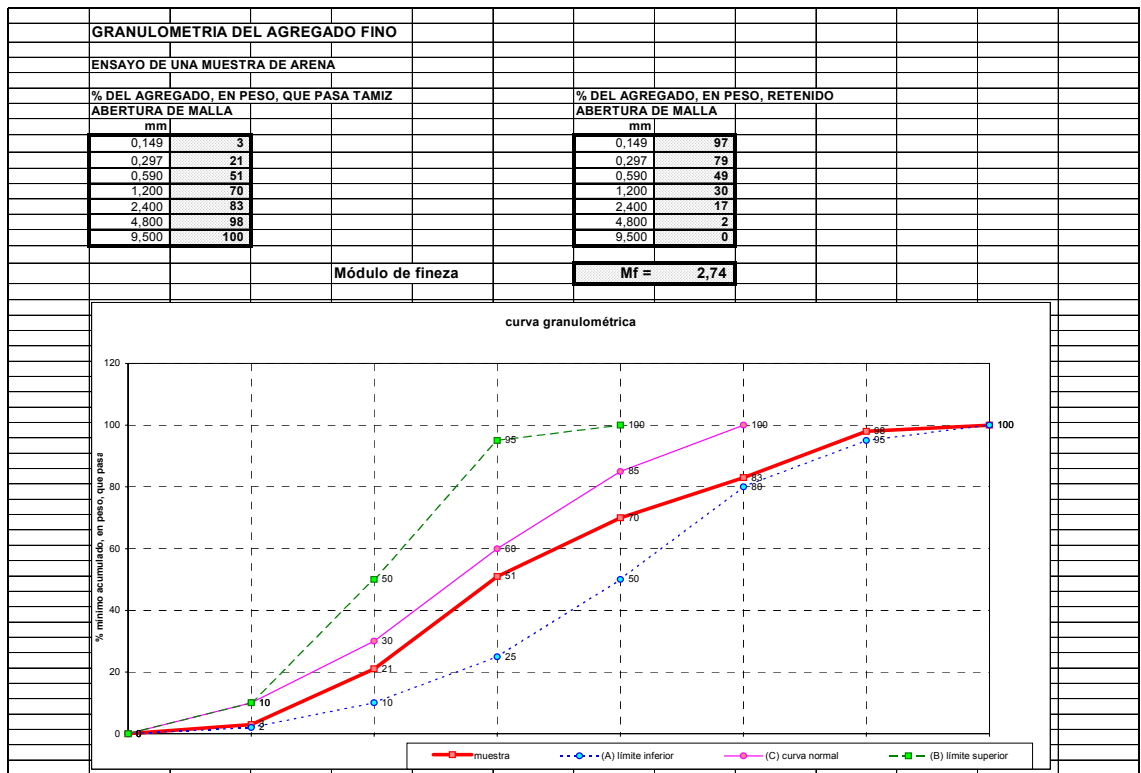
Se ilustra, a continuación, el control de calidad realizado sobre una muestra de agregado de agregado fino, representada en el gráfico en trazo grueso, para la curva de cribado establecida por las norma I.R.A.M. correspondiente.

Se miden los porcentajes, en peso, que pasan por los tamices, a partir de una muestra de peso conocido, y cada uno de estos porcentajes se resta de la unidad para obtener el porcentaje retenido en cada tamiz. En el ejemplo, la totalidad de la muestra pasa por el tamiz de abertura de malla= 9,5 mm (100%) con lo cual se obtiene en la columna siguiente, el valor de 0%, que indica lo que queda retenido.

Además de obtenerse el Módulo de Finura, la posición de la curva debe verificar que no sobrepase los límites superior o inferior indicados en el gráfico para ser

considerada una muestra de árido de granulometría adecuada. De no cumplir este requisito, la granulometría del árido debe corregirse.

El gráfico del ejemplo se ha obtenido del archivo “Granulometría de los áridos”, preparado por el Arq. Mario Carrillo y realizado en formato de planilla de cálculo EXCEL.



### 3.12 CONTROL DE CALIDAD DEL HORMIGÓN

#### DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA CARACTERÍSTICA

Un método generalizado para verificar la calidad del hormigón elaborado, tanto sea el preparado en obra como el que llega prefabricado desde una planta, es el ensayo por rotura a la compresión de probetas cilíndricas llenadas con la mezcla fresca, mantenidas y curadas en condiciones normalizadas durante el período de endurecimiento.

Estas muestras representativas del hormigón con el que se está ejecutando la estructura, extraídas de acuerdo a una cierta periodicidad brindarán resultados más cercanos a la realidad cuanto más numerosas sean.

Siendo el hormigón un material no homogéneo y teniendo en cuenta el hecho real de que, en una misma estructura, pueden variar las características físicas de los materiales (humedad, granulometría), los tiempos de mezclado y de transporte del material hasta su colado, los resultados obtenidos en los valores individuales de ensayos de rotura pueden diferir, entre sí y entre valores mínimos y máximos, en una magnitud que no puede establecerse de antemano.

Por estas razones, se utiliza el método estadístico para determinar, en base a las muestras obtenidas (población) un valor de resistencia denominado **resistencia característica**, que es el valor **probablemente** superado por el 95 % de los ensayos. Es decir que en solamente el 5 % de los ensayos los valores obtenidos resultan **probablemente** inferiores a aquél.

Considerando que solamente en algunos puntos una estructura es solicitada al máximo a la compresión (zonas centrales superiores de vigas, etc.), que puede considerarse despreciable la probabilidad de que las mezclas menos resistentes queden ubicadas en esos lugares y que los valores admisibles de trabajo están minorados respecto de los de rotura por el coeficiente de seguridad, el riesgo calculado al utilizar ese valor del 5 % resulta aceptable.

Para que el método probabilístico resulte confiable es necesario que el número de ensayos no sea menor a 30 (un ensayo es el promedio de no menos de dos probetas).

#### RESULTADO DE LAS OBSERVACIONES:

Las observaciones pueden representarse gráficamente según un sistema de ejes cartesianos en el que sobre las abscisas se indican las resistencias obtenidas (según un intervalo prefijado) y en las ordenadas se indican las cantidades porcentuales respecto del total que rompen en cada uno de dichos intervalos. Este gráfico recibe el nombre de **Histograma**.

En un campo ideal de grandes cantidades de observaciones, los extremos



de las ordenadas trazadas en el gráfico precedente tienden a ubicarse siguiendo el trazado de una curva simétrica que alcanza un máximo en coincidencia del valor promedio y corresponde a la **Campana de Gauss para distribución normal**.

