

CUADERNOS INTEMAC

**Forjados Compuestos de Chapa Nervada y Hormigón:
Sus Ventajas y Limitaciones**

**Floor Slabs Composed of Ribbed Sheet and Concrete:
Their Advantages and Disadvantages**

Jorge Jordán de Urrías de la Riva



INTEMAC

INSTITUTO TECNICO DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

Nº 2

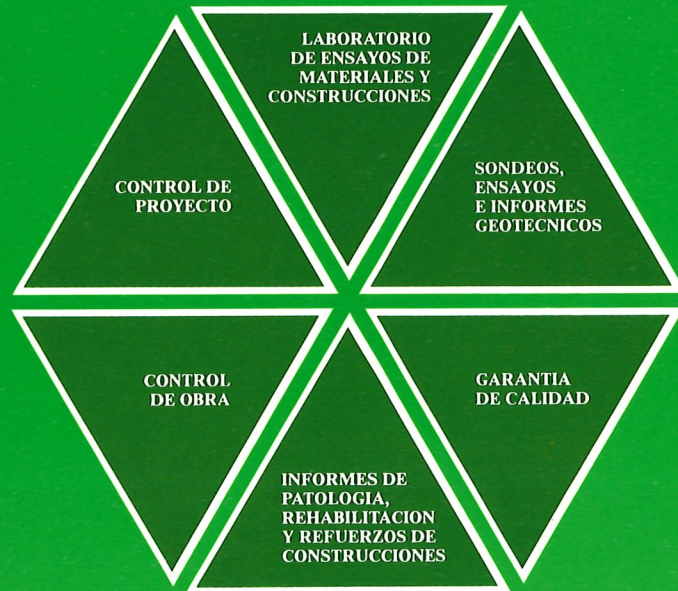
2.º TRIMESTRE. '91



INTEMAC

INSTITUTO TECNICO DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

OBRAS PUBLICAS
EDIFICACION
INSTALACIONES



INTEMAC
AUDIT



AUDITORIA TECNICO-ECONOMICA
DE CONSTRUCCIONES

**FORJADOS COMPUESTOS DE CHAPA NERVADA Y HORMIGON: SUS VENTAJAS Y
LIMITACIONES**

**FLOOR SLABS COMPOSED OF RIBBED SHEET AND CONCRETE: THEIR ADVANTAGES
AND DISADVANTAGES**

Jorge Jordán de Urríes de la Riva (*)
Dr. Ingeniero de Caminos
Dr. Civil Engineer

(*) Jefe del Departamento de Control de Edificación de INTEMAC

(*) Head of Building Control Department of INTEMAC

1. INTRODUCTION

Among the materials used in the construction of buildings in Spain today it is ever more frequent to observe the use of slabs composed of ribbed sheet and concrete in the design of the same and as an integral part of the structure. The use of these materials worldwide began in the U.S.A. in around 1938, and were used mainly in the construction of high rise buildings (over 20 stories high).

The most important reasons that have led to the use of this type of slab in the structure of buildings may be considered as follows:

The rationalization and planning of the types of construction.

The presence of very short construction periods.

The building of ever taller buildings using complex technology, which enables the main structure to be erected without the necessity of having all the slabs concreted until the last floor, but requiring specific shoring.

The possibility of using preassembled sheets as a base of stock and erection of materials.

The fact that it is not normally necessary to shore the slab at the moment of concreting, thereby avoiding costly auxiliary means and enabling the construction of other tasks.

As a structural element it may be incorporated in the so called mixed structures, in which the sheet acts as a tensile resisting material, its section being subject to bending.

Naturally shear bond occurs between the concrete and the sheet and this should not be higher than the resisting capacity of the slabs of the same, in order that the resisting section continues to work as a composite section.

The technical development which has enabled the use of these slabs since the aforementioned date, has not been free of debate, controversy and different theories. Nowadays there are still different lines of analysis by which to judge the technical value of these slabs. It has been used on a small scale in Spain until now and mainly as lost formwork, we have, however, observed an expansion in the use of this product in recent years, there not being the respective Code of the same in our country.

Today, there are Spanish manufactures who make this type of sheet, though the majority of those used, and which have a sufficiently sound technical backing, come from abroad, namely England, France and Italy.

The widest application of this type of slab is in that of buildings having a steel or mixed structure. In these the sheet is initially placed on the joints, and subsequently spread and fixed by connectors or spot welded, so that it may later be refixed on the supporting areas of the joists by studs which work together with the slab and/or connect the compressed concrete block with the steel joists below. (see photograph no. 1).

