

## P R O L O G O

El Instituto del Cemento Portland Argentino, tiene como finalidad específica promover y perfeccionar el uso del cemento portland. Por ello, sus profesionales distribuidos zonalmente en todos los ámbitos del país tratan de cumplimentar esta función con todos los medios a su alcance.-

Los cursos sobre distintos temas, preparados con criterio de inmediata aplicación práctica, son quizás los más idóneos para llegar al medio educativo, empresarial y de reparticiones técnicas con la información actualizada que permita seguir los adelantos tecnológicos que se producen en el campo de la construcción.-

Este curso sobre "Tecnología del Hormigón" tiene ese propósito y resume la información que recibimos en Seccional Tucumán del I.C.P.A. a través de las publicaciones, tanto del país como del extranjero a las que estamos suscriptos, las propias de nuestra Entidad y aquellas que gentilmente nos hacen llegar distinguidos investigadores nacionales como el Ing. Alberto Fava, a quien agradezco sus dedicados trabajos que me hace llegar periódicamente y que constituyen una importante fuente de información de este curso.-En particular, se ha seguido el contenido de la publicación del I.C.P.A. "Tecnología del Hormigón" del Ing. Agustín N. Castiarena.-

Resumir en pocas horas de exposición un tema de gran dimensión es una tarea ardua porque siempre queda mucho por decir.-Pero el objetivo se habrá logrado plenamente, si logramos promover la inquietud por un sustancial mejoramiento de las realizaciones actuales en el campo de la utilización del hormigón en sus vastas aplicaciones, mejorando de este modo la calidad de las obras que nos son confiadas.-En suma, brindaremos un mejor servicio técnico y económico a la sociedad que servimos.-

Ing. José Luis Ledesma

## APUNTES SOBRE "TECNOLOGIA DEL HORMIGON"

### I.-INTRODUCCION.-

Restos arqueológicos de la Antigua Grecia nos muestran que el uso del hormigón se remonta a la antigüedad.-En efecto, en el examen de sus ruinas se encontraron construcciones elaboradas en base a piedras ligadas con arcillas.-Las ruinas romanas mostraron construcciones más avanzadas con las llamadas tierras romanas o puzolanas naturales como ligante.-De todos modos el empleo de estos hormigones estaba limitado a obras de relleno o para la transmisión de cargas al suelo.-

En el año 1824, Josep Aspdin, inventa y patenta un método para la producción de un cementante artificial al que da el nombre de cemento portland por la similitud de coloración del producto con una piedra caliza que se explotaba en la Isla de Portland (Inglaterra).-

La verdadera revolución en el uso de los hormigones de cemento portland se produce cuando se descubre el hecho de que asociado con el acero, puede complementarse con éste para resistir esfuerzos de flexión que le estaban vedados por su prácticamente nula capacidad para absorber sollicitaciones de tracción.-

Prácticamente desde el comienzo de este siglo se ha notado una rápida y continuada expansión de las construcciones con hormigón, favorecida por notables desarrollos tecnológicos, no solo de los basados en un más cabal conocimiento de las propiedades de los materiales componentes, que permite proporcionarlos adecuadamente para cada condición particular de la obra, sino también los debidos al progreso operado en los medios de elaboración, transporte, manipuleo, colocación y curado.-

El uso del hormigón se ha universalizado en todo tipo de estructura (puentes, esqueleto portante de edificios, diques, canales, caminos, muros protectores contra radiaciones atómicas, etc..).-La propiedad de adaptarse a la forma del molde o recipiente que le contiene - que se ha dado en llamar "carácter formáceo" - permite también lograr, en el campo de la Arquitectura, eficaces combinaciones de estética y economía.-

Con el uso de las estructuras laminares, curvas y plegadas, se puede lograr la cobertura de grandes luces con un espesor relativamente pequeño de hormigón, y además, la obtención de obras de singular belleza.-

Quizás el adelanto más significativo en el campo estructural, lo constituya la aplicación del pretensado al hormigón, técnica ésta que cada día se generaliza más y más ofreciéndonos espectaculares realizaciones.-

Pero no están todavía agotadas-ni remotamente-todas las posibilidades vinculadas a este material.- Los Centros de Investigación a nivel mundial esperan lograr, en breve plazo, otras importantes mejoras. El American Concrete Institute (A.C.I.) menciona principalmente las siguientes: incremento de la resistencia a la tracción, determinación de resistencias con un error menor y en tiempo reducido, mejoramiento de la estabilidad volumétrica, disminución del peso, incremento de la resistencia al desgaste y al ataque de agentes químicos y meteorológicos.-

Con la técnica de impregnar probetas de hormigón con un monómero (metacrilato de metilo, por ejm) y luego polimerizarlo mediante radiación atómica, se han logrado incrementos significativos en las resistencias a rotura por compresión y tracción.- Se prevé alcanzar con este u otro procedimiento, resistencia a la compresión de 1.400 Kg/cm<sup>2</sup> como rutina y hasta 4.000 Kg/cm<sup>2</sup> para casos excepcionales.-

Otro campo de investigación y en el que ya se han logrado interesantes realizaciones prácticas, lo constituye el hormigón con fibra incluida (de acero, plástico, vidrio y materiales naturales como asbesto y algodón).- En principio se ha logrado un mejor control de la fisuración y se ha detectado un ponderable incremento en la resistencia a la flexión.-

Mejorando el conocimiento de los componentes del hormigón se espera lograr-mediante técnicas de curado acelerado-, y dentro de un margen tolerable de error, qué resistencia correspondería a los 28 días probetas ensayadas alrededor de las 28 horas previo sometimiento a la técnica mencionada.- Se esperan lograr conclusiones inmediatas

sobre hormigón fresco, con procedimientos basados en el uso de la energía nuclear.-

Es necesario ahora hacer la siguiente reflexión: Mucho se ha logrado en el campo de la Tecnología del Hormigón para dar al calculista de estructuras la tranquilidad de que los refinamientos de sus / cálculos- logrados con el auxilio de la computación- tenga la adecuada / complementación de la calidad del material de obra.- De otro modo, tal refinamiento no tendría sentido práctico, si el hormigón de obra- por negligencia o por ignorancia de los medios para lograrlas- no tiene las características previstas por el proyectista.-

Por último diremos, que si bien la elaboración y puesta en vigencia de un REGLAMENTO ARGENTINO PARA ESTRUCTURAS DE HORMIGON solucionará toda desviación hacia prácticas nocivas, tanto en el proyecto como en la ejecución de obras con este material, más importante es autoconvencerse que la buena técnica, hecha costumbre, lejos de producir presuntos encarecimientos, trae aparejada economía y prestigio.-

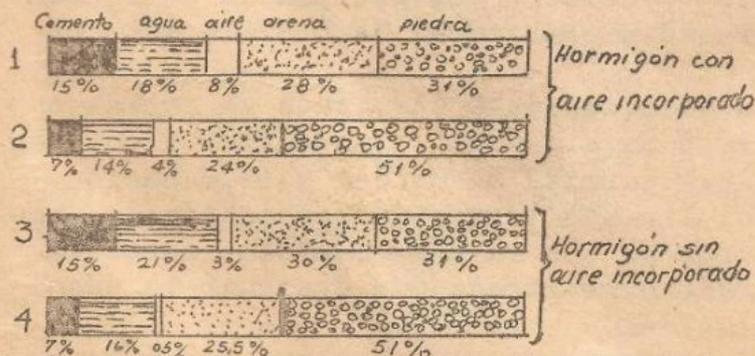
## II.-HORMIGON DE CEMENTO PORTLAND.-

Nos referiremos en este curso a los hormigones de peso normal elaborados con los materiales más comunmente encontrados en la naturaleza (piedras y arenas de ríos o de trituración).- En consecuencia no consideraremos otros tipos de hormigones como ser:

- a) Hormigones livianos (elaborados con pizarras, arcillas y escorias expandidas)
- b) Hormigones aislantes (de piedra pómez, escoria, perlita, vermiculita y diatomea)
- c) Hormigones pesados (con agregados pesados tales como baritas, limonitas, magnetitas, hierro y partículas de acero).-
- d) Los sin asentamiento, etc.....

### II.1.-COMPOSICION.-

El hormigón de cemento portland está compuesto- principalmente- por una pasta adhesiva de cemento portland y agua que tiene



por función dar ligazón a un esqueleto formado por los materiales granulares inertes llamados agregados.-

Además de los componentes involucrados en esta definición, siempre hay que un cierto volumen de aire (que depende / del tamaño máximo y forma de los agregados) y que se integra naturalmente durante el proceso de mezclado o es in-

Fig 1.- Rango en las proporciones de materiales usados en hormigones.- Barras 1 y 3 corresponden a mezclas ricas con agregados pequeños.- Barras 2 y 4 representan mezclas pobres con agregados grandes.

corporado intencionalmente cuando se desea conferir al hormigón propiedades especiales, ya sea en el proceso de elaboración como durante su vida útil en servicio.-

La fig.1, muestra la fluctuación de los componentes del hormigón dentro de los rangos de calidad más usados.- Los componentes activos de esta mezcla son el cemento portland y el agua, en cuya presencia aquél desarrolla sus propiedades hidráulicas, que dan al conjunto la requerida cohesión.-

Se observa que los áridos constituyen entre el 60 y el 80% del total de la mezcla por lo que es importante destacar el cuidado de su selección.- Son considerados los componentes inertes o inactivos, pero, aunque en general lo son, no siempre debe considerárse- lo como tales.-

La técnica moderna ha desarrollado otros componentes que se agregan a la mezcla en elaboración con variados propósitos. Se los denomina aditivos o adiciones y serán estudiados en detalle en el correspondiente capítulo.-

## II.-2.-ESTADOS DEL HORMIGON.-

Luego de elaborada, la mezcla compuesta por agua, cemento portland y agregados, se mantiene fluida durante un tiempo relativamente corto pero suficiente para permitir su transporte, colocación, con solidación y terminación dentro de los moldes o formas.- Allí, en un / tiempo más o menos prolongado, conocido como tiempo de fraguado, pasará del estado plástico al estado sólido (prácticamente sin ninguna resistencia).-

Terminado el período de fraguado comienza la etapa conocida como de endurecimiento durante la cual, mediante ensayos de rutina consagrados por la práctica, podemos observar como esa masa solidificada va aumentando su resistencia con el tiempo hasta alcanzar las características finales previstas al proyectárselo.-

Tanto el proceso de fraguado como el de endurecimiento, tienen lugar como consecuencia del contacto del cemento con el agua.- En este contacto, los componentes químicos del cemento reaccionan dando lugar a la formación de nuevos productos que reemplazan a los componentes originales.- Son las llamadas reacciones de hidratación que son de carácter exotérmico.-

La velocidad de reacción debe ser lenta al comienzo para disponer de suficiente tiempo para mezclar, transportar y colocar el hormigón en estado plástico que permita su moldeo y terminación.- Interesa, por lo tanto, conocer el llamado tiempo de iniciación de fraguado o tiempo límite de vibración en que la masa mantiene un estado plástico tal que pueda ser vibrado o revibrado sin destruir la continuidad de la estructura que se moldea.-

En el proceso de endurecimiento, conviene que éste se realice lo más rápidamente posible que nos permita, por un lado, la / pronta recuperación de los moldes, y por el otro, poner en servicio la

estructura.-

Estos procesos de fraguado y endurecimiento, necesitan condiciones favorables de humedad y temperatura.-La calidad final depende del cuidado que pongamos en proporcionar-mediante procesos denominados de curado-esas condiciones favorables.-

Los ensayos de principio y fin de fraguado se realizan sobre la llamada pasta de consistencia normal y sirven para la recepción del cemento portland.-Se usa el aparato de Vicat que se esquematiza a continuación:

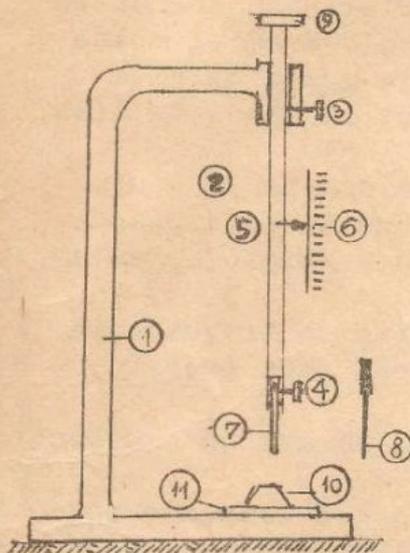


Fig.2.-Aparato de Vicat  
(esquemático)

- 1.-Soporte del aparato
- 2.-Vástago desplazable
- 3.-Tornillo para fijar el vástago
- 4.-Tornillo para fijar al vástago la zonda de Tetmajer o la aguja de Vicat.-
- 5.-Índice fijado al vástago
- 6.-Escala que mide el desplazamiento del vástago graduada al mm.-
- 7.-Zonda de Tetmajer  $\phi = 1$  cm.-
- 8.-Aguja de Vicat de  $1\text{mm}^2$  de sección
- 9.-Contrapeso para lograr que todo el conjunto vástago-zonda de Tetmajer o vástago-aguja de Vicat pese 300 gramos.-
- 10.-Anillo tronco-cónico de latón (7,5 cm  $\phi$  superior, 8,5 cm  $\phi$  inferior y 4 cm de altura.-
- 11.-Fondo móvil.-

El ensayo de principio y fin de fraguado se realiza sobre pasta de Consistencia normal que se obtiene de la siguiente manera! Como operación previa se fija al vástago (2) la zonda de Tetmajer (7) que es una varilla metálica cilíndrica de sección recta y  $\phi=1\text{cm}$ .-Luego se coloca el anillo tronco cónico (10) vacío con su fondo móvil (11) de manera que aflojando el tornillo (3) todo el conjunto baje hasta tocar el fondo móvil permitiendo de este modo que, mediante el índice (5) podamos hacer una lectura inicial en la escala (6) .-

Luego se pesan 400 grs. de cemento portland que se colocan, formando una corona, sobre una bandeja metálica.-En el interior de la corona se vuelca -desde una bureta graduada- una cantidad medida de agua amasándose enérgicamente el conjunto durante 5 minutos con el auxilio de una espátula.-Con esta misma espátula y en pequeñas proporciones se llena el anillo de latón que descansa sobre el fondo móvil distribuyendo la pasta sin apisonamiento alguno, retirando el material que sobrepase los bordes mediante una regla que se hace deslizar con un suave movimiento de vaivén.-Se hace descender la zonda de Tetmajer sin choques y sin golpes sosteniéndola con los dedos (ligeramente

aceitados) hasta que se detiene por si sola leyéndose en la escala la distancia en milímetros entre el extremo de la zonda y el fondo del molde por comparación con la lectura inicial.-Cuando mediante tanteos sucesivos, con diferentes pastones, se consigue que la zonda de Tetmajer se detenga a 6 mm del fondo habremos conseguido la pasta de consistencia normal.-La lectura de la probeta graduada nos indicará la cantidad de agua necesaria para lograrla.-

Para la determinación del principio y fin de fraguado, se sustituye en el aparato la zonda de Tetmajer por la aguja de Vicat que es una varilla cilíndrica de  $1 \text{ mm}^2$  de sección y se determina una nueva lectura inicial en forma similar al caso anterior.-Con los datos del ensayo anterior se prepara pasta normal que se coloca en el molde tronco-cónico y sobre ella se hace descender ahora la aguja de Vicat / con la misma precaución adoptada para hacer descender la zonda de Tetmajer.-

Se considera que el fraguado comienza cuando la aguja de Vicat se detiene a 0,5 mm del fondo del molde y que termina cuando aplicando la aguja suavemente sobre la pasta no deja vestigio apreciable.-

Tanto el tiempo de comienzo como de fin de fraguado, se computa a partir del instante en que se agrega el agua para preparar la pasta de consistencia normal.-

Los ensayos descriptos se realizan en cámara húmeda con humedad relativa del 85% y temperatura de  $21 \pm 2^\circ \text{ C}$ .-

Las normas establecen que el comienzo del fraguado no debe producirse antes de los 45 minutos, y el fin del fraguado no será superior a las 10 horas.-

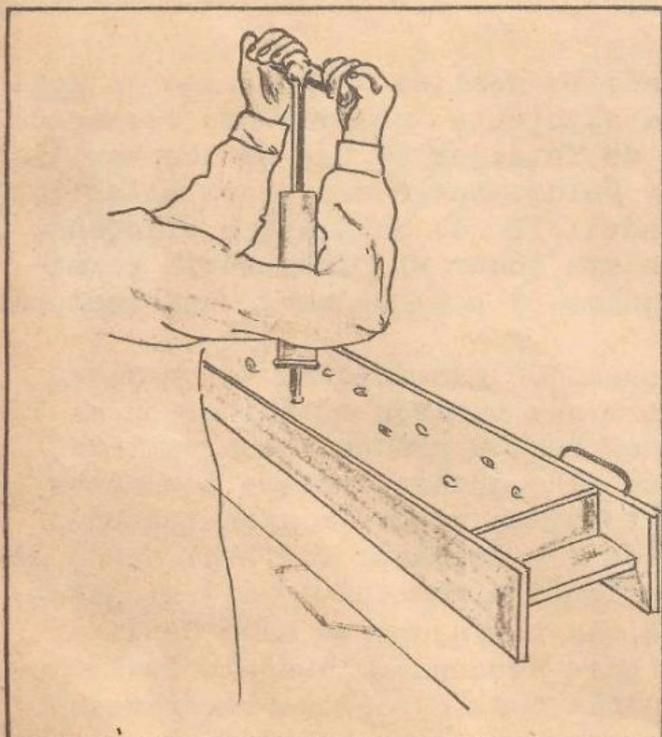


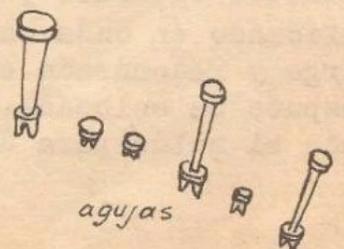
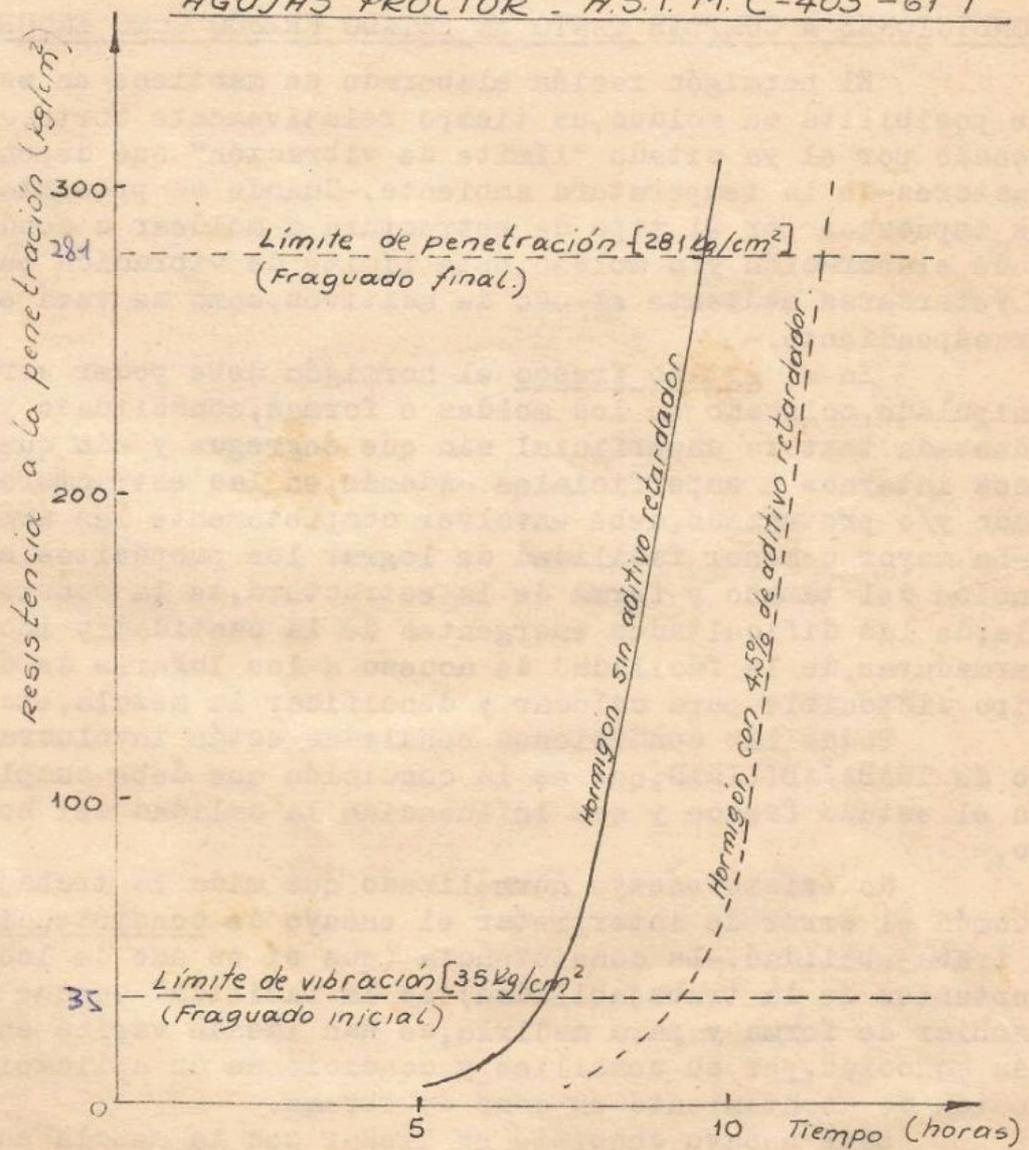
Fig. 3. Medición de principio y fin de fraguado con aguja de Proctor en mortero extraído de un hormigón por tamizado.-

Con respecto al uso del cemento en hormigones cabe señalar que hay / circunstancias en que se hace necesario prolongar el período en el que la mezcla se mantiene en estado plástico (por ejm. en el caso de moldeo de grandes estructuras sin juntas de trabajo) lo que se consigue con el empleo de retardadores de fragüe. En estos casos los tiempos de principio y fin de fraguado se aprecia convencionalmente por la resistencia a penetración de las agujas de Proctor (Fig. 3) A.S.T.M. C-403-61 T.-

Se vierte en un recipiente una / muestra de mortero obtenida por tamizado del hormigón fresco.-El ensayo consiste en medir el esfuerzo necesario para hacer penetrar una aguja hasta la profundidad de 1"

(medida desde la superficie del mortero).-Se emplean seis agujas de diferentes secciones transversales que se intercambian desde las mayores a las menores en la medida que avanza el proceso de fraguado.-La resistencia a la penetración se expresa en  $\text{Kg/cm}^2$  y los tiempos se computan a partir del comienzo de mezclado del hormigón.-

FIG. 4 TIEMPO DE FRAGUADO DEL HORMIGON MEDIDO POR LA RESISTENCIA A LA PENETRACION DE LAS AGUJAS PROCTOR - A.S.T.M. C-403 - 61 T



Mediante la repetición de ensayos de penetración se obtienen los puntos necesarios para trazar una curva de resistencia en función del tiempo (Fig.4).-En ella se fijan dos puntos característicos; el primero cuando se alcanza una resistencia a la penetración de  $35 \text{ Kg/cm}^2$  que se fija como de comienzo de fraguado o límite de vibración, y el segundo cuando dicha resistencia alcanza el valor de  $281 \text{ Kg/cm}^2$  que señala el fin de fraguado o límite de penetración (A este último valor le corresponde aproximadamente una resistencia de  $7 \text{ Kg/cm}^2$  en el ensayo convencional de compresión en probetas cilíndricas  $15 \times 30 \text{ cm.}$ -)

### II-3.-CONDICIONES A CUMPLIR TANTO EN ESTADO FRESCO COMO ENDURECIDO

El hormigón recién elaborado se mantiene en estado plástico, que posibilita su moldeo, un tiempo relativamente corto.-Este está condicionado por el ya citado "límite de vibración" que depende-entre otros factores-de la temperatura ambiente.-Cuando se presentan casos especiales impuestos por el tipo de estructura a moldear o condiciones no comunes de elaboración y/o moldeo, este límite de vibración puede anticiparse o retardarse mediante el uso de aditivos, como se verá en el capítulo correspondiente.-

En el estado fresco el hormigón debe poder ser transportado, manipulado, colocado en los moldes o formas, consolidado y terminado con la deseada textura superficial sin que segregue y sin que se produzcan huecos internos o superficiales.-Además, en las estructuras de hormigón armado y/o pretensado, debe envolver completamente las armaduras y/o vainas.-La mayor o menor facilidad de lograr los propósitos señalados, será función del tamaño y forma de la estructura, de la consistencia de la mezcla, de las dificultades emergentes de la cantidad y localización de las armaduras, de la facilidad de acceso a los lugares de colocación, del equipo disponible para colocar y densificar la mezcla, etc...-

Todas las condiciones señaladas están involucradas en el concepto de TRABAJABILIDAD, que es la condición que debe cumplir el hormigón en el estado fresco y que influyen la calidad del hormigón endurecido.-

No existe ensayo normalizado que mida la trabajabilidad.- Es muy común el error de interpretar el ensayo de consistencia como medida de trabajabilidad.-La consistencia (que sí es uno de los factores más importantes de la trabajabilidad) es la facilidad con que una mezcla puede cambiar de forma y para medirla, se han ideado varios ensayos, siendo el más conocido, por su sencillez y condiciones de aplicación en obra, el de medida de asentamiento en cono de Abrams.-

Este ensayo consiste en llenar con la mezcla en estudio un molde tronco-cónico metálico de  $20 \text{ cm}$  de diámetro inferior,  $10 \text{ cm}$  de diámetro superior y  $30 \text{ cm}$  de altura.-El llenado se hace en tres capas aplicando en cada capa 25 golpes con una varilla de  $\phi 16 \text{ mm}$ ,  $60 \text{ cm}$  de largo y redondeada en el extremo con que se aplican los golpes.- (Fig.5).- Después de colocada la última capa, se enrasa con una regla, se gira un poco el molde para desprenderlo de la mezcla y se lo retira.-La mezcla

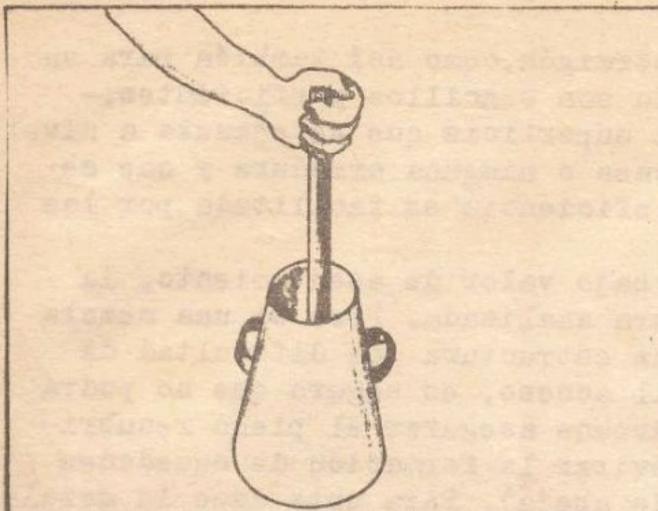


Fig. 5 Compactación por varillado de la mezcla contenida en el cono de Abrams.-

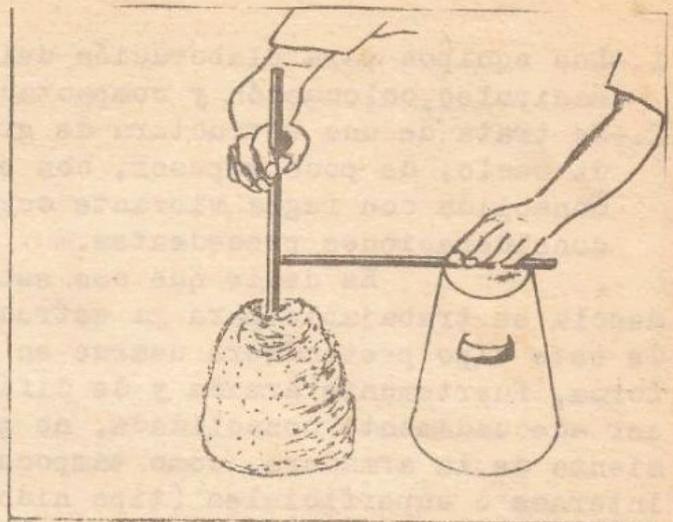


Fig. 6 Medición del asentamiento



Fig. 7. Determinación cualitativa de la trabajabilidad de la mezcla.-

de albanil sobre la superficie del referido pastón, tendrá similar apreciación según que de la mezcla aflore mortero o se obtenga una respuesta áspera. En el último supuesto tendremos una indicación de mezclas con poca trabajabilidad.-

Refirmamos entonces, que el asentamiento en el cono es un valor que influye en la trabajabilidad, pero este último concepto involucra además, dificultades de forma de la estructura, densidad de armaduras, facilidad de acceso a los moldes o formas, herramientas disponibles para la colocación y densificación, etc.-

Un par de ejemplos nos aclarará esta diferenciación de conceptos. Un pavimento de hormigón es un tipo de estructura que además de poseer una adecuada resistencia estructural, debe resistir la acción de agentes exteriores, para cuyo fin es necesario que sea lo más impermeable posible, lo que se logra moldeándolo con la menor cantidad de agua que permita su adecuada consolidación. Es decir que se debe lograr un bajo valor de asentamiento. Esto es posible por las siguientes consideraciones:

del molde fluye experimentando un descenso que se mide de la siguiente manera (fig. 6): Se coloca el molde vacío a la par y sobre él una regla. Con el auxilio de un metro medimos cuanto vale en centímetros el descenso experimentado por la mezcla y ese valor es el de consistencia medido por este ensayo.-

Un operador experimentado, golpeando lateralmente el pequeño pastón asentado, con la misma varilla empleada en la compactación (fig. 7) y observando si fluye o se desintegra puede tener una apreciación práctica de la trabajabilidad. También pasando una llana o cuchara

- 1.-Los equipos para elaboración del hormigón, como así también para su manipuleo, colocación y compactación son sencillos y eficientes.-
- 2.-Se trata de una estructura de gran superficie que se ejecuta a nivel de suelo, de poco espesor, con escasa o ninguna armadura y que se consolida con regla vibrante cuya eficiencia es facilitada por las consideraciones precedentes.-

Es decir que con este bajo valor de asentamiento, la mezcla es trabajable para la estructura analizada. Pero si una mezcla de este tipo pretendiera usarse en una estructura con dificultad de forma, fuertemente armada y de difícil acceso, es seguro que no podrá ser adecuadamente consolidada, no podremos asegurar el pleno recubrimiento de la armadura, como tampoco evitar la formación de oquedades internas o superficiales (tipo nido de abeja). Para este caso la mezcla que estamos analizando no es trabajable.-

Quiere decir que una mezcla de la misma consistencia será trabajable o no, según el tipo de estructura a moldear y el equipamiento disponible.-

Dicho de otra forma, podemos extender el concepto señalado diciendo que, no demos tener mezclas trabajables con distintos grados de fluidez siempre que se elija, en cada caso, la que corresponde al tipo de estructura a moldear y al equipamiento disponible en obra para su colocación y consolidación.-

En general es conveniente usar - por los factores que más adelante analizaremos en detalle - la mezcla de menor consistencia que sea trabajable de acuerdo a los conceptos expuestos.-

TABLA 1 ESCALA DE CONSISTENCIA MEDIDA POR EL ASENTAMIENTO EN CONO DE ABRAMS

Consistencia	Asentamiento ( cm.)	Observaciones
Seca	0 a 1	Para usar con fuerte compactación o vibración.-
Semiseca	1 a 5	Para moldearse satisfactoriamente por compactación o vibrado.-
Media	5 a 10	Hormigón plástico fácilmente moldeable aunque requiere alguna compactación para colocación en las estructuras
Húmeda	10 a 15	Hormigón fácilmente colocable
Fluida	15 a 20	Hormigón que puede ser vertido en el lugar

En el estado endurecido el hormigón debe cumplimentar los siguientes requisitos: adecuada resistencia mecánica (principalmente de compresión), estabilidad dimensional y durabilidad.-

a) La Resistencia Mecánica es la capacidad del hormigón para resistir las sollicitaciones impuestas por las cargas previstas por el proyecto de la estructura. Generalmente constituye el criterio principal para juzgar su calidad. Pero, como erróneamente ocurre, no debe ser considerado único, ya que la resistencia mecánica es solo una de las características del material. En algunas estructuras puede estar en un mismo nivel de importancia y a veces superada por otras características deseables del hormigón.-

b) La estabilidad dimensional se establece en términos de los cambios volumétricos que pueden ser de expansión o de acortamiento. Es una característica de suma importancia, pues cuando estos cambios volumétricos están restringidos pueden dar origen a fisuras o agrietamientos que, si aumentan progresivamente, pueden ser causa de destrucción del hormigón e incluso de la estructura de la que forma parte. Además la fisuración y el agrietamiento son vehículos para la penetración de agentes agresivos que provocan la corrosión del hormigón y de las armaduras. Normalmente, los cambios volumétricos en el hormigón endurecido se deben a:

- 1) Los esfuerzos a que lo someten las cargas exteriores;
- 2) Los cambios de temperatura y
- 3) Los cambios en el contenido de humedad.-

El efecto de retracción por fragüe puede adquirir una significativa importancia en cierto tipo de estructura.-

Esfuerzos sostenidos dan lugar a una deformación lenta llamada creep. Freyssinet demostró en 1926 la influencia que sobre este efecto tiene la estructura capilar.-

c) Durabilidad: Esta cualidad del hormigón es el conjunto de propiedades que lo habilitan para resistir la acción separada o conjunta de agentes destructivos físicos y/o químicos a los que podemos reunir en tres grupos fundamentales a saber:

- 1) Acción climática natural o sea: Ciclos de congelamiento - deshielo, alternativas de mojado - secado y calentamiento - enfriamiento.-
- 2) Ataque químico del exterior por agentes naturales o artificiales. Entre los naturales citaremos las aguas de mar, las aguas selenitosas y ácidas, los suelos salinos, etc. Entre los artificiales tenemos, las aguas servidas, los efluentes cloacales, los residuos industriales, sales para deshielo, etc.-
- 3) Expansiones producidas por sustancias existentes o formadas dentro del hormigón (reacción álcalis-agregados, que tiene lugar entre los álcalis del cemento y ciertos tipos de agregados reactivos).-

Señalamos el error que se comete cuando la calidad de un hormigón se juzga únicamente en función de su resistencia mecánica. Tres ejemplos nos aclaran el concepto:

- 1) En una losa o viga protegida por pisos, revoques, revestimientos, etc. al abrigo de todo tipo de agentes agresivos físicos o químicos, es natural que la resistencia mecánica sea el único requisito que le exijamos al hormigón.-
- 2) El hormigón de un canal de riego de sección trapecial, con taludes tendidos y bajo tirante de agua, es poco solicitado mecánicamente. En cambio es un tipo de estructura sometida a alternativas climáticas, a mojado y secado, a la erosión que provocan las partículas sólidas que lleva el agua en suspensión, etc. Aquí prevalecerá la durabilidad.-
- 3) Un hormigón para pavimento, debe soportar no sólo las cargas del tránsito, sino también la acción agresiva de aceleradas y frenadas, derrame de combustibles y aceites lubricantes, enfriamientos y calentamientos, mojado y secado, etc. **Por** todo ello exigiremos a esta estructura resistencia mecánica y durabilidad.-

Para finalizar este análisis de condiciones a cumplir por el hormigón, tanto en estado fresco como endurecido, la última condición que impondremos, es que el mismo debe cumplimentar todos los requisitos enunciados, con los materiales disponibles que hagan más económica la mezcla.-

En definitiva, el hormigón a elaborar debe cumplimentar simultáneamente los requisitos de trabajabilidad, resistencia mecánica, estabilidad dimensional, durabilidad y economía.-

### III MATERIALES COMPONENTES

#### III-1 CEMENTO PORTLAND

Las materias primas empleadas en su fabricación son la piedra caliza y arcilla con agregados de mineral de hierro y alúmina. Esta mezcla finamente pulverizada se somete a cocción a 1.500 ° C temperatura a la que comienza la fluidificación denominada "clinkerización"; en la que el material se aglomera en nódulos, obteniéndose luego por enfriamiento el clinker de cemento. El clinker mezclado con 2,5 a 5 % de yeso cristalizado y molido muy finamente es el cemento portland.-

Los componentes del clinker son principalmente calcio, silicio, aluminio, hierro, combinados en silicatos y aluminatos. Los compuestos principales del cemento son el silicato tricálcico (SC<sub>3</sub>); el silicato bicálcico (SC<sub>2</sub>); el aluminato tricálcico (AC<sub>3</sub>) y el ferrito aluminato tetracálcico (FAC<sub>4</sub>). En general, la suma de los porcentajes de silicato tricálcico y silicato bicálcico, en los diversos tipos de cementos varía entre 70 y 80 %.-

Cada uno de los componentes descritos tienen distintas propiedades. La proporción en que intervienen en el cemento y el grado de molienda de éste influyen sobre la resistencia, rapidez de endurecimiento y durabilidad del hormigón.-

En estructuras de grandes masas, se debe tener especial atención sobre el desarrollo de calor de hidratación que depende también de la referida composición.-

### III-2 AGREGADOS

Los agregados ocupan, generalmente, entre el 60 y el 80 % del volumen de la mezcla influenciando las propiedades del hormigón tanto en el estado fresco como endurecido. Deben cumplimentar requisitos de resistencia, dureza, durabilidad y limpieza. Deben estar libres de sustancias químicas, orgánicas, capas de arcilla u otros materiales que puedan afectar la unión con la pasta cementicia, o la hidratación del cemento. Particular importancia tiene detectar la presencia de agregados que reaccionan químicamente con los álcalis del cemento, fundamentalmente en estructuras que sufran alternativas de mojado y secado (ejemplo típico: obras hidráulicas).-

Los áridos, por su tamaño, se dividen en áridos finos y áridos gruesos.-

Arido Fino Material que pasa tamiz de 4,8 mm (Nº4) y es predominantemente retenido en el tamiz de 74 micrones (Nº 200). Puede provenir de la desintegración natural y desgaste de las rocas (arena natural) o se obtiene mediante la trituración de ellas (arena de trituración).-

Arido Grueso Material granular retenido por el tamiz de 4,8 mm. Puede provenir de la desintegración natural o desgaste de las rocas (grava o canto rodado) y puede obtenerse mediante la trituración de rodados de gran tamaño (grava partida) o por trituración de rocas sanas (piedra partida o pedregullo).-

La forma, tamaño y granulometría de los agregados tienen marcada influencia en el hormigón fresco, influyendo en el costo. Las reglamentaciones y especificaciones fijan límites granulométricos entre óptimos y tolerables, atendiendo más a razones económicas que a las estrictamente técnicas.-

En efecto, las granulometrías defectuosas, con partículas de textura rugosa, chatas y alargadas, requieren más agua que los agregados redondeados o cúbicos, para producir un hormigón trabajable. Esto requiere un mayor consumo de cemento para mantener la calidad de la pasta, que -como veremos más adelante- gobierna la resistencia mecánica y otras propiedades deseables en el hormigón.-

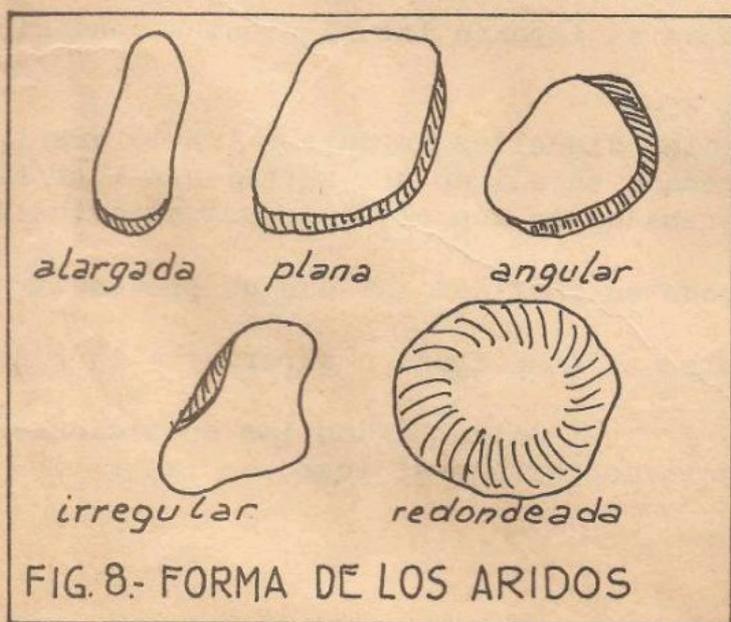


FIG. 8.- FORMA DE LOS ARIDOS

La figura 8 nos da una clasificación de los áridos -según su forma- dada por Mc Intosh. Los mejores áridos son aquellos que menos difieren de una esfera, sin son redondeados, o de un cubo si son angulosos.-

El PRAEH (Proyecto de Reglamento Argentino Para Estructuras de Hormigón) dice que "la razón entre el volumen de las partículas y el de las correspondientes esferas circunscriptas a ellas, se acercará, en todo lo posible a la unidad".-

Las normas españolas definen un coeficiente de forma mediante la expresión:

$$\text{Coef. de forma} = \frac{V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n}{\frac{\pi}{6} (d_1^3 + d_2^3 + \dots + d_n^3)}$$

donde :  $V_1, V_2, \dots, V_n$  = Volumen de cada grano, y

$d_1, d_2, \dots, d_n$  = Mayor dimensión de cada grano

Un alto coeficiente de forma corresponde a un árido redondeado o cúbico, según se trate de árido rodado o de trituración. El coeficiente de forma de una esfera es 1 y el de un cubo 0,37. Para grava entre 5 y 20 mm se considera que el coeficiente de forma es bueno cuando es superior a 0,20 y para grava de 20 a 40 mm, cuando es superior a 0,15.-

La resistencia a compresión de los agregados (muy en particular los de origen calizos o silíceos) es muy superior al de los hormigones que se elaboran con ellos. Si uno observa una probeta ensayada hasta la rotura, puede apreciarse que la fractura se produce en las zonas ricas en mortero, y en la unión de la masa cementante-árido.-

Por ello, para mejorar la resistencia mecánica de un hormigón, interesa lograr una adecuada adherencia de este par, eliminando del árido -en general por lavado- toda sustancia que afecte la citada adherencia. El P.R.A.E.H. fija los límites de tolerancias de las sustancias perjudiciales tanto para el árido fino como para el grueso.-

### III-3.- AGUA

La mayoría de las normas establecen que, tanto para el amasado como para el curado de un hormigón, se podrán utilizar todas las aguas sancionadas como aceptables por la práctica. Esta sanción lo será en función de buenos resultados obtenidos con materiales análogos y en circunstancias muy similares al caso en el que se desea usar el agua en cuestión.-

Un agua puede haber sido perfectamente apta para hormigón en masa y ser totalmente inadecuada para hormigón pretensado o simplemente armado.-

Para el agua de amasado se imponen las siguientes condiciones:

- a) Que el PH sea igual o superior a 5.-
- b) Que el contenido total de sustancias disueltas no supere los 15 grs/lit.
- c) Que el contenido de sulfato expresado en  $SO_4$  no sea superior a 1 gr/lit.
- d) Que el contenido de cloruros expresados en ión cloro no sea superior a 6 Grs/litro.-
- e) Que no contenga hidratos de carbono en cantidad tal que su presencia sea apreciable.-
- f) Que no contenga sustancias solubles en éter igual o superior a 15 grs/litro.-

Las imposiciones de a a f salvaguardan las condiciones adecuadas de fraguado y endurecimiento, asegurando el logro de las resistencias previstas.-

Las imposiciones b, c y d evitan la posibilidad de efervescencias.-

Las imposiciones c y d tienden a evitar -al máximo- la corrosión de las armaduras y como lógica consecuencia la pérdida de adherencia en los hormigones armados y pretensados.-

La imposición c por si sola, trata de prevenir posibles expansiones y destrucciones del hormigón.-

Las imposiciones e y f se orientan a impedir perturbaciones, como ser excesivos retrasos o inhibiciones en el fraguado.-

La imposición f garantiza una buena hidratación y adherencia. Además evita la inclusión incontrolada de aire en el hormigón.-

Las aguas de mar o salinas podrá emplearse en hormigones en masa no armados.-

El cumplimiento de las condiciones expuestas se determina mediante ensayos normalizados de laboratorio.-

Con respecto al agua de curado, es necesario advertir que es más perjudicial emplear aguas inadecuadas para este fin que hacerlo para el amasado. En el amasado se pueden producir resistencias menores a las esperadas. Si a pesar de ello, la merma de resistencia que se produce, es tolerable, no hay inconvenientes en su uso, siempre que se compruebe de manera especial que no alteran perjudicialmente otras propiedades exigibles al hormigón. Además, toda merma prevista de resistencia se puede contrarrestar con un aumento en el contenido de cemento al dosificar en obra.-

Las aguas de curado inadecuadas, pueden ser nocivas por cuanto actúan sobre un hormigón ya fraguado y en proceso de endurecimiento, pudiendo producir efectos expansivos destructivos.-

#### IV.- TERMINOLOGIA USADA EN EL ESTUDIO DE HORMIGONES

Definiremos algunos términos usuales en la Tecnología del Hormigón, principalmente en el cálculo de dosificaciones:

- a) Pasta cementicia : Mezcla de agua y cemento
- b) Mortero : Mezcla de pasta cementicia y arena
- c) Hormigón: Mezcla de mortero y agregado grueso
- d) Asentamiento: Descenso en cm. que experimenta una mezcla fresca de hormigón compactada -de acuerdo a norma- en el interior del cono de Abrams cuando el mismo es retirado.-
- e) Pesos Específico (PE) Es el peso de la unidad de volumen ocupado por las partículas sólidas de un material pulverulento o granular. Es decir es decir que no se tienen en cuenta los vacíos entre partículas.-
- f) Peso unitario del agregado grueso compactado (FUAGC) Es el cociente entre el peso del agregado grueso seco que llena por compactado -de acuerdo a norma- un recipiente, y el volumen conocido de éste (aquí se tiene en cuenta el volumen de vacíos entre partículas).-
- g) Humedad de absorción : Previo a la definición de este término diremos que toda partícula de agregado tiene poros en contacto con el exterior y por ende una capacidad potencial de absorber agua cuando estos poros

están completamente secos.-

Esto nos lleva a considerar estados de las partículas de agregados en relación a la cantidad de agua que retienen en sus poros (Fig 9 ).-

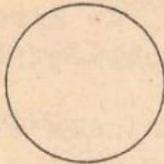
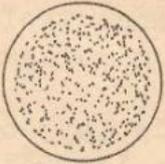
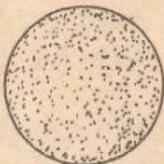
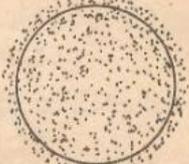
ESTADO	seco	secado al aire	saturado y superficie seca.	sobresaturado
				
CONTENIDO DE HUMEDAD	ninguno	menos que su absorción potencial	igual que su absorción potencial.	mayor que su absorción potencial.

FIG. 9      CONDICIONES DE HUMEDAD DE UN AGREGADO.-

Seco Cuando se seca en estufa hasta peso constante, es decir, hasta que se elimina toda el agua de los poros exteriores.-

Secado al aire En este estado retiene algo de agua, pero no lo que potencialmente es capaz de absorber. Los poros están parcialmente saturados.-

Saturado y superficie seca En este estado todos los poros exteriores están completamente llenos de agua pero su superficie está seca. Las partículas - en este estado - dentro de la masa de un hormigón, no incrementan ni quitan agua de mezclado.-

Sobresaturado Cuando el agua no sólo colmata los poros sino que forma una película alrededor de las partículas.-

Ahora podemos definir como humedad de absorción el peso de agua que retiene un agregado cuando se encuentra en el estado de saturado y superficie seca, referido porcentualmente al peso del mismo agregado en estado seco.-

- h) Módulo de Fineza Es un número abstracto que resulta de dividir por 100 la suma de los porcentos retenidos acumulados del material en estudio, cuando se la hace pasar por una serie normalizada de tamices. Dicha serie, en la que las aberturas lineales de las mallas de dos tamaños consecutivos están en la relación 1 a 2 es la que se detalla seguidamente. Usaremos la denominación I.R.A.M. y entre paréntesis la correspondiente a la A.S.T.M.:

0,149 mm (N°100); 0,297 mm(N°50); 0,590 mm(N°30); 1,2 mm (N°16); 2,4 mm(N°8); 4,8 mm(N°4); 9,5 mm(3/8"); 19 mm(3/4"); 38 mm(1 1/2"); 76 mm (3") y mayores, de aberturas crecientes en la relación 1 a 2. El tamiz de 4,8 mm (N°4) es el que separa el árido grueso del árido fino.-

Este número propuesto por Abrams, da una idea muy exacta de las características granulométricas de un árido y en el caso de las arenas o árido fino, permite clasificarlas en finas cuando el módulo de fineza es menor que 2, medianas cuando este módulo está comprendido entre 2 y 2,6 y gruesas cuando el módulo de fineza es superior a 2,6.-

De la serie normalizada, arriba señalada, los correspondientes a las arenas son seis. En cada uno de ellos debemos computar que quedan retenidos un 100 % de cualquier árido grueso. Por ello al determinar el módulo de fineza de un árido grueso, a los porcentajes retenidos acumulados de este tipo de material, hay que sumarle 500 o 600, según tenga o no material que pase por el tamiz de 4,8 mm (N°4). Agreguemos que -también por lo expuesto- el módulo de fineza de un agregado grueso, no puede ser inferior a 6.-

- 1) Granulometría de un agregado es la composición por tamaño de sus partículas componentes. Su análisis se efectúa haciendo pasar una cantidad especificada del material en estudio (que depende del tamaño mayor de las partículas) por una serie normalizada de tamices. Los resultados de este análisis pueden volcarse en un sistema de ejes coordenados ortogonales. En abscisas (generalmente en escala logarítmica) se toman las aberturas de los tamices y en ordenadas, los porcentajes retenidos o pasantes de la muestra original. La curva resultante nos da una buena información sobre la calidad de los áridos. (Figlo).-

Su forma (correspondiente al agregado total) constituye un indicio importante sobre la trabajabilidad de la mezcla.-

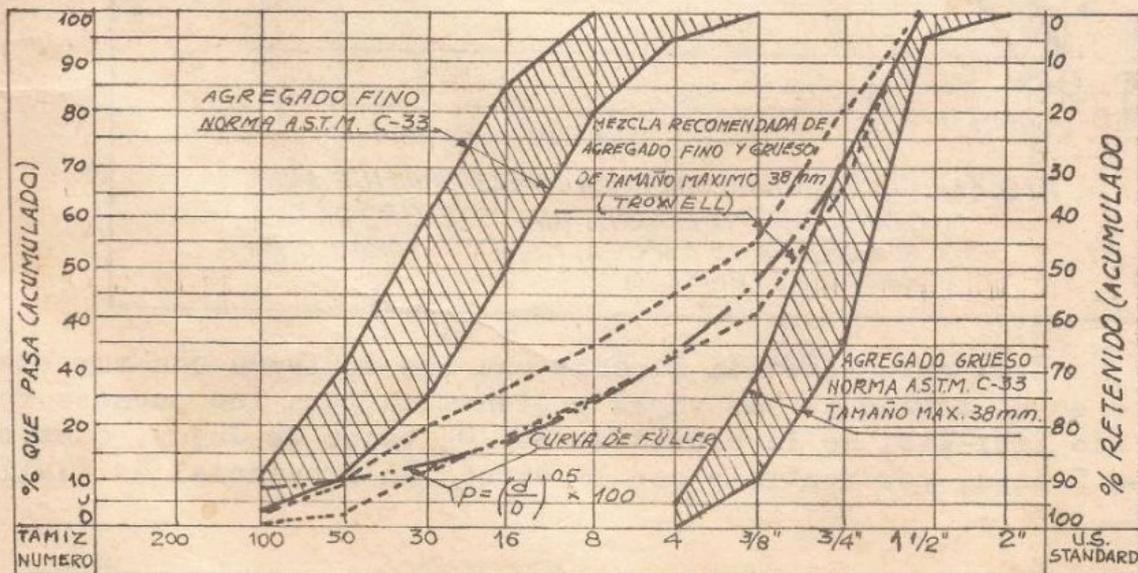
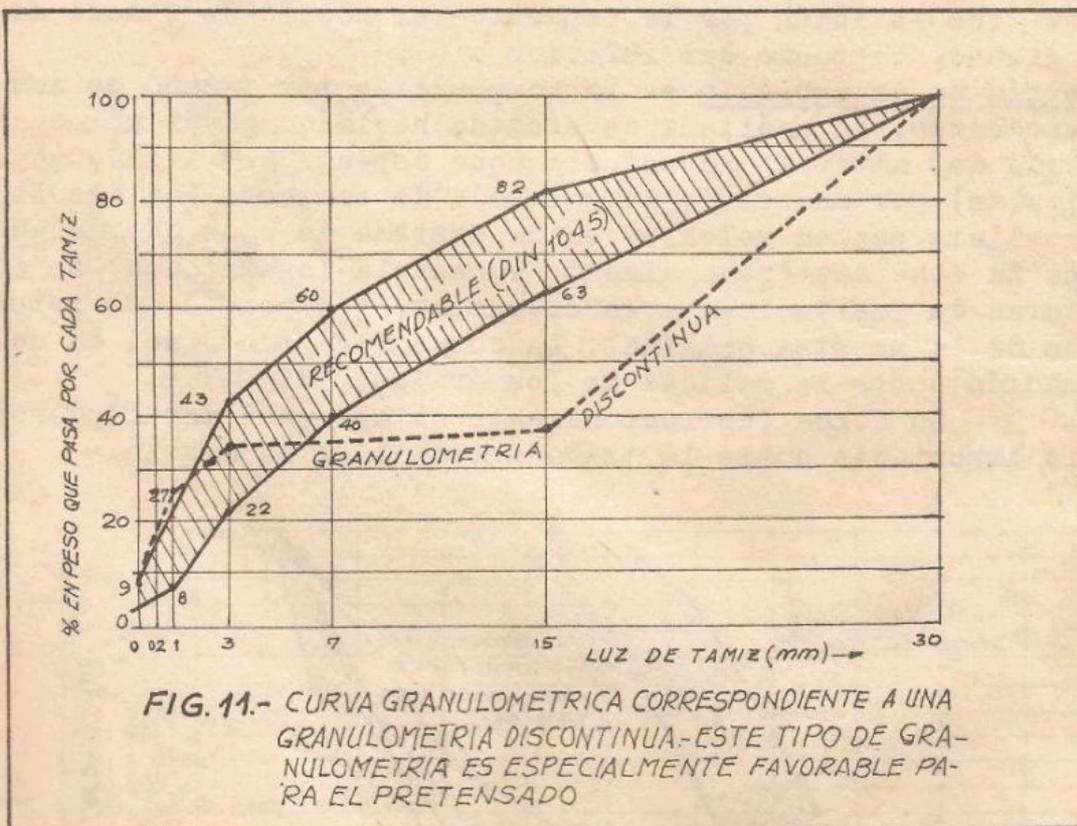


FIG. 10. GRAFICO GRANULOMETRICO

Weymouth determinó que la mejor trabajabilidad se logra cuando las partículas de cada tamaño tienen lugar suficiente para moverse en el espacio dejado por las partículas subsiguientes mayores, condición que se cumple cuando la curva granulométrica responde analíticamente a una fórmula similar a la estudiada por Fuller, correspondiente a la de mínimos vacíos.-

Para uso especial en hormigón pretensado, el profesor Leonhardt, partiendo del concepto de que en este tipo de estructuras tiene importancia, no sólo la resistencia mecánica, sino otras propiedades del hormigón, como ser la retracción y fluencia (que deben ser pequeñas) analizó el efecto favorable que, a tales fines, tiene la granulometría discontinua. Con tales granulometrías, la superficie de áridos a adherir con una determinada cantidad de cemento es mucho menor, ya que la proporción de granos gruesos, es mayor que en el caso de mezclas realizadas según curvas granulométricas continuas.- (Fig 11).-



La granulometría discontinua fue empleada con muy buenos resultados en el moldeo de las vigas pretensadas para los puentes que, sobre el Río Xibi-Xibi de la ciudad de San Salvador de Jujuy, construyó la Empresa Dycasa, por contrato con la Dirección Provincial de Vialidad.-

V.- ENSAYOS DE LOS MATERIALES COMPONENTES DEL HORMIGON DESTINADOS A CONOCER LAS CARACTERISTICAS DE LOS MISMOS NECESARIAS PARA EL CALCULO DE DOSIFICACIONES RACIONALES

Como tarea previa al estudio de los métodos racionales de dosificación, describiremos los ensayos que nos aportarán datos sobre las características de los materiales componentes del hormigón y que intervienen en el citado estudio.-

V-1.- Cemento Portland - Peso específico (IRAM 1624)

Generalmente no se determina, puesto que podemos adoptar con suficiente aproximación el valor promedio de  $3.150 \text{ kg/m}^3$

V-2.- Agregado Fino

Del agregado fino determinaremos: absorción, peso específico y granulometría. Para las dos primeras características debemos llevar una muestra de la arena en estudio al estado de saturada y superficie seca. Para ello sobre una bandeja metálica se vierte una cierta cantidad de material mezclándolo uniformemente con agregado de agua hasta sobre saturación. Se llena con él un molde troncocónico (Fig.12) compactándolo hasta eliminar huecos (Fig13) Se confirma el estado de sobresaturación si al retirar el molde queda un bien formado cono de arena (Fig14). Se vuelve a mezclar el conjunto y se la seca brevemente con una corriente de aire caliente, repitiéndose el llenado, compactación y retiro del molde troncocónico. Cuando por primera vez se logra el desmoronamiento del cono de arena (Fig15) se considera que la muestra está en el estado de saturada y superficie seca.-

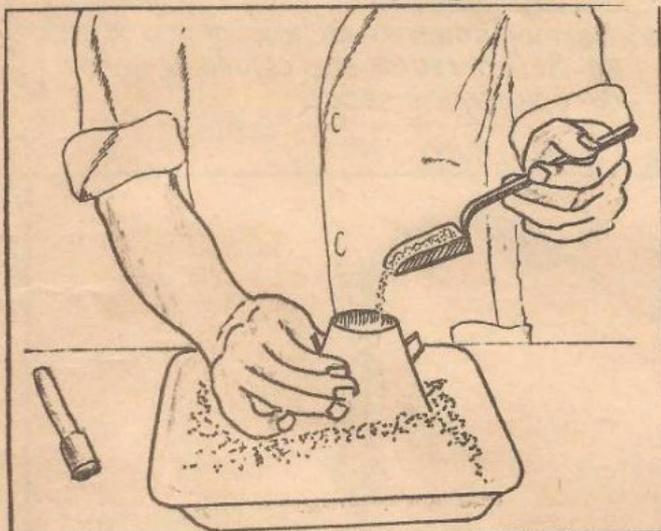


Fig.12.- Llenado del molde tronco-conico con arena.-

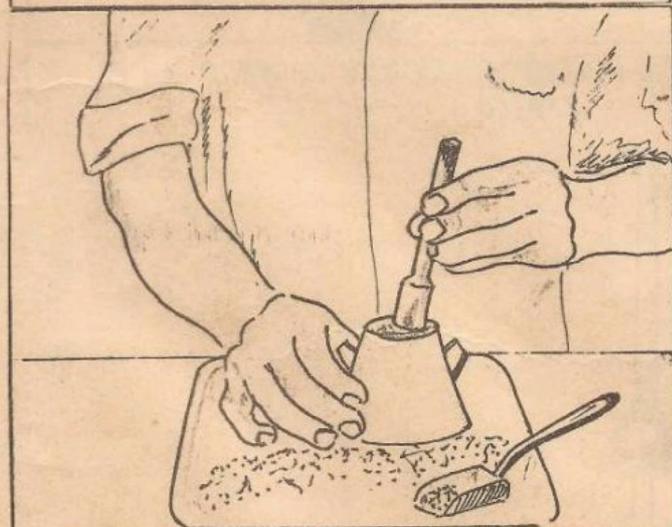


Fig.13.- Apisonado de la arena contenido en el molde.-

Se vuelve a mezclar el conjunto y se la seca brevemente con una corriente de aire caliente, repitiéndose el llenado, compactación y retiro del molde troncocónico. Cuando por primera vez se logra el desmoronamiento del cono de arena (Fig15) se considera que la muestra está en el estado de saturada y superficie seca.-

V- 2.- a) Humedad de Absorción (IRAM 1520)

Se toma una muestra de arena en el estado de saturada y superficie seca y se pesa (PH). Se lleva a estufa secándose hasta peso constante y se vuelve a pesar (Ps). La humedad de absorción se

se calcula entonces con la fórmula: absorción % =  $\frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$

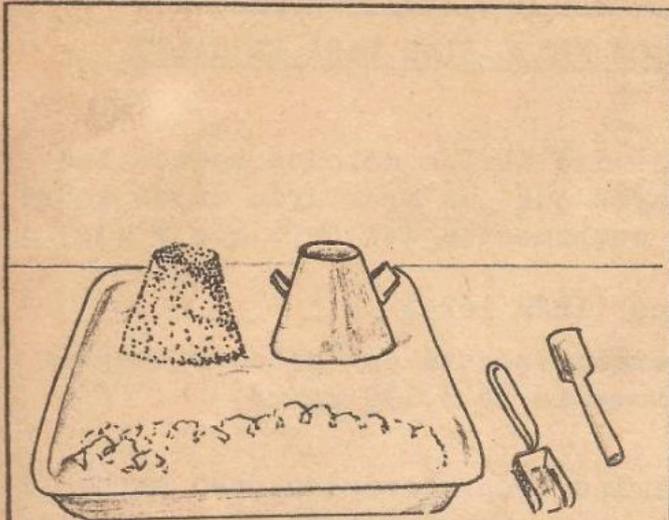


Fig. 14.- Arena con contenido de humedad superior a la de absorción

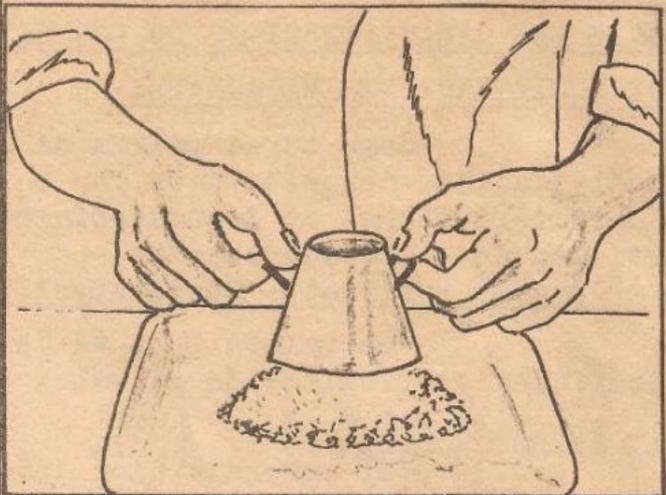


Fig. 15.- Desmoronamiento del tronco de cono de arena. Se la presume en el estado de saturada y superficie seca.

V - 2.- b) Peso específico de la arena (IRAM 1520)

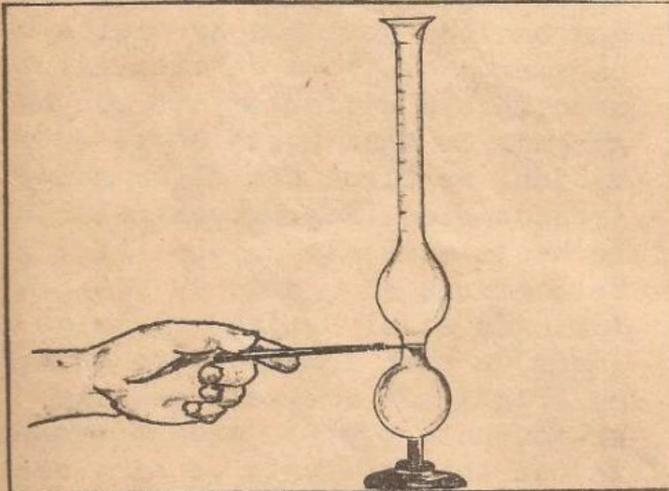


Fig. 16.- Frasco de Etapman con 200 cm<sup>3</sup> de agua.

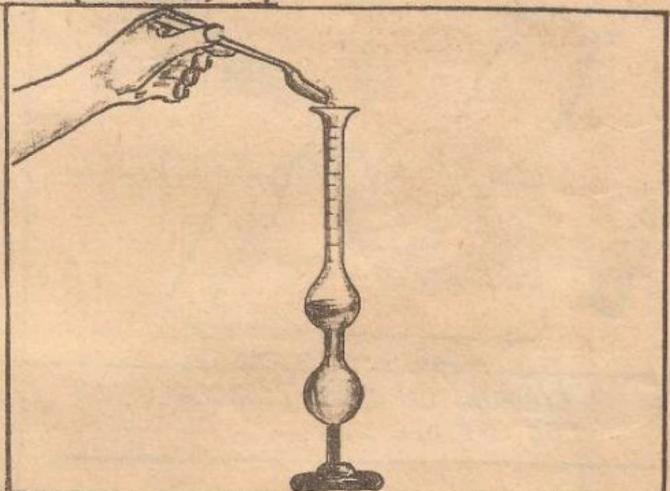


Fig. 17.- Introducción de la arena en el frasco.

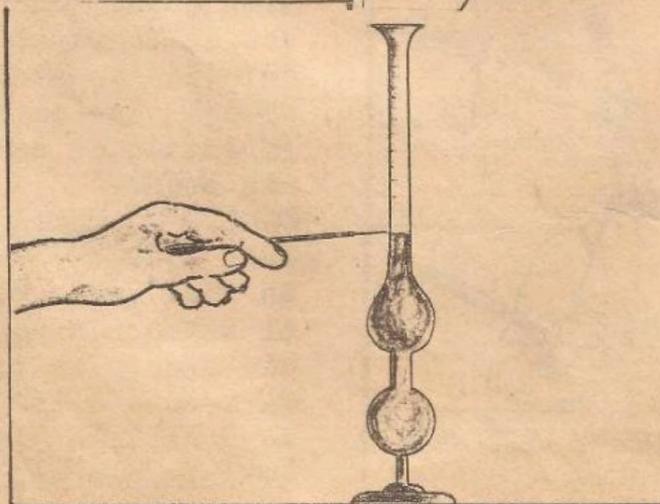


Fig. 18.- Lectura del volumen total ocupado por el agua y la arena en cm<sup>3</sup>.

Se determina con el frasco de Chapman que es un picnómetro provisto de dos recipientes esféricos separados por un estrechamiento en el que hay una marca correspondiente a un volumen de 200 cm<sup>3</sup>. Se llena el frasco con agua hasta la referida marca ( Fig16). Se pesan 500 gramos de arena en el estado de saturada y superficie seca , introduciéndola con sumo cuidado evitando que quede material adherido a las paredes del tubo superior graduado del frasco (Fig17). Después de eliminar las burbujas se efectúa una segunda lectura (Fig18) que corresponde al volumen total ocupado por el agua, más las partículas de agregado fino y -desde luego- el volumen correspondiente a las partículas de arena solamente será la diferencia entre la segunda y la primer lectura.-

El peso específico de la arena (saturada y superficie seca) será el cociente entre los 500 gramos que pesa la muestra y el volumen en cm<sup>3</sup> obtenido por la diferencia entre la lectura final e inicial en el frasco de Chapman.-

V- 2.- c) Granulometría de la arena IRAM 1505

Para su determinación se hace pasar 1 kg de la arena en estudio -en estado seco- por la serie normalizada de tamices a la que hicimos referencia al definir el concepto de módulo de fineza.-

Para cada tamiz de la serie, la cantidad en peso por él retenida, sumada a las retenidas en las anteriores , nos dá el peso retenido acumulado que dividido por el peso original de la muestra y multiplicado este cociente por 100, nos dá el porcentaje retenido acumulado en ese tamiz.-

La diferencia porcentual a 100, nos dá el porcentaje que pasa por dicho tamiz.-

Sean dos arenas cuyos análisis granulométricos (dados en función de los porcentos que pasan acumulados) sean los que se dan a continuación:

A R E N A	% que pasan acumulados-Tamices denomin. ASTM						
	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº16	Nº 30	Nº50	Nº 100
A	100	100	99	96	84	27	4
B	100	92	71	37	7	6	1

Los módulos de fineza se calculan de la siguiente manera se determinan

Tamices Standards A.S.T.M.	% Retenidos acumulados	
	ARENA A	ARENA B
3/8 "	0	0
Nº 4	0	8
Nº 8	1	29
Nº 16	4	63
Nº 30	16	93
Nº 50	73	94
Nº100	96	99
Módulo de Fineza	1,90	3,86

los porcentos retenidos acumulados en cada tamiz por diferencia a 100 con los porcentos acumulados que pasan. Se suman esos porcentos acumulados retenidos y se dividen por 100.-

La Arena A corresponde a las denominadas arenas finas MF < 2 y la Arena B corresponde a las denominadas arenas gruesas MF > 2,6.-

Estudiamos como pueden mezclarse estas arenas para obtener un material que se aproxime a curvas límites especificadas.-

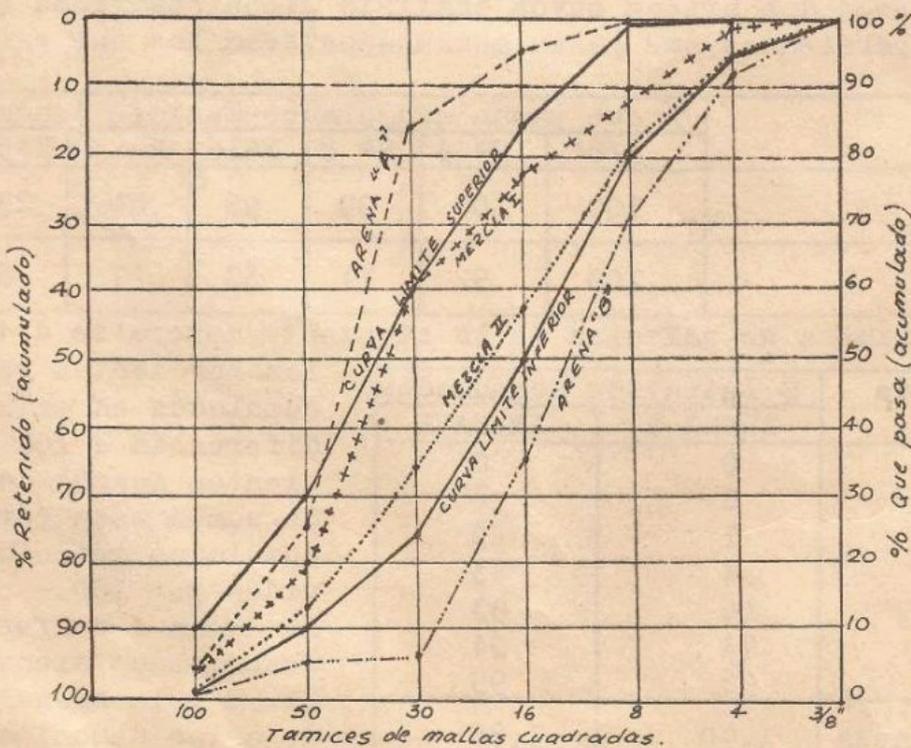
Mezcla I 69% de la arena A y 31% de la arena B

Mezcla II 35% de la arena A y 65% de la arena B

Tamiz A.S.T.M.		3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº-16	Nº 30	Nº 50	Nº100
Arena A		100	100	99	96	84	27	4
Arena B		100	92	71	37	7	6	1
Mezcla I	0,69 x A	69,0	69,0	68,4	66,3	58,0	18,6	2,8
	0,31 x B	30,7	28,5	22,0	11,5	2,2	1,9	0,3
	Suma	100	98	90	78	60	20	3
Mezcla II	0,35 x A	35	35	34,7	33,6	29,4	9,5	1,4
	0,65 x B	65	59,7	46,1	24,1	4,6	3,9	0,6
	Suma	100	95	81	58	34	13	2

La suma de los porcentajes calculados se redondean al entero más próximo.-

Los módulos de finiza calculados en la forma ya vista dieron los siguientes valores: Mezcla I,  $MF_1=2,51$ ; Mezcla II,  $MF_2=3,17$



Vemos que las dos mezclas han quedado encuadradas dentro de los límites especificados que -en este caso- corresponden a las normas A.S.T.M. C -33 -57.-

### V-3.- Agregado Grueso

De este material determinaremos absorción, peso específico, peso unitario compactado y granulometría (módulo de fineza y tamaño máximo).-

#### V-3.- a) Absorción del agregado grueso: (IRAM 1533)

Al estado de saturado y superficie seca, se lo lleva a este agregado sumergiendo la muestra en agua durante 24 horas y luego secándola pieza por pieza inmediatamente luego de retirarla del agua (Fig 19).-

Se toma una muestra del material así tratado y se pesa (Ph).-

Luego se lleva a estufa y se seca hasta peso constante (Ps).-

La humedad de absorción se determina por:

% absorción =

$$\frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100$$

#### V- 3.- b) Peso específico del agregado grueso (IRAM 1533)

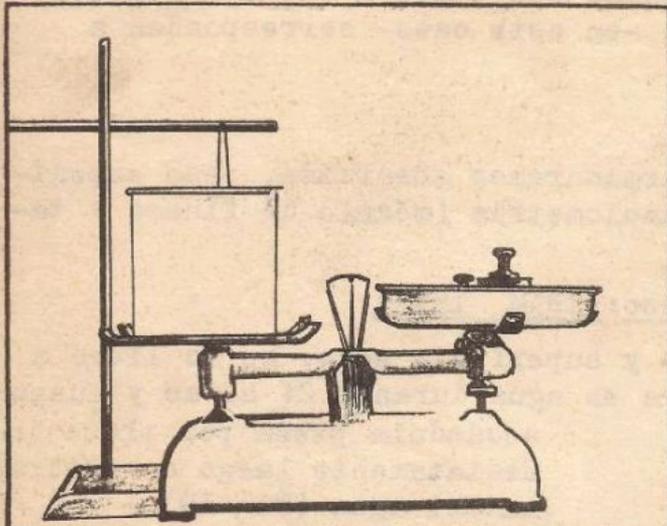
Se hace uso del conocido principio de Arquímedes referente al empuje de abajo hacia arriba que recibe un cuerpo sumergido en un líquido y cuyo valor es igual al peso del volumen líquido desalojado.- Conociendo el peso específico del líquido (en nuestro caso

agua cuyo peso específico es 1) el valor absoluto del peso de líquido desalojado en Kg. es coincidente con el de su volumen en litros y a su vez, ese volumen líquido desplazado, es igual al volumen sólido de las partículas sumergidas.-

Resumiendo, el procedimiento es el siguiente: Se colocan en el platillo de una balanza, un recipiente conteniendo agua,



Fig.19.- *Secado superficial de las partículas de agregado grueso.-*

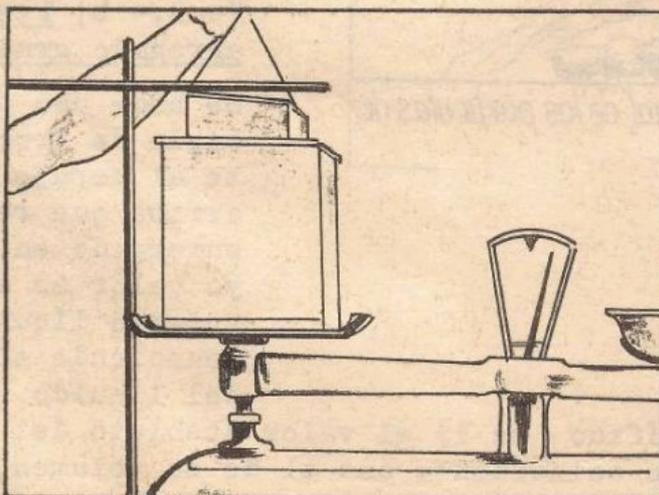


*Fig.20 Balanza usada para determinar el volumen de las partículas sólidas de la muestra, equilibrada con el recipiente con agua y la canastilla vacía.-*

se introduce en él, colgado de un dispositivo adecuado, un canastillo de alambre vacío (para tener en cuenta el empuje sobre él) equilibrando el peso del conjunto mediante pesas colocadas en el segundo platillo (Fig. 20). Se pesan al aire 5 kg. de agregado grueso saturado y superficie seca. Se coloca la muestra en el canastillo arriba descrito y se la introduce dentro del recipiente con agua (Fig. 21). La acción del empuje sobre la muestra desequilibra la balanza lo que hace necesario agregar pesas en el platillo correspondiente para lograr un nuevo equilibrio del conjunto.-

El peso que es necesario agregar es exactamente el empuje provocado por las partículas de piedra sumergidas en el agua, y por lo antes dicho representa su volumen absoluto.-

El peso específico - en consecuencia- será el cociente entre el peso de la muestra en el aire (5 kg) y el volumen absoluto de sus partículas determinado en la forma descripta.-



*Fig.21 Colocación de la canastilla que contiene el agregado grueso en el interior del recipiente con agua.-*

V- 3.- c) Peso unitario del agregado grueso compactado P.U.A.G.C.  
(IRAM 1548)

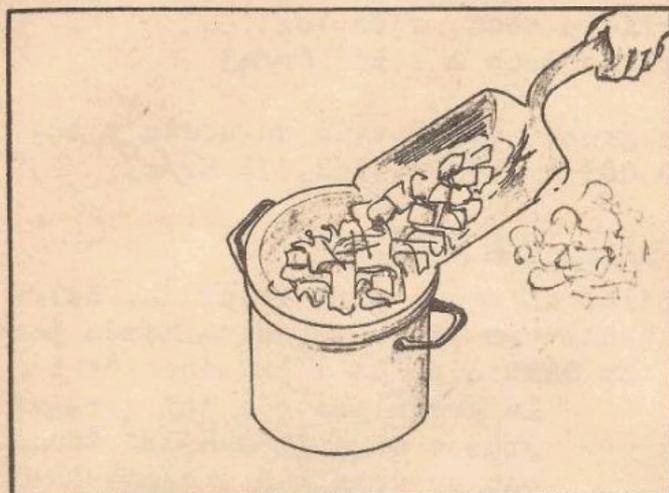


Fig. 22. Llenado del recipiente de peso y volumen conocido con el agregado grueso.-

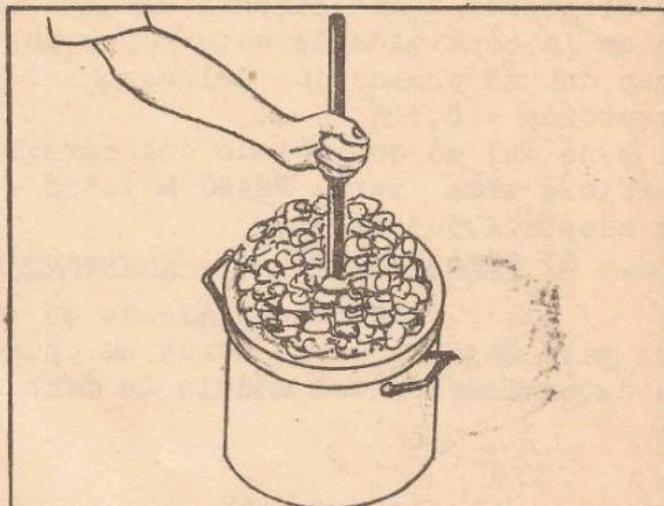


Fig. 23. Compactación por varillado del agregado grueso.-

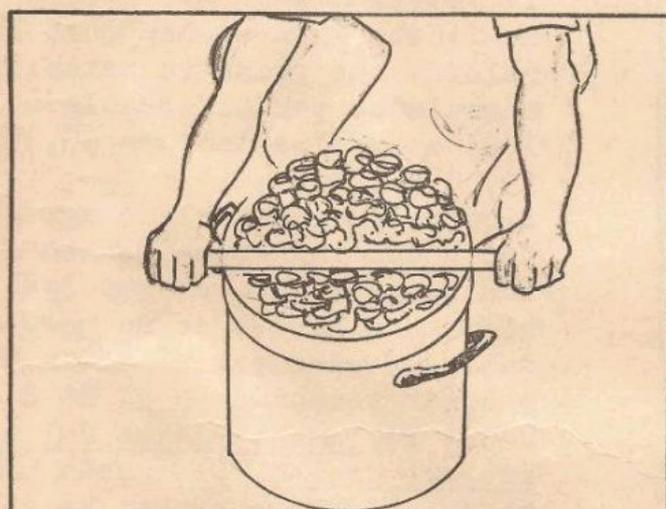


Fig. 24. Enrasado con regla metálica de la superficie del agregado grueso compactado.-

Se utiliza un recipiente cilíndrico de paredes rígidas cuyo volumen y peso se conocen con precisión. Se llena el recipiente con el agregado grueso seco en tres capas iguales (Fig 22) y se lo compacta con una varilla de hierro liso de  $\phi$  16 mm redondeado en la punta, mediante 25 golpes por capa (Fig 23). Se enrasa la superficie (Fig 24) de modo que el material ocupe lo más ajustadamente posible, el volumen total del cilindro y se pesa.-

Restando el peso del recipiente cilíndrico obtenemos el peso del agregado grueso compactado dentro de él.-

El cociente entre este peso y el volumen del recipiente que lo contiene nos da el valor del peso de la unidad de volumen del

agregado grueso compactado seco.-

Conocido el valor de la absorción del agregado grueso, puede conocerse sencillamente el peso unitario del agregado grueso compactado en la condición de saturado y superficie seca. Ejemplo:

Peso del m<sup>3</sup> compactado del agregado grueso seco = 1.558 Kg/m<sup>3</sup>

absorción = 0,3 %

El peso del m<sup>3</sup> compactado del agregado grueso compactado saturado y superficie seca sera  $PUAGC = 1.558 + 0,003 \times 1.558 = 1562,674$  Kg/m<sup>3</sup>

se adopta 1.563 kg/m<sup>3</sup>.-

V-3.- d) Granulometría del agregado grueso (IRAM 1505)

El procedimiento es similar al usado para la arena, salvo que para ésta la serie usada es coincidente con la serie normalizada para la determinación del módulo de fineza. En cambio en la determinación de

la granulometría del agregado grueso se utilizan los tamices que se detallan a continuación (Fig 25): 76 mm (3"); 63 mm (2, ½"); 51 mm (2"); 38 mm (1, ½"); 25 mm (1"); 19 mm (¾"); 9,5 mm (⅜") y 4,8 mm (N° 4).-

V-3.- e) Módulo de fineza En la determinación del módulo de fineza intervienen sólo los valores que pasan (o retenidos acumulados por diferencia a 100) sobre los tamices 76, 38, 19, 9,5 y 4,8 mm.-

Recordamos que hay que agregar 500 o 600 correspondientes a los tamices menores que ⅜" según que haya o no un porcentaje que pase por el tamiz N° 4 y quede retenido en el N° 8.-

V-3.- f) Tamaño máximo del agregado grueso El tamaño máximo del agregado grueso se define como el correspondiente a

la abertura del tamiz por el que pasa no menos del 95 % de la muestra en estudio.-

En función del tamaño máximo del agregado grueso damos los valores límites de la granulometría recomendados por el PRAEH (Proyecto de Reglamento Argentino para Estructuras de Hormigón.-

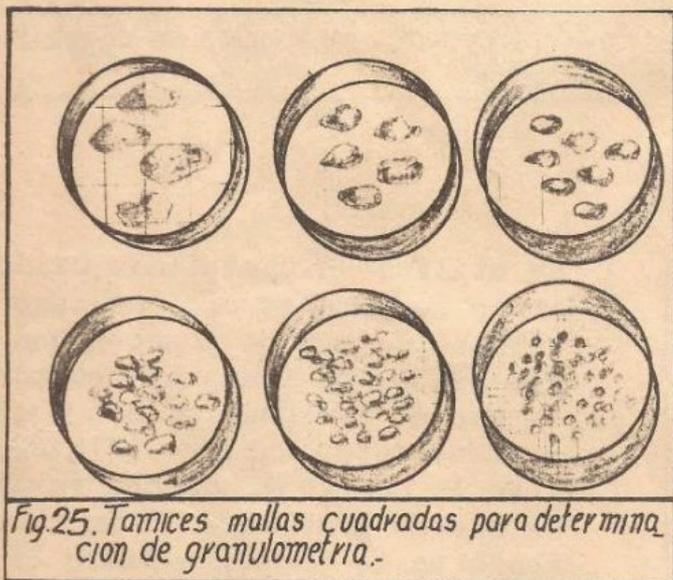


Fig. 25. Tamices mallas cuadradas para determinación de granulometría.-

Tamaño Nominal mm	Porcentajes acumulados, en peso, que pasan por los tamices IRAM de mallas cuadradas							
	2 1/2 63 mm	2" 51 mm	1 1/2" 38 mm	1" 25 mm	3/4" 19 mm	1/2" 13 mm	3/8" 9,5 mm	Nº 4 4,8 mm
51 a 5	100	95-100	-----	35-70	-----	10-30	-----	0-5
38 a 5	-----	100	95-100	-----	35-70	-----	10-30	0-5
25 a 5	-----	-----	100	95-100	-----	25-60	-----	0-10
19 a 5	-----	-----	-----	100	90-100	-----	20-55	0-10
13 a 5	-----	-----	-----	-----	100	99-100	40-70	0-15
51 a 25	100	90-100	35-70	0-15	-----	-----	-----	-----
38 a 19	-----	100	90-100	20-55	0-15	-----	0-5	-----

En el moldeo de los tubos del túnel Hernandarias, el agregado / grueso se dividió en dos tamaños; de 32 a 15 mm y de 15 a 4,8 mm. El ensayo granulométrico arrojó los siguientes resultados:

TAMICES IRAM Mallas de aberturas cuadradas	ARIDO GRUESO CHICO		ARIDO GRUESO GRANDE	
	% que pasa acumulado	% retenido acumulado	% que pasa acumulado	% retenido acumulado
38 mm ----- 1 1/2"	100	0	100	0
25 mm ----- 1"	100		74	
19 mm ----- 3/4"	100	0	29	71
12,7 mm ----- 1/2"	83		2	
9,5 mm ----- 3/8"	42	58	0	100
4,8 mm ----- Nº 4	6	94	0	100
Sumar en concepto de los cinco tamices restantes de la serie		.500		500
TOTAL		652		771

Se tienen en cuenta los valores correspondientes a la serie normalizada de tamices para la determinación del módulo de fineza.-

Los correspondientes módulos de fineza fueron 6,52 para el árido grueso chico y 7,71 para el árido grueso grande. Se los mezcló en las proporciones adecuadas para obtener un módulo de fineza del agregado grueso total, comprendido entre 6,90 y 7,10.-

Si se mezclara 60 % en peso de un árido grueso de módulo de fineza 7,2 y 40 % de árido fino de módulo de fineza 2,8, el módulo de fineza de la mezcla se calcula de la siguiente manera:

$$MF \text{ mezcla} = 0,60 \times 7,20 + 0,40 \times 2,8 = 5,44$$

## VI - DOSIFICACION DE HORMIGONES

### VI - 1.- Importancia del Tema - Algunas reglas básicas

El conocimiento de este tema es de fundamental importancia para proyectistas y directores de obra. Permite a los primeros, especificar la clase de hormigón que cumpla con las condiciones básicas de resistencia mecánica y durabilidad para la obra en estudio y a los segundos confeccionar los hormigones especificados con los materiales más aptos disponibles en el lugar de emplazamiento, atendiendo tanto a razones técnicas como económicas.-

En el año 1915, los fabricantes de cemento de los EE.UU. a través de la Portland Cement Association confían al Profesor Duff Abrams, del Lewis Institute de Chicago una serie de estudios experimentales sobre el hormigón. En el año 1918 se produce la aparición de la primera publicación con el resultado de los ensayos bajo el título "Estudios de Mezclas Para Hormigones". Este trabajo avalado por cincuenta mil ensayos iniciaba una nueva era en la tecnología del hormigón. Entre otros, el concepto que habría de revolucionar los conocimientos de la ingeniería del hormigón y que dice "Dados los materiales para la confección de un hormigón y las condiciones de ensayo, la cantidad de agua de elaboración, determina la resistencia del hormigón mientras la mezcla tenga una plasticidad que la haga trabajable". En las condiciones de ensayo se involucran los métodos de elaboración y colocación, condiciones de temperatura y humedad en que el hormigón es curado, que son propias de cada obra en particular.-

La apreciación de la calidad del hormigón, lo fue en relación a su resistencia a la compresión. Representó gráficamente la función que ligaba la resistencia a la compresión con la relación agua de mezclado a cemento y encontró una curva cuya expresión matemática responde a la siguiente fórmula  $\sigma_{bm} = \frac{A}{B \cdot w/c}$  donde A y B son constantes que dependen del tipo y granulometría de los agregados, consistencia, tipo y calidad del cemento, edad, condiciones de curado, etc.-

Abrams originalmente tomó la relación agua/cemento en volumen, pero en el desarrollo de las posteriores investigaciones -por razones de simplicidad- se la expresa en peso.-

Además esta ley fue generalizada aplicándosela igualmente para esfuerzos de flexión, tracción, adherencia entre hierros y hormigón y resistencia al desgaste. Otras investigaciones demostraron que la impermeabilidad y resistencia a la alteración debida a condiciones de exposi-

ción dependen también de la relación agua/cemento.-

Cuando se refiere a la plasticidad que haga trabajable la mezcla, limita la validez de la ley dejando fuera de ella a aquellas mezclas muy secas que no pueden ser adecuadamente compactadas, y también a aquellas muy fluidas que segregan al manipularse.-

Un lógico razonamiento nos permite comparar la pasta cementicia con una cola en frío usada en carpintería. Sabemos que para su uso ésta se diluye en agua y que a medida que se adiciona más agua, su poder adhesivo disminuye. Las experiencias de Abrams prueban que este simple concepto también es aplicable para mezclas de hormigón de cemento portland.

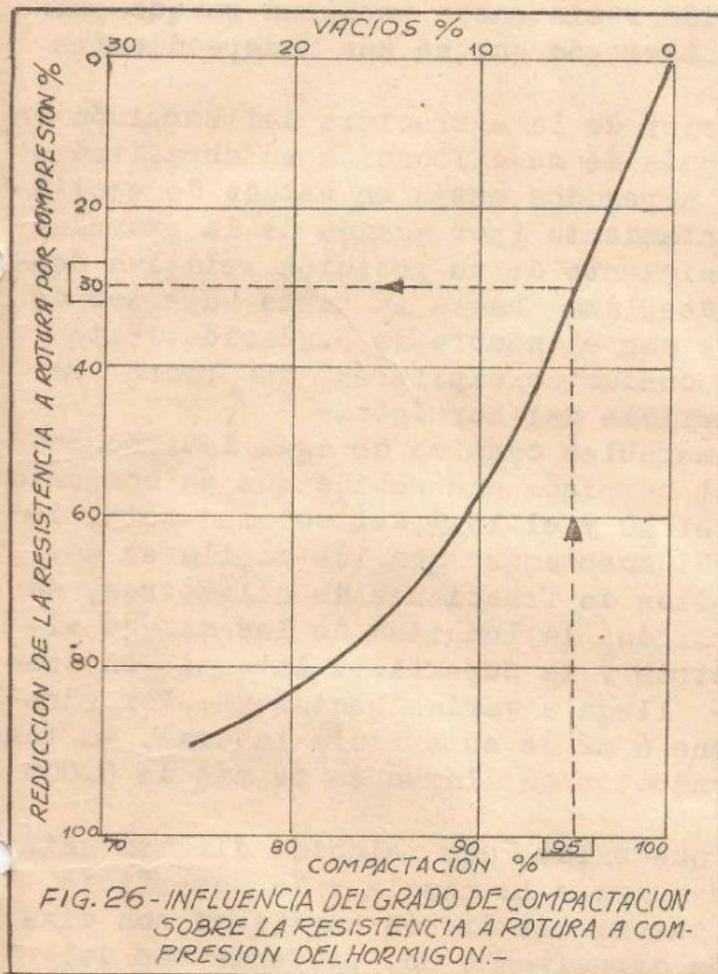


FIG. 26 - INFLUENCIA DEL GRADO DE COMPACTACION SOBRE LA RESISTENCIA A ROTURA A COMPRESION DEL HORMIGON.-

Es muy común confundir el concepto de la relación agua/cemento asociando las bajas relaciones - y por ende las mayores resistencias - a los hormigones de consistencia seca (bajo asentamiento) y las altas relaciones agua/cemento (baja resistencia) a las mezclas más fluidas (alto asentamiento).-

Esta confusión induce a especificar hormigones secos para obtener altas resistencias, en estructuras que por sus características (deforma, medios disponibles para colocación y densificación, concentración de armaduras, etc.) hacen necesario el empleo de mezclas más fluidas. Paradójicamente este hormigón al no poderse densificar adecuadamente disminuye su capacidad resistente a la compresión como puede observarse en el gráfico (Fig. 26) resultado de investigaciones de W.H. Granville del Road Research Laboratory. En efecto, basta que la compactación lograda alcance solamente el 95 % de la proyectada, para que la

resistencia a la compresión se reduzca en un 30 %.-

La relación agua/cemento (sinónima de la calidad de la pasta) es un cociente que se mantiene constante, siempre que una variación porcentual del dividendo se corresponda con una misma variación porcentual del divisor. Por ejemplo, un hormigón con un contenido unitario de agua de 165 l/m<sup>3</sup> y 330 kg de cemento por m<sup>3</sup>, tiene una relación agua cemento

$$a/c = \frac{165}{330} = 0,5$$

Si por razones de trabajabilidad es menester aumentar su movilidad incrementándose el contenido de agua -por ejemplo- en un 5 % con lo que se

llega a  $173 \text{ l/m}^3$ , el contenido de cemento necesario para mantener la relación agua-cemento se incrementará también en un 5 % llegando a  $346 \text{ kg/m}^3$ . El hormigón original se redosificará -como se verá más adelante- para equilibrar los volúmenes absolutos de los componentes de mortero. La resistencia a la compresión de ambas mezclas son iguales, lo que demuestra -que dentro del ámbito de las mezclas plásticas- se pueden lograr hormigones de la misma resistencia mecánica, con distintos grados de fluidez, propiedad que permite adecuar la consistencia a los elementos disponibles para colocación y consolidación sin sacrificio de la citada resistencia mecánica.-

Enfatizamos la expresión resistencia mecánica porque existen otras cualidades importantes del hormigón que no son independientes del grado de fluidez.-

En efecto, en el interior de la estructura del hormigón en estado plástico, inmediatamente después de su colocación en obra, todas las partículas sólidas de cemento y agregados están en estado de equilibrio inestable. Al producirse el asentamiento (por acción de la gravedad de todas estas partículas, con mantenimiento de su posición relativa dentro del conjunto) parte del agua se desplaza hacia la parte superior de la estructura, fenómeno que se conoce con el nombre de exudación. Esto provoca la formación de una serie de conductos capilares, que ponen en comunicación el interior con la superficie del hormigón.-

Estos pequeños e innumerables canales de agua interconectados, constituyen una red dentro del hormigón endurecido que en conjunto ocupan un volumen comprendido entre el 10 y el 15 % del volumen total de hormigón (o sea de  $100 \text{ a } 150 \text{ dm}^3$ ). Si aceptamos que los capilares que forman la red tienen diámetros promedios de fracciones de milímetros, se deduce que en un metro cúbico de hormigón, la longitud de los mismos alcanza a la decena de miles de kilómetros y la superficie lateral -en contacto con la superficie de hormigón- llega a varias hectareas. Por ejemplo un cubo de un metro de lado tiene  $6 \text{ m}^2$  de superficie lateral, en tanto que la superficie total de los conductos capilares es de más de  $6.000 \text{ m}^2$ .-

De lo anterior surge que existe una relación directa entre la cantidad total de agua que se incorpora a la mezcla y la superficie de la red de capilares. Teniendo en cuenta que dichos capilares son vías de acceso y circulación para líquidos agresivos o no, provenientes del medio exterior, también hay relación directa entre la cantidad total de agua y la durabilidad de la masa endurecida o sea su resistencia al ataque de los agentes externos agresivos.-

En resumen, salvo que se adopten ciertas precauciones, como ser disminución de la relación agua/cemento, incorporación intencional de aire, puede afirmarse que si bien pueden obtenerse hormigones de la misma resistencia mecánica con diferentes grados de consistencia, **los hormigones más fluidos serán más vulnerables a la acción deteriorante de los agentes agresivos exteriores (climáticos, físicos o químicos) que los más densos.**-

Desde un punto de vista económico, la reducción del agua de mezclado para una dada relación agua/cemento, que podríamos mantener constante (si la resistencia mecánica responde al valor exigido) implica una reducción del conglomerante cemento, siempre que a su vez podamos asegurar la adecuada densificación con los medios de compactación disponibles en obra.-

## VI - 2.- Métodos de Dosificación

A la luz de la gran importancia, que para el conocimiento de las propiedades del hormigón aportó la regla de la relación agua/cemento, todo estudio de dosificación debe partir del cumplimiento de esta regla.-

Podemos dividir los métodos de dosificación en uso por parte de empresas y organismos técnicos, en tres grandes grupos que podríamos clasificar como, método empírico, semiempírico y racional.-

### VI - 2.- a) Dosificaciones empíricas

A este grupo pertenecen los procedimientos volúmetricos en el que los materiales componentes del hormigón se proporcionan por unidades de volumen enteras. Su expresión más simple es  $1 : m : n$  (1 parte de cemento,  $m$  partes de arena y  $n$  partes de piedra) y siguen insertas en casi todos los pliegos de especificaciones técnicas con la denominación de hormigones A, B, C y D, con abstracción total de la importancia de la estructura a moldear o el volumen de hormigón a consumir.-

Salvo una estimación visual de tamaño máximo de agregado grueso y granulometría de arena no se tiene en cuenta en absoluto las características de los agregados. Tampoco puede asegurarse la obtención de una determinada relación agua/cemento puesto que no se controla el contenido de agua de empaste. Además, como todos los componentes de la mezcla se miden en volumen, hay una gran dispersión en los valores de las resistencias al no tener en cuenta, variaciones tanto en la granulometría como en los grados de humedad de los agregados, introduciendo otro factor de variación para la relación agua/cemento y por ende para la resistencia mecánica.-

Esta forma de dosificación solo se justifica en obras de muy pequeña importancia, en las que se prevean bajas tensiones de trabajo para el hormigón.-

Como se verá en el capítulo de control estadístico de calidad, dado que el procedimiento en si es susceptible de grandes variaciones en la misma, la única manera de cubrir los más bajos valores de resistencia, es variar la relación cemento /agregados, Remitiéndonos a mezclas como las usadas en los hormigones fluidos para estructuras de hormigón armado y suponiendo que mantenemos constantes la calidad de los materiales-componentes y métodos de elaboración, pasando de una dosificación de  $1 : 6$  (cemento-agregados totales) a otra  $1 ; 5,5$  o  $1 : 5$  se obtienen aumentos del 15 y el 40 % para los más bajos valores de resistencia, pero con un incremento en el consumo de cemento del 10 y el 20 % respecto a la primera dosificación.-

## VI - 2.- b) Dosificaciones semi - empíricas

Se elimina un importante factor de dispersión al establecer y mantener fija la relación agua/cemento en peso.-

El procedimiento, llamado también el de los pastones de prueba, consiste en fabricar una pasta de una determinada calidad (función de la resistencia exigida) y mezclarla con cantidades variables de agregados finos y gruesos hasta obtener una mezcla homogénea que por su grado de humedad y trabajabilidad más se adapte a las condiciones de obra.-

La utilización de este método exige disponer de elementos de laboratorio para determinar y controlar algunas características básicas de los materiales granulares (humedad de absorción y humedad en el instante del ensayo). Además en obra, debe permitir el pesaje de cemento y agua.-

Se facilita mucho esta labor si -en función de la capacidad de la hormigonera se reduce la dosificación adoptada para una cantidad de cemento que sea múltiplo de 50 kg. (capacidad de una bolsa). Queda únicamente por medir la cantidad de agua lo que puede hacerse adaptando al equipo un medidor que permita regular la cantidad de la misma (mediante flotante) con descarga instantánea por válvula.-

Este método señala una mejora respecto al anterior, pero mantiene los factores de dispersión de calidad que se ennumeran a continuación:

- 1º) No se tiene la certeza que la proporción relativa entre agregado fino y grueso sea la que permita obtener la mezcla más económica.-
- 2º) Como los agregados siguen midiéndose en volumen la corrección de la dosificación en base al grado de humedad que tienen en el momento de su incorporación a la hormigonera es de difícil realización, produciéndose en consecuencia variación de la relación agua/cemento adoptada y dispersión en los valores de resistencia a la compresión, aunque en mucho menor grado que el correspondiente al método empírico.-
- 3º) Al no controlarse la granulometría ni la humedad de los agregados habrá variación en la consistencia del hormigón para diferentes pastones

## VI - 2.- c) Dosificaciones racionales

No se ha ideado aún ningún método que nos dé en un primer intento las cantidades exactas de los materiales a usar en la confección de los hormigones de las características requeridas para cada uso en particular. La metodología, tablas, ábacos, gráficos, etc., desarrollados por cada investigador responden a los materiales disponibles para su experiencia, como así también los métodos de elaboración y densificación adoptados responden a los elementos disponibles para tales fines.-

Por ello, es necesario recalcar que todos estos métodos sólo nos ubican dentro de un entorno más o menos estrecho alrededor de las características deseadas, a las que arribaremos por ajustes mediante pastones de prueba.-

Mediante el conocimiento previo de las características físicas de los materiales componentes, puede predecirse los contenidos unitarios de cada uno de ellos para lograr las propiedades especificadas para el hormigón, tanto en el estado fresco como endurecido.-

El método racional más conocido es el que recomienda el A.C.I. (American Concrete Institute) a través del Comité anteriormente denominado 613 y en la actualidad 211.-

El Ingeniero Juan F. García Balado (ex Director Técnico del I.C.P.A.) estudió un método de dosificación de hormigones que presentó en la "Primera Conferencia del Hormigón" que tuvo lugar en el año 1947.-

Este método tiene criterios coincidentes con los del A.C.I. (Comité 613) especialmente en la forma de calcular el volumen absoluto de agregado grueso y la obtención del volumen unitario de hormigón como suma de los volúmenes absolutos de cada uno de los componentes. Para calcular (con aceptable precisión) la composición en peso, basta multiplicar el volumen absoluto de cada componente por su correspondiente pesos específico. Este método es usado normalmente por un gran número de laboratorios estatales y privados.-

Ambos métodos se basan en el concepto de que para cada combinación de granulometría de arena y tamaño máximo de agregado grueso, / existe un valor máximo de volumen compactado de agregado grueso, que puede emplearse por unidad de volumen de hormigón compactado.- Tablas 2 y 3.-

TABLA N° 2.- VOLUMENES COMPACTADOS DE AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE HORMIGON\*\*

A.C.I. Standard 211-1-70

Tabla A-1-5.2.6

Tamaño máximo del agregado grueso		Módulo de fineza del agregado fino			
mm	pulgada	2,40	2,60	2,80	3,00
9,5	3/8	0,500	0,480	0,460	0,440
12,5	1/2	0,590	0,570	0,550	0,530
19,0	3/4	0,660	0,640	0,620	0,600
25,0	1	0,710	0,690	0,670	0,650
38,0	1½	0,750	0,730	0,710	0,690
51,0	2	0,780	0,760	0,740	0,720
76,0	3	0,820	0,800	0,780	0,760

\*\* Estos volúmenes han sido elegidos empíricamente para lograr mezclas con un grado de trabajabilidad adecuado para estructuras de hormigón armado. Para hormigones de pavimento; aumentar 10%, y para hormigones bombeados; disminuir 10%.-

Los valores de volumen compactado de agregado grueso por m<sup>3</sup> de hormigón que se consignan en las tablas, para cada par de valores de tamaño máximo de agregado grueso - módulo de fineza del agregado fino, son los máximos recomendables para obtener en condiciones normales de compactación hormigones trabajables. Se consignan además las correcciones a efectuar en función del tipo de estructura a moldear, condiciones de compactación y características de los agregados.-

METODO DEL INGENIERO GARCIA BALADO

TABLA N° 3

VOLUMENES COMPACTADOS DE AGREGADO GRUESO POR m<sup>3</sup> DE Hn (b/b<sub>0</sub>)

Tamaño máximo del agregado grueso		Módulo de fineza del agregado fino							
mm	pulg.	2,00	2,20	2,40	2,60	2,75	2,90	3,10	3,30
9,5	3/8	0,54	0,52	0,50	0,47	0,45	0,42	0,39	0,35
12,7	1/2	0,61	0,59	0,57	0,55	0,53	0,51	0,48	0,45
19,0	3/4	0,68	0,67	0,65	0,63	0,62	0,60	0,58	0,55
25,0	1	0,72	0,70	0,69	0,67	0,66	0,65	0,63	0,60
38,0	1 1/2	0,76	0,75	0,73	0,72	0,71	0,70	0,68	0,66
51,0	2	0,79	0,78	0,76	0,75	0,74	0,73	0,71	0,70
76	3	0,82	0,81	0,80	0,79	0,78	0,77	0,76	0,75
152	6	0,87	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,82	0,81

$b/b_0$  = Volumen compactado del agregado grueso por unidad de volumen del hormigón

$b$  = Volumen absoluto del agregado grueso por unidad de volumen del hormigón

$b_0$  = Volumen absoluto del agregado grueso por unidad de volumen del agregado grueso compactado

En función del tipo de estructura y condiciones de consolidación  $b/b_0$  varía:

- Pavimentos terminado con procedimientos manuales: aumentar 0,045
- Pavimentos terminados con vibración: aumentar de 0,055 a 0,070
- Hormigones especialmente dosificados para ser compactados por vibración o enérgicamente apisonados y sujetos a rígida inspección: aumentar de 0,070 a 0,105 según el tipo de estructura y característica de los agregados.-
- Cuando se usa arena granítica: disminuir 0,045
- Para agregado mal graduado o con exceso de lajas: disminuir 0,045

De la lectura de las tablas, tanto de uno como de otro método, se deduce que, dada una arena (caracterizada por su módulo de fineza) a un aumento en el tamaño máximo del agregado grueso corresponde un

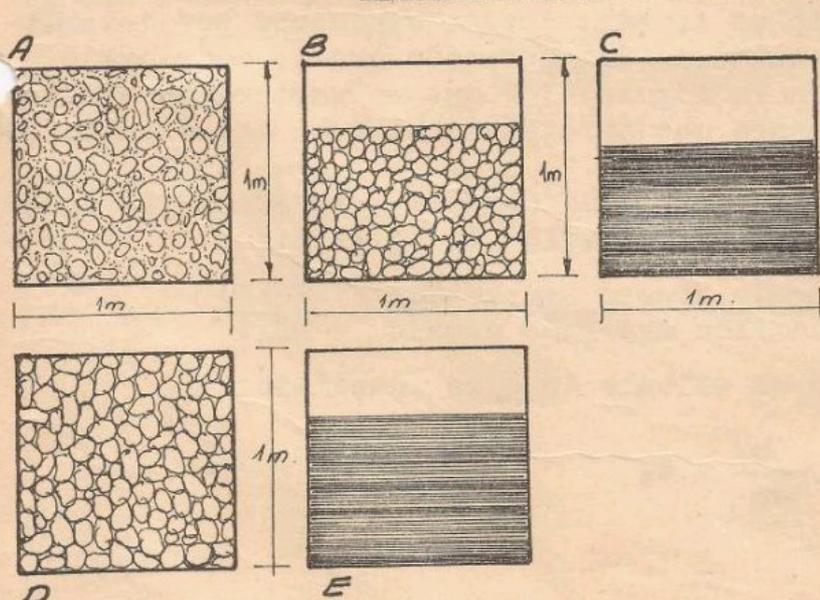
aumento en el volumen compactado de este agregado por m<sup>3</sup> de hormigón compactado. Es decir, que a igualdad de todas las otras variables, a medida que aumenta el tamaño máximo de agregado grueso se necesita menos mortero para mantener la misma consistencia de hormigón.-

Se observa también que para un dado tamaño máximo de agregado grueso, a medida que aumenta el módulo de fineza, disminuye, aunque en menor proporción que en el primer caso, el volumen compactado de agregado grueso por m<sup>3</sup> de hormigón.-

Esta disminución del volumen compactado de agregado grueso en la medida que aumenta el módulo de fineza de la arena se explica de la siguiente manera: La cohesión de la mezcla la proporciona la tensión que desarrolla la película de agua que rodea las partículas y es tanto mayor cuanto más delgada es esta película. La superficie de las partículas de cemento y arena permiten - en consecuencia - la formación de películas más delgadas (de mayor cohesividad) cuando menor es el tamaño de éstas. Por ésto, el contenido de mortero suficiente para hacer trabajable la mezcla es tanto menor cuanto más fina es la arena, cuidando que este contenido sea algo mayor que el volumen de vacíos del agregado grueso, por cuanto contenidos de morteros próximos a este volumen vuelven a la mezcla difícil de trabajar, debiéndose colocar necesariamente un exceso, con el consiguiente aumento en el contenido de agua.-

En las arenas gruesas, en cambio, dado su menor superficie específica, para lograr un espesor de película de agua similar a la arriba analizada, será necesario mayor cantidad de arena para obtener idéntica cohesividad con lo que los contenidos óptimos de las arenas más gruesas siempre superan el volumen de vacíos del agregado grueso, conceptos estos que justifican el mayor volumen de mortero. O sea que con el aumento del módulo de fineza de la arena se produce la disminución del volumen compactado de agregado grueso por m<sup>3</sup>.-

DETERMINACION DEL VOLUMEN ABSOLUTO (SOLIDO) DE AGREGADO GRUESO CONTENIDO EN 1 METRO CUBICO DE HORMIGON COMPACTADO



- A) 1 m<sup>3</sup> de hormigón compactado.
- B) Volumen ocupado por el agregado grueso compactado contenido en 1 m<sup>3</sup> de hormigón compactado  $b/b_0 = f$  (módulo de fineza de la arena y tamaño máximo de agregado grueso.-
- C) Volumen absoluto o sólido ocupado por el agregado grueso contenido en 1 m<sup>3</sup> de hormigón compactado  $b = f (b/b_0 \text{ y } b_0)$ .-
- D) 1 m<sup>3</sup> de agregado grueso compactado cuyo peso corresponde al ensayo de laboratorio (Peso unitario del agregado grueso compactado).-

FIG. 27.-

E) Volumen absoluto o sólido de agregado grueso contenido en 1 m<sup>3</sup> de agregado grueso compactado  $b_0 = f$  (PUAGC y Pe AG).-

Con respecto al estado en que consideramos el agregado grueso son equivalentes las figuras B con D y C con E.-

Observando el corte transversal de una masa de hormigón puede comprobarse que -salvo excepciones- el agregado grueso está completamente rodeado de una capa de mortero, es decir, sin contacto entre sus partículas componentes. Por lo tanto 1 m<sup>3</sup> de hormigón compactado nunca contiene 1 m<sup>3</sup> de agregado grueso compactado (Fig. 27 A) sino una fracción del mismo. Esto puede comprobarse prácticamente, si elimináramos por lavado el mortero contenido en 1 m<sup>3</sup> de hormigón compactado y al agregado grueso remanente lo compactamos por varillado. Como se observa en la figura 27 B, este ocupa sólo una fracción del m<sup>3</sup> original y representa el "volumen compactado de agregado grueso contenido en 1 m<sup>3</sup> de hormigón compactado" ( $b/b_0$ ) que es valor tabulado (Ver tablas 2 y 3).-

VI - 2.- o) 1. Paso 1 Determinación del volumen absoluto (sólido) de agregado grueso por m<sup>3</sup> de hormigón compactado

Decimos entonces que la figura 27 A, representa 1 m<sup>3</sup> de hormigón compactado y que, si eliminamos por lavado el mortero y al agregado grueso que queda lo compactamos por varillado, obtenemos el volumen compactado de agregado grueso contenido en 1 m<sup>3</sup> de hormigón compactado ( $b/b_0$ )-tabulado- Fig. 27 B. Si de alguna manera eliminamos el vacío entre las partículas del agregado grueso tendremos (Fig 27 C) el volumen sólido ( $b$ ) de agregado grueso contenido en 1 m<sup>3</sup> de hormigón compactado o sea el valor que calcularemos como primer paso en la secuencia del método que estamos desarrollando. Si las tablas contienen el valor  $b/b_0$ , para obtener  $b$  debemos conocer el valor de  $b_0$ .-

La figura 27 D representa 1 m<sup>3</sup> de agregado grueso compactado y eliminando el vacío entre partículas obtendremos (Fig. 27 E) el volumen sólido de agregado grueso contenido en 1 m<sup>3</sup> de agregado grueso compactado que es  $b_0$ . Su cálculo es inmediato pues conocemos por determinación del laboratorio el peso unitario del agregado grueso compactado (peso del volumen representado en la figura 27 D que no variará al eliminarle el aire entre partículas, o sea que también es el peso del volumen sólido  $b_0$  representado por la fig. 27 E).-

También el laboratorio nos da el peso específico del agregado grueso y como lógica consecuencia el valor de  $b_0$  sería:

$$b_0 = \frac{\text{Peso unitario agregado grueso compactado}}{\text{Peso específico agregado grueso}} = \frac{PUAGC}{PEAG}$$

Conocido el valor de  $b_0$  el cálculo de  $b$  es inmediato:

$$b = \frac{b}{b_0} \times b_0$$

Se deduce que el volumen sólido de agregado grueso por m<sup>3</sup> de hormigón b (V.S.A.G./m<sup>3</sup> Hn) depende exclusivamente del módulo de finiza del agregado fino (M.F.A.F.), del tamaño máximo del agregado grueso (T.M.A.G.) y del peso específico del agregado grueso (P.E.A.G.). Siendo independiente de la consistencia y la resistencia fijadas para el hormigón en estudio.-

VI - . - c) . - Caso 2 Determinación del Contenido de agua de la mezcla

En este aspecto, los métodos del A.C.I. y del Ingeniero García Palado difieren en el procedimiento aunque los resultados son bastante coincidentes.-

El American Concrete Institute (A.C.I.) tiene tabulados los contenidos unitarios de agua para hormigones con y sin aire incorporado (Tabla 4 ) en base al T.M.A.G. y al asentamiento deseado el que se agrupa en 3 rangos (3 a 5; 8 a 10 y 15 a 18).-

CONTENIDOS APROXIMADOS DE AGUA Y DE AIRE POR m<sup>3</sup> DE HORMIGON PARA DIFERENTES ASENTAMIENTO Y TAMAÑOS MAXIMOS DE AGREGADOS GRUESOS A.C.I. STANDARD

211 - 1 - 70 TABLA 5.2.3.

TABLA 4

Asentamiento (cm)	Contenidos de agua (litros por m <sup>3</sup> Hn) +						
	Tamaño máximo agregado grueso ( mm)						
	9,5	12,5	19,0	25,0	38,0	54,0	76,0
HORMIGON SIN AIRE INCORPORADO							
3 a 5	208	198	187	178	163	154	142
8 a 10	228	216	202	193	178	169	152
15 a 18	243	228	213	202	187	178	169
cantidad apr. aire incl. %	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3
HORMIGON CON AIRE INCORPORADO							
3 a 5	180	175	165	160	145	140	135
8 a 10	200	190	180	175	160	155	150
15 a 18	215	205	190	185	170	165	160
Contenido total de aire %	8	7	6	5	4,5	4	3,5
+ Cantidades para ser usada en pastones de prueba. Son máximos para agregados angulares razonablemente bien formados y con granulometría dentro de los límites aceptados por las especificaciones.-							

En el método del Ingeniero García Palado se determina el contenido de agua para un asentamiento de 7,5 cm.-(Tabla 5) en función del V.S.A.G./m<sup>3</sup> Hn (b) y del M.F.A.F.. Este valor luego es aumentado o disminuido para lograr el asentamiento deseado usando una tabla auxiliar (Tabla 6) donde se consignan porcentualmente los valores de corrección que

se aplican para lograr el rango de asentamiento estipulado por pasos sucesivos a partir del de 7,5 cm. Este porcentual sumado se quita del valor tabulado para asentamientos menores de 7,5 cm y se suma para los mayores que este valor.-

TABLA 5

V.S.A.G. por m <sup>3</sup> Hn b	Módulo de fineza de la arena			
	2,40	2,60	2,80	3,00
0.300	217	212	209	204
0,350	203	200	197	192
0,400	189	186	184	180
0,450	175	173	170	167
0,500	161	158	157	154
0,550	146	144	142	140
0,600	131	129	128	126

+ Por interpolación

Tabla 5 Contenido de agua en 1/m<sup>3</sup> Hn  
Método del Ingeniero García Balado  
Asentamiento 7.5 cm. Arena Silicea  
Agregado grueso, piedra partida granítica.-

TABLA 6

Asentamiento en el tronco cono de Abrams cm	Variaciones+ porcentuales en el conténi- de de agua %
0 a 2,5	7,0
2,5 a 5,0	5,5
5.0 a 7,5	4,5
7,5 a 10,0	3,0
10,0 a 12,5	2,5
12.5 a 15,0	2,0

Tabla 6 Variaciones porcentua-  
les en los contenidos de agua  
por m<sup>3</sup> de hormigón por cambios  
de consistencia

Desarrollaremos un ejemplo de lo visto hasta ahora, empleando los dos métodos expuestos. Los datos son:

M.F.A.F. = 2,60; T.M.A.G. = 38mm (1 ½ "); P.E.A.G. = 2.650 Kg/m<sup>3</sup>; P.U.A.G. = 1.550 Kg/m<sup>3</sup>; asentamiento 9 cm.

1) Método del A.C.I.

$$V.C.A.G./m^3 \text{ Hn} = 0,73 \text{ s/tabla } 2 \Rightarrow b/b_0$$

$$V.U.S.A.G. = \frac{1.550}{2.650} = 0.585 = b_0$$

$$V.S.A.G./m^3 \text{ Hn} = 0,73 \times 0,585 = 0,427 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ Hn} = b$$

$$\text{Contenido de agua} = 178 \text{ lts./m}^3 \text{ Hn} \quad \text{Tabla 4}$$

2) Método del Ing. García Balado

$$b/b_0 = 0,72 \quad (\text{Tabla 3})$$

$$b_0 = 0.585 \quad (\text{idem método del A.C.I.})$$

$$b = 0,72 \times 0.585 = 0,421 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ Hn}$$

Contenido de agua

para 7,5 cm.  $a_0 = 180 \text{ l/m}^3 \text{ Hn}$  Tabla 5 Corrección 3 % Tabla 6

Luego para 9 cm.  $a = 180 \times 1,03 \approx 185 \text{ litros}$

Los valores obtenidos por ambos métodos son muy aproximados máxime si se tiene en cuenta que son estimativos y deben ser verificados mediante la confección de pastones de prueba.-

VI - 2.- C) 3. Paso 3 DETERMINACION DEL CONTENIDO DE CEMENTO PORTLAND

En el paso anterior hemos calculado el contenido de agua de la mezcla. Podremos calcular el contenido de cemento si elegimos adecuadamente la relación agua/cemento que está condicionada por las exigencias técnicas de la estructura en lo que respecta al tipo y grado de sollicitación mecánica (resistencia mecánica) y condiciones de exposición (durabilidad).-

Ya hemos mencionado que para un determinado cemento y tipos de agregados puede trazarse una curva (para una edad preestablecida) que relacione la resistencia mecánica (generalmente de compresión) y la relación agua/cemento.-

En obras de gran envergadura debería hacerse una investigación con los materiales disponibles para lograr las curvas que se ajustan a una realidad; pues en caso contrario, deberíamos elegir curvas promedio como muestra el gráfico de la fig. 28 obtenida por distintos investigadores con distintos materiales. Los valores adoptados son -en consecuencia- meramente orientadores.-

En el caso de que se desee afinar más el pronóstico de resistencia puede emplearse la expresión propuesta por el Ingeniero Burgoa.

$$\sigma_{bm} = \alpha \frac{C'_{28d}}{25^{a/c}} \text{ de donde}$$

$$a/c = 0.715 \log \frac{C'_{28d}}{\sigma_{bm}}$$

en la que:

$\sigma_{bm}$  = Resistencia cilíndrica promedio a la compresión en probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura a los 28 días.-

$C'_{28d}$  = Resistencia promedio a la rotura por compresión de probetas de mortero confeccionadas y ensayadas de

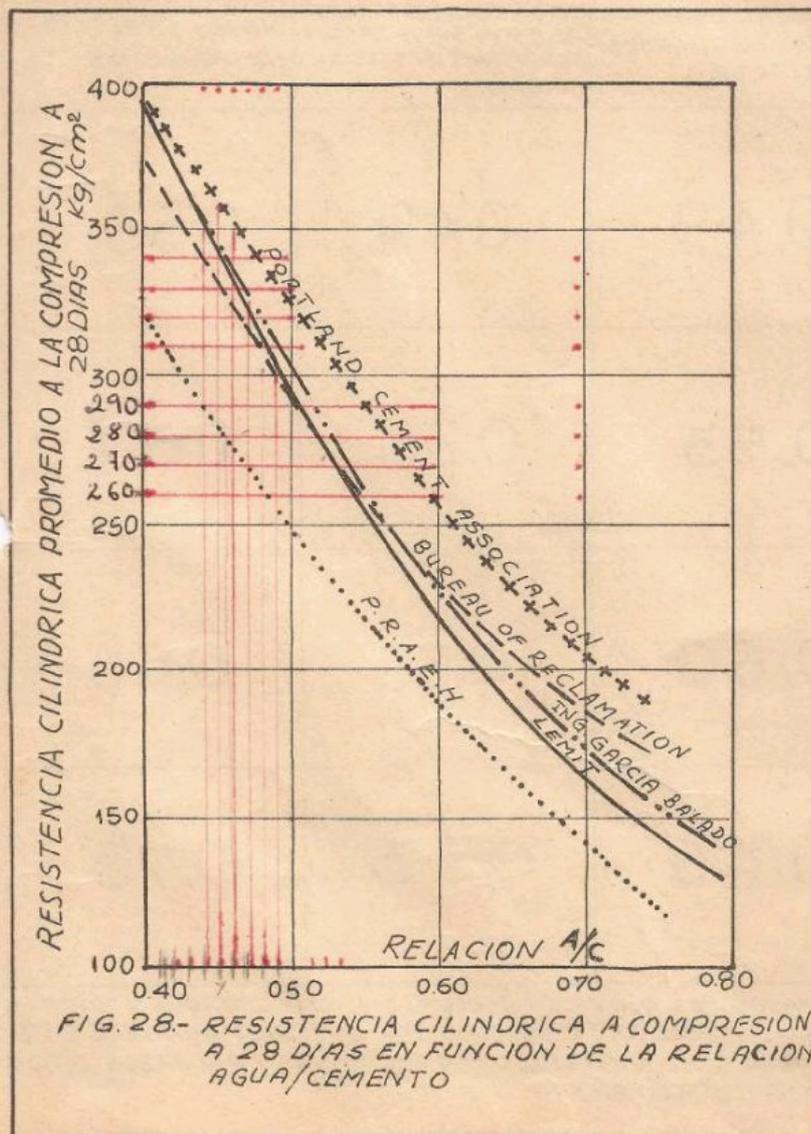


FIG. 28.- RESISTENCIA CILINDRICA A COMPRESION A 28 DIAS EN FUNCION DE LA RELACION AGUA/CEMENTO

acuerdo a la Norma IRAM 1622, utilizando cemento de la misma partida que el usado para el hormigón.-

$\alpha$  = Coeficiente cuyo valor depende de las características de forma y textura superficial del agregado grueso (3,1 para canto rodado y 3,7 para piedra partida granítica).-

En cuanto a la durabilidad, la experiencia ha demostrado que existe una relación estrecha entre el comportamiento del hormigón ante determinadas condiciones de exposición y su relación agua/cemento.-

Hay tablas que dan valores máximos admitidos para la relación agua/cemento en función de las características geométricas de las piezas elaboradas y los diferentes grados de exposición. Damos a continuación una de ellas, de la publicación del I.C.P.A. N° 42 Método de Dosificación de Hormigones, del Ingeniero García Palado.-

TABLA 7.-RELACIONES AGUA/CEMENTO RECOMENDADAS PARA HORMIGONES SOMETIDOS A AGENTES CLIMATICOS (CONDICION DE DURABILIDAD)

CONDICION A QUE ESTA SOMETIDA LA ESTRUCTURA	RELACION AGUA/CEMENTO EN PESO		
	CLASE DE ESTRUCTURA		
	PILOTES, MUROS DELGADOS, ELEMENTOS LIVIANDOS, RESISTENTES, VIGAS Y COLUMNAS DE EDIFICIOS AL EXTERIOR	RECIPIENTES, TANQUES DE AGUA, CAÑERIAS A PRESION, CONDUCTOS CLOACALES, REVESTIMIENTOS DE CANALES, DIQUES DE SECCIONES DELGADAS.	MUROS GRUESOS, ESTRIBOS, FUNDACIONES, DIQUES DE SECCIONES GRUESAS
<b>EXTREMA</b> 1.- EN CLIMAS SEVEROS EXPUESTA A ALTERNATIVAS DE HUMEDECIMIENTOS-SECADOS Y CONGELACION-DESHIELO COMO A NIVEL DE AGUA DE LAS ESTRUCTURAS HIDRAULICAS. 2.- EXPUESTAS AL CONTACTO DE AGUA DE MAR, AGUAS FUERTEMENTE SULFATADAS TANTO EN CLIMAS SEVEROS COMO MODERADOS.	0,49	0,49	0,53
<b>SEVERA</b> 3.- EN CLIMAS SEVEROS EXPUESTA A LA LLUVIA Y NIEVE, CONGELACION Y DESHIELO PERO SIN ESTAR EN CONTACTO CONTINUO CON EL AGUA.- 4.- EN CLIMAS MODERADOS EXPUESTOS A LA ALTERACION DE HUMEDECIDOS Y SECADOS, COMO A NIVEL DE AGUA DE LAS ESTRUCTURAS HIDRAULICAS.-	0,53	0,53	0,60
<b>MODERADA</b> 5.- EN CLIMAS MODERADOS, EXPUESTA A LA INTEMPERIE PERO SIN ESTAR EN CONTINUO CONTACTO CON EL AGUA 6.- HORMIGON COMPLETAMENTE SUMERGIDO PERO PROTEGIDO DE LA CONGELACION.	0,60	0,53	0,66
<b>PROTEGIDA.-</b> 7.- ESTAN INCLUIDOS LOS ELEMENTOS DE LAS ESTRUCTURAS COMUNES, HORMIGON DEBAJO DEL TERRENO SIN ESTAR SUJETOS A LA ACCION CORROSIVA DE AGUAS SUBTERRANEAS O DE CICLOS DE CONGELACION Y DESHIELO	0,66	0,53	0,73

LOS VALORES DADOS EN ESTA TABLA SON PARA HORMIGONES QUE ESTAN ADECUADAMENTE CURADOS, EQUIVALENTE AL QUE SE OBTIENE PROTEGIENDOLOS DE LA PERDIDA DE HUMEDAD POR LO MENOS DURANTE SIETE DIAS A UNA TEMPERATURA DE 21°C.- PARA CONDICIONES DE CURADO MENOS FAVORABLE DEBERAN ADOPTARSE RELACIONES AGUA/CEMENTO MAS BAJAS.-

De los dos valores que se obtienen en función de las condiciones a cumplir por la estructura -en cada caso en particular- resistencia mecánica y durabilidad se adoptará la menor relación agua/cemento.-

Luego el contenido de cemento se calcula como sigue:

$$\frac{\text{agua (ya obtenida en el paso anterior)}}{\text{agua/cemento}} = \text{cemento (en peso)}$$

$$\text{Volumen de cemento por m}^3/\text{Hn} = \frac{\text{Peso de cemento por m}^3 \text{ de Hn}}{\text{Peso específico del cemento}}$$

VI -2.- c) 4. Paso 4 Determinación del Contenido de Arena

Conocidos los pasos anteriores los volúmenes sólidos de agregado grueso (b), agua (a) y cemento (c) que entran en 1 m<sup>3</sup> de Hn, el volumen sólido de arena (d) se obtiene restando de 1 m<sup>3</sup> la suma de los valores citados:

$$d = 1 \text{ m}^3 \text{ Hn} - (a + b + c)$$

Determinación de los contenidos totales de materiales por m<sup>3</sup> de Hormigón

De los volúmenes sólidos de cada componente se pasa a los contenidos en peso por m<sup>3</sup> de hormigón multiplicándolos por sus respectivos pesos específicos, como se indica en el cuadro siguiente.-

Material	Volumen Sólido por m <sup>3</sup> de hormigón	Peso Específico Kg/m <sup>3</sup>	Contenido en peso por metro cúbico de hormigón Kg/m <sup>3</sup>
agua	a	1.000	A = a x 1.000
cemento portland	c	3.150	C = c x 3.150
arena	d	P.E.A.F.	D = d x P.E.A.F.
agregado grueso	b	P.E.A.G.	B = b x P.E.A.G.
TOTAL	a + b + d + b = 1 m <sup>3</sup> de hormigón		A + B + C + D = Peso unitario del m <sup>3</sup> de hormigón compactado

En el cálculo de la composición del m<sup>3</sup> de hormigón, no se ha mencionado el volumen ocupado por el aire porque se presupone que tratándose de un hormigón sin incorporación deliberada de aire, el volumen que ocupará será del orden del 1 % del volumen total; razón por la cual, en una primera estimación no se lo toma en cuenta. En la figura 29 se ha puesto que cada uno de los componentes de 1 m<sup>3</sup> de hormigón se ha separado de los demás y ocupa el volumen correspondiente a sus partículas sólidas (sin vacíos).-

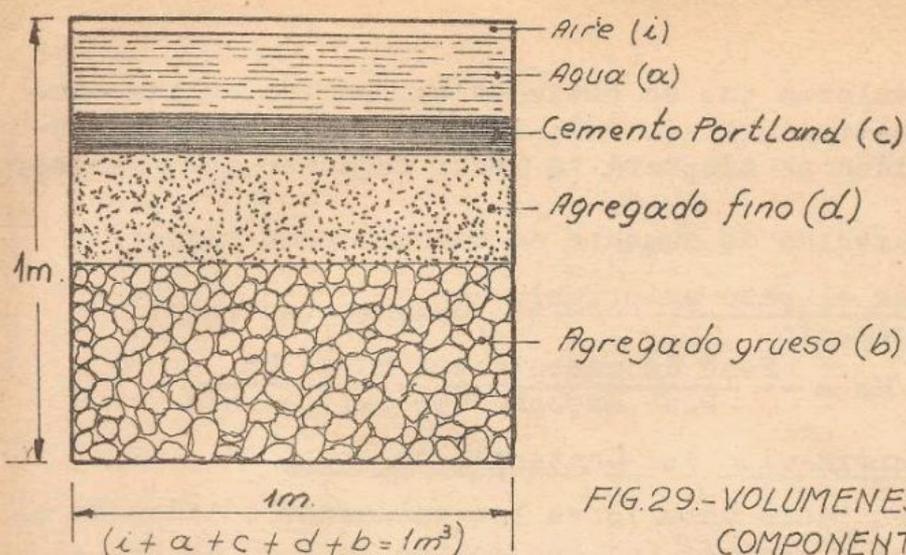


FIG.29.-VOLUMENES SOLIDOS DE LOS COMPONENTES DE  $1m^3$  DE HORMIGON COMPACTADO

VII .- PROCESO DE DOSIFICACION DEL HORMIGON SEGUN EL METODO DEL INGENIERO GARCIA BALADO

Datos a tener en cuenta para el estudio de la dosificación

- 1.- Características de la estructura en la que se empleará la mezcla en estudio
  - a) Forma y dimensiones de las piezas a moldear
  - b) Cantidad y disposición de las armaduras
  - c) Tipo de solicitaciones a que estarán sometidos los elementos estructurales durante la construcción y a lo largo de su vida útil.-
- 2.- Materiales a utilizar - Identificación de los agregados
- 3.- Elección de la consistencia para la mezcla fresca que lo será en función de los datos señalados en 1 (a y b) y de los medios disponibles para la colocación y compactación.-

TABLA 8

RELACION ENTRE EL ASENTAMIENTO DEL HORMIGON LOS ELEMENTOS DE COMPACTACION UTILIZADOS Y LAS CARACTERISTICAS DE LAS ESTRUCTRAS A MOLDEAR

Asentamiento (cm)	Forma de Colocación	Tipo de Estructura
2 a 7	vibración	comunes
7 a 10 (máximo)		secciones de difícil colocación
6 a 9	Compactación manual (Vari-llado)	secciones debilmente armadas
9 a 12		Comunes de hormigón armado
12 a 16		Secciones de difícil colocación
16 a 18 (máximo)	colado	Secciones de muy difícil colocación

VIII- RECAPITULACION Y COMENTARIOS DE LOS PASOS NECESARIOS (METODO GARCIA BALADO)

Determinación de los contenidos unitarios de los componentes de la mezcla

Paso 1 Cálculo del contenido unitario del agregado grueso

1.- a) De la Tabla 3 en función del tamaño máximo del agregado grueso y del módulo de fineza del agregado fino, obtenemos el valor  $b/b_0$  que representa el volumen compactado del agregado grueso por m<sup>3</sup> de hormigón compactado (Hn). Estos valores tabulados son válidos para hormigones de consistencia media a elevada, colocadas por vibración o varillado, empleando arena de granos redondeados y agregados gruesos angulares (piedra partida con granulometrías comprendidas entre los límites fijados por las normas. Para hormigones que han de ser sometidos a una compactación más enérgica y efectiva, como en el caso de las losas para pavimentos, donde se puede lograr un mejor acomodamiento del agregado grueso, el valor de la tabla puede incrementarse en un 10 %. En cambio será necesario disminuirlo en estructuras de difícil colocación, sea por la forma, la disposición de las armaduras, la dificultad de consolidación, etc. o cuando en que la granulometría del agregado grueso sean de las denominadas de tipo abierto (con defecto de partículas de ciertos tamaños).-

En resumen -dada la cantidad de variables intervinientes- el valor  $b/b_0$  definitivo sólo se logrará después de efectuar ajustes y observar las características de las mezclas frescas en los pastones de prueba (Como se verá en el correspondiente capítulo).-

1.- b) Se determina el valor  $b_0$  que representa el volumen sólido ocupado por las partículas correspondientes a 1 m<sup>3</sup> de agregado grueso compactado y cuyo peso es -en consecuencia- el peso unitario del agregado grueso compactado que se determina en laboratorio (el que también nos entrega el valor del peso específico de este material) mediante el siguiente paso:

$$b_0 = \frac{P.U.A.G.C.}{P.E.A.G.}$$

1.- c) El volumen sólido de agregado grueso por m<sup>3</sup> de hormigón compactado (b) se calcula con los valores de los pasos 1.- a) y 1.- c) de la siguiente forma:

$$b = \frac{b}{b_0} \times b_0 \quad \text{m}^3/\text{m}^3 \text{ Hn}$$

El contenido unitario en peso del agregado grueso se calcula multiplicando el volumen  $b$  por el peso específico del mismo

$$B = b \times P.E.A.G. \quad \text{Kg}/\text{m}^3 \text{ Hn}$$

### Paso 2.- CALCULO DEL CONTENIDO DE AGUA

En base al volumen absoluto del agregado grueso ya calculado en el paso 1 y del módulo de fineza del agregado fino, la Tabla del Ingeniero Garcia Balado nos da un contenido de agua por m<sup>3</sup> de hormigón para lograr un asentamiento de 7,5 cm. (Tabla 5) Los valores tabulados también son tentativos limitándose su alcance a arenas de granos redondeados y agregados gruesos angulares (piedra partida) de curvas granulométricas dentro de las tolerancias fijadas en las normas. Si se usa agregado grueso constituido por canto rodado -que es más fácilmente manejable- veremos en los ejemplos prácticos, que se estiliza una disminución del valor total de agua en una cantidad de 8 lts. aproximadamente.-

Si la consistencia deseada para la mezcla difiere de los 7.5 cm. se efectúa el ajuste disminuyendo los contenidos para asentamientos menores y aumentándolos en el caso contrario, usando los porcentajes de la tabla auxiliar (Tabla 6).-

Por ejemplo, si se desea un asentamiento de 2,5 cm, el valor de la tabla debe disminuirse primeramente en un 4,5 % para pasar de 7,5 a 5 cm. y luego en un 5,5 % para pasar de 5 a 2,5, o sea que en total debe disminuirse el valor de la Tabla 5 en un 10 %.-

Si en cambio se desea pasar a un asentamiento de 15 cm. aumentamos el contenido correspondiente al asentamiento de 7,5 cm. en un 7,5 % (3 % para pasar de 7,5 a 10 cm, 2,5 % para pasar de 10 a 12,5 cm y 2 % para pasar de 12,5 a 5 cm.).-

### Paso 3.- CALCULO DEL CONTENIDO DE CEMENTO PORTLAND

Se obtiene en base al contenido unitario de agua calculado en el paso anterior y de la relación agua/cemento que se adopte. Esta adopción, como ya expresáramos anteriormente se hace en base a las sollicitaciones mecánicas que soportará la estructura y a las condiciones de exposición durante su vida de servicio si la misma se encontrara sometida a medios o sustancias agresivas. Así por ejemplo en el caso particular

de los pavimentos donde las alternativas climáticas y el desgaste provocados por los vehículos que lo transitan, aguas agresivas, derrames de combustibles y lubricantes, etc. ejercen notable influencia, la experiencia aconseja tomar un valor máximo de la relación agua/cemento de 0,48.-

Las características del agregado grueso influyen en los valores de las resistencias mecánicas que se obtienen para dadas relaciones agua/cemento.-

La composición, forma de las partículas, textura superficial etc. son algunos parámetros que definen las constantes de la fórmula de Abrams

$$\sigma_{hm} = \frac{A}{B\sqrt{c}}$$

La experiencia acumulada en el litoral de nuestro país, nos muestra que, a igualdad del resto de los materiales, las curvas de resistencia a la compresión en función de la relación agua/cemento para agregados gruesos de uso más generalizado en la región o sea "piedra partida granítica" del centro de la Provincia de Buenos Aires y el "canto rodado" del Río Uruguay, son similares en su forma, pero están desplazados entre sí.-

Dentro de los valores habituales de resistencia a la compresión (200 a 400 Kg/cm<sup>2</sup>) se obtienen resistencias semejantes al usar canto rodado en lugar de piedra partida, si para aquellas se usan relaciones agua/cemento inferiores en un 10 % a un 15 % que las necesarias para éstas.-

Podría inferirse de esto, que ello llevaría implícito un mayor consumo de cemento cuando usamos canto rodado. Esto no es absolutamente cierto por las siguientes razones:

- 1º) Los agregados gruesos redondeados necesitan entre un 5 y un 10 % menos agua que los agregados partidos para igual grado de fluidez.-
- 2º) Por su mejor condición de acomodamiento el volumen de agregado grueso redondeado contenido en 1 m<sup>3</sup> de hormigón es mayor que el que correspondería a piedra partida de igual tamaño máximo, siendo en consecuencia menor el contenido necesario de mortero, disminuyendo de este modo, aún más el contenido de agua.-

En resumen, en general, en condiciones semejantes, pueden obtenerse resistencias mecánicas similares con ambos tipos de agregado para iguales contenidos unitarios de cemento portland.-

Como la relación agua/cemento es en peso, el contenido de este ingrediente en peso es:

$$C = \frac{a}{a/c} \text{ Kg/m}^3 \text{ de Hn}$$

y el volumen absoluto

$$C = \frac{C}{\text{P.E. cemento}} = \frac{C}{3150} \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ Hn}$$

#### Paso 4.- CALCULO DEL CONTENIDO DE ARENA

Si en un primer intento, despreciamos el contenido de aire el contenido de arena se calcula de la siguiente manera:

$$d = 1 \text{ m}^3 - (b + a + c) \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ Hn}$$

y el contenido en peso será

$$D = d \times P.E.A.F. \text{ Kg/m}^3 \text{ Hn}$$

### VERIFICACION Y CONTROL

Debe tenerse en cuenta que todos los cálculos efectuados y que permiten determinar la composición en peso de la mezcla de hormigón fresco compactado, se basan en valores estadísticos, por lo que las cantidades obtenidas son meramente aproximadas. El paso siguiente consistirá en la confección de pastones de prueba para verificar -en primer término- el comportamiento de la mezcla en estado fresco (ensayo de asentamiento y estimación de la trabajabilidad) y luego moldear probetas para comprobar -en segundo término- si el hormigón endurecido alcanza los valores previstos de resistencia mecánica.-

### IX - Ejemplos de Aplicación

Desde Seccional Mendoza del Instituto del Cemento Portland Argentino se enviaron materiales para estudio de dosificaciones para hormigones a usar en estructuras y pavimentos rígidos. Se procedió primeramente a la identificación de los materiales a incorporar en obra que eran totalmente de origen local (cemento y agregados) y se practicaron los ensayos de laboratorio descrito en el Capítulo V

Con estos datos se calculó la dosificación teórica y se hicieron con ella pastones de prueba para 1º) Verificar asentamiento en cono y 2º) moldear probetas cilíndricas que fueron ensayadas a compresión y a tracción por compresión diametral (método brasileño).-

### ESTUDIO DE LOS AGREGADOS

DESIGNACION	UNIDAD	TIPO DE AGREGADO			
		ARENA LAVADA	RIPIO PARA ESTR.	RIPIO PARA PAVIMENTO	
				CHICO	GRANDE
Muestra N° 1	----	L-397/72	L-399/72	L-401/72	L-400/72
Módulo de Fineza	----	3,06	7,40	7,11	8,67
Tamaño Máximo	mm (" )	4,8(N°4)	38(1½)	38(1½)	63,5(2½)
Peso Específico	Kg/m <sup>3</sup>	2.604	2.618	2.608	2.623
Absorción	%	1,2	1,8	1,6	1,5
Peso m <sup>3</sup> compact.	Kg/m <sup>3</sup>	----	1.640	(+)	(+)

(+) Las muestras L -400 y 401/72 se utilizaron mezcladas en las proporciones 30 y 70 % respectivamente obteniéndose para esta mezcla los siguientes valores de laboratorio: MF total 7,59; PUAGC =1.680 Kg/m<sup>3</sup>; Peso específico de la mezcla= 0,30 x 2.623 + 0,70 x 2.608 = 2.613 Kg/m<sup>3</sup>.-

Además de la arena lavada (muestra L - 397-72) se recibió otra muestra ( L- 398/72] de la misma arena sin lavar. En el ensayo granulométrico por vía húmeda los contenidos de material de tamaño inferior a 74 micrones (pasando tamiz N° 200) fueron respectivamente del 2 y el 8 %. El ensayo del material fino correspondiente a la segunda muestra, indicó que se trata de un suelo de tipo A-6 (10) de índice de plasticidad 13 o sea que es del tipo arcilloso y supera los máximos tolerables de contenido porcentual de acuerdo a las normas referentes a agregado para hormigones.-

### IX-1.- DOSIFICACION DE LA MEZCLA DE HORMIGON PARA ESTRUCTURAS

#### Datos

Resistencia a compresión 28 días  $\bar{\sigma}_{bm}$  28 días = 200 kgs/cm<sup>2</sup>  
 Asentamiento en Cono de Abrams = 10 a 15 cm (promedio 12,5)  
 Se emplearán los agregados correspondientes a las muestras de laboratorio L -397/72 y L -399/72. Vale decir que tenemos: tamaño máximo del agregado grueso 38 mm.  
 Módulo de Fineza del Agregado fino = 3,06 .-

#### CALCULO DE LA DOSIFICACION TEORICA - (METODO GARCIA BALADO)

##### Paso 1.- Cálculo de volumen absoluto y contenido en peso del agregado por m<sup>3</sup> de hormigón (b y B)

De la tabla 3 por interpolación se obtiene  $b/b_0 = 0.685$

$$b_0 = \frac{1640}{2618} = 0,627 \text{ Luego } b = \frac{b}{b_0} \times b_0 = 0.685 \times 0.627 = 0,430 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ Hn}$$

$$B = b \times PEAG = 0.430 \times 2618 = 1125 \text{ Kg}/\text{m}^3 \text{ Hn.}-$$

##### Paso 2.- Cálculo del Contenido de Agua

De la tabla 5 en función del M.F.A.F. y V.S.A.G. por m<sup>3</sup> Hn (b) por doble interpolación obtenemos el contenido de agua para un asentamiento de 7,5 cm.  $A_0 = 171$  lts que se corrige para el asentamiento deseado de acuerdo a la tabla 6.-

Tomando un asentamiento promedio de 12,5 cm. corresponde aumentar el contenido de agua en un 5,5 % y una posterior disminución sobre el total de 8 lts. por tratarse de canto rodado (valor experimental del Laboratorio del I.C.P.A.). En resumen:

$$A = A_0 + \frac{5,5}{100} A_0 - 8 \text{ lts} = 171 + 0,055 \times 171 - 8$$

$$A = 173 \text{ lts}/\text{m}^3 \text{ Hn } A = 173 \text{ Kg}/\text{m}^3 \text{ Hn.}-$$

##### Paso 3.- Cálculo del Contenido de Cemento

Por tratarse de estructuras no sujetas a acciones agresivas climáticas ni químicas ni físicas, la relación agua cemento se adoptará en base a la resistencia a obtener. La calcularemos mediante la fórmula de Burgoa

$$\bar{\sigma}'_{bm} = \frac{C' \cdot 28 \text{ días}}{25 a/c} \text{ de donde } a/c = \frac{\log C' \cdot 28 \text{ d.}}{\log \bar{\sigma}'_{bm}}$$

$\alpha = 31$  por tratarse de canto rodado

$C'_{28 d} = 420 \text{ Kg/cm}^2$

$\alpha C'_{28 d} = 1300$

$$\text{Luego } a/c = \frac{\log \frac{1300}{200}}{\log 20} = 0,58$$

$$C = \frac{a}{a/c} = \frac{173}{0,58} = 300 \text{ kg/m}^3 \text{ Hn (contenido en peso)}$$

Contenido en volumen

$$C = \frac{C}{\text{PEC}} = \frac{300}{3150} = 0,095 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ Hn}$$

Paso 4.- Cálculo del Volumen absoluto y contenido de arena en peso (d y D)

$$d = 1,000 - (0,173 + 0,430 + 0,095) = 0,302 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ Hn}$$

$$D = 0,302 \times 2,604 = 785 \text{ Kg/m}^3 \text{ Hn}$$

Verificación de Volúmenes y pesos de los materiales por m<sup>3</sup>/Hn

COMPONENTE	Volumen absoluto (l/m <sup>3</sup> Hn)	Contenido en Peso (kg/m <sup>3</sup> Hn)
agua	173	173
Cemento Portland	95	300
Arena	302	785
Ripio (M-L 399/72)	430	1125
Totales	1000	2383

Sobre pastones de prueba se realizaron los siguientes ensayos:

Asentamiento; 11 cm. (dentro de lo estipulado)

Resistencia o rotura por compresión

28 h 15 m <sup>+</sup> = 82 kg/cm <sup>2</sup>
7 días = 104 kg/cm <sup>2</sup>
28 d = 183 kg/cm <sup>2</sup>

(+) Resistencia a la rotura a 28 días a tracción por compresión = 27,6 Kg/cm<sup>2</sup>

(+) Corresponde al ensayo acelerado.-

Como el valor obtenido para la resistencia a la compresión es inferior al solicitado, es necesario disminuir la relación agua/cemento aumentando la cantidad de cemento, por cuanto el contenido de agua debe mantenerse por estar el asentamiento dentro de los límites deseados.-

Se adoptó una relación agua/cemento de 0,55, por lo que el contenido de cemento llegó a:

$$C = \frac{173}{0,55} = 315 \text{ Kg/m}^3 \text{ Hn}$$

$$C = \frac{315}{3150} = 0,100 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ Hn}$$

El volumen de arena se transformó en  $d = 1,000 - (0,173 + 0,430 + 0,100) = 0,297 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ Hn}$ . Contenido en peso =  $D = 0,297 \times 2604 = 774 \text{ kg/m}^3 \text{ Hn}$ .

## Dosificación Definitiva

agua.....	173	lts/m <sup>3</sup> Hn	=	173	Kg/m <sup>3</sup> Hn
Cemento Portland.....	100	"	=	315	"
Arena.....	297	"	=	774	"
Ripio (M-L 399/72).....	430	"	=	1125	"
TOTALES.....	1000	lts/m <sup>3</sup> Hn	=	2385	Kg/m <sup>3</sup> Hn

## IX- 2.- Dosificación de la Mezcla para Pavimentos

Es del caso aclarar que el pavimento de hormigón es una estructura que trabaja a flexión y que las fórmulas para calcular su espesor están basadas en la resistencia a este tipo de sollicitación. Ahora bien, puesto que los testigos extraídos de las losas construidas para ser ensayadas a los 28 días (con máquinas rotativas) son de forma cilíndrica de 15 cm. de diámetro es común fijar como dato de resistencia para dosificación la cilíndrica de compresión a 28 días. Realmente se debe especificar la resistencia a flexión en vigas de 15 x 15 x 60 cm con carga en los tercios que son fáciles de moldear en laboratorio y preparar con las mismas mezclas los cilindros para correlacionar ambas resistencias de manera de saber qué resistencia a la compresión deben acusar los testigos extraídos con las sondas (previa corrección por esbeltez y por edad, si correspondiera) que asegure el módulo de flexión de cálculo.-

Además debemos señalar que un pavimento debe soportar no sólo las cargas de vehículos sino también acciones agresivas físicas y químicas (alternativas de mojado y secado, calentamiento y enfriamiento, frenadas y aceleradas, derrame de combustibles, lubricantes, aguas agresivas, etc.) por lo que el hormigón debe ser durable y resistente. Por ello es común fijar un contenido mínimo de cemento (factor cemento) y una máxima relación agua/cemento por durabilidad. Como la resistencia mecánica depende también de esta relación, se toma la menor para el cálculo de la dosificación.-

### Datos

Resistencia a la compresión a 28 días  $\sigma'_{bm} 28 d = 300 \text{ Kg/cm}^2$

Factor cemento  $C \geq 320 \text{ kg/m}^3 \text{ Hn}$

Relación agua/cemento mínima  $a/c \leq 0,48$

Asentamiento en cono de Abrams = 2,5 a 4 cm

Agregado Grueso: mezcla del 30 % del material L-400/72 y 70 % del L-401/72

Arena: La misma usada en el ejemplo anterior

Luego T.M.A.G. = 63,5 mm y M.F.A.F. = 3,06

### Cálculo de la Dosificación Teórica

#### Paso 1 Cálculo del Volumen absoluto y contenido en peso del agregado Grueso

Para T.M.A.G. = 63,5 mm y M.F.A.F. 3,06 .  $b/b_0 = 0.715$  (por doble interpolación).-

Por tratarse de una estructura que será fuertemente vibrada aumentamos el valor tabulado en 0,030 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> Hn.

En definitiva

$$b/b_0 = 0.715 + 0,030 = 0,745 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ Hn}$$

$$b = 0,745 \times 0,643 = 0.479 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ Hn}$$

$$b_0 = \frac{1680}{2.613} = 0.643 \text{ m}^3$$

$$b_1 \text{ (grande)} = 0,3 \times 0,479 = 0,144 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

$$b_2 \text{ (chico)} = 0.479 - 0,144 = 0,335$$

$$B_1 = 0.144 \times 2.623 = 378 \text{ Kg}/\text{m}^3 \text{ Hn}$$

$$B_2 = 0,335 \times 2.608 = 874 \text{ Kg}/\text{m}^3 \text{ Hn}$$

### Paso 2.- Cálculo del Contenido de agua

Para asentamiento 7,5 cm  $a_0 = 157$  lts (por doble interpolación)

Factor de corrección por asentamiento de 2,5 cm : 10 %

en definitiva  $a = 157 - 0,10 \times 157 - 8$  lts = 132 lts.

Aclaremos que se continuó hasta el final con el cálculo teórico y al hacer la constatación de la consistencia en el pastón de prueba se obtuvo un asentamiento mucho menor que el estipulado. Las correcciones necesarias para llegar a los valores previstos dieron como resultado que la cantidad de agua de mezclado era la que se consigna a continuación:

$$a = 150 \text{ lts}/\text{m}^3 \text{ Hn} =$$

$$A = 150 \text{ Kg}/\text{m}^3 \text{ Hn.}$$

### Paso 3.- Cálculo del Volumen Absoluto y contenido en peso del Cemento Portland

Con los valores de ensayo del ejemplo anterior  $d'_{28} = 1.300 \text{ Kg}/\text{cm}^2$

Luego 
$$a/c = \frac{\log \frac{1300}{300}}{\log 25} = 0,45 < 0,48 \text{ (máximo estipulado)}$$

$$c = \frac{a}{a/c} = \frac{150}{0,45} = 335 \text{ Kg}/\text{m}^3 \text{ Hn}$$

$$c = \frac{335}{3150} = 0,106 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ Hn}$$

### Paso 4.- Cálculo del volumen absoluto y contenido en peso de la arena

$$d = 1.000 - (0,150 + 0,479 + 0,106) = 0.265 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ Hn}$$

$$D = 0,265 \times 2.604 = 690 \text{ Kg}/\text{m}^3 \text{ Hn}$$

Verificación de Volúmenes absolutos y peso de los materiales por m<sup>3</sup> Hn

Componente	Vol. Absol. l/m <sup>3</sup> Hn	Contenido en peso Kg/m <sup>3</sup> Hn
agua	150	150
cemento portland	106	335
Arena	265	690
Ripio (M L-400/72)	144	378
Ripio (M L-401/72)	335	874
TOTALES	1000	2427

Ensayos sobre pastones de prueba- Asentamiento 2,5 cm

Resistencia a la rotura por compresión

28 días =	137 kg/cm <sup>2</sup>
7 días =	221 kg/cm <sup>2</sup>
28 días =	320 kg/cm <sup>2</sup>

(+) Resistencia a tracción por compresión diámetro

28 días =	35,2 Kg/cm <sup>2</sup>
-----------	-------------------------

(+) Corresponde a ensayo acelerado.-

IX - 3 DOSIFICACION EN OBRA

Para el cálculo de la dosificación que suministra el laboratorio, se parte del material granular en la condición de saturado y superficie seca (condición en la que no cede ni quita agua al pastón). Pero ésta no es su situación real en obra. Veamos como se modifica la dosificación de laboratorio en función de la humedad que tienen los agregados en el acopio en el momento de usarlos.-

Supongamos que la cantidad de materiales en peso para un pastón de 1 m<sup>3</sup> de hormigón sea el del ejemplo anterior. Que la humedad de los materiales granulares en el acopio sean las que se consignan.

Componente	Contenido en peso Kg/m <sup>3</sup> Hn	Absorción	Humedad en Acopio %	Diferencia porcentual de humedad
agua	150	---	---	
Cemento Portland	335	---	---	
arena	690	1,2	6	+ 4,8
Ripio (M L-400/72)	378	1,5	2,5	+ 1,0
Ripio (M L-401/72)	874	1,6	1,2	- 0,4

La arena y el agregado grueso M-L 400/72 están sobre saturados y están en condición que aportan agua a la mezcla. El agregado grueso M-L401/72 tiene una humedad inferior a la de saturación y en ese estado quitaría agua a la mezcla

Corrección del Contenido de arena

¿ Qué cantidad de arena sobresaturada debo pesar para obtener 690 Kg de arena en la condición saturada y superficie seca? Llamemos X<sub>d</sub> a este valor.-

$\frac{4.8}{100} \times X_d = 0,048 X_d =$  aporte de agua a la mezcla: Luego

$X_d - 0,048 X_d = 690 \text{ Kg}$

$X_d = \frac{690}{0,952} = 725 \text{ Kg}$

Aporte de agua =  $725 - 690 = 35 \text{ lts.}$

Corrección en el contenido del ripio M-L 400/72

$X_{b1} (1 - 0,01) = 378 \text{ Kg}$

$X_{b1} \frac{378}{0,99} = 382 \text{ Kg}$

Aporte de agua =  $382 - 378 = 4 \text{ Kg}$

Corrección en el contenido de ripio M-L 401/72

El agua a aportar para llevar este agregado a la condición de saturado y superficie seca en función del peso en balanza del agregado en la condición del acopio será:  $0,004 X_{b2}$  Luego:

$X_{b2} + 0,004 X_{b2} = 874 \text{ Kg.}$

$X_{b2} = \frac{880}{1,004} = 871 \text{ Kg}$

Agua que hay que aportarle:  $871 - 874 = 3 \text{ Kgs.}$

Corrección en el contenido de agua

$a = 150 - 35 - 4 + 3 = 114 \text{ lts.}$

Luego la dosificación de obra en ese momento será:

agua.....	114	lts.
Cemento Portland.....	335	Kg
Arena.....	725	"
Ripio M-L400/72.....	382	"
Ripio M-L401/72.....	874	"

La importancia del ajuste en peso de la balanza se pone de manifiesto en el siguiente cálculo. Supongamos que en las condiciones de acopio se respeten los valores de la dosificación de laboratorio. La Arena aportará:

$690 \times 0,048 = 33 \text{ Kg de exceso de agua}$

y el real aporte de arena en la condición de saturada y superficie seca será :  $690 - 33 = 657 \text{ Kg}$  o sea el 95 % del valor verdadero.-

El agregado grueso M-L 400/72 aportará  $378 \times 0,01 = 3,78$  Kg de agua y el aporte real de este agregado referido a las condiciones de laboratorio será de  $377 - 3,78 = 373,22$  Kg (99%).-

El agregado grueso M L-401/72 quitará  $874 \times 0,004 = 3,50$  kg de agua y su aporte en la condición de saturado y superficie seca será de 877,5 (100,4 %).-

El agua de mezclado será  $a = 150 + 33 + 3,78 - 3,50 = 183$  lts.

Todo esto se traduce en una mezcla más áspera por defecto en la cantidad de arena que llega al 5 % y pérdida adicional de resistencia, pues de la relación agua/cemento = 0,45 de la dosificación calculada pasamos a la  $a/c = \frac{183}{335} = 0,55$  lo que puede llegar a disminuir en un 15 a 20 % la resistencia a compresión a 28 días.-

#### IX - 4 AJUSTE DE DOSIFICACION POR INCORPORACION INTENCIONAL DE AIRE

Tabla 9

Contenidos de aire recomendado para agregados Gruesos de diferentes tamaños máximos

T.M.A.G.		Aire incorporado total
mm.	pulg	%
38 a 63	$1\frac{1}{2}$ a $2\frac{1}{2}$	$5 \pm 1$
19 a 25	$\frac{3}{4}$ a 1	$6 \pm 1$
9,5 a 12,5	$\frac{3}{8}$ a $\frac{1}{2}$	$7,5 \pm 1$

La incorporación intencional de aire permite:

- 1.- Reducir el contenido de agua: Esta reducción es proporcional al contenido de aire a incorporar, dependiendo además de las características superficiales del agregado grueso. Para canto rodado se recomienda una reducción del 2% por cada unidad porcentual de aire deliberadamente incorporado y para los agregados triturados un 4 %.-
- 2.- Reducir el contenido de arena: Dado que el aire incorporado actúa en la mezcla fresca como un agregado fino (de módulo de fineza nulo), puede reducirse el contenido porcentual de este componente -respecto al total de agregados- en una unidad porcentual por cada por ciento de aire deliberadamente incorporado.-
- 3.- Aumentar el contenido de agregado grueso: Este aumento se produce como consecuencia de la disminución de los contenidos de agua y arena y se calcula en base a la diferencia entre  $1 \text{ m}^3$  y la suma de los volúmenes absolutos de los restantes componentes.-

Verificación de las características de la mezcla fresca con aire Incorporado

Una vez mezclados los materiales en las proporciones calculadas, deberá comprobarse el mantenimiento tanto del asentamiento como de la trabajabilidad de la mezcla original y también el contenido de aire (medido de acuerdo a alguno de los métodos que se indicarán más adelante) que deberá coincidir con el previsto, ya que de no ser así deberá efectuarse un nuevo ajuste de mezcla.-

Ejemplo de ajuste de una mezcla de hormigón por incorporación de aire

Contenido de materiales, pesos específicos y volúmenes absolutos de la dosificación original.-

Componente	Contenido unitario Kg/m <sup>3</sup>	Peso específico Kg/m <sup>3</sup>	Volumen Absoluto l/m <sup>3</sup>
aire 1 %	---	----	10
agua	171	1.000	171
Cemento Portland	280	3.150	89
Arena	680	2.640	258
Canto Rodado TM 38mm (1½")	1250	2.650	472
TOTAL	2381	---	1000

Peso Total de agregados:

$$680 + 1250 = 1930 \text{ Kg}$$

Porcentaje de arena

$$\frac{680}{1930} \times 100 = 35\%$$

Porcentaje de Agregado grueso 65 %

En base al tamaño máximo del agregado grueso se adopta un contenido total de aire del 5 % (Tabla 9) Quiere decir que deliberadamente debemos incorporar un 4 % por cuanto en forma natural durante el proceso de mezclado se incorpora un 1 % de aire.-

Reducción de la cantidad de agua

A las letras que hemos adoptado para designar los distintos componentes de la mezcla, la afectaremos de un sub-índice i para la mezcla de aire incorporado.-

Por tratarse de agregado grueso constituido por canto rodado debemos reducir un 2 % de agua de mezclado por cada unidad porcentual de aire deliberadamente incorporado. En nuestro caso esa reducción será entonces de  $2 \times 4 = 8\%$ .-

$$\text{Vale decir que } a_i = 171 - 0,08 \times 171 = 157 \text{ lts.}$$

Reducción del contenido de arena

El contenido porcentual de arena -respecto al total de agregados- se reducirá en un 1 % por cada unidad porcentual de aire deliberadamente incorporado o sea que en la nueva mezcla la arena representará un 31 % y el agregado grueso un 69 % del agregado total.-

Si se mantiene constante el contenido de cemento, el volumen absoluto de la suma de agregados se obtiene de la siguiente expresión:

$$b_i + d_i = 1000 \text{ lts.} - (i_i + C_i + a_i)$$

aquí  $i_i = 50$  lts. por lo que:

$$b_i + d_i = 1000 - (50 + 89 + 157) \text{ lts.} = 704 \text{ lts.}$$

por lo arriba expuesto

$$b_i = 0,69 \times 704 = 486 \text{ lts} - B_i = 0,486 \times 2650 = 1290 \text{ Kg/m}^3$$

$$d_i = 0,31 \times 704 = 218 \text{ lts} - D_i = 0,218 \times 2.640 = 575 \text{ Kg/m}^3$$

La nueva mezcla quedará constituida de la siguiente manera:

Componente	Contenido Unitario Kg/m <sup>3</sup>	Peso Específico Kg/m <sup>3</sup>	Volumen absoluto lts/m <sup>3</sup>
Aire 5 %	---	---	50
Agua	157	1.000	157
Cemento Portland	280	3.150	89
Canto Rodado TM 38 mm (1½")	1290	2650	486
Arena	575	2640	218
Total	2.302	--	1.000

Se observa que la nueva mezcla contiene un 5 % de aire, la cantidad de agua se ha reducido en 14 lts. o sea en un 8 % respecto al contenido original, el cemento portland se ha mantenido constante, la arena ha disminuido 105 kg (15 %) y el agregado grueso aumentó 40 kg (3 %). La relación agua/cemento disminuyó de 0,61 correspondiente a la mezcla original

a 0,56 lo que compensará en gran parte la pérdida de resistencia que podría experimentar la mezcla con aire incorporado respecto a la original.-

Se deberá verificar sobre la mezcla fresca si el contenido de aire es el previsto y si el asentamiento se mantiene constante respecto al de la mezcla original. En cuanto al hormigón endurecido, la resistencia a la compresión promedio de probetas confeccionadas con la nueva mezcla deberán acusar valores del orden de las obtenidas para la mezcla original (con una oscilación tolerable de  $\pm 15$  %).-

#### IX - 5 Pasaje de una dosificación en peso a dosificación en volumen

En obras de poco volumen, obras pequeñas como ser el hormigón para una vivienda, donde no se justifica el empleo de una planta dosificadora en peso, a partir de una dosificación de laboratorio, como las aquí estudiadas -vale decir, en peso- se puede pasar a la dosificación en volumen de acuerdo al procedimiento que se detalla a continuación:

1) Se determinan los pesos unitarios de arena y agregado grueso y cemento en las mismas condiciones de relleno que se emplearán al medirlos para incorporarlos a la hornigonera. Para ello se usarán los mismo cestos a usar en obra, previamente tarados y cubitados.-

2) Se determinará la humedad de los agregados (mediante un ensayo expeditivo de pocos minutos) en el acopio, para compararlo con la humedad de absorción que nos da el laboratorio. Especial atención deberá tenerse con la arena, cuyo peso suelto es muy variable para distintos tenores de humedad.-

Supongamos que la dosificación en peso suministrada por el laboratorio sea:

Cemento Portland.....320 Kg.  
 arena.....803 "  
 Agregado grueso.....1108 "  
 agua..... 176 lts.

La arena tiene 5 % de humedad superior a la de saturación y su peso unitario en condiciones de llenado de cestos similares a los de obra sea 1469 Kg/m<sup>3</sup>.-

El agregado grueso está en acopio en la condición de saturado y superficie seca y su peso unitario (medido en forma similar a la de la arena) sea 1406 kg/m<sup>3</sup>.-

El Cemento tiene un peso unitario suelto de 1400 Kg/m<sup>3</sup> se tendrá:

$$\text{Cemento Portland } \frac{320}{1400} = 228 \text{ lts}$$

$$\text{Arena } \frac{803 \times 1,05}{1.469} = 574 \text{ lts}$$

$$\text{Agregado grueso } \frac{1108}{1406} = 787 \text{ lts}$$

$$\text{Agua } 176 - 0,05 \times 803 = 138 \text{ lts}$$

Para bolsa de cemento de 50 kg deberán multiplicarse estos valores por  $\frac{50}{320} = 0.15625$

con lo que resulta:

$$\text{Arena } (574 \times 0.15625) = 90 \text{ lts}$$

$$\text{Agregado grueso } (787 \times 0.15625) = 123 \text{ lts.}$$

$$\text{Agua } (138 \times 0,15625) = 22 \text{ lts.}$$

Si se quiere expresar la dosificación en la forma nominal l:m:n se dividen los componentes para un m<sup>3</sup> por el correspondiente volumen de cemento (228 lts.)

$$\frac{228}{228} : \frac{574}{228} : \frac{787}{228} \text{ o sea } 1 : 2,5 : 3,4.-$$

## X- ENSAYO DE HORMIGONES EN LABORATORIO

Las mezclas para hormigones estudiadas según los métodos de dosificación teórica desarrollados en capítulos anteriores, son meramente aproximadas y deben verificarse y ajustarse para las condiciones estipuladas, mediante, la confección de pastones de prueba.-

En primer lugar, para el hormigón en estado fresco deberá verificarse consistencia, trabajabilidad (método estimativo), contenido de aire y peso unitario del hormigón compactado.-

Para el hormigón en estado endurecido deberá verificarse la resistencia mecánica exigida, sobre probetas elaboradas y ensayadas de acuerdo a normas.-

El pastón de prueba debe tener un peso no menor de 14 kg. y se lo elabora generalmente con el 1 % de los pesos estipulados en la dosificación teórica. La mezcla puede ejecutarse a pala o en pequeñas hormigoneras.-

El aspecto del pastón de prueba, una vez terminado el mezclado, da una primera idea sobre la trabajabilidad, la posibilidad de que haya o no segregación y el grado de consistencia.-

### X.- 1.- Determinación de la Consistencia (Mediante el tronco cono Abrams)

Corresponde a la norma I.R.A.M. 1536. El ensayo consiste en llenar un recipiente metálico de forma tronco cónica (de 30 cm. de altura, 20 cm. de diámetro inferior y 10 cm. de diámetro superior) con el hormigón elaborado como pastón de prueba. El llenado se hace en tres capas de igual altura compactando cada capa con 25 golpes, uniformemente distribuidos, de una varilla de hierro redonde de 60 cm. de largo y 16 mm. de diámetro con el extremo inferior redondeado. La varilla debe introducirse en la profundidad de la capa que se compacta (fig. 5- Cap. II-3).-

Terminado el llenado, se enrasa la mezcla con la base superior, se da un pequeño giro al tronco de cono y luego se lo levanta suavemente y verticalmente hasta dejar la mezcla libre para permitir su asentamiento.-

La medición de la consistencia se hace midiendo el descenso en cm. que experimenta la mezcla al compararla con la altura del cono (fig. 6 Cap. II-3). Este asentamiento da una idea de la capacidad del hormigón para cambiar de forma y por lo tanto el grado de energía de compactación necesario para lograr una efectiva consolidación sin que queden huecos entre partículas y las armaduras sean completamente cubiertas.

Como ya hemos mencionado anteriormente, el asentamiento en tronco cono de Abrams no es una medida de la trabajabilidad, sino una de las características que la definen. Para obtener más información que permita evaluarla, a falta de un ensayo que la defina, es recomendable observar el aspecto del tronco de cono de hormigón una vez asentado, en lo que hace a su cohesión, escurrimiento de agua y aspecto superficial más o menos cerrado. Si se golpea lateralmente este tronco de cono de hormigón con la varilla de compactación, el hormigón trabajable se deformará plásticamente sin segregación de partículas de agregado grueso (fig 7 Cap. II-3). Además la superficie deberá cubrirse con mortero al

pasaje suave de una cuchara de albañil. Una respuesta áspera al golpe lateral de la varilla o al pasaje suave de la cuchara de albañil señalará mezclas poco trabajables.-

Con respecto a la medida en obra de la consistencia en cono de Abrams, se puede facilitar la tarea haciendo uso de un valioso dispositivo auxiliar llamado semi esfera de Kelly. Como su nombre lo indica, consiste en un bastidor que sostiene una semi esfera metálica cuyo peso es  $13.620 \pm 45$  gramos y un diámetro de 152 mm. Esta semiesfera puede desplazarse verticalmente sostenida por el bastidor y un índice vinculado al mismo puede indicarnos su hundimiento, cuando todo el dispositivo es colocado en la superficie de un hormigón recién puesto en obra y alisado, y la esfera es dejada en libertad para desplazarse.- Figura 30.-

Si previamente se correlacionan ensayos de asentamiento en cono y penetración de la semiesfera, la constancia del referido asentamiento puede medirse fácilmente con ésta en cualquier momento y lugar de la estructura que se moldea.-

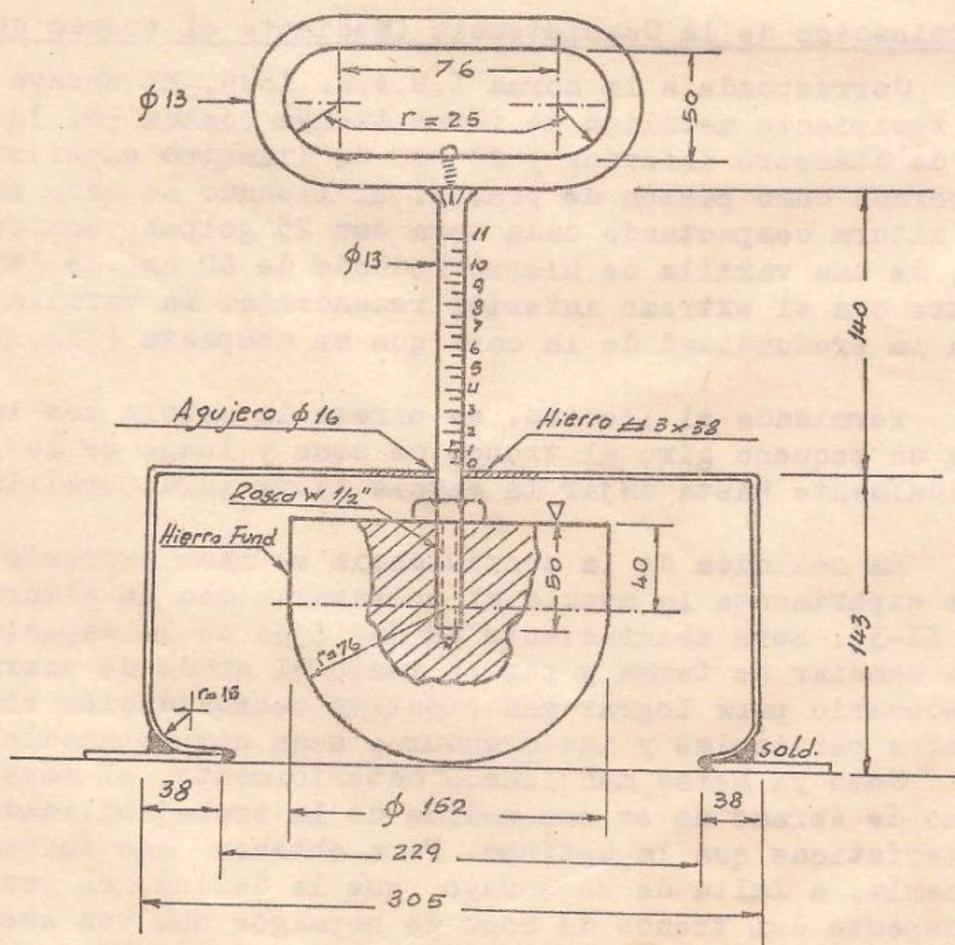


Fig 30.- SEMIESFERA DE KELLY

## X - 2.- Determinación del contenido de aire de la mezcla fresca

Existen varios métodos para la determinación del contenido porcentual de aire en el hormigón que son los siguientes:

- a) de presión
- b) volumétrico
- c) gravimétrico
- d) dispositivo AE- 55

### X - 2.- a) Método de Presión (Método de Washington)

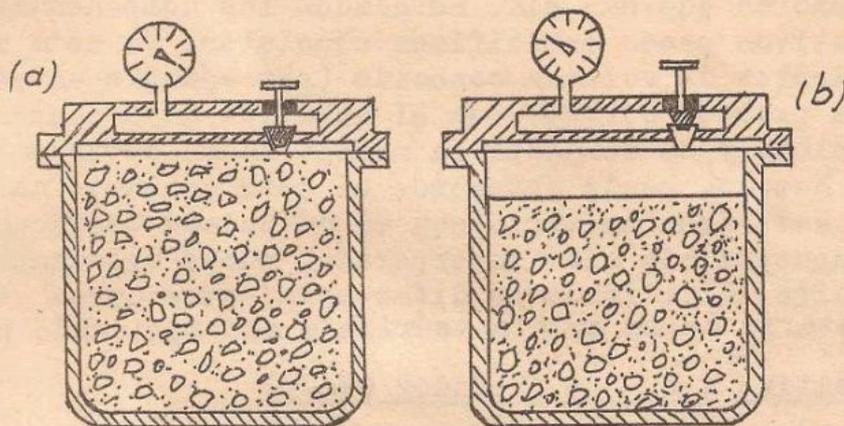


Fig 31 a y b - ESQUEMA APARATO DE WASHINGTON  
(BASADO EN LEY DE BOYLE Y MARIOTTE)

Consiste en introducir aire con presión conocida en un recipiente con hormigón fresco (Fig. 31-a). Dado que el hormigón en ese estado es un fluido en cuyo interior se encuentran las burbujas de aire, éstas siguen la ley de Boyle y disminuyen su volumen en proporción inversa a la presión recibida. De esta manera al poner en comunicación un recipiente de volumen conocido, al que se ha dado (mediante inflado) una presión determinada de aire, con otro (de volumen también conocido) en el que se encuentra el hormigón (Fig. 31-b), el aire de la primera cámara comprime al que contiene el hormigón ocupando un nuevo volumen que es proporcional al contenido de aire del hormigón. Este aumento de volumen disponible para el aire de la primera cámara disminuye su presión y mediante una adecuada calibración permite conocer directamente el contenido de aire en porcentaje.-

La calibración es muy sencilla ya que basta llenar el recipiente destinado al hormigón con agua. Se van efectuando marcas en la escala manométrica para volúmenes de agua equivalentes al 100, 99, 98... etc. % del volumen total destinado al hormigón cuando al conectar la primera cámara con el aire a presión, la aguja desciende, lectura que corresponderán entonces al 0; 1; 2 ... etc. % de aire en el hormigón en estudio.-

### X-2.- b) Método Volumétrico

En este método se elimina el aire contenido en el hormigón de la siguiente manera: Se llena con hormigón un recipiente cilíndrico que tiene dos litros de capacidad y que, además, se prolonga mediante un tubo graduado con visor el que se llena de agua hasta una primera marca. El conjunto se sacude hasta eliminar el aire y la nueva lectura en la escala nos da el contenido de aire del hormigón en estudio.-

### X-2.- c) Método Gravimétrico

Su empleo exige el conocimiento previo, tanto de las proporciones en peso en que han sido mezclados los componentes del hormigón, como sus respectivos pesos específicos absolutos. De esta manera, si se llena un recipiente de volumen conocido (por ejemplo un molde metálico cilíndrico para probeta normal) con el hormigón cuyo contenido de aire se desea determinar y se compacta la mezcla hasta obtener la total eliminación de los huecos, puede obtenerse el peso unitario del mismo. Por comparación de este peso unitario con el calculado teóricamente para la misma mezcla supuesta sin aire incorporado, puede calcularse el contenido porcentual de aire, dividiendo la diferencia entre ambos pesos unitarios por el peso unitario de la mezcla teórica y multiplicando por 100.-

### X-2.- d) Dispositivo A E - 55 (Medidor Chace)

Se usa para mediciones expeditivas, especialmente para controles de rutina en proceso de elaboración en gran escala.-

Consiste en un tubo de vidrio de 15 cm. de largo; la mitad tiene un diámetro de 25 mm y la otra mitad 4 mm. En el extremo de mayor diámetro se coloca un tapón que tiene un recipiente (a modo de dedal) hacia el interior del tubo y en el que se coloca una cantidad fija de mortero extraída del hormigón en estudio. Se agrega alcohol isopropílico (para evitar la formación de espuma) hasta una marca graduada en el tramo del tubo de menor diámetro; tapando luego el extremo más delgado con un dedo, se sacude el recipiente hasta disolución del mortero. Se deja en reposo y el descenso que experimenta la lectura en escala graduada corresponde al aire desprendido.- Fig. 32.-

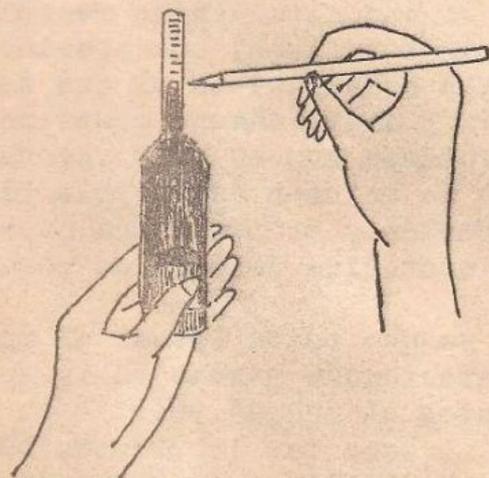


FIG. 32.- DISPOSITIVO AE-55

Como el valor determinado es el del contenido de aire del mortero, debe corregirse en función del volumen relativo del mortero al total del hormigón -que debe conocerse o estimarse-. Este método es, en realidad, una variante del volumétrico, en el que, en lugar de efectuarse la determinación con el hormigón, se emplea mortero extraído del mismo.- Este ensayo se ejecuta en pocos minutos y sirve solamente para controlar pérdidas de contenido de aire por defectuosos procedimientos de terminado en áreas pequeñas.-

### X - 3.- PESO UNITARIO DEL HORMIGON FRESCO

Se determina simultáneamente con el moldeo de probetas, dado que el procedimiento de llenado es el mismo y está normalizado (I.R.A.M. 1524 para obra y 1534 para laboratorio). Una vez llenada la probeta, ya sea por varillado (asentamientos mayores de 8 cm) o por vibración interna o externa (asentamientos hasta 8 cm), se engrasa su borde superior y se pesa. El peso uniforme se obtiene por cociente entre el peso del hormigón contenido en el molde y el volumen de éste .-

### X - 4.- MOLDEO DE PROBETAS EN LABORATORIO Y SU CURADO

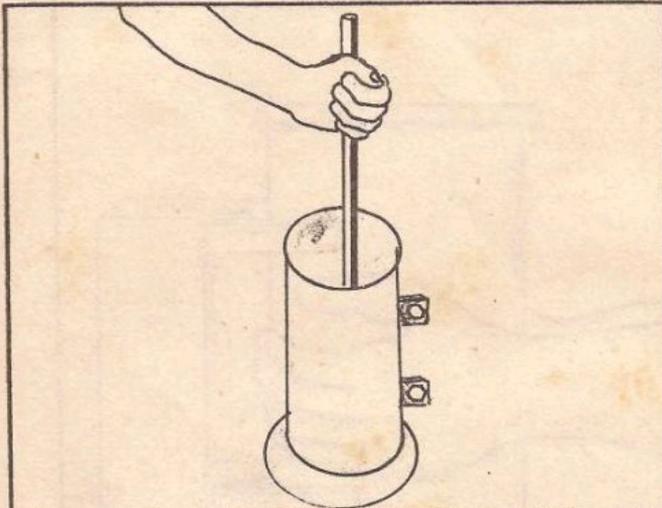


Fig 33 Compactación por varillado de una probeta cilíndrica de hormigón de 15 cm. de diámetro y 30 cm. de altura.-

Como se ha dicho anteriormente el procedimiento de compactación depende del asentamiento del hormigón. Cuando se utiliza el varillado, la compactación se efectúa en tres capas, haciendo penetrar la varilla de acero común liso de 16 mm. de diámetro y con la punta redondeada, 25 veces por capa en la masa del hormigón (Fig. 33). Esto es válido para probetas cilíndricas de relación altura-diámetro igual a 2 y no más de 15 cm de diámetro (Normas I.R.A.M. 1524 y 1534).-

En el laboratorio las condiciones durante todo el período comprendido entre el moldeo y el ensayo son de  $20 \pm 1^\circ \text{C}$  de temperatura y más de 95 % de humedad relativa ambiente. Para el caso de obra, las condiciones varían entre el curado inicial de 24 horas, en que la temperatura debe mantenerse dentro de los límites de  $20 \pm 1^\circ \text{C}$  y debe evitarse toda pérdida de humedad. En el curado posterior las condiciones son: temperatura  $21 \pm 3^\circ \text{C}$  y humedad suficiente para asegurar la presencia de agua libre en la superficie de la probeta. La figura 34 muestra la influencia del curado en la resistencia a la compresión.-

Para los ensayos de compresión es fundamental lograr que los dos extremos de las probetas sean paralelos entre sí y sus superficies

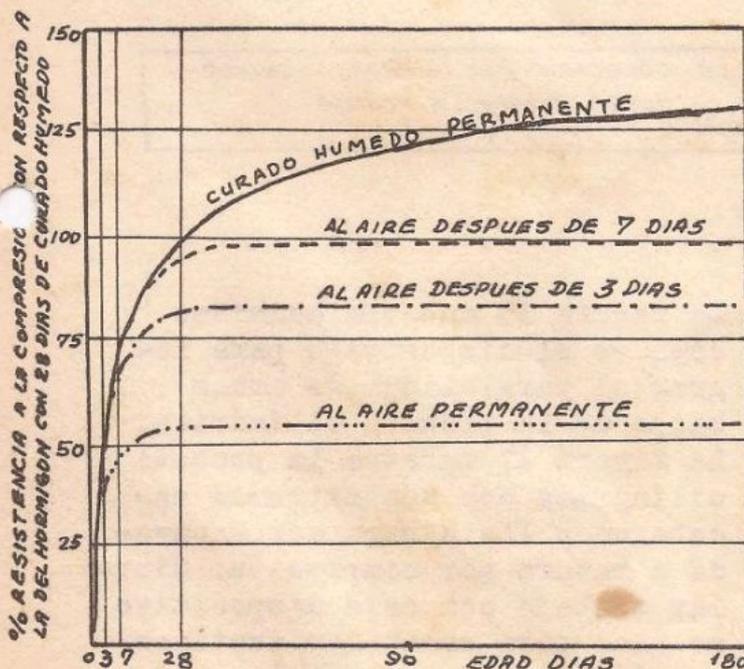


FIG. 34.- INFLUENCIA DE LA HUMEDAD DISPONIBLE PARA LA HIDRATACION DEL CEMENTO PORTLAND EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL HORMIGON. -

Para lograr esto, el sistema más práctico es el del encabezado con material plástico en caliente que consiste en una mezcla de 70 % de azufre, 15 % de grafito y 15 % de polvo calcáreo. Esta mezcla, al calentarse se funde y en ese estado es vertida en un dispositivo que consta de una bandeja de acero duro cuya superficie no se aparta de un plano en más de 5 centésimos de milímetro (Fig.35). La probeta se apoya alternativamente sobre sus bases en el material fundido que se endurece de inmediato y permite su ensayo a los pocos minutos de encabezado.- Fig. 36.-

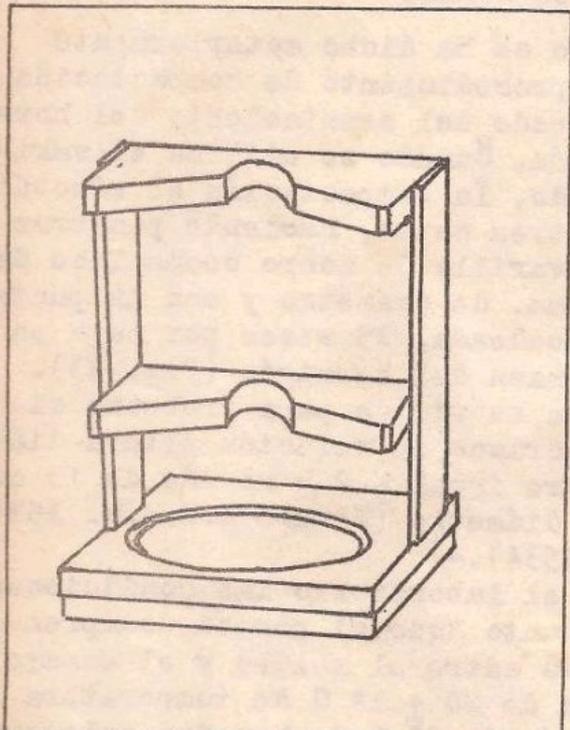


FIG.35.- DISPOSITIVO PARA ENCABEZADO DE PROBETAS CILINDRICAS DE 15cm DE DIAMETRO.- VERTIDO DE LA MEZCLA FLUIDA PARA ENCABEZAMIENTO

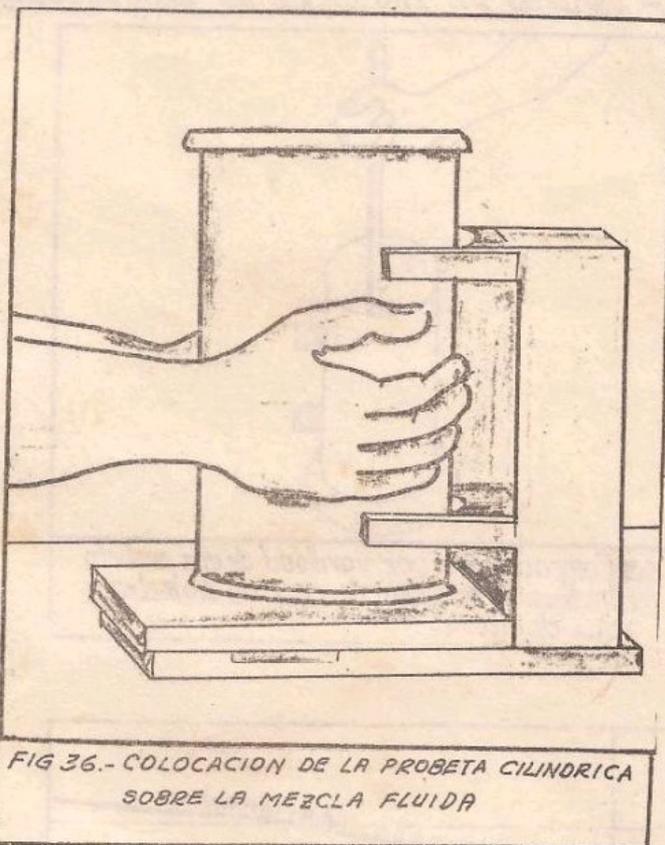


FIG 36.- COLOCACION DE LA PROBETA CILINDRICA SOBRE LA MEZCLA FLUIDA



FIG.37.- PROBETA CILINDRICA CON SUS EXTREMOS ENCABEZADOS

La figura 35 muestra asimismo cómo es el dispositivo para lograr el paralelismo de ambas bases de la probeta cilíndrica. La figura 37 muestra la probeta cilíndrica con sus extremos encabezados lista para ser ensayada a rotura por compresión. Similar trabajo con este dispositivo se hace para encabezar testigos calados de estructuras (por ejemplo pavimentos).-

X - 5.- Ensayo de Rotura por compresión

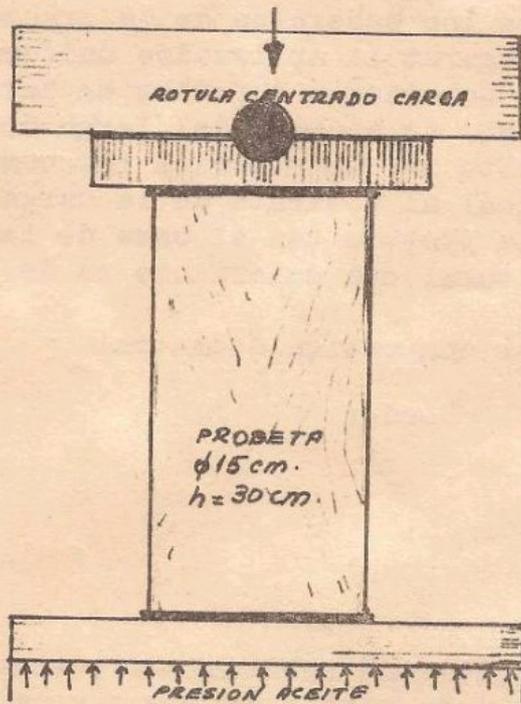


FIG.38.- ROTURA POR COMPRESION DE UNA PROBETA CILINDRICA -(ESQUEMA APLICACION CARGA).

Es importante la verificación de los cabezales de la prensa cuyas superficies no dene apartarse de un plano en más de 2 centésimos de milímetro. En cuanto a las lecturas en el cuadrante el error tolerable es del 10 % con respecto a los valores del equipo de constatación. Finalmente la velocidad de carga debe mantenerse entre los 250 y 600 kg. por segundo para probetas de 15 cm. de diámetro durante la parte final del ensayo. Un ensayo excesivamente lento estaría sometiendo a la probeta a una sollicitación estática y podría provocar su rotura a un valor inferior, debido a un mayor lapso de aplicación de la carga (I.R.A.M. 1546). La figura 38 muestra el instante de la rotura de la probeta.-

X - 6.- Ensayo de rotura a la tracción por compresión diametral

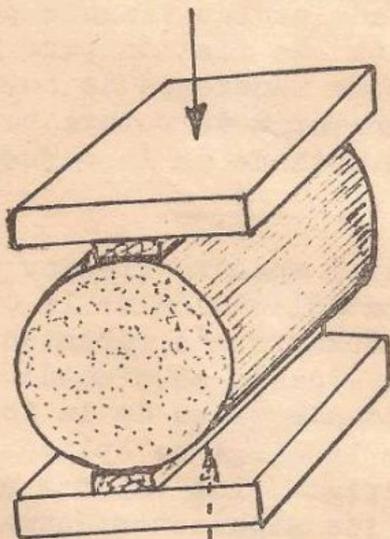


FIG. 39.- ENSAYO DE TRACCION POR COMPRESION.

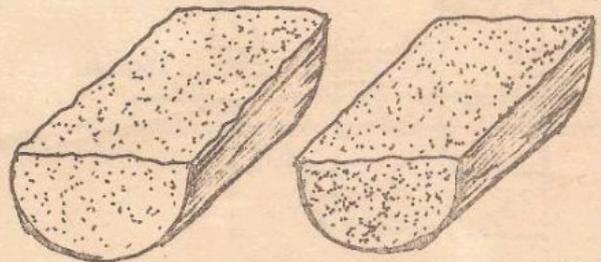


FIG.40: ASPECTO DE UNA PROBETA CILINDRICA POSTERIOR A SU ROTURA DE TRACCION POR COMPRESION (METODO BRASILEÑO).

Se utilizan las mismas probetas cilíndricas que para el ensayo de compresión pero no hace falta encabezarlas dado que el ensayo se efectúa colocando la probeta entre los cabezales de la prensa con su eje longitudinal horizontal. Para asegurar la aplicación uniforme de la carga a lo largo de las generatrices superior e inferior se interponen tablillas de 4 mm. de espesor y 25 mm. de ancho y del largo de la probeta (Fig. 39). La sollicitación resulta ser de tracción por compresión, con un valor unitario de carga igual al cociente de la carga de rotura por la semisuperficie lateral de la probeta (en el caso de la probeta de 15 cm. de diámetro y 30 cm. de altura, esa superficie es de 702 cm<sup>2</sup> -Fig. 40- ASTM C-496-71.

Resistencia de rotura a tracción por compresión diametral

$$\sigma_t = \frac{2 P}{\pi d l} \quad \text{Donde:}$$

- P = Carga de rotura
- d = Diámetro de probeta
- l = Largo de la probeta

### I - 7.- Ensayo de Flexión

Se utilizan habitualmente vigas de hormigón simple de forma prismática, de base cuadrada de 15 cm. de lado y 53 cm. de largo. Estas vigas se ensayan con las cargas en los tercios de la luz entre apoyos que es de 45 cm., a fin de asegurar que si la rotura se produce en el tercio medio sea provocada exclusivamente por una sollicitación de flexión pura y sin influencia de tensiones de corte. La carga unitaria de rotura por flexión se obtiene de la expresión

$$f = \frac{M}{W}$$

Donde M es el momento flector provocado por la aplicación de la carga y W es el momento más resistente de la sección. Cuando se efectúa el ensayo utilizando vigas de la forma indicada y la carga se aplica en la forma descrita, los valores a utilizar son los siguientes: (Norma I.R. A.M. 1547)

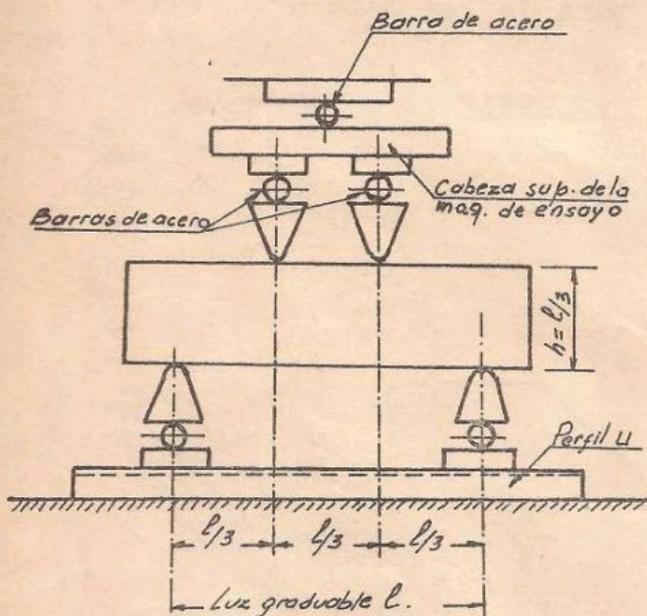


Fig 41- DISPOSITIVO PARA ENSAYO DE FLEXION

$$\sigma_f = \frac{P \times 15/2 \text{ kgom}}{15^3/6 \text{ cm}^3} = \frac{1,33 \times P}{100} \text{ Kg/cm}^2$$

## XI ENSAYOS ACELERADOS

### XI a) Justificación de los ensayos de resistencia a la rotura por compresión a 28 días

Tradicionalmente se ha adoptado como edad para la ejecución de los ensayos definitivos destinados a determinar la calidad del hormigón, la de 28 días. Esta cantidad de días no es arbitraria sino que responde a la necesidad de que dado que el moldeo se efectúa en día laborable, habitualmente se tenga una seguridad razonable que el día del ensayo también lo sea, y además facilita las tareas de laboratorio al corresponder al mismo día de la semana. En cambio si se hubiese adoptado como edad para ensayo un mes, ello obligaría a fijar la fecha del moldeo para tener la seguridad que al cumplirse el período (que podría ser de 28 a 31 días) el ensayo pueda realizarse.-

La fijación de un plazo tan largo entre el moldeo y el ensayo, tiene su origen en el hecho conocido que la mayoría de los cementos comunes alcanzan aproximadamente a esa edad, un grado de hidratación cercano al definitivo (partiendo de la base que la probeta a ensayar, haya sido mantenida en condiciones mínimas normalizadas de humedad y temperatura, durante todo ese lapso). O sea que si bien la resistencia que se determina a los 28 días no corresponde a la final del hormigón, el proceso a partir de esa edad se va haciendo asintótico, con una velocidad de hidratación decreciente con el tiempo, por lo que su variación para edades posteriores es pequeña en proporción a la alcanzada en los primeros 28 días a partir del moldeo.-

En cambio si se efectúan los ensayos a edades menores a 28 días, se observa una gran dispersión en los valores por las diferentes características que posee el proceso ya mencionado de hidratación, de acuerdo a la composición química y otras propiedades del cemento empleado.-

O sea que el dilema que se presenta a aquél que desea conocer la calidad de un hormigón en base a resultados de probetas, es esperar a 28 días para tener resultados definitivos o efectuar ensayos prematuros, especialmente a 7 días, que salvo para los cementos de alte resistencia inicial, están afectados de alta dispersión.-

Lo antedicho es cierto siempre que se ensayen las probetas sometidas a curado normalizado; en cambio si se incrementa la velocidad de hidratación del cemento sometiendo las probetas a procesos especiales de curado, se logra un envejecimiento artificial obteniéndose a edades muy cortas (1 o 2 días) valores de resistencia muy superiores a los que alcanzarían las mismas probetas sometidas a curado normalizado, y lo que es muy importante, se obtienen dispersiones mucho más pequeñas en las correlaciones a los 28 días.-

### XI b) Requisitos básicos para un método de ensayo acelerado

A fin de que un determinado método de ensayo acelerado contribuya realmente a mejorar las condiciones de control de los hormigones en laboratorio y en obra, deberá cumplir con la mayor cantidad de las con-

diciones que se establecen a continuación:

- 1) El equipo y el procedimiento deberán ser sencillos y en el caso particular de los utilizados en obra, de fácil traslado.-
- 2) Los resultados deben poder ser conocidos con la menor dilación posible, a fin de lograr el máximo de ventaja, especialmente en obras de gran envergadura, en que el hormigonado es permanente.-
- 3) Los valores obtenidos deberán permitir pronosticar la resistencia a los 28 días, con un grado tolerable de exactitud. Deberá poderse establecer con seguridad un rango de oscilación porcentual de la resistencia pronosticada con respecto a la real, dentro del cual se encuentre por lo menos el 90 % de los ensayos efectuados.-
- 4) La resistencia en el ensayo acelerado deberá ser lo más cercana posible a la de 28 días; además las correlaciones deberán ser válidas para la gama más amplia posible de resistencia y de componentes de los hormigones.-

#### XI b) Características comunes y tendencias en los ensayos acelerados

Desde hace casi medio siglo se está investigando sobre este tema y los que lo han estudiado ha coincidido en general en usar el calor como medio para acelerar la hidratación. Las formas de aplicación del calor son diversas; en unos casos se han utilizado baños de vapor, en otros calentamientos en horno a distintas temperaturas, o inmersión en agua a temperaturas comprendidas entre 55 y 100 ° C.-

Los períodos de curado normal previo a la aplicación del calor varían entre media hora y 24 horas, mientras que el lapso durante el cual se aplica el calentamiento oscila entre 3 y  $\frac{1}{2}$  y 20 horas y la edad de la probeta en el momento del ensayo va de 7 a 37 horas, para la mayoría de los métodos.-

Según Malhotra la tendencia más generalizada es la que corresponde a períodos de curado normal de entre 18 y 24 horas, calentamientos de entre 3 y 4 horas y temperaturas comprendidas entre 80 y 100°C.

#### XI d) Métodos empleados en nuestro país

El Ingeniero Aubert presentó al V Congreso Vial de Córdoba 1964, un trabajo efectuado en el I.C.P.A. siguiendo los lineamientos del método propuesto por J.W.H. King que consiste en someter las probetas de hormigón (que en el trabajo original eran cúbicas, mientras que en este caso se utilizaron cilindros de 15 x 30) al siguiente proceso: 23 horas en cámara húmeda y 3 horas en estufa, la que debía llegar en la primera hora a 85 ° C y en menos de 2 horas a 93 °C. El ensayo se efectuó media hora después de salir de la estufa con una duración total de 26 horas 30 minutos. Se moldearon en total 240 probetas correspondientes a 30 dosificaciones. De la observación de los valores obtenidos para la correlación 26 h. 30 m.-28 días, surge que el 90 % de los resultados se encuentran dentro del rango de aproximadamente  $\pm 6$  % con respecto a la curva de correlación trazada.-

En el trabajo titulado "Sobre un ensayo acelerado de hormigones" presentado por el Ing. Fliess, a las Décimas Jornadas de hormigón estructural, Buenos Aires- 1965, se expuso un método consistente en el

moldeo de probetas cilíndricas de 5 x 10 cm. confeccionadas con un mortero de las mismas características del que se utiliza en el hormigón cuya resistencia se desea pronosticar. Las probetas de mortero fueron sometidas al siguiente proceso: 17 horas en cámara húmeda, luego 3 horas en agua en ebullición, con una duración total de 20 h. 15m. Se confeccionaron 30 probetas de mortero de 15 x 10 y 20 probetas de hormigón de 15 x 30 cm. correspondientes a 5 dosificaciones diferentes de hormigón.-

Como el autor lo expresa, este trabajo es exploratorio y considera necesario la realización de gran cantidad de ensayos, para poder contemplar posteriormente los efectos de una serie de variables que influye sobre la resistencia del hormigón.-

Los Ingenieros Burgoa y Bunge presentaron a las Décimo-Cuartas Jornadas de Ingeniería Estructural, Buenos Aires 1970, el trabajo

"Pronóstico de la resistencia a 28 días en el Hormigón de Cemento Portland"; en dicho trabajo se describe el método empleado que consiste en introducir probetas de hormigón con agregado grueso de tamaño máximo 25 mm, de 10 x 20 cm., cilíndricas, en recipientes de 18 litros de capacidad dentro de los cuales se mantienen 10 litros de agua a 55 ° C de temperatura; el conjunto se coloca en cajas de material aislante térmico, en las que permanecen durante 23 horas hasta que se sacan y se ensayan las probetas, que alcanzan una temperatura final de 42 ° C. O sea que el ensayo tiene una duración de 23 horas y según los autores se consigue en la correlación entre el ensayo acelerado y el de 28 días, un coeficiente de variación comprendido entre el 5 y el 10 %.-

XI e) Ensayos acelerados de hormigones actualmente en ejecución en el I.C.P.A.

A partir del año 1970, por indicación del Ingeniero García Balado, comenzaron a efectuarse ensayos en el Laboratorio del I.C.P.A.,

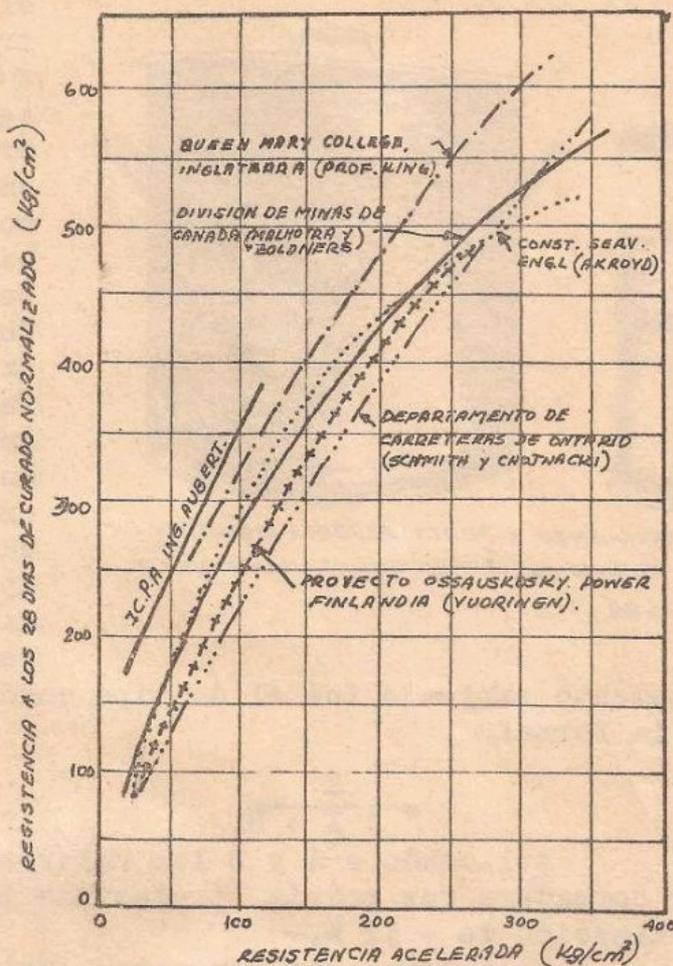


FIG. 42. COMPARACION DE LOS DIFERENTES METODOS DE CURADO ACELERADO DE HORMIGONES.

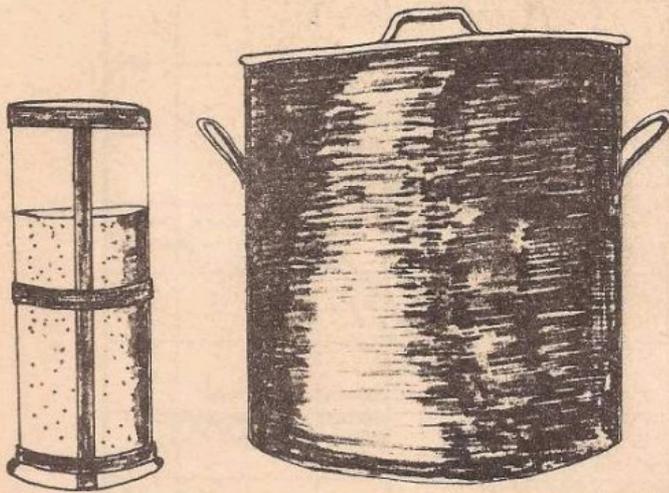


FIG. 43.- RECIPIENTE Y PORTA PROBETA EMPLEADOS EN EL ENSAYO ACELERADO SEGUN NORMA A.S.T.M. (C-684-71-T).

siguiendo el método descrito en el trabajo ya mencionado de Malhotra (probetas cilíndricas de 15 x 30 cm; cámara húmeda: 24 horas; Agua en ebullición: 3 ½ horas; enfriamiento y encabezado: 45 minutos ensayo a 28 horas 15 minutos de moldeo) que efectuó tomando como base el de Akroyd ("The Accelerated curing of Concrete Test Cubes" The Institution of Civil Engineers, Proceedings, 1961) con la diferencia que mientras éste utilizó cubos, aquél empleo cilindros normales de 12 cm. de diámetro por 30 cm. de altura.-

Malhotra confeccionó un total de 1512 cilindros de ensayo correspondientes a 132 dosificaciones diferentes en las que en todos los ca-

sos el cemento empleado fué el de tipo común y obtuvo una curva de correlación de la forma:

$$X = \frac{A}{A X + B}$$

Aplicando a A y B los valores 0,001 y 0,29 respectivamente, el autor considera que podría predecirse la resistencia a 28 días, con una aproximación de + 12 %.-

Es interesante destacar que en los ensayos que se vienen efectuando en el I.C.P.A. siguiendo esta técnica (la que en el año 1971 ha sido normalizada tentativamente por ASTM con la denominación C-684-71 T, método B), se han estudiado 38 mezclas de hormigón diferentes que corresponden a un total de 309 probetas, entre las ensayadas a 28 h. 15 m.; a 7 días y a 28 días.-

En las dosificaciones utilizadas han intervenido cementos comunes y de alta resistencia inicial, distintas relaciones agua/cemento y asentamientos, así como arenas de módulos de fineza comprendidas entre límites muy amplios y agregados gruesos de forma, textura, origen geológico y granulometrías muy variadas.-

Se observa en el gráfico (Fig. 44) que los valores obtenidos de correlación para todos los ensayos entre 28 h. 15 m. y 28 días siguen la tendencia de las curvas propuestas por Akroyd y Malhotra, con una dispersión en más o en menos del 10 % para el 90 % de los puntos obtenidos

Evidentemente la cantidad de ensayos efectuada no es suficiente como para abrir juicio definitivo sobre el grado de exactitud que este método pueda brindar con los materiales de nuestro país. Sin embargo el hecho de que los resultados sean prácticamente coincidentes a los obtenidos en los trabajos mencionados, que están avalados por los valores co-

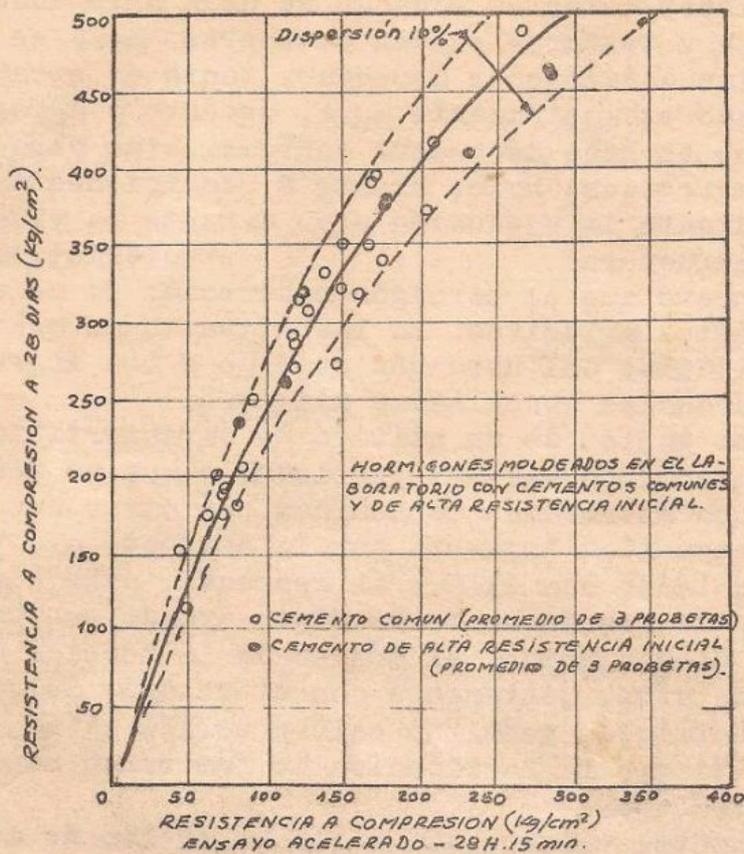


FIG. 44.- RELACION ENTRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION EN EL ENSAYO ACELERADO\* Y LA DE 28 DIAS.

\* CAMARA HUMEDA: 24 HORAS  
AGUA EN EBULLICION: 3 HORAS 30 MINUTOS  
ENFRIADO Y ENCABERADO: 45 MINUTOS.

respondientes a miles de probetas ensayadas, permite suponer que pueda llegar a contarse con los medios para pronosticar con precisión razonable la resistencia a 28 días del hormigón. Y de acuerdo al comentario que acompaña la norma tentativa de ASTM, ya citada, puede afirmarse que no está lejano el día en que se abandone definitivamente el criterio de determinar la calidad del hormigón en base a la resistencia a 28 días, con curado en cámara húmeda, para ser reemplazado por alguno de los métodos en estudio, de curado acelerado, que permita conocer la resistencia del hormigón a no más de 24 horas de edad, con una precisión del orden de la de 28 días.

## XIII - ADITIVOS

En condiciones normales -cuando se usan agregados de adecuada granulometría, forma y textura- pueden obtenerse mezclas para hormigones que cumplan con las condiciones deseadas, tanto en estado fresco como endurecido, utilizando exclusivamente agua, cemento y agregados. No obstante, hay veces en que se hace necesario contrarrestar características indeseables de los agregados, hacer frente a condiciones meteorológicas anormales, tanto durante la ejecución como durante la vida útil de la estructura, moldear estructuras con características especiales, o en las que se prevé que el hormigón endurecido ha de estar sometido a la acción de agentes agresivos. En las situaciones mencionadas pueden mejorarse las cualidades del hormigón sumando a los ingredientes habituales, distintas sustancias denominadas aditivos.-

A veces, el empleo de un aditivo de características adecuadas puede impartir al hormigón ciertas propiedades que no podrían obtenerse en otra forma o con medios más económicos. En otros casos el empleo del aditivo es una necesidad impuesta por la estructura o por el medio que se pondrá en contacto con ella y al respecto, cabe aquí consignar que durante el moldeo de los tubos de hormigón armado que constituyen el túnel subfluvial Hernandarias, el empleo de la técnica de la incorporación intencional de aire, juntamente con el retardo del tiempo de fraguado inicial del hormigón, permitió salvar serias dificultades de colocación y al mismo tiempo la fabricación de los tubos sin las llamadas juntas frías o de trabajo.-

Históricamente, podemos decir que el empleo de aditivos es mucho más antiguo que el del Cemento Portland. Hace más de 2.000 años que los romanos agregaban sangre, tocino y leche a sus hormigones de cementos naturales, probablemente para aumentar la trabajabilidad. Dado que la sangre actúa también como incorporador de aire, al emplearla han contribuido -sin imaginárselo- a aumentar la durabilidad de los hormigones empleados entonces.-

Ya y como historia reciente vinculada a la fabricación de Cemento Portland, ocurrió en los EE.UU. (año 1938) un hecho anecdótico. Con el fin de aumentar el rendimiento de la molienda de clinker, se usaron a modo de dispersante y con el objeto de reducir el efecto conocido como "almohadillado", sustancias orgánicas de naturaleza aceitosa, grasa o resinosa, que, además, modificaban la superficie del cemento obtenido. Estos cementos proporcionaron hormigones más resistentes a la acción de las heladas. La investigación de este efecto beneficioso permitió descubrir la presencia -en la masa de los hormigones- de pequeñas burbujas esféricas de tamaño uniforme y homogéneamente repartidas. Nació así, el primer grupo de aditivos para el hormigón, "los agentes incorporadores de aire".-

Conocidos los efectos de los "aireantes", "inclusores" u "oclusores" de aire, como se bautizó a estos aditivos, se investigó la causa de su acción, llegándose al fondo físico químico de la misma, "la acción tenso activa", es decir, la influencia en la tensión superficial del agua y en la tensión interfacial líquido (agua)-sólido (cemento-áridos) con todas las derivaciones que ello tiene dentro de la

físico química de superficie e incluso de la coloide química; fenómenos de dispersión, defloculación, humectación, plastificación, fluidificación, espumación, detergencia, etc., muchos de ellos hermanos entre sí, o unos consecuencia de los otros, pero todos inter-relacionados a través de la actividad superficial y de las propiedades de adsorción de estos primeros aditivos. Y como consecuencia surgieron nuevos aditivos de variados propósitos o efectos y combinaciones de ellos.-

En los países con tecnología del hormigón más avanzada, como los EE.UU. y Alemania, entre otros, donde el volumen de hormigón en masa armado, pretensado o prefabricado es considerable, se puede decir que del 60 al 65 % del total de estos hormigones llevan aditivos.-

Alguien ha llamado a los aditivos "el cuarto componente del hormigón". Para dar una idea de la amplia difusión lograda por estos productos, citamos el caso de que, solamente en Inglaterra en el año 1968 el empleo de lignosulfanatos (uno de los compuestos activos de mayor uso en la fabricación de aditivos) era del orden de las 2.500 Ton./año.-

Es importante aclarar que los aditivos, al modificar las propiedades del hormigón pueden no ser inócuos y provocar inconvenientes ya sea por un uso inadecuado o por heterogeneidad de sus características. Esto puede traer aparejadas disminuciones importantes de resistencias, paralización de procesos de endurecimiento, excesivas contracciones por fraguado, etc., con las consiguientes pérdidas materiales e inclusive la posibilidad de accidentes. Por lo tanto, se recomienda en todos los casos efectuar ensayos previos de laboratorio para determinar las propiedades de un dado aditivo y especialmente las dosificaciones más adecuadas. Por otra parte, se considera conveniente vigilar, mediante ensayos periódicos, el mantenimiento de las propiedades del producto a lo largo del tiempo. Esto obliga a que:

- a) El personal de Empresa e Inspección tengan los conocimientos necesarios para apreciar las ventajas y las limitaciones del uso de estos materiales.-
- b) Se disponga de los equipos adecuados de medición y control.-
- c) Los fabricantes tengan la seriedad, honestidad y responsabilidad técnica y moral que les permita poner en el mercado un producto de calidad y además cuenten con el apoyo de un laboratorio tecnológico bien equipado y también con personal especializado para un correcto asesoramiento técnico.-
- d) Se elija el aditivo adecuado a cada necesidad y conjunto de condiciones de obra, como así también la dosis adecuada para que se pueda alcanzar el fin deseado. Como primera tentativa podrá emplearse la dosis normal recomendada por el fabricante.-

Como acotación diremos que una dosis excesiva del retardador del tiempo de fraguado -por ejemplo- podría mantener durante varios días al hormigón en estado plástico y aún, impedir definitivamente su fraguado y endurecimiento. En igual forma una dosis excesiva de incorporador de aire podría ocasionar una seria reducción de la resistencia. Una dosis excesiva de cloruro de calcio puede producir un endurecimiento prematuro del hormigón y dificultar su colocación. También en plazo diferido puede provocar la corrosión de la armadura.-

## TIPOS DE ADITIVOS

Los distintos tipos conocidos de aditivos pueden agruparse -por sus efectos en la modificación de las características de un hormigón normal- en la forma que se indica a continuación:

- a) Fluidificantes Reductores del contenido de agua de mezclado (denominados también plastificantes).-
- b) Retardadores del tiempo de fraguado inicial
- c) Aceleradores de resistencia
- d) Incorporadores de aire
- e) Varios - Otros aditivos

La literatura técnica especializada reconoce actualmente 15 tipos distintos de aditivos. Algunos pueden contener compuestos químicos que -separadamente- podrían hacerlos pertenecer a dos o más de los tipos mencionados, por ejemplo: un fluidificante pueden contener sustancias que produzcan incorporación de aire. Caen dentro de los llamados aditivos de acción múltiple o polivalente y pueden ser o no, mezclas de aditivos simples unitarios. Al respecto hay que ser cauteloso en el uso pues las propiedades simples no suelen ser aditivas en conjunto, como -ya a título de ejemplo- no pueden mezclarse medicinas específicas para distintas enfermedades con el objeto de curarlas todas a un tiempo, aún cuando aisladamente, cada una sea buena para la suya.-

### Fluidificantes

Por sus destacadas propiedades, son los más útiles y de mayor futuro. Su condición más destacada es la de permitir una reducción relativamente importante de agua que llega a 15 o más litros de agua por m<sup>3</sup> de hormigón cuando se mantiene fijo el asentamiento para el hormigón con y sin aditivo. La mezcla redosificada con un contenido de agua inferior al original (sin aditivos) por efecto de la incorporación del fluidificante en la dosis adecuada mantiene el asentamiento de la mezcla original pero mejora en general su trabajabilidad, debido por un lado al efecto lubricante del aditivo y por otro, al aumento que se produce en el contenido de la arena para compensar la disminución del agua con respecto a la dosificación original.-

Algunos de estos productos incorporan también una moderada cantidad de aire que actúa beneficiosamente tanto sobre las características del hormigón fresco como del hormigón endurecido.-

La reducción del contenido de agua de mezclado es siempre una condición importante ya que ello repercute favorablemente sobre las resistencias mecánicas, adherencia entre acero y hormigón y por consiguiente, de la estructura.-

Repasando los conceptos ya estudiados respecto a las condiciones básicas que debe tener un hormigón, tanto en el estado fresco como endurecido (trabajabilidad, resistencia mecánica, durabilidad y economía) el uso de este aditivo nos sugiere las combinaciones posibles de uso, recordando que, a) la trabajabilidad es función de los medios de densificación y de la consistencia (medida por el ensayo de asentamiento en el Cono de Abrams; b) la resistencia mecánica es función de la relación agua/cemento; c) la durabilidad está ligada por un lado a la dosificación adecuada y en especial a la cantidad de agua de mezclado; d) la economía que es -en principio- función de la cantidad del ligante cemento.

Estas combinaciones pueden ser:

- 1) Mantener la cantidad de agua que corresponde al pastón sin aditivo y también la relación agua/cemento (FIG. 45)

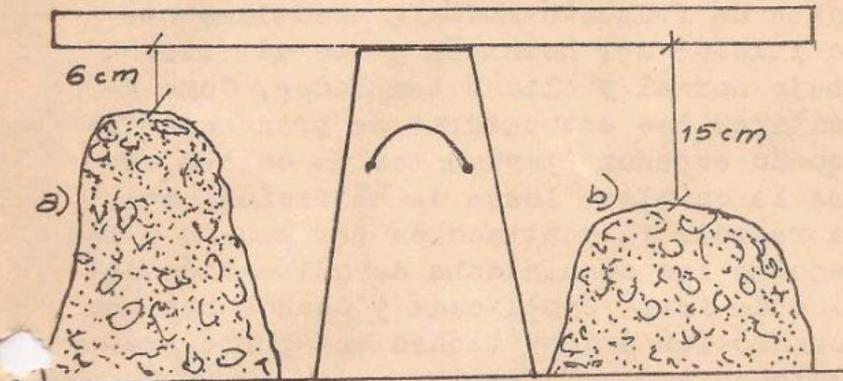


FIG. 45. a) HORMIGÓN SIN ADITIVO  
b) HORMIGÓN CON FLUIDIFICANTE

El hormigón con fluidificante tendrá un asentamiento de cono bastante mayor ( 8 cm. o más) manteniendo aproximadamente igual el valor de su resistencia, condición que facilita el moldeo de estructuras fuertemente armadas o con parte de ellas de difícil colocación.-

- 2) Mantener el asentamiento por reducción del agua de mezclado sin modificar el contenido de cemento.- (Fig. 46)

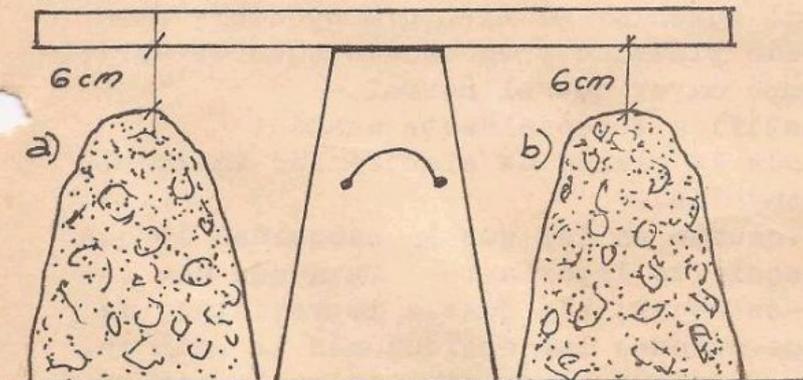


FIG. 46 a) HORMIGÓN SIN ADITIVO  
b) HORMIGÓN CON FLUIDIFICANTE

Ello se traduce en un aumento de la resistencia (por la disminución de la relación agua/cemento) las que pueden llegar a un 40 % o más a la edad de 24 horas y del 20 % o más a los 28 días.-

Además el hormigón que contiene el aditivo será más impermeable, más durable, tendrá menor contracción por secado y menores agrietamientos.-

- 3) Mantener el asentamiento por disminución del contenido de agua pero sin modificar la relación agua/cemento (Fig 46)

El cemento -en consecuencia- se reducirá en la misma proporción que el agua de mezclado para mantener la relación agua/cemento y consecuentemente la resistencia especificada. Esta reducción puede llegar al 10 a 15 %.-

El hormigón tendrá menor contracción por secado y desarrollará menor cantidad de calor, condición ésta importante en estructuras de grandes masas, como diques, grandes pilares de puentes, etc.-

Los fluidificantes de fraguado normal, prácticamente no alteran el tiempo de fraguado inicial del hormigón y son aditivos ideales para temperatura de trabajo normal y climas templados. Como aplicaciones específicas pueden citarse las estructuras de gran superficie expuesta y relativamente pequeño espesor (pavimentos de calles, caminos aeropuertos, recubrimientos de canales, losas de edificios, etc.), constituyen un medio eficaz para reducir la contracción por secado y los consiguientes agrietamientos. Mejoran las condiciones de colocación del hormigón en encofrados estrechos o de forma complicada y cuando hay una gran congestión de armaduras o cuando los áridos tienen una pobre graduación y sus partículas son angulosas.-

Son de positivo empleo en estructuras de grandes masas y, en general, en todos los casos que sea necesario mejorar la calidad del hormigón debido a la reducción de la relación agua/cemento.-

Además de los fluidificantes mencionados, existen otros que ofrecen las mismas posibilidades descritas y que actúan también como retardadores de fraguado o como aceleradores de resistencia. Otros son fluidificantes de doble finalidad y actúan según la dosis en que se los emplee, como fluidificantes simples de fraguado normal o como fluidificantes retardadores.-

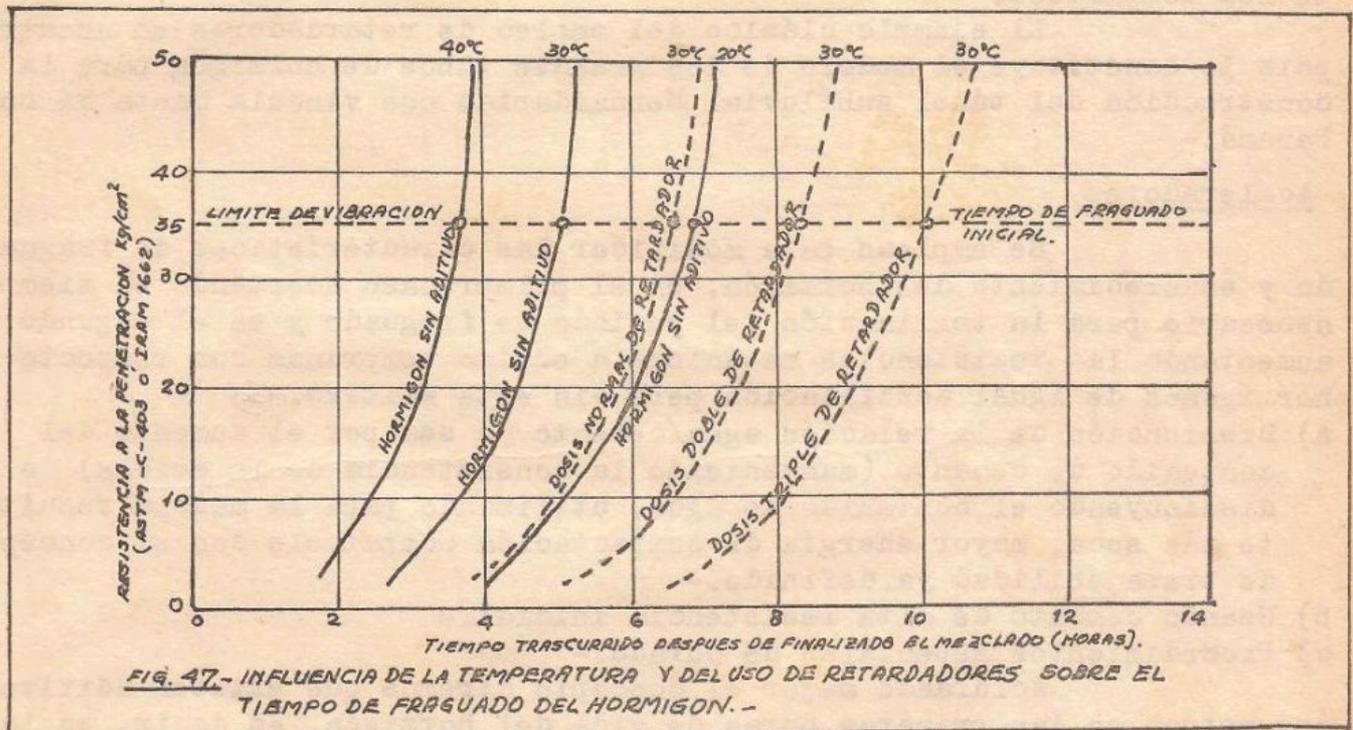
#### Retardadores del Tiempo de Fraguado

Cumplen una importante función en obras de características especiales de colocación, al aumentar el tiempo disponible para el manipuléo de la mezcla en estado plástico y en condiciones de ser vibrado o revibrado durante un tiempo mayor que el normal.-

Su empleo se justifica especialmente cuando:

- 1.- Los tiempos de transporte desde la planta de elaboración hasta el lugar de colocación son prolongados.-
  - 2.- Las estructuras son de gran volumen en las que la necesidad de que resulten monolíticas es un requisito importante. Para que una estructura resulte monolítica -es decir, sin juntas imprevistas de trabajo- es imprescindible que durante las operaciones de moldeo, al colocar un hormigón recién mezclado sobre otro colocado anteriormente, éste se encuentre en estado plástico y trabajable (o que pueda adquirir momentáneamente ambas propiedades bajo los efectos de la vibración) cualquiera sea la temperatura ambiente.-
- Si las precitadas condiciones no se cumplen, en el lugar se forma una junta de trabajo y la estructura deja de ser monolítica.-

- 3.- Sea necesario contrarrestar el efecto acelerador de las altas temperaturas.-
- 4.- Sea necesario disponer de mayor flexibilidad y libertad del tiempo disponible para manipuleo, colocación compactación y terminación del hormigón en estructuras de gran superficie y volumen.-
- 5.- Se desee prevenir las dificultades motivadas por paralización de tareas debido a desperfecto de equipo (de elaboración, de transporte, colocación, compactación, etc.) dando así el tiempo requerido para la correspondiente reparación.-
- 6.- Se desea conseguir que las deformaciones de los encofrados en casos de estructuras pesadas (tableros de un puente por ejemplo) que se producen por el peso propio del hormigón, tengan lugar cuando éste se encuentre en estado plástico, evitándose así los agrietamientos que suelen producirse en esas circunstancias si el hormigón ha alcanzado un grado suficiente de rigidez.-



Con respecto a la prolongación del tiempo de fraguado inicial del hormigón o tiempo límite de vibración (que de acuerdo a la Norma ASTM C 403, se mide con la aguja de Proctor y corresponde al tiempo necesario para que la resistencia a la penetración alcance a  $3.5 \text{ kg/cm}^2$ ) puede ser sólo de algunas horas o de 2 a 3 días de acuerdo a lo que resulte necesario. Esto se consigue regulando la dosis de retardador para cada temperatura y conjunto de materiales de acuerdo al tiempo durante el cual se desea mantener en estado plástico al hormigón.- (FIG. 47).

Sobrepasado el tiempo límite de vibración, el hormigón no debe ser sometido a golpes ni transmitírsele vibraciones ya sea directamente o a través de las armaduras, ya que debido a la insuficiente resistencia del material, puede provocarse su destrucción y la reducción de la adherencia entre acero y hormigón.-

El fenómeno de retardación es temporario y sólo alcanza a las primeras edades del hormigón. Después de las 24 o 48 horas, el proceso de endurecimiento prosigue normalmente pudiendo lograrse resistencias finales superiores a las de un hormigón que no contenga aditivo.-

Existen aditivos que al mismo tiempo que retardan el tiempo de fraguado actúan como reductores del contenido de agua de mezclado e incorporan una moderada cantidad de aire. Estos aditivos se conocen con el nombre de fluidificantes retardadores.-

Durante la segunda guerra mundial en Alemania se emplearon retardadores para interrumpir las operaciones de hormigonado durante los bombardeos.-

El ejemplo clásico del empleo de retardadores en nuestro país lo constituye el modelo de los grandes tubos de hormigón para la construcción del túnel subfluvial Hernandarias que vincula Santa Fé con Paraná.-

### Aceleradores

Se emplean para modificar las características de fraguado y endurecimiento del hormigón, en el primer caso acortando el tiempo necesario para la terminación del periodo de fraguado y en el segundo, aumentando las resistencias mecánicas a edades tempranas con respecto a hormigones de igual dosificación pero sin este aditivo.-\*

- a) Disminución de la relación agua/cemento ya sea por el aumento del contenido de cemento (manteniendo la consistencia de la mezcla) o disminuyendo el contenido de agua, utilizando para la mezcla resultante más seca, mayor energía de compactación compatible con el concepto de trabajabilidad ya definido.-
- b) Usando cemento de alta resistencia inicial.-
- c) Procedimientos especiales de curado.-

Aclarando mejor el concepto diremos que existen aditivos que actúan en las primeras horas de vida del hormigón, es decir, en la etapa inicial del fraguado -aceleradores del tiempo del fraguado- cuyas aplicaciones son limitadas, reduciéndose sus ventajas a:

- a) Permitir una más rápida terminación de las superficies de una estructura.-
- b) Reducir las presiones del hormigón fresco sobre encofrados o el periodo de tiempo durante el cual éstos están sometidos a presión.-
- c) Permitir una rápida obturación de pérdidas de agua en estructuras en contacto con el mencionado líquido sometido a presión.-

En general los aceleradores de fraguado tienen el inconveniente de reducir el tiempo en que el hormigón se mantiene en estado

\* Resistencias mecánicas tempranas pueden conseguirse también, sin recurrir a aditivos, mediante los siguientes arbitrios:

- a) Disminución de la . . . . .

plástico, obligando a acelerar las operaciones de colocación, compactación y colocación y terminación.-

Los aditivos de este tipo más usados son los que actúan en la etapa posterior al fraguado conocidos como aceleradores de endurecimiento o resistencia. Estos dejan casi inalterado el tiempo de fraguado inicial pero actúan enérgicamente para obtener altas resistencias a cortas edades.-

Hasta no hace mucho tiempo, el acelerador más conocido era el cloruro de calcio, pero debido a una serie de inconvenientes -que su uso no bien regulado ha provocado- ha caído en descrédito existiendo una tendencia a restringir su uso. Este aditivo aumenta la resistencia a edades tempranas, pero mantiene inalterada la correspondiente a los 28 días, si lo comparamos a un hormigón de iguales características pero sin aditivos.-

(2%) Era corriente especificar una dosis del producto comercial del 2 % al respecto al peso de cemento. Actualmente la dosis máxima recomendada está comprendida entre el 1 y el 1,5 %. Con la dosis primeramente indicada es de esperar una contracción por secado del orden del 20 al 50 % mayor que la del hormigón si aditivo, lo que se traduce en un mayor agrietamiento de la estructura, especialmente aquellas que tienen una gran superficie expuesta y relativamente pequeño espesor (por ejemplo losas de edificios, pavimentos, etc.)-

Por otra parte este aditivo actúa como reductor del tiempo de fraguado, efecto que sumado al similar que producen las altas temperaturas ambientes, puede producir una rápida pérdida de la plasticidad en el hormigón impulsando a los operarios a restituirla por adición de agua, aumentando así la relación agua/cemento con resultados negativos para la resistencia final, aumento de la contracción por secado, etc.-

Los reglamentos modernos aceptan su uso, unicamente en las estructuras con hormigón simple y con armadura tradicional. Se recomienda un recubrimiento mínimo de 3 cm. para dosis de 2 %, y 2 cm. para el 1 %.-

No se acepta su uso en estructuras de hormigón pretensado ni tampoco si la estructura es destinada a depósitos de agua o a cañerías para conducción de ésta.-

Hay un antecedente de corrosión de una tubería de acero en instalaciones de losas radiantes que obligaron a costosas reparaciones y a la no menos costosa decisión de cambiar el sistema de calefacción.-

Existen en cambio, algunos aceleradores de resistencia, que además de ~~esto~~ cumplir con su función específica, actúan como reductores del contenido de agua de mezclado. Son los denominados fluidificantes-aceleradores. Su empleo no solo incrementa la resistencia a cortas edades, sino que, por el hecho de reducir el contenido de agua se obtienen incrementos sensibles en todas las edades.-

El campo de aplicación de estos aditivos se justifica cuando:

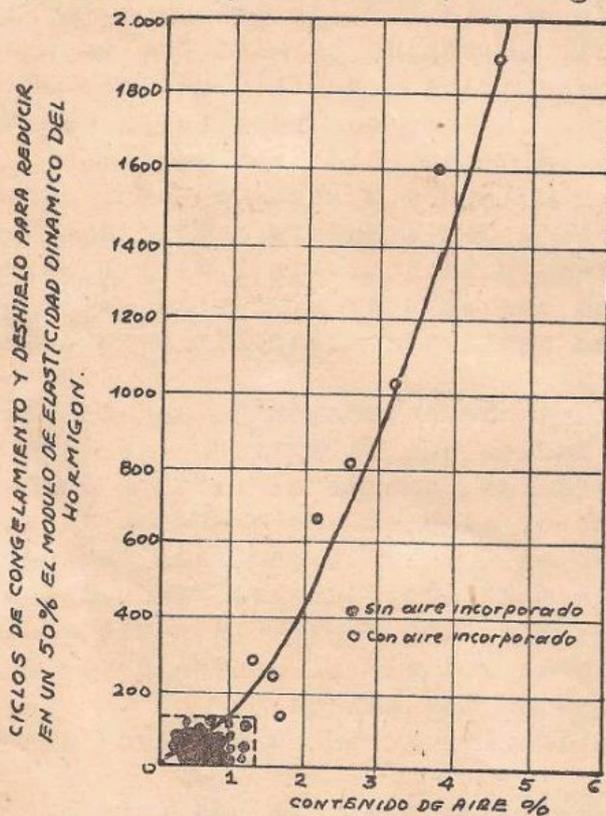
- a) Sea necesario poner rápidamente en servicio una estructura o para realizar una reparación rápida de estructuras.-
- b) Se desee reducir el período de protección y curado del hormigón.-

- c) Se requieran altas resistencias iniciales para desencofrar a una edad menor y aprovechar en mayor escala encofrados y apuntalamientos costosos.-
- d) Se quiera compensar parcial o totalmente el efecto retardador de las bajas temperaturas y facilitar el desarrollo de resistencia cuando se hormigona con tiempo frío. Con temperaturas de 10° C o menores, el incremento de la resistencia con el tiempo, es muy pequeño.-
- e) Se necesite aumentar la productividad en la industria de los premoldados y en la prefabricación.-
- f) Se busque reducir roturas de aristas y ángulos de elementos estructurales al proceder al desencofrado.-

Incorporadores de Aire

La incorporación deliberada de aire al hormigón, está considerada como el avance más grande de la tecnología del hormigón en los últimos años. Desde que fueron puestas en evidencia sus ventajas -a mediados de la época del 30- hasta la actualidad, su utilización se ha ido incrementado y hoy en día se lo recomienda prácticamente para cualquier uso del hormigón.-

La principal razón para el uso del aire incorporado es la mejora que provoca en el comportamiento del hormigón ante los efectos alternativos de congelamiento y deshielo (ver figura).-



**FIG. 48.- EFECTO DE LA INCORPORACION DE AIRE EN LA RESISTENCIA DEL HORMIGON AL CONGELAMIENTO Y DESHIELO EN ENSAYOS DE LABORATORIO**

Sin embargo provee otros muchos beneficios, tanto en el hormigón fresco como endurecido.-

La cantidad de burbujas esferoidales de aire de tamaño semi microscópico y bien dispersas, producidas por los aditivos incorporadores y por la agitación ocasionada por el mezclado oscila entre 500 y 800 mil millones. A diferencia de los huecos de grandes dimensiones que se producen en general, por deficiencias de granulometría o compactación, estas burbujas tienen diámetros que oscilan entre 25 y 75 micrones, o sea que, en general, no llegan a una décima de milímetro; por otra parte, no están conectadas entre sí y repetidos, están uniformemente distribuidas en la masa del hormigón.-

La presencia de una cantidad de aire -que cuando es incorporado intencionalmente- oscila entre el 4 y el 6 % del volumen total.-

El porcentaje de aire a incorporar es función de volumen de mortero contenido en el hormigón, el que a su vez, es función del tamaño máximo de agregado grueso (recordar las tablas que dan el valor b/b<sub>0</sub> en función del tamaño máximo del agregado grueso y MFAF).-

En la tabla siguiente se indican los porcentos totales (ocluido más incluído deliberadamente) de aire, recomendados para distintos TMAG.-

T M A G mm	% Total de aire en volumen		
13.....	7	+	1
19.....	6	+	1
25.....	5	+	1
38.....	4,5	+	1
51.....	4	-	1

*La incorporación intencional de aire trae.....*

... Trae como consecuencia una disminución en el peso unitario del hormigón; lo que, aparentemente, esta en discordancia con el concepto tradicional de que los hormigones pesados son los de mayor calidad. Sin embargo, la experiencia ha demostrado, que a igualdad de las restantes características tales como tipo de agregados y contenido unitario de cemento portland, se han comportado mejor ante la acción de agentes agresivos los hor igones con aire incorporado que los otros, cuyo peso unitario era mayor.-

Las ventajas del aire incorporado se hacen evidentes tanto en el estado fresco como en el endurecido del hormigón. En el primer estado, las burbujas de aire se comportan como un agregado fino de módulo de finezanulo, {de total flexibilidad}, de forma y de coeficiente de fricción igual a cero con las partículas rígidas vecinas, por loque actúan como lubricantes de la mezcla confiriéndole mayor movilidad y trabajabilidad. permitiendo, en consecuencia, reducir el agua de mezclado necesaria para obtener un determinado asentamiento. La mezcla tiene entonces, mayor cohesión y sus condiciones de colocación, compactación y terminación resultan muy mejoradas, reduciéndose notablemente la posibilidad de segregación y disminuyendo asimismo la contracción por fragüe y exudación.-

En las mejoras generales señaladas para el hormigón en estado fresco permiten obtener estructuras compactas y homogéneas, más impermeables y mejor terminadas.-

En el hormigón endurecido, las burbujas obturan los conductos capilares, al anular las tensiones que provocan la absorción de humedad por el aumento brusco del diámetro que se produce en coincidencia con la burbuja.-

De esta manera se impide la penetración de líquidos que puedan actuar en forma agresiva, impermeabilizando al hormigón, al mismo tiempo que se disminuye su peso unitario.-

#### EFECTOS DE LA INCORPORACION DE AIRE SOBRE LA RESISTENCIA DEL HORMIGON

Ya hemos visto que la resistencia de un hormigón depende de la relación agua/cemento (ley de Abrams). Otros investigadores tales como Talbot y Richard han establecido relaciones entre la resistencia y los vacíos del hormigón elaborado sin arrastre de aire. En suma diremos que la resistencia mecánica del hormigón depende de la relación vacío/cemento.-

Para esta definición se consideran como vacíos, los espacios ocupados por la suma del agua de la mezcla, el aire incorporado y el aire que ocupa huecos macroscópicos.-

Los hormigones con aire incorporado siguen la regla de Abrams, con la única diferencia con respecto a los que no tienen aire incorporado, que -como se dijo antes- la resistencia está vinculada a la relación vacíos/cemento: es decir, que a medida que aumenta el contenido de aire, éste actúa -a los efectos de la variación de resistencia- como si aumentara el agua. Por lo tanto, para hormigones con igual contenido de agua y cemento, es de esperar una disminución de resistencia, creciente con el contenido de aire (debe tenerse en cuenta que simultáneamente, el hormigón se hace más fluido).-

A los efectos de aclarar conceptos, supongamos que la incorporación de aire -en un caso determinado- se efectúe a los fines de mejorar el comportamiento del hormigón endurecido.-

En este caso, la <sup>comparación</sup> compactación debe hacerse con un hormigón común que en estado fresco tenga las mismas características de trabajabilidad y consistencia. En estas condiciones la experiencia muestra que, fijados estos parámetros, los hormigones con aire incorporado lo alcanzan con menores contenido de agua y arena, dado que el aire actúa como lubricante y hace simultáneamente, las veces de agua y agregado fino.-

Al redosificar la mezcla para igual contenido de cemento, se observa que al disminuir el agua y la arena, aumenta levemente el contenido de agregado grueso y se disminuye la relación agua/cemento.-

La resistencia final del hormigón redosificado es del orden -o algo menor- que la del hormigón original, lo que prueba que los hormigones con aire incorporado no siguen las mismas curvas de

resistencia en función de la relación agua/cemento de los hormigones comunes, sino que las mismas están desplazadas con respecto a las primeras.-

Como acotación final cabe agregar que la disminución de resistencia motivada por la incorporación de aire (si no se la atenúa o se anula por la disminución del contenido de agua permisible cuando se conserva la trabajabilidad y consistencia de la mezcla original) son más sensibles en las mezclas ricas en cemento. En mezclas pobres (200 kg/m<sup>3</sup>), la resistencia del hormigón con la incorporación de aire puede aumentar ligeramente.-

#### OTROS ADITIVOS

Aparte de los descriptos, existen otros aditivos de empleo menos difundido en nuestro medio y que son:

- a) Aditivos que producen gases.-
- b) Materiales puzolánicos.-
- c) Cenizas volantes.-
- d) Inhibidores de la relación álcalis-áridos.-
- e) Inhibidores de la corrosión de las armaduras.-
- f) Polvos flotantes, etc.-

#### CONSIDERACIONES FINALES SOBRE EL CAPITULO ADITIVOS

El empleo de aditivos debe ser debidamente justificado y tener un apoyo tecnológico adecuado. La norma I.R.A.M. 1660 define los distintos tipos de aditivos para hormigones. La calidad de cada uno de ellos, incorporadores de aire, fluidificantes o plastificantes retardadores y aceleradores se establece en la norma I.R.A.M. 1663. Las normas americanas A.S.T.M. C.-260 y A.S.T.M. C - 424 fijan los requisitos de calidad de los incorporadores de aire y de los aditivos químicos respectivamente.-

Es necesario una amplia difusión de los conocimientos sobre las acciones, empleos y ventajas (o inconvenientes en su caso) que serían de esperar con el uso de los aditivos, a fin de ubicarlos en su justo medio. No rehuirlos o incluso despretigiarlos por sistema, con criterio cerrado, ni utilizarlos a ultranza esperando de ellos milagros. Es mucho el daño que se puede hacer con lo uno y con lo otro.-

Previo a su uso, es siempre necesario hacer -con debida anticipación- los ensayos de laboratorio con los materiales disponibles en obra, para establecer las dosificaciones y adiciones adecuadas a las esperadas cualidades de los hormigones a elaborar.-

## CAPITULO XIII.-

### CONTROL DE CALIDAD

#### Aplicación de la estadística a los procesos industriales

En todo proceso de producción industrial se tiende a lograr que las unidades fabricadas respondan a determinadas normas de calidad con el menor grado de dispersión.-

Así, en lo que hace a dimensiones, colores, características físicas y químicas, etc. se fijan valores optimistas y se establecen rangos de variación tolerables con respecto a los mismos. Puede observarse que cuando una determinada característica medible en objetos de una línea de producción, debe alcanzar un valor prefijado, los resultados obtenidos en las sucesivas mediciones se ubican por encima o por debajo del valor deseado y aunque no son muchos los que coinciden exactamente con el fijado como meta, hay una gran cantidad, en las cercanías del mismo en ambos sentidos, y esa cantidad va disminuyendo a medida que dichos valores se alejan del valor buscado. Para un gran número de determinaciones, será posible obtener un valor promedio de todas las observaciones, que será más o menos cercano al establecido, y si se agrupan los resultados en un diagrama, llevando en absisas las diferencias en más o en menos observadas con respecto al promedio, y en ordenadas, la cantidad porcentual correspondiente, los puntos así obtenidos pueden unirse formando una curva de perfil acampanado que responde a la expresión establecida por Gauss, para la distribución normal, siempre que se cumpla que todos los resultados tiendan a acercarse a uno prefijado y que las mediciones de efectúen al azar.-

#### Control Estadístico del Hormigón

La fabricación del hormigón es un proceso industrial al que son perfectamente aplicables las consideraciones anteriores, ya que habitualmente se tiene como meta la obtención de una determinada resistencia promedio a la rotura por compresión, a una edad establecida.-

Una cantidad no despreciable de factores intervienen para que el hormigón de cemento portland sea por naturaleza, un material de características variables. Es por ello, que para evaluar las variaciones y el efecto que ellas tienen sobre la calidad y futuro comportamiento de las estructuras, es necesario incorporar a las especificaciones técnicas los principios de carácter estadística y los métodos de control de elaboración y calidad basados en estos principios. Con su conciente aplicación, se obtendrá un material de mejor calidad que redundará en una mayor vida útil de las estructuras, con menores gastos de mantenimiento y a menudo con menor costo inicial.-

El procedimiento más empleado para el control de calidad, consiste en el moldeo de probetas con la mezcla en estudio, representativas de la totalidad del material colocado en obra. Si estas probetas se moldean, curan y ensayan de acuerdo a las mismas normas -en todos los casos- las variaciones que se observen en los resultados de rotura por compresión, efectuados a una misma edad, se deberán exclusivamente a circuns-

- tancias atribuibles a factores que podemos, en principio, agruparlos en:
- a) Variación de la calidad y características de los materiales componentes (cemento, áridos y materiales adicionales).-
  - b) Variación de las proporciones y principalmente de la relación agua/cemento, que implica variación de las condiciones de producción.-
  - c) A veces se producen variaciones aparentes de la resistencia, debido a errores cometidos al realizar las tomas de las muestras, moldeo, curado y ensayos de las probetas de control.-

La proporción en que cada grupo de factores enunciados, contribuye a producir la variación de resistencia, no es fácil de precisar.-

Ahora bien, si para la elaboración del hormigón se emplea una misma y única partida de cemento, si se corrige la dosificación teórica del laboratorio en función de la humedad de los agregados, si la medición de todos los materiales se hacen con cuidados extremos, las variaciones más significativas deberán a los factores indicados en el grupo c). En cambio, si las condiciones anteriores no se cumplen -que es el caso más general- las mayores variaciones deben atribuirse a los grupos de factores a) y b). Si las operaciones de elaboración del hormigón se realizan sin cuidado, las causas agrupadas en el ítem b) serán las más significativas.-

Los factores más importantes para el logro de calidad, lo constituyen el grado y eficiencia de la supervisión del proceso de elaboración y de control.-

#### Variación de la resistencia provocada por los materiales

La calidad de cualquiera de los materiales componentes del hormigón puede variar apreciablemente, aún manteniéndose dentro de los límites de las especificaciones.-

Las mayores diferencias serán ocasionadas, como es natural, si el material se obtiene de distintas fuentes de provisión, aunque también se producen -aunque en menor escala- variaciones de una misma fuente, de día a día o de partida a partida.-

#### a) Cemento Portland

Aún cuando todos los cementos producidos en el país, cumplen con holgura los límites de las especificaciones, hay diferencias entre marcas de fábrica, y en una menor escala, variaciones en cementos de una misma fábrica.-

Este no es un problema que afecte solamente a nuestra industria, sino que afecta también a los cementos producidos en los países de más avanzada tecnología. Con la ayuda del automatismo, en el análisis y control de las materias primas y corrección de sus proporciones, la industria espera lograr la ansiada uniformidad en la producción.-

Para controlar este problema se sugiere:

- 1) Emplear cemento de una misma marca dentro de un bien delimitado complejo estructural. Almacenar el cemento recepcionado para evitar variaciones de calidad por deterioro. Las bolsas se colocarán bajo techo sin que se produzca contacto con la humedad, debiendo disponerse que

el empleo del material se realice de acuerdo al orden de llegada a la obra.-

- 2) La dosificación se hará teniendo en cuenta la marca de cemento a emplear -En caso de emplearse más de una marca, se hará una dosificación para cada una de ellas- (Todo depende del volumen de hormigón a elaborar).-
- 3) Teniendo en cuenta la variación de una sola marca, al dosificar un hormigón será prudente prever una sobre elevación de resistencia en base a los conceptos estadísticos que se analizarán.-

#### b) Aridos

Estudios realizados de Bloem y Gainor empleando áridos de peso normal provenientes de distintas fuentes de provisión (más de 50) indicaron que en mezclas de tipo tradicional sin aire incorporado, del mismo contenido unitario de cemento y asentamiento, la influencia de la granulometría y de la forma y textura superficial de las partículas de aquellos, produjeron variaciones de resistencia a la compresión entre valores de 370 y 505 Kg/cm<sup>2</sup>. El empleo de áridos de una fuente determinada, será una cuestión de conveniencia técnico-económica. Se recomienda asimismo, mejorar el control de la granulometría del árido grueso por la división en por lo menos dos fracciones de distintos tamaños máximos, y evitar el almacenamiento en pilas de forma tronco cónicas que tiende a producir la segregación del material.-

#### c) Materiales adicionales

El hormigón moderno emplea con distintos propósitos, varios materiales adicionales: incorporadores de aire, reductores del contenido de agua de mezclado, aceleradores de resistencia, retardadores del tiempo de fraguado, materiales compuestos que producen más de uno de los efectos indicados, etc.-

El aire incorporado, según sea la riqueza de la mezcla, puede provocar una reducción grande o pequeña de la resistencia. También puede no tener ningún efecto respecto a la de un hormigón tradicional o provocar un aumento de resistencia en el caso de mezclas pobres.-

Los aceleradores y retardadores pueden modificar la velocidad de crecimiento de resistencia a corta edad, pero también pueden modificar la resistencia final del hormigón.-

#### Variación de la resistencia por variación de las proporciones de los componentes

Independiente de los materiales, durante la producción y colocación del hormigón, pueden producirse los siguientes casos que son causas seguras de la variación de la resistencia de un hormigón:

- a) Modificación del contenido de agua del hormigón con el fin de mantener constante la trabajabilidad y condiciones de colocación.-
- b) Modificación de las proporciones de los materiales componentes, por errores cometidos en la medición de los mismos (Errores en las cantidades de áridos modifican la trabajabilidad e indirectamente influyen en la resistencia).-

- c) Influencia de la humedad superficial de los áridos, especialmente el fino, si no es compensada, sobre las cantidades de los materiales componentes.-
- d) Modificación de las cantidades de los materiales adicionales. Tener en cuenta que, en general, esas cantidades son pequeñas con respecto al resto de los componentes. Pequeñas variaciones pueden producir importantes modificaciones. Por ello es necesario un equipo de medición preciso y seguro como requisito esencial.-
- e) Variación del tiempo de mezclado.-

Todos los factores enumerados tienden a provocar dispersiones en los valores observados de la resistencia a la rotura por compresión. De ésto surge que, cuanto menores sean las influencias de los factores mencionados, menores serán las dispersiones y viceversa.-

El fundamento del método estadístico para evaluar la calidad del hormigón, radica en el hecho de que no existe forma material de conocer con certeza la calidad de todo el hormigón utilizado en una obra determinada; para lograrlo sería necesario convertir todo el hormigón elaborado en probetas y de esta manera, no podría ejecutarse la estructura. Por lo tanto, partiendo de la base que las probetas que se moldeen sean lo más representativas posible del conjunto de la estructura en estudio (para lo cual la elección de la muestra debe hacerse al azar, no tratando de buscar ni los peores ni los mejores pastones) del análisis estadístico del conjunto de los resultados pueden extraerse conclusiones que tengan validez para la estructura en conjunto.-

HISTOGRAMA - CURVA DE DISTRIBUCION NORMAL DE GAUSS (FIG. 49)

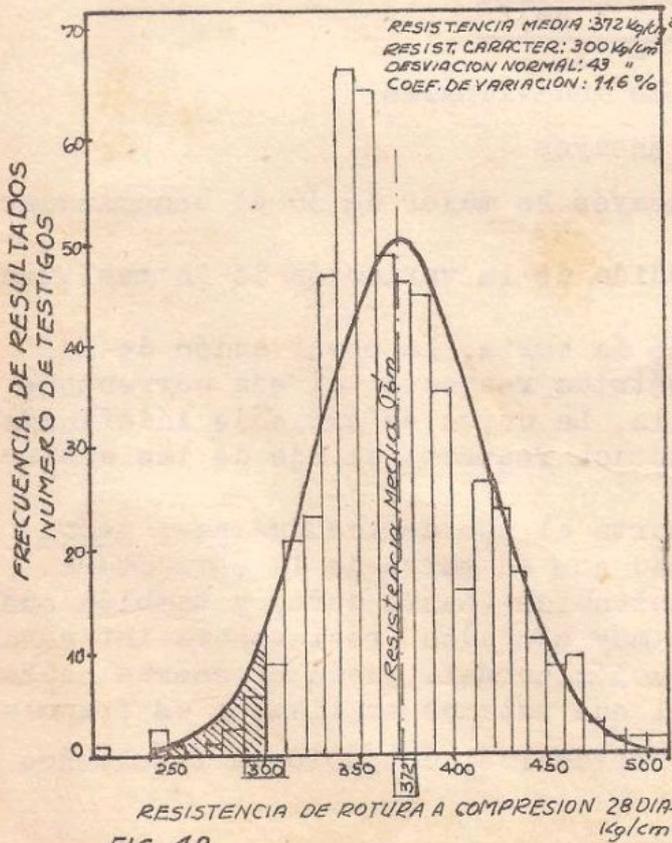


FIG. 49

A manera de ejemplo estudiemos los resultados de ensayos de testigos extraídos con sonda rotativa del ensanche del camino Mar del Plata-Necochea (Ler. Tramo), que muestra el excelente nivel de uniformidad alcanzado.-

La figura muestra el histograma obtenido al representar los 547 resultados de otros tantos ensayos. Se dibuja también la curva de Gauss calculada en función de los elementos que identifican al conjunto de datos estudiados en la forma que veremos más adelante.

El histograma se dibujó agrupando los resultados de los ensayos en intervalos de 10 en 10 kg/cm<sup>2</sup>. Cada intervalo agrupa un determinado número de probetas cuyas resistencias caen dentro de él.-

Sobre las abscisas se han representado los intervalos de resistencia y

en ordenadas el número de probetas comprendido en cada intervalo. A veces en lugar de tomar como ordenadas el número de probetas, se representa el % de ellas referido al total que se considera como 100.-

El histograma nos da una visión clara de la dispersión de resultados y de la distribución de las resistencias de las probetas ensayadas.-

Si el número de resultados aumentara indefinidamente y al mismo tiempo la amplitud de cada intervalo tendiese a cero, el histograma se transformaría -siempre que los hechos ocurran totalmente al azar- en una curva continua, que es precisamente la curva teórica o curva de Gauss.-

En el caso que nos ocupa se observa que la curva teórica se adapta suficientemente bien a los resultados de los ensayos de resistencia analizados. Dicha curva ha sido muy bien analizada y la práctica ha demostrado que los valores que de ella se obtienen (aunque teóricamente corresponden a un número muy grande de resultados), también permiten sacar conclusiones suficientemente satisfactorias, aunque el número de valores que se consideren sea pequeño, lo cual es muy importante.-

### Curva de distribución normal

La ecuación de la curva de Gauss queda perfectamente definida si se conoce el valor de la resistencia media ( $\bar{\sigma}_{bm}$ ) del total de valores disponibles y la desviación normal ( $s$ ) de los mismos. Las expresiones que permiten encontrar estos valores son:

$$\bar{\sigma}'_{bm} = \frac{\sigma'_{b1} + \sigma'_{b2} + \sigma'_{b3} \dots + \sigma'_{bn}}{n}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (\sigma'_{bi} - \bar{\sigma}'_{bm})^2}{n - 1}}$$

$\sigma'_{bi}$  = resistencias individuales

$n$  = número de ensayos

Cuando el número de ensayos es mayor de 30 el denominador de esta expresión es directamente  $n$ .

El Valor  $s$  es una medida de la variación de la resistencia.-

En cuanto a la forma de la curva, la observación de la figura indica que es acampanada y simétrica respecto al eje correspondiente al valor de la resistencia media. La curva se extiende indefinidamente hacia ambos lados, siendo asintótica respecto al eje de las abscisas.-

Dado que la curva no corta al eje de las abscisas, teóricamente existe un grado de probabilidad que en parte de la estructura se alcancen valores muy bajos de resistencias (hasta cero) y también que haya parte con valores de resistencia muy elevados (resistencia infinita)

De la curva de distribución normal, puede obtenerse mucha información útil. En problemas como el que estamos analizando es frecuente -una vez calculada  $\bar{\sigma}'_{bm}$  y  $s$  - reemplazar el conjunto de resultados

y el histograma, por la correspondiente curva teórica, que para propósitos de orden práctico, se adapta suficientemente bien a los resultados de ensayos de resistencia de probetas, representativas de un mismo tipo de hormigón. La curva de distribución normal tiene además la ventaja de que habiendo sido determinada con un número pequeño de resultados, permite predecir -siempre que no se varíen las condiciones de trabajo- la probabilidad del comportamiento de futuros resultados que aún no han sido obtenidos. El área total que se encuentra bajo la curva, representa el número total o 100 % de los resultados de los ensayos. En cambio una porción del área limitada por la curva, el eje de las abscisas y las ordenadas correspondientes a dos resistencias determinadas (expresadas en función de la desviación normal) representa el porcentaje del número total de resultados, que puede esperarse tengan resistencias comprendidas entre aquellas, o lo que es lo mismo, la probabilidad que tiene una probeta cualquiera de alcanzar una resistencia comprendida entre estos límites.-

La curva de distribución normal se puede trazar con precisión, ya que se dispone de tablas donde a partir de un valor  $Z =$

$\frac{\sigma'_{bi} - \sigma'_{bm}}{s}$  se obtiene el área comprendida entre la curva normal y el eje de las abscisas para cada valor calculado de  $Z$ , ya que son conocidos  $\sigma'_{bm}$  y  $s$ . Para los intervalos  $\sigma'_{bi} - \sigma'_{bm}$  se pueden adoptar valores variable múltiplos de 10 Kg/cm<sup>2</sup>.-

De la expresión  $\sigma'_{bi} = \sigma'_{bm} \pm Zs$  interesan los valores de  $Z$  iguales a 1, 2, 3, pues las abscisas correspondientes a estos valores (tomados a ambos lados del eje de la curva) encierran el 68,3 %, el 95,5 % y el 99,7 % (prácticamente el 100 %) del universo o sea del total de resultados.- (FIG. 50)

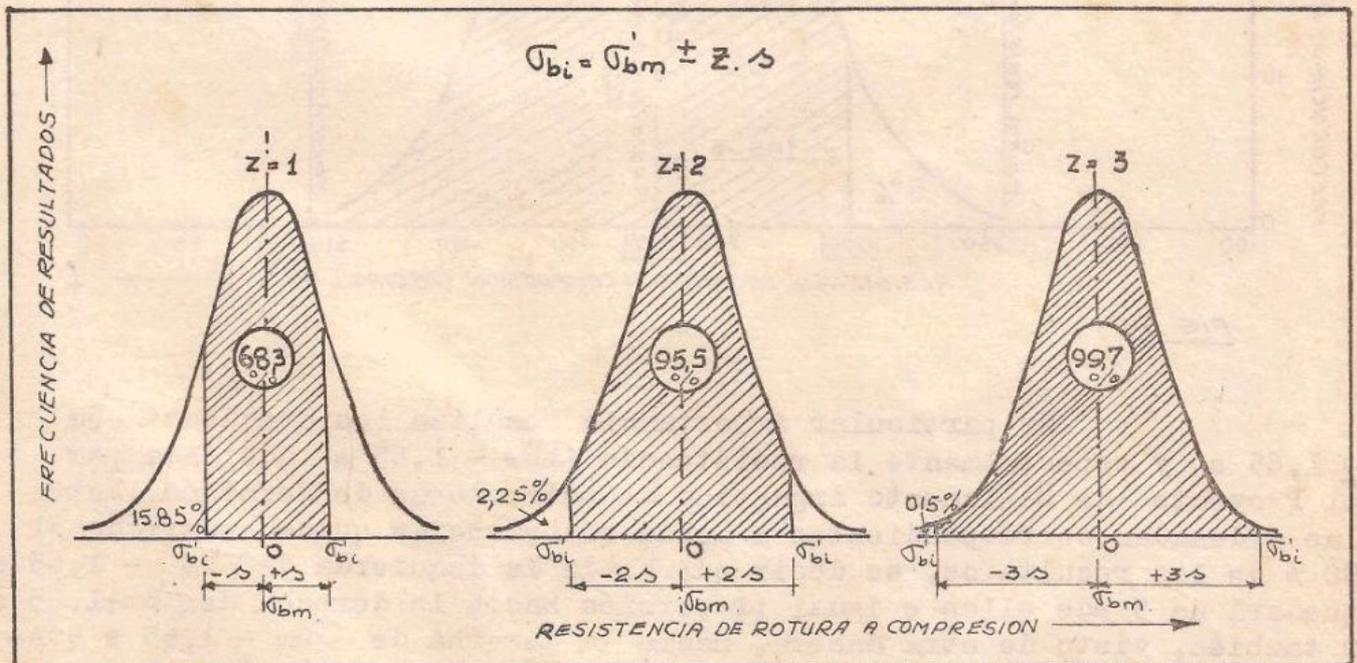


FIG. 50 PORCIENTO PROBABLE DEL TOTAL DE RESULTADOS DISPONIBLES, COMPRENDIDO ENTRE LA CURVA DE DISTRIBUCION NORMAL, EL EJE DE LAS ABCISAS Y LAS VERTICALES TRAZADAS POR LAS ABCISAS  $\sigma'_{bm} \pm z \cdot s$ .

Volviendo al concepto anteriormente mencionado de que la curva es asintótica con respecto al eje de las abscisas, en la práctica, la probabilidad de ocurrencia de valores nulos o infinitos es sumamente remota ya que analizando la expresión  $\sigma_{bi} = \sigma_{bm} - Z s$ , hemos visto que para  $Z = 3$  la presencia de valores de resistencia, tiene una probabilidad de ocurrencia menor que el 1 %, valor que desde el punto de vista práctico, puede considerarse nulo.-

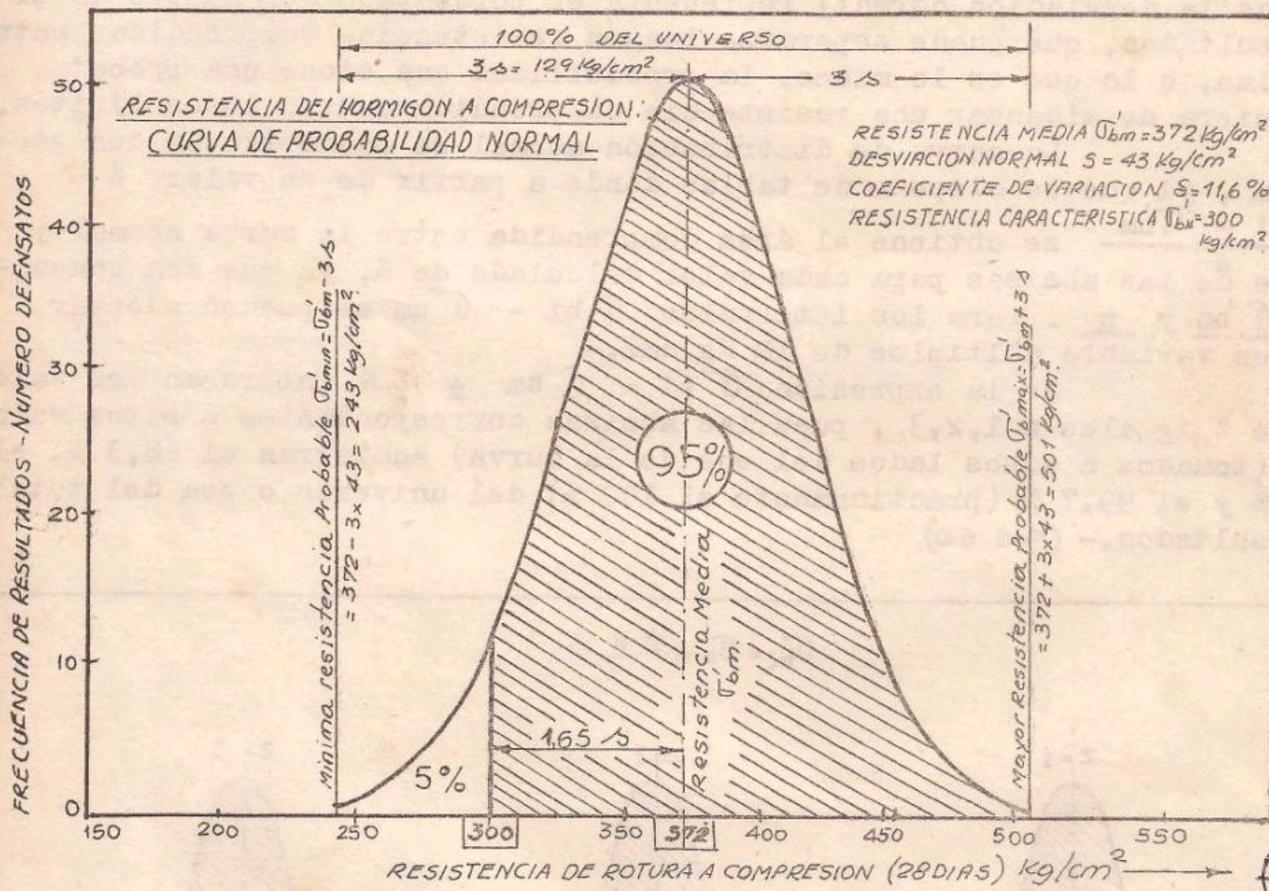


FIG. 51

De particular importancia resultan las abscisas  $\sigma'_{bm} \pm 1,65 s$  y especialmente la resistencia  $\sigma'_{bm} - 1,65 s$  adoptada por el Proyecto de Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón. Entre las ordenadas correspondientes a ambas resistencias queda encerrado el 90 % de los resultados, es decir que hacia la izquierda de  $\sigma'_{bm} - 1,65 s$  quedará un 5 % de ellos e igual proporción hacia la derecha de  $\sigma'_{bm} + 1,65 s$ . O también, visto de otra manera, hacia la derecha de  $\sigma'_{bm} - 1,65 s$  quedará el 95 % de total de resultados.- (Fig 51).

La resistencia definida por la expresión:

$\sigma'_{bk} = \sigma'_{bm} - 1,65s$  ha sido denominada resistencia característica y su valor tiene probabilidad de ser superado por el 95 % de los resultados de los ensayos, o dicho de otra manera, existe probabilidad de que el 5 % del total de resultados (5 probetas de cada 100) tengan resistencias menores que  $\sigma'_{bk}$ . Su valor puede calcularse previo conocimiento de la resistencia media y de la desviación normal.-

Mientras más estrecha y elevada sea la curva de distribución normal, menor será el valor de dispersión s, lo que indica mayor uniformidad de características y por lo tanto más alto nivel de calidad. Por el contrario, una curva achatada y extendida indica mayor dispersión de resultados o lo que es lo mismo, menor uniformidad y más bajo nivel de calidad

Para comparar grado de uniformidad de distinta calidad, en lugar de recurrir a la desviación normal s se suele recurrir a un parámetro

$$\delta = \frac{s}{\sigma'_{bm}} \text{ que se define como coeficiente de variación. -}$$

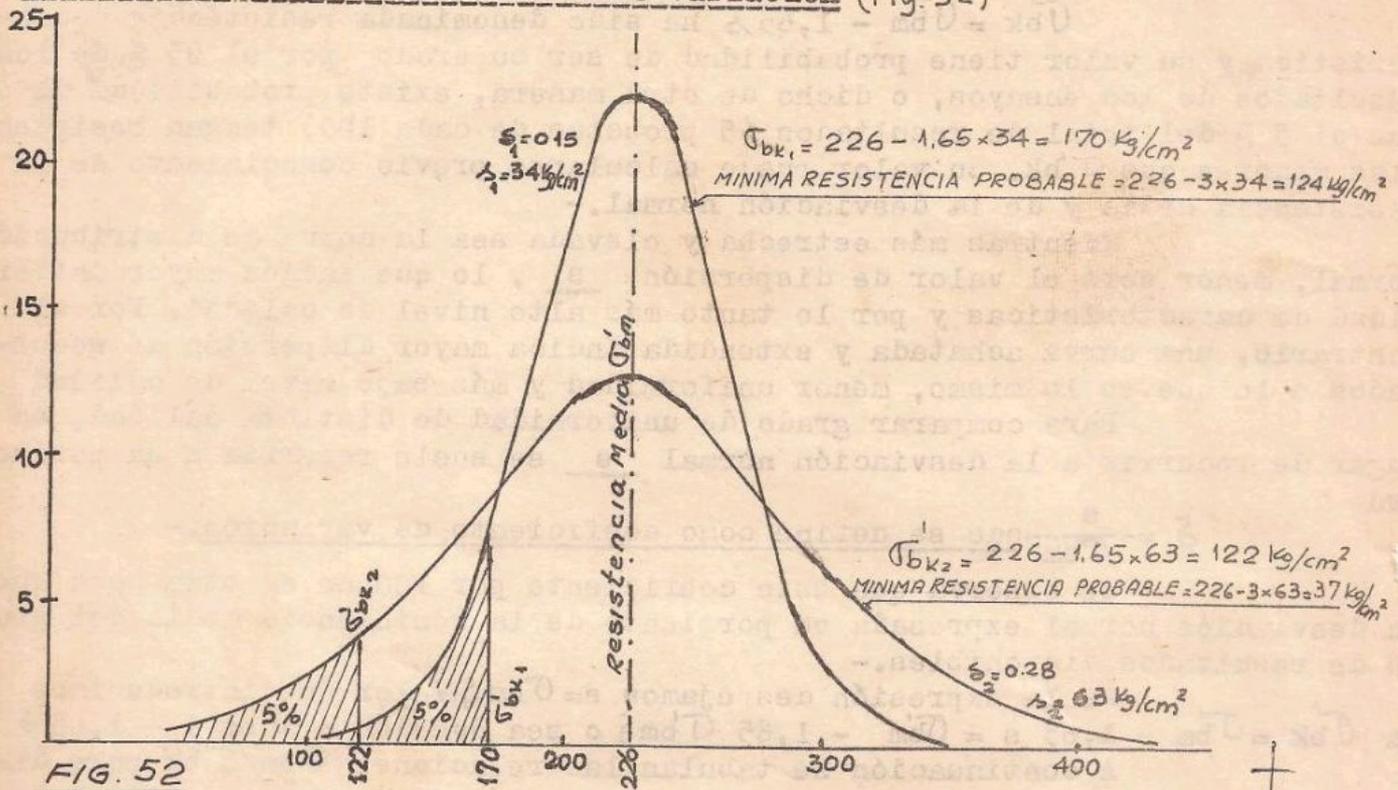
Se observa que este coeficiente por 100 no es otra cosa que la desviación normal expresada en por ciento de la resistencia media del grupo de resultados disponibles.-

De la expresión despejamos  $s = \sigma'_{bm} \delta$ . Valor que introducimos en  $\sigma'_{bk} = \sigma'_{bm} - 1,65s = \sigma'_{bm} - 1,65 \sigma'_{bm} \delta$  o sea que  $\sigma'_{bk} = \sigma'_{bm}(1 - 1,65\delta)$ .

A continuación se tabulan las relaciones  $\sigma'_{bm}/\sigma'_{bk}$  para diferentes valores de  $\delta$  que corresponden a otros tantos grados de calidad de ejecución del hormigón

COEFICIENTE DE VARIACION S	GRADO DE UNIFORMIDAD	$\sigma'_{bm}/\sigma'_{bk}$
0,10	EXCELENTE	1,20
0,15	MUY BUENO	1,33
0,20	BUENO	1,49
0,25	REGULAR	1,70
0,30	POBRE	1,98

Variación de la resistencia característica para la misma resistencia media y distintos coeficientes de variación (Fig. 52)



La figura 52 nos muestra dos distribuciones con una misma  $\sigma_{fm} = 226 \text{ kg/cm}^2$  pero con coeficientes de variación distintos (0,15 y 0,28).-

El coeficiente de variación 0,15 corresponde a un proceso de elaboración bastante uniforme, de baja variación de resultados y alto nivel de calidad. La resistencia característica es igual a  $170 \text{ kg/cm}^2$  y la menor resistencia probable es de  $124 \text{ kg/cm}^2$ .-

El coeficiente de variación 0,28 representa un proceso de elaboración descuidado, realizado prácticamente sin control, siendo la variación de resistencia mucho mayor. La resistencia característica es igual a  $122 \text{ kg/cm}^2$  siendo la menor resistencia probable igual a  $37 \text{ kg/cm}^2$ .-

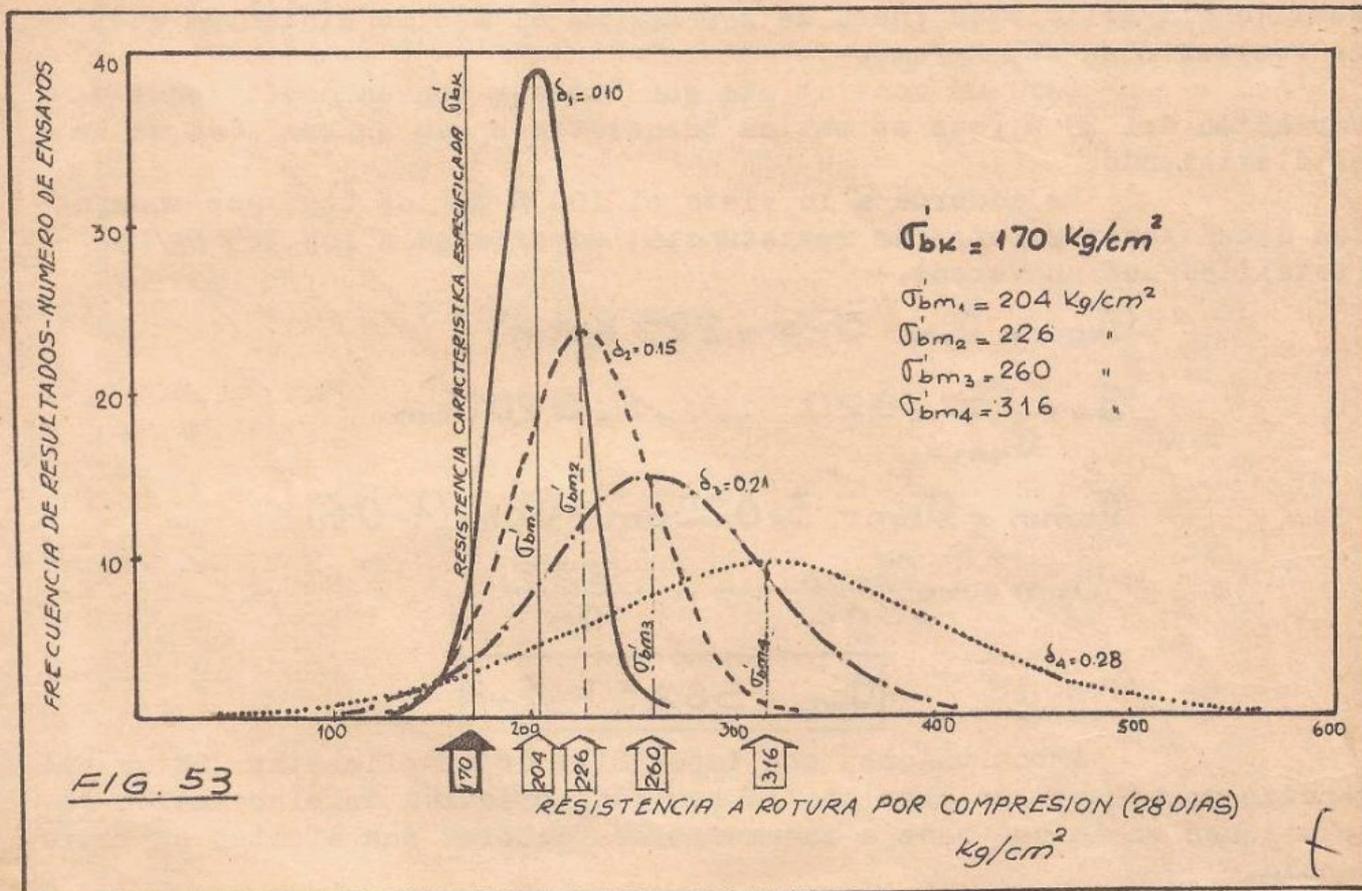
Esto nos demuestra que la resistencia media de un hormigón no identifica en forma alguna, ni la calidad de dicho material, ni el grado de seguridad de la estructura.-

La seguridad de una estructura depende de que las resistencias previstas en los cálculos se logren en la ejecución de la misma. Dicha seguridad no depende de la resistencia media sino de la resistencia del punto más débil que en los casos presentados es distinta.-

Mientras mayor sea la variación de resistencia, mayor será el margen de seguridad que necesariamente deberá adoptarse. De lo expresado, es fácil darse cuenta de las ventajas que ofrece el criterio de carácter estadístico para establecer la calidad del hormigón. En efec

to, el mismo ofrece la ventaja de unificar en un solo valor  $\sigma'_{bk}$ , la resistencia y su variación, permitiendo en cierta forma compensar la resistencia media con la dispersión, exigiendo aumentar esta resistencia media cuando la variación de resistencia es grande, y disminuyéndola cuando se reduce la dispersión de las resistencias individuales.-

Variación de la resistencia media para una resistencia característica dada y distintos coeficientes de variación (Fig. 53)



En las cuatro distribuciones ilustradas en el gráfico (Fig. 53) se ha fijado la condición de que sólo el 5% de los resultados de ensayo pueden tener resistencias menores a  $170 \text{ Kg/cm}^2$  ( $\sigma'_{bk}$ ). Cuando mayor es el coeficiente de variación mayor debe ser la resistencia media para cumplimentar la resistencia característica especificada.-

Recordemos que una condición que debe cumplimentar el hormigón es la de economía y aquí es del caso juzgar en función de la importancia de la obra y su correspondiente volumen de hormigón qué equipamiento utilizar y qué grado de control realizar para que la citada condición se cumpla ya que la resistencia media es la que gobierna la dosificación del hormigón.-

Las cuatro curvas podrían representar las distintas formas de trabajar de otras tantas empresas que trabajan con distintos cuidados de elaboración. Aunque todas ellas cumplen con el requisito de la  $\sigma'_{bk}$  exigida, las resistencias medias para lograrlas son distintas, siendo mayores para las menos cuidadosas, hecho que se traduce en un mayor consumo de cemento.-

Absurdo de exigencias de algunas especificaciones:

Existen especificaciones que exigen una resistencia a cumplimentar con una tolerancia máximo de, por ejemplo, un 10 %. Si la resistencia solicitada fuera de 250 kg/cm<sup>2</sup> el mínimo minimorum aceptado se convierte en 225 kg/cm<sup>2</sup>.-

Para un contratista que trabaja con un coeficiente de variación del 20 % (que se estima bueno) veamos qué en realidad, se le está exigiendo.

De acuerdo a lo visto el 100 % de los testigos ensayados deben tener valores de resistencia superiores a los 225 Kg/cm<sup>2</sup> (totalidad del universo).-

$$\sigma_{bmin} = \sigma'_{bm} - 3s = 225 \text{ Kg/cm}^2$$

$$s = \frac{s}{\sigma'_{bm}} = 0.20 \quad \therefore s = 0.20 \sigma'_{bm}$$

$$\sigma_{bmin} = \sigma'_{bm} - 3 \times 0.20 \sigma'_{bm} = \sigma'_{bm} (1 - 0.6)$$

$$\sigma'_{bm} = \frac{\sigma_{bmin}}{1 - 0.6} = \frac{225}{0.6}$$

$$\sigma'_{bm} = 562.5 \text{ Kg/cm}^2$$

Ambos valores son imposibles de cumplimentar. Estas exigencias desconocen en absoluto la realidad práctica de elaboración de hormigones en lo que hace a innumerables factores que afectan su resistencia.-

Porcentaje de resultados menores que un cierto valor crítico  $\sigma'_{bk}$  especificado

Al considerar este tema puede surgir la duda, de que al admitir que algunos resultados sean inferiores al valor considerado crítico  $\sigma'_{bk}$ , puede ponerse en peligro la estabilidad y seguridad de la estructura. Teniendo en cuenta algunas razones que se expondrán a continuación, se observará que la aparición de una baja de resistencia individual no debe preocuparnos. La tolerancia del 5 % de resultados con resistencias menores a la característica establecida por el PRAEH, no implica que puedan corresponder a ensayos consecutivos, ocurrir en forma alternada, etc. Por el contrario, su aparición dentro de la serie de ensayos realizados debe cumplir los requisitos fijados en el Cap. III (A 3.7.1.) del citado Reglamento, que impide una concentración de fallas

en cualquiera de los puntos o secciones de la estructura. Esta tolerancia del 5 % se refiere a un control continuo, realizado con el número total de resultados posibles en el momento de realizar la comprobación y no a un porcentaje que pueda aplicarse a un determinado punto, sección o volumen de una estructura, salvo el caso de que se trate de pavimentos en los que el control y recepción se realicen por tramos de un cierto número de kilómetros previamente establecido en las especificaciones técnicas. Veamos ahora las razones a que se hizo referencia anteriormente:

- 1) La resistencia del hormigón crece en función del tiempo y generalmente la estructura no recibe la totalidad de la sobrecarga de proyecto a la edad en que se especifica la resistencia de pliego (generalmente 28 días).-
- 2) La experiencia indica que generalmente la resistencia del hormigón de la estructura es superior a la que indican las que indican las probetas moldeadas y curadas en condiciones normalizadas.-
- 3) Los pastones de hormigón de baja resistencia (en general cualquier pastón de hormigón) generalmente no están concentrados en un determinado lugar de la estructura, sino entremezclados en los encofrados con otros de mayor resistencia y distribuidos en superficies relativamente grandes, introduciéndose así, un proceso en el que las resistencias tenderán a tomar valores medios de las correspondientes a los distintos pastones entremezclados.-
- 4) Un hormigón de mayor resistencia que rodea a otro de resistencia menor, tiende a reforzar a éste en el conjunto proporcionándole condiciones de mejoramiento de su calidad.-
- 5) Como el hormigón se deforma plásticamente bajo la acción de cargas mantenidas durante un tiempo prolongado, las tensiones que en determinados puntos de la estructura pueden ser excesivas para la calidad del hormigón que en ellos se encuentra, se transfieren al hormigón circundante y así el hormigón de mayor resistencia ayuda al de resistencia menor.-
- 6) Las tensiones de trabajo admisibles del hormigón siempre son menores que las de rotura. Por ejemplo, la tensión admisible de la compresión por flexión adoptada por el PRAEH es igual a la mitad de resistencia característica de rotura por compresión  $\sigma_{bk}$ .-

Es el caso consignar que el PRAEH establece las siguientes exigencias cuyo incumplimiento califica al hormigón como inaceptable. Dos probetas consecutivas no deben tener simultáneamente resistencias menores que la característica y el promedio de tres igualmente consecutivas debe tener un valor igual o mayor que la citada resistencia característica.-

Es por lo tanto necesario la numeración correlativa de las probetas que se elaboren para el control adecuado de estas exigencias.-

Dos procedimientos para obtener la resistencia característica Especificada (Fig 54)

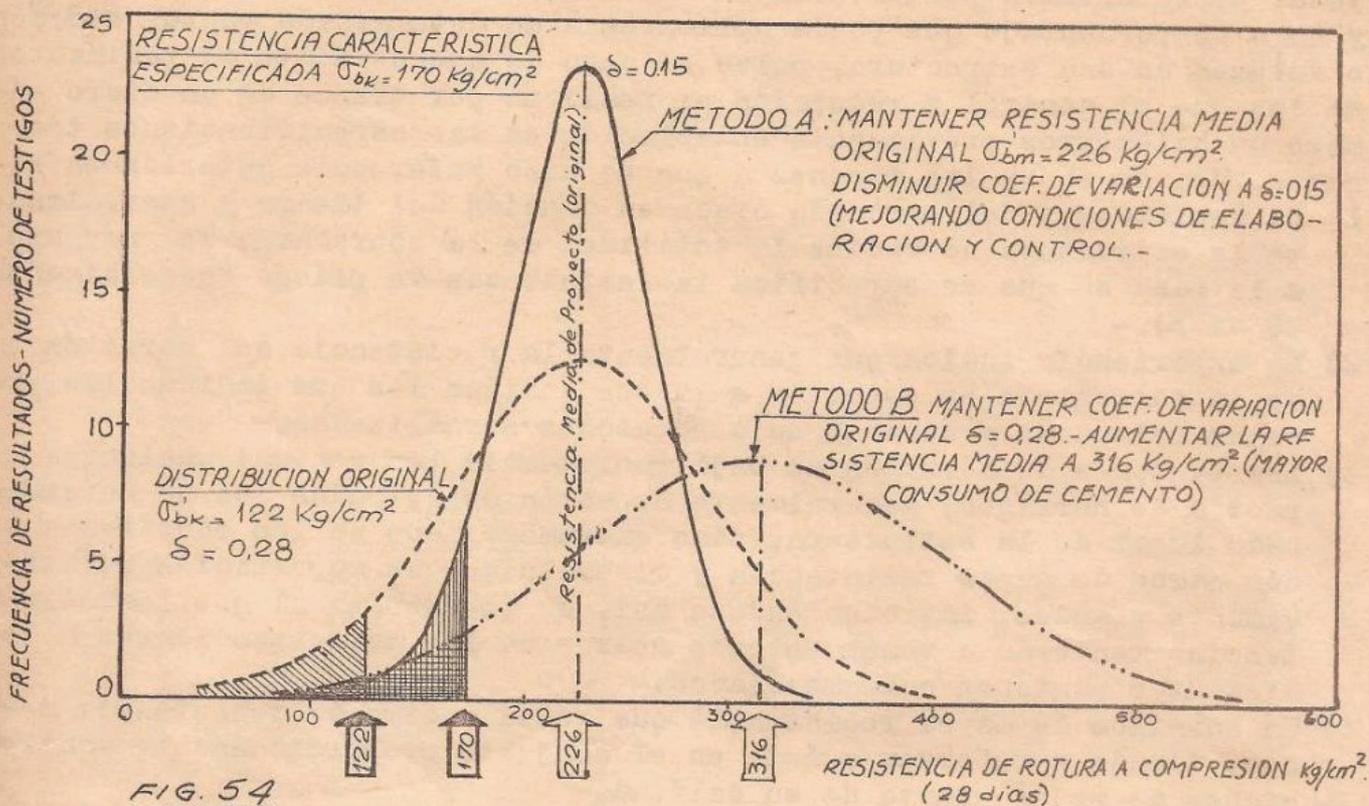


FIG. 54

Supongamos que la especificación correspondiente al hormigón con que debe ejecutarse una estructura, establece que su  $\sigma'_{bk}$  a los 28 días sea igual a  $170 \text{ Kg/cm}^2$ . Supongamos también que se han moldeado probetas para apreciar la resistencia y la uniformidad del hormigón y que una vez que se dispone de los resultados de ensayos éstos se han estudiado estadísticamente resultando una  $\sigma_{bm} = 226 \text{ Kg/cm}^2$  con un coeficiente de variación  $\delta = 0,28$ .

La curva de distribución normal correspondiente a estas condiciones es la que en el gráfico se indica con la denominación de "distribución original". Su  $\sigma'_{bk}$  en función de los datos calculados ( $\sigma_{bm}$  y  $\delta$ ) será  $\sigma'_{bk} = \sigma_{bm} (1 - 1,65 \delta) = 226 (1 - 1,65 \times 0,28) = 122 \text{ Kg/cm}^2$ .

Este valor no cumple con las condiciones especificadas para  $\sigma'_{bk}$  surgiendo la necesidad de modificar el estado de cosas.

En estas condiciones el contratista dispone de dos medios:  
**Método a:** Mantener la resistencia media  $\sigma_{bm} = 226 \text{ kg/cm}^2$ , es decir, mantener el dosaje empleado hasta entonces y mejorar el grado de uniformidad (reducir el coeficiente de variación de resistencia) aplicando controles de elaboración más rígidos y eficientes.

Según el gráfico, esto se logra para un valor de  $\delta = 0,15$  (buen control).

Método B: Mantener las condiciones de elaboración y elevar la  $\sigma'_{bm}$  elevando el contenido de cemento. Según el gráfico la  $\sigma'_{bk}$  debe elevarse a un valor igual a los 316 Kg/cm<sup>2</sup>.-

Desde el punto de vista técnico debe preferirse el primer método que permite obtener un hormigón de características más uniformes y por lo tanto de mejor calidad.-

El cuadro que sigue nos dará una idea del consumo de cemento en hormigones de distinto nivel de calidad, cuando se pretija la  $\sigma'_{bk}$  a lograr.-

Resistencia media y contenido unitario de cemento necesario para obtener las resistencias características que se indican con distintos coeficientes de variación

COEFICIENTE DE VARIACION %	$\sigma'_{bk} = 170 \text{ Kg/cm}^2$		$\sigma'_{bk} = 250 \text{ Kg/cm}^2$	
	RESISTENCIA MEDIA $\sigma'_{bm}$ Kg/cm <sup>2</sup>	CONTENIDO UNITARIO DE CEMENTO Kg/m <sup>3</sup>	RESISTENCIA MEDIA $\sigma'_{bm}$ Kg/cm <sup>2</sup>	CONTENIDO UNITARIO DE CEMENTO Kg/m <sup>3</sup>
15	226	283	332	360
21	260	310	383	405
28	316	355	465	485

Corresponde a hormigones preparados con canto rodado y arena de uso corriente, adecuados para condiciones generales de colocación y compactación manual (asentamiento de 10 a 12 cm).-

Forma en que puede mejorarse el grado de uniformidad de las características del hormigón

Las medidas a adoptar para controlar la calidad del hormigón en obra, dependerán del volumen de hormigón a emplear, importancia y naturaleza de la estructura. En las grandes obras se dispone de equipos de medición y elaboración adecuados, instrumental de control, laboratorios y personal capacitado. En obras de menor volumen no se disponen de todos los elementos enunciados.-

El PRAEH establece las condiciones de 3 grados de control de elaboración que califica como rigurosos, razonable y pobre y también la forma de procedimiento de comprobar la calidad y uniformidad del

hormigón durante el proceso constructivo.-

Los medios y operaciones mediante los cuales pueden controlarse en forma adecuada el proceso de elaboración del hormigón, son los que se describen a continuación. Los mismos contemplan el control total en todos los aspectos que se consideran más importantes y efectivos.:

- a) Siempre que sea posible usar cemento de una misma marca y procedencia
- b) Obtener los áridos siempre de la misma fuente de provisión. El árido grueso debe adquirirse en por lo menos dos fracciones distintas, que deberán almacenarse y medirse separadamente, para luego ser recombinadas en las proporciones adecuadas para obtener la correcta granulometría.-
- d) Disponer de por lo menos dos pilas de cada tamaño de árido, para asegurarse de que el agua libre ha escurrido durante un período de por lo menos 16 hs. antes de proceder a la medición del material. Esto asegurará que el porcentaje de humedad superficial de los áridos sea razonablemente uniforme. En caso contrario, la variación del porcentaje de humedad superficial hará necesario modificar continuamente las correcciones a introducir en las mediciones, mantener planas las superficies superiores de las pilas y dejar en el fondo de ellas una capa de drenaje de 30 a 50 cm. de espesor.-
- e) Medir el cemento en peso o por bolsa entera y no por fracciones de bolsa, excepto el caso en que dicha fracción se pese. Medirlo separadamente de los áridos.-
- f) Controlar, limpiar y aceitar periódicamente y por lo menos semanalmente las balanzas.-
- g) Medir los áridos en peso y separadamente. Estos pesos deben calcularse partiendo de los pesos necesarios de materiales en las condiciones dadas al calcular la dosificación y teniendo en cuenta la humedad superficial de las mismas para hacer las correcciones correspondientes.-
- h) Determinar constantemente el porcentaje de humedad superficial y tener en cuenta el resultado para modificar en consecuencia el peso del árido húmedo que se mide para hacerlo ingresar en la hormigonera; existen equipos modernos que determinan en forma continua el porcentaje de humedad superficial de los áridos y corrigen automáticamente las pesadas de acuerdo al porcentaje de humedad presente en ellos.-
- j) Medir cuidadosamente el agua de mezclado y los materiales adicionales
- k) Controlar periódicamente la velocidad de giro del tambor de la hormigonera y también el tiempo de mezclado.-
- l) Controlar periódicamente el grado de compactación del hormigón.
- m) Realizar ensayos frecuentes de los materiales componentes del hormigón con tiempo suficiente como para tener los resultados antes de su empleo y poder adoptar medidas correctivas si resultara necesario.-
- n) Controlar que el hormigón no tenga tendencia a la segregación.-
- ñ) Realizar ensayos frecuentes de asentamiento para tener idea de la uniformidad del mismo en estado fresco y también de las posibles variaciones de granulometría y humedad superficial de los áridos.-

## Trazado de la Curva Normal de Gauss

Se efectúa en base a la resistencia promedio y a la desviación normal exclusivamente. El procedimiento a seguir, de acuerdo a lo recomendado en la publicación "Theory and problems on Statistics" Murray R. Spiegel, New York 1961, tabla Appendix II pag. 343, es el siguiente: se parte de la base que la curva normal es simétrica con respecto a un eje vertical coincidente con el valor de la resistencia promedio; por otra parte debe tenerse en cuenta que la superficie limitada superiormente por la curva e inferiormente por el eje de las abscisas corresponde, en una escala dada, al 100 % del universo en consideración.-

De lo anterior surge que a cada lado del eje de simetría la superficie limitada por la curva normal, el eje de las abscisas y la ordenada correspondiente a la resistencia promedio equivale al 50 % del Universo.-

La superficie mencionada puede considerarse formada por la suma de un número suficientemente grande de trapecios adyacentes entre sí, cuyos lados paralelos son ordenadas de la curva, limitadas superiormente por dicha curva e inferiormente por el eje de las abscisas.-

La tabla a que se hizo referencia anteriormente, permite conocer la superficie limitada por la curva, el eje de las abscisas, la ordenada correspondiente a la resistencia promedio y otra ordenada cualquiera. Para ello basta con fijar el valor  $Z$ , que se calcula como cociente entre la base del trapecio (medida a lo largo del eje de las abscisas como diferencia entre la resistencia a la compresión promedio y la resistencia a la compresión que corresponda a la ordenada límite del trapecio considerado) y la desviación normal ( $Z = \frac{\sigma'_{bm} - \sigma'_{bi}}{\sigma}$ ). Para cada valor de  $Z$ , la tabla da el valor de la superficie correspondiente, como fracción decimal.-

Es interesante comprobar que para  $\sigma'_{bm} - \sigma'_{bi} = s$ ,  $Z$  vale 1 y para ese valor de  $Z$  la superficie que fija la tabla es 0,3413; como la curva es simétrica, la superficie total de la zona que se extiende a ambos lados de la resistencia promedio hasta la distancia "s" (desviación normal) es de 0,6826 que corresponde aproximadamente a los 2/3 del universo. Para  $\sigma'_{bm} - \sigma'_{bi} = 1,65 s$ ,  $Z$  vale 1,65 y el valor correspondiente de la tabla es 0,45, el que duplicado por las razones antes mencionadas da 0,90, es decir que para 1,65 veces la desviación normal la superficie alcanza al 90 % del universo (tomando siempre la distancia mencionada hacia ambos lados de la resistencia promedio).-

Para  $\sigma'_{bm} - \sigma'_{bi} = 3 s$ , es  $Z = 3$  y el valor correspondiente de la superficie es 0,4987, el que se duplica y da 0,9974, o sea prácticamente, la totalidad del universo.-

Calculo de ordenadas de la curva: Si se establecen intervalos múltiples de un valor básico de  $(\sigma'_{bi+1} - \sigma'_{bi})$  se pueden calcular los respectivos valores de  $Z$  y por lo tanto las superficies comprendidas entre la resistencia promedio y un valor dado de  $\sigma'_{bi}$ ; por la diferencia entre cada superficie y la anterior se obtiene la superficie de cada trapecio individual

cuya base sea con el valor básico de  $\sigma_{bi+1} - \sigma_{bi}$  (habitualmente se adopta  $\sigma_{bi+1} - \sigma_{bi} = 10 \text{ kg/cm}^2$ ). Esas superficies se convierten de decimales a porcentuales, multiplicándolas por 100 y dan las ordenadas de la curva, en escala de frecuencias porcentuales.-

Una vez que se dibujan las ordenadas de la curva, uniendo sus extremos superiores, queda dibujada una rama de la curva, la otra rama es simétrica de la primera, con respecto a la ordenada de resistencia promedio.-

Histograma: Se agrupan los valores de ensayo obtenidos, sumando la cantidad de valores que corresponden a cada intervalo básico  $\sigma_{bi+1} - \sigma_{bi}$  y se obtiene la frecuencia porcentual haciendo el cociente entre esa cantidad, multiplicada por 100 y la cantidad total de probetas del universo. Los valores obtenidos se llevan sobre el diagrama "resistencias a la compresión - frecuencias porcentuales", bajo la forma de lados laterales de rectángulos o barras, cuyas bases son los correspondientes intervalos básicos. De esta manera se superponen la curva normal de Gauss y el histograma, lo que permite comprobar el grado de ajuste del universo en estudio, en las condiciones ideales dadas por la curva teórica.-

Debe tenerse en cuenta, que para poblaciones con las características de dispersión que son habituales en obras con control de calidad muy reducido (medición de materiales en volumen, imprecisión en la relación agua/cemento, falta de medición de la movilidad de las mezclas, etc.), el histograma ofrece diferencias importantes con la curva normal; estas diferencias van disminuyendo en la medida en que el número de componentes del universo aumenta. La experiencia muestra que normalmente, recién pueden lograrse un histograma aproximadamente ajustado a la curva normal, para poblaciones del orden de las 100 probetas.-

# CONTROLESTATADISTICO DE CALIDAD

## EJEMPLO DE APLICACION. - HORMIGON DE OBRA

PROBE-TA Nº	RESISTENCIA A LA COMPRESION Kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma'_{bm} - \sigma'_{bi}$	$(\sigma'_{bm} - \sigma'_{bi})^2$	PROBE-TA Nº	RESISTENCIA A LA COMPRESION Kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma'_{bm} - \sigma'_{bi}$	$(\sigma'_{bm} - \sigma'_{bi})^2$
1	317	37	1369	21	305	25	625
2	281	1	1	22	257	23	529
3	387	107	11449	23	330	50	2500
4	279	1	1	24	228	52	2704
5	350	70	4900	25	302	22	484
6	182	2	4	26	270	10	100
7	321	41	1681	27	305	25	625
8	296	16	256	28	285	5	25
9	202	22	484	29	295	15	225
10	276	4	16	30	276	4	16
11	305	25	625	31	332	52	2704
12	178	102	10404	32	295	15	225
13	269	11	121	33	308	28	784
14	381	101	10201	34	309	29	841
15	188	92	8464	35	194	86	7396
16	291	11	121	36	263	17	289
17	231	49	2401	37	284	4	16
18	264	16	256	38	278	2	4
19	362	82	6724	39	302	22	484
20	208	72	5184	40	214	66	4356
				$\Sigma =$	11200	$\Sigma =$	89594

RESISTENCIA MEDIA :  $\sigma'_{bm} = 11.200/40 = 280 \text{ Kg/cm}^2$

DESVIACION NORMAL :  $s = \sqrt{89.594/40} = 47,32 \text{ ''}$

COEFICIENTE DE VARIACION :  $\rho = 47,32 \times 100/280 = 16,9 \%$

RESISTENCIA CARACTERISTICA :  $\sigma'_{bx} = 280 - 1,65 \times 47,32 = \sim 202 \text{ Kg/cm}^2$

# CALCULO DE LAS ORDENADAS PARA:

## HISTOGRAMA

## CURVA NORMAL DE GAUSS

$$\bar{\sigma}_{bm} = 280 \text{ Kg/cm}^2$$

$$s = 47,32 \text{ Kg/cm}^2$$

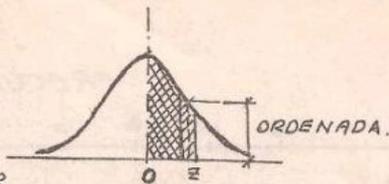
$$z = \frac{1}{s} (\sigma'_{bi} - \bar{\sigma}_{bm}) = 0,211 (\sigma'_{bi} - \bar{\sigma}_{bm})$$

INTERVALO	NUMERO DE PROBETAS	FRECUENCIA %
170 - 179	1	2,5
180 - 189	2	5,0
190 - 199	1	2,5
200 - 209	2	5,0
210 - 219	1	2,5
220 - 229	1	2,5
230 - 239	1	2,5
240 - 249	—	—
250 - 259	1	2,5
260 - 269	3	7,5
270 - 279	5	12,5
280 - 289	3	7,5
290 - 299	4	10,0
300 - 309	7	17,5
310 - 319	1	2,5
320 - 329	1	2,5
330 - 339	2	5,0
340 - 349	—	—
350 - 359	1	2,5
360 - 369	1	2,5
370 - 379	—	—
380 - 389	2	5,0
TOTAL	40	100

$\sigma'_{bi} - \bar{\sigma}_{bm}$ kg/cm <sup>2</sup>	Z	AREA TOTAL	AREA PARCIAL	ORDENADA CURVA
10	0,211	0,0836	0,0836	8,36
20	0,422	0,1636	0,0800	8,00
30	0,633	0,2367	0,0731	7,31
40	0,844	0,3007	0,0640	6,40
50	1,055	0,3543	0,0536	5,36
60	1,266	0,3972	0,0429	4,29
70	1,477	0,4302	0,0330	3,30
80	1,688	0,4543	0,0241	2,41
90	1,899	0,4713	0,0170	1,70
100	2,110	0,4826	0,0113	1,13
110	2,321	0,4898	0,0072	0,72
120	2,532	0,4943	0,0045	0,45
130	2,743	0,4969	0,0026	0,26
140	2,954	0,4984	0,0015	0,15
				99,84

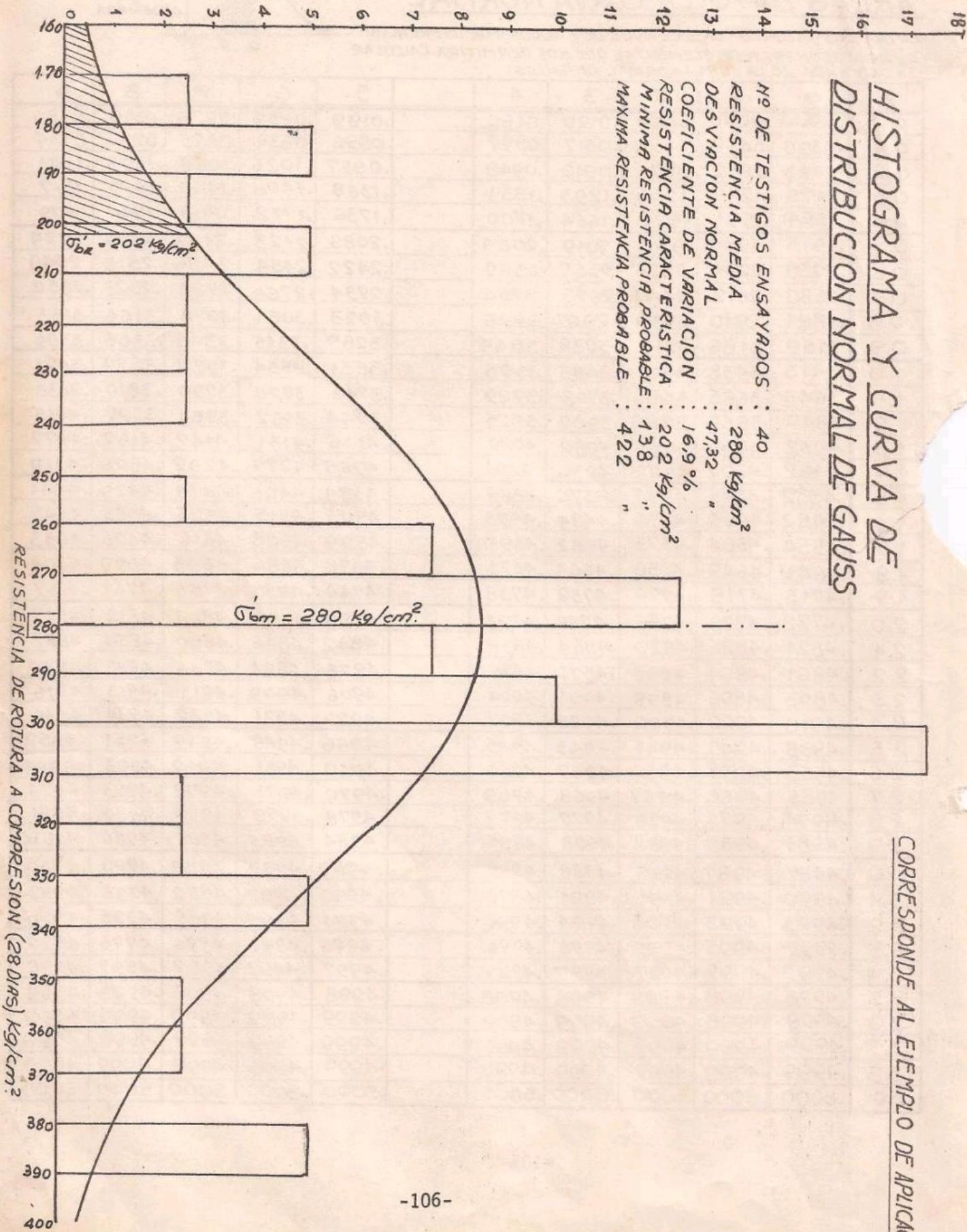
# AREAS BAJO LA CURVA NORMAL

ENTRE DOS VALORES CONSECUTIVOS DE Z QUEDA-POR DIFERENCIA-  
EL AREA DE UN TRAPECIO ELEMENTAL QUE NOS PERMITIRA CALCULAR  
LA ORDENADA DE LA CURVA NORMAL DE GAUSS.



z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.0	.0000	.0040	.0080	.0120	.0160	.0199	.0239	.0279	.0319	.0359
0.1	.0398	.0438	.0478	.0517	.0557	.0596	.0636	.0675	.0714	.0754
0.2	.0793	.0832	.0871	.0910	.0948	.0987	.1026	.1064	.1103	.1141
0.3	.1179	.1217	.1255	.1293	.1331	.1368	.1406	.1443	.1480	.1517
0.4	.1554	.1591	.1628	.1664	.1700	.1736	.1772	.1808	.1844	.1879
0.5	.1915	.1950	.1985	.2019	.2054	.2088	.2123	.2157	.2190	.2224
0.6	.2258	.2291	.2324	.2357	.2389	.2422	.2454	.2486	.2518	.2549
0.7	.2580	.2612	.2642	.2673	.2704	.2734	.2764	.2794	.2823	.2852
0.8	.2881	.2910	.2939	.2967	.2996	.3023	.3051	.3078	.3106	.3133
0.9	.3159	.3186	.3212	.3238	.3264	.3289	.3315	.3340	.3365	.3389
1.0	.3413	.3438	.3461	.3485	.3508	.3531	.3554	.3577	.3599	.3621
1.1	.3643	.3665	.3686	.3708	.3729	.3749	.3770	.3790	.3810	.3830
1.2	.3849	.3869	.3888	.3907	.3925	.3944	.3962	.3980	.3997	.4015
1.3	.4032	.4049	.4066	.4082	.4099	.4115	.4131	.4147	.4162	.4177
1.4	.4192	.4207	.4222	.4236	.4251	.4265	.4279	.4292	.4306	.4319
1.5	.4332	.4345	.4357	.4370	.4382	.4394	.4406	.4418	.4429	.4441
1.6	.4452	.4463	.4474	.4484	.4495	.4505	.4515	.4525	.4535	.4545
1.7	.4554	.4564	.4573	.4582	.4591	.4599	.4608	.4616	.4625	.4633
1.8	.4641	.4649	.4656	.4664	.4671	.4678	.4686	.4693	.4699	.4706
1.9	.4713	.4719	.4726	.4732	.4738	.4744	.4750	.4756	.4761	.4767
2.0	.4772	.4778	.4783	.4788	.4793	.4798	.4803	.4808	.4812	.4817
2.1	.4821	.4826	.4830	.4834	.4838	.4842	.4846	.4850	.4854	.4857
2.2	.4861	.4864	.4868	.4871	.4875	.4878	.4881	.4884	.4887	.4890
2.3	.4893	.4896	.4898	.4901	.4904	.4906	.4909	.4911	.4913	.4916
2.4	.4918	.4920	.4922	.4925	.4927	.4929	.4931	.4932	.4934	.4936
2.5	.4938	.4940	.4941	.4943	.4945	.4946	.4948	.4949	.4951	.4952
2.6	.4953	.4955	.4956	.4957	.4959	.4960	.4961	.4962	.4963	.4964
2.7	.4965	.4966	.4967	.4968	.4969	.4970	.4971	.4972	.4973	.4974
2.8	.4974	.4975	.4976	.4977	.4977	.4978	.4979	.4979	.4980	.4981
2.9	.4981	.4982	.4982	.4983	.4984	.4984	.4985	.4985	.4986	.4986
3.0	.4987	.4987	.4987	.4988	.4988	.4989	.4989	.4989	.4990	.4990
3.1	.4990	.4991	.4991	.4991	.4992	.4992	.4992	.4992	.4993	.4993
3.2	.4993	.4993	.4994	.4994	.4994	.4994	.4994	.4995	.4995	.4995
3.3	.4995	.4995	.4995	.4996	.4996	.4996	.4996	.4996	.4996	.4997
3.4	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4998
3.5	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998
3.6	.4998	.4998	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999
3.7	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999
3.8	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999
3.9	.5000	.5000	.5000	.5000	.5000	.5000	.5000	.5000	.5000	.5000

FRECUENCIA DE RESULTADOS (% TOTAL DE ENSAYOS)



HISTOGRAMA Y CURVA DE DISTRIBUCION NORMAL DE GAUSS

CORRESPONDE AL EJEMPLO DE APLICACION

## I N D I C E

	Pag.	
I -	INTRODUCCION	1
II -	HORMIGON DE CEMENTO PORTLAND	3
II - 1.-	Composición	3
II - 2.-	Estados del hormigón	4
II - 3.-	Condiciones a cumplir tanto en estado fresco como endurecido	8
III -	MATERIALES COMPONENTES	
III - 1.-	Cemento Portland	12
III - 2.-	Agregados	13
III - 3.-	Agua	14
IV -	TERMINOLOGIA USADA EN EL ESTUDIO DE HORMIGONES	15
V -	ENSAYO DE LOS MATERIALES COMPONENTES DEL HORMIGON DESTINADOS A CONOCER LAS CARACTERISTICAS DE LOS MISMOS NECESARIAS PARA EL CALCULO DE DOSIFICACIONES RACIONALES	19
VI -	DOSIFICACION DE HORMIGONES	
VI - 1.-	Importancia del Tema-Algunas reglas básicas	28
VI - 2.-	Métodos de Dosificación	
VI - 2.-a)	Dosificaciones empíricas	31
VI - 2.-b)	Dosificaciones semiempíricas	32
VI - 2.-c)	Dosificaciones racionales	32
VII -	PROCESO DE DOSIFICACION DEL HORMIGON SEGUN EL METODO DEL INGENIERO GARCIA BALADO	42
VIII -	RECAPITULACION Y COMENTARIOS DE LOS PASOS NECESARIOS (METODO GARCIA BALADO)	43
IX -	EJEMPLOS DE APLICACION	
IX - 1.-	Dosificación de la mezcla de hormigón para estructuras	47
IX - 2.-	Dosificación de mezcla para pavimentos	49
IX - 3.-	Dosificación en obra (Corrección por humedad de los áridos de la dosificación de Laboratorio)	51
IX - 4.-	Ajuste de dosificación por incorporación intencional de aire	53
IX - 5.-	Pasaje de una dosificación en peso a una dosificación en volumen	55

	Pag.	
X -	ENSAYO DE HORMIGONES EN LABORATORIO	
X - 1.-	Determinación de la consistencia (Como de Abrams)	57
X - 2.-	Determinación del contenido de aire en la mezcla fresca	
X - 2.-a)	Método de presión (Método de Washington)	59
X - 2.-b)	Método Volúmetrico	60
X - 2.-c)	Método Gravimétrico	60
X - 2.-d)	Dispositivo A E -55 (Medidor de Chace)	60
X - 3.-	Peso unitario del hormigón fresco	61
X - 4.-	Moldeo de probetas en laboratorio y su curado	61
X - 5.-	Ensayo de rotura por compresión	63
X - 6.-	Ensayo de rotura a la tracción por compresión diametral	63
X - 7.-	Ensayo de flexión	64
XI -	ENSAYOS ACELERADOS	
XI - a)	Justificación de los ensayos de resistencia a la rotura por compresión a 28 días	65
XI - b)	Requisitos básicos para un método de ensayo acelerado	65
XI - c)	Características comunes y tendencias en los ensayos acelerados	66
XI - d)	Métodos empleados en nuestro país	66
XI - e)	Ensayos acelerados de hormigones actualmente en ejecución en el I.C. P.A.	67
XII -	ADITIVOS	70
	Tipos de Aditivos	72
	Fluidificantes	72
	Retardadores del tiempo de fraguado	74
	Aceleradores	76
	Incorporadores de aire	78
	Efectos de la incorporación de aire sobre la resistencia del hormigón	80
	Otros aditivos	81
XIII -	CONTROL DE CALIDAD	
	Control estadístico del hormigón	82
	Variación de la resistencia provocada por los materiales	83
	Variación de la resistencia por variación de las proporciones de los componentes	84

	Pag.
- Histograma-Curva de distribución normal de Gauss	85
- Variación de la resistencia característica para la misma resistencia media y distintos coeficientes de variación	90
- Variación de la resistencia media para una resistencia característica dada y distintos coeficientes de variación	91
- Absurdo de exigencia de algunas especificaciones	92
- Porcentaje de resultados menores que un cierto valor crítico $b_k$ especificado	92
- Dos procedimientos para obtener la resistencia característica especificada	94
- Forma en que puede mejorarse el grado de uniformidad de las características del hormigón	95
- Trazado de la curva normal de Gauss	97
- Ejemplo de aplicación	99

## Bibliografía Consultada

- 1.- Agustín N. Castiarena - Tecnología del Hormigón -Publicación I.C.P.A.-
- 2.- Bureau of Reclamation - Concrete Manual.-
- 3.- Proyecto de Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón
- 4.- Portland Cement Association - Design and Control of Concrete Mixtures
- 5.- Juan F. García Balado -Método para la Dosificación de Hormigones - Publicación I.C.P.A.
- 6.- Alberto S.C. Fava-La Tecnología como medio de elevar la calidad del hormigón de obra.-
- 7.- Alberto S.C. Fava-El Hormigón del Túnel subfluvial Paraná-Santa Fe
- 8.- Alberto S.C. Fava-Posibilidades, Ventajas y Condiciones Generales de Empleo de los aditivos en el hormigón estructural.-
- 9.- Alberto S.C. Fava-Conocimientos y medios disponibles para incrementar la productividad en el Campo de la Tecnología del Hormigón.-
- 10.- American Concrete Institute - Recommended of practice for selecting proportions for normal weight concrete A.C.I. Journal 1969.-
- 11.- Celestino L. Ruiz - Corrosión del Hormigón-Su origen mecanismo y prevención.-
- 12.- Revista Cemento Portland N° 17 -La Ley de Abrams a los 30 años de su publicación.-
- 13.- Portland Cement Association-Statistical Product Control
- 14.- Carlos E. Duvoy - La evolución de la Industria Argentina del Cemento Portland - Publicación I.C.P.A.
- 15.- Dante J.E. Veronelli- Durabilidad del Hormigón Reacción Alkali-Agregado- Publicación I.C.P.A.
- 16.- José Calleja Carrete - Durabilidad de los hormigones - Publicación I.C.P.A.
- 17.- José Calleja Carrete - Aditivos para el Hormigón
- 18.- Bernardo Bacle - La Influencia de las características del árido grueso en una calidad de hormigón y su control - Revista Cemento y Hormigón N° 505.-