

# CUADERNOS INTEMAC

## Métodos para dosificar mezclas de hormigón Methods of concrete mix proportioning

Viterbo A. O'REILLY DÍAZ  
Ingeniero Civil



**INTEMAC**

INSTITUTO TECNICO DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

N.º 20  
4.º TRIMESTRE '95

# INTEMAC



METIRE UT SCIAS

## INTEMAC

### INSTITUTO TECNICO DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

CONTROL DE PROYECTO

CONTROL DE OBRA

GARANTIA DE CALIDAD

SONDEOS, ENSAYOS E INFORMES GEOTECNICOS

INFORMES DE PATOLOGIA, REHABILITACION Y REFUERZOS DE CONSTRUCCIONES

OBRAS PUBLICAS  
EDIFICACION  
INSTALACIONES



**INTEMAC**  
AUDIT

### AUDITORIA TECNICO-ECONOMICA DE CONSTRUCCIONES

- ASESORIA EN EL PLANTEAMIENTO Y EN LA CONTRATACION DE LA OBRA
- SEGUIMIENTO DE COSTOS Y PLAZOS DURANTE LA CONSTRUCCION
- VALORACIONES DE TERRENOS, INMUEBLES Y CONSTRUCCIONES
- AUDITORIAS DE TRABAJOS PARCIALES Y DE LIQUIDACION DE LA OBRA



**INTEMAC**  
**ECO**

### AUDITORIA TECNICA MEDIOAMBIENTAL

CONTROL DE IMPACTO AMBIENTAL

Obras Públicas  
Edificación  
Instalaciones

CONTROL DE CALIDAD AMBIENTAL

Aire  
Agua  
Ruido

AUDITORIA MEDIOAMBIENTAL

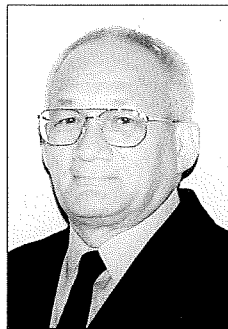
ASESORAMIENTO EN MATERIA DE MEDIO AMBIENTE

---

# MÉTODOS PARA DOSIFICAR MEZCLAS DE HORMIGÓN

---

## METHODS OF CONCRETE MIX PROPORTIONING



**Viterbo A. O'REILLY DÍAZ**  
Ingeniero Civil  
Profesor Titular  
Investigador Titular  
Dr. en Ciencias y en Ciencias Técnicas

Civil Engineer  
Senior Lecturer and Researcher  
PhD Science and Technical Sciences

---

Copyright © 1995, INTEMAC

Todos los derechos reservados. Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida o distribuida de ninguna manera ni por ningún medio, ni almacenada en base de datos o sistema de recuperación, sin el previo permiso escrito del editor.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or distributed in any form or by any means, or stored in a data base or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

ISSN 1133-9365

Depósito legal: M-42873-1995  
Infoprint, S.A. - San Vicente Ferrer, 40

## INDEX

### FORWARD

1. INTRODUCTION
2. METHOD OF PROPORTIONING LOW CONSISTENCY CONCRETE MIXES
  - 2.1. BACKGROUND
  - 2.2. RESEARCH AND INVESTIGATION
  - 2.3. ADVANCES PROVIDED BY THE INVESTIGATION
  - 2.4. CONCLUSIONS FOR THE PRACTICE AND SUBSEQUENT DEVELOPMENT OF THE SCIENCE
  - 2.5. METHOD FOR CONCRETE MIX DESIGN BASED ON PRECISE EVALUATION OF AGGREGATE CHARACTERISTICS
    - 2.5.1. Determination of the optimum ratio of coarse and fine aggregate
    - 2.5.2. Determination of necessary water content for the required consistency
    - 2.5.3. Determination of characteristic A of aggregate
    - 2.5.4. Determination of cement quantity
    - 2.5.5. Recommendations
    - 2.5.6. Example of concrete mix design
    - 2.5.7. Voids, specific surface and other factors which affect aggregate mixes

## INDICE

### PROLOGO

1. INTRODUCCION
2. MÉTODO PARA DOSIFICAR MEZCLAS DE HORMIGÓN CON BAJA CONSISTENCIA
  - 2.1. ANTECEDENTES
  - 2.2. ESTUDIOS E INVESTIGACIONES
  - 2.3. NUEVOS CONOCIMIENTOS APORTADOS POR LA INVESTIGACIÓN
  - 2.4. CONCLUSIONES PARA LA PRÁCTICA Y EL DESARROLLO ULTERIOR DE LA CIENCIA
  - 2.5. MÉTODO PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN BASADO EN LA DETERMINACIÓN CORRECTA DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS ÁRIDOS
    - 2.5.1. Determinación de la relación óptima de los áridos gruesos y finos
    - 2.5.2. Determinación de la cantidad de agua necesaria para la consistencia requerida
    - 2.5.3. Determinación de las características A de los áridos
    - 2.5.4. Determinación de la cantidad de cemento
    - 2.5.5. Recomendaciones
    - 2.5.6. Ejemplo de diseño de una mezcla de hormigón
    - 2.5.7. Vacío, superficie especificada y otros factores que influyen en las mezclas de los áridos

## FORWARD

*The following text is a practical summary of an extensive work written by Prof. Vitervo O'Reilly in Cuba, where he is Doctor in Technical Sciences, Senior lecturer and researcher and Chairman of the Cuban National Union of Building Architects and Engineers.*

*Prof. O'Reilly has carried out a very important technical work of investigation and optimisation in the field of cement and concrete.*

*In the face of the urgent need to improve production costs of concrete in his country, Dr. Eng. Vitervo O'Reilly, in his capacity as assessor to the Cuban Government, has developed and established a method of mix proportioning based on the experience gathered over many years of study, experiment and detailed observation of the properties of different concretes made with aggregates of different characteristics and origin.*

*After a detailed analysis of the different methods of proportioning concrete mixes commonly used today (Bolomey, Fuller, Feret, A.C.I., etc.), Dr. O'Reilly observed a common denominator in all of them: the preferential treatment that they give to the grain size of the aggregate particles and the lack of attention they give to shape of the particles themselves. This basis leads one to question the said methods of mix proportioning, especially with regards to aggregates containing a high proportion of unsuitably sized grain particles and where the shape of the material proves to be a decisive factor, making the standard model of the "ideal granulometric curve" no longer applicable.*

*In this respect, we should point out the concordance between Dr. O'Reilly's observations and those made several years ago by Sr. Carlos de la Peña during his intervention in one of INTEMAC's postgraduate courses, in which he showed his disagreement with concept of "maximum aggregate size" commonly employed in the aforementioned mix proportioning methods. This disagreement was founded on the unacceptable errors that arose in certain cases in the composition of aggregate mixes as a result of this concept.*

*These inconveniences are removed by the O'Reilly method which, in accordance with the real characteristics of the component materials, permits the manufacture of a "custom made" concrete which optimises consistency, strength and compaction.*

*As a result of this optimisation, the application of this method, according to the author, leads to a more than 10% saving in cement with regards to that required by other alternative methods. Furthermore, the method undoubtedly leads to a reduction in the percentage of voids in the concrete and, therefore, leads to a noticeable increase in the durability of the material.*

*The importance that is placed on this particular aspect of concrete today, and the technological advancements in mix proportioning criteria which may be offered by the O'Reilly method, have led us to publish his work in the Institute's series of monographical quarterlies.*

José Calavera Ruiz.

## PRÓLOGO

*El texto que sigue es un resumen práctico de un amplio trabajo realizado por el Prof. Vitervo O'Reilly en Cuba, donde es Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular e Investigador Titular y Presidente de la Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros de la Construcción de Cuba.*

*El Prof. O'Reilly ha realizado una importantísima labor técnica de investigación y de optimización en el campo del cemento y del hormigón.*

*Ante la necesidad de mejorar los costes de producción del hormigón fabricado en su país, en el ejercicio de sus funciones como asesor del gobierno de Cuba, el Dr. Ing. Vitervo O'Reilly ha desarrollado y puesto a punto un método de dosificación compendio de sus logros tras largos años de estudio, experimentación y minuciosa observación de las propiedades que presentaban distintos hormigones fabricados con materiales pétreos de varias características y procedencias.*

*Tras un análisis profundo de los diferentes métodos de dosificación de hormigones habitualmente utilizados (Bolomey, Fuller, Feret, A.C.I., etc.), el Dr. O'Reilly observa un denominador común en todos ellos: la atención preferencial que prestan a la composición granulométrica de las partículas de árido y la escasa consideración que merece la relativa a la forma de dichas partículas. Este planteamiento implica el cuestionamiento de los referidos métodos de dosificación, especialmente para producción de árido con elevada proporción de fracciones de geometría inadecuada, en los que resulta decisivo el factor de forma del material y no es de aplicación el modelo de referencia de la "curva granulométrica ideal".*

*Al respecto, debemos significar la sintonía de estas apreciaciones del Dr. O'Reilly con las formuladas hace algunos años por D. Carlos de la Peña durante su intervención en uno de los cursos de postgrado INTEMAC, en la que manifestaba su disconformidad con el concepto de "tamaño máximo de árido" que manejan algunos de los métodos de dosificación antes reseñados, por los errores inadmisibles de composición de mezcla de áridos a que, en determinadas circunstancias, puede conducir.*

*Estos inconvenientes son obviados por el método de O'Reilly que permite, en función de las características reales de los materiales componentes, fabricar un hormigón "a la medida" y optimizar sus propiedades de consistencia, resistencia y compacidad.*

*Como consecuencia de dicha optimización, la aplicación de este método indica, según su autor, un ahorro de cemento, con respecto al requerido por otros alternativos, superior al 10%. Complementariamente, resulta incuestionable que el método posibilita la reducción del porcentaje de huecos del hormigón resultante, lo que incide muy favorablemente en la durabilidad del material.*

*La importancia que en el momento actual se concede a la citada característica del hormigón, así como la mejora tecnológica que el método O'Reilly puede proporcionar a nuestros criterios de dosificación, nos ha impulsado a publicarlo en esta serie de cuadernos monográficos del Instituto*

José Calavera Ruiz

## 1. INTRODUCTION

In many countries the rules and regulations for mixing concrete recommend the Bolomey equation, as it is one of the few, if not the only equation, which considers the empirical coefficient K within its component factors. This coefficient characterising the quality of the aggregate selected in the concrete mix.

While the author's doctoral thesis went a long way to proving that this equation and the K values were not valid for many aggregates, the most important question is to obtain a new method of mixing concrete which requires the prior determination of aggregate characteristics, and once this has been established, to design a mix which also allows for the influence of plasticity of freshly poured concrete, this latter being a factor which has been ignored in most modern-day equations.

It should be pointed out that in the case of irregular or unsuitably graded aggregate it is incorrect to apply methods of optimum composition of aggregate mixes based on fractional ratios of the same, as recommended by ideal grading curves. This together with the aforementioned aspects greatly influences the final quality of the concrete and the amounts of cement employed.

The essence of the investigation was to demonstrate the influence of all of these factors in concrete quality and in cement proportions and to propose measures for reducing the latter in accordance with the results of the analysis.

The new calculation formulas of the compressive strength of concrete make it possible to calculate the necessary values involved in concrete mixes with greater precision and in accordance with every given condition. These formulas may be readily assimilated by technicians working in premixing plants, in prefabricated concrete and on site.

This paper presents a simple and very rational method of applying the results of the investigation. The final result of this application depends entirely on the rigour with which the tests have been carried out in order to obtain: a) the optimum combination of aggregates, b) the water content necessary for the required consistency and c) the characteristics of the aggregates employed in the concrete mix.

In order to simplify the determination of aggregate characteristics, we have included a PHYSICAL-MATHEMATICAL method which is given in the second part of this paper.

The aforementioned method is based on the very specific characteristics of the aggregate particles in question, such as the sphericity and roundness of each of the particles, thereby obtaining a formula which may be employed to calculate the required characteristic with great precision and without the influence of external factors. This guarantees the rapid evaluation of aggregate shape characteristics as opposed to the first method given which requires a minimum evaluation of 28 days.

The ever increasing tendency today is to use dry concretes, that is to say high consistency concretes which are compacted with vibrating rollers, as these provide a great saving in cement and improvements in the technical characteristics of the concrete, such as greater compactness, less porosity and greater durability.



## 1. INTRODUCCION.

Los reglamentos y proyectos de normas vigentes en muchos países para dosificar el hormigón, recomiendan el empleo de la ecuación de Bolomey, por ser una de las pocas, por no decir la única que tiene en cuenta entre sus factores componentes, el coeficiente empírico  $K$ , cuyo valor caracteriza la calidad del árido seleccionado para confeccionar la mezcla del hormigón.

La demostración de que esta ecuación y los valores dados por  $K$  no son válidos para muchos áridos, constituyó parte del contenido de mi tesis para la obtención del Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Pero lo más importante es haber obtenido un nuevo método para dosificar el hormigón, que requiere de la determinación previa de las características de los áridos y en función de ellas se diseña la mezcla, que además incluye la influencia de la plasticidad del hormigón en estado fresco de forma directa, la cual no se introduce en las ecuaciones de los autores contemporáneos.

Es muy importante señalar que para los áridos de forma irregular o con granulometría inadecuada no es correcto aplicar los métodos de la composición óptima de las mezclas de los áridos basados en las relaciones directivas de las fracciones de ellos, tal como lo recomiendan, por ejemplo, las curvas granulométricas ideales. Tanto este último aspecto, como los anteriormente expresados, tienen una gran influencia en las cualidades finales del hormigón y en su consumo de cemento.

El objetivo fundamental de la investigación fue demostrar la influencia del conjunto de estos factores en la calidad final del hormigón y su influencia cuantitativa en el consumo de cemento y según las condiciones dadas proponer medidas para su ahorro.

Las nuevas ecuaciones para el cálculo de la resistencia del hormigón a la compresión, posibilitan, en cada condición dada, determinar con mayor exactitud los valores necesarios para el cálculo de la composición de las mezclas de hormigón, mediante una forma asequible a los técnicos que trabajan en las plantas de premezclado, prefabricados de hormigón o en las obras.

En esta monografía se presenta un método fácil y muy racional para aplicar los resultados de la investigación realizada. El resultado final de esta aplicación depende sólo del rigor con que se realicen los ensayos para: a) obtener la combinación óptima de los áridos, b) la cantidad de agua necesaria para una consistencia exigida y c) la característica de forma de los áridos que se usen en la mezcla de hormigón.

En la búsqueda de cómo simplificar la determinación de la característica de forma de los áridos, logramos posteriormente un método FÍSICO-MATEMÁTICO que exponemos en este documento.

En dicho método se parte de las características muy específicas de las partículas de los áridos a estudiar, tales como la esfericidad estereométrica y la redondez de cada una de ellas, con las cuales llegamos a una expresión que permite calcular con exactitud la característica deseada, sin que otros factores ajenos a ellas puedan influenciarla. Esto garantiza poder determinar la característica de forma de los áridos en muy corto tiempo, a diferencia de nuestro primer método que requiere esperar como mínimo 28 días.

This last subject completes our studies of concrete mixes. While the paper describes a method of designing low consistency concrete mixes, or plastic concretes, and it considers high consistency concrete mixes or dry concretes, where the consistency is measured by consistency meter, and designed according to the compaction equipment and the characteristics of the aggregates employed.

These two sections form part of the author's doctoral thesis.

## **2. METHODS FOR PROPORTIONING LOW CONSISTENCY CONCRETE MIXES**

### **2.1. BACKGROUND**

In many countries concrete is made with an excessive amount of cement due to technological failings and this is reflected in both the cost and in some of the mechanical properties of the end product. This excessive use of cement is frequently caused by incorrect grading and the irregular shape of the coarse aggregate employed, containing high proportions of flat and elongated particles which may be considered to be extremely detrimental, this factor being reflected in general building regulations.

Only a few authors have dealt with this particular problem, and their findings have largely been contradictory, it thereby being impossible to reach univocal conclusions.

The influence of particle shape has frequently been ignored in the analysis of the optimum composition of aggregates, and much more attention has been given to the grading of the same.

Investigations carried out with aggregates from Cuba and different European and South American countries which have been insufficiently graded, or with 16 to 31% content of irregular particles, which characterises the aggregate shape, always showed the affect of both incidents on the percentage of voids in the desired mix, when maintaining the consistency and type of compaction. The influence of both factors was also reflected in the compressive strength and finally in the cement proportions when considering a specific strength.

These results have led to the creation of a new method of combining aggregates for concrete, which, in practical terms, will lead to significant savings in cement and an improvement of the concrete's properties.

A further difficulty presented in the design of concrete mixes is that the Bolomey equation is not valid for concretes with water-cement ratios of less than 0.40, as a result of the excessive cement paste which causes a decrease in the compressive strength of the same.

After detailed and precise analysis the Bolomey equation, which is the most commonly employed equation world-wide, was modified to include the predetermination of characteristic "A" of the aggregates as opposed to the empirical setting of the same, and to consider the consistency of the concrete mix directly, which, in the case of mixes with a low water-cement ratio may be clearly demonstrated, and which has not been considered in equations to date, or has only been considered in an indirect fashion.

This new method has been drawn up in such a fashion that it may be readily understood by technicians working in concrete production and therefore means that the results of the investigation may be easily put into practice.

Many analytical or practical methods are available today, to determine the composition of concrete mixes. The very fact that many authors have considered the problem, and have increasingly tried to express the basic ratios which determine the influence of the various components of concrete with regards to its physical-mechanical characteristics, shows us that no final solution has been found and that no ratios have been created which may serve as a generalisation for all the specific conditions of concreting practice. This is the reason why we established a method which would not predetermine the conditions, but instead would determine the characteristics of the aggregate available for each particular case, so that the required concrete mix could then be designed in accordance with the production technology, transport and placement of the concrete.

In this way, a series of methods based on many years experience and on a vast number of laboratory tests, still fail to provide precise information regarding local conditions (where the work is actually carried out) and do not enable one to establish a generalisation for the application of calculations.

A further handicap with the majority of equations employed today in the calculation of concrete strength, is that they do not consider the effect of the concrete's consistency, when this is, in all reality, of great importance.

La tendencia mundial de emplear hormigones secos o sea con alta consistencia que se compactan con rodillos vibratorios, es cada vez mayor, ya que representan en el orden económico, un gran ahorro de cemento y un mejoramiento de sus características técnicas, entre las más significativas están las de ser más compactos, menos porosos, más durables.

Esta tendencia nos condujo al completamiento de los estudios de las dosificaciones del hormigón, ya que en la primera parte del documento exponemos un método para el diseño de mezclas de hormigón de baja consistencia, o sea hormigones plásticos, y posteriormente, el diseño de mezclas de hormigón con alta consistencia o sea hormigones secos, cuya consistencia se mide en el consistómetro VeBe, diseñándose a partir de los equipos de vibración de que se dispongan para su compactación y en el que también se tienen en cuenta las características de los áridos a utilizar.

Estas dos últimas partes del documento constituyeron parte de la investigación realizada, con la que obtuve el Título de Doctor en Ciencias.

## **2. MÉTODO PARA DOSIFICAR MEZCLAS DE HORMIGÓN CON BAJA CONSISTENCIA**

### **2.1. ANTECEDENTES.**

Las condiciones tecnológicas de muchos países ocasionan, en la producción de los hormigones, un consumo excesivo de cemento, lo que se manifiesta no sólo en la economía de la producción, sino también en la afectación de algunas propiedades mecánicas de estos. Además de otros factores, este estado desfavorable lo origina una inadecuada granulometría y la forma irregular de los áridos gruesos los cuales contienen una gran cantidad de partículas planas y alargadas, y desde el punto de vista de los reglamentos tecnológicos generales podemos considerarlos como altamente negativos.

De esta problemática no se han ocupado muchos autores, y sus trabajos resultan contradictorios en gran medida, a la vez que no posibilitan formular conclusiones unívocas.

Desde el punto de vista de la composición óptima de los áridos no se le da toda la atención a la influencia de la forma de la partícula y se parte sólo de su composición granulométrica.

Las investigaciones realizadas con los áridos de Cuba, de diferentes países de América y Europa que tienen granulometría inadecuada, o con contenidos del 16 al 31% de partículas irregulares, lo que caracteriza la forma de los áridos, demostró en todos los casos la influencia de ambas irregularidades en el porcentaje de vacío de la mezcla que deseamos obtener, manteniendo la consistencia y la energía de compactación constante. También quedó demostrado la influencia de ambos factores en la resistencia a compresión y eventualmente en las dosis de cemento, si consideramos constante la resistencia.

Esta verificación posibilitó una nueva forma de combinar los áridos para la producción de los hormigones, lo que en la práctica representa un significativo ahorro de cemento y un mejoramiento de sus propiedades.

Otra dificultad presentada en el diseño de las mezclas de hormigón, es que, para los que utilizan en las producciones de hormigones, relación agua-cemento menores que 0.40 no es válida la ecuación de Bolomey, a consecuencia del exceso de pasta de cemento, lo que genera un descenso de la resistencia a compresión de éstos.

Mediante una gran cantidad de cuidadosas investigaciones se logró modificar la ecuación de Bolomey, la cual es la más difundida internacionalmente, ampliándola con la determinación previa de la característica "A" de los áridos y no prefijándolas empíricamente, así como la inclusión de la consistencia de la mezcla de hormigón de forma directa, la cual, en el caso de las mezclas de baja relación agua-cemento, se manifiesta significativamente y cuya influencia no es considerada en las ecuaciones hasta ahora utilizadas, o sólo de manera indirecta.

El nuevo método está elaborado de una forma asequible a los técnicos que trabajan en la producción y por lo mismo posibilita en la práctica el aprovechamiento de los resultados de ésta investigación.

En la actualidad existen en la literatura mundial muchos métodos analíticos, así como otros de carácter práctico, para determinar la composición de las mezclas de hormigón. El hecho de que un gran número de autores se haya ocupado de esta problemática, esforzándose por expresar cada vez más, mediante nuevas formas, las relaciones básicas que sirven para determinar la influencia que ejercen los distintos componentes del hormigón en sus propiedades físico-mecánicas, nos demuestra que no se ha logrado todavía, obtener la solución definitiva de dicha problemática y que tampoco se ha alcanzado crear tales relaciones para su posible generalización, al efecto de servir adecuadamente a la práctica técnica de todas las condiciones específicas. Razón por la cual creamos un método que no prefijara condiciones, sino que para cada caso específico se determinará la característica de los áridos disponibles, y de acuerdo con la tecnología de producción, transporte y colocación del hormigón que se posea, diseñar la mezcla del hormigón exigido.

If the characteristics of concrete components from different countries are analysed, the greatest difference, in terms of technological requirements, may be seen in the shape of the aggregate.

As many countries do not possess aggregates of suitable quality, we have chosen to study their influence on the physical-mechanical properties of the concrete mix and in hardened concrete.

Very few authors have studied this problem to date: and when considering the conclusions of these works there is no common agreement.

The opinions of FERET and KAPLAN, which place great importance on the shape of the rock particles (coarse aggregate), are opposed by authors such as WALKERS, GOLDBECK, GORDON, BEREZIN and GALAKTINOV who place little or no importance on the influence of the same.

This difference of opinion may be explained by secondary influences which are clearly not always eliminated when applying different criteria with regards to the suitability of the rock fragments and local conditions, which cannot be generalised, and also as a result of the particular approach to the problem when making conclusions.

In short, it is impossible to reach a sole conclusion from these opinions with regards to practical application. This situation led us to carry out further investigation which would enable us to discover the true influence of aggregate shape on the properties of fresh and hardened concrete and which would be of practical application anywhere in the world.

The basic objectives of the investigation were as follows:

- a) To obtain a maximum saving in cement under existing technological conditions and without requiring new techniques.
- b) To establish a method which would guarantee greater precision in the calculation of cement proportioning in practice.
- c) To obtain more compact concretes which would guarantee the protection of the reinforcing steel against aggression by water-borne particles and the circulating atmosphere.
- d) Not to establish generally applied principles, but to create a methodology by which necessary investigations could be made which consider the particular conditions of each site and the material resources available, in order to obtain the aforementioned objectives.

When applying this method in different countries, we have seen that it is valid for any location where as a result of the scarcity or lack of quality rock, it is necessary to use materials which do not comply with conventional regulations, and which also frequently involve low consistency concrete mixes.

## 2.2. RESEARCH AND INVESTIGATION

As opposed to previous studies, we did not consider using aggregates with different grain sizes which were suitable in terms of shape, which is undoubtedly the most exact method and which provides more generalised conclusion, but which cannot be applied in practice as it is impossible to make an exact classification of the aggregate. Therefore we employed natural materials with different characteristics so that the conclusions could be applied to concreting practice.

In order to verify the optimum proportions of sand and gravel we compared the results of Rothfuchs' classic models and the Finura module with the experimental method for determining minimum voids in gravel mixes. The experiment employed aggregates from different countries, where the proportion of elongated and flat particles of coarse aggregate varied from 16 to 31%.

The influence of unsuitably shaped coarse aggregate on the properties of the concrete mix and the hardened concrete is verified from three different aspects: the durability of the mix, influence on the compressive strength and influence on the surface treatment of the elements.

We also observed the influence of the water-cement ratio on the compressive strength of concrete, especially in the situation where due to excessive cement paste the strength was reduced, in contrast with that given in the Bolomey ratio.

The influence of the consistency of the concrete mix in the compressive strength at 28 days was also demonstrated, this being an element which had not previously been considered to be an independent factor.

Asimismo, una serie de métodos, apoyados en experiencias obtenidas por muchos años y en una cantidad considerable de ensayos de laboratorio, carecen, no obstante, de los datos precisos sobre las condiciones locales (bajo los cuales se desarrollaron los trabajos), y no permite establecer una generalización de la aplicación de sus cálculos.

Otro inconveniente de la mayoría de las ecuaciones para el cálculo de la resistencia del hormigón empleadas actualmente, consiste en que no tienen en cuenta la influencia de la consistencia de la mezcla de hormigón, cuando ésta es de gran importancia.

Si se analizan las características de los materiales de diversos países, utilizados para la producción del hormigón, la mayor diferencia de los requerimientos tecnológicos lo manifiesta el árido en cuanto a lo desfavorable de su forma.

Como en muchos países no existen áridos de calidad conveniente, procedimos al estudio de su influencia en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas de hormigón y de los hormigones endurecidos.

Hasta el presente, no muchos autores se han dedicado al estudio de esta problemática: al considerar las conclusiones de estos trabajos, no hay una conciencia común.

A las opiniones FERET y KAPLAN, que atribuyen a la forma de la grava (árido grueso) una singular importancia, se oponen los criterios de WALKERS, GOLDBECK, GORDON, BEREZIN y GALAKTINOV, los cuales no le confieren ninguna influencia o sólo en una medida insignificante.

La disparidad de opiniones de los distintos autores, es posible explicarla por las influencias secundarias que evidentemente no siempre se logra eliminar por diferentes criterios respecto a la conveniencia o inconveniencia de las gravas, las condiciones locales, las cuales no se pueden generalizar o aplicar, y también por el enfoque peculiar hacia la problemática al formular las conclusiones.

En resumen, se puede constatar que de las opiniones señaladas no es posible deducir una conclusión única, con efectiva aplicación práctica. Esto nos indujo a la realización de nuevas investigaciones que nos permitieran conocer la verdadera influencia de la forma de los áridos en las propiedades del hormigón en estado fresco y en estado endurecido y que tuviesen efectiva aplicación práctica en cualquier país.

Los objetivos fundamentales de la investigación estuvieron encaminados en la siguiente dirección:

- a) Lograr el máximo ahorro de cemento con las condiciones tecnológicas que se posean sin requerir nuevas inversiones en tecnologías.
- b) Elaborar un método capaz de garantizar en la práctica una mayor precisión del cálculo de las dosis de cemento.
- c) Obtener hormigones más compactos que garanticen la protección del acero de refuerzo ante la agresión del aerosol marino y la atmósfera agresiva circundante.
- d) No elaborar principios de aplicación general, sino crear una metodología para realizar las investigaciones necesarias que tengan en cuenta las condiciones propias de cada lugar y los recursos materiales de que se disponen, para lograr los objetivos antes señalados.

En el proceso de aplicación de este método en distintos países, hemos comprobado que éste es válido, para cualquier lugar que por escasez o carencia de grava de calidad, están obligados a recurrir al empleo de materiales con requisitos tecnológicos que no cumplen especificaciones convencionales, y además emplean con frecuencia mezclas de hormigón de baja consistencia.

## 2.2. ESTUDIOS E INVESTIGACIONES

A diferencia de estudios anteriores, no consideramos oportuno utilizar áridos con distintas proporciones de granos adecuados desde el punto de vista de su forma, lo que sin duda es el método exacto, que facilita extraer conclusiones más generalizadas, pero sin posibilidades de aplicación práctica, porque es imposible hacer una clasificación exacta del árido. Por esto, trabajamos con materiales naturales con distintas características, de manera que las conclusiones pudieran tener aplicación práctica concreta.

Para verificar las proporciones óptimas de arena y grava, comparamos los resultados de los métodos clásicos de Rothfuchs y el módulo de Finura con el método de la determinación experimental de vacíos mínimos, en mezclas de grava. La comprobación se llevó a cabo con los áridos de distintos países, donde la proporción de granos alargados y planos en grava gruesa, fluctúa entre 16 y 31%.

La influencia del árido grueso inadecuado por su forma en las propiedades de las mezclas de hormigón y del hormigón endurecido, se comprobó desde 3 aspectos: la durabilidad de la mezcla, influencia en la resistencia a la compresión e influencia en el tratamiento superficial de los elementos.

In spite of the theoretical basis of all the proof and verification tests and the subsequent results of the same, we always strived to obtain immediate practical use of the results. Therefore, it was necessary to select the experimental methods in a very specific manner, so that the measurement of the workability of the mixes, concrete strength, etc. corresponded with the most widely acknowledged international standards. As such, the Abrams Cone Settlement Method was used when measuring the workability instead of the much improved method of the consistency meter, and the compressive strength was determined in 30 cm high and 15cm diameter cylinders instead of cubes.

Other procedures would only complicate and delay the practical advantages of the new advances.

### 2.3. ADVANCES PROVIDED BY THE INVESTIGATION

After many tests and measurements made in laboratories and in premixing plants in various countries we managed to verify, first of all, that in mixtures of gravel containing a large proportion of unsuitably sized grain particles (16 to 31% of the weight) it was impossible to determine the optimum proportion of sand and gravel when employing conventional and recommended methods commonly used today.

The tests also showed that gravel containing a large proportion of unsuitably sized grain particles requires a substantially large amount of sand in order to fill the empty spaces, when considering conventional methods. A further verification showed that a number of materials - whose grain size always gave, according to conventional methods, more favourable proportions between fine and coarse aggregates e.g. 34:66- gave less favourable results in the tests, which could be evaluated in accordance with the proportion of unsuitably sized grain particles when reaching the optimum proportions of 45:55 and 50:50.

In order to determine the optimum proportion between sand and coarse aggregate of irregular shape, these tests have shown that shape is a decisive factor and, therefore, it is incorrect to use the method of direct proportions of different fractions of the gravel (the so-called ideal grain size curve) which is used in most countries together with the constant consistency of concrete mixes (settlement of 7 to 8 cm) and constant solidification which reveals the influence of the greater proportion of unsuitably sized grain particles; that is to say, indirectly in the workability of the concrete mix, indicated by the quantity of water necessary to obtain the required consistency and ranging from 214 to 240 L/m<sup>3</sup>, and directly in the compressive strength of the concrete.

The elevation of the proportion of unsuitably sized grain particles from 16 to 31% requires an increase in water quantity of 26 L/m<sup>3</sup>, which implies an increase in the water-cement ratio from 0.39 to 0.44 and the ensuing decrease in compressive strength at 28 days from 40.9 to 34.7 MPa.

This verification has led to a new classification of coarse aggregate, previously seen to be the same regardless of size, and as such leads to a significant saving in cement.

From the mathematical definition of the Bolomey equation, which indicates the influence of coarse aggregate quality on concrete strength, it is seen that the value of the said ratio is practically the same for all types of coarse aggregate with different properties, that is to say, from 0.49 to 0.51, with 0.50 being the most frequent ratio.

In this way it is possible to verify that for a water-cement ratio of less than 0.40, the Bolomey equation is not exactly correct. Here the influence of the consistency of the concrete mix is most important as is the necessary quantity of cement paste required to obtain a constant value of the same.

These influences, which were not taken into consideration in the equations of classical authors such as Bolomey and others in the design of the mix composition and in the calculation of concrete strength, are considered in this new design of concrete mixes, based on the use of unsuitably sized grain particles which should be considered under all conditions anywhere in the world. The new design of the composition of concrete mixes is based on a modified Bolomey equation:

$$R_h = R_c \cdot A \cdot R' \quad (1.1)$$

- $R_h$  : Compressive strength at 28 days (MPa)
- $R_c$  : Cement strength at 28 days (MPa)
- $A$  : Ratio of coarse aggregate quality
- $R'$  : Influence of water-cement ratio and workability of concrete mix

The  $R_c$  values were determined from the standards; the  $A$  value was presumed to be outside 0.50 in accordance with previous results.

The value of  $R'$  were calculated from the average strength of 20 types of concrete mixes using different compositions, with a water-cement ratio  $w^{-1}$  of 1.5; 2.0; 2.5 and 3.0 and the workability given in settlement of the Abrams Cone,  $A_s$  of 2, 6, 10 and 14 cm.

It was seen that with different types of workability in the concrete mixes containing coarse aggregate with a degree of unsuitably sized grain particles, the value  $R'$  for compressive strength at 28 days varied in accordance with the water-cement ratio according to the equation:

Observamos, asimismo, la influencia del coeficiente de cemento ( $c/a$ ) en la resistencia del hormigón a la compresión, sobre todo en el entorno, donde, a causa del exceso de la pasta de cemento, disminuye la resistencia, en contraposición con lo expresado en la relación de Bolomey.

También quedó demostrada la influencia de la consistencia de la mezcla del hormigón en la resistencia a la compresión de éste, a los 28 días, la cual no se había definido hasta ahora como factor independiente.

A pesar de la base teórica de todas las pruebas comprobatorias y de verificación, y de las dependencias de ellas deducidas, siempre se persiguió la posibilidad de la inmediata utilización práctica de los resultados. Por ello fue necesario seleccionar los métodos experimentales de forma tal que, por ejemplo las mediciones de la laborabilidad de las mezclas, la resistencia del hormigón, etc., se correspondieran con las Normas más difundidas internacionalmente. Por esta causa, para la medición de la laborabilidad se utilizó el método de asentamiento por el Cono de Abrams, en lugar del mejor método, que es por el consistómetro VeBe, y se determinó la resistencia a la compresión en los cilindros de 15 cm de diámetro con 30 cm de altura, en lugar de cubos.

Otros procedimientos solamente complicarían y aplazarían el aprovechamiento práctico de los nuevos conocimientos.

### 2.3. NUEVOS CONOCIMIENTOS APORTADOS POR LA INVESTIGACIÓN

Por medio de un gran número de pruebas y mediciones realizadas en los laboratorios y en plantas de premezclado de varios países logramos comprobar, en primer lugar, que las mezclas de grava con una proporción considerable de granos inadecuados (16 hasta 31% de peso), no puede determinarse la proporción óptima de arena y grava basándonos en los métodos convencionales recomendados y empleados habitualmente.

Las pruebas demostraron también que la grava que tiene una proporción mayor de granos inadecuados por su forma, requiere, al compararlo con los métodos convencionales, una cantidad sustancialmente mayor de arena, a los efectos de llenar los espacios huecos mínimos. Otra comprobación fue la de que una serie de materiales -que por su granulometría facilitaron, según los métodos convencionales, las proporciones siempre más favorables entre los áridos fino y grueso, por ejemplo 34:66-, arrojaron en los ensayos experimentales los resultados menos favorables, lo que se pudo comprobar en dependencia de la proporción de granos inconvenientes, cuando se alcanzó la óptima con las proporciones de 45:55 y 50:50.

De estos ensayos se infiere que para determinar la proporción óptima entre la arena y el árido grueso de formas inadecuadas, resulta decisivo el factor de la forma por lo que no es correcto emplear el método de proporciones directivas de las diferentes fracciones de la grava (la llamada curva ideal granulométrica) que se utiliza en la mayoría de los países con la consistencia constante de la mezcla de hormigón (asentamiento de 7 hasta 8 cm) y en la solidificación constante se manifestó la influencia de la mayor proporción de granos de formas inadecuadas; es decir, indirectamente en la laborabilidad de la mezcla de hormigón, donde sirvió de indicador la cantidad de agua necesaria para obtener la consistencia requerida de 214 hasta 240 L/m<sup>3</sup> y directamente en la resistencia del hormigón a la compresión.

La elevación de la proporción de granos de formas inadecuadas de 16 a 31% requirió aumentar la cantidad de agua en 26 L/m<sup>3</sup>, hecho que en la dosis constante de cemento significó el aumento del coeficiente de agua ( $a/c$ ) de 0,39 a 0,44 y el descenso de la resistencia a la compresión a los 28 días, de 40,9 a 34,7 MPa.

Esta comprobación facilitó hacer una nueva clasificación de las gravas, que desde el punto de vista de la composición granulométrica habían sido consideradas equivalentes, creando así las premisas para un significativo ahorro de cemento.

Por la definición matemática del coeficiente de Bolomey, que expresa la influencia de la calidad de la grava en la resistencia del hormigón, se comprobó que el valor del referido coeficiente resultó prácticamente igual para todos los tipos de grava con diferentes propiedades, es decir, de 0,49 hasta 0,51, siendo el más frecuente 0,50.

De esta forma se logró comprobar que para el coeficiente de agua ( $a/c$ ) inferior a 0,40, la ecuación de Bolomey ya no es totalmente exacta. En este entorno se destacó de modo significativo, la influencia de la consistencia de la mezcla del hormigón y para un valor constante de ella, la cantidad de pasta de cemento necesaria para lograr dicha consistencia.

Estas influencias, que autores clásicos como Bolomey y otros no tomaron en consideración en sus ecuaciones para el diseño de la composición de la mezcla y para el cálculo de la resistencia del hormigón, se contempla en el nuevo diseño de la composición de mezclas de hormigón, que se basa en el uso de grava inadecuadas por su forma, lo cual es necesario tomar en cuenta en las condiciones de cualquier país. El nuevo diseño de la composición para las mezclas de hormigón, parte de la ecuación modificada de Bolomey:

$$R_h = R_c \cdot A \cdot R' \quad (1.1)$$

$R_h$  : Resistencia a la compresión a los 28 días (MPa)

$R_c$  : Resistencia del cemento a los 28 días (MPa)

$$R' = R'_{1,0} + \log w^{-1} \quad (1.2)$$

- $R'$  : Element of equation 1.1 expressing the influence of the water-cement ratio and mix consistency in concrete strength.  
 $R'_{1,0}$  : Value of element  $R'$  for water-cement ratio  $w_1$  of 1.0  
 $K$  : Directrix of the straight lines in the semilogarithmic system bisecting values  $R'$  of the different water-cement ratios, a value, which increases in accordance with the stiffness of the concrete mix, and indicates the influence of consistency in  $R'$ .

In accordance with the workability (consistency)  $A_s$ , given by the cone settlement,  $K$  changes in the following manner:

$$K = K_0 + q \cdot A_s \quad (1.3)$$

- $K$  : Influence of consistency in  $R'$  and  $R_h$   
 $K_0$  : Value of  $K$  for  $A_s$  of 0 cm  
 $q$  : Directrix of the change of line  $K$  in accordance with  $A_s$

and by the calculation:

$$R'_{1,0} = \ln R'_{1,0(0)} + 1 \cdot A_s \quad (1.4)$$

- $R'_{1,0(0)}$  :  $R'_{1,0}$  for  $A_s$  consistency of zero cm  
 $l$  : Directrix of the change of line  $R'_{1,0}$  in the semilogarithmic system

The calculation of the ratio gives

$$K = 4.6259 - 0.0604 \cdot A_s \quad (1.5)$$

$$R'_{1,0} = e^{-13125 + 0.0283 \cdot A_s} \quad (1.6)$$

The new basic ratio (1.1) for the calculation of concrete strength, after substituting 1.5 and 1.6 in 1.2 and then in 1.1 and when simplified for practical use, may be expressed as follows:

$$R_h = R_c \cdot A (M_1 \log w^{-1} \cdot M_2) \quad (1.7)$$

where the values of  $M_1$  and  $M_2$ , which depend on the consistency of the concrete mix  $A_s$ , were calculated for practical purposes for the different values of  $A_s$ , and which appear in Table 1; the values of  $\log w^{-1}$  for different  $w$  being indicated in Table 2.

This new mathematical formula gives much greater precision in the calculation of concrete strength employing known components and when designing new compositions of concrete mixes of a specific strength, and which, as opposed to traditionally employed methods, enable us to take into consideration the influence of the workability (consistency), and thus the quantity of cement paste.

The new procedure, according to all verifying and applied calculations, appears to be more reliable than traditional formulas and the results obtained coincide with those found in practice.

The method may be used in any location where it is necessary to employ aggregates with an excessive proportion of aggregate which is unsuitable in size or shape regardless of the specific conditions of each country. It also ensures the exact determination of the shape characteristics of the aggregate available and the best use of the same, as well as considering the consistency to be an independent factor due to its influence on the compressive strength of the concrete.

#### 2.4. CONCLUSIONS FOR THE PRACTICE AND SUBSEQUENT DEVELOPMENT OF THE SCIENCE

The philosophy behind the investigations takes into consideration the urgent need of economic development in countries where an increasing number of buildings are required. In order to meet this challenge, the construction industry has no alternative but to use the aggregates available and to try to save on cement as much as possible. These factors are valid for any country.

The results show that even in the best of cases, a prior critical analysis should be carried out in order to avoid negative results when considering the design of concrete mixes.

The application of the internationally renowned Bolomey formula, should not be taken for granted, within the specific conditions of each country, without previous analysis and evaluation of:



- A : Coeficiente que expresa la influencia de la calidad de la grava  
 R' : Coeficiente que expresa la influencia de la relación agua/cemento y de la laborabilidad de la mezcla de hormigón.

Los valores  $R_c$  fueron determinados sobre la base de las normas; el valor de A se previó fuera de 0,50, acorde con los resultados anteriores.

El valor del coeficiente R' se determinó matemáticamente del promedio de los resultados de la resistencia de 20 tipos de mezcla de hormigón de diferentes composiciones, con relación cemento/agua  $w^{-1}$  igual a 1,5; 2,0; 2,5 y 3,0 y con las laborabilidades expresadas por el asentamiento en el Cono de Abrams,  $A_s$ , igual a 2, 6, 10 y 14 cm.

Se comprobó que con los diferentes tipos de laborabilidad de las mezclas de hormigón, que cuentan con una cantidad de grava de forma inadecuada, se altera el valor R' para la resistencia a la compresión después de los 28 días en dependencia de la relación cemento/agua según la ecuación:

$$R' = R'_{1,0} + \log w^{-1} \quad (1.2)$$

- R' : Miembro de la ecuación 1.1 que expresa la influencia de la relación cemento/agua y de la consistencia de la mezcla, en la resistencia del hormigón.  
 $R'_{1,0}$  : Valor del miembro R' para la relación cemento/agua  $w^{-1}$  igual a 1,0.  
 K : Directriz de las líneas rectas en el sistema semilogarítmico que cortan los valores R' de distintos coeficientes de cemento (c/a) su valor, que crece con la rigidez de la mezcla de hormigón, expresa la influencia de la consistencia en R'.

Además se deriva que en dependencia de la laborabilidad (consistencia)  $A_s$ , dada por el asentamiento del cono, cambia K de la manera siguiente:

$$K = K_0 + q \cdot A_s \quad (1.3)$$

- K : Influencia de la consistencia en R' y  $R_h$   
 $K_0$  : Valor de K para  $A_s$  igual a cero cm  
 q : Directriz de la recta del cambio de K en dependencia de  $A_s$

Y también el valor:

$$R'_{1,0} = \ln R'_{1,0(0)} + l \cdot A_s \quad (1.4)$$

- $R'_{1,0(0)}$  : Valor  $R'_{1,0}$  para la consistencia  $A_s$  igual a cero cm  
 l : Directriz de la recta del cambio  $R'_{1,0}$  en el sistema semilogarítmico

Puesto que se logró derivar que la relación vale:

$$K = 4.6259 - 0.0604 \cdot A_s \quad (1.5)$$

$$R'_{1,0} = e^{-13125 + 0.0283 \cdot A_s} \quad (1.6)$$

La nueva relación básica (1.1) para el cálculo de la resistencia del hormigón, después de sustituir 1.5 y 1.6 en 1.2 y posteriormente también en 1.1 y simplificada para el empleo práctico, se expresa de la manera siguiente:

$$R_h = R_c \cdot A (M_1 \log w^{-1} \cdot M_2) \quad (1.7)$$

donde los valores de  $M_1$  y  $M_2$ , dependientes de la consistencia de la mezcla del hormigón  $A_s$ , fueron calculados con fines prácticos para los distintos valores de  $A_s$ , los cuales se relacionan en la tabla 1; los valores del  $\log w^{-1}$  para diferentes  $w$  se muestran en la tabla 2.

El nuevo procedimiento matemático permitió precisar notablemente la determinación de las resistencias de hormigones de composiciones conocidas y diseñar nuevas composiciones de mezclas de hormigón para las resistencias solicitadas, de tal manera, que a diferencia de las formas de empleo tradicionales, tomamos en consideración la influencia de la laborabilidad (consistencia), es decir, indirectamente la cantidad de pasta de cemento.

El nuevo procedimiento, según los cálculos de verificación y su aplicación, resultan mucho más confiable que las fórmulas tradicionales y sus resultados coinciden con los alcanzados en la práctica.

Independientemente de las condiciones específicas de cada país el método es posible utilizarlo en todos los lugares donde las condiciones obligan a utilizar áridos, con una proporción excesiva de granos inadecuados por su forma, o no tienen una granulometría adecuada. Además asegura, en cualquier caso, la determinación exacta de la característica de forma de los áridos disponibles y su mejor aprovechamiento, así como el empleo de la consistencia como factor independiente, por su influencia en la resistencia a la compresión del hormigón.

## 2.4. CONCLUSIONES PARA LA PRÁCTICA Y EL DESARROLLO ULTERIOR DE LA CIENCIA

La temática de las investigaciones realizadas tuvo su origen en las necesidades urgentes del desarrollo económico de los países, que exige un creciente volumen de construcciones. Para lograrlo, la industria de la construcción no

- The real requirements and possibilities of each country
- The scientific-technical control of the problem in question

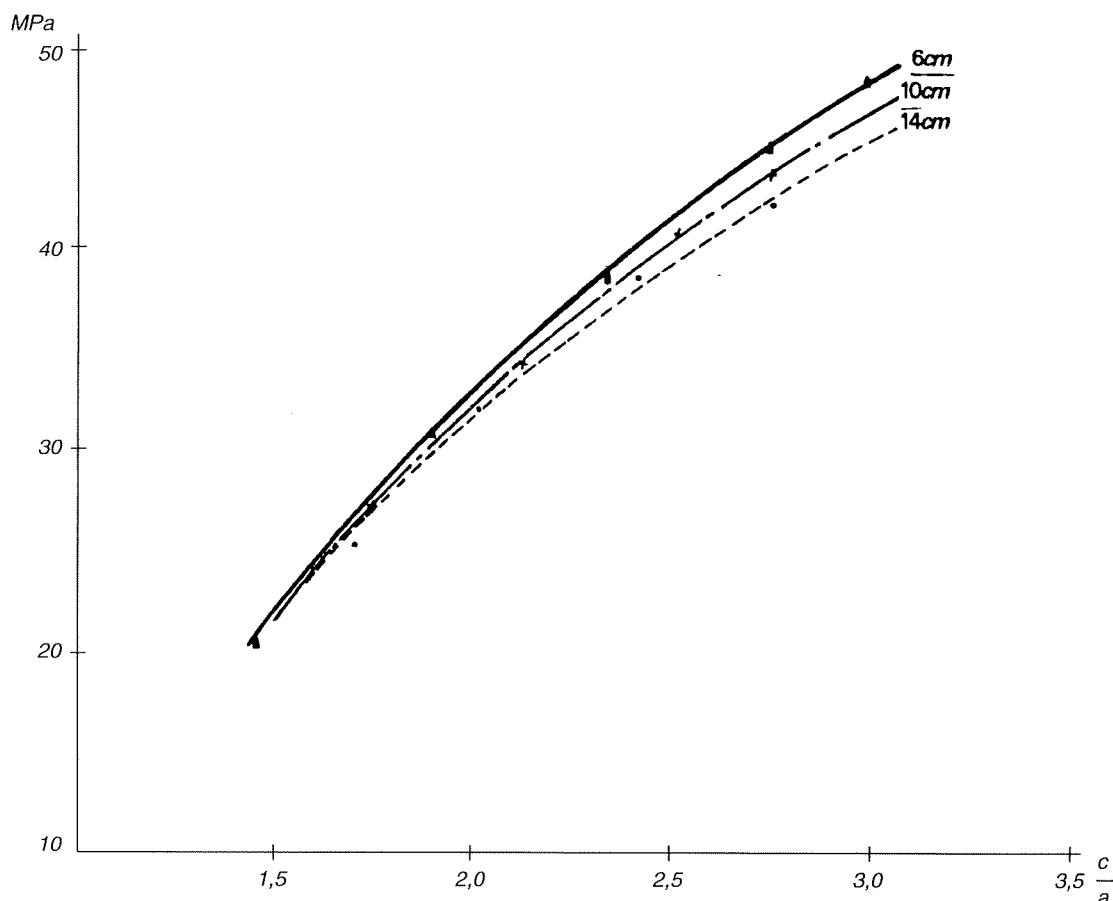
As such we test the aggregate and cement materials available to our construction industries, without demanding that these be subject to exacting pre-treatment. From the very outset, we consciously exclude the possibility of obtaining perfect results.

As such solutions were sought which could be easily assimilated by technicians working in prefabricated concrete plants as well as on the building site.

From these theoretical and practical aspects, we have obtained a procedure of some importance for the economy of any country.

The saving in cement obtained may be 15% or more when compared with other methods, without taking into account the savings in energy which would be made as a result of reduced cement manufacture.

This significant economic saving has been obtained because no other country has paid particular attention to the exploitation of aggregates with unsuitably sized or shaped particles in the production of concretes; furthermore, the majority of international regulations make high demands on the types of coarse aggregate which may be used in some areas, without generating excessive transport costs etc. As such the calculations which arise from the idealised properties of coarse aggregate are not applicable without being previously readjusted. All these circumstances lead to concrete mixes made on unscientific grounds, and arise from the classical ratios given by Bolomey and other authors.



**Fig. 1** Influence of concrete consistency on its compressive strength  
**Fig. 1** Influencia de la consistencia del hormigón en su resistencia a la compresión

In reality concrete mix components have been proportioned in accordance with experience, by estimation and always using greater quantities of cement than necessary. The majority of construction workers do not realise that an excessive proportion of cement does not improve the concrete, but instead, reduces the physical-mechanical properties of the same, leading to shrinkage, subsequent deformation of the structures, porosity, etc.

tienen otra alternativa que utilizar los áridos disponibles y tratar de ahorrar al máximo el cemento, lo cual es válido para cualquier país.

Los resultados confirman el hecho de que ni las mejores experiencias, cualquiera que sea su procedencia, deben llevarse a su aplicación sin un previo enfoque crítico, que evite el peligro de alcanzar resultados negativos, lo cual es extensivo a los métodos de diseño de las mezclas de hormigones.

La aplicación de los resultados mundialmente reconocidos de Bolomey, a las condiciones específicas de los países donde se utilizan, no puede concretarse sin un análisis profundo y una valoración de:

- Las necesidades y posibilidades reales de cada país.
- El dominio científico-técnico de la problemática estudiada.

Por esta causa, ensayamos materiales, es decir, áridos y cemento, con los cuales cuenta la industria de la construcción, sin que tuvieran que ser sometidos a un exigente tratamiento previo. De antemano excluimos conscientemente las tendencias de alcanzar resultados ideales.

Asimismo se buscaron soluciones que fueran fácilmente asimilables, incluso para los técnicos medios que laboran tanto en las fábricas de elementos prefabricados, como en las propias obras de construcción.

A partir de los aspectos teóricos y prácticos, se ha logrado un procedimiento de significación para la economía de cualquier país.

El ahorro de cemento que se alcanza es de 15% y en algunos casos es mayor, en relación con los consumos exigidos por los otros métodos, sin incluir el ahorro, que traería aparejado la disminución del consumo energético en la fabricación del cemento.

Este significativo efecto económico ha sido posible alcanzarlo por la razón de que, en ningún país, se había prestado una atención especial al aprovechamiento de los áridos con granos y granulometría de forma inadecuada para los fines de la producción de hormigones; además, la mayoría de las normas en todos los países contempla altas exigencias con respecto a la grava que no se puede utilizar en algunas zonas, sin generar excesivos costos de transportación, etc. De esta forma, no son aplicables, sin previo reajuste, las ecuaciones de cálculo que surgieron de las propiedades idealizadas de la grava. Todas estas circunstancias convergían en nuestros países hacia la elaboración de la composición de mezclas de hormigón sobre bases no científicas, que han tenido su origen en las relaciones clásicas actuales de Bolomey u otros autores.

En realidad, los componentes de las mezclas de hormigón se han dosificado de acuerdo con las experiencias, por estimación y utilizando siempre cantidades más elevadas de cemento. La mayoría de los técnicos de la construcción no se percatan de que las dosis excesivas de cemento no conducen a la mejoría del hormigón, sino al empeoramiento de las propiedades físico-mecánicas de éste, lo que ocasiona retracciones, deformaciones posteriores en las estructuras, porosidad, etc.

Esta situación es más grave, donde se utilizan en gran medida, las construcciones y elementos pretensados, fabricados con mezclas de hormigón con un coeficiente de  $(a/c)$  inferior a 0,40, es decir el valor en el cual, al utilizar grava con granos de formas inadecuadas en cantidades que oscilan entre 16 y 31%, ya no es válida, según se comprobó por la relación de Bolomey y el exceso de las dosis de cemento no ocasiona el aumento, sino el descenso de la resistencia a la compresión del hormigón.

Además de los beneficios de orden económico y social, el nuevo método representa un aporte al ulterior desarrollo de la rama científica en este campo, porque:

- a) Se comprobó que al utilizar grava de granos inadecuados, desde el punto de vista de la forma, en cantidad de 16 a 31% del peso total del lote (conservando constantes la laborabilidad de las mezclas, la energía de compactación y las dosis de cemento), la influencia decisiva en la resistencia no la tiene la granulometría, sino las características de las formas de los granos de la grava.
- b) En las condiciones señaladas en el punto a), con el requisito de la resistencia constante del hormigón, la característica de la forma del grano de la grava ejerce, sin embargo, una influencia mucho mayor en el consumo de cemento, que su granulometría.
- c) Al utilizar áridos gruesos con una cantidad excesiva de granos con formas inadecuadas (tipo escama o aguja), o no es posible emplear los métodos clásicos granulométricos para la determinación de la proporción óptima entre la grava y la arena, porque éstas arrojan, en la mayoría de los casos resultados completamente diferentes a los experimentales.
- d) A partir de lo señalado en los puntos a) y c), procedimos a la ejecución de una clasificación nueva de las gravas destinadas a la fabricación del hormigón, sobre la base de los criterios de obtener la mínima cantidad de vacío en la mezcla de ellas, después de la solidificación con una laborabilidad de la mezcla de 7 hasta 8 cm de asentamiento en el Cono de Abrams, para lograr la máxima resistencia y el mínimo consumo de cemento.
- e) No es difícil comprobar que la relación de Bolomey para el cálculo de la resistencia a la compresión del hormigón y para el diseño de su composición, que generalmente se recomienda, no resulta económica

This situation is even more serious where constructions and prestressed elements are manufactured with concrete mixes with water-cement ratios of less than 0.40, that is to say the value which, when using coarse aggregate containing 16 to 31% of unsuitably shaped particles is no longer valid when checked against the Bolomey ratio and where greater cement proportions do not increase the compressive strength of the concrete but, in fact, lead to a decrease in the same.

In addition to economic and social benefits, the new method may be seen as an eventual contribution to the development of the scientific aspects of this field, as

- a) It is seen that when using coarse aggregate containing quantities of unsuitably shaped particles which make up 16 to 31% of the total batch weight (with constant workability of the mix, compaction energy and cement proportions), the decisive influence on the strength is not caused by the grain size but by the shape of the same.
- b) Under the conditions indicated in point a), where constant concrete strength is required, the shape characteristics of the particle have a much greater influence in the consumption of cement than factors of size.
- c) When using coarse aggregate with an excessive quantity of unsuitably shaped grain particles (flakes or needles) or when it is not possible to use conventional grading methods to determine the optimum proportion between coarse aggregate and sand, as they usually give widely differing results from those obtained through experiment.
- d) From that indicated in points a) and c) we will proceed to make a new classification of coarse aggregate used in concrete, based on the criteria of obtaining a minimum number of voids in the mixes after solidification, with mix workability of 7 to 8 cm of settlement in the Abrams Cone, in order to obtain maximum strength and minimum quantities of cement.
- e) It is not difficult to show that the generally recommended Bolomey ratio for the calculation of the compressive strength of concrete and for its component design, is uneconomical and unsuitable for water-cement ratios of less than 0.40, particularly as it does not express the influence of the excess cement paste, in the case of low consistency or watery mixes, whether this be due to gravel with an unsuitable grain size or to an inefficient compaction process.
- f) After testing 20 concrete mixes with different consistencies, employing 4 constant cement ratios, new regulations were discovered with regards to the concrete strength in accordance with the workability of the mixes.
- g) On the basis of the experimental findings described in point f), a new equation has been formulated for the calculation of concrete strength and composition make-up, which considers the influence of consistency (excess of cement paste) on concrete strength.

The new ratios are elaborated in such a way as to be easily accessible to both engineers and technicians alike, regardless of whether these latter work in concrete plants or on site. As such it has been possible to apply and verify the results in production practice.

The results of these findings have mainly been applied in Cuba, where they have been seen to provide considerable economic savings. The application of this method would also be beneficial in those countries with similar technical and material regulations.

## **2.5. METHOD FOR CONCRETE MIX DESIGN BASED ON PRECISE EVALUATION OF AGGREGATE CHARACTERISTICS**

In order to determine the optimum composition of a concrete it is necessary to carry out laboratory tests, with the following objectives:

- a) Determine the optimum ratio between sand and coarse aggregates
- b) Determine the amount of water necessary to obtain the required consistency of the concrete mix
- c) Determine the characteristic "A" of the coarse aggregate
- d) Determine the quantity of cement

### **2.5.1. Determination of the optimum ratio of coarse and fine aggregate**

We have verified that the shape of the coarse aggregates is decisive and more influential than the grading of the same, and therefore it is not possible to determine the optimum ratio of coarse and fine aggregate by methods based on ideal particle size.

The most precise method is that of experiment, based on the determination of the percentage of voids in the coarse and fine aggregate mix. The minimum percentage of voids and specific surface of the aggregate mix, indicates the optimum composition requiring a minimum quantity of cement.

In order to determine the minimum percentage of voids and specific surface, it is necessary to test the aggregate mixes with the following sand and coarse aggregate weight proportions:

35:65; 40:60; 45:55; 50:50; 55:45

ni aplicable para las mezclas con el coeficiente de agua (a/c) inferior a 0,40, particularmente por la razón de que no expresa la influencia del exceso de la pasta de cemento, en caso de mezclas poco consistentes o líquidas, ya sea por el empleo de gravillas con granos inadecuados, o por utilizar un proceso de compactación poco eficiente.

- f) Con la ejecución de ensayos de 20 mezclas de hormigón de diferentes consistencias, con 4 valores constantes del coeficiente de cemento, se hallaron nuevas regulaciones con respecto a la resistencia del hormigón, en dependencia de la laborabilidad de las mezclas.
- g) Sobre la base de las regulaciones experimentales comprobadas según el punto f), se propuso una nueva ecuación para los cálculos de las resistencias del hormigón y el diseño de su composición, tomando en consideración la influencia de la consistencia (exceso de la pasta de cemento) en la resistencia.

Las nuevas relaciones están elaboradas de forma tal, que resultan comprensibles no solamente a los ingenieros, sino también a los técnicos de nivel medio que trabajan tanto en las plantas productoras de hormigón, como en las obras de construcción. De esta manera, ha sido posible aplicar y aprovechar los resultados en la práctica de la producción.

Los resultados de estos trabajos se han aplicado primeramente en Cuba, donde están generando un efecto económico considerable. Además, el nuevo método ha sido beneficioso al aplicarse en los países donde las regulaciones técnicas y materiales son análogas.

## 2.5. MÉTODO PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN BASADO EN LA DETERMINACIÓN CORRECTA DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS ÁRIDOS

Para determinar la composición óptima de un hormigón hay que realizar ensayos de laboratorio, cuyos procedimientos son los siguientes:

- a) Determinar por el método experimental la relación óptima de la mezcla de arena y áridos gruesos.
- b) Determinar la cantidad de agua necesaria para obtener la consistencia requerida de la mezcla de hormigón.
- c) determinar la característica A de la grava.
- d) Determinar la cantidad de cemento.

### 2.5.1. Determinación de la relación óptima de los áridos gruesos y finos

Hemos comprobado que el factor de la forma de los áridos gruesos es decisivo y más fuerte que el factor de la granulometría, por lo que no es posible determinar la relación óptima de los áridos gruesos y finos por los métodos basados en la granulometría ideal.

El método más preciso es el experimental, que se basa en la determinación del porcentaje de vacío de la mezcla de los áridos finos y gruesos. El porcentaje de vacío y la superficie específica mínimos de la mezcla de áridos, señalará la composición óptima, la cual requerirá una cantidad mínima de cemento.

Para determinar el porcentaje de vacío y la superficie específica mínimos, hay que ensayar las mezclas de los áridos con las proporciones en peso de arena y grava siguientes:

35:65; 40:60; 45:55; 50:50; 55:45.

Como primer paso, hay que determinar por método normalizado el peso unitario compactado de la mezcla de los áridos (PUC<sub>m</sub>), de cada una de las mezclas anteriormente expresadas.

Los ensayos se realizarán por el mismo procedimiento normalizado que se emplea para determinar el peso unitario compactado de la arena o los áridos gruesos. Sólo hay que tener en cuenta que es necesario trabajar con los materiales secos y bien mezclados. Después determinamos el peso específico corriente de la mezcla de los áridos. Para obtenerlo, tenemos que determinar el peso específico de la arena y el árido grueso que estamos ensayando. El peso específico corriente de la mezcla de los áridos, lo determinamos matemáticamente por medio de la ecuación:

$$EC_m = \frac{PEC_a \cdot \%A + PEC_g \cdot \%G}{100} \quad (1.8)$$

donde:

- PEC<sub>m</sub> : Peso específico corriente o aparente de la mezcla de los áridos
- PEC<sub>a</sub> : Peso específico corriente o aparente de la arena
- %A : Porcentaje de la arena en la mezcla
- PEC<sub>g</sub> : Peso específico corriente o aparente de la grava
- %G : Porcentaje de la grava en la mezcla

The first step is to determine the compacted unit weight of the aggregate mix ( $PUC_m$ ), by the standardised method, of each of the aforementioned mixes.

The tests were carried out following the same standardised procedure employed to determine the compacted unit weight of sand or coarse aggregates. It is only necessary to ensure that the materials are dry and well mixed. The standard specific weight of the aggregate mix is then determined. In order to do so it is necessary to determine the specific weight of the sand and coarse aggregate being tested. The standard specific weight of the aggregate mix is mathematically calculated by the following equation:

$$PEC_m = \frac{PEC_a \cdot \%A + PEC_g \cdot \%G}{100} \quad (1.8)$$

where:

- $PEC_m$  : Specific standard or apparent weight of the aggregate mix
- $PEC_a$  : Specific standard or apparent weight of the sand
- $\%A$  : Percentage of sand in the mix
- $PEC_g$  : Specific standard or apparent weight of the coarse aggregate
- $\%G$  : Percentage of coarse aggregate in the mix

#### Example of calculation

In our case we determined the specific standard weight of the sand as  $PEC_a = 2620 \text{ kg/m}^3$  and the specific common or apparent weight of the coarse aggregate as  $PEC_g = 2640 \text{ kg/m}^3$ . The specific standard or apparent weight of the aggregate mix in 35% sand and 65% coarse aggregate proportions would give:

$$\begin{aligned} PEC_m &= \frac{PEC_a \cdot \%A + PEC_g \cdot \%G}{100} = \\ &= \frac{2620 \cdot 35 + 2640 \cdot 65}{100} = 2633 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

The same mix of aggregates mixed in proportions of 40% sand and 60% coarse aggregate, would have a specific standard weight of:

$$PEC_m = \frac{2620 \cdot 40 + 2640 \cdot 60}{100} = 2.632 \text{ kg/m}^3$$

By this method we calculated the  $PEC_m$  of all the remaining sand and coarse aggregate ratios (S:CA = 45:55; 50:50; 55:45)

From the specific standard weight of the aggregate mix and the compacted unit weight of the same, we may determine the percentage of voids in the aggregate mix:

$$\text{Void percentage} = \frac{PEC_m - PUC_m}{PEC_m} \cdot 100 \quad (1.9)$$

When determining the percentage of voids for all the sand and coarse aggregate combinations, we selected a combination which would have the lowest percentage as being the optimum for the concrete composition.

In the case where two types of coarse aggregate are employed, for example fine gravel (6.35 up to 19mm) and coarse gravel (12.7 up to 38mm), it is necessary, firstly, to determine the minimum percentage of voids in the mix of the two types of aggregates employed, and then the optimum mix of the said aggregates, that being the one mixing with the five aforementioned ratios, and finally to discover the minimum percentage of voids in the coarse and fine aggregate mix.

#### 2.5.2. Determination of necessary water content for the required consistency

In order to calculate the amount of water necessary, we should make a concrete mix with the required workability, e.g. a settlement of 6cm in the Abrams Cone. The mix will then be designed in the following manner:

- a) Ratio between coarse aggregate and fines, established on the basis of optimum composition determined according to the method described above.
- b) Cement quantity. Initially determined by experience so that it is approximately related to the required strength of the concrete.
- c) Water quantity. Established as an item of reference, according to experience

On this basis we calculate the quantity of materials necessary to make six cylindrical test specimens.

### Ejemplo de cálculo

En nuestro caso, determinamos el peso específico corriente de la arena,  $PEC_a = 2620 \text{ kg/m}^3$  y el peso específico corriente de la grava,  $PEC_g = 2640 \text{ kg/m}^3$ . El peso específico corriente de la mezcla de los áridos, en proporciones de 35% de arena y 65% de grava será:

$$PEC_m = \frac{PEC_a \cdot \%A + PEC_g \cdot \%G}{100} = \frac{2620 \cdot 35 + 2640 \cdot 65}{100} = 2633 \text{ kg/m}^3$$

La misma mezcla de áridos, en proporciones de 40% de arena y 60% de grava, tendrá un peso específico corriente de:

$$PEC_m = \frac{2620 \cdot 40 + 2640 \cdot 60}{100} = 2.632 \text{ kg/m}^3$$

Por este método calcularemos el  $PEC_m$  para todas las relaciones restantes de arena y grava (A:G = 45:55; 50:50; y 55:45).

Sobre la base del peso específico corriente de la mezcla de áridos y el peso unitario compactado de ella, podemos determinar el porcentaje de vacío de la mezcla de los áridos:

$$\text{Porcentaje de Vacío} = \frac{PEC_m - PUC_m}{PEC_m} \cdot 100 \quad (1.9)$$

Cuando determinemos el porcentaje de vacío para todas las combinaciones de arena y áridos gruesos, elegimos la combinación que tenga el porcentaje menor, como la óptima para la composición del hormigón.

En el caso que se utilicen dos tipos de áridos gruesos, por ejemplo gravilla (de 6,35 hasta 19 mm) y grava (12,7 hasta 38 mm), hay que determinar primero el porcentaje de vacío mínimo de la mezcla de los dos tipos de áridos gruesos a utilizar, y determinada la mezcla óptima de dichos áridos ésta será la que se mezclará con la arena en las cinco proporciones mencionadas, y después se halla el porcentaje mínimo de vacío de la mezcla de los áridos gruesos y finos.

### 2.5.2. Determinación de la cantidad de agua necesaria para la consistencia requerida.

Para determinar la cantidad de agua necesaria, elaboramos una mezcla de hormigón con la laborabilidad que necesitamos, por ejemplo, con un asentamiento de 6 cm medido en el Cono de Abrams. El diseño de la mezcla lo haremos de la forma siguiente:

- Proporción entre los áridos gruesos y finos. La fijamos sobre la base de la composición óptima, determinada según se explicó en el epígrafe anterior.
- Cantidad de cemento. La determinamos inicialmente sobre la base de las experiencias, de manera que este relacionada, aproximadamente, con la resistencia requerida del hormigón.
- Cantidad de agua. La fijamos como elemento de referencia, también según la experiencia.

Con estos datos calculamos la cantidad necesaria de los materiales para elaborar seis probetas cilíndricas.

Para determinar exactamente la cantidad de agua, ponemos en la mezcladora una cantidad menor de agua que la prefijada; determinamos su asentamiento (por ejemplo 2 cm), después hacemos una nueva mezcla con una mayor cantidad de agua y medimos nuevamente el asentamiento (por ejemplo 4 cm), y así se repite el ensayo, auxiliados por el Cono de Abrams, hasta que por aproximación determinamos la cantidad total de agua necesaria. Esta cantidad de agua debe ser corregida de acuerdo con la humedad superficial de la arena.

Además de determinar la cantidad de agua necesaria para obtener la consistencia requerida, con esta misma mezcla elaboramos seis probetas y determinamos la resistencia a la compresión a los 7 y 28 días. Como estos datos nos van a servir para la determinación del coeficiente A del árido grueso, tenemos que repetir el ensayo no menos de tres veces, para asegurar la exactitud de los resultados. En este caso, hay que tener en cuenta la alta precisión exigida de los trabajos de laboratorio, porque una vez determinada la característica A de las gravas, podemos diseñar todos los tipos de mezclas de hormigón que utilizaremos, con ella.

Es necesario y determinante hacerle todos los ensayos normalizados a los áridos y al cemento que se utilicen.

### 2.5.3. Determinación de la característica A del árido grueso

Para determinar la característica A del árido grueso, utilizamos los datos de los ensayos ya realizados, según los párrafos antecedentes; a saber, la resistencia a la compresión promedio del hormigón a los 28 días, obtenida sobre la base de nueve probetas (tres ensayos), y la resistencia a la compresión a los 28 días del cemento empleado.

In order to determine the exact quantity of water, a smaller amount of water than the preestablished quantity is placed in the mixer; and the settlement then established (e.g. 2cm), a further mix is then made with a greater quantity of water and the settlement is measured once again (e.g. 4cm) . The test is repeated in this way, aided by the Abrams Cone, until the total quantity of water necessary has been determined. This quantity of water should be corrected in accordance with the superficial dampness of the sand.

In addition to determining the amount of water needed to obtain the required consistency, six specimens are taken from the same mix and the compressive strength is found at 7 and 28 days. As this information serves to determine the coefficient A of the coarse aggregate, the test has to be repeated no less than three times to ensure precise results. It is necessary to underline the high precision required in the laboratory tests as once the said characteristic of the coarse aggregate is determined we may then design all the concrete mixes on this basis.

It is of vital importance to carry out all the standardised tests with the aggregates and cement which will actually be employed.

### 2.5.3 Determination of characteristic "A" of the coarse aggregate

In order to determine the characteristic A of the coarse aggregate, we use the information taken from the previous tests; that is to say, the average compressive strength of the concrete at 28 days, obtained on nine specimens (three tested specimens), and the compressive strength of the cement employed at 28 days.

The characteristic of the aggregate is calculated by the following equation:

$$A = \frac{R_h}{R_c (M_1 \cdot V + M_2)} \tag{1.10}$$

where:

- A: Characteristic of the coarse aggregate
- R<sub>h</sub>: Compressive strength of cement employed, in MPa
- M<sub>1</sub> and M<sub>2</sub>: Value according to concrete consistency
- V: Value according to water-cement ratio

Values M<sub>1</sub> and M<sub>2</sub> are taken from Table 1, and indicate the settlement of the concrete mix determined in the tests.

Value V is taken from Table 2, according to the water cement ratio, determined according to the quantities of cement and water used in the tests.

### 2.5.4. Determination of cement quantity

In the aforementioned tests, we employed an approximate quantity of cement according to experience; this quantity may now be determined exactly by the following equation:

$$V = \frac{\frac{R_h}{R_c \cdot A} - M_2}{M_1} \tag{1.11}$$

where:

- V: Value according to water-cement ratio
- R<sub>h</sub>: Compressive strength of concrete we wish to obtain, in MPa
- R<sub>c</sub>: Compressive strength of cement, in MPa (cement being employed)
- M<sub>1</sub> and M<sub>2</sub>: Values according to concrete consistency
- A: Characteristic of the coarse aggregate

Values M<sub>1</sub> and M<sub>2</sub> are taken from Table 1. These two values correspond to one As settlement figure, measured in centimetres, in accordance with the Abrams Cone Method.

The V value is determined by taking the corresponding and most suitable water-cement ratio w from Table 2. The cement quantity is then calculated by the equation:

$$c = \frac{a}{w} \tag{1.12}$$

where:

- c : Cement quantity in kilograms
- a : Water quantity in litres
- w : Water-cement ratio taken from table 2

From the data obtained - optimum composition of coarse and fine aggregates, water quantity to obtain the required consistency, characteristic "A" of the aggregate and the quantity of cement necessary to obtain the required



La característica del árido la determinamos por la ecuación siguiente:

$$A = \frac{R_h}{R_c (M_1 \cdot V + M_2)} \quad (1.10)$$

donde:

- A : Característica del árido grueso
- $R_h$  : Resistencia del cemento utilizado a la compresión, en MPa
- $M_1$  y  $M_2$  : Valores dependientes de la consistencia del hormigón
- V : Valor dependiente de la relación agua-cemento

Los valores  $M_1$  y  $M_2$  se toman de la Tabla 1, en relación con el asentamiento de la mezcla del hormigón determinada en los ensayos.

El valor V se toma de la Tabla 2, según la relación agua-cemento (w), cuyo valor determinamos conforme con las cantidades de cemento y de agua que utilizamos en los ensayos.

#### 2.5.4. Determinación de la cantidad de cemento

En el caso de los ensayos explicados con anterioridad, se utilizó una cantidad de cemento aproximada, según la experiencia; ahora podemos determinarla exactamente por la ecuación siguiente:

$$V = \frac{\frac{R_h}{R_c \cdot A} - M_2}{M_1} \quad (1.11)$$

donde:

- V : Valor dependiente de la relación agua-cemento
- $R_h$  : Resistencia del hormigón a la compresión que queremos obtener, MPa
- $R_c$  : Resistencia del cemento a la compresión, en MPa (el que estamos utilizando)
- $M_1$  y  $M_2$  : Valores dependientes de la consistencia del hormigón
- A : Característica del árido usado

Los valores  $M_1$  y  $M_2$  se toman de la Tabla 1. La pareja de valores  $M_1$  y  $M_2$  corresponden a un solo valor del asentamiento  $A_s$ , medido en centímetros, por el Método del Cono Abrams.

Determinado el valor V, de la Tabla 2 tomamos el valor de la tabla agua-cemento w, que le corresponda y sea la adecuada. Entonces, la cantidad de cemento se determina por la ecuación:

$$c = \frac{a}{w} \quad (1.12)$$

donde:

- c : Cantidad de cemento, en kilogramos
- a : Cantidad de agua en litro
- w : Relación agua-cemento tomada de la Tabla 2

Con los datos obtenidos -composición óptima de los áridos gruesos y finos, cantidad de agua para obtener la consistencia requerida, característica A del árido y cantidad de cemento para obtener la resistencia requerida del hormigón -, establecemos la composición óptima de la mezcla del hormigón y la comprobamos con seis probetas cilíndricas, y determinamos la resistencia del hormigón a la compresión a los 7 y 28 días, que debe dar un valor muy aproximado al valor supuesto en la ecuación 1.11.

#### 2.5.5. Recomendaciones

Durante los ensayos, se recomienda trabajar siempre con los mismos tipos de áridos y mantenerlos todo el tiempo bien homogeneizados.

Las variaciones de las propiedades de los áridos, sobre todo el porcentaje de partículas planas y alargadas, pueden influir notablemente en la cantidad de agua necesaria para obtener la consistencia requerida de la mezcla del hormigón, lo que consecuentemente influye en la relación agua-cemento y en la resistencia resultante del hormigón.

La humedad de la arena tiene también una influencia notable (la cual puede ser positiva o negativa) y para los ensayos es necesario determinarla con precisión y hacer las correcciones correspondientes de la cantidad total de agua requerida. Para la determinación de la relación óptima de los áridos gruesos y finos, hay que trabajar con los áridos secos. Con la arena húmeda no se pueden obtener resultados correctos, porque cambia demasiado su volumen.

consistency-, we establish the optimum composition of the concrete mix which is then tested on six cylinder test specimens and then determine the compressive strength of the concrete at 7 and 28 days, which should give a value which is very close to the supposed figure calculated from equation 1.11.

### 2.5.5 Recommendations

During testing it is recommended that the same types of aggregate be used and that these should be uniform at all times.

Variations in the properties of the aggregates, and especially the percentage of flat and elongated particles, may notably affect the amount of water necessary to obtain the required consistency of the concrete mix, which subsequently affects the water-cement ratio and the resulting strength of the concrete.

The moisture content in the sand also has a noticeable bearing (which may be positive or negative) and it is necessary to determine this factor precisely when testing and to make the corresponding corrections regarding the total amount of water required. When calculating the optimum ratio of coarse and fine aggregates, it is necessary to use dry aggregates. Correct results cannot be obtained if wet sand is used as this greatly changes the volume of the same.

Finally, it is necessary to bear in mind the great influence that the compressive strength of the cement has on the resulting concrete strength, and this should be clearly defined in order to obtain an exact value of characteristic "A" of the cement which may then be checked against the resulting strength of the concrete. Therefore it is necessary to take a cement sample, in order to determine its strength, the same day as that of establishing the water necessary to obtain the required consistency. Furthermore, when characteristic A of the aggregate is determined, this should consider the real strength of the cement employed at the time, as obtained from laboratory tests.

It is logical that greater discrepancies arise in practice than in the laboratory as the characteristic of the cement cannot remain constant and because it is not possible to know all of the properties of the same at the time it is used; however, in investigation work aiming to find the characteristic A of the aggregate, it is necessary to employ the greatest precision at all times.

The values of "A" characterise the properties of the aggregate in this new method for designing concrete mixes. These have to be determined for all types of coarse aggregate used to make concrete, and the ensuing results will lead to greater advantage being made of the materials and subsequently greater savings.

**Table 1**

SETTLEMENT (cm)	VALUE M	SETTLEMENT (cm)	VALUE M
As 3	$\frac{M_1 4,4447}{M_2 0,2930}$	As 10	$\frac{M_1 4,0219}{M_2 0,3572}$
As 4	$\frac{M_1 4,3843}{M_2 0,3014}$	As 11	$\frac{M_1 3,9615}{M_2 0,3674}$
As 5	$\frac{M_1 4,3239}{M_2 0,3101}$	As 12	$\frac{M_1 3,9011}{M_2 0,3780}$
As 6	$\frac{M_1 4,2635}{M_2 0,3189}$	As 13	$\frac{M_1 3,8407}{M_2 0,3888}$
As 7	$\frac{M_1 4,2031}{M_2 0,3281}$	As 14	$\frac{M_1 3,7803}{M_2 0,4000}$
As 8	$\frac{M_1 4,1427}{M_2 0,3375}$	As 15	$\frac{M_1 3,7199}{M_2 0,4115}$
As 9	$\frac{M_1 4,0823}{M_2 0,3472}$	As 16	$\frac{M_1 3,6595}{M_2 0,4233}$

Por último, es necesario tener presente la notable influencia que en la resistencia resultante del hormigón, tiene la resistencia a la compresión del cemento, la cual debemos tener bien definida para obtener un valor exacto de la característica A del árido y poder después comprobarla con la resistencia resultante de dicho hormigón. Por esta razón, hay que tomar la muestra de cemento para determinar su resistencia, el mismo día que se realiza la determinación del agua necesaria para obtener la consistencia requerida. También el día que se determina la característica A del árido, debemos utilizar en los cálculos, la resistencia real del cemento empleado, obtenida de los ensayos de laboratorio.

Es lógico que en la práctica, al no poder mantener constante la característica del cemento y no conocer todas sus propiedades en el momento de su empleo, obtengamos discrepancias mayores que en el laboratorio; sin embargo, para el trabajo de investigación, cuyo objetivo es determinar la característica A del árido hay que mantener la más alta precisión en los ensayos.

Los valores de A caracteriza las propiedades del árido en el nuevo método de diseño de las mezclas de hormigón, hay que determinarlos para todos los tipos de áridos gruesos que se utilizan para elaborar hormigones, lo que posibilitará, a partir de sus resultados, un mejor aprovechamiento de los materiales y una consecuente economía de cemento.

**Tabla 1**

ASENTAMIENTO (cm)	VALOR M	ASENTAMIENTO (cm)	VALOR M
As 3	$\frac{M_1}{M_2} 4,4447$	As 10	$\frac{M_1}{M_2} 4,0219$
As 4	$\frac{M_1}{M_2} 4,3843$	As 11	$\frac{M_1}{M_2} 3,9615$
As 5	$\frac{M_1}{M_2} 4,3239$	As 12	$\frac{M_1}{M_2} 3,9011$
As 6	$\frac{M_1}{M_2} 4,2635$	As 13	$\frac{M_1}{M_2} 3,8407$
As 7	$\frac{M_1}{M_2} 4,2031$	As 14	$\frac{M_1}{M_2} 3,7803$
As 8	$\frac{M_1}{M_2} 4,1427$	As 15	$\frac{M_1}{M_2} 3,7199$
As 9	$\frac{M_1}{M_2} 4,0823$	As 16	$\frac{M_1}{M_2} 3,6595$

**Tabla 2**

	w VALOR V	w VALOR V	w VALOR V	w VALOR V
0,30 0,5229	0,40 0,3979	0,50 0,3010	0,60 0,2218	0,70 0,1549
0,31 0,5086	0,41 0,3872	0,51 0,2924	0,61 0,2147	0,71 0,1487
0,32 0,4946	0,42 0,3768	0,52 0,2840	0,62 0,2076	0,72 0,1427
0,33 0,4815	0,43 0,3665	0,53 0,2757	0,63 0,2007	0,73 0,1367
0,34 0,4685	0,44 0,3565	0,54 0,2676	0,64 0,1938	0,74 0,1308
0,35 0,4559	0,45 0,3468	0,55 0,2556	0,65 0,1870	0,75 0,1249
0,36 0,4437	0,46 0,3372	0,56 0,2518	0,66 0,1805	0,76 0,1192
0,37 0,4318	0,47 0,3279	0,57 0,2441	0,67 0,1739	0,77 0,1135
0,38 0,4202	0,48 0,3186	0,58 0,2366	0,68 0,1675	0,78 0,1079
0,39 0,4089	0,49 0,3098	0,59 0,2291	0,69 0,1612	0,79 0,1024

**Table 2**

	w	VALUE V	w	VALUE V	w	VALUE V	w	VALUE V	
0,30	0,5229	0,40	0,3979	0,50	0,3010	0,60	0,2218	0,70	0,1549
0,31	0,5086	0,41	0,3872	0,51	0,2924	0,61	0,2147	0,71	0,1487
0,32	0,4946	0,42	0,3768	0,52	0,2840	0,62	0,2076	0,72	0,1427
0,33	0,4815	0,43	0,3665	0,53	0,2757	0,63	0,2007	0,73	0,1367
0,34	0,4685	0,44	0,3565	0,54	0,2676	0,64	0,1938	0,74	0,1308
0,35	0,4559	0,45	0,3468	0,55	0,2556	0,65	0,1870	0,75	0,1249
0,36	0,4437	0,46	0,3372	0,56	0,2518	0,66	0,1805	0,76	0,1192
0,37	0,4318	0,47	0,3279	0,57	0,2441	0,67	0,1739	0,77	0,1135
0,38	0,4202	0,48	0,3186	0,58	0,2366	0,68	0,1675	0,78	0,1079
0,39	0,4089	0,49	0,3098	0,59	0,2291	0,69	0,1612	0,79	0,1024

**Tests which should be carried out when applying the O'Reilly Mix Proportioning Method**

1. Determination of the optimum ratio between coarse and fine aggregates

1.1. Test type: compacted unit weight

Type of aggregate	Quarry		Reference
I. Sand			
II. Gravel			
Proportion of aggregates I & II	Total weight	Weight of sample	Compacted unit weight
35:65			
40:60			
45:55			
50:50			
55:45			

Date of testing:

1.2 Test type: specific standard weight of the mix and percentage of voids

Type of aggregate	Quarry		Reference
I Sand			
II Gravel			
Proportion of aggregates I & II	Specific standard weight of the mix = A	Compacted unit weight of the mix = B	Percentage of voids $\frac{A - B}{A} \cdot 100$
1			
2			
3			
4			
5			

Date of testing:

**Ensayos que se deben realizar para la aplicación del Método de Dosificación de O'Reilly**

1. Determinación de la relación óptima de los áridos gruesos y finos

1.1. Tipo de ensayo: peso unitario compactado

Tipos de áridos		Cantera		Codificación	
I. Arena					
II. Grava					
Proporción de los áridos I y II	Peso Total	Peso del muestreo	Peso unitario compactado		
35:65					
40:60					
45:55					
50:50					
55:45					

Fecha de ejecución del ensayo:

1.2 Tipo de ensayo: peso específico corriente de la mezcla y porcentaje de huecos

Tipo de áridos		Cantera		Codificación	
I Arena					
II Grava					
Proporción de los áridos I y II	Peso específico corriente de la mezcla = A	Peso unitario compactado de la mezcla = B	Porcentaje de huecos $\frac{A - B}{A} \cdot 100$		
1					
2					
3					
4					
5					

Fecha de ejecución del ensayo:

**Determinación de la cantidad de agua para un hormigón de  $R_h$  \_\_\_ kg/cm<sup>2</sup> con  $A_s$  \_\_\_ cm, al emplear arena de \_\_\_ gravilla de \_\_\_**

	Proporción óptima A:G %	Cantidad de cemento kg	Cantidad de agua l	Humedad de la arena %	$R_h$ 7 días kg/cm <sup>2</sup>	$R_h$ 28 días
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						

Determination of water quantity for a concrete with  $R_h$  \_\_\_ kg/cm<sup>2</sup> with  $A_s$  \_\_\_ cm, using \_\_\_ sand and \_\_\_ gravel \_\_\_

	Optimum proportion S:G %	Cement quantity kg	Water quantity l	Moisture content of sand %	$R_h$ 7 days kgf/cm <sup>2</sup>	$R_h$ 28 days
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						

Determination of characteristic "A" of the coarse aggregate

$R_{h28}$ kgf/cm <sup>2</sup>	$R_c$ kgf/cm <sup>2</sup>	$A_s$ cm	$M_1$	$M_2$	Water quantity l	Cement quantity kg	w/c	"A" value

Determination of cement quantity

$R_{h28}$ kgf/cm <sup>2</sup>	$R_c$ kgf/cm <sup>2</sup>	$M_1$	$M_2$	"A"	V	w/c	Water l	Cement kg

**Voids, specific surface and other factors which affect aggregate mixes**

The percentages of voids ascertained in the tests may be shown graphically, which enable us to discover the minimum value more precisely, thereby eliminating imprecise figures and enables one to establish their relation with other important factors of the concrete.

When making the graph, the different aggregate mix proportions are placed on the axis of the abscissas and their corresponding void percentages from testing are placed on the axis of co-ordinates. When joining the points a curve is formed showing the probable trajectory of the void percentage, as shown in the graphs in Figs 2 and 3.

The minimum point of void percentage is extremely important when establishing the mutual relationship between coarse and fine aggregates (Fig. 3) as this is the determining factor for an optimum aggregate mix. However, if we determine the optimum composition between the coarse aggregates by the same method (which should be established, in necessary cases, before making mixes with sand), the results are not so significant and the determination of the optimum composition requires certain theoretical knowledge and practical experience.

The following example briefly outlines the complexity of this problem and provides a simple solution to the same.

The graphs in Figs 2, 3, 4 and 5 show the results of testing on aggregates from the "Dragón Camoa" Quarry in Havana. Here we investigated the optimum composition of a mix of three aggregates: 38mm coarse gravel, 19.1 mm fine gravel and 4.76mm sand.

*Step one.* Mixes of coarse and fine gravel were made for all the mutual relationships (starting from 90% coarse gravel), and gradually reducing the coarse gravel by 5% and replacing it by the same quantity of fines until obtaining 100% fine gravel (Fig. 2). Note that up to the ratio of 40% fine aggregate to 60% coarse aggregate, the decrease in the percentage of voids is very significant, while from 40% to 70% fine gravel in the mix, the decrease is very small (the void percentage only dropping by 0.5), and from 70 to 100% fine aggregate the void percentage increases once more.

**Determinación de la característica "A" del árido grueso**

$R_{h28}$ kgf/cm <sup>2</sup>	$R_c$ kgf/cm <sup>2</sup>	As cm	$M_1$	$M_2$	Cantidad de agua l	Cantidad de cemento kg	a/c	Valor de "A"

**Determinación de la cantidad de cemento**

$R_{h28}$ kgf/cm <sup>2</sup>	$R_c$ kgf/cm <sup>2</sup>	$M_1$	$M_2$	"A"	V	a/c	Agua l	Cemento kg

**Vacío, superficie específica y otros factores que influyen en las mezclas de los áridos**

Los valores del porcentaje de vacío obtenidos de los ensayos realizados pueden expresarse gráficamente, lo que nos posibilita la determinación más adecuada del valor mínimo, la eliminación de los valores inexactos y establecer relaciones con otros factores importantes del hormigón.

Para confeccionar los gráficos, las diferentes proporciones de las mezclas de los áridos se colocan en el eje de las abscisas y sus correspondientes porcentajes de vacío resultantes en los ensayos, en el eje de las coordenadas. Unimos los puntos obtenidos y se forma una curva del transcurso probable del porcentaje de vacío, como se representa en los gráficos de las Figuras 2 y 3.

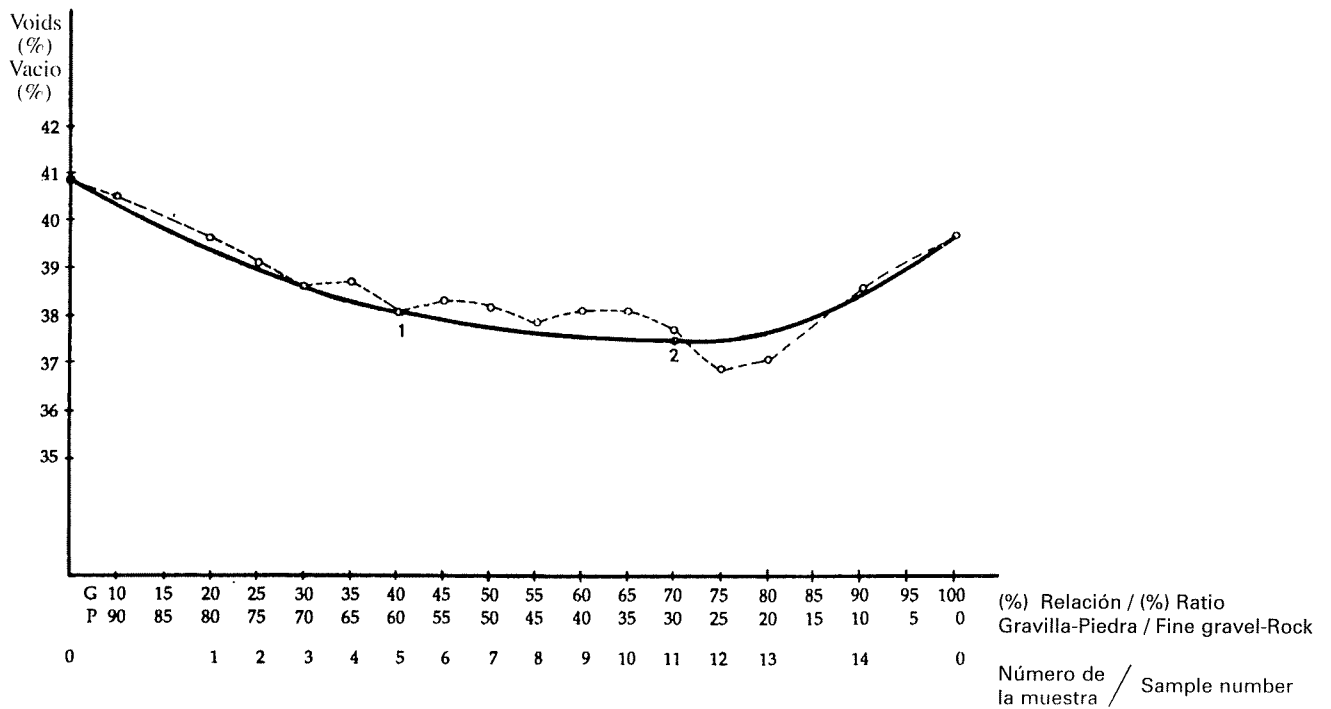
El punto mínimo del porcentaje de vacío, como factor determinante para la mezcla óptima de los áridos, es muy significativo, cuando tratamos de determinar la relación mutua entre los áridos gruesos y la arena (Fig. 3). Sin embargo, si determinamos por el mismo método la composición óptima entre los áridos gruesos (que debe determinarse, en los casos que lo requieran, antes de hacer las mezclas con la arena), los resultados ya no son tan significativos y la determinación de la composición óptima requiere ciertos conocimientos teóricos y alguna experiencia práctica.

Con el ejemplo siguiente deseamos explicar, en forma sencilla, la complejidad de esta problemática, a la vez que se plantea la solución aplicable de forma fácil.

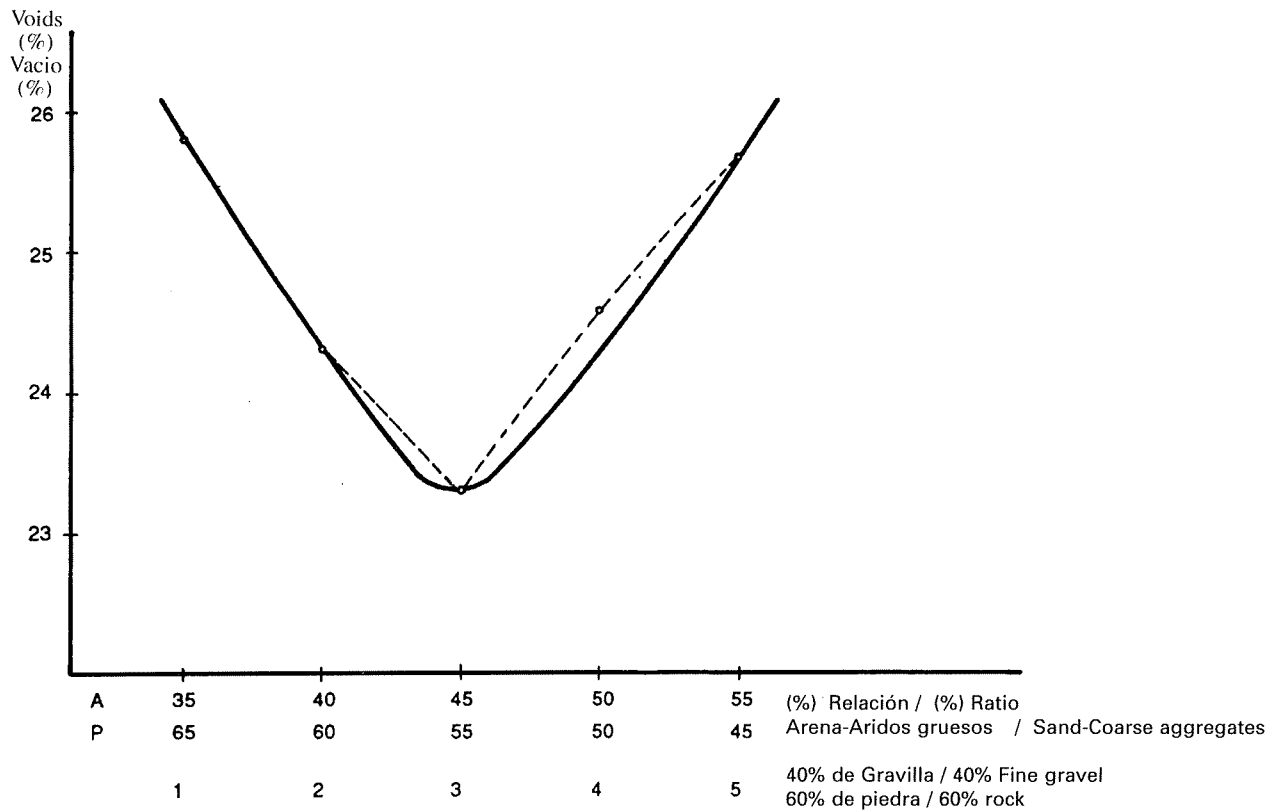
En los gráficos de las figuras 2, 3, 4 y 5 están representados los resultados de los ensayos ejecutados con los áridos de la cantera "Dragón Camoa" de La Habana. Se investigó la composición óptima de la mezcla de tres áridos: grava de 38 mm, gravilla de 19,1 mm y arena de 4,76 mm.

*Primer paso.* Elaboramos las mezclas de grava y gravilla para todas las relaciones mutuas (a partir de 90% de grava), disminuyendo gradualmente 5% de grava y añadiéndosele de gravilla hasta obtener 100% de esta última (Fig. 2). Obsérvese que hasta la relación 40% de gravilla y 60% de grava, el descenso del porcentaje de vacío es significativo, mientras que a partir de 40% de gravilla hasta 70% de ésta en la mezcla, el descenso es muy pequeño, (el porcentaje de vacío disminuye sólo en 0,5), y a partir de 70% hasta 100% de gravilla, el porcentaje de vacío vuelve a crecer.

Como se sabe, con el aumento de los áridos de menor dimensión, crece también la superficie específica de la mezcla de los áridos y aumenta la exigencia de la cantidad de pasta de cemento necesaria para envolver la superficie total de las partículas. Por esta causa, elegimos como relación óptima, la de 40% de gravilla y 60% de grava (punto 1 en el gráfico de la Figura 2), y no la relación de 70% de gravilla y 30% de grava (Punto 2), la cual tiene el porcentaje mínimo de vacío.



**Fig. 2** Relación entre la composición de los áridos gruesos y el porcentaje de vacío. Metodo O'Reilly.  
**Fig. 2** Relationship between the composition of coarse aggregates and the percentage of voids. O'Reilly Method.



**Fig. 3** Relación entre la composición de los áridos gruesos y finos, y el porcentaje de vacío. Método O'Reilly.  
**Fig. 3** Relationship between the composition of coarse aggregates and fines and the percentage of voids. O'Reilly Method.



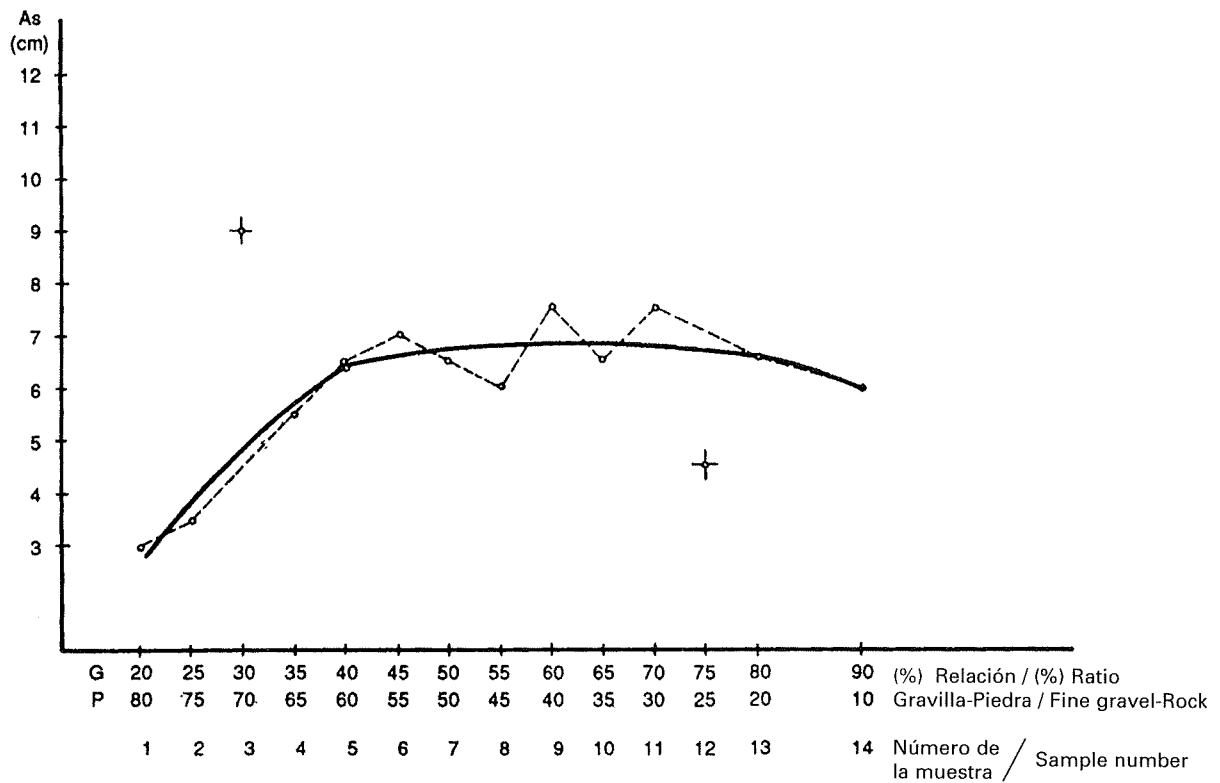


Fig. 4 Relación entre la composición de los áridos y la laborabilidad del hormigón fresco. Método O'Reilly.

Fig. 4 Relationship between the composition of aggregates and the workability of the fresh concrete. O'Reilly Method.

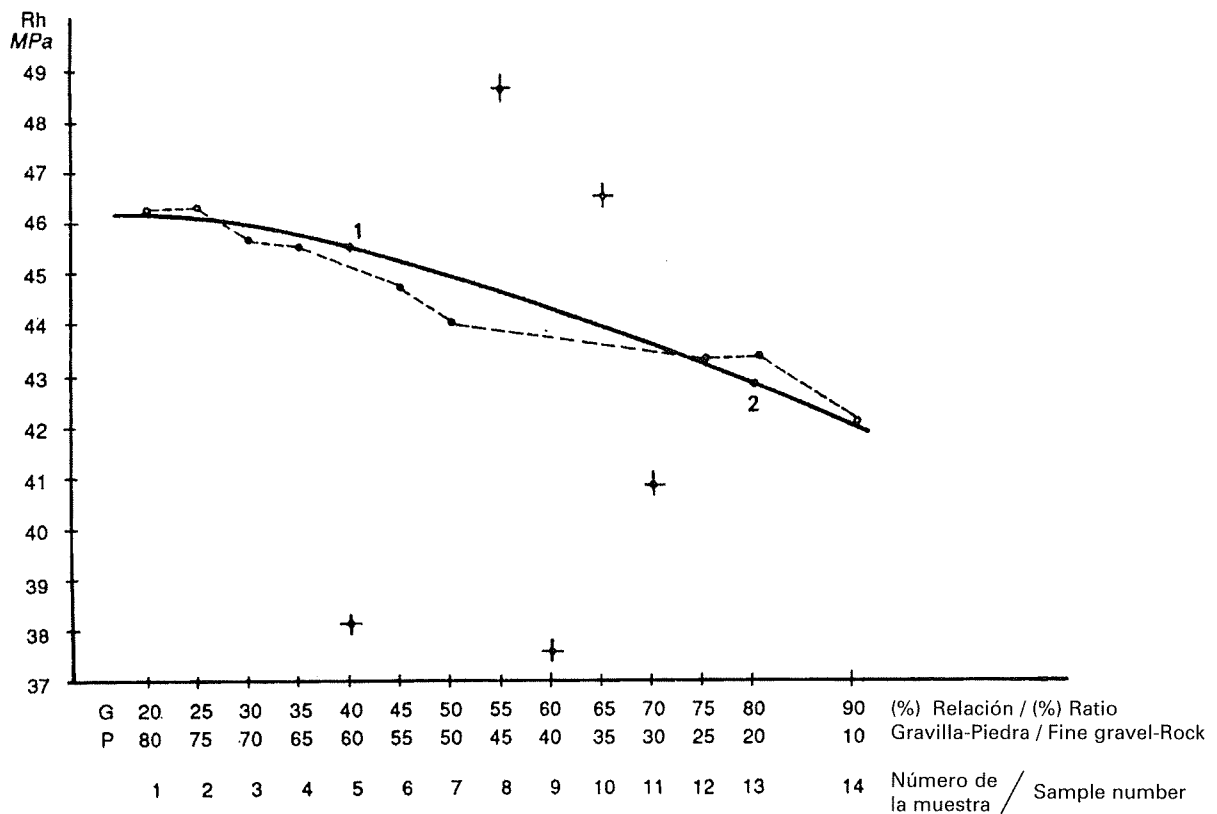


Fig. 5 Relación entre la resistencia del hormigón y la composición de los áridos. Método O'Reilly.

Fig. 5 Relationship between concrete strength and aggregate composition. O'Reilly Method.

As is known, the increase of aggregates with a smaller particle size increases the specific surface of the aggregate mix and demands a greater quantity of cement paste to cover the whole surface area of the particles. As such, we have selected an optimum ratio of 40% fine gravel to 60% coarse gravel (point 1 in the graph in Fig. 2), and not the ratio of 70% fine to 30% coarse gravel (point 2) which has a minimum percentage of voids.

The mixtures of coarse aggregates were placed in paper sacks and duly stored prior to subsequent testing.

*Step two.* We investigated the optimum quantity of sand to be mixed in various proportions with the coarse aggregates, composed of 40% fine gravel and 60% coarse gravel. The results were very significant as can be seen in the graph in Fig. 3, where the optimum ratio was seen to be 45% sand and 55% coarse aggregate mix. In subsequent tests we always used 45% sand as a constant.

*Step three.* In order to verify whether the composition of the coarse aggregates obtained was the optimum, we carried out another series of tests which consisted in keeping the sand, cement and water quantities constant and making mixes with the different proportions of coarse aggregate already mentioned. First the consistency (settlement) was established by means of the Abrams Cone and then the graph was plotted for the same as may be seen in Fig. 4.

These mixes were then placed in standard moulds so that their compressive strength could be calculated at 28 days, and from the results obtained the graph in Fig. 5 was plotted.

When carrying out these tests the combined coarse aggregates employed in the first test were reused together with the addition of a constant quantity of sand, water and cement.

The optimum ratio of coarse to fine gravel was selected according to the basic requirements of concretes, that is to say:

- a) That the concrete be as compact as possible; thus assuring that the maximum quantity of aggregates be employed to obtain the minimum percentage of voids. Maximum compactness ensures the best possible mechanical properties of the concrete, even in terms of watertightness, with the minimum quantity of cement paste.
- b) That the concrete mix be as workable as possible under the prevalent conditions.
- c) That the concrete offer the maximum concrete strength under the prevalent conditions.

From the test results, which are shown in the graphs in Figs 4 and 5, we may deduce that the ratio of 40% fine gravel and 60% coarse gravel is the optimum ratio for this quarry stone, as:

- a) The workability of the concrete mix (Fig. 4) increases up to where 40% fine gravel is employed (Point 1) and remains constant from there on up to where 80% fine gravel is employed (Point 2).
- b) When the specific surface of the aggregate mix is increased, the compressive strength at 28 days (Fig.5) falls slightly up to where 40% fine gravel is employed, that is only 0.5 MPa (Point 1); however, with 80% fine gravel (Point 2), the decrease in strength is 3.2 MPa.

When less than 40% fine gravel is employed this has a negative effect on the workability of the concrete mix, and in order to obtain the optimum (in our case an average settlement of 7cm in the Abrams Cone), we would have to increase the amount of water. In order to achieve the same concrete strength, we would also have to increase the amount of cement employed in order to maintain the same water-cement ratio. And the opposite effect also holds, that is to say if we increase the quantity of fine gravel over 40% of the total, then the specific surface of the aggregate mix increases, thereby producing a considerable decrease in concrete strength.

It is clear from this example that it is not only the rule of minimum percentages of voids in aggregate mixes that should be applied, but also other factors that equally effect concrete quality. In this case the 70:30 ratio of fine to coarse gravel is not the optimum composition because it has obtained the lowest void percentage, but instead the 40:60 ratio which is optimum for all the necessary requirements of the concrete.

When applying the method practically, the quantity of sand employed is vital in order to obtain the optimum properties of the concrete with regards to the aggregates employed, and as such the determination of the minimum percentage of voids is quite precise.

When determining the relation between coarse aggregates, the quantity of the lower fraction should not be increased over the point where the void percentage does not decrease (Point 1 in the graph in Fig. 2).

It is recommended that this investigation only be carried out in important cases and that the optimum composition be taken from the graphs; that is to say, for each of the coarse aggregate mixes where the minimum void percentage has been determined, the workability of the mix and the concrete strength have also been determined using constant quantities of sand, water and cement, and in this way an optimum final composition has been obtained according to all the aspects under consideration.

Estas mezclas de áridos gruesos ensayadas fueron empaquetadas en sacos de papel y debidamente almacenadas, para aprovecharlas en los ensayos posteriores.

*Segundo paso.* Investigamos la cantidad óptima de arena al mezclar esta, en varias proporciones, con la mezcla de los áridos gruesos, compuesta de 40% de gravilla y 60% de grava. Los resultados fueron muy significativos, como se muestra en el gráfico de la Figura 3, donde el punto óptimo de la relación fue 45% de arena y 55% de la mezcla de los áridos gruesos. Para los ensayos posteriores, utilizamos siempre como constante 45% de arena.

*Tercer paso.* Para comprobar si la composición de los áridos gruesos obtenida era la óptima, realizamos otra serie de ensayos, los cuales consistieron en mantener constantes las cantidades de arena, cemento y agua, e hicimos mezclas con las diferentes proporciones de los áridos gruesos ya señaladas, y a éstas se les determinó primero la consistencia (asentamiento) por el Cono de Abrams y con ellas se trazó el gráfico de la Figura 4.

Estas mismas mezclas se colocaron en moldes normalizados, para obtener la resistencia a la compresión a los 28 días, y con estos resultados se trazó el gráfico de la Figura 5.

Repetimos que para la realización de estos ensayos se utilizaron los áridos gruesos combinados del primer ensayo, a los que sólo se les añadió una cantidad constante de arena, agua y cemento.

La relación óptima entre la gravilla y la grava fue elegida según los requisitos básicos que exigen los hormigones, o sea que se cumpla:

- a) Que el hormigón sea lo más compacto posible; esto se logra con la máxima cantidad de áridos y el porcentaje mínimo de vacío. La máxima compactación asegura las mejores propiedades mecánicas del hormigón, incluso la impermeabilidad, lo cual debe lograrse con la mínima cantidad de pasta de cemento.
- b) Que la mezcla de hormigón tenga la mejor laborabilidad posible, en las condiciones dadas.
- c) Que el hormigón ofrezca la máxima resistencia a la compresión, en las condiciones dadas.

Por los resultados de los ensayos de comprobación realizados y que están expresados en los gráficos de las figuras 4 y 5, podemos deducir que la relación de 40% de gravilla y 60% de grava, es la óptima para esta cantera, porque:

- a) La laborabilidad de la mezcla de hormigón (Fig. 4) crece hasta la cantidad de 40% de gravilla (Punto 1) y se mantienen constante hasta la cantidad de 80% de ella (Punto 2).
- b) La resistencia a la compresión a los 28 días (Fig. 5), con el aumento de la superficie específica de la mezcla de áridos, disminuye poco hasta el valor de 40% de gravilla, o sea, sólo en 0,5 MPa (Punto 1); sin embargo, con 80% de gravilla (Punto 2), el descenso de la resistencia es de 3,2 MPa.

Una cantidad de gravilla menor que 40% influye negativamente en la laborabilidad de la mezcla de hormigón y para alcanzar la óptima (en nuestro caso 7 cm de asentamiento medido en el Cono de Abrams), tendríamos que aumentar la cantidad de agua, y para lograr la misma resistencia del hormigón, aumentar también la cantidad de cemento para mantener la misma relación agua-cemento. Y a la inversa, si aumentamos la cantidad de gravilla por encima de 40%, crece la superficie específica de la mezcla de los áridos, de forma tal que se produce un descenso notable de la resistencia del hormigón.

Es evidente (como se manifiesta en este ejemplo), que no sólo se puede aplicar mecánicamente la regla sobre el porcentaje mínimo de vacío en las mezclas de los áridos, sino que también hay que tener en cuenta los otros factores, no menos importantes, que influye en la calidad del hormigón. En este caso, la relación 70:30 de la gravilla y la grava, no es la composición óptima, por haberse obtenido el mínimo de vacío sino la relación 40:60 que resulta óptima para todas las exigencias necesarias del hormigón.

Para la aplicación práctica del método, podemos confirmar que para lograr las propiedades óptimas del hormigón, desde el punto de vista de la composición de los áridos, es decisiva la cantidad de arena, para la cual la determinación del porcentaje de vacío mínimo es bastante exacta.

En el caso de la determinación de la relación entre los áridos gruesos, no es bueno aumentar la cantidad de la fracción menor, una vez que lleguemos al punto a partir del cual el porcentaje de vacío no disminuye (Punto 1 en el gráfico de la Figura 2).

Recomendamos que sólo en los casos importantes se realice esta investigación y se elija la composición óptima sobre la base de los gráficos construidos; o sea, para cada una de las mezclas de los áridos gruesos a los cuales les hemos determinado el porcentaje mínimo de vacío, se determina también la laborabilidad de la mezcla y la resistencia del hormigón, utilizando cantidades constantes de arena, agua y cemento, para así lograr que la composición final sea óptima, según todos los aspectos investigados.

### **Método para dosificar mezclas de hormigón**

**1er Paso:** Se determina el PEC y el PUC de la arena y la grava secadas en la estufa.

### Method of proportioning concrete mixes

**1st Step:** The Standard Specific Weight and the Compacted Unit Weight of the oven dried gravel and sand are determined

**2nd Step:** The Compacted Unit Weight of the dry mixes of sand and gravel are determined in proportions of : 35:65, 40:60, 45:55 ..... 60:40

**3rd Step:** The Standard Specific Weight of each of the aforementioned mixes is calculated by the equation:

$$PEC_m = \frac{PCE_a \cdot \%A + PEC_g \cdot \%G}{100}$$

**4th Step:** The percentage of voids for each of the aforementioned mixes is calculated:

$$\%V = \frac{PEC_m - PUC_m}{PEC_m} \cdot 100$$

**5th Step:** From the optimum aggregate mix, that being the one having the least voids, and the habitual water and cement quantities, 20 L of concrete mix are made with the desired consistency and strength, thus:

- a) The water quantity is determined through testing for the required  $A_s$ .
- b) 18 test specimens are made with the water-cement ratio obtained for crushing at 28 days.
- c) The  $R_c$  strength of the concrete is determined at 28 days

**6th Step:** Using the information obtained in the previous steps, the characteristic "A" of the coarse aggregate employed is determined by:

$$A = \frac{R_h}{R_c (M_1 \cdot V + M_2)}$$

where:

$R_h$ : Average compressive strength of concrete from failure of 18 specimens

$R_c$ : Compressive strength of cement at 28 days

$M_1$  and  $M_2$ : Values according to concrete consistency

$V$ : Value according to water-cement ratio

**7th Step:** From the characteristic "A" of the coarse aggregate, the cement quantity may be determined for a concrete with a specific consistency and strength by the following equation:

$$V = \frac{\frac{R_h}{R_c \cdot A} - M_2}{M_1}$$

The values of  $M_1$  and  $M_2$  are taken from Table 1

**8th Step:** Once the value of  $V = \frac{a}{c}$  has been determined we may calculate the cement which is really necessary:

$$c = \frac{a}{v}$$

where:

"a" is the water used in the tests to obtain the necessary  $A_s$

**9th Step:** Once the quantity of cement and water are known, we may determine the quantity of sand and coarse aggregate in accordance with the proportions of the optimum mix. Considering the amount of materials necessary for 1m<sup>3</sup> of concrete with 2 or 3% of trapped air.

#### EXAMPLE

Determine the gravimetric composition of a concrete mix with the following characteristics:

- Average compressive strength at 28 days: 210 [kgf/cm<sup>2</sup>]
- Average consistency in the Abrams Cone: 8 [cm]
- Maximum size of coarse aggregate: 38.1 [mm]

#### INFORMATION:

The information to be obtained from the laboratory tests on the aggregates to be used is as follows:

**2do Paso:** Determinar el Peso Unitario Compactado de las mezclas secas de arena y grava de las proporciones: 35:65, 40:60, 45:55..... 60:40

**3er Paso:** Se calcula el Peso Específico Corriente de cada mezcla anterior mediante:

$$PEC_m = \frac{PCE_a \cdot \%A + PEC_g \cdot \%G}{100}$$

**4to Paso:** Se calcula el % de vacío de cada mezcla anterior:

$$\%V = \frac{PEC_m - PUC_m}{PEC_m} \cdot 100$$

**5to Paso:** Con la mezcla óptima de áridos, que es la que posee el menor vacío, se fabrican 20 L de mezclas de hormigón de una consistencia y resistencia deseada, colocando la cantidad de cemento y agua acostumbrada y con ello:

- Queda determinada la cantidad de agua por tanteo para un As requerido.
- Se fabrican 18 testigos de prueba para romper a los 28 días con la a/c obtenida
- Al mismo tiempo se determina la resistencia  $R_c$  del cemento usado, a los 28 días

**6to Paso:** Con los datos anteriormente obtenidos se calcula la característica "A" de la grava usada, mediante:

$$A = \frac{R_h}{R_c (M_1 \cdot V + M_2)}$$

donde:

$R_h$ : Resistencia promedio del hormigón obtenido de la rotura de las 18 probetas.

$R_c$ : Resistencia del cemento a los 28 días

$M_1$  y  $M_2$ : Valores dependientes de la consistencia del hormigón

V: Valor que depende de a/c

**7mo Paso:** Con la característica "A" del árido grueso, se determina la cantidad de cemento necesaria para un hormigón de una consistencia y resistencia determinada mediante la siguiente ecuación:

$$V = \frac{\frac{R_h}{R_c \cdot A} - M_2}{M_1}$$

Los valores de  $M_1$  y  $M_2$  se obtienen de la Tabla 1

**8vo Paso:** Determinado el valor de  $V = \frac{a}{c}$  podemos determinar la cantidad de cemento realmente necesaria:

donde:

$$c = \frac{a}{v}$$

"a" es el agua usada en la investigación para obtener un As necesario

**9no Paso:** Conocida la cantidad de cemento y agua, se determina la cantidad de arena y grava de acuerdo a la proporción de la mezcla óptima. Partiendo de la necesidad de los materiales para 1 m<sup>3</sup> de hormigón con un 2 ó 3 % de aire atrapado.

#### EJEMPLO

Determinar la composición gravimétrica de una mezcla de hormigón con las características siguientes:

- Resistencia promedio a la compresión a los 28 días: 210 [kgf /cm<sup>2</sup>]
- Consistencia medida en el Cono de Abrams: 8 [cm]
- Tamaño máximo del árido grueso 38.1 [mm]

DATOS:

Los datos que se deben obtener como resultado de los ensayos de laboratorio, de los áridos a usar son los siguientes:

ARIDOS AGGREGATE	PESO UNITARIO COMPACTADO COMPACTED UNIT WEIGHT [kg/m <sup>3</sup> ]	PESO ESPECIFICO CORRIENTE SPECIFIC STANDARD WEIGHT [kg/m <sup>3</sup> ]
Arena / Sand	1591	2510
Grava / Gravel (38.1)	1560	2450

PROPORCION ARENA GRAVA PROPORTION SAND COARSE AGGREGATE %	PESO UNITARIO COMPACTADO COMPACTED UNIT WEIGHT [kg/m <sup>3</sup> ]
35 65	1772
40 60	1798
45 55	1793
50 50	1784
55 45	1769
60 40	1750

**1st Step:** Determine the optimum ratio of the aggregate mix. Aggregate mixes are made according to the aforementioned proportions and the compacted unit weight is determined for each mix.

The standard specific weight of each of the above mixes is determined by:

$$PEC_m = \frac{PEC_a \%A + PEC_g \%G}{100}$$

$$PEC_{(35:65)} = \frac{2510 \cdot 35 + 2450 \cdot 65}{100} = 2471$$

$$PEC_{(40:60)} = \frac{2510 \cdot 40 + 2450 \cdot 60}{100} = 2474$$

$$PEC_{(45:55)} = \frac{2510 \cdot 45 + 2450 \cdot 55}{100} = 2477$$

$$PEC_{(50:50)} = \frac{2510 \cdot 50 + 2450 \cdot 50}{100} = 2480$$

$$PEC_{(55:45)} = \frac{2510 \cdot 55 + 2450 \cdot 45}{100} = 2483$$

$$PEC_{(60:40)} = \frac{2510 \cdot 60 + 2450 \cdot 40}{100} = 2486$$

From the previously obtained series of figures for each of the aggregate mixes, the percentage of voids may be calculated:

$$\%V = \frac{PEC_m - PUC_m}{PEC_m} \cdot 100$$

$$\%V_{(35:65)} = \frac{2471 - 1772}{2471} \cdot 100 = 28.28$$

$$\%V_{(40:60)} = \frac{2474 - 1798}{2474} \cdot 100 = 27.32$$

$$\%V_{(45:55)} = \frac{2477 - 1793}{2477} \cdot 100 = 27.61$$

$$\%V_{(50:50)} = \frac{2480 - 1784}{2480} \cdot 100 = 28.06$$

$$\%V_{(55:45)} = \frac{2483 - 1769}{2483} \cdot 100 = 28.75$$

$$\%V_{(60:40)} = \frac{2486 - 1750}{2486} \cdot 100 = 29.60$$

When the previous results are put into table form we may easily observe the optimum ratio of the aggregate mix:

In this case the optimum ratio obtained by way of a specially designed computer programme is 43:57, thereby obtaining the greater compacted unit weight and the smallest percentage of voids.

**2nd Step:** Determination of water quantity

A quantity of concrete is made in the laboratory using the optimum mix obtained together with the quantity of cement which is usually employed to obtain a specific concrete strength. The quantity of water should be strictly controlled during preparation in order to obtain the indicated consistency (settlement).

**1er Paso:** Determinar la relación óptima de la mezcla de los áridos. Se hacen mezclas de los áridos en las proporciones ya señaladas y a cada mezcla se le determina el peso unitario compactado.

Se determina el peso específico corriente de cada una de las mezclas anteriores por:

$$PEC_m = \frac{PEC_a \%A + PEC_g \%G}{100}$$

$$PEC_{(35:65)} = \frac{2510 \cdot 35 + 2450 \cdot 65}{100} = 2471$$

$$PEC_{(40:60)} = \frac{2510 \cdot 40 + 2450 \cdot 60}{100} = 2474$$

$$PEC_{(45:55)} = \frac{2510 \cdot 45 + 2450 \cdot 55}{100} = 2477$$

$$PEC_{(50:50)} = \frac{2510 \cdot 50 + 2450 \cdot 50}{100} = 2480$$

$$PEC_{(55:45)} = \frac{2510 \cdot 55 + 2450 \cdot 45}{100} = 2483$$

$$PEC_{(60:40)} = \frac{2510 \cdot 60 + 2450 \cdot 40}{100} = 2486$$

Con la serie de valores obtenidos anteriormente para cada una de las mezclas de los áridos, se determinan los % de vacíos.

$$\%V = \frac{PEC_m - PUC_m}{PEC_m} \cdot 100$$

$$\%V_{(35:65)} = \frac{2471 - 1772}{2471} \cdot 100 = 28.28$$

$$\%V_{(40:60)} = \frac{2474 - 1798}{2474} \cdot 100 = 27.32$$

$$\%V_{(45:55)} = \frac{2477 - 1793}{2477} \cdot 100 = 27.61$$

$$\%V_{(50:50)} = \frac{2480 - 1784}{2480} \cdot 100 = 28.06$$

$$\%V_{(55:45)} = \frac{2483 - 1769}{2483} \cdot 100 = 28.75$$

$$\%V_{(60:40)} = \frac{2486 - 1750}{2486} \cdot 100 = 29.60$$

Tabulando los resultados anteriores podemos observar con facilidad cual es la relación óptima de la mezcla de áridos.

PROPORCION ARENA GRAVA PROPORTION SAND COARSE AGGREGATE %	PESO ESPECÍFICO CORRIENTE SPECIFIED STANDARD MIX [kg/m <sup>3</sup> ]	PESO UNITARIO COMPACTADO COMPACTED UNIT WEIGHT [kg/m <sup>3</sup> ]	VACIO VOIDS %
35 65	2471	1772	28.28
40 60	2474	1798	27.32
45 55	2477	1793	27.61
50 50	2480	1784	28.06
55 45	2483	1769	28.75
60 40	2486	1750	29.61

En este caso la relación óptima es la de 43:57 obtenido por el Software creado al efecto, con la que se tiene el mayor peso unitario compactado y el menor porcentaje de vacío.

**2do Paso:** Determinación de la cantidad de agua

En el laboratorio se hace una cantidad de hormigón utilizando la mezcla óptima obtenida y una cantidad de

In this example 175 kg/m<sup>3</sup> of water and 350 kg/m<sup>3</sup> cement were employed.

At the same time it is necessary to carry out the general standardised tests on the type or batch of cement to be employed.

Once the required water content has been determined for a specific settlement, 18 test specimens should be made.

After 28 days the concrete and cement specimens are subjected to compressive testing and the results analysed in order to provide the data necessary for the next stage:

The data obtained from this example was:

Water quantity 175 kg/m<sup>3</sup>

Cement quantity 350 kg/ In this example 175 kg/m<sup>3</sup> of water and 350 kg/m<sup>3</sup> were employed

Compressive strength at 28 days

Cement 370 kgf/cm<sup>2</sup>

Concrete 305 kgf/cm<sup>2</sup> (See table below)

PROBETA / SPECIMEN	RESISTENCIA / STRENGTH (kgf/cm <sup>2</sup> )
1 - 2	300
3 - 4	307
5 - 6	309
7 - 8	302
9 - 10	308
11 - 12	310
13 - 14	298
15 - 16	305
17 - 18	307
PROMEDIO / AVERAGE	305

**3rd Step:** Determine characteristic "A" of the aggregates using the equation:

$$A = \frac{R_{h1}}{R_c (M_1 \cdot V + M_2)}$$

R<sub>h1</sub> and R<sub>c</sub> are already known

M<sub>1</sub> and M<sub>2</sub> are obtained from Table 1 of the O'Reilly Method for the required settlement values. In this case:

For settlement: 8cm

$$M_1 = 4.1427 \quad \text{and} \quad M_2 = 0.3375$$

The value V is obtained from the water/cement ratio of the experimental concrete. In this case:

In Table 2 of the O'Reilly Method value V is found from:

$$\text{Relación } \frac{a}{c} = w = \frac{175}{350} = 0.5$$

Where W = 0.50, V = 0.3010

When substituted in the equation

$$A = \frac{305}{370 (4.1427 \cdot 0.3010 + 0.3375)}$$

$$A = 0.5202$$

This step is ignored when characteristic "A" has been obtained by the PHYSICAL-MATHEMATICAL method and one passes directly to Step 4.

**Step 4:** When characteristic "A" of the aggregate and the necessary quantity of water to obtain the required settlement are known, we may then calculate the mix proportions of the required concrete.

Applying the following equation of the method:

$$V = \frac{\frac{R_{h2}}{R_c \cdot A} - M_2}{M_1}$$

where:

R<sub>h2</sub>: Compressive strength of required concrete at 28 days, in this example 210 kgf/cm<sup>2</sup>

A: 0.5202

R<sub>c</sub>: 350 kgf/cm<sup>2</sup> cement strength indicated by manufacturer

M<sub>1</sub> and M<sub>2</sub>: Values according to required settlement Ag = 8cm



cemento, igual a la que se acostumbra a usar para una determinada resistencia. Durante el proceso de preparación se hará un estricto control de la cantidad de agua para obtener la consistencia (asentamiento) señalado.

En este ejemplo suponemos que la cantidad de agua utilizada fue de 175 [kg/m<sup>3</sup>] y la cantidad de cemento de 350[kg/m<sup>3</sup>].

Al mismo tiempo se tienen que efectuar los ensayos generales normalizados al cemento del tipo o lote que se va a utilizar.

Una vez determinada la cantidad de agua requerida para un asentamiento deseado, se fabrican 18 probetas .

A los 28 días se someten a las probetas de hormigón y las del cemento a la compresión y se analizan estadísticamente los resultados de manera que tendremos los datos necesarios para pasar a la etapa siguiente:

Los datos de este ejemplo son:

Cantidad de agua 175 [kg/m<sup>3</sup>]  
Cantidad de cemento 350 [kg/m<sup>3</sup>]

Resistencia a la compresión a los 28 días

Del cemento 370 [kgf/cm<sup>2</sup>]  
Del hormigón 305 [kgf/cm<sup>2</sup>] (ver tabla adjunta).

**3er Paso:** Determinar la característica "A" de los áridos. Utilizamos la ecuación:

$$A = \frac{R_{h1}}{R_c (M_1 \cdot V + M_2)}$$

$R_{h1}$  y  $R_c$  son ya conocidos

$M_1$  y  $M_2$  se obtienen de la Tabla 1 del Método O'Reilly para los valores de asentamientos deseados. En este caso:

Para asentamiento: 8 [cm]

$$M_1 = 4.1427 \quad \text{y} \quad M_2 = 0.3375$$

El valor V se obtiene de la relación agua/cemento del hormigón experimental. En este caso:

En la tabla 2 del Método O'Reilly se obtiene el valor de V

$$\text{Relación } \frac{a}{c} = w = \frac{175}{350} = 0.5$$

que corresponde a  $W = 0.50$  que es  $V = 0.3010$

Sustituyendo la ecuación

$$A = \frac{305}{370 (4.1427 \cdot 0.3010 + 0.3375)}$$

$$A = 0.5202$$

En el caso de haber obtenido la característica "A" por el método FÍSICO-MATEMÁTICO se obvia todo este paso y se va directamente del Paso 2 al Paso 4.

**4to Paso:** Conocida la característica "A" del árido y la cantidad de agua necesaria para obtener la plasticidad (asentamiento) exigida podemos calcular la dosificación del hormigón deseado.

Aplicando la ecuación siguiente del Método tendremos que:

$$V = \frac{\frac{R_{h2}}{R_c \cdot A} - M_2}{M_1}$$

donde:

$R_{h2}$  : Es la resistencia a compresión a los 28 días del hormigón que se desea, en este ejemplo 210[kgf/cm<sup>2</sup>].

A : 0.5202

$R_c$  : 350 [kgf/cm<sup>2</sup>] resistencia del cemento dada por el fabricante

$M_1$  y  $M_2$  : Dependientes del asentamiento  $Ag = 8$  [cm] necesitado en nuestra obra

When substituted in the equation:

$$V = \frac{\frac{210}{350 \cdot 0.5202} - 0.3375}{4.1427}$$

$$V = 0.1969$$

From value V we then go to Table 2 to obtain the corresponding figure for "w"

$$\text{Where } V = 0.1969 \text{ and } w = 0.64$$

And as:

$$w = \frac{a}{c} \quad c = \frac{a}{w}$$

When substituting

$$a = \frac{175}{0.64} = 275 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

**5th Step:** When the necessary water and cement quantities, to obtain the required concrete strength, are known, we may then calculate the sand and gravel for 1m<sup>3</sup> of concrete.

We must consider that the sum of the absolute volumes of the component materials is equal to 1000 L and therefore:

$$V_c + V_{ag} + V_{ar} + V_{void} = 1000 \text{ [L]}$$

$$V_{ar} = 1000 - \left( \frac{C}{\gamma_c} + V_{ar} + V_{void} \right)$$

Where:

- C : Quantity of cement in weight
- $\gamma_c$  : Specific weight of the cement
- $V_{ar}$  : Volume of aggregates (sand and coarse aggregates) in litres
- $V_{ag}$  : Volume of water in litres
- $V_{void}$  : Volume of pores in litres: it is taken that for normal concretes the pores make up 2% as a result of air trapped during the mixing process.

When making a first substitution we know that:

$$\begin{aligned} C &= 275 \text{ kg/m}^3 \\ V_{ag} &= 175 \text{ L} \\ \gamma_c &= 3.14 \\ V_{void} &= 0.02 \cdot (1000) = 20 \text{ L} \end{aligned}$$

And thus:

$$V_{ar} = 1000 - \left( \frac{275}{3.14} + 175 + 20 \right)$$

$$V_{ar} = 717.4 \text{ [L]}$$

The aggregate weight is determined by:

$$\frac{\%A \cdot P_{ar}}{\gamma_a} + \frac{\%G \cdot P_{ar}}{\gamma_g} = V_{ar}$$

Knowing that:

- %A : Percentage of sand in the mix = 43%
- %G : Percentage of gravel in the mix = 57%
- $\gamma_a$  : Specific weight of the sand = 2.51
- $\gamma_g$  : Specific weight of the gravel = 2.45
- $V_{ar}$  : Volume of aggregates = 717.4 L
- $P_{ar}$  : Total weight of aggregates

$$P_{ar} \cdot \left( \frac{0.43}{2.51} + \frac{0.57}{2.45} \right) = 717.4$$

$$P_{ar} = \frac{717.4}{0.4039}$$

$$P_{ar} = 1776 \text{ [kg]}$$

Sustituyendo:

$$V = \frac{\frac{210}{350 \cdot 0.5202} - 0.3375}{4.1427}$$
$$V = 0.1969$$

Con este valor de V vamos a la Tabla 2 y obtenemos el valor de w correspondiente.

$$\text{Para } V = 0.1969 \text{ y } w = 0.64$$

Como:

$$w = \frac{a}{c} \quad c = \frac{a}{w}$$

Si empleamos:

$$a = \frac{175}{0.64} = 275 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

**5to Paso:** Conocida la cantidad de agua y cemento necesarias para obtener la resistencia del hormigón planificada, podemos calcular la cantidad de arena y grava para 1[m3] de hormigón. Debemos considerar que la suma de los volúmenes absolutos de los materiales componentes es igual 1000[L] por lo que:

$$V_c + V_{ag} + V_{ar} + V_{vacío} = 1000 \text{ [L]}$$

$$V_{ar} = 1000 - \left( \frac{C}{\gamma_c} + V_{ar} + V_{vacío} \right)$$

Donde:

- C : Cantidad de cemento en peso
- $\gamma_c$  : Peso específico del cemento
- $V_{ar}$  : Volumen de los áridos (arena y grava) en litros
- $V_{ag}$  : Volumen del agua en litros
- $V_{vacío}$  : Volumen de poros en litros: se supone que para hormigones normales, los poros constituyen el 2%, por el aire atrapado en el proceso de manipulación.

Haciendo una primera sustitución sabiendo que:

$$\begin{aligned} C &= 275 \text{ [kg/m}^3\text{]} \\ V_{ag} &= 175 \text{ [L]} \\ \gamma_c &= 3.14 \\ V_{vacío} &= 0.02 \cdot (1000) = 20 \text{ [L]} \end{aligned}$$

Obtendremos :

$$V_{ar} = 1000 - \left( \frac{275}{3.14} + 175 + 20 \right)$$

$$V_{ar} = 717.4 \text{ [L]}$$

El peso de los áridos se determina por:

$$\frac{\%A \cdot P_{ar}}{\gamma_a} + \frac{\%G \cdot P_{ar}}{\gamma_g} = V_{ar}$$

Sabiendo que:

- %A : Porcentaje de arena en la mezcla = 43%
- %G : Porcentaje de grava en la mezcla = 57%
- $\gamma_a$  : Peso específico de la arena = 2.51
- $\gamma_g$  : Peso específico de la grava = 2.45
- $V_{ar}$  : Volumen de áridos = 717.4 [L]
- $P_{ar}$  : Peso total de los áridos

$$P_{ar} \cdot \left( \frac{0.43}{2.51} + \frac{0.57}{2.45} \right) = 717.4$$

$$P_{ar} = \frac{717.4}{0.4039}$$

$$P_{ar} = 1776 \text{ [kg]}$$

PROPORTION	IN WEIGHT [kg]	IN ABSOLUTE VOLUME [Lt]
Sand = $1776 \cdot 0.43 =$	764.0	304.0
Gravel = $1776 \cdot 0.57 =$	1012.0	413.0
Cement =	275.0	87.6
Water =	175.0	175.0
TOTAL	2226.0	980.0

NOTE: a further mix should be made with this composition and the settlement measured and the final quantity of water adjusted as necessary. If necessary reduce the water.

#### BIBLIOGRAPHY

1. ARREDONDO, F.: *Dosificación de hormigones*. Instituto Eduardo Torroja, Madrid, (1969).
2. BERTHIER, J. et CALTAUX, C.: "Essai de forme des granulate". *Bulletin de Liaison des Laboratoires routiers* (Septembre-Octobre 1966).
3. BERZIN, D.V. y V.I., GALAKTIONOV : "Influencia de la forma de los áridos para la resistencia de los hormigones y morteros". *Stroitelnye Materialy*, No. 7, 1963.
4. BLOEM, D.L. and R.D., GAYMOR : "Effects of Aggregate Properties on Strength of Concrete" *ACI Journal*, No.10, Oct. 1963.
5. CAILLEÚX, A.: "Distinction des galets marins et fluviatiles", *Bull. Soc. Geol.*, France 5-1945.
6. Centro de Normas y Tipificación de la Construcción. Método de dosificación del Hormigón, La Habana, Abril 1976.
7. DANTINE, R. et LONGUEVILLE, P.: "Etude critique des méthodes de qualification des pierres utilisées dans les constructions routieres", *Mémoires du C.E.R.E.S.*, Liège, 1965.
8. FERET, R.: "New Investigation of the Form of Particles of Concrete", *ACI Journal*, Novembre 1938.
9. GOLDBEOK, A.T.: "An Investigation of the Effect of Flat and Elongated Pieces in Crushed Stone used as an Aggregate in Concrete Pavements", *The Crushed Stone Journal*, May 1930.
10. GORDON, S.: "Selección de la forma óptima de los áridos gruesos" *Stroitelnye Materialy* No.2, 1958.
11. HANSEN, T.C.: "Physical Composition of Hardened Portland Cement Paste", *ACI Journal*, No.5, 1970.
12. HORENI, J.: *Vliv tvarové jakosti krubého kameniva na pevnost a trvanlivost betonu*, Praha, září, 1968
13. KAPLAN, M.F. and R. JONES : "The Effect of Coarse Aggregate on the mode of Failure of Concrete in Compression and Flexure", *Magazine of Concrete Research*, No.26, 1957.
14. KAPLAN, M.F.: "The Effect of the Properties of Coarse Aggregates on the Workability of Concrete", *Magazine of Concrete Research*, No.29, Aug.1958.
15. : "Flexural and Compressive Strength of Concrete as Affected by the Properties of Coarse Aggregates", *ACI Journal*, No. 11, May. 1959.
16. Norma CSN 721172: Determinación de la granulometría y la forma de los granos de los áridos, Praha 1967.
17. O'REILLY, V.A.: *Influencia de las características de formas de los áridos sobre la consistencia de las mezclas de hormigón*, Habana, C.T.C.M., 1981.
18. : *Metodología para el diseño de la composición de las mezclas de hormigón de una consistencia requerida*, Habana, C.T.C.M. 1980.
19. : *Método para el diseño de mezclas de hormigón para las condiciones específicas de Cuba*, Habana, C.T.C.M. 1977
20. : *Metodología para el diseño de la composición de las mezclas de homigón de una consistencia requerida*, Habana, C.T.C.M. 1981.

DOSIFICACION	EN PESO [kg]	EN VOLUMEN ABSOLUTO [Lt]
Arena = $1776 \cdot 0.43 =$	764.0	304.0
Grava = $1776 \cdot 0.57 =$	1012.0	413.0
Cemento =	275.0	87.6
Agua=	175.0	175.0
TOTAL	2226.0	980.0

NOTA: Se debe hacer una nueva mezcla con esta composición y medir el asentamiento y ajustar la cantidad de agua final. Si es necesario, disminuir el agua.

#### BIBLIOGRAFIA

- 21 PAVLIK, DOLEZEL y FIEDLER: *Tecnología del hormigón*, Praha, 1973.
- 22 PAVILLON, A.: "Gravillons routiers, cubicité et qualité", *Annales de I.T.B.T.P.*, Mars 1974.
- 23 PANTLAND, A.: "A method of measuring the angularity of sand. Proc. and trans.", *Royal Society of Canada*, 3-21-1927.
- 24 PLAGEMANN, W.: *Der Einfluss der Kornform auf das Poren volumen und die Verdichtungswilligkeit stetig Zusammengesetzter Zuschlagstoffge menge*. Baustoffindustrie, 1966.
- 25 POWERS, T.C.: *The properties of fresh concrete*, J. Wiley and Sons, New York, 1968.
- 26 PYE, W.D.: "Sphericity-determinations of pebbles and sand grains", *Journal of Sedimentary Petrology*, 11 August 1941.
- 27 RIHA, J.: "Algunas nuevas posibilidades de la producción del hormigón con el ahorro máximo del cemento". Ciclo de conferencias sobre Tecnología del hormigón, La Habana, 1976.
- 28 : "Dependencia entre la composición y la consistencia de las mezclas de hormigón". Conferencias Científicas de hormigón 80 en Tratanska Lomnica, RSCH, 1980.
- 29 RIHA, J. y J. FILOUS: "Influencia de la consistencia de la mezcla de hormigón para las resistencias iniciales del hormigón con fraguado acelerado por calor." *Stavivo*, Praga, 1970.
- 30 RIHA, J. y J. STORK: *Tecnología de los elementos prefabricados*. Praga, 1970
- 31 : *Tecnología de elementos de construcción I*. Praga, 1964
- 32 RILEY, N.A.: "Projection Sphericity", *Journal of Sedimentary Petrology*. August 1941
- 33 SCHAFFNER, H.J.: *Abnahme des Böschungswinkels und Setzungen von Kornhaufwerken bei dynamischer Auregung in Abhängigkeit ven den Kornund Gefügeeigenschaften*. Mitteilungen der Forschungsanstalt für Schiffahrt, Wasser-und Grundbau Berlin, Heft 15, Berlin 1965.
- 34 SCHALOTMANN, B.: "Über der Einfluss der Zementleimmengeaul die Betondruckfestigkeit", *Beton*, No.10, (October 1964)
- 35 TICHELL, F.G.: *The examination of fragmental rocks*. Stanford University Press, 1931.
- 36 WADELL, H.: "Volume, shape and roundness of rock particles". *Journal of Geology*, 40, 1932.
- 37 : "Sphericity and roundness of rock particles". *Journal of Geology*, 41, 1933.
- 38 : "Shape determination of large sedimental rock fragments". *Pan American Geologist*, 61, 1934.
- 39 : "Some new Sedimentation Formulas". *Pysics*, 5, 1934.
- 40 : "Volume, Shape and roundness of quartz particles". *Journal of Geology*, 43, (1935)
- 41 WALKERS, S. and C.E. PROUDLEY: "Effects of Flat Particles on Concrete Making Properties of Gravel" *ASTM - Proceedings*, Junes 1929.

## Relación de Personal Titulado

### Arquitectos

Jalvo García, Jaime  
Luzón Cánovas, José M<sup>a</sup>

### Ingenieros de Caminos

Acón Robleda, Miguel Angel  
Aparicio Alonso, Angel  
Arroyo Pérez, José Alberto  
Calavera Ruiz, José  
Cortés Bretón, Juan María  
Corral Folgado, Claudio  
Cuesta Martín, José Ignacio  
Díaz Lozano, Justo  
Fernández Gómez, Jaime Antonio  
Ferrerías Eleta, Román  
González González, Juan José  
González Valle, Enrique  
Hostalet Alba, Francisco  
Izquierdo Bernaldo de Quirós, José M<sup>a</sup>  
Jordán de Urrés de la Riva, Jorge  
Ley Urzaiz, Jorge  
Penón Molins, Eduardo  
Rodríguez Escribano, Raul Rubén  
Rodríguez Moragón, Julio  
Sanz Pérez, Lorenzo  
Sirvent Sirvent, Enrique  
Tapia Menéndez, José  
Torre Cobo, María Carmen  
Verges Coll, David

### Ingeniero I.C.A.I.

Marín Estévez, Gonzalo

### Ingenieros Industriales

Alvarez Cabal, Ramón Amado  
Arroyo Arroyo, José Ramón  
Bueno Bueno, Jorge  
Durán Boldova, José Miguel  
Valenciano Carles, Federico

### Ingeniero de Telecomunicación

San José Arribas, José

### Licenciados en Ciencias Geológicas

Blanco Zorroza, Alberto  
Massana Milá, Joan  
Rodríguez Duque, Josu

### Licenciados en Ciencias Químicas

Grandes Velasco, Sylvia María  
López Sánchez, Pedro  
Morgado Sánchez, José Carlos

### Licenciada en Geografía e Historia

Calavera Vayá, Ana María

### Arquitectos Técnicos

Alvarez Begega, José Manuel  
Cervera García, Eduardo  
Custodio Sánchez, José M<sup>a</sup>

Díez García, Francisco Javier  
Fuente Rivera, Jesús de la  
Miranda Valdés, Javier  
Montejano Jiménez, María del Carmen  
Muñoz Mesto, Angel

### Diplomada en Ciencias Empresariales

De la Mano Calvo, Isabel M<sup>a</sup>

### Diplomado en Informática

Escudero Leiva, Juan Manuel

### Ingenieros Técnicos Industriales

Díaz-Trechuelo Laffón, Antonio  
González Carmona, Manuel  
Madueño Moraño, Antonio  
Sánchez Orgaz, Miguel Angel

### Ingeniero Técnico de Minas

Ballesteros Peinado, Luis Alberto

### Ingenieros Técnicos Obras Públicas

Alañón Juárez, Alejandro  
Aranda Cabezas, Lluís  
Blanco García, Fernando  
Carrero Crespo, Rafael  
Esteban García, Juan José  
Galán de Cáceres, M<sup>a</sup> del Puerto  
González Isabel, Germán  
González Nuño, Luis  
Mata Soriano, Juan Carlos  
Montiel Sánchez, Ernesto  
Muñoz Mesto, Angel  
Peña Muñoz, Roberto  
Rosa Moreno, José Andrés  
Rozas Hernando, José Juan  
Sánchez Vicente, Andrés  
Valdeita Gómez, M<sup>a</sup> del Mar

### Ingenieros Técnicos Topógrafos

Barragán Bermejo, M<sup>a</sup> Vicenta  
Carreras Ruiz, Francisco  
García Martín, M<sup>a</sup> Mercedes  
Molero Vicente, M<sup>a</sup> Isabel

### Profesores Mercantiles

González Alvarez, Vicente  
Sampedro Portas, Arturo

### Técnico en Administración de Empresas

González del Olmo, M<sup>a</sup> de la Peña de F.

### Técnico en Informática

García Rodríguez, Juan Tomás

### Técnico en Publicidad

Blanco Armas, Cristina

### Topógrafo

Alquézar Falceto, Ricardo

## CUADERNOS INTEMAC



CUADERNOS INTEMAC es una publicación trimestral, bilingüe en español e inglés, en forma de monografías que recogen trabajos realizados por los técnicos del Instituto o presentados en los Cursos y Conferencias organizados por el mismo.

Los temas tratados cubren tanto el campo de las Obras Públicas como el de la Edificación y sus Instalaciones.

### ULTIMOS TITULOS PUBLICADOS

**Cuaderno Nº 19**  
 "Rehabilitación y durabilidad de fachadas de piedra".  
 Autores: **J. M<sup>a</sup>. CORTES BRETON.**  
 Dr. Ingeniero de Caminos.  
**J. M. FERNANDEZ PARIS.**  
 Ingeniero Técnico Industrial Químico.

**Cuaderno Nº 20**  
 "Métodos para dosificar mezclas de hormigón".  
 Autor: **Prof. VITERBO A. O'REILLY DIAZ.**  
 Dr. Ingeniero Civil.

### CUADERNOS DE PROXIMA APARICION

**Cuaderno Nº 21**  
 "Patología de estructuras de madera".  
 Autor: **J. M<sup>a</sup>. IZQUIERDO BERNALDO DE QUIROS.**  
 Ingeniero de Caminos.

**Cuaderno Nº 23**  
 "Proyecto de estructuras de hormigón frente al fuego".  
 Autor: **J. M<sup>a</sup>. IZQUIERDO BERNALDO DE QUIROS.**  
 Ingeniero de Caminos.

**Cuaderno Nº 22**  
 "Un resumen de investigaciones realizadas por INTEMAC sobre armaduras de hormigón armado".  
 Autores: **Prof. J. CALAVERA RUIZ.**  
**Prof. J. FERNANDEZ GOMEZ.**  
 Dres. Ingenieros de Caminos.

## VIDEOS TECNICOS



INTEMAC, dentro de sus actividades en el campo de la formación, ha iniciado la edición de una serie de VIDEOS TECNICOS, analizando distintos campos de la construcción.

### SERIE OBRAS DE HORMIGON EN MASA, ARMADO Y PRETENSADO.

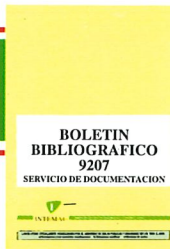
REFERENCIA	TITULO	CONTENIDO	DURACION	PRECIO
Nº 8801 (1)	FABRICACION Y ENSAYO DE PROBETAS DE HORMIGON	Contempla, de forma completa y detallada, el proceso de toma de muestras de hormigón fresco en obra, medida de consistencia con el cono de Abrams, fabricación de probetas, curado en obra, transporte al laboratorio, curado en cámara, refrentado y ensayo a compresión.	27 min.	80.000 ptas* IVA INCLUIDO

#### EN PREPARACION

REFERENCIA	TITULO	REFERENCIA	TITULO
Nº 8802 (2)	MUESTREO Y ENSAYO DE ARMADURAS DE HORMIGON ARMADO Y PRETENSADO	Nº 9002 (6)	EJECUCION DE ESTRUCTURAS DE HORMIGON (II)
Nº 8901 (3)	PIEZAS DE HORMIGON ARMADO SOMETIDAS A FLEXION SIMPLE...	Nº 9101 (7)	PIEZAS DE HORMIGON ARMADO SOMETIDAS A ESFUERZO CORTANTE
Nº 8902 (4)	PIEZAS DE HORMIGON ARMADO SOMETIDAS A COMPRESION	Nº 9102 (8)	PIEZAS DE HORMIGON PRETENSADO SOMETIDAS A FLEXION SIMPLE
Nº 9001 (5)	EJECUCION DE ESTRUCTURAS DE HORMIGON (I)		

\* PRECIO para entregas dentro del territorio español

## BOLETIN BIBLIOGRAFICO



INTEMAC viene realizando desde su fundación un BOLETIN BIBLIOGRAFICO para uso interno, que ofrece, en una lectura rápida, un panorama general de todas las publicaciones técnicas disponibles. Desde 1991, esta publicación bimestral, ha sido puesta a disposición del público.

El BOLETIN BIBLIOGRAFICO incluye:

- Fotocopia del índice y de los resúmenes de los artículos contenidos en las 105 revistas técnicas que se reciben en el Instituto referentes a los campos de la Edificación, Instalaciones, Obras Públicas y Urbanismo.
- Una sección de Normativa reciente, nacional y extranjera.
- Secciones de Bibliografía y Cursos.
- Una sección de Congresos, Reuniones Técnicas y Ferias de próxima celebración en todo el mundo.
- **Tarifa de suscripción anual (6 números) . . . . . 18.000 ptas.**

## CONSULTAS E INFORMES BIBLIOGRAFICOS



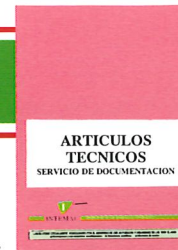
EL INSTITUTO tiene un SERVICIO DE DOCUMENTACION, que pone a su disposición y que le puede informar sobre cualquier tema relacionado con la Edificación, Instalaciones, Obra Civil y Urbanismo. Se efectúan CONSULTAS BIBLIOGRAFICAS sobre cualquiera de los temas indicados anteriormente, de acuerdo con las siguientes tarifas:

Apertura de expediente . . . . .	2.000 ptas.
Cantidad a abonar por referencia . . . . .	60 ptas.
Cantidad a abonar por hoja de fotocopia de documento . . . . .	15 ptas.

Además de la Consulta Bibliográfica correspondiente, el INFORME BIBLIOGRAFICO contiene un breve documento redactado por un especialista en el tema, miembro de INTEMAC, con una serie de recomendaciones sobre la Bibliografía básica, así como los comentarios correspondientes.

Tarifa correspondiente al Informe Bibliográfico: **15.000 ptas.** más la tarifa de la consulta.

## ARTICULOS TECNICOS



INTEMAC dispone de una amplia serie de trabajos publicados por nuestros técnicos en diferentes revistas. A continuación incluimos la lista de los últimos.

Si está Vd. interesado, solicite relación completa de títulos.

- 55 DEFECTOS DE ESTANQUEIDAD Y ADECUACION TECNICA AL MEDIO DE UN EDIFICIO DOCENTE. Arrechea Veramendi, F.; Cortés Bretón, J. M<sup>a</sup>.; Jordán de Urries, J.
- 56 ASPECTOS HUMANOS Y PSICOLOGICOS EN LA IMPLANTACION DEL CONTROL DE CALIDAD DE CONSTRUCCION. Calavera, J.
- 57 ALGUNOS COMENTARIOS A LA EH-91. Calavera, J.
- 58 PROYECTOS DE DOSIFICACION DE UN HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA. Calavera, J.; Fernández Gómez, J.; Jai, J.
- 59 EVOLUCION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE UN HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA CON DIFERENTES TIPOS DE CURADO. Calavera, J.; Fernández Gómez, J.; Jai, J.
- 60 WELDED METAL STRUCTURE BUILDINGS IN SPAIN. LATEST DEVELOPMENTS. Cortés, J. M<sup>a</sup>.; Jordán de Urries, J.; Díaz Trechuelo, A.
- 61 HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA. EL PUENTE SOBRE EL RIO EO. Delibes, A.; Fernández Gómez, J.; Fernández Molina, E.
- 62 FORJADOS MIXTOS DE CHAPA Y HORMIGON. Jordán de Urries, J.
- 63 RECIENTES EXPERIENCIAS Y TRES CASOS SIGNIFICATIVOS DE INSPECCION, DIAGNOSTICO Y REPARACION DE DAÑOS DE VIGUETAS PREFABRICADAS CON CEMENTO ALUMINOSO. Delibes, A.; Díaz Lozano, J.; González Valle, E.; Ley, J.; López Sanchez, P.

P.V.P. 300 ptas. / ejemplar.

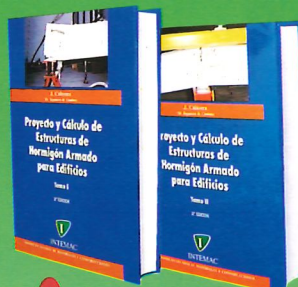
# PUBLICACIONES



1



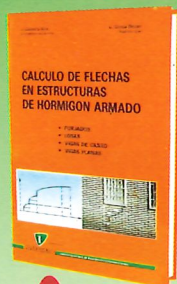
2



3



4



5



6



7



8

NEVAS PUBLICACIONES

## 1 CALCULO, CONSTRUCCION Y PATOLOGIA DE FORJADOS DE EDIFICACION

- Autor: *J. Calavera*
- 4ª edición, 1988.
- 678 páginas.
- Encuadernación en guaflex.
- 344 figuras. 93 tablas y ábacos. 188 detalles constructivos. 16 ejemplos resueltos. 159 referencias bibliográficas.
- Precio: 7.900 ptas.

## 3 PROYECTO Y CALCULO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO PARA EDIFICIOS

- Autor: *J. Calavera*
- 2ª edición, 1991, de acuerdo con las Instrucciones EH-91 y EF-88, con referencia al EUROCODIGO EC-2, Model Code CEB-FIP 1990 y ACI 318-89.

### TOMO I: CALCULO DE ESFUERZOS

- 568 páginas.
- Encuadernación en guaflex.
- 73 figuras. 90 gráficos y tablas auxiliares.

### TOMO II: DIMENSIONAMIENTO Y DETALLES CONSTRUCTIVOS

- 871 páginas.
- Encuadernación en guaflex.
- 61 figuras. 142 gráficos y tablas auxiliares.
- Precio de la obra completa: 17.500 ptas.

## 4 CALCULO DE ESTRUCTURAS DE CIMENTACION

- Autor: *J. Calavera*
- 3ª edición, 1991, de acuerdo con la Instrucción EH-91 con referencia al EUROCODIGO EC-2, Model Code CEB-FIP 1990 y ACI 318-89.
- 418 páginas.
- Encuadernación en guaflex.
- 40 tablas para el dimensionamiento directo de zapatas corridas y aisladas.
- Precio: 8.000 ptas.

## 5 CALCULO DE FLECHAS EN ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO

- Autores: *J. Calavera* • *L. García Dutari*
- Edición 1992.
- De acuerdo con las Instrucciones EH-91 y EF-88, el EUROCODIGO EC-2, el Model Code CEB-FIP/1990 y la Norma Norteamericana ACI 318-89.
- 336 páginas.
- Encuadernación en guaflex.
- 312 tablas de comprobación de forjados, losas, vigas de canto y vigas planas.
- Diskette conteniendo tres programas informáticos de Cálculo de Flechas, para secciones de forma cualquiera.
- Precio: 7.400 ptas.

## 6 HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA

- Autor: *G. González - Isabel*
- Edición 1993.
- 316 páginas.
- Encuadernación en guaflex.
- 34 ejemplos de dosificaciones tipo. 111 figuras. 87 tablas auxiliares. 189 referencias bibliográficas.
- Contenido: características, dosificación, puesta en obra y posibilidades del Hormigón de Alta Resistencia.
- Precio: 6.500 ptas.

## 7 MANUAL DE DETALLES CONSTRUCTIVOS EN OBRAS DE HORMIGON ARMADO

- Autor: *J. Calavera*
- Edición 1993.
- 506 páginas.
- Encuadernación en guaflex.
- 210 detalles constructivos con comentarios y recomendaciones.
- Además del libro se ha editado un Paquete informático consistente en 6 diskettes de 3,5" con ficheros en AutoCAD versión 10 (compatible con las versiones AutoCAD 11 y 12) conteniendo los 210 Detalles Constructivos, para su salida por impresora o plotter después de adaptar, si se desea, cada Detalle a las condiciones de cada proyecto concreto y un Manual de Instrucciones. No contiene las páginas de Comentarios y Recomendaciones incluidas en el libro.
- Precio del libro: 16.000 ptas.
- Precio del paquete informático (manual de instrucciones y diskettes): 30.000 ptas.

## 8 TECNOLOGIA Y PROPIEDADES MECANICAS DEL HORMIGON

- Autor: *A. Delibes*
- 2ª edición, 1994.
- 416 páginas.
- Encuadernación en guaflex.
- Precio: 7.500 ptas.

### BARCELONA

Antón Fortuny 14-16. Esc. C. 4.º 2.ª  
Tel. (93) 473 85 00 • Fax: (93) 473 79 32.  
08950 Esplugues de Llobregat

### MADRID

Monte Esquinza, 30, 4.º D.  
Tel.: (91) 310 51 58 • Fax: (91) 308 58 65.  
28010 MADRID.

### SEVILLA

Héroes de Toledo, s/n. Edif. Toledo, 2, pl. 3ª, módulo 10.  
Tel.: (95) 465 64 11 • Fax: (95) 465 65 04.  
41006 SEVILLA.

### VALLADOLID

C/Pirita; Parcela 221, Nave A-6 Polígono de San Cristóbal.  
Tel.: (983) 29 22 44 • Fax: (983) 29 23 78.  
47012 VALLADOLID.



INTEMAC