

CUADERNOS INTEMAC

Color y textura en el hormigón estructural

Colour and texture of structural concrete

Prof. José Manuel Pérez Luzardo



INTEMAC

INSTITUTO TECNICO DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

N.º 4

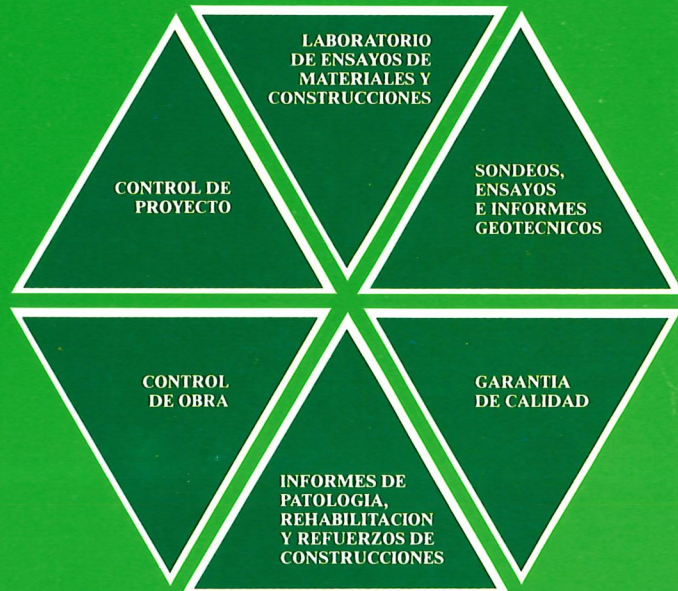
4.º TRIMESTRE. '91



INTEMAC

INSTITUTO TECNICO DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

OBRAS PUBLICAS
EDIFICACION
INSTALACIONES



INTEMAC
AUDIT



AUDITORIA TECNICO-ECONOMICA
DE CONSTRUCCIONES

COLOR Y TEXTURA EN EL HORMIGON ESTRUCTURAL(*)

COLOUR AND TEXTURE OF STRUCTURAL CONCRETE(*)



José Manuel Pérez Luzardo
Dr. Arquitecto
Doctor in Architecture

Profesor Asociado al Departamento de
Construcción de la Escuela Técnica Superior
de Arquitectura de las Palmas.

Lecturer at the Construction
Department of the Las Palmas
College of Architecture.

(*) Esta publicación es un resumen del trabajo de investigación realizado por el autor como Tesis Doctoral en la Escuela de Arquitectura de Las Palmas (Gran Canaria) bajo la dirección del Profesor D. José Calavera Ruiz (U. Politécnica de Madrid). Fue tutor de la Tesis el Profesor D. Francisco Ortega Andrade (U. de Las Palmas de Gran Canaria).

(*) This publication is a summary of the research carried out by the author for his doctoral Thesis at the Las Palmas College of Architecture (Canary Islands) under the direction of Professor José Calavera Ruiz (Polytechnical University of Madrid). The tutor of the Thesis was Professor Francisco Ortega Andrade (University of Las Palmas de Gran Canaria).

Copyright © 1992, 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.

ISBN 84-87892-04-3

Depósito legal: M-15.259-1991
Torreangulo Arte Gráfico, S. A. - Batalla de Belchite, 19

INDEX

1. INTRODUCTION
2. THE ADDITION OF PIGMENT, CODES AND STANDARDS
3. COLOURING PIGMENTS FOR CONCRETE, PASTES AND MORTARS
4. TEST PLAN
5. RESULTS
6. COMMON ERRORS IN THE USE OF PIGMENTS
7. CONCLUSIONS
8. OTHER INVESTIGATIONS
9. BIBLIOGRAPHY

INDICE

1. INTRODUCCION
2. EL PIGMENTO COMO ADITIVO, NORMAS Y STANDARDS
3. PIGMENTOS COLORANTES DE HORMIGONES, PASTAS Y MORTEROS
4. PLAN DE ENSAYOS
5. RESULTADOS OBTENIDOS
6. ERRORES MAS FRECUENTES EN EL USO DE LOS PIGMENTOS
7. CONCLUSIONES
8. OTRAS INVESTIGACIONES
9. BIBLIOGRAFIA

1. INTRODUCTION

The use of "visible" reinforced concrete, in structural and resistant members and in closing elements, is an alternative used by the designer against deterioration and aging of buildings. However, this material, which is made up of phonolitic or basaltic aggregates and PA-350 cement (Portland cement with the addition of natural puzzolanas) which is the most commonly used cement in the Canary Islands, has a natural grey tonality which invariably induces in the observer a feeling that the work is incomplete or unfinished. The idea of colouring the concrete came about as a result of this sensation: On one hand, it is clear that a building constructed in this stony and mouldable material will be solid and will require little maintenance, on the other hand if colour is added it dispels the feeling of dreariness conferred by the grey uniformity of the facings.

The colouring of concrete may be carried out in different ways: Experiments have been made using coloured cements and sands and others by way of aggregates, mainly by naturally coloured limestone. The simplest method has been employed in order to carry out the present work, and involves the use of normal construction concrete which contain coloured pigments.

2. THE ADDITION OF PIGMENT, CODES AND STANDARDS

Pigment mixed in with the cement in order to give it colour is evidently an addition, and as such has to comply with that established in the different rulings regarding their use in concrete, pastes and mortars.

- IEH-91: The Instruction for the Design and Execution of Concrete works in Mixed or Reinforced Concrete in the revision dated the 28 June 1991, confirms what was previously established and makes no specific reference to one type of addition. It refers to the correct packaging, supply and guarantee of the manufacturer and fundamentally the carrying out of previous laboratory tests to ensure that the remaining properties do not vary.

- UNE CODES (SPANISH CODE): The UNE codes on additions (series 83,200) regulate the tests to be made in order to know the characteristics of these same. The use of pigments is only mentioned in point 5.7.4.: Colourings, of the UNE 83,200/84, and is limited to a statement on their basic function.

- GUIDE ACI-212: In this respect urges the carrying out of laboratory tests into the properties of concrete with additions.

It warns of the possibility of a modification of properties when using finely sifted mineral additions.

There is a small section, (7.5) on the use of colouring additions, which indicates the corresponding addition for the colour required and details the requirements demanded of the same.

Proportions less than 6 % of the weight of the cement do not alter the concrete's properties.

Lastly, it points out the different intensities of colour according to the pigment's origin, the difficulty in obtaining bright blues and greens and the care to be taken with efflorescence.

- ASTM C979-82-86 (Standard Specification for Pigments for integrally Coloured Concrete): This Standard gives the characteristics required for solid pigments applied in powder form and in some cases the characteristics of the concrete mix.

It should be pointed out that pigments which diminish the compressive strength of the concrete by 10 % should be rejected.

And that any other addition to be added to the concrete be tested together with the pigment.

- BS 1014/1975: (Pigments for Portland cement and Portland cement products). British Standards Institution: Establishes the minimum content of the main component for each type of pigment, eliminating those that contain minerals in the form of impurities, as may be the case of lead and zinc, and which negatively affect the concrete's properties.

1. INTRODUCCION

La utilización del hormigón armado «a la vista», tanto en piezas estructurales y resistentes, como en elementos de cerramiento, es un recurso utilizado por el proyectista como respuesta frente al deterioro y envejecimiento de los edificios. Ahora bien, este material, realizado con áridos fonolíticos o basálticos y el cemento de uso más extendido en las Islas Canarias, el PA-350 (Portland con adición de puzolanas naturales), presenta, en su color natural, tonalidades grises que, invariablemente, originan en el espectador un sentimiento de obra inacabada, falta de terminación. La idea de colorear el hormigón surge de esa sensación: por un lado, es evidente que un edificio construido con este material pétreo y moldeable presentará una solidez y bajo mantenimiento por encima de toda duda, por otro, si se le añade color se disipará esa tristeza que le confiere la uniformidad grisácea de los paramentos.

La coloración del hormigón se logra de maneras diferentes: existen algunas experiencias a partir de la utilización de cementos o arenas coloreadas y otras en las que se consigue por medio de los áridos, provenientes, de manera principal, de calizas de colores naturales. Para la realización de este presente trabajo se ha adoptado el modo más sencillo, que permite utilizar los hormigones habituales en la construcción, por medio de la adición, en su masa, de pigmentos colorantes.

2. EL PIGMENTO COMO ADITIVO, NORMAS Y STANDARDS

El pigmento introducido en la masa del hormigón para dotarlo de color es, evidentemente, un aditivo, por lo cual ha de cumplir con lo establecido para éstos por las diferentes reglamentaciones sobre su utilización en los hormigones, pastas y morteros.

- IEH-91: La Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de Obras de Hormigón en Masa o Armado en su revisión, de 28 de junio de 1991, confirma, lo establecido en las anteriores en las que, sin referencia específica a algún aditivo, se remite al correcto envasado, suministro y garantía del fabricante y, primordialmente, a la realización en laboratorio, y para cada obra, de ensayos previos del hormigón que aseguren la no variabilidad de sus restantes propiedades.
- NORMAS UNE (UNA NORMA ESPAÑOLA): Las normas UNE sobre aditivos (serie 83.200) regulan los ensayos a realizar para conocer las características de éstos. Específicamente en el caso de los pigmentos sólo los menciona en el punto 5.7.4.: Colorantes, de la UNE 83.200/84, limitándose a enunciar su función principal.
- GUIA ACI-212: Destinada al empleo de aditivos en el hormigón, insta a la realización de ensayos de laboratorio sobre las propiedades del hormigón aditivado.

Advierte acerca de la posibilidad de modificación de propiedades con el empleo de aditivos minerales finalmente divididos.

Dedica un pequeño apartado, (el 7.5), a los aditivos colorantes, indicando los adecuados según el color deseado y señalando los requisitos exigibles a éstos.

Las dosificaciones menores del 6 % de peso en cemento no alteran las propiedades del hormigón.

Hace notar, por último, las diferentes intensidades de color según la procedencia del pigmento, la dificultad de obtención de colores azules intensos y verdes y el cuidado a tener con las eflorescencias.

- ASTM C979-82-86 (Standard Specification for Pigments for Integral Colored Concrete): Este Standard regula para los pigmentos sólidos suministrados en forma de polvo las características que han de presentar tanto por sí mismos, como, en algunos casos en la pasta de hormigonado.

Hay que resaltar que es criterio de rechazo el pigmento que disminuya más de un 10 % la resistencia a compresión del hormigón.

Igualmente, cualquier otro aditivo a añadir al hormigón se ensayará conjuntamente con el pigmento.

- BS 1014/1975: (Pigments for Portland cement and Portland cement products). British Standards Institution: Fija para cada tipo de pigmento, el contenido mínimo del componente principal, eliminando aquéllos que, en forma de impurezas, contengan minerales, como puede ser el plomo o el zinc, que afectan negativamente a algunas de las propiedades de los hormigones.

It accepts upward or downward differences of thirty minutes in the setting times and of 20 % for strength, in comparison with identical samples without pigmentation.

It recommends that the pigment should not proportionally exceed 10 % of the weight of the cement and warns of the lack of compatibility of the size of particles of the pigment mixture which will lead to the domination of the colour having the larger particles.

3. COLOURING PIGMENTS FOR CONCRETE, PASTES AND MORTARS

- Definition: Pigments are fine particles of powder, which are chemically inert, and insoluble in their given medium and colour the material to which they are added.

Pigments employed for the colouring of concrete should be insoluble in both water and aggregate, resistant to the alkaline paste of the cement and to the elements, stable to light, and should be firmly embedded with the aggregates in the cement on setting.

- Properties of Pigments: In addition to the characteristics detailed in the definition of the pigments they should also have: great colouring properties, brightness and light and the colour tone required; uniformity in size and fineness of the component particles, guaranteed supply, and be of recent manufacture and low cost.
- Types of Pigment: There are two types of pigment: Natural or organic pigments and synthetic or inorganic pigments.

a) *Organic pigments:*

Organic pigments may be natural or micronized.

Natural pigments coming from mining extractions, from different regions all over the world, are calcinated at high temperatures and are then screened to reduce the size of the particles and to control the colour. Calcinated natural soil, generally iron oxides, are sifted until they have a uniform grain size of around 5 to 7 mm. They then pass through several rollers until the grains are reduced to between 10 and 50 microns. The manufacturers of these pigments must guarantee that 99.99 % of the particles are not above the said size. The control of uniformity of the pigment colour takes place during the refining process.

Up to here we have described the pigments known as "natural soils". If the above process is not concluded, and the particles are pressurized in a micronization chamber and impelled at high speed, they then collide with each other and reduce the average size of the particle to 5 microns. This then gives us natural micronized pigments. With this type of pigment there is a notable improvement of dispersion and consequently in its colouring capacity.

The only natural pigments suitable are those derived from metal oxides. Ferrous and ferric oxides are almost exclusively used for the range of blacks, reds and yellows, the latter two being combined to form the range of ochres. Natural chromium oxides are used to obtain green colours.

Only pure minerals guarantee that strength is not affected and those components that contain some hydroxide and thereby requiring oxygen, as is the case of humus, sugars, alcohol or starches are strictly forbidden as colourings for concrete.

b) *Inorganic pigments:*

Synthetic pigments are obtained by the chemical precipitation of ferrous-ferric sulfate crystals and sodium hydroxides. Compressed air is used as a catalyst and by adding iron (for red, yellows, ochres and blacks) chromium (green) and cobalt (blue), in precise quantities, oxides are formed by the added mineral in the way of paste.

The resulting paste, once neutralized and with the required pH is then subjected to a similar process to that for natural pigments, (screening, bombardment of particles, etc...) until the particle size is no greater than 1 micron.

Admite diferencias, por exceso o por defecto, de treinta minutos en los tiempos de fraguado y del 20 % en la resistencia, comparados con muestras iguales sin pigmentar.

Recomienda no sobrepasar el 10 % del peso del cemento en la proporción del pigmento y advierte acerca de la compatibilidad del tamaño de las partículas en la mezcla de pigmentos ya que de lo contrario acaba dominando el color de aquél que tenga la partícula mayor.

3. PIGMENTOS COLORANTES DE HORMIGONES, PASTAS Y MORTEROS

- Definición: Los pigmentos son finas partículas de polvos, químicamente inertes, insolubles en su medio dado y que dotan de color al material al cual se añaden.

Los usados para colorear el hormigón deben ser insolubles, tanto en el agua como en los agregados, resistentes tanto a la alcalina pasta de cemento como a la intemperie, estables a la luz y debe quedar firmemente embebido, con los finos, en el cemento cuando endurezca.

- Propiedades de los pigmentos: De manera general y como complemento a las características que se enuncian en la propia definición de pigmento, a éste hay que pedirle además: gran capacidad de tinte; brillo, luminosidad y tono de color el deseado; uniformidad en el tamaño y finura de las partículas que lo componen, garantía en el suministro, fabricación reciente y bajo costo.
- Tipos de pigmentos: Existen dos grupos de pigmentos: los naturales o pigmentos orgánicos y los sintéticos o pigmentos inorgánicos.

a) *Pigmentos orgánicos:*

Los pigmentos orgánicos pueden ser naturales, propiamente nombrados, o micronizados.

Los pigmentos naturales de procedencia de extracciones mineras, localizados en distintas regiones del mundo son calcinados a elevadas temperaturas y se hacen pasar por sucesivos tamices para reducir el tamaño de las partículas y control de su color. La tierra natural calcinada, generalmente óxidos de hierro, se tamiza hasta conseguir un tamaño uniforme de los granos de unos 5 a 7 mm. Posteriormente se hacen pasar por varios rodillos que reducen el mismo hasta alcanzar un rango de partícula que va desde las 10 a las 50 micras. Los fabricantes de dichos pigmentos deben garantizar que el 99,99 % de aquéllas no superan dicho tamaño. El control de la uniformidad de color del pigmento tiene lugar en este proceso de refinado.

Hasta aquí tendríamos los pigmentos denominados «tierras naturales». Si el proceso anterior no concluye, sino que se someten las partículas a una cámara de micronización, donde son sometidas a presión e impulsadas a grandes velocidades, chocando unas con otras, logrando un tamaño medio aquéllas de 5 micras, tendríamos los pigmentos naturales micronizados. Con ellos se mejoran notablemente la dispersión y, consecuentemente, la capacidad de tinte.

Los únicos pigmentos naturales válidos son los derivados de óxidos de metales y de manera casi exclusiva los óxidos ferrosos y férricos para la gama de negros, rojos y amarillos y ocre como combinación de los dos anteriores y los óxidos naturales de cromo para la obtención del color verde.

Únicamente los minerales puros garantizan el no afectar a la resistencia y aquellos componentes que en su formulación entre algún hidroxilado, ávido, por tanto, de oxígeno, como pueden ser el humus, los azúcares, alcoholes o almidones quedan terminantemente excluidos su uso como colorantes en el hormigón.

b) *Pigmentos inorgánicos:*

Los pigmentos sintéticos se obtienen por medio de la precipitación química de cristales de sulfatos ferroso-férricos e hidróxidos de sodio. Usando aire comprimido como catalizador y añadiendo, fundamentalmente hierro (rojos, amarillos, ocre y negros), cromo (verde), cobalto (azul), en cantidades precisas se forman de óxidos del mineral añadido, en forma de pasta.

A esta pasta obtenida, una vez neutralizada y con el PH requerido, es sometido a un proceso similar al de los pigmentos naturales (pase por tamiz, bombardeo de partículas, etc...), hasta obtener tamaños de partículas que no superan 1 micra.

The most important inorganic pigments, in accordance with the given colour and general chemical formula are:

COLOUR	CHEMICAL F.	DENOMINATION	COMMON NAME
White	TiO ₂	Titanium Dioxide	Titanium Dioxide
Black	Fe ₃ O ₄	Ferric Oxide	Black iron oxide
Red	x-Fe ₂ O ₃	Ferrous Oxide	Red iron oxide
Yellow	x-FeOOH	Ferrous Hydroxide	Yellow iron oxide
Green	x-Cr ₂ O ₃	Chromium Oxide	Green chrom. oxide
Blue	Co Al ₂ O ₄	Cobalt Aluminate	Cobalt blue
Ochres			Ochre
Sienna	mixture of Fe ₂ O ₃ or Fe ₃ O ₄ with Fe ₂ O ₄		Sienna iron oxide
Earth			Earth

Different colours and tones are found in the most commonly known iron oxide pigments. For example, the red iron oxides range in tone from vermilion to violet, while the other oxides give us black or yellow.

The red ferrous oxide is the most stable of all the different iron oxidation degrees, and any of the other colours will derive the appropriate conditions of the same.

All pigments, excepting ochre and sienna pigments, which are the oxides of a mineral are, basically, of uniform composition, with the exceptions of green and blue colours.

The colour green generally comes from chromium oxide. However, complex formulae using Cobalt, Nickel, Zinc, Titanium and Aluminium are used to obtain a brighter green which is more stable when exposed to light. The colour blue, derived from cobalt, may be incompatible with the concrete mix, and can be substituted by Phtalocianine with copper oxides.

As may be seen in the Bibliography, almost all the publications on coloured concrete deal with the types of pigments and their characteristics, (method of manufacture, chemical composition, size of particles, etc...), the stability of the colour with the passing of time and its suitability for pigmenting concrete.

Very little has been published regarding the physical-mechanical characteristics of both freshly mixed and set concrete, especially regarding durability and transformation of concrete or on the supposition that pigments are inert in the hydration of cement. This is due to the fact that the majority of the publications have been carried out by the manufacturers of pigments and have generally been focussed on the production of building materials such as paving slabs, artificial stone, roof tiles and prefabricated cladding, and completely ignoring the structural concrete poured on site. As a result it is necessary to make a complete study of the physical-mechanical properties of both fresh and set structural concrete, and to monitor the same over long periods of time.

The lack of buildings employing coloured structural concrete and the author's conviction of their validity have led to the making of this investigation from two respects: Laboratory and on site experiment.

4. TEST PLAN

a) *Test objectives:*

- Investigate the variation in mechanical characteristics caused by the addition of pigments.
- Preparation of tables showing the intensity of colour for each pigment.
- Classification of samples of shuttering, textures and superficial treatment of pigmented concrete.

Los inorgánicos más importantes, según el color que aportan y fórmula química general, serían:

COLOR	F. QUIMICA	DENOMINACION	NOMBRE COMUN
Blanco	TiO ₂	Dióxido de Titanio	Dióxido de Titanio
Negro	Fe ₃ O ₄	Oxido Férrico	Oxido de hierro negro
Rojo	x-Fe ₂ O ₃	Oxido Ferroso	Oxido de hierro rojo
Amarillo	x-FeOOH	Hidróxido Ferroso	Oxido de hierro amarillo
Verde	x-Cr ₂ O ₃	Oxido de Cromo	Oxido de cromo verde
Azul	Co A12 O4	Aluminato de cobalto	Azul Cobalto
Ocres			Ocre
Siena	mezcla de Fe OO H ó Fe ₂ O ₃ con Fe ₃ O ₄		Oxido de hierro. Siena
Tierra			Tierra

En los pigmentos de óxido de hierro, los más conocidos, se encontrarán diferentes tonos y colores. Así, los óxidos de hierro rojos variarán de tonalidad desde el bermellón hasta el violeta, mientras que otros óxidos de hierro nos proporcionarán negro o amarillo.

El óxido ferroso, color rojo, es el más estable de todos los diferentes grados de oxidación del hierro, y cualquiera de los otros colores derivará, con las condiciones adecuadas a aquél.

Con la excepción de los pigmentos ocres y Sienas, todos los pigmentos, óxidos de algún mineral, son, en principio, de composición uniforme. A esto hay que añadir dos excepciones: los colores verdes y azules.

El color verde viene, en su mayor parte, del óxido cromo, no obstante, complejas formulaciones en las que intervienen el cobalto, níquel, zinc, titanio y aluminio se utilizan para obtener un verde, más luminoso, y estable a la luz. El color azul, derivado del cobalto, puede presentar incompatibilidad con la pasta de hormigonado, por lo que en su sustitución es utilizada la Phthalocianina con óxidos de cobre.

Como se observa de la relación bibliográfica, la práctica totalidad de la literatura publicada sobre el hormigón coloreado trata sobre los tipos de pigmentos y sus características, (forma de fabricación, composición química, tamaño de partículas, etc...), la estabilidad del color frente al paso del tiempo y su idoneidad para pigmentar el hormigón.

La cantidad de trabajos publicados sobre las características físico-mecánicas, tanto del hormigón fresco como endurecido es muy escasa, sobre todo las relativas a durabilidad, transformación del hormigón o datos acerca del supuesto de partida sobre el hecho de que los pigmentos son inertes en el proceso de hidratación del cemento. Todo ello es debido a que la mayoría de las publicaciones ha sido realizada por los fabricantes de pigmentos cuyo esfuerzo ha sido encaminado hasta el momento presente, a posicionarse en el campo de producción de materiales de construcción como son los terrazos, piedras artificiales, tejas y elementos prefabricados de acabado de fachadas, no interesándose en absoluto por el hormigón estructural vertido en obra. Se llega a la conclusión de que es necesario un estudio completo sobre las propiedades físico-mecánicas del hormigón estructural, fresco y endurecido, así como un seguimiento de las mismas a lo largo de períodos prolongados de tiempo.

Por otro lado la inexistencia de obras de edificación con hormigón estructural coloreados y el convencimiento del autor de su validez de uso le ha motivado para acometer esta investigación desde los dos aspectos: Experimentar en laboratorio y en obra edificada.

4. PLAN DE ENSAYOS

a) *Objetivos de los ensayos realizados:*

- Indagar sobre la variación que la adición de pigmentos introduce en las características mecánicas.
- Elaboración de cartas de intensidades de color por pigmento.
- Catálogo de muestras de encofrados, texturas y tratamientos superficiales del hormigón pigmentado.

b) *Methods employed in the preparation of the concrete:*

- Cement: The two most commonly used cements for construction have been employed.
- Grey Cement: PA-350-Cemento de Las Islas, S.A. (Portland with the addition of natural pozzolanas from the Canary Islands).
- White Cement: P-450-B superblanco Tudela (from Navarra, Spain).
- Aggregates: From a selection of those commonly used in building we have employed three types which show the most diverse colouring and form factor:
 - Crushed phonolites, (grey colours with blue or green hues). Angular shaped.
 - Crushed basalt, (grey colours, reds, ochres and siennas), their components are cubic in shape with rounded edges.
 - Ravine basalt, (colours similar to that of crushed basalt), spherically shaped and similar to the river aggregates from the Iberian Peninsula.
- Sands: Sand from dunes has been used throughout, (ochre or reddish-yellow tones) with three modules of fineness, (1.1 - 1.5 - 2).

Pigments employed

In the different designs carried out, the selection of the pigment, with regards to the colour required, has been made as part of the whole. It is defined according to the situation, environment and utility of the building, and gives a whole range of possibilities with a large number of different colours, in their basic tones and as a combination of these tones. (See appendix illustrated with photographs of buildings).

The selection of the pigments for Laboratory testing attempted to answer the following questions:

- Differences between natural and artificial pigments. (Degree of colouring, colouring capacity, homogeneity, etc.).
- Differences between pigments of the same colour and different manufacturer.
- Differences in colouring of the same pigment with different aggregates.

The selection of the pigments is made according to their place of origin. Testing:

— *Organic pigments:*

- Red - Natural Earth.
Manufacturer: Agroquímica del Valle, Carretera de Ribes, 125. Barcelona.
- Black - Smoke black.
Manufacturer: Varied sources.

— *Inorganic pigments:*

- Red 130.
Manufacturer: Bayer. Germany.
- Red 71048.
Manufacturer: Scharlau. Germany.
- Black.
Manufacturer: Scharlau. Germany.

b) *Medios utilizados:*

El Laboratorio de Construcción de la Universidad de Las Palmas y la práctica constructiva profesional en las obras ejecutadas.

c) *Materiales empleados en la confección de los hormigones:*

- Cemento: Se han utilizado los dos de uso más frecuente en la construcción de edificios.
- Cemento Gris: PA-350-Cemento de las Islas, S.A. (Portland con adición de puzolanas naturales de Gran Canaria, Islas Canarias).
- Cemento Blanco: P-450-B Superblanco Tudela (procedente de Navarra-Península Ibérica).
- Aridos: Dentro de los habituales en la edificación se escogen aquéllos de coloración y coeficiente de forma más diversa, resultando tres tipos:
 - Fonolitas de machaqueo, (color gris con tonos azules o verdes). Formas angulosas.
 - Basalto de machaqueo, (colores grises, rojos, ocre y sienas). Sus componentes son de formas cúbicas de aristas redondeadas.
 - Basalto de barranco, (colores iguales al de machaqueo). Son de formas esféricas similares a los áridos de río de la Península Ibérica.
- Arenas: Se utilizan siempre arenas de dunas, (tonos ocre o amarillos rojizos) con tres módulos de finura, (1,1-1,5-2).

Pigmentos utilizados

En los distintos proyectos realizados, la elección del pigmento en cuanto a su color se ha hecho como parte del conjunto. Así se define según la situación, entorno y destino del edificio, mostrando al final un abanico de realizaciones con un notable número de colores diferentes, en sus tonos básicos o como combinación entre ellos. (Ver apéndice con fotografías de edificios).

La elección de los pigmentos para ensayo en el Laboratorio intenta dar respuesta a las cuestiones siguientes:

- Diferencias entre pigmentos naturales y artificiales. (Grado de coloración, capacidad de tinte, homogeneidad, etc.).
- Diferencias entre pigmentos del mismo color y distintos fabricantes.
- Diferencia en la coloración de un mismo pigmento con áridos de diversa procedencia.

La elección de los pigmentos se hace según su procedencia natural, serán ensayados:

— *Pigmentos orgánicos:*

- Rojo - Tierra Natural.
Fabricante: Agroquímica del Valle, Carretera de Ribes, 125. Barcelona.
- Negro - Negro humo.
Fabricante: Múltiples procedencias.

— *Pigmentos inorgánicos:*

- Rojo 130.
Fabricante: Bayer. Alemania.
- Rojo 71048.
Fabricante: Scharlau. Alemania.
- Negro Gloria.
Fabricante: Scharlau. Alemania.

- Yellow 920.
Manufacturer: Bayer. Germany.
- Yellow 5547.
Manufacturer: Scharlau. Germany.
- Light blue 100.
Manufacturer: Bayer. Germany.
- Light green 5G.
Manufacturer: Bayer. Germany.
- Green-Chromium Oxide GN
Manufacturer: Bayer. Germany.
- Green: Combination of 50 % Yellow 920 and 50 % Light Blue 100.

From the above pigments two have not been tested:

- The natural smoke black pigment was not tested due to the heterogeneity of the particle size and its different sources which do not guarantee uniform results*.
- The light green 5G inorganic chemical pigment was not tested as a result of its cost and has been limited to the different finishings given in an example in the photographs in the annexe.

Eight pigments were tested in the laboratory, giving nine ranges of colours:

- 1 organic pigment and 7 inorganic pigments were tested plus one which was a combination of 50 % of two basic colours.

Proportions employed

The proportions employed in the different mixes were based on the following criteria:

a) *Proportion of cement:* As with the other integrants (type of sand and aggregate used) two different proportions were prepared in which the cement would be:

- 300 Kg/m³ concrete.
- 350 Kg/m³ concrete.

Thus two types of mixes were tested, one relatively low and the other relatively high in cement content. (Note that the pigment, according to all the standards studied, is gauged by weight in terms of a percentage of the total cement. If a further amount is added to this in order to give the same tone to the lowest cement proportion, it is important to analyze the influence of this very fine addition in accordance with the proportion employed).

b) *Maximum size of aggregate employed:* 10-20; to obtain valid results for the concreting of slender sectioned members, (screens, columns and summers), and similarly for determined finishings and textures (basically: normal or mechanically granulated). In very reinforced sections the aggregate is limited to a sieve of 10-20. (Round cliff basalt is supplied with this maximum size).

c) *Formulation of the Proportions:* Two large groups of proportions have been prepared independently of the pigment employed. One for the phonolites and another for the basalts. (Both round and half round).

According to the conclusions of investigation programmes into the quantities employed in concrete containing these aggregates, the worst strength results indicate:

- The phonolites with only a fraction of fine sand.
- The basalts with continuous proportions.

* Mineral Pigments for use in coloring concrete. PCA (Portland Cement Association).

- Amarillo 920.
Fabricante: Bayer. Alemania.
- Amarillo 5547.
Fabricante: Scharlau. Alemania.
- Azul Luz 100.
Fabricante: Bayer. Alemania.
- Verde Luz 5G.
Fabricante Bayer Alemania.
- Verde-óxido de cromo GN
Fabricante: Bayer. Alemania.
- Verde: Combinación de 50 % Amarillo 920 + 50 % Azul Luz 100.

De los pigmentos anteriores no se han ensayado dos:

- Dentro de los pigmentos naturales el negro humo ya que dada la heterogeneidad del tamaño de partículas y su diversa procedencia no se garantizan resultados uniformes*.
- Dentro de los pigmentos químicos inorgánicos y debido a su costo el uso del pigmento verde luz 5G se ha circunscrito a los diferentes acabados recogidos en un ejemplo del anexo de fotografías.

El total de pigmentos ensayados en laboratorio ha sido de ocho, con nueve gamas de colores:

- 1 de procedencia orgánica y 7 de naturaleza inorgánica, más, un tono, combinación al 50 % de dos colores básicos.

Dosificaciones empleadas

Las dosificaciones empleadas en las distintas amasadas se fijan en funciones de los criterios siguientes.

a) *Proporción de cemento*: A igualdad de los restantes integrantes (tipo de arena y áridos empleados) se formulan siempre dos dosificaciones en las que los Kg. de cemento serán:

- 300 Kg/m³ hormigón.
- 350 Kg/m³ hormigón.

Todo ello para el ensayo de dos tipos de mezclas, relativamente baja y alta en contenido de cemento. (Nótese que el pigmento, según todos los standards estudiados, se dosifica, por peso, en función de % sobre el total del cemento, si a ello se añade el que para obtener un mismo tono será necesario más pigmento en la dosificación más pobre en cemento, es importante analizar la influencia de este aditivo, muy fino, según la proporción utilizada.

b) *Tamaño máximo del árido empleado*: 10-20; para la obtención de resultados válidos en el hormigonado de piezas de sección esbelta, (pantallas, pilares y jácenas), como recurso, igualmente, para determinados acabados y texturas (básicamente: abujardados normales o mecánicos) y en secciones muy armadas se ha limitado el árido al tamaño 10-20. (El basalto redondo de barranco se suministra con ese tamaño máximo).

c) *Formulación de las dosificaciones*: Con independencia del pigmento empleado se han formulado dos grandes grupos de dosificaciones, uno para las fonolitas y otro para los basaltos. (Tanto redondos como semirredondos).

Según las conclusiones de programas de investigación sobre dosificaciones de hormigones realizados con estos áridos los peores resultados resistentes los arrojaron:

- Las fonolitas con sólo una fracción de arena fina.
- Los basaltos con dosificaciones continuas.

* Mineral Pigments for use in coloring concrete. PCA (Portland Cement Association).

The mix proportioning is formulated according to the Bolomey method, which enables the introduction of cement as a variable.

- Proportions for phonolitic aggregates.
For 50 litres of concrete:

- 300 Kg cement/m³

- cement: 15 Kg.
 - fine sand: 30 Kg.
 - aggregate 0-5: 0 Kg.
 - aggregate 5-10: 39 Kg.
 - aggregate 10-20: 29 Kg.
 - water: 10 litres.

- 350 Kg cement/m³

- cement: 17.5 Kg.
 - fine sand: 27.5 Kg.
 - aggregate 0-5: 0 Kg.
 - aggregate 5-10: 39 Kg.
 - aggregate 10-20: 29 Kg.
 - water: 10 litres.

- Proportions for basalt aggregates.
For 50 litres of concrete:

- 300 Kg cement/m³

- cement: 15 Kg.
 - fine sand: 30 Kg.
 - aggregate 0-5: 8 Kg.
 - aggregate 5-10: 28 Kg.
 - aggregate 10-20: 33 Kg.
 - water: 10 litres.

- 350 Kg cement/m³

- cement: 17.5 Kg.
 - fine sand: 27.5 Kg.
 - aggregate 0-5: 8 Kg.
 - aggregate 5-10: 28 Kg.
 - aggregate 10-20: 33 Kg.
 - water: 10 litres.

The results show that the strength values obtained are medium, high, but are always sufficient for 200 Kg/cm² concretes of characteristical strength. However, this was not the main objective, as we were logically interested in the variation of these and the remaining parameters as a result of the addition of pigments. As such we have preferred to use proportions which are commonly used in construction.

The precision of the investigation was made more extreme in the control of the variables which affect the same. As such, we faithfully followed the instructions of the different Spanish Codes on tests of this kind, regarding manufacture, conservation, facing and curing of specimens, protection of the aggregates against humidity, control of cement batches, care in the measurement of consistencies, as well as in the failure results.

d) *Proportion of pigments:* The proportions of pigment added to the eight gauges given in the previous section (two with phonolitic aggregate and white cement, two with phonolitic aggregate and grey cement, two with cliff basalt aggregate and grey cement and another two with crushed basalt aggregate and grey cement), are as follows, expressed as a percentage of the weight of cement:

- White Cement: 0 %, 0.5 %, 1 %, 2 %, 3 %, 4 %, 5 %, making a total of seven gauges, in which 0 % is the point of reference.
- Grey Cement: 0 %, 0.5 %, 1 %, 2 %, 3 %, 4 %, 5 %, 6 %, 7 %, making a total of nine gauges, in which 0 % is the point of reference.

The registered limit is close to those of saturation, (except in black pigment which is reached long before).

In almost all cases, and in order to obtain more precise comparative tables, the 0 % gauge of equal components are correlated in time, and the average obtained.

e) *Method of adding the pigment:* There are many ways of adding the pigment once the proportion has been fixed, (by weight and as a percentage of the cement). These methods have been tested in order to evaluate their possible differences in colouring:

- *Laboratory. 50 litre Cement Mixer:* following the recommendations of the Portland Cement Association and of section 5.5 of the ASTM C 192-88, as follows:

- a) Previous dry mixing of the cement and pigment.

Las dosificaciones se formulan según el método de Bolomey, que permite introducir como variable el cemento.

— Dosificaciones para árido fonolítico.

Para 50 litros de hormigón:

— 300 Kg cemento/m³

cemento: 15 Kg.
arena fina: 30 Kg.
árido 0-5: 0 Kg.
árido 5-10: 39 Kg.
árido 10-20: 29 Kg.
agua: 10 litros.

— 350 Kg cemento/m³

cemento: 17,5 Kg.
arena fina: 27,5 Kg.
árido 0-5: 0 Kg.
árido 5-10: 39 Kg.
árido 10-20: 29 Kg.
agua: 10 litros.

— Dosificaciones para árido basáltico.

Para 50 litros de hormigón:

— 300 Kg cemento/m³

cemento: 15 Kg.
arena fina: 30 Kg.
árido 0-5: 8 Kg.
árido 5-10: 28 Kg.
árido 10-20: 33 Kg.
agua: 10 litros.

— 350 Kg cemento/m³

cemento: 17,5 Kg.
arena fina: 27,5 Kg.
árido 0-5: 8 Kg.
árido 5-10: 28 Kg.
árido 10-20: 33 Kg.
agua: 10 litros.

A pesar de que, como se verá en los resultados, los valores resistentes obtenidos son, medios, altos, pero en todo caso suficientes para hormigones de 200 Kg/cm² de resistencia característica, la obtención de éstos no ha sido el objetivo primordial, interesando, como es lógico, la variación de aquélla, a igual de los restantes parámetros, originada por la adición de pigmentos. De ahí el que se haya preferido ensayar dosificaciones de uso cotidiano en la construcción.

El rigor de la investigación se ha extremado en el control de las variables que sí van a influir, siguiendo de manera fiel las instrucciones de las distintas UNES sobre ensayos de esta índole, relativas a fabricación, conservación, re-frentado y curado de probetas, preservación de áridos de la humedad, control de partidas de cemento, cuidado en la medición de consistencias, así como en la de resultados de rotura.

d) *Proporción de pigmentos por dosificación:* Las ocho dosificaciones del apartado anterior (dos con árido fonolítico y cemento blanco, dos con árido fonolítico y cemento gris, dos con árido basáltico de barranco y cemento gris y otras dos con árido basáltico de machaqueo y cemento gris) se completa con la sucesiva adición de pigmento, expresada en % sobre el peso de cemento, quedando como sigue:

— Cemento Blanco: 0 %, 0,5 %, 1 %, 2 %, 3 %, 4 %, 5 %, total siete dosificaciones, en la que la 0 % es la de referencia.

— Cemento Gris: 0 %, 0,5 %, 1 %, 2 %, 3 %, 4 %, 5 %, 6 %, 7 %, total nueve dosificaciones, en la que 0 % es la de referencia.

El límite marcado está próximo a los de saturación, (excepto en el pigmento negro que se alcanza mucho antes).

Casi siempre, y para una mayor exactitud en las tablas comparativas, las dosificaciones del 0 % de iguales componentes se correlacionan en el tiempo, obteniendo la media de ellas.

e) *Modo de adición del Pigmento:* Sobre la adición del pigmento, una vez que se ha fijado su dosificación, (por peso y en % sobre el del cemento) existen múltiples modos de hacerla, se plantea el ensayo de ellas para evaluar sus posibles diferencias en la coloración:

— *Laboratorio. Hormigonera de 50 litros:* se siguen las recomendaciones de la Portland Cement Association y del apartado 5.5 de la ASTM C192-88, con este procedimiento:

a) Mezclado previo, en seco, de cemento y pigmento.

b) Inserting in a running horizontal planet gear cement mixer:

- 1st: Water
- 2nd: Cement and Pigment
- 3rd: Sand
- 4th: 0-5
- 5th: 5-10
- 6th: 10-20

(All Laboratory prepared mixes were carried out in this way).

- *On site. 250 litre Cement Mixer:* two main groups were employed, with small variations between the two:
- Dry method:

- 1st: Gravel
- 2nd: Pigment - 1/2 minute - Stop*
- 3rd: Cement
- 4th: Sand - 1/2 minute - Stop
- 5th: Water - normal mixing and pouring

A variation of the above is to keep the cement mixer running throughout the process. Also tested.

- Wet method:

- 1st: Pigment mixed with water
- 2nd: Addition of coloured water
- 3rd: Cement. Cement mixer running
- 4th: 10-20
- 5th: 5-10
- 6th: 0-5
- 7th: Yellow sand
- 8th: Mixing and pouring

Test characteristics of the concrete

The total number of mixes was programmed from the above information.

Ten test pieces were made from each mix:

- 2 for compression after 7 days.
- 4 for compression after 28 days.
- 2 for compression after 90 days.
- 1 for consistency measurements (Abrams cone).
- 1 for the inserting of a 6 \emptyset bar and reserved for future testing.

It is important to point out that due to the capacity of the Laboratory cement mixer (max, 75 litres) it is not possible to apply the regulations of IEH 91 regarding the fixing of the characteristic strength of concrete by making four series of three specimens for each test. It was therefore necessary to demand a strict control of the variables in order to obtain valid results.

* The pigment was introduced with part of the aggregate.

b) Hormigonera planetaria horizontal en marcha, se introduce:

- 1.º: Agua
- 2.º: Cemento + Pigmento
- 3.º: Arena
- 4.º: 0-5
- 5.º: 5-10
- 6.º: 10-20

(Todas las amasadas en Laboratorio se ejecutan con este procedimiento).

- *Obras. Hormigonera de 250 litros:* se han utilizado dos grandes grupos con pequeñas variantes cada uno:
- Procedimiento seco:

- 1.º: Grava
- 2.º: Pigmento - 1/2 minuto - Parar*
- 3.º: Cemento
- 4.º: Arena - 1/2 minuto - Parar
- 5.º: Agua - Batido normal y verter

Una variante del anterior es con la hormigonera siempre en marcha. Se ha experimentado también.

- Procedimiento húmedo:

- 1.º: Pigmento mezclando con el agua
- 2.º: Se introduce toda el agua coloreada
- 3.º: Hormigonera en marcha. Cemento
- 4.º: 10-20
- 5.º: 5-10
- 6.º: 0-5
- 7.º: Arena amarilla
- 8.º: Batido y vertido

Ensayos característicos del hormigón

Con todos los datos anteriores se programa el número total de amasadas.

Con cada una se confeccionan diez probetas:

- 2 para rotura a compresión a 7 días.
- 4 para rotura a compresión a 28 días.
- 2 para rotura a compresión a 90 días.
- 1 para medida de consistencia (cono de Abrams).
- 1 para introducción de varilla de \varnothing 6 y reserva para próximos ensayos.

Hay que constatar que, dada la capacidad de la hormigonera del Laboratorio, (máx. 75 litros) no se puede plantear lo que la IEH 91 articula para la fijación de la resistencia característica del hormigón con la elaboración de cuatro series de tres probetas para cada ensayo. Se hace necesario, por tanto, exigir un control estricto de las variables para obtener leyes de resultados que sean válidas.

* El pigmento se introduce con parte del árido.

5. RESULTS

417* mixes were obtained, which were the result of a combination of nine colours, three types of aggregate and two types of cement, with a total of 3,753 specimens.

A card was made for each mix (which are not included here in order to save space), on which all the components of the concrete were listed, the results of failure after 7, 28 and 90 days (with the exception of 120 days over holiday periods), the calculation of the average values, and the average decreasing value according to the Abrams cone, which was obtained by five measurements (centre and orthogonal ends), the temperature of the mixing area and the water added to the mix. The same gauges with different proportions of the same pigment were ordered using the basic gauge value of 0 % pigment as the point of reference, and compared with the average strengths after 7, 28 and 90 days. The following results were obtained:

Factors affecting structural aspects

Strength variation caused by the addition of pigment

— The established criteria was based on the exclusion of strength variations of $\pm 5\%$, in comparison with the base model. This difference is normal in Laboratory results for identical concrete without additions.

— Inorganic Red pigments.

In no case did the addition of pigment decrease the concrete strength.

Notable strength increases were observed, (between 7 and 20 % after 7, 28 and 90 days), using basalts and 300 Kg. of PA-350 cement per cubic metre of concrete.

— Red Natural Earth Pigment: Shows a 12 % decrease when adding pigment in high concentrations (5 to 7 %) with phonolite and 300 Kg. of PA cement. On the other hand it gives noticeable increases after 7, 28 and 90 days (24 %, 18 % and 14 % respectively) for cliff basalt aggregate.

— Yellow Pigments: With 300 Kg/m³ of P-450-B cement there is an increase in strength when using high proportions (4 % and 5 %) of between 10 and 13 % at all ages, (the series of mixes was repeated and gave identical results). For the two contents it showed an improvement in strength after 7 days (10 to 12 %) with half rounded basalt, which are the same after 90 days.

— Blue Pigment: This pigment does not generally cause a significant alteration with respect to the basic gauge. It is noted that this is placed among the lowest values in the comparative tables, showing small increases with a high pigment content (5 to 7 %) after 7 and 28 days which is the same or slightly worse than that after 90 or 120 days.

— Black Pigment: The gauges with white cement did not show significant alterations. It may be ventured that regardless of the aggregate or cement content, PA cement shows an average increase of 25 % when using a pigment addition of 5 % to 7 %.

The degree of saturation for absolute black was reached with 2 to 3 % additions, which guaranteed a minimum improvement of 10 % in the worst case. While intensity of colour does not vary, the strength rises in proportion to the addition of pigment.

— Green-Chromium Oxide Pigment: These mixes were the last to be carried out and the range of specimens was small and limited to the phonolite aggregates. No important variations were observed, though there was a decrease of 7 % with high concentrations (5 %) in white cement and an increase of 11 % when using concentrations of 7 % in PA-350 cement.

— Yellow and Blue Pigments (50 % of each): The colour resulting from the mixture of these two pigments is given later on in this chapter. However, there was a general diminishing of strength when using these, which after initial improvements (around 7 %) after 7 days, later fell and showed a decrease similar to that after 90 days, when using crushed basalts.

* Due to the requirements of the test plan programme, the number of mixes is slightly lower than the total number of possible combinations.

5. RESULTADOS OBTENIDOS

Se han obtenido 417* amasadas, resultantes de la combinación de nueve colores, tres tipos de árido y dos tipos de cemento, con un total de 3.753 probetas.

Se ha rellenado una ficha por cada amasada (no incluidas en este resumen por razones de espacio), en las que se identifican todos los componentes del hormigón, resultados de rotura a 7, 28 y 90 días (excepcionalmente a 120 días, en períodos vacacionales), y cálculo de los valores medios, con anotación del valor medio de descenso del cono de Abrams, el cual se ha obtenido de cinco medidas (central y extremos ortogonales) y temperatura de la sala de hormigonado y del agua de amasado. Las dosificaciones iguales con diferente proporción del mismo pigmento se ordenan con el valor de la dosificación base (0 % de pigmento) como referencia, comparando las resistencias medias a 7, 28 y 90 días, con los resultados siguientes.

Factores que intervienen en los aspectos estructurales

Variación de la resistencia por adición de pigmento

- Los criterios expuestos parten de excluir variaciones del 5 % de las resistencias, comparadas con el testigo, tanto por exceso como por defecto, ya que esta dispersión es normal en resultados de Laboratorio en hormigones idénticos no aditivados.

- Pigmentos Rojos Inorgánicos.

En ningún caso la adición de pigmento disminuye la resistencia del hormigón.

Se aprecian aumentos notables de resistencia, (entre 7 y 20 % a 7, 28 y 90 días), con el uso de basaltos y 300 Kg. de cemento PA-350 por m³ de hormigón.

- Pigmento Rojo Tierra Natural: Presenta bajas por la adición de pigmento, en concentraciones altas (5 a 7 %) de un 12 % para la dosificación de Fonolita y 300 Kg. de cemento PA. Por el contrario vuelve a ofrecer aumentos notables a 7, 28 y 90 días (24 %, 18 % y 14 %), respectivamente, para árido basáltico de barranco.
- Pigmentos Amarillos: Con 300 Kg/m³ de cemento P-450-B se experimentan mejoras en la resistencia, con proporciones altas (4 % y 5 %) entre el 10 % y 13 % a todas las edades, (se repite la serie de amasadas con idénticos resultados). Por último para los dos contenidos se constata la mejora de resistencias a 7 días (10 a 12 %) con basalto semirredondo, las cuales se igualan a 90 días.
- Pigmento Azul: En líneas generales este pigmento no presenta alteraciones notables de ningún signo respecto a la dosificación base. Sí se observa, que ésta, se sitúa en los valores más bajos de los cuadros comparativos, con pequeños incrementos a dosificaciones altas en contenido de pigmento 5 % a 7 % a 7 y 28 días que luego se igualan o empeoran ligeramente a 90 y 120 días.
- Pigmento Negro: Las dosificaciones con cemento blanco no ofrecen alteraciones significativas que permitan aventurar las que, sistemáticamente, sea cual sea el árido o contenido en cemento ofrecen las de cemento PA, con aumentos medios de un 25 % en concentraciones de 5 % a 7 % de adición de pigmento.
El grado de saturación, negro absoluto, se logra con el 2 % al 3 %, garantizando éste una mejora de un mínimo del 10 % en el caso más desfavorable. A pesar de no variar la intensidad, sí lo hace, linealmente, la resistencia, aumentando conforme lo hace la adición del pigmento.
- Pigmento Verde-Oxido de Cromo: Corresponden sus amasadas a las últimas realizadas. La amplitud de la muestra es pequeña y se limita a las dosificaciones de fonolitas. No se aprecian variaciones importantes, experimentando algún descenso (el 7 %) con concentraciones altas (5 %) en el cemento blanco y aumentos (el 11 %) con concentraciones del 7 % cuando se emplea el PA-350.
- Pigmentos Amarillo y Azul (50 % de cada uno): Independientemente de las conclusiones que, sobre el color resultante de la mezcla de dos pigmentos, se señalan en otro apartado de este capítulo; respecto a la variación de la resistencia aparecen características atenuadas del empleo de ellos, con pequeñas mejoras iniciales (en torno al 7 %) a 7 días que luego decaen y presentan bajas del mismo orden a 90 días, con el uso de basaltos de machaqueo.

* Debido a necesidades en la programación del plan de ensayos, el número de amasadas es algo inferior al total de combinaciones posibles.

Variation in the consistency of the concrete

All the gauges used the same amount of water (10 litres for 50 litres of concrete), giving values of w/c of 0.67 and 0.57 according to the proportion of cement.

The variation of the Abrams cone, which measures the consistency, and therefore the workability of the mix, (which is fundamental for a perfect filling of the formwork and the final appearance of the visible concrete), serves as an indication of the variations seen on site. The behaviour of the pigments were as follows:

- Red Pigments: Concentrations of up to 4 % showed no variation to the initial cone. Concentrations of 5 to 7 % showed decreases of less than one or two centimetres (the cone decreased from between 5 and 7 cm. to cones of 4 to 6 cm.).
- Red Pigment, Natural Earth: Once again there was a difference in results. The most frequent variations, using basalt aggregates, followed the example of the inorganic red pigments, with mixes two points drier when using high concentrations.
- Yellow Pigment: Noticeably affects the workability, causing very dry mixes. The cones descend from 7 or 5 cm to cones of 3 or 1 cm. and this effect is noticeable from concentrations as low as 1 % and increases in proportion with the concentration.
- Blue Pigment: No variations in cone were observed for this pigment. In very high concentrations of 6 and 7 % the decrease was less than 1 cm. and even then not in every case.
- Black Pigment: In all gauges and concentrations from 2 % of the weight of the cement larger decreases were detected in the Abrams cone. These decreases, between 3 and 6 cm., (with greater liquidity in the mix) were more noticeable when using round cliff basalt.
- Green-Chromium Oxide Pigment: The limited information obtained tended to show a slight plastification of the concretes and showed a decrease in cone of around 2 cm. which was even more noticeable in high concentrations (7 %).
- Yellow and Blue Pigments (50 % of each): The cone increased slightly, and decreased by around 1 or 2 cm. with high concentrations (3.5 % of the weight of cement for each pigment). The said proportion of yellow pigment when added on its own gave very dry mixes and it can therefore be deduced that the blue pigment "lubricates" the mix and reduces the drying effect of the yellow pigment.

Variations due to different fineness modulus of sand:

The conclusions of previous investigations had made the author aware of the influence that the variation in the granulometric modulus of different sands have in the strength parameters. As such we have used groups of equal gauges with the sand as the only variable. The following results were obtained:

- Quantities which have used three sands with MF: 1.1-1.5-2, show inversely proportional results to the highest fineness modulus. The difference being greater between the first (MF: 1.1) and the other two than that between the latter two (although the intermediate modulus always gives slightly greater values than the biggest).

In gauges which are richer in cement, and thereby using a greater fraction of fine sands, we find higher strength values as a direct result of the above. This is not only due to the greater proportion but also to the reduction of the negative influence exerted in the granulometric continuity of the gauge.

- In those gauges which have only used one fraction of sand (final) and crushed phonolite a direct relationship may be observed, (the remaining components being the same) between the fineness modulus of the sand and the decrease of the cone. This gave average values of 9 and 7 cm. for sands with a MF: 1.1 and 1.3 and 3 cm. (dry-plastic mix) for sands with MF = 2. It may therefore be concluded that the finer sands make the concrete mixes much milder.

Variación de la consistencia del hormigón

La totalidad de las dosificaciones utiliza la misma cantidad de agua, (10 litros para 50 litros de hormigón), valores de a/c de 0,67 y 0,57, según la proporción de cemento.

En la medida en que la variación del cono de Abrams, que mide la consistencia, y, por añadidura, la trabajabilidad de una pasta, (dato fundamental para el perfecto relleno del encofrado y aspecto final de un hormigón visto), se vea alterada, será un índice de las variaciones que aquella ofrecerá en la obra. El comportamiento de los pigmentos ha sido:

- Pigmentos Rojos: Hasta concentraciones del 4 % no hay variación alguna del cono inicial, en las de 5 % a 7 % se observan conos con descensos inferiores en uno o dos centímetros (se pasa de cono entre 5 y 7 a descensos de cono de 4 a 6 cms.).
- Pigmento Rojo, Tierra Natural: Vuelve a presentar dispersión en los resultados. Las variaciones más frecuentes, con áridos basálticos, siguen la pauta de los rojos inorgánicos, con mezclas dos puntos más secas en las concentraciones altas.
- Pigmento Amarillo: Afectan de manera notable la trabajabilidad, convirtiéndose en masas muy secas, los conos pasan de 7 ó 5 cms. a conos con 3 ó 1 cms. de descenso, apreciable este fenómeno desde concentraciones bajas, (el 1 %) y aumentando este efecto conforme éstas lo hacen.
- Pigmento Azul: No se presentan variaciones en el cono por la adición de este pigmento. En concentraciones muy altas, 6 % y 7 %, el descenso es menor en 1 cm., y no en todos los casos.
- Pigmento Negro: En todas las dosificaciones y en concentraciones desde el 2% en peso de cemento origina descensos mayores en el cono de Abrams. Estos descensos, entre 3 y 6 cms., (mayor liquidez de la pasta) son más acusados con el uso de basaltos, redondos, de barranco.
- Pigmento Verde-Oxido de Cromo: A falta de un mayor número de datos, los obtenidos apuntan hacia una ligera plastificación de los hormigones con conos con descensos unos 2 cms. mayores en concentraciones altas (7 %).
- Pigmento Amarillo y Azul (50 % de cada uno): El cono aumenta ligeramente, con descensos menores en torno a 1 ó 2 cms. para concentraciones altas (3,5 % de peso de cemento en cada pigmento). Dicha proporción de pigmento amarillo, cuando se adiciona él solo, origina pastas más secas, por lo que es deducible el que el pigmento azul «lubrifica» ésta reduciendo el efecto secante de los primeros.

Variaciones debidas a distintos Módulos de Finura de las arenas

Alertado el autor por las conclusiones de investigaciones anteriores acerca de la influencia que la variación del módulo granulométrico de las distintas arenas tiene en los parámetros resistentes, se ha utilizado el hecho de tener grupos de dosificaciones iguales con la única variable de aquéllas para obtener los siguientes resultados:

- Las dosificaciones que han empleado tres arenas con MF: 1,1-1,5-2, ofrecen resultados inversamente proporcionales al módulo de finura más alto, siendo las diferencias mayores las que existen entre la primera (MF: 1,1) y las otras dos, que entre éstas entre sí (aunque siempre la intermedia da valores ligeramente mayores que la más gruesa).

Como consecuencia directa de lo anterior, en las dosificaciones más ricas en cemento, al ser la fracción de arena fina la que compensa por defecto, tenemos mayores valores resistentes, no sólo achacables a la mayor proporción de aquél, sino a que se disminuye la negativa influencia que ésta ejerce en la continuidad granulométrica de la dosificación.

- En aquellas dosificaciones en las que se ha utilizado una sola fracción de arena (fina) y fonolita de machaqueo se puede constatar la relación directa, (para el resto de componentes iguales) que existe entre el módulo de finura de la arena y el descenso de cono, con valores medios de 9 y 7 cms. para arenas con MF: 1,1 y 1,3 y de 3 cms. (pasta seca-plástica) para arenas de módulo de finura (MF: = 2), por lo que se puede concluir que las arenas más finas hacen mucho más dóciles las pastas de hormigones.

Influence of temperature changes: No information has been found which points to the variation in temperature of the Laboratory, or the water of the mix (between 5° and 7°C) affecting the resulting strengths in any way, and at any age for the different quantities tested.

Factors affecting the colour

Colour charts

In the photographic examples in the annexe the colour charts may be observed. These indicate the different pigments and concentrations employed, the comparison between pigments of the same colour and the use of grey or white cement.

- Types of Cement: The use of white cement always has a repercussion in the colour except in the case of black pigment. When using red pigments white cement offers a greater brightness of colour than that of grey cement with the same intensity of colour. With yellow pigments the tone becomes more like the ochres, sienas or earths with grey cement. It is therefore necessary to use white cement in order to obtain purer and brighter tones.

The green and blue pigments showed a noticeable difference between the results obtained on site and in the Laboratory.

In the latter, grey cement (together with the fact that the striking would not have been suitable for visible concrete) gave dark, dull tones. However, in the practice tests on site (see photographs) grey cement with 2 % pigment gave very suitable results.

Types of pigment and Manufacture

- Natural and inorganic pigments: The analysis of the particle size, grain uniformity and method of manufacture confirmed the importance of the same with regards to the uniformity and intensity of colours. As such the condition of the natural earths make them unsuitable for the pigmentation of concrete.

While on sight they are even more intense than the inorganic pigments, the final results are much poorer.

One thing in favour of the natural earths or pigments with a small colouring capacity is that they achieve better "pastel" colours with white cement when using larger quantities of these pigments than that obtained by small concentrations of inorganic pigments.

- Red Pigments: Apart from the differences described in the previous section, it is noticeable that each pigment, regardless of its origin, imposes its own colouring characteristics. Thus, if other pigments are employed which are different to the specimens it will be necessary to make further tests to establish the intensity and colour required. The Bayer Red is closer to vermilion than any of the other pigments tested.

The degree of saturation is close to the maximum values of the sample: 6 % and 7 %, and greater concentrations are necessary for the organic pigments. (Note that the maximum permitted by the different codes is 10 %).

- Yellow Pigment: No differences in tone were detected between the two pigments tested. It is important to note the drying effect of these on the mix which consequently affect the workability and the results on site.

The degree of saturation is similar to the reds and is between 5 and 7 % for white and grey cements respectively. Appreciable tones are obtained as from a 2 % concentration of pigment.

- Black Pigment: The degree of saturation is reached with 3 % of the pigment (absolute black), and it is necessary to carefully reduce the proportions in order to obtain intermediate colours. High concentrations may be used when desiring other characteristics which modify its use with concrete.

Influencia de los cambios de temperaturas: No se ha podido encontrar dato alguno que permita aseverar el que la variación de la temperatura del Laboratorio o del agua de amasado (entre 5° a 7°C) influyen de algún modo en las resistencias obtenidas, a cualquier edad, para las distintas dosificaciones ensayadas.

Factores que intervienen en el color

Cartas de colores

En las muestras fotográficas del anexo se encuentran las cartas de colores con los distintos pigmentos y concentraciones utilizadas, comparativos entre pigmentos del mismo color y uso de cemento gris o blanco.

- Tipos de Cemento: La utilización del cemento blanco siempre tiene repercusión en el color excepto en el pigmento negro. Con los pigmentos rojos el cemento blanco frente a la misma intensidad lograda con el gris, ofrece una mayor luminosidad de colores. Con los pigmentos amarillos el tono se acerca a los ocre, sienas y tierras con el cemento gris, siendo necesario para la obtención de tonos puros y vivos el uso del cemento blanco.

Con los pigmentos verdes y azules existe una notable diferencia entre los resultados obtenidos en obras y en Laboratorio.

En los segundos, el cemento gris (unido a un desencofrante no válido para hormigones vistos) da como resultado tonalidades oscuras y sin brillo, en las realizaciones prácticas, sin embargo (ver muestras fotográficas), el uso del cemento gris con proporciones del 2 % de pigmento da resultados muy válidos.

Tipos de pigmentos. Grado de Fabricación

- Pigmentos naturales e inorgánicos: Se confirma lo que el análisis del tamaño de partícula, uniformidad del grano y modo de fabricación había avanzado acerca de su importancia a la hora de obtener uniformidad e intensidad de los tonos. De esta manera las tierras naturales, por su propia condición, no son adecuadas, en principio para la pigmentación de hormigones.

A pesar de que a la vista ofrece intensidades incluso más fuertes que los inorgánicos, en el momento de ofrecer resultados, éstos son muy pobres.

Sí hay que decir, en favor de las tierras naturales o de pigmentos con baja capacidad de tinte, que para la obtención de colores «pastel» con cemento blanco, se logran resultados mejores con mayores cantidades de éstos que con el uso de concentraciones escasas de inorgánicos.

- Pigmentos Rojos: Aparte de las diferencias descritas en el apartado anterior, si es constatable que cada pigmento, sea cual sea su procedencia, imprime un carácter del tinte, propio; por consiguiente si se utilizaran otros, distintos a los de las muestras, será preciso elaborar nuevas series de éstas para fijar intensidad y tono buscados. El Rojo de la casa Bayer ofrece valores más cercanos al bermellón que cualquier otro ensayado.

El grado de saturación está cercano a los valores máximos de la muestra: 6 % y 7 %, siendo necesarias concentraciones mayores para los orgánicos (recuérdese que el máximo permitido por las diferentes normas es el del 10 %).

- Pigmento Amarillo: No se aprecian diferencias entre los tonos de los dos ensayados. Hay que insistir en su efecto secante sobre la pasta, por lo que la trabajabilidad y, consecuentemente, los resultados en obra, se verán afectados.

El grado de saturación, similar al de los rojos, se sitúa entre el 5 % y 7 % para cementos blancos y gris, respectivamente, con valores de tono apreciable desde el 2 % de concentración de pigmento.

- Pigmento Negro: El grado de saturación se logra con el 3 % de pigmento (negro absoluto), siendo necesario aquilatar cuidadosamente las proporciones para la obtención de tintes intermedios. Concentraciones mayores serán usadas si se quieren aprovechar otras características que, sobre las del hormigón, modifica aquél.

-
- Green and Blue Pigment: Chromium oxide, light green and light blue all require similar care as they are the most delicate of all the pigments. It is therefore easier to deviate from the established parameters with these pigments and obtain unsatisfactory results.

Saturation is reached with values from 5 to 7 %, and colour tones were appreciable from a 2 % concentration of pigment.

- Combinations of pigments: Specimens of coloured concrete employing two or more pigments were made both on site and in the laboratory. It is obvious that the possible variations are infinite.

However, it should be noted in order to control the results, that in two pigments of different particle size, (for example yellow and blue) at the beginning, (at the moment of making the specimen and approximately over the first two months) that of the smaller particles dominates over that of the larger, (in our case the blue) and later progressively obtains the colour of the larger particle (yellow). Colour tones similar to greenish-lemon yellow are obtained with a 50 % proportion of each pigment. Another combination of two colours (Red 130 and Bayer Yellow 920) is shown in the annexe, and gives earthy and ochre hues.

The colour variations due to the concrete components

- Water: Water may influence the colour of concrete as a result of:

- The different origin of the same: The hardness, salinity and other variables of water affect both the strength and the final appearance of concrete.
- The water-cement ratio: The brightness of colour is directly related to the water content in the concrete. Greater water gives brighter colours yet lowers the strength. This problem has been considered in other chapters and is difficult to solve. The lightest colour, due to the highest water-cement ratio, is caused by local concentration of pores on the wet surface of the concrete which in its concave form reflects the incidental light on the surface, thus multiplying the same and making it appear brighter. See specimens in annexe.

- The aggregates: If they are not going to be seen or if the formwork, vibration, curing and striking enable the visible surface to be that of the slurry, the aggregate employed is not of any importance.

However, when one of the previous extremes is not covered then it is of capital importance.

From a revision of the possible textures and finishings, (many of which appear in the photographs) conclusions may be made which depend on the criteria of the designer.

- Sands: In the structural results, (strength values) the type of sand was a very important factor. However, when restricting the use of yellow quarry sand and different colourings it does not appear as a variable in the colour of the same.

Methods of adding the pigment

We have tested all the procedures described in the test plan. While all have produced satisfactory results the best appear to be those carried out by the dry method and where the pigment is well mixed with the cement or with part of the aggregate.

Influence in colour by external agents

Specimens were conserved in three types of atmosphere:

- Humid conditions: In order to carry out further investigations the specimens were conserved (from the first mixes in January 1988) in conditioning chambers. As they were not subject to direct solar light, and were maintained at a constant humidity, (although of very high concentration), the colour and brightness of all the specimens remained the same.

-
- Pigmento Verde y Azul: Tanto el óxido de cromo, como los verdes luz y azul luz, son de cuidados similares, siendo los más delicados y con los que con más facilidad, cualquier desviación de los parámetros fijados, nos dará resultados no deseados.

Igualmente obtenemos la saturación con valores del 5 % al 7 %, con valores de tonos apreciables desde el 2 % de concentración de pigmento.

- Combinaciones entre pigmentos: Tanto en obra como en Laboratorio se han hecho muestras de hormigones coloreados con dos o más pigmentos. Aquí, obviamente, las variaciones son infinitas.

Hay que hacer notar, para un control de los resultados, que frente a dos pigmentos de tamaño de partículas diferentes, (por ejemplo el amarillo y azul de las muestras) al principio, (en el momento de la confección de la muestra y, aproximadamente, los dos primeros meses) domina el de partículas más pequeñas, (en nuestro caso el azul) para luego, progresivamente, ir derivando al color de la mayor, (el amarillo), por lo que se obtendrán tonalidades similares al verde-amarillo limón con proporciones del 50 % de cada pigmento. Otra combinación de dos colores (Rojo 130 y Amarillo 920 de Bayer) es la de la muestra del Anexo, con el resultado de coloraciones terrosas y ocres.

La variación de los componentes del hormigón en el color

- El agua: El agua puede influir en el color del hormigón por:
 - El cambio de procedencia de la misma: La dureza, salinidad y otras variables de la misma tienen repercusión, no sólo en la resistencia, sino en su aspecto final.
 - La relación agua-cemento: La luminosidad de un tono está relacionada directamente con el contenido en agua del hormigón. A mayor agua, tonos más luminosos y, como es sabido, bajas en la resistencia. Este extremo reiterado, por su importancia, en diferentes capítulos del trabajo es de difícil solución. El color más claro, debido a una relación agua-cemento más alta, es causado por una concentración local de hidróxido cálcico (que en el curso del tiempo se transforma en carbonato cálcico = eflorescencias) y a una más alta concentración de poros en la húmeda superficie del hormigón que, con su forma cóncava, reflejan la luz incidente en su superficie multiplicándola y dando un aspecto más brillante. Véase a este respecto las muestras efectuadas.
- Los áridos: Si no se van a dejar vistos, o lo que es igual, si las condiciones del encofrado, vibrado, curado y desmoldeo, permiten que la superficie vista sea la del lodo de la capa externa, el árido empleado no va a tener importancia alguna.

Sin embargo, cuando alguno de los extremos anteriores se nos quede fuera de control, sí va a tener importancia capital aquél.

Del repaso de las texturas y acabados posibles (muchos de los cuales aparecen fotografiados), se obtendrán conclusiones, válidas según el criterio del proyectista.

- Las arenas: Si en los resultados estructurales (valores de resistencia), el tipo de arena aparecía como factor a tener muy en cuenta, al restringir su uso a la arena amarilla, con exclusión de otras, de canteras y coloraciones diferentes, no aparece como variable el color de la misma.

El modo de introducción del pigmento

Se han ensayado todos los procedimientos descritos en el plan de ensayos. Aunque con cualquiera se han obtenido resultados satisfactorios, los mejores corresponden a los procedimientos de vía seca, bien mezclados el pigmento con el cemento o con una porción del árido.

Influencia de los agentes externos en el color

Se conservan probetas en tres tipos de ambiente, a saber:

- Medio Húmedo: Con el objeto de llevar a cabo otras investigaciones se conservan probetas (desde las primeras amasadas en Enero de 1988) en cámaras húmedas. Al no estar sometidas a luz directa solar, y con una humedad constante (aunque sea de valor de concentración muy alto), el color y brillo de todas las muestras ha permanecido inalterado.

- Environmental conditions: Efflorescence appeared on the first specimens which were left in the open in September 1988, and faced the changes of season without any protection whatsoever. The use of pigments did not increase the efflorescence although the darker the supporting colour the more visible it became. The efflorescence which appeared on some specimens after two or three weeks, appeared at times in the year, and in specific areas of the island, where the cycles of sun and light showers were more frequent, (up to several a day). It is therefore necessary to protect the concrete with special products once the member has been struck. This allows the concrete to transpire under different pressures and prevent the penetration of external agents (especially rain).

In the specimens included in the annexe different products were tested which produced different results.

Washing with calcic carbonate salts with five parts of water and one of bleach (hypochlorite), or brushing the dry surface with wire wool have proven to be the most efficient ways of eliminating them.

- Dry and Dark Conditions: 50 % of the specimens (one per mix) reserved, were kept at ambient temperature and humidity in areas of little light in the Building Laboratory. There are no signs of possible discolouring due to age and the external atmospheric agents.

Texture. Reliefs

The most significant specimens made with different formwork and surface treatment are shown in the photographic section.

Effect of the pigment on the price of concrete

- In the Canary Islands the price of a cubic metre of mixed concrete without pigment was at the time of writing.

PA-350 (grey)	}	— 300 Kg cement/m ³ concrete (175 Kg/cm ²) = 6,000 ptas/m ³
		— 350 Kg cement/m ³ concrete (200 Kg/cm ²) = 6,500 ptas./m ³
		— Price of PA-350 cement = 12 ptas/Kg

P-450-B (white)	}	— Price of P-450-B cement = 25 ptas/Kg
		— 300 Kg cement/m ³ concrete (200 Kg/cm ²) = 9,900 ptas/m ³
		— 350 Kg cement/m ³ concrete (225 Kg/cm ²) = 11,100 ptas/m ³

- The cost of the inorganic pigments employed are:

— Red Pigment	200 ptas/Kg
— Black Pigment	300 ptas/Kg
— Yellow Pigment	450 ptas/Kg
— Green-Chromium Oxide pigment	1,000 ptas/Kg
— Light Green Pigment	4,500 ptas/Kg
— Light Blue Pigment	6,000 ptas/Kg

- Medio Ambiente: Se exponen a la intemperie las primeras muestras en septiembre de 1988, sometidas a los cambios de las estaciones y sin protección alguna se constata la aparición de eflorescencias. Hay que anotar que el uso de pigmentos no las aumenta, aunque sí las hace más visibles cuanto más oscuro sea el color del soporte. Las eflorescencias, que se aprecian en algunas muestras desde las dos o tres semanas de ejecutadas, aparecen en épocas del año, así como en zonas de las islas, donde los ciclos sol-llovizna ligera, se suceden con frecuencia, (incluso varios en el mismo día). Es necesario proceder a proteger el hormigón, apenas desencofrada la pieza, con productos especiales, que permitiendo la transpirabilidad de aquélla, por diferencias de presiones, impida la penetración de los agentes externos (agua de lluvia, sobre todo).

En las muestras anexas se han ensayado diferentes productos con resultados diferentes.

El «lavado» de las sales de carbonato cálcico con cinco partes de agua y una de lejía (hipoclorito) o bien el cepillado de la superficie, en seco, con lana de acero, se han mostrado como procedimientos eficaces para eliminarlas.

- Medio Seco y Oscuro: El 50 % de las probetas (una por amasada), reservadas, se conserva a temperatura y humedad ambientes, en recintos con poca luminosidad, en el Laboratorio de Construcción. No hay indicios sobre posible decoloración por el tiempo y los agentes atmosféricos externos.

Textura. Relieves

En el anexo de fotografías aparecen las muestras más significativas realizadas con diferentes encofrados y tratamientos superficiales.

Repercusión del pigmento en el precio del hormigón

- El precio por m³ del hormigón en masa viene a ser, en la fecha de la presente (sin pigmentar) y para las Islas Canarias.

PA-350 (gris)	}	— Hormigón de 300 Kg cemento/m ³
		(175 Kg/cm ²) = 6.000 ptas/m ³
		— Hormigón de 350 Kg cemento/m ³
		(200 Kg/cm ²) = 6.500 ptas./m ³
		— Precio del cemento PA-350 = 12 ptas/Kg

P-450-B (blanco)	}	— Precio del cemento P-450-B = 25 ptas/Kg
		— Hormigón de 300 Kg cemento/m ³
		(200 Kg/cm ²) = 9.900 ptas/m ³
		— Hormigón de 350 Kg cemento/m ³
		(225 Kg/cm ²) = 11.100 ptas/m ³

- Los costos de los pigmentos utilizados son, para los inorgánicos.

— Pigmento Rojo	200 ptas/Kg
— Pigmento Negro	300 ptas/Kg
— Pigmento Amarillo	450 ptas/Kg
— Pigmento Verde-Oxido cromo	1.000 ptas/Kg
— Pigmento Verde-Luz	4.500 ptas/Kg
— Pigmento Azul-Luz	6.000 ptas/Kg

— For a quantity of 350 Kg of grey cement PA-350 and 2 % pigment the percentage rise in the cost for a cubic metre are:

— Without pigmentation (0 %)	6,500 ptas/m ³	1
— Red Pigment (2 %)	7,900 ptas/m ³	1.22
— Black Pigment (2 %)	8,600 ptas/m ³	1.32
— Yellow Pigment (2 %)	9,650 ptas/m ³	1.48
— Green-Chromium Oxide Pigment (2 %)	13,500 ptas/m ³	2.08
— Light Green Pigment (2 %)	38,000 ptas/m ³	5.85
— Light Blue Pigment (2 %)	48,500 ptas/m ³	7.46

— For a quantity of 350 Kg white cement P-450-B and 2 % pigment the percentage rise in the cost of a cubic metre are:

— Without pigmentation (0 %)	11,100 ptas/m ³	1
— Red Pigment (2 %)	12,500 ptas/m ³	1.13
— Black Pigment (2 %)	13,200 ptas/m ³	1.19
— Yellow Pigment (2 %)	14,250 ptas/m ³	1.28
— Green-Chromium Oxide Pigment (2 %)	18,100 ptas/m ³	1.63
— Light Green Pigment (2 %)	42,600 ptas/m ³	3.84
— Light Blue Pigment (2 %)	53,100 ptas/m ³	4.78

— In spite of the significant percentage increases of the price of a cubic metre of cement, the average increase on real estimates for the referred work was 0.1 % for red and black pigments. The greatest repercussions were found in the buildings shown in the photographs (light blue and light green) which did not reach 1 % and 0.5 % respectively of the site estimate.

6. COMMON ERRORS IN THE USE OF PIGMENTS

Colouring concrete is an art which has to be learnt. In the learning process, which the author has also gone through, it is easy to commit errors, some of which may be easily avoided while others are more difficult to avoid. These errors are detailed below and may serve as a guide:

Non-uniform pigmentation: We will reiterate upon the fact that concrete is a stone created by Man and like those created by Nature does not demand a uniformity of colour. In fact a great deal of its intrinsic beauty comes from the different hues and tones that it presents. If an absolutely uniform colour is required then the method of pigmentation is not the most suitable and alternatives may be found among plastics, paint or finishings which guarantee this uniformity. However, on adding the pigment to the concrete paste (see the section on different methods of addition) this may agglutinate and turn lumpy and make pockets of pigment which are not properly mixed. This is usually due to the use of old pigments which have been stored for various months or even years and which have suffered from humidity either when stored in sacks or upon previous opening. As such, the first rule is to take extreme care in checking that the pigment is perfectly dry. It is good practice to demand that the storing period of the pigment be the same as that for the cement to be coloured even though the former is not as perishable as the latter, and to keep it in dry and protected places at all times.

Inopportune addition of the pigment in the concrete mix: Even though the author experimented with all the different methods for adding the pigment, and the pigment was always dry and recently manufactured, no alterations in colour were detected. However, given the small proportion employed in all of these (around 3 % of the cement weight or 0.4 % of the weight/m³), the most homogenous results were obtained by dry mixing the pigment with part of the aggregates (5-10 or 10-20), mixing from 15 to 30 seconds, and later adding the rest of the aggregates and the sand, the cement and finally the water.

Incompatibility with other additions: In the tests carried out in the Laboratory no other additions were employed. From personal experience it has been seen that the addition of water proofing with a LIGHT BLUE pigment did not show any incompatibilities. However it should be recommended that other additions and pigments be tested in order to test their compatibility.

— Para una dosificación con 350 Kg de cemento gris PA-350 y 2 % de pigmento los porcentajes de incremento sobre el precio referido por m³ son:

— Sin pigmentar (0 %)	6.500 ptas/m ³	1
— Pigmento Rojo (2 %)	7.900 ptas/m ³	1,22
— Pigmento Negro (2 %)	8.600 ptas/m ³	1,32
— Pigmento Amarillo (2 %)	9.650 ptas/m ³	1,48
— Pigmento Oxido cromo (2 %)	13.500 ptas/m ³	2,08
— Pigmento Verde-Luz (2 %)	38.000 ptas/m ³	5,85
— Pigmento Azul-Luz (2 %)	48.500 ptas/m ³	7,46

— Para una dosificación con 350 Kg de cemento blanco P-450-B y 2 % de pigmento los porcentajes de incremento sobre el precio referenciado por m³ son:

— Sin pigmentar (0 %)	11.100 ptas/m ³	1
— Pigmento Rojo (2 %)	12.500 ptas/m ³	1,13
— Pigmento Negro (2 %)	13.200 ptas/m ³	1,19
— Pigmento Amarillo (2 %)	14.250 ptas/m ³	1,28
— Pigmento Oxido cromo (2 %)	18.100 ptas/m ³	1,63
— Pigmento Verde-Luz (2 %)	42.600 ptas/m ³	3,84
— Pigmento Azul-Luz (2 %)	53.100 ptas/m ³	4,78

— A pesar de que son significativos los incrementos porcentuales del precio/m³ del hormigón, la media de incrementos sobre presupuestos reales en las obras referenciadas ha sido del 0,1 % en los pigmentos rojos y negros, originando la repercusión mayor los edificios de las muestras fotográficas (azul-luz) y (verde-luz) que no alcanzaron, respectivamente, el 1 % y el 0,5 % del presupuesto de la obra.

6. ERRORES MAS FRECUENTES EN EL USO DE LOS PIGMENTOS

Colorear el hormigón es, indudablemente, un arte, el cual debe ser aprendido. En ese proceso de aprendizaje, que este autor también ha tenido que recorrer, no es infrecuente cometer errores, fáciles de evitar algunos y no tanto en otros, que enumerados a continuación se pretende sirvan de guía-ejemplo para posteriores usuarios:

Pigmentación no uniforme: Ya se ha hecho notar algo que debe ser repetido: el hormigón es una piedra creada por el hombre que, al igual que en las distintas provenientes de la Naturaleza, no sólo no se le pide uniformidad en la coloración, sino que gran parte de su belleza intrínseca viene de los distintos matices y tonalidades que presenta. Si lo que se deseara es un color absolutamente uniforme, el camino estaría equivocado, y habría que buscar aquél por medio de plásticos, pinturas o acabados cuyo procedimiento de elaboración lo garantice. No obstante al introducir el pigmento en la pasta del hormigonado (véase el apartado destinado a las distintas formas de ejecutado), éste puede aglutinarse formando grumos, bolsas de pigmento no homogeneizado debido, en la mayoría de los casos a tratarse de pigmentos viejos, almacenados durante varios meses o, incluso, años, en los que la humedad ha penetrado en los sacos donde se suministra o bien, directamente, con el medio ambiente cuando aquél ha sido abierto hace tiempo. Así, una primera regla ha de ser el exquisito cuidado que ha de tenerse en que el pigmento esté perfectamente seco. Una buena práctica es, aunque no es tan alterable como el cemento, exigir un período de almacenamiento igual al de éste, al cual va a colorear, manteniéndolo siempre en lugares secos y protegidos.

Introducción a destiempo del pigmento en el hormigonado: A pesar de que el autor ha experimentado todos los diferentes modos de introducción del pigmento, y, con la utilización siempre de éstos secos y de reciente fabricación, no se han detectado alteraciones en el color por esta causa, sí es cierto, que dada la pequeña proporción utilizada, alrededor del 3 % del peso de cemento, o lo que es lo mismo, el 0,40 % de peso/m³; de todas ellas, se consiguen resultados más homogéneos mezclando el pigmento en seco con una parte de los áridos (5-10 ó 10-20), batiendo de 15 a 30 segundos, añadiendo a continuación el resto de los áridos y la arena, el cemento y por último el agua.

Incompatibilidades con otros aditivos: En los ensayos efectuados en Laboratorio no se han utilizado otros aditivos. De la experiencia práctica personal, la única en la que se ha utilizado otro, en concreto un hidrofugante, con pigmento AZUL-LUZ no han existido incompatibilidades de uso. No obstante es absolutamente recomendable comprobar la no interacción entre el pigmento y otros aditivos.

Unsuitable pigments: It has already been mentioned that the pigment to be employed as an addition requires prior testing by specialized personnel in a specialized laboratory. Unsuitable pigments are those that do not present the necessary size and fineness of particle, or particles that are irregular and these will inevitably lead to problems in the colouring.

The colouring capacity, intensity and tone required should be checked in order to avoid problems with the concrete member. This will eliminate the need to reject and demolish defective members or to coat the same with paint or by any additional finishing.

Variations in concrete components: The lack of uniformity in colouring is usually due to variations in the concrete's components. The causes of irregularities may be due to any of the following: Supply of aggregates from different quarries or even from different parts of the same quarry. Differences in dates of manufacture of cement (note the variability of clinkers used for cements in the Canary Islands). The greater or lesser proportion of fines in the aggregates and sands and the degree of colouring of the same.

The water/cement ratio, (the very different water absorption according to the type of pigment employed has been seen in other sections), influences the colour intensity and tone, and the brightness increases in accordance with the proportion of water. However, when dealing with structural concrete where a larger proportion of water will negatively affect the strength, the balance between the required strength and the brightness of colour should be the result of a very reduced water/cement ratio.

Variation of applications: The human factor plays an important part in the successful colouring of concrete. The correct application may depend on the labourer at the cement mixer or the site foreman. As such any error in the weighing of the batch of pigment as a percentage of the cement weight, or an incorrect sequence of addition, or a change in the personnel dedicated to these tasks may lead to an unacceptable concrete. On the other hand it is vital to consider the concrete joints before the process is carried out. It is recommendable to carry out the work in a continuous manner to ensure a visual continuity of colour, as any climatological change, (sun, temperature and humidity), has an enormous comparative influence on adjacent coloured members.

Colour variation due to formwork: The shape, type and material of the formwork all have repercussions in the colour. Within the same formwork differences may arise from an excessive number of stages, which produce variations, when using new timber, as a result of the different degree of absorption of the same formwork, or when failing to clean the joints or the assembly.

Incorrect or insufficient vibration or compacting of the concrete will give rise to hollows in the surface, and the appearance of the aggregate. Though excessive vibration will cause the fine surface layer of slurry, in contact with the mould, to be too thick, causing it to stick to the mould rather than the concrete paste. This layer will peel on striking or on retracting or as soon as the concrete is operational.

The vibration of concrete in absolutely watertight formwork (e.g. PVC pipes), causes local concentration of large air bubbles placed at random on the surface of the concrete.

The in situ concreting of a structural member is therefore an inherent risk factor and there is normally only one opportunity to obtain the desired results. Blue and green colour are particularly difficult to obtain and care must be taken to avoid the errors indicated above. This together with the designer's decision regarding the colour to be used and the areas where they will be placed mean that buildings with coloured concrete have a special and particular character.

7. CONCLUSIONS

Strength variation due to the addition of pigment

- Natural pigments: The only pigment causing notable decreases and dispersion.
- Inorganic Pigment:

Pigmentos inapropiados: Queda dicho con anterioridad que, como aditivo que es, son necesarios ensayos previos, por personal y laboratorio especializado, del pigmento que se vaya a utilizar. La utilización de pigmentos inadecuados, no constatables si se prescribe de aquellos, que no presenten el tamaño y finura precisos de las partículas que lo componen, así como uniformidad de éstos, llevará irremediablemente a problemas de coloración.

La capacidad de tinte, su intensidad, así como el tono de color deseado, serán comprobados para no causar sorpresas en la pieza hormigonada, evitando la penosa decisión de su rechazo, demolición o recubrimiento posterior con pintura o falseando con cualquier otro acabado.

Variaciones en los componentes del hormigón: Coloraciones no uniformes son debidas, mayoritariamente, a variaciones en los componentes del hormigón. El suministro de áridos de canteras diferentes o, incluso, de diferentes zonas de la misma cantera. La dispersión en la fecha de fabricación del cemento, (hay que recordar la variabilidad en los clinkers utilizados para los cementos en las Islas Canarias), la mayor o menor proporción de finos en los áridos y arenas, así como el grado de coloración de éstas son causas por las cuales se obtienen irregularidades de pigmentación.

La relación agua/cemento, (se ha visto en otros apartados la muy diferente absorción de agua según el pigmento del que se trate), influye en el tono e intensidad de coloración, aumentando la luminosidad conforme lo hace la cantidad de agua. Es indudable que, al tratarse de hormigones estructurales, en los que la mayor proporción de agua influye negativamente en la resistencia, el equilibrio entre resistencia pedida y luminosidad en el color debe ser consecuencia de un muy aquilatado valor agua/cemento.

Variaciones en la ejecución: Buena parte del éxito en el logro de una correcta coloración del hormigón la tiene el factor humano. Del laborante a pie de máquina hormigonera o del encargado de la obra, si es éste el que suministra el pigmento, dependerá el conseguirlo o no. Así, los errores en las pesadas en la adición de pigmento, sobre tanto por ciento en peso de cemento, la falta de orden en la secuencia de introducción de éstos, los áridos y el agua, incluso el cambio de la persona encargada de esta labor, dan como resultado un hormigón inaceptable. Por otro lado es imprescindible el valorar las juntas de hormigonado, previamente a éste, aconsejándose el que se realice de manera continua para aquellos elementos que, por su aspecto, se desee den una única imagen visual, ya que el cambio climatológico (asoleo, temperatura ambiente, humedad), tiene enorme influencia comparativa entre elementos coloreados próximos.

Variaciones de color según los encofrados: La forma, tipo y material de encofrado tienen repercusión en el color. Dentro de un mismo encofrado, diferencias no deseadas resultarán de un número excesivo de puestas, produciéndose variaciones, cuando se usen maderas nuevas, por el diferente grado de absorción de agua de un mismo encofrado o falta de limpieza de juntas, verdugillos o ajustes de sus componentes.

Un defectuoso vibrado o compactación del hormigón dará lugar, cuando el tiempo del mismo es escaso, a coqueas superficiales, con afloramiento del árido, mientras que, por el contrario un excesivo uso del vibrador conseguirá que la fina lechada de recubrimiento en contacto con el molde sea demasiado gruesa, adhiriéndose más a éste que a la pasta de hormigón, desprendiéndose al desencofrar o tan pronto retraiga o entre en servicio la pieza hormigonada.

Los encofrados absolutamente estancos (por ejemplo: tubos de PVC), al vibrar el hormigón, ocasionan la concentración local de grandes burbujas de aire localizadas, arbitrariamente, en su superficie.

Así, con todo, de manera especial con los colores azul y verdes (los más difíciles de conseguir), y evitando caer en los errores enumerados, el hormigonado «in situ» de una pieza estructural tiene un factor de riesgo, inherente a su única y primera vez, que no admite, en principio, una segunda oportunidad, que, unido a la decisión del proyectista, ya desde la estructura, del color a emplear y las zonas donde se sitúa, dotan de un carácter especial y particular a los edificios con hormigón pigmentado.

7. CONCLUSIONES

Variación de la resistencia por adición de pigmento

- Pigmentos Naturales: Único pigmento con bajas notables y dispersiones de resultados grandes.
- Pigmentos Inorgánicos:

- Reds: Improvement with low gauges in cement (+10 %). High gauges do not cause effect (350 Kg/m³).
- Yellows: Better initial strength (7 days), (+10 %) which later levels out at 90 days.
High content (4 and 5 %) with phonolites and white cement increase the strength (+10 %) at any age.
- Blues: No effect.
- Black: White cement is not affected. Very important strength improvements obtained with PA-350 (25 % with a 3 % addition) which is even better with low mixes of cement.
- Green-Chromium Oxide: No effect.
- Combination of Blue and Yellow: Incorporates characteristics of both, with better initial strength (7 days) and small decreases after 90 days. (All for high concentrations (7 %) of basalt aggregates).

Variation in the consistency of concrete

- With a water/cement ratio of 0.67 and 0.57, cone decreases are obtained to the value of 5 to 7 cm. in gauges without pigment.
- Green and blue pigments do not significantly affect consistency.
- Red pigments, including the natural earth pigments give cones showing a smaller decrease of around 2 cm. when using high concentrations (6 and 7 %).
- Yellow pigments dry the mixes to a great degree, with cones decreasing from 7 to 2 cm.
- Black pigment plastifies the paste and increases the cone from 3 to 5 cm. (Greater with basalts).

Other results regarding strength characteristics

- The improvement obtained by a 17 % increase in cement/m³ corresponds to an increase of strength of 12 to 30 %, according to the gauges employed (the best results being with crushed basalt aggregate).
- When using either one or two sands, or phonolites or basalts, strength improvements (of 6 to 18 %) are obtained with "very fine" sands, (FM of 1.1 to 1.3). The cones similarly improve (7 and 9 cones) against the 3 and 5 cones with fine sands with an FM of 1.5 to 2.
- The variation in the ambient temperature of the Laboratory (15° to 23°C) and that of the water of the mix (18° to 24°C) do not appreciably affect the strengths obtained.
- All of the gauges employed guarantee an fck of 200 to 225 Kg/cm² in accordance with that laid down in article 67 of the IEH-91.

Conclusions on the use of pigments

- White cement gives brighter colours.
- Excellent colouring is obtained in site with 2 % pigments in grey cements PA-350.
- The use of inorganic pigments is recommended in favour of the natural earth pigments.
- The degree of saturation for artificial pigments is around 5 % (white cement) and 7 % (grey cement), for all pigments except the black (2-3 %).
- The water/cement ratio is difficult to solve as:
more water = gives greater brighter colours
more cement = gives greater strength
- The pigment should be supplied from the same batch, and be dry and in perfect condition.
- The pigment should be dry mixed with the cement or part of the aggregates. (Never with the sand).

- Rojos: Mejora dosificaciones bajas en cemento (+10 %). No altera dosificaciones altas (350 Kg/m³).
- Amarillos: Mejora resistencias iniciales (7 días) (+10 %) que luego se nivelan a 90 días.
Contenidos altos (4 % y 5 %) con fonolitas y cemento blanco mejoran resistencia (+10 %) a cualquier edad.
- Azules: No afectan.
- Negro: Al cemento blanco no le afecta. Con PA-350 se obtienen mejoras de resistencia muy importantes (un 25 % con 3 % de adición). Todavía mayores en mezclas bajas en cemento.
- Verde-Oxido de Cromo: No afecta.
- Combinación de Azul y Amarillo: Incorpora características de ambos, con mejores resistencias iniciales (7 días) y pequeños descensos a 90 días (todo ello para concentraciones altas, 7 %, áridos basálticos).

Variación de la consistencia del hormigón

- Con relación a/c de 0,67 y 0,57 se obtienen descensos de cono de 5 a 7 cms. en las dosificaciones sin pigmentar.
- Los pigmentos verde y azul no afectan a la consistencia de manera significativa.
- Los pigmentos rojos, incluso los tierras naturales presentan conos con menores descensos, unos 2 cms., a concentraciones altas (6 % y 7 %).
- Los pigmentos amarillos secan extraordinariamente las mezclas, con conos que pasan de 7 a 2 cms. de descenso.
- El pigmento negro plastifica la pasta con aumentos de cono de 3 a 5 cms. (mayor en basaltos).

Otros resultados sobre las características resistentes

- La mejora obtenida por un 17 % más de cemento/m³ se corresponde, según dosificaciones, con aumento del 12 % al 30 % en las resistencias (la mayor con árido basalto machaqueo).
- Tanto si se usan una o dos arenas, como si se emplean fonolitas o basaltos tenemos mejoras de resistencia (del 6 % al 18 %) con las arenas finas, «muy finas», (MF de 1,1 a 1,3). Asimismo, los conos mejoran sensiblemente (conos 7 y 9), frente a conos 3 y 5 con arenas finas con MF de 1,5 a 2.
- La variación de la temperatura ambiente del Laboratorio (15° a 23°) así como la del agua de amasado (18° a 24°) no tiene repercusiones apreciables en las resistencias obtenidas).
- Cualquier dosificación de las empleadas garantiza una f_{ck} de 200 a 225 Kg/cm² según lo prescrito en el artículo 67 de la IEH-91.

Conclusiones sobre el uso de pigmentos

- La utilización del cemento blanco aporta luminosidad a los tonos.
- En obra se obtienen excelentes coloraciones con 2 % de pigmento en cementos grises PA-350.
- Se recomienda el uso de pigmentos inorgánicos frente a tierras naturales.
- La obtención de colores pastel obliga al uso de cementos blancos y pigmentos naturales.
- El grado de saturación para los pigmentos artificiales está sobre el 5 % (cemento blanco) y el 7 % (cemento gris), para todos los pigmentos, excepto el negro (2-3 %).
- La relación agua/cemento es de difícil solución
más agua = mayor luminosidad de color
más cemento = mayor resistencia
- El pigmento debe ser suministrado de la misma partida, estar perfectamente seco y conservado.
- Debe introducirse, en seco, mezclado con cemento o parte de los áridos (nunca la arena).

-
- The same personnel should always be responsible for making the in-situ concrete, and should carefully weigh the batches and ensure the same method is employed.
 - The cement, aggregates and sands should always be from the same source, with sufficient supplies for all the work.
 - Concreting should be continuous and avoid breaks and care should be taken with the weather conditions.
 - Previous colour samples should be made.
 - The compatibility of other additions should be checked.
 - The formwork should be perfectly clean and the different water absorption of the timber taken into consideration according to the number of stages.
 - Totally waterproof formwork causes large air bubbles.
 - The vibration time has to be exact.
 - Special striking methods should be used. (After trial tests).
 - As soon as the concrete has been struck it should be protected by a colourless surface treatment.
 - Work involving high proportions of visible concrete, either interior or exterior, with light green or light blue pigments may increase the budget by 0.5 and 1 % respectively.

8. OTHER INVESTIGATIONS

The author is at present preparing a complementary test plan in order to discover:

- The indirect tensile strength and resistance to flexotraction of pigmented concrete.
- The measure of acidity and rate of spread of carbonation in coloured concrete.
- Protecting capacity of steel for concrete.
- Use of pigments as plastifying additions.
- Discolouring of pigmented concrete under different climatic conditions.
- Control of efflorescences by the addition of stearic acid.

-
- El personal que fabrique el hormigón de una obra ha de ser siempre el mismo, con exactitud en la pesada y con los mismos métodos.
 - El cemento, los áridos y las arenas han de tener la misma procedencia, con acopios de los últimos suficientes para toda la obra.
 - El hormigonado continuo ha de extremar la interrupción de los tajos y el cuidado con las condiciones ambientales.
 - Se deben elaborar muestras de color previas.
 - Comprobar la compatibilidad con otros aditivos.
 - El encofrado ha de estar perfectamente limpio y tener en cuenta la distinta absorción de agua de las maderas según el número de puestas.
 - Los encofrados totalmente estancos originan concentraciones de aire en forma de grandes burbujas.
 - El tiempo de vibrado ha de ser el justo.
 - Hay que usar desencofrantes especiales (hacer pruebas previas).
 - Tan pronto como el hormigón sea desmoldeado proteger el hormigón con tratamientos incoloros superficiales.
 - Las obras con más altas proporciones de hormigones vistos, tanto interior como exteriormente, pigmentados con verde o azul luz han incrementado el presupuesto en un 0,5 % y 1 % respectivamente.

8. OTRAS INVESTIGACIONES

El autor lleva a cabo en el momento de la publicación de la presente un plan de ensayos complementarios destinados a obtener resultados sobre:

- Resistencia del hormigón pigmentado a rotura por tracción indirecta y flexotracción.
- Medida de la acidez y velocidad de avance de la carbonatación en el hormigón coloreado.
- Capacidad de protección del acero por el hormigón.
- Uso de los pigmentos como aditivos plastificantes.
- Decoloración del hormigón pigmentado frente a diferentes condiciones del medio ambiente.
- Control de las eflorescencias por adición de ácido esteárico.

9. BIBLIOGRAFIA

9. BIBLIOGRAPHY

- (1) Comisión Permanente del Hormigón. EH-91 - Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de Obras de Hormigón en Masa o Armado. M.O.P.U. 1991.
- (2) Instituto Español de Normalización. Normas UNE. IRANOR. 1984-1987.
- (3) ACI-212. Guía para el empleo de aditivos en el concreto. 1963.
- (4) CIB. Production de Béton de Couler Uniforme et sans Defauts de Surface. (Cib Rapport N. 5). Commis. de Travail W.29 du CIB (Conseil Int. du Bâtiment pour la Recherche L'etude et la Documentation). 1966.
- (5) Puttbach. Pigments for the Colouring of Concrete. Betonwerk Fertigteil. 1987.
- (6) Von Szadkowski, G. The Weathering Behaviour of Pigmented Concrete Paving Blocks. Betonwerk Fertigteil. 1987.
- (7) Bayer. Bayferrox. AC 13341. Octubre 1981.
- (8) Bayer. Concrete Strength and Pigment Addition. P. 7270 e. Octubre 1971.
- (9) GUIGOU FERNANDEZ, Carlos. Influencia de las Características Petrográficas de los Aridos Canarios en las Propiedades de los Hormigones. 1990.
- (10) PICKEL, U. Finished Concrete Surfaces-Design and Processing Techniques. Betonwerk Fertigteil Technik. 1989.
- (11) JOHNSTON, R. G. S. A Colourful face to concrete. 5th International Congress on Polymers in Concrete. 1987.
- (12) KURZ, G. What would Architects do without colour? Betonwerk Fertigteil. 1988.
- (13) JUNGK, A. E. y HAUCH, H. G. Coloured concrete-a sight for sore eyes? Betonwerk und Fertigteil. 1988.
- (14) JUNGK, A. E. y WOLFERT, B. Colouring concrete-a pleasure? Betonwerk Fertigteil. 1989.
- (15) LYNDALE, C. y CABRERA, J. Coloured concrete. A state of the art review. Concrete, the journal of the Concrete Society. 1989.
- (16) GAGE, M. Guide to exposed concrete finishes. Michael Gage. 1974.
- (17) SCHMIDT, J. The concrete paving stone-a design tool for shaping and colouring. Betonwerk Fertigteil-technik. 1987.
- (18) TRUB, U. A. Effect of Lime Secretion on Concrete Gray Tonality. Rev. IMCYC. 1974-1975.
- (19) TRUB, U. Superficies de Hormigón visto. Editores Técnicos Asociados, S.A. 1977.
- (20) PCI. Color, Form & Texture in Architectural Precast Concrete. Prestressed Concrete Institute (PCI).
- (21) NOVAK, K. Application Technology for Coloured Concrete. (Anwendung stechnik for Betoneinfärbung). Betonwerk Fertigteil technik. 1989.
- (22) MARCH, P. Concrete as a visual material. Cement and Concrete Association. 1974.
- (23) MONKS, W. Appearance matters. Visual concrete. Design and production. Cement and Concrete Association. 1980.
- (24) DEICHSEL, Thilo. Efflorescence-Origins, Causes, Counter-Measures. Betonwerk Fertigteil-technik. 1982.
- (25) RABOT, R.; COULON, C.; HAMEL, J. Étude des efflorescences. Ann. Inst. Tech. Bâtiment Tra. 1970.
- (26) DOBROWOLSKI, J. A. Textured Architectural Concrete. Concrete International. 1984.
- (27) MATTERN, W. J. Colouring Concrete-The Right Way. Concrete International. 1985.
- (28) HEUN, R. C. Imagine the possibilities. Concrete International. 1985.
- (29) CROUSHORE, P. N. Color; A Face in Construction. Concrete International. 1985.
- (30) Pundit. A question of colour. Concrete. 1977.
- (31) DABNEY, C. M. Colored architectural concrete. Concrete International. 1984.
- (32) WILSON, R. Test of colours for portland cement mortars. Proceeding ACI 23, pp. 226-252. 1972.
- (33) ROBER, P. Pigmentation of concrete and mortar. Modern Concrete, vol. 38, n.º 2, pp. 55-57. 1974.
- (34) Portland Cement Association. Mineral Pigments for Use in Colouring Concrete. Portland Cement Association-Concrete Information.
- (35) SHAMMA, S. A Touch of Colour. Concrete. 1980.
- (36) Exploring Colour and Texture. Portland Cement Association.
- (37) COLES, J. A. Colour and Pigments. Concrete. 1978.
- (38) KROONE, B. y BLAKEY, F. A. Some aspects of pigmentation of concrete. Construction Review, pp. 25-28. 1968.
- (39) VAN VALLEDAEL, M. Pigments study to colour cement based materials. Scientifique et Techniques pour l'Industries Cimentiere, Rapport de Recherche, 41-f, pp. 88. 1974.

-
- (40) British Standard BS 1014-1975. Specification for pigments for portland cement and portland cement products. The British Standards Institution. London. 1975.
 - (41) LEVIT, M. Pigment. Concrete International, The Construction Press, pp. 96-102. 1980.
 - (42) MOWAT, G. C., y SYMONS, M. G. Physical properties of concrete containing pigments. Institution of Engineering Australia Civil Engineering Transaction, vol. 24, n.º 2, pp. 162-170. 1982.
 - (43) ASTM. Standard specification for pigments for integrally coloured concrete. American Society for Testing and Materials. 1982.
 - (44) SPENCE, F. Coloured Concrete for Architectural Use. Concrete Forum, n.º 1, pp. 15-18. 1988



SERIES DE DOSIFICACIONES IGUALES CON VARIACION DE % DE PIGMENTO AÑADIDO. CARTAS DE COLORES REALIZADOS EN LABORATORIO (*)

SERIES OF EQUAL PROPORTIONS WITH A VARIATION IN THE PERCENTAGE OF PIGMENT ADDED. COLOUR CHARTS MADE IN THE LABORATORY (*)



Hormigón con 350 Kg de cemento/m³ - cemento Gris PA-350.
Pigmento Rojo BAYER 130: 0,5 %, 1 %, 2 %, 3 %, 4 %, 5 %, 6 %, 7 %.

Concrete with 350 Kg cement/m³ - Grey cement PA-350 BAYER 130 Red
Pigment: 0.5 %, 1 %, 2 %, 3 %, 4 %, 5 %, 6 %, 7 %.



Hormigón con 350 Kg de cemento/m³ - cemento Gris PA-350.
Pigmento Tierra Natural: 0,5 %, 1 %, 2 %, 3 %, 4 %, 5 %, 6 %, 7 %.

Concrete with 350 Kg cement/m³ - Grey cement PA-350 Natural Earth
Pigment: 0.5 %, 1 %, 2 %, 3 %, 4 %, 5 %, 6 %, 7 %.



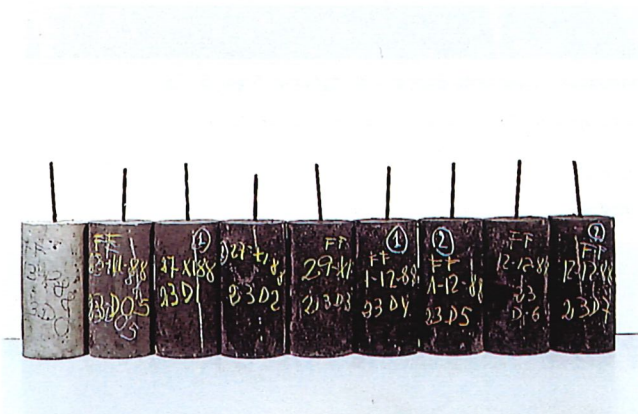
Hormigón con 300 Kg cemento/m³ - cemento Gris PA-350.
Pigmento Bayer Azul Luz 100: 0,5 %, 1 %, 2 %, 3 %, 4 %, 6 %, 7 %.

Concrete with 300 Kg cement/m³ - Grey cement PA-350 Bayer 100 Light
blue Pigment: 0.5 %, 1 %, 2 %, 3 %, 4 %, 5 %, 6 %, 7 %.



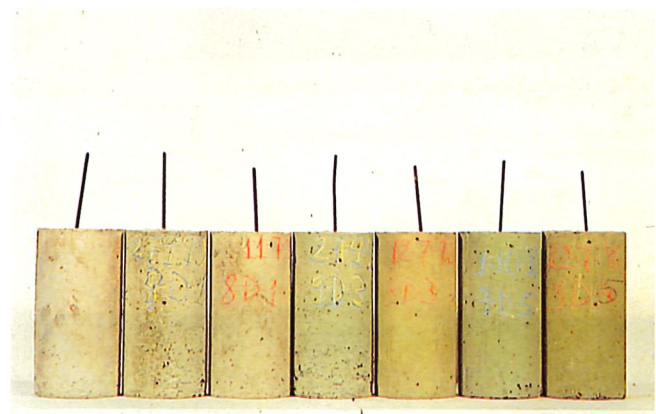
Hormigón con 350 Kg cemento/m³ - cemento Gris PA-350.
Pigmento Bayer Amarillo 930: 0,5 %, 1 %, 2 %, 3 %, 4 %, 5 %, 6 %, 7 %.

Concrete with 350 Kg cement/m³ - Grey cement PA-350 Bayer 930 Yellow
Pigment: 0.5 %, 1 %, 2 %, 3 %, 4 %, 5 %, 6 %, 7 %.



Hormigón con 300 Kg cemento/m³ - cemento Gris PA-350.
Pigmento Scharlau Negro Gloria: 0,5 %, 1 %, 2 %, 3 %, 4 %, 5 %, 6 %, 7 %.

Concrete with 300 kg cement/m³ - Grey cement PA-350 Scharlau Black
Pigment: 0.5 %, 1 %, 2 %, 3 %, 4 %, 5 %, 6 %, 7 %.

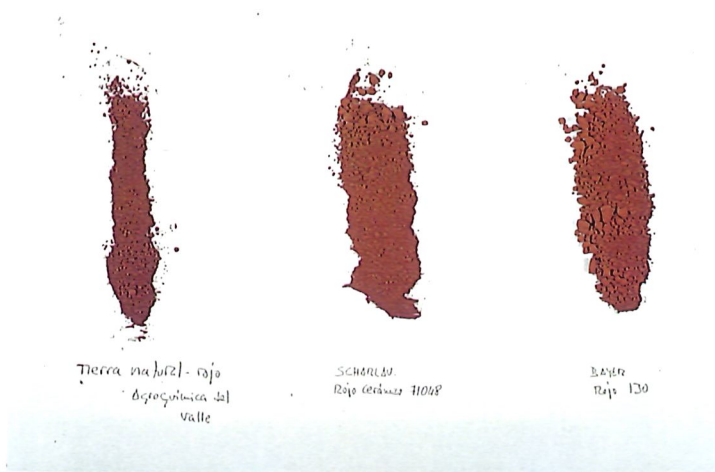


Hormigón con 300 Kg cemento/m³ - cemento Blanco P-450-B.
Comparativo entre concentraciones del 1 %, 3 %, 5 % de pigmento verde óxido de cromo (izquierda) y mezcla al 50 % de Azul Luz 100 y Amarillo 930 (derecha). La probeta del extremo izquierdo es la de referencia sin pigmentar (0 %).

Concrete with 300 Kg cement/m³ - White cement P-450-B. Comparative between concentrations of 1 %, 3 %, 5 % green chromium oxide pigment (Left) and mixture of 50 % Light Blue 100 and Yellow 930 (Right). The specimen on the extreme left is the reference specimen without pigmentation (0 %).

(*) NOTA: Las manchas son debidas a un desencofrante inadecuado.

(*) NOTE: The stains are due to inadequate striking.



Los pigmentos han de ensayarse para conocer su capacidad de tinte del hormigón. De izquierda a derecha: Tierra Natural, Rojo 71048 Scharlau, Rojo 130 Bayer. (Véanse diferencias entre 1 y 2).

The pigments must be tested in order to know their concrete colouring capacities. From left to right: Natural Earth, Scharlau Red 71048, Bayer Red 130. (See differences between 1 and 2).



Probetas en la cámara húmeda. Con el 100 % de humedad no aparecen eflorescencias.

Specimens in conditioning chamber. With 100 % humidity no efflorescences appear.



Encofrado de cornisa en escayola. Corresponde a la muestra n.º 20.

Formwork for a plaster cornice. Corresponding to specimen no. 20.



Edificio Administrativo. Cemento Blanco. 2 % Pigmento Rojo 130 Bayer.

Administrative Building. White Cement. 2 % Red Pigment Bayer 130.

EDIFICIOS REALIZADOS LIST OF BUILDINGS



Almacén. Cemento Gris PA-350. 3 % Pigmento Rojo 130 Bayer.

Warehouse: Grey Cement PA-350. 3 % Red Pigment Bayer 130.

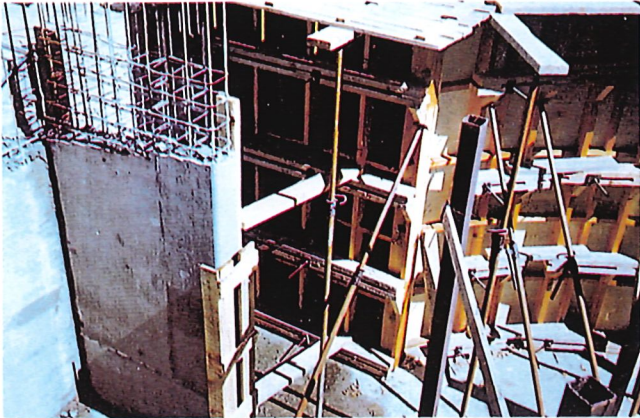


Laboratorios de obras públicas. Cemento Gris PA-350. 2 % Pigmento Rojo 130 Bayer.

Public Works Laboratory. Grey Cement PA-350. 2 % Red Pigment Bayer 130.

RELACION DE TIPOS DE ENCOFRADOS, TEXTURAS Y TRATAMIENTOS SUPERFICIALES
TYPES OF FORMWORK, TEXTURES AND SURFACE TREATMENT

ENCOFRADOS DE MADERAS
TIMBER FORMWORK



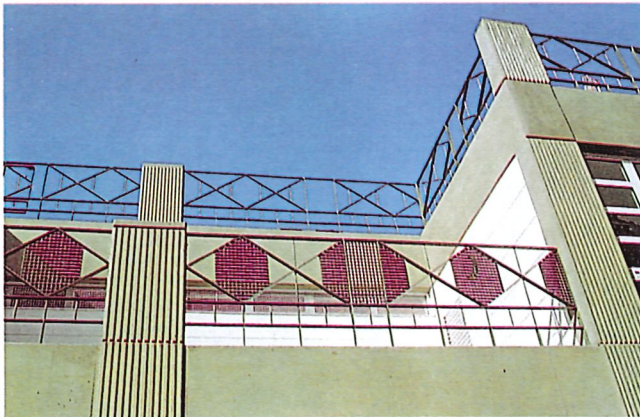
Encofrado de madera hidrofugada.

Waterproofed wood formwork.



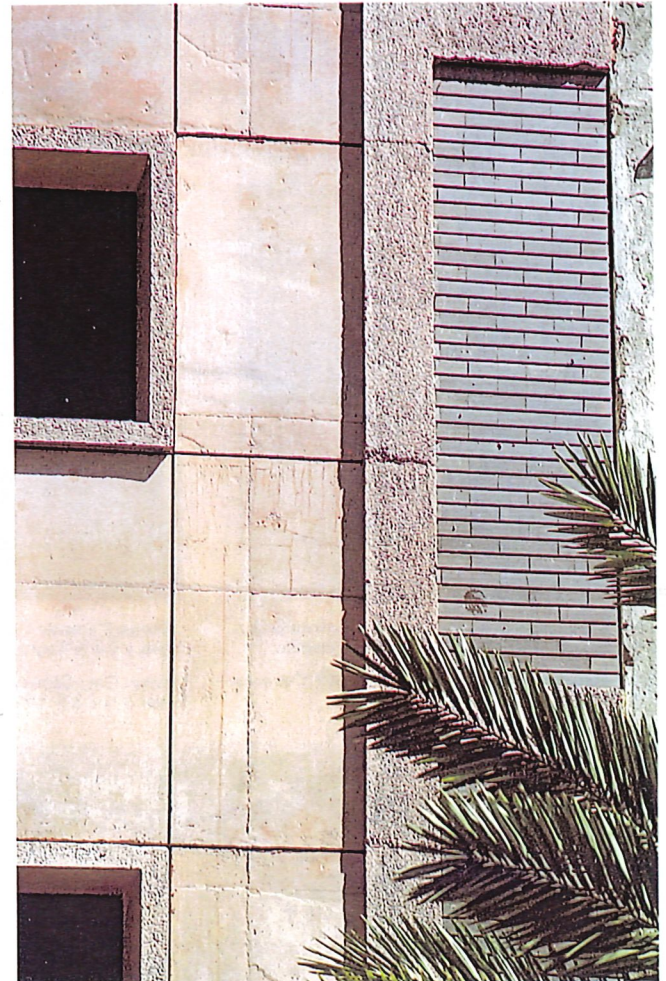
Encofrados de tableros de madera de densidad media en zócalos, el de la cornisa de madera de pino natural.

Formwork for plinths made up of medium density wood boarding. Formwork for the cornice made from natural pine.



Encofrados con maderas (en relieves) y tableros hidrófugos, tipo Ebanel H, barnizados.

Formwork with waterproofed wood (in relief) and boarding, Ebanel H type, and varnished.



Encofrados con tablero aglomerado melaminado. Sin desencofrante.

Melamine chipboard formwork. Without striking.



Escalera encofrada con tablero aglomerado. Formica. Sin desencofrante.

Formwork for stairs with Formica chipboard boarding. Plastic Formwork. Without striking.



Laboratorio del Servicio de Carreteras. Cemento Gris PA-350. 3 % Pigmento Rojo 130 Bayer en zócalos. Resto sin pigmentar.

Roadworks Laboratory. Grey Cement PA-350. 3 % Red Pigment Bayer 130 on plinths. The remainder unpigmented.



Edificio administrativo. Cemento Gris PA-350. 1,5 % Amarillo 930, 0,5 % Rojo 130 Bayer.

Administrative Building. Grey Cement PA-350. 1.5 % Yellow 930, 0.5 % Red 130 Bayer.



Edificio de viviendas unifamiliares adosadas. Cemento Gris PA-350. Cornisa: 2 % Negro Gloria Scharlau. Paramentos: Enfoscado con mortero 3 % Amarillo 930 Bayer.

Terraced housing. Grey Cement PA-350. Cornice: 2 % Black Scharlau. Facing: Rendered with 3 % Yellow 930 Bayer.



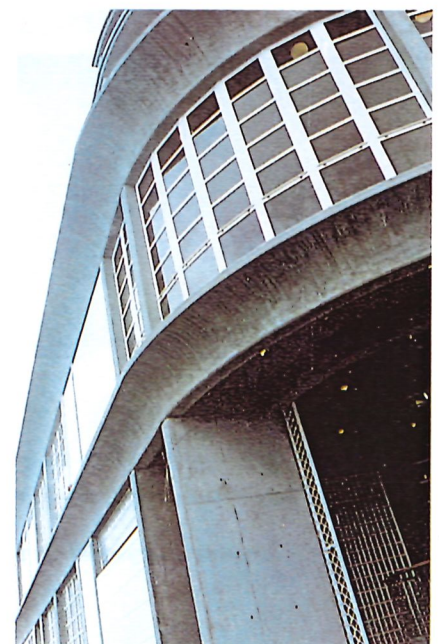
Local comercial y cuatro viviendas. Cemento Gris PA-350. Cornisas: 3 % Negro Gloria Scharlau.

Shop and four flats. Grey Cement PA-350. Cornices: 3 % Black Scharlau.



Oficinas: Cemento Gris PA-350. 1,5 % Azul Luz Bayer y 0,3 % Negro Gloria Scharlau.

Offices: Grey Cement PA-350: 1.5 % Light Blue Bayer and 0.3 % Scharlau Black.



Edificio Administrativo: Cemento Gris PA-350. 3 % Azul Luz Bayer.

Administrative Building: Grey Cement PA-350: 3 % Light Blue Bayer.



Oficinas. Cemento Gris PA-350. 2 % Verde Oxido de Cromo. Offices: Grey Cement PA-350. 2 % Green Chromium Oxide.



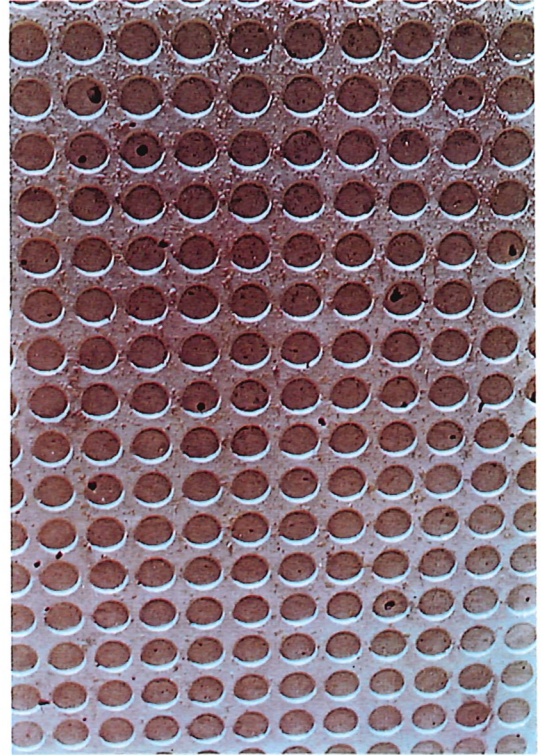
Vivienda unifamiliar. Cemento Gris PA-350. 2 % Verde Luz 5G Bayer.

Town dwelling. Grey Cement PA-350. 2 % Light Green 5G Bayer.

ENCOFRADOS DE PLASTICO
PLASTIC FORMWORK



Encofrado con lámina de Polietileno.
Formwork with polythene sheeting.



Encofrado con pavimento vinílico.
Vinyl formwork.



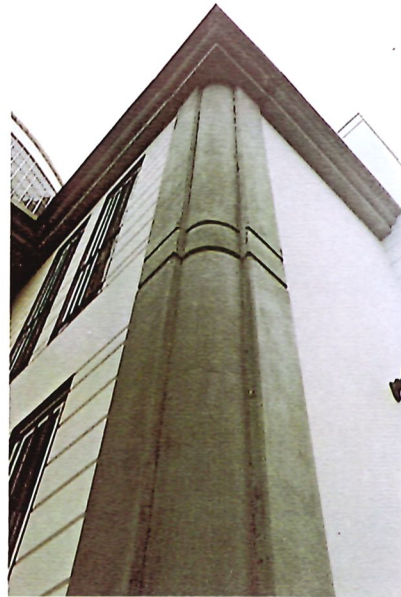
Tubos de PVC.
PVC Pipes.



OTROS ENCOFRADOS
OTHER FORMWORK

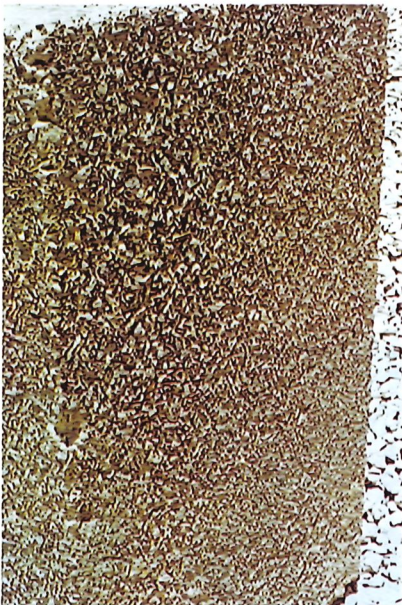


Encofrado con tejido de arpillera.
Formwork with sacking.

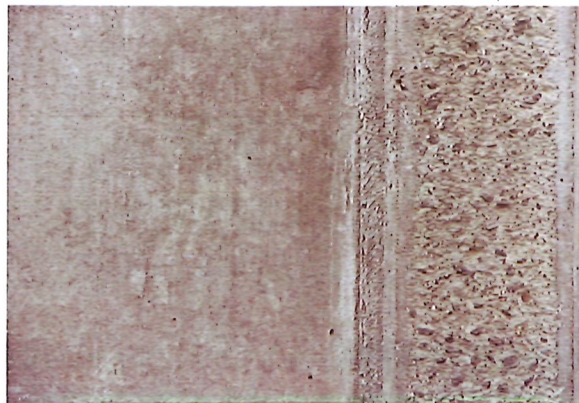


Encofrado con moldes metálicos.
Metal moulded formwork.

TRATAMIENTOS SUPERFICIALES
SURFACE TREATMENT



Inhibidos superficiales de fraguado - Febol S.
Surface setting inhibitor - Febol S.



Acabado liso y abujardado a mano. (Arido basáltico de barranco.)

Smooth finish granulated by hand. (Basalt aggregate).



Abujardado a martillina mecánica. (Arido fonolítico de machaqueo.)

Granulated by mechanical hammer (Crushed phonolitic aggregate).

Relación de personal titulado

Ingenieros de Caminos

Acón Robleda, Miguel Angel
Avalos Brunetti, Hugo Edgardo
Calavera Ruiz, José
Cortés Bretón, Juan María
Corral Folgado, Claudio
Delibes Liniers, Adolfo
Díaz Lozano, Justo
Espinós Espinós, José
Fernández Gómez, Jaime Antonio
Ferrer Serafí, Carles
Ferrerías Eleta, Román
Gómez Alvarez, Mercedes
González González, Juan José
González Valle, Enrique
Hostalet Alba, Francisco
Izquierdo Bernaldo de Quirós, José M.^a
Jordán de Urríes de la Riva, Jorge
Ley Urzaiz, Jorge
Rodríguez Moragón, Julio
Sirvent Sirvent, Enrique
Tapia Menéndez, José

Ingenieros Civiles

Arias Brostella, Carlos Alfredo
Pulgar Allendes, Jorge Osvaldo

Arquitecto

Luzón Cánovas, José M.^a

Ingeniero I.C.A.I.

Marín Estévez, Gonzalo

Ingenieros Industriales

Alvarez Cabal, Ramón Amado
Aparicio Puig, José Antonio
Bueno Bueno, Jorge
Durán Boldova, José Miguel
Pi Sáenz de Heredia, Cristóbal
Valenciano Carles, Federico

Ingeniero Aeronáutico

Cerdó Alonso-Misol, Gonzalo

Ingeniero Agrónomo

Valdés Tamames, Begoña

Ingeniero de Minas

Ramos Sánchez, Adelina

Licenciado en Ciencias Físicas

Díaz Paniagua, Carlos

Licenciados en Ciencias Geológicas

Blanco Zorroza, Alberto
Massana Milá, Joan
Serrano Martín, Luis

Licenciados en Ciencias Químicas

Grandes Velasco, Sylvia María
López Sánchez, Pedro
Morgado Sánchez, José Carlos
Rodríguez-Maribona Gálvez, Isabel Ana

Arquitectos Técnicos

Blanco Pérez, Hermenegildo
Casado de la Fuente, M.^a Esther
Cervera García, Eduardo
Fuente Rivera, Jesús de la
Jiménez Recio, Pedro Luis
Montejano Jiménez, María del Carmen
Muñoz Mesto, Angel
Oros Rey, Ana Isabel
Seisdedos Domínguez, Lucía
Vicente García, José Manuel

Ingenieros Técnicos Industriales

Alonso Miguel, Félix Benito
Díaz-Trechuelo Laffón, Antonio
Gómez Gómez, Angel Manuel
González Carmona, Manuel
González Muñoz, Rafael
Madueño Moraño, Antonio
Rodríguez Delgado, José Manuel

Ingeniero Técnico Industrial Químico

Fernández París, José Manuel

Ingenieros Técnicos de Obras Públicas

Aranda Cabezas, Luis
Blanco García, Fernando
Carrero Crespo, Rafael
Esteban García, Juan José
Fernández Corredera, Carlos
González Isabel, Germán
González Nuño, Luis
Mata Soriano, Juan Carlos
Montiel Sánchez, Ernesto
Muñoz Jiménez, José Luis
Muñoz Mesto, Angel
Pardo de Agueda, Juan Luis
Rosa Moreno, José Andrés
Rozas Hernando, José Juan
Sánchez Vicente, Andrés

Ingenieros Técnicos de Minas

Ballesteros Peinado, Luis Alberto
Santacoloma Cabero, Juan Ignacio
Sillero Arroyo, Andrés

Ingenieros Técnicos Topógrafos

Barragán Bermejo, M.^a Vicenta
Carreras Ruiz, Francisco
Vinagre Sáenz de Tejada, Hilario

Profesores Mercantiles

González Alvarez, Vicente
Sampedro Portas, Arturo

Técnico en Informática

García Rodríguez, Juan Tomás

Topógrafo

Alquezar Falceto, Ricardo

SERVICIO DE PUBLICACIONES

2.^a EDICION 1991 *

3.^a EDICION 1991 *



* De acuerdo con las Instrucciones EH-91 y EF-88, con referencia al EUROCODIGO EC-2, Model Code CEB-FIP 1990, ACI 318-89

CUADERNOS PUBLICADOS

Cuaderno N.º 1 «Generalización de la Fórmula de Cantidad Mínima a Secciones de Forma Cualquiera». Autores: J. Calavera Ruiz y L. García Dutari.

Cuaderno N.º 2 «Forjados Compuestos de Chapa Nervada y Hormigón: Sus Ventajas y Limitaciones». Autor: J. Jordán de Urrés de la Riva.

Cuaderno N.º 3 «Criterios para el Descimbrado de Estructuras de Hormigón». Autores: J. Calavera Ruiz y J. Fernández Gómez.

Cuaderno N.º 4 «Color y Textura en el Hormigón Estructural». Autor: J. M. Pérez Luzardo.

PROXIMO CUADERNO

Cuaderno N.º 5 «Tecnología Moderna de Durabilidad. Aplicación de la Experiencia Pasada a Proyectos Futuros». Autor: S. Rostam.

"PROYECTO Y CALCULO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO PARA EDIFICIOS"

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

TOMO I CALCULO DE ESFUERZOS

- 568 páginas. • Encuadernación en gualflex. • 373 figuras. • 90 gráficos y tablas auxiliares.

TOMO II DIMENSIONAMIENTO Y DETALLES CONSTRUCTIVOS

- 871 páginas. • Encuadernación en gualflex. • 611 figuras. • 142 gráficos y tablas auxiliares.

Precio de la obra completa: 15.000 Pts.

"CALCULO DE ESTRUCTURAS DE CIMENTACION"

- Autor: J. CALAVERA.
- 3.ª 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 gualflex. • 40 tablas para el dimensionamiento directo de zapatas corridas y aisladas. • Precio: 7.000 Pts.

"CALCULO, CONSTRUCCION Y PATOLOGIA DE FORJADOS DE EDIFICACION"

- Autor: J. CALAVERA.
- 4.ª Edición. • 678 páginas. • Encuadernación en gualflex. • 344 figuras. • 93 tablas y ábacos. • 16 ejemplos resueltos. • 159 referencias bibliográficas. • 188 detalles constructivos. • Precio: 6.770 Pts.

"MUROS DE CONTENCION Y MUROS DE SOTANO"

- Autor: J. CALAVERA.
- 2.ª Edición. • 308 páginas. • Encuadernación en gualflex. • 26 gráficos y tablas auxiliares. • 22 tablas para el dimensionamiento directo. • Precio: 5.900 Pts.

"TECNOLOGIA Y PROPIEDADES MECANICAS DEL HORMIGON"

- Autor: A. DELIBES.
- 266 páginas. • Encuadernación en gualflex. • AGOIADO. (Próxima edición 1992).

TRABAJOS PUBLICADOS EN REVISTAS

Nuestro INSTITUTO dispone de una amplia serie de trabajos publicados por nuestros técnicos en diferentes revistas que por su número no pueden reproducirse aquí. Solicite relación de títulos si está interesado.

Los precios indicados son para entregas dentro del territorio español.



INTEMAC

Monte Esquinza, 30, 4.º D. 28010 MADRID

Tels.: (91) 410 51 58-62-66. Télex: 49987 INTEM E - Fax: (91) 410 25 80