El área limitada por la curva y el eje de las abscisas representa, en escala, la totalidad del universo en estudio. Siendo la curva simétrica, el valor promedio divide al universo en dos mitades iguales (50 % superior al promedio y 50 % inferior).

El valor promedio es la **resistencia media o promedio**.

La curva presenta un punto de inflexión a ambos lados que se encuentran a una distancia "**s**" (medida en la escala de las abscisas) denominada **desviación normal o standard**. Ese valor se calcula mediante una fórmula matemática.

Las áreas limitadas entre distancias múltiplos de "**s**" a ambos lados del valor promedio, corresponden a los siguientes porcentuales del universo:

<b>z</b>	<b>Área (%)</b>
1 s	68,26
1,65 s	90,10
2,0 s	95,44
3,0 s	99,74

De la tabla anterior, el valor **z = 1,65 s** determina un área que abarca el 90,10 % del universo, quedando por fuera, en cada extremo un área del 5 %, aproximadamente, del total.

Es decir que, a partir de ese límite, a la izquierda, el 5% de los valores son inferiores. Por lo tanto, a la derecha de él, el 95 % de los valores son superiores.

Este valor es denominado **Resistencia característica** y es el valor de comparación que debe tomarse en relación al valor adoptado en el cálculo.

El cociente entre la desviación normal o standard y la resistencia promedio es el **coeficiente de variación ( $\delta$ )**.

Este coeficiente caracteriza el muestreo indicando la mayor o menor dispersión de los ensayos en relación al valor de resistencia promedio.

A iguales valores de resistencia media un coeficiente de variación menor revela un hormigón de mejor calidad. A iguales valores de variación una resistencia media mayor indica un mejor hormigón.

Como la resistencia característica es como mínimo la resistencia adoptada en el cálculo, y depende de la resistencia media y del coeficiente de variación, cuanto menores sean los valores de este último, menores serán los valores de

resistencia media que será necesario alcanzar.

**CALCULO MATEMÁTICO DE LA RESISTENCIA CARACTERÍSTICA:**

Resistencia a la compresión promedio ( $\sigma'_{bm}$ ):

$$\sigma'_{bm} = \frac{\sum \sigma'_{bi} \text{ (suma de los valores individuales de ensayos)}}{n \text{ (número de ensayos realizados)}}$$

Desviación normal o standard (s):

$$s = \sqrt{\frac{(\sigma'_{bi} - \sigma'_{bm})^2}{n}}$$

Resistencia característica ( $\sigma'_{bk}$ ):

$$\sigma'_{bk} = \sigma'_{bm} - z.s$$

Coefficiente de variación ( $\delta$ ):

$$\delta = \frac{s}{\sigma'_{bm}}$$

De donde:

$$s = \delta.\sigma'_{bm} \text{ y:}$$

$$\sigma'_{bk} = \sigma'_{bm} - z.s = \sigma'_{bm} - z.\delta.\sigma'_{bm} = \sigma'_{bm} (1 - 1,65 \delta)$$

Relaciones entre la resistencia media y la característica:

$$\frac{\sigma'_{bm}}{\sigma'_{bk}} = \frac{1}{1 - 1,65 \delta}$$

Según las condiciones de elaboración del hormigón en obra y el grado de control que se emplee en la medición de los materiales, la consistencia, la periodicidad de los moldes de probetas y el tipo de supervisión, se han establecido tres categorías:

I Control riguroso	$\delta = 0,15$	$\sigma'_{bm}/\sigma'_{bk} = 1,33$
II Control razonable	$\delta = 0,215$	$\sigma'_{bm}/\sigma'_{bk} = 1,55$
III Control pobre	$\delta = 0,278$	$\sigma'_{bm}/\sigma'_{bk} = 1,85$

**EJEMPLO DE MUESTREO ESTADÍSTICO:**

A continuación se ha desarrollado un ejemplo de ensayo de calidad de un hormigón en base a 32 observaciones, promedio de dos probetas cada una, obtenidas de pastones no consecutivos.

Se han calculado los valores de Resistencia media ( $\sigma'_{bm}$ ), Resistencia característica ( $\sigma'_{bk}$ ), Desviación normal (s) y Coeficiente de variación ( $\delta$ ).

CALCULO DE LA RESISTENCIA MEDIA, CARACTERISTICA Y DESVIACION STANDARD				
ENSAYO	BCi	n	BCm - BCi	(BCm-BCi) <sup>2</sup>
1	170	1	18,84375	355,086914
2	172	1	16,84375	283,711914
3	180	1	8,84375	78,2119141
4	193	1	-4,15625	17,2744141
5	168	1	20,84375	434,461914
6	205	1	-16,15625	261,024414
7	196	1	-7,15625	51,2119141
8	190	1	-1,15625	1,33691406
9	191	1	-2,15625	4,64941406
10	200	1	-11,15625	124,461914
11	168	1	20,84375	434,461914
12	160	1	28,84375	831,961914
13	167	1	21,84375	477,149414
14	165	1	23,84375	568,524414
15	172	1	16,84375	283,711914
16	170	1	18,84375	355,086914
17	171	1	17,84375	318,399414
18	178	1	10,84375	117,586914
19	180	1	8,84375	78,2119141
20	181	1	7,84375	61,5244141
21	174	1	14,84375	220,336914
22	210	1	-21,15625	447,586914
23	215	1	-26,15625	684,149414
24	205	1	-16,15625	261,024414
25	220	1	-31,15625	970,711914
26	200	1	-11,15625	124,461914
27	208	1	-19,15625	366,961914
28	210	1	-21,15625	447,586914
29	240	1	-51,15625	2616,96191
30	240	1	-51,15625	2616,96191
31	171	1	17,84375	318,399414
32	173	1	15,84375	251,024414
$\Sigma =$	<b>6043</b>	<b>32</b>		<b>14464,2188</b>

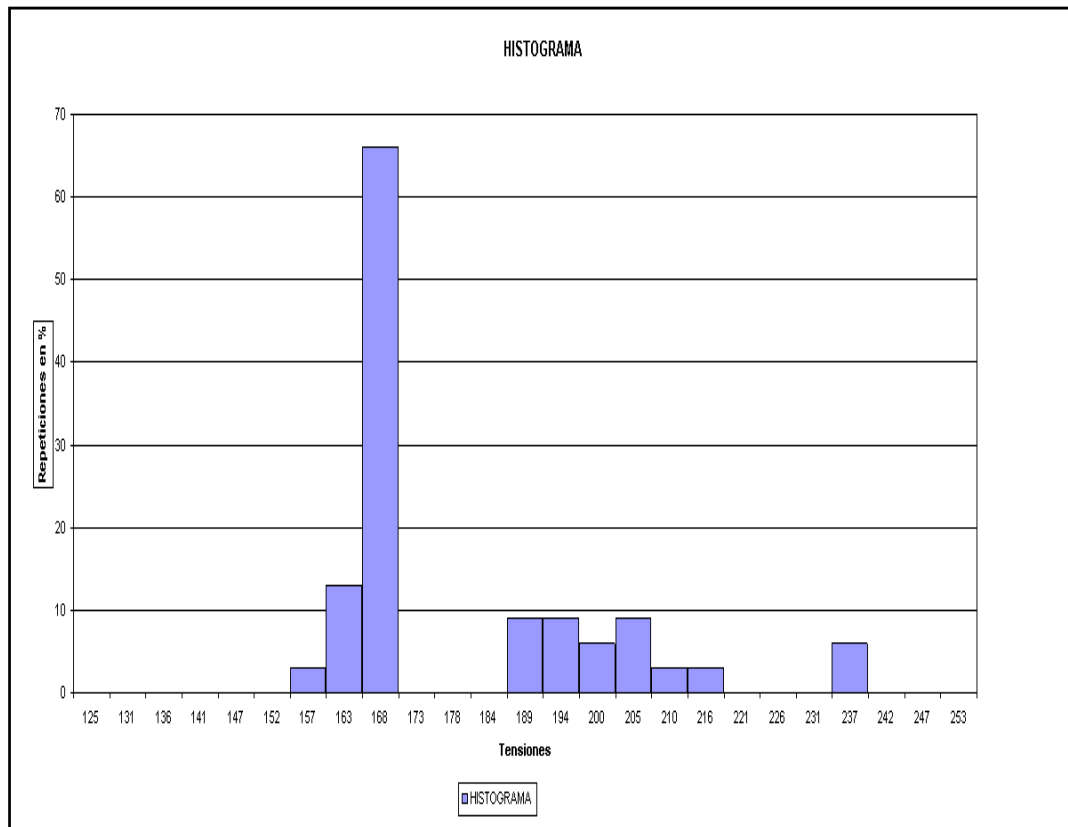
  

$\sigma'_{bm} =$	<b>188,844</b>	$n =$	<b>32</b>	$s =$	<b>21,2605</b>
$\sigma'_{bk} =$	<b>153,764</b>	$k =$	<b>1,65</b>	$\delta =$	<b>0,11258</b>

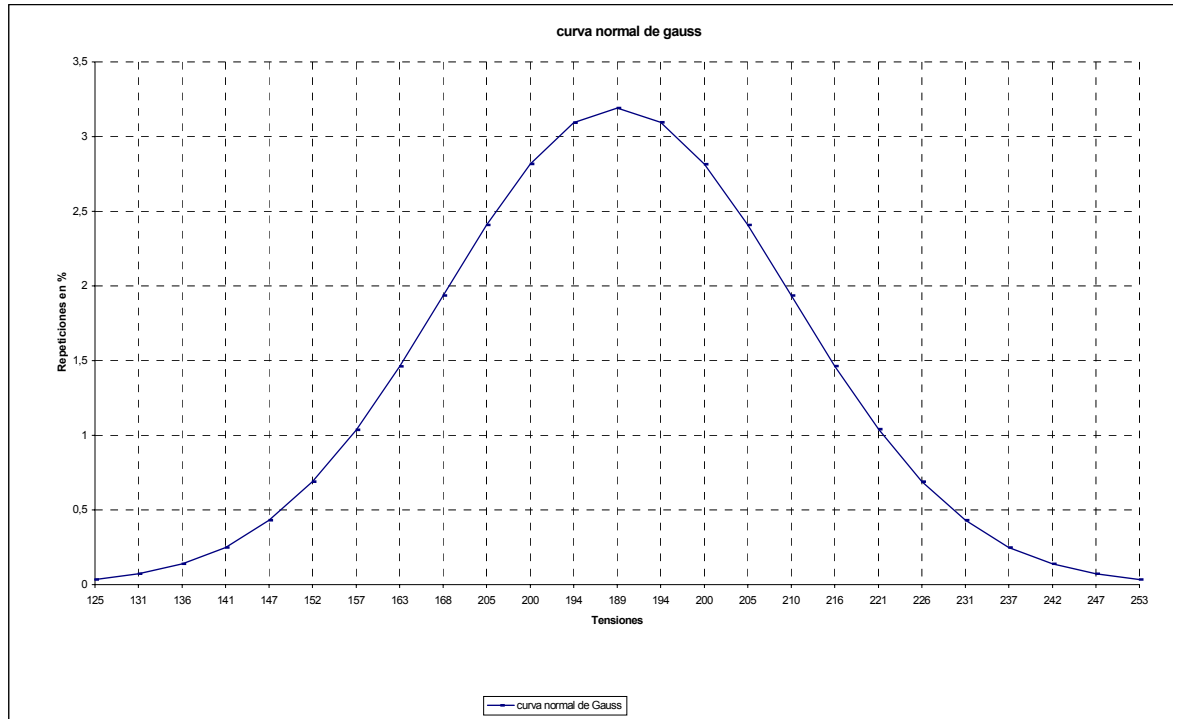
El gráfico del histograma y el de la curva de Gauss se han realizado tomando como primer valor significativo al valor de la resistencia correspondiente a la distancia 3.s descontada desde el valor de la resistencia promedio. Del mismo modo el último valor significativo es el valor de la resistencia correspondiente a la distancia 3.s a partir desde el valor de la resistencia promedio. De esta manera queda abarcada dentro de la curva el 99,74 % de los probables resultados de los ensayos, o sea la casi totalidad del universo.

El intervalo de resistencias utilizado en las abscisas de los gráficos es el resultado del cociente entre 3.s y 12. Con esta relación se han obtenido los valores de las ordenadas de la curva de Gauss, para cada uno de dichos puntos de la abscisa, según la tabla de Fisher usada en este método estadístico.

### HISTOGRAMA



**CURVA DE GAUSS**



## ARCHIVOS DE TECNOLOGÍA DEL HORMIGÓN

### INSTRUCCIONES PARA UTILIZARLOS

#### 1) DOSIFICACIÓN DE HORMIGONES:

##### Instalación en el disco rígido:

Colocar el diskette en la unidad correspondiente  
Abrir el Explorador de Windows  
Marcar los archivos apretando simultáneamente “ Shift “  
Sin soltar el mouse, arrastrar los archivos a la carpeta deseada.

Nota: Si se desea colocarlos en una carpeta especial, primero crear esa carpeta (Ej.: Hormigón)  
Es conveniente crear un acceso directo en el escritorio, para lo cual se pueden aprovechar los íconos correspondientes a cada programa.

##### Arranque del programa:

##### Desde el diskette:

Desde el escritorio, apretar Inicio, y a continuación Ejecutar, buscando con Examinar el archivo correspondiente en el diskette.

##### Desde el disco rígido:

Desde el escritorio, apretar Inicio, y a continuación Ejecutar, buscando con Examinar el archivo correspondiente en la carpeta Hormigón. O, si se creó el acceso directo, desde allí.

El manejo del programa es sencillo. La pantalla indica lo que se debe responder. Luego de ingresar la opción que se pide, presionar la tecla [Enter] para aceptar. El programa puede emitir una hoja impresa con las características del proyecto de dosificación y el dosaje. Para abandonar el programa durante su ejecución presionar juntas [Ctrl] + [C].

#### 2) RESISTENCIA CARACTERÍSTICA:

Tanto el archivo de RESISTENCIA CARACTERÍSTICA como el de GRANULOMETRÍA están realizados en la planilla de cálculo Excel.

El manejo de la planilla es muy sencillo. Sobre la columna sombreada se van introduciendo celda por celda los valores de los resultados de los ensayos de las probetas, hasta terminar. Si el número de ensayos es inferior a 100, deberán dejarse vacías las celdas posteriores a la última hasta completar toda la columna, de lo contrario dará error.

El resultado se obtiene en el recuadro sombreado y en las hojas siguientes los gráficos correspondientes a la curva normal de Gauss y el Histograma.

#### 3) GRANULOMETRÍA DE LOS ÁRIDOS:

En la planilla se introducen en la columna sombreada de la primer tabla los valores obtenidos en los tamices.

Se obtiene el módulo de finura y el gráfico correspondiente al árido ensayado.

**ANEXO - TECNOLOGÍA DEL HORMIGÓN**  
**OBTENCIÓN RESISTENCIA CARACTERÍSTICA**

**CALCULO DE LA RESISTENCIA MEDIA, CARACTERISTICA Y DESVIACION STANDARD**

ENSAYO	BCi	n	BCm - BCi	(BCm-BCi) <sup>2</sup>
1	170	1	18.34	336.3556
2	172	1	16.34	266.9956
3	180	1	8.34	69.5556
4	193	1	-4.66	21.7156
5	168	1	20.34	413.7156
6	205	1	-16.66	277.5556
7	196	1	-7.66	58.6756
8	190	1	-1.66	2.7556
9	191	1	-2.66	7.0756
10	200	1	-11.66	135.9556
11	168	1	20.34	413.7156
12	160	1	28.34	803.1556
13	167	1	21.34	455.3956
14	165	1	23.34	544.7556
15	172	1	16.34	266.9956
16	170	1	18.34	336.3556
17	171	1	17.34	300.6756
18	178	1	10.34	106.9156
19	180	1	8.34	69.5556
20	181	1	7.34	53.8756
21	174	1	14.34	205.6356
22	210	1	-21.66	469.1556
23	215	1	-26.66	710.7556
24	205	1	-16.66	277.5556
25	220	1	-31.66	1002.3556
26	200	1	-11.66	135.9556
27	208	1	-19.66	386.5156
28	210	1	-21.66	469.1556
29	240	1	-51.66	2668.7556
30	240	1	-51.66	2668.7556
31	171	1	17.34	300.6756
32	173	1	15.34	235.3156
33	181	1	7.34	53.8756
34	194	1	-5.66	32.0356
35	169	1	19.34	374.0356
36	206	1	-17.66	311.8756
37	196	1	-7.66	58.6756
38	191	1	-2.66	7.0756
39	192	1	-3.66	13.3956
40	201	1	-12.66	160.2756
41	169	1	19.34	374.0356
42	161	1	27.34	747.4756
43	168	1	20.34	413.7156
44	166	1	22.34	499.0756
45	173	1	15.34	235.3156
46	171	1	17.34	300.6756
47	172	1	16.34	266.9956
48	179	1	9.34	87.2356
49	180	1	8.34	69.5556
50	180	1	8.34	69.5556
51	175	1	13.34	177.9556
52	210	1	-21.66	469.1556
53	216	1	-27.66	765.0756

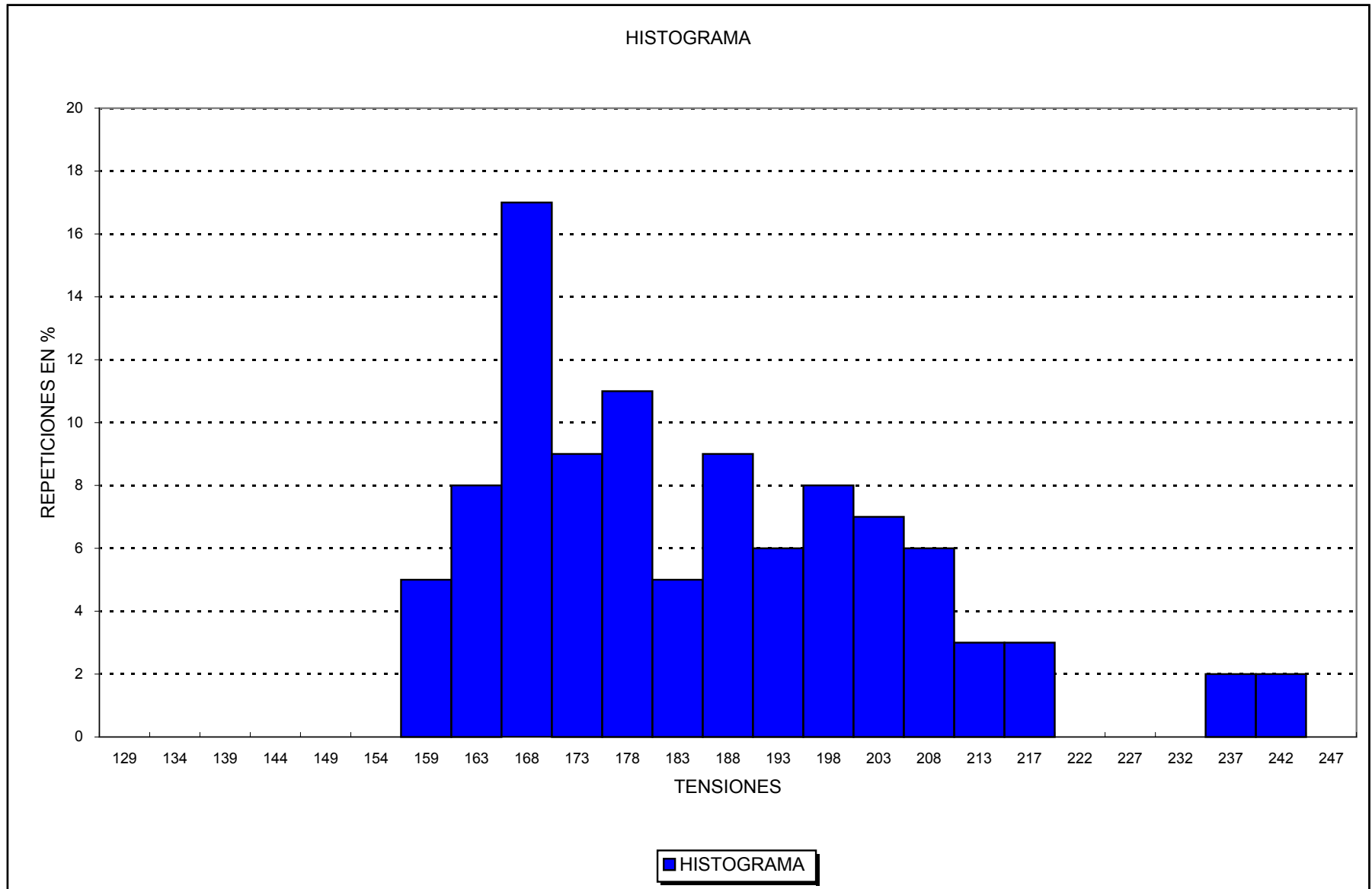
**ANEXO - TECNOLOGÍA DEL HORMIGÓN**  
**OBTENCIÓN RESISTENCIA CARACTERÍSTICA**

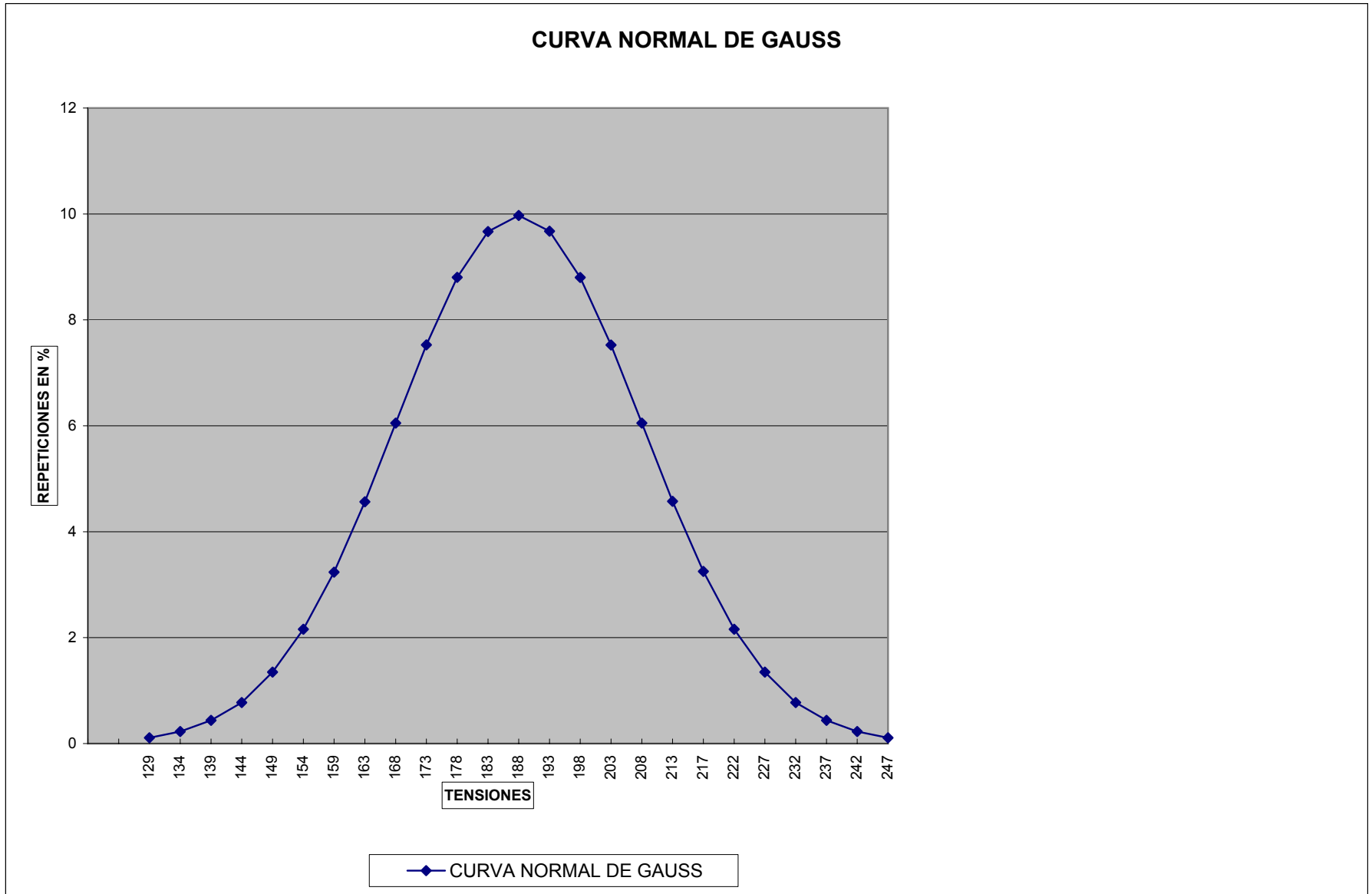
54	206	1	-17.66	311.8756
55	221	1	-32.66	1066.6756
56	200	1	-11.66	135.9556
57	210	1	-21.66	469.1556
58	210	1	-21.66	469.1556
59	245	1	-56.66	3210.3556
60	245	1	-56.66	3210.3556
61	160	1	28.34	803.1556
62	165	1	23.34	544.7556
63	160	1	28.34	803.1556
64	170	1	18.34	336.3556
65	199	1	-10.66	113.6356
66	220	1	-31.66	1002.3556
67	215	1	-26.66	710.7556
68	180	1	8.34	69.5556
69	182	1	6.34	40.1956
70	185	1	3.34	11.1556
71	190	1	-1.66	2.7556
72	170	1	18.34	336.3556
73	205	1	-16.66	277.5556
74	200	1	-11.66	135.9556
75	190	1	-1.66	2.7556
76	180	1	8.34	69.5556
77	185	1	3.34	11.1556
78	170	1	18.34	336.3556
79	175	1	13.34	177.9556
80	175	1	13.34	177.9556
81	160	1	28.34	803.1556
82	190	1	-1.66	2.7556
83	200	1	-11.66	135.9556
84	198	1	-9.66	93.3156
85	171	1	17.34	300.6756
86	187	1	1.34	1.7956
87	201	1	-12.66	160.2756
88	210	1	-21.66	469.1556
89	205	1	-16.66	277.5556
90	195	1	-6.66	44.3556
91	195	1	-6.66	44.3556
92	175	1	13.34	177.9556
93	178	1	10.34	106.9156
94	180	1	8.34	69.5556
95	166	1	22.34	499.0756
96	173	1	15.34	235.3156
97	188	1	0.34	0.1156
98	193	1	-4.66	21.7156
99	188	1	0.34	0.1156
100	175	1	13.34	177.9556
$\Sigma$	18834	100		38418.44
				384.1844

$\sigma'_{bm} = 188.3$	$n = 100$	$s = 19.60062$
$\sigma'_{bk} = 156$	$k = 1.65$	$\delta = 0.10407$

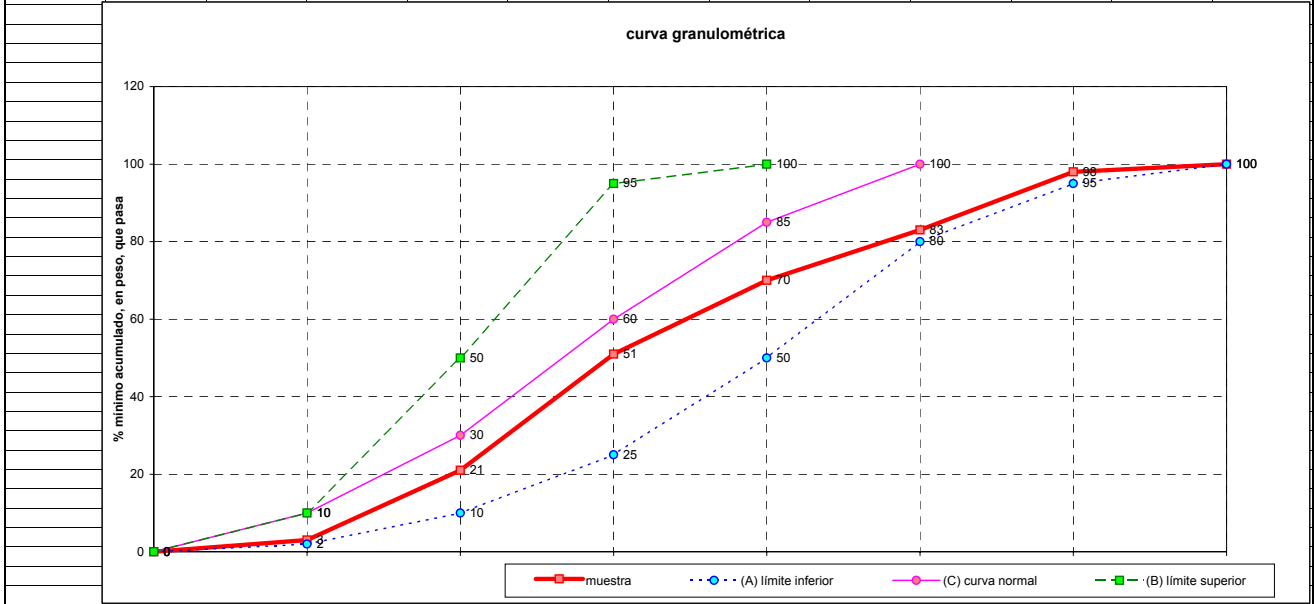


# TECNOLOGÍA DEL HORMIGÓN





GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO			
ENSAYO DE UNA MUESTRA DE ARENA			
% DEL AGREGADO, EN PESO, QUE PASA TAMIZ ABERTURA DE MALLA		% DEL AGREGADO, EN PESO, RETENIDO ABERTURA DE MALLA	
mm		mm	
0.149	3	0.149	97
0.297	21	0.297	79
0.590	51	0.590	49
1.200	70	1.200	30
2.400	83	2.400	17
4.800	98	4.800	2
9.500	100	9.500	0
Módulo de fineza		Mf = 2.74	



**GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO**

**ENSAYO DE UNA MUESTRA DE AGREGADO GRUESO**

Para tamaños comprendidos entre 50 mm y 4,75 mm.

**% DEL AGREGADO, EN PESO, QUE PASA TAMIZ**

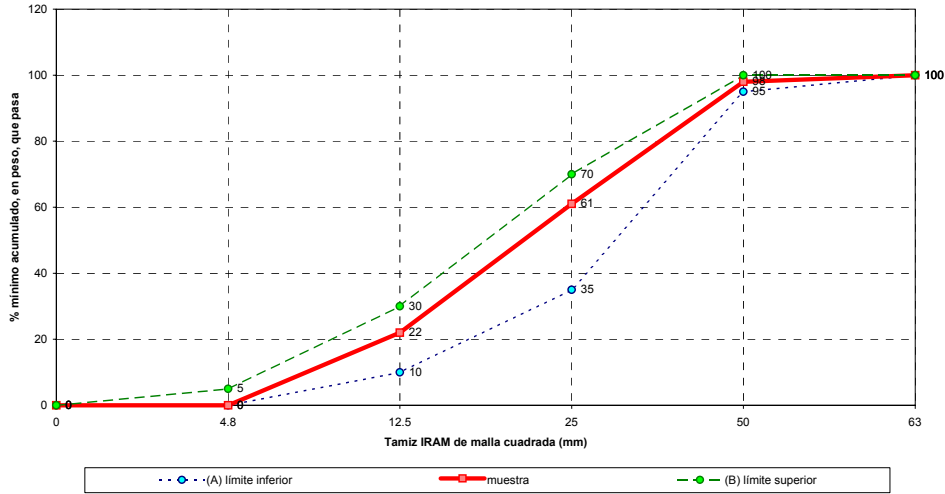
ABERTURA DE MALLA mm	
4.800	0
12.500	22
25.000	61
50.000	98
63.000	100

**% DEL AGREGADO, EN PESO, RETENIDO**

ABERTURA DE MALLA mm	
4.800	100
12.500	78
25.000	39
50.000	2
63.000	0

Módulo de fineza **Mf = 7.19**

curva granulométrica



**GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO**

**ENSAYO DE UNA MUESTRA DE AGREGADO GRUESO**  
 Para tamaños comprendidos entre 50 mm y 25 mm.

**% DEL AGREGADO, EN PESO, QUE PASA TAMIZ**

ABERTURA DE MALLA	
mm	
12.500	0
25.000	14
37.500	62
50.000	97
63.000	100

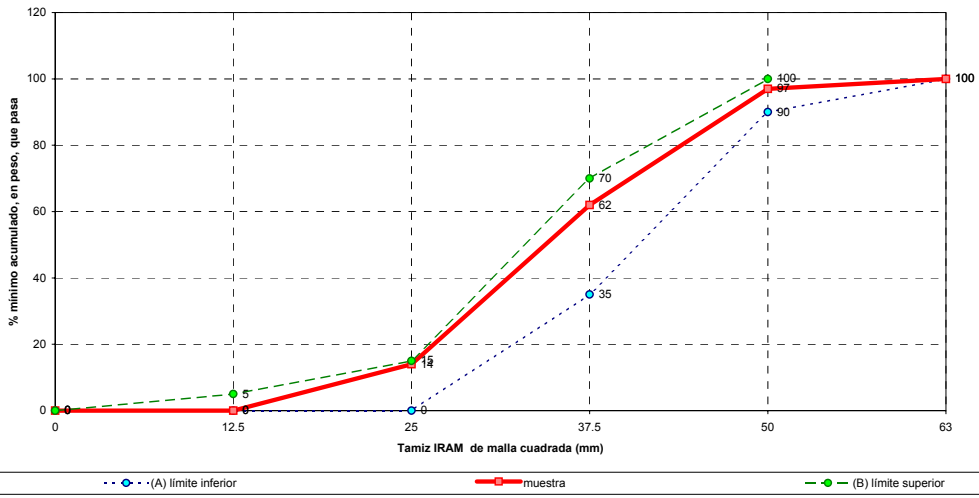
**% DEL AGREGADO, EN PESO, RETENIDO**

ABERTURA DE MALLA	
mm	
12.500	100
25.000	86
37.500	38
50.000	3
63.000	0

**Módulo de fineza**

**Mf = 7.27**

**curva granulométrica**



**GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO**

**ENSAYO DE UNA MUESTRA DE AGREGADO GRUESO**  
 Para tamaños comprendidos entre 37,5 mm y 4,75 mm.

**% DEL AGREGADO, EN PESO, QUE PASA TAMIZ**

ABERTURA DE MALLA	
mm	
4.800	0
9.500	27
19.000	64
37.500	98
50.000	100

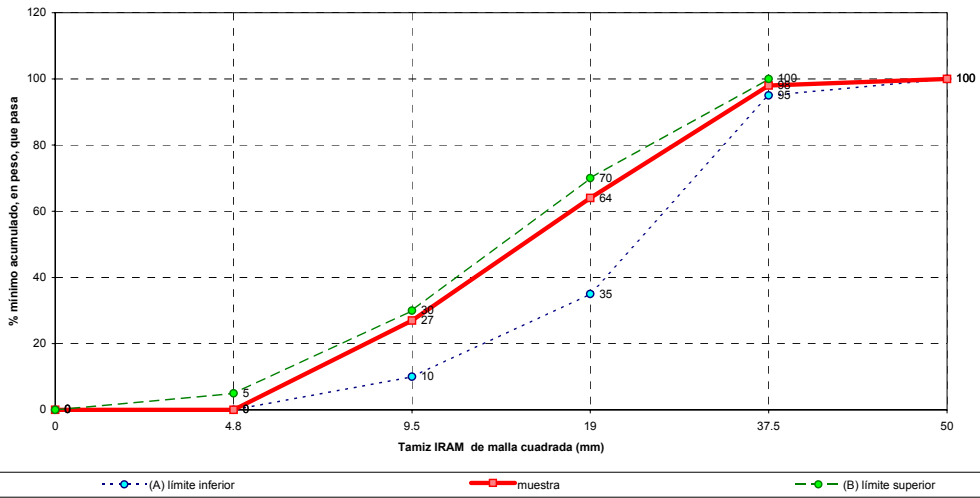
**% DEL AGREGADO, EN PESO, RETENIDO**

ABERTURA DE MALLA	
mm	
4.800	100
9.500	73
19.000	36
37.500	2
50.000	0

**Módulo de fineza**

**Mf = 7.11**

**curva granulométrica**



**GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO**

**ENSAYO DE UNA MUESTRA DE AGREGADO GRUESO**  
 Para tamaños comprendidos entre 37,5 mm y 19 mm.

**% DEL AGREGADO, EN PESO, QUE PASA TAMIZ**

ABERTURA DE MALLA	
mm	
9.500	0
19.000	10
25.000	42
37.500	98
50.000	100

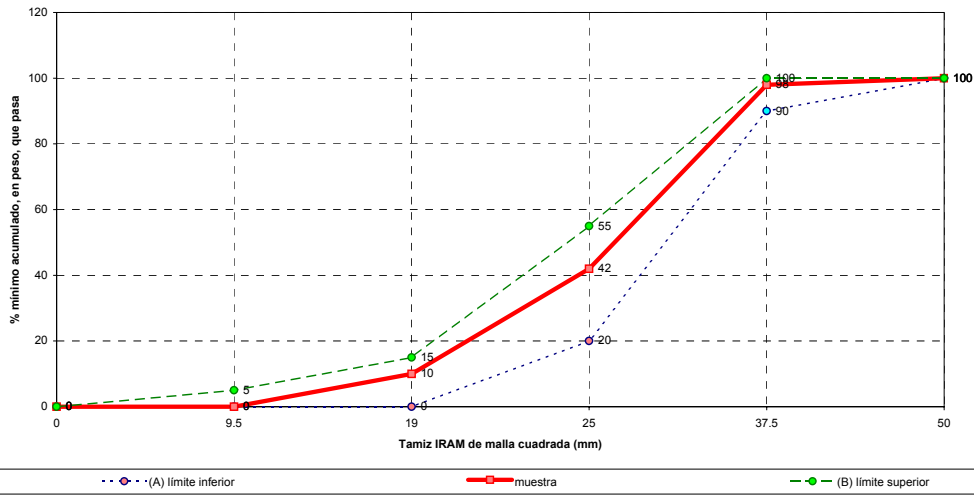
**% DEL AGREGADO, EN PESO, RETENIDO**

ABERTURA DE MALLA	
mm	
9.500	100
19.000	90
25.000	58
37.500	2
50.000	0

**Módulo de fineza**

**Mf = 7.5**

**curva granulométrica**



**GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO**

**ENSAYO DE UNA MUESTRA DE AGREGADO GRUESO**  
 Para tamaños comprendidos entre 25 mm y 4,75 mm.

**% DEL AGREGADO, EN PESO, QUE PASA TAMIZ**

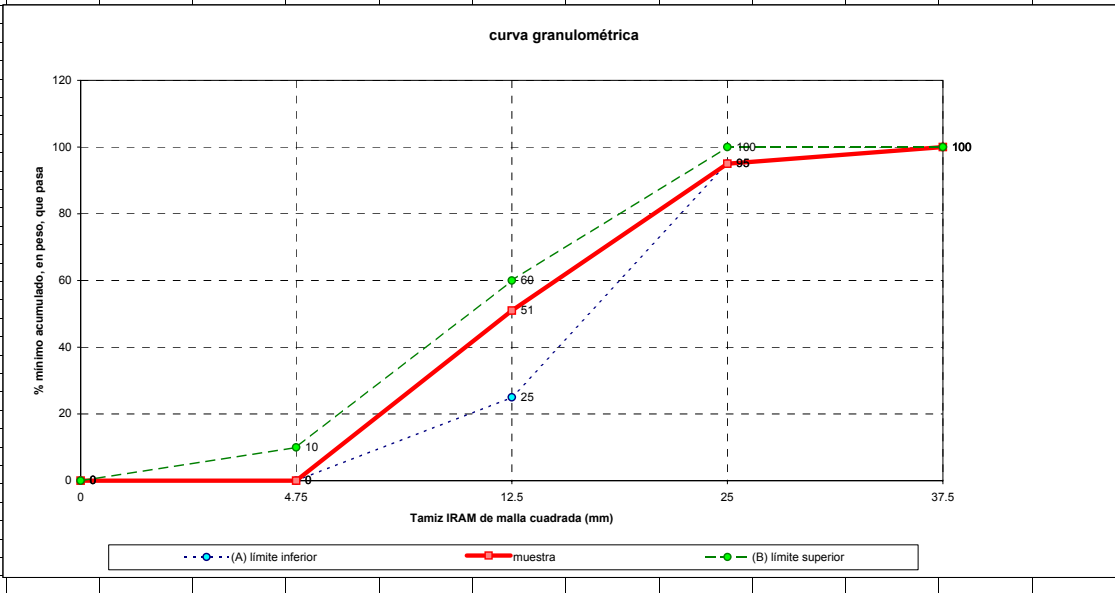
ABERTURA DE MALLA	
mm	
4.750	0
12.500	51
25.000	95
37.500	100

**% DEL AGREGADO, EN PESO, RETENIDO**

ABERTURA DE MALLA	
mm	
4.750	100
12.500	49
25.000	5
37.500	0

**Módulo de fineza**

**Mf = 6.54**





**GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO**

**ENSAYO DE UNA MUESTRA DE AGREGADO GRUESO**  
 Para tamaños comprendidos entre 19 mm y 4,75 mm.

% DEL AGREGADO, EN PESO, QUE PASA TAMIZ

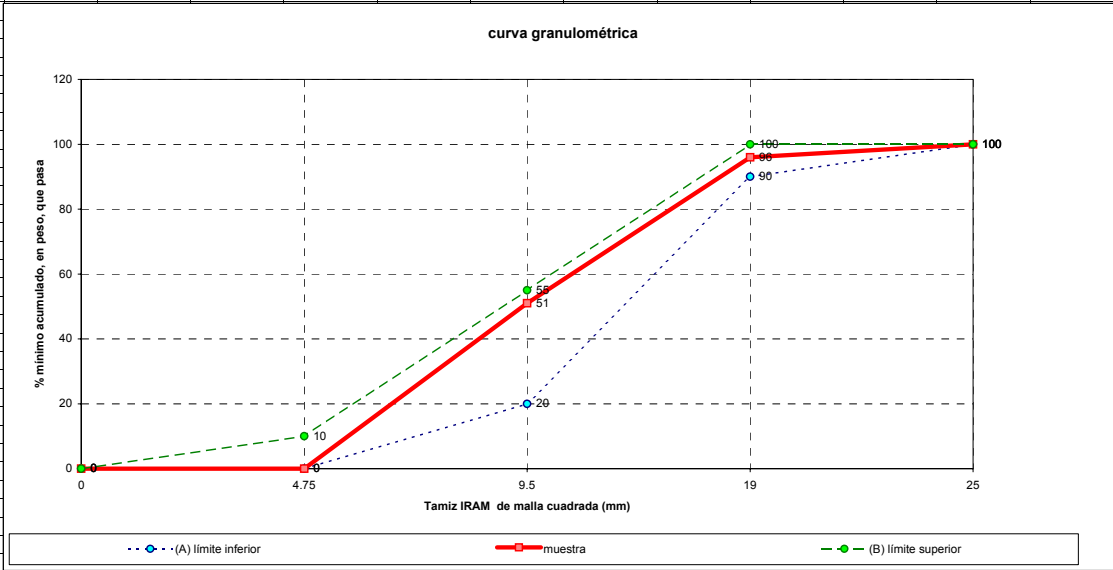
ABERTURA DE MALLA	
mm	
4.750	0
9.500	51
19.000	96
25.000	100

% DEL AGREGADO, EN PESO, RETENIDO

ABERTURA DE MALLA	
mm	
4.750	100
9.500	49
19.000	4
25.000	0

Módulo de fineza

**Mf = 6.53**



**GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO**

**ENSAYO DE UNA MUESTRA DE AGREGADO GRUESO**  
 Para tamaños comprendidos entre 12,5 mm y 4,75 mm.

**% DEL AGREGADO, EN PESO, QUE PASA TAMIZ**

ABERTURA DE MALLA	
mm	
4.750	0
9.500	51
12.500	95
19.000	100

**% DEL AGREGADO, EN PESO, RETENIDO**

ABERTURA DE MALLA	
mm	
4.750	100
9.500	49
12.500	5
19.000	0

**Módulo de fineza**

**Mf = 6.54**