A further alternative is the use of lightweight concrete. In Spain this is mainly expanded clay, as used in the Picasso Tower in Madrid and where INTEMAC evaluated the technical suitability of this type of slab and carried out a study on the more suitable proportions to be used in the lightweight concrete.

The complementary reinforcement is subsequently placed, prior to concreting, as can be seen in photographs no. 2 and 3.

1. INTRODUCCION

Dentro de los materiales que hoy en día se están utilizando en España para la construcción de edificios y como parte integrante de la estructura de los mismos, resulta cada vez más habitual el observar en los Proyectos, la incorporación de forjados compuestos de chapa nervada y hormigón. El uso de estos materiales en el mundo comenzó en EE.UU. aproximadamente en 1938, utilizándose principalmente en edificios de un número elevado de plantas (superior a 20).

Como razones más importantes que han impulsado la utilización de este tipo de forjados en las estructuras de los edificios, podemos citar las siguientes:

- La racionalización y planificación de los trabajos de construcción.
- La existencia de plazos muy reducidos para la ejecución de las estructuras.
- La realización de edificios cada vez más altos con tecnologías complicadas, que permiten ir montando la estructura principal sin necesidad de tener hormigonados todos los forjados hasta la última planta, pero necesitando de un determinado arriostamiento.
- La posibilidad de utilizar las chapas premontadas como base de acopio y montaje de materiales.
- La no necesidad, habitualmente, de tener que cimbrar el forjado en el momento del hormigonado, evitando medios auxiliares costosos y posibilitando la ejecución de otros tajos.

Como elemento estructural puede encuadrarse dentro de las denominadas estructuras mixtas, en donde la chapa juega un papel de material resistente a tracción al verse sometida la sección a flexión.

Naturalmente en la interfaz entre el hormigón y la chapa se desarrollan unas tensiones rasantes que no deben superar la capacidad resistente del forjado a las mismas, para que la sección resistente siga trabajando como una sección compuesta.

El desarrollo técnico que ha permitido la utilización de estos forjados y que comenzó aproximadamente en la fecha anteriormente mencionada, no ha estado exento de polémica, controversias y distintas teorías. Hoy en día siguen existiendo diversas líneas de análisis que permiten juzgar la bondad técnica de estos forjados. En España se han venido utilizando en pequeña escala hasta el momento y generalmente como encofrado perdido, sin embargo, a partir de los últimos años podemos observar una expansión de este producto, no existiendo en nuestro país una normativa propia al respecto.

Existen, ya hoy en día, fabricantes españoles que elaboran este tipo de chapa, si bien la mayor parte de las utilizadas, que poseen un adecuado respaldo técnico, provienen del extranjero y fundamentalmente de Inglaterra, Francia e Italia.

La mayor aplicación de este tipo de forjados es en edificios de estructura metálica o mixta. En ellos la chapa se acopia inicialmente sobre la vigería, se extiende posteriormente y se fija mediante tacos mecánicos o puntos de soldadura, para a posteriori y en las zonas de apoyo en las vigas ser refijada por unos conectores que colaboran con el forjado y/o como conexión del bloque comprimido de hormigón con la vigería metálica inferior. (*Ver fotografía n.º 1*).

Una alternativa más es la utilización de hormigón ligero, en España principalmente de arcilla expandida, empleado, por ejemplo, en el edificio Torre Picasso de Madrid y en donde INTEMAC, evaluó la idoneidad técnica de este tipo de forjado y efectuó un estudio de la dosificación más adecuada a utilizar en el hormigón ligero.

A posteriori y como podemos ver en las fotografías *n.ºs 2 y 3* se coloca la armadura complementaria, procediéndose después al hormigonado.

2. TECHNICAL ANALYSIS

The technical analysis of these slabs should be approached by considering that the limit states of bending and shear bond between the sheet and the concrete, are more limiting from a point of view of resistance, although for special and very specific loads this may apply to those of shear and punching.

The analysis of the bending of a section of this type is usually made in a unidirectional way, considering a composite section in which the sheet makes up the tensile reinforcement of positive moments of the same. This analysis relates to the tension diagrams indicated in fig. 1, in either lineal-elastic or non-lineal-plastic systems.

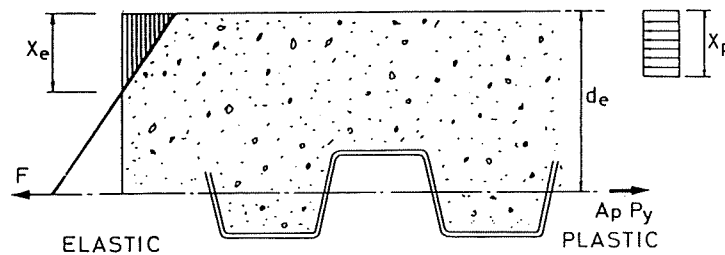


FIGURE No. 1

The capacity of resistance to the bending of a slab of this type, however, will be limited by the capacity to resist shear bond, as the former may only be developed if the sheet-concrete binomial has adherence which assures the composite action between the two.

When there are no studs, the resistance to shear bond is developed in two main phases, which may be seen in fig. 2. The first of these phases coincides with the adhesion between the sheet and the concrete, and which may commonly be described as the sticking of the two materials, the second phase, normally referred to as «mechanical interlocking» coincides with the adherence achieved, once both materials are unstuck, by the setting or «compactness» between the two, and made by way of internal «corrugations» referred to as indentations. This second resisting phase is accompanied by the friction or rubbing between the two components. Both phases are consecutive, the second not commencing until the first has been completed, thereby producing a slip between the two components at this moment, which is called «first slip».

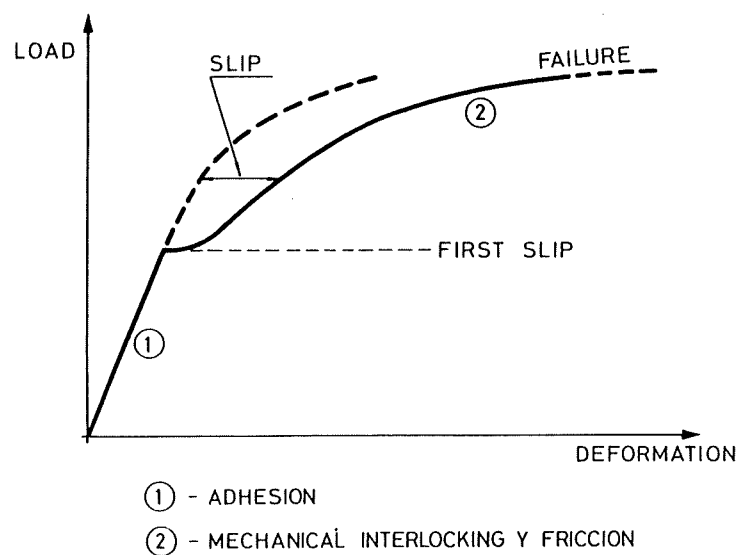


FIGURE No. 2

2. ANALISIS TECNICO

El análisis técnico de estos forjados, debe abordarse considerando que son los estados últimos de flexión y tensiones rasantes entre chapa y hormigón, los más limitadores desde el punto de vista resistente, aunque para cargas especiales muy concentradas pudieran ser los de cortante y punzonamiento.

El análisis a flexión de una sección de este tipo suele hacerse de forma unidireccional, considerando una sección compuesta, en donde la chapa constituye la armadura traccionada de momentos positivos de la misma. El análisis responde a los esquemas tensionales indicados en la fig. n.º 1, bien en régimen elástico-líneal o plástico-no líneal.

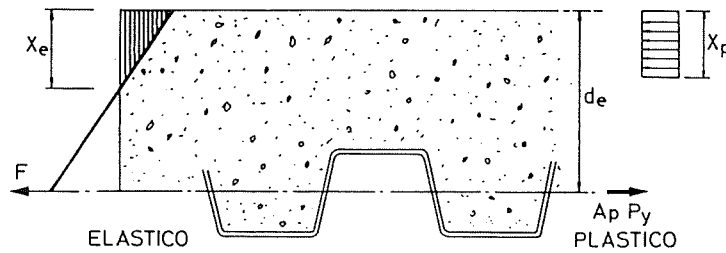


FIGURA N.º 1

La capacidad resistente a flexión de un forjado de este tipo, sin embargo vendrá limitada por la capacidad resistente a tensiones rasantes, ya que la primera sólo podrá llegar a desarrollarse hasta el límite, si el binomio chapa-hormigón posee una adherencia tal que la acción compuesta entre ambas queda garantizada.

La resistencia a tensiones rasantes se desarrolla, caso de no existir conectores, en dos fases principales como podemos ver en la fig. n.º 2. Estas fases coinciden, la primera de ellas, con la adhesión entre la chapa y el hormigón, en donde vulgarmente podemos decir que ambos materiales están pegados y la segunda, denominada habitualmente como «mechanical interlocking» con la adherencia lograda, una vez despegados ambos materiales, a través del engarce o trabazón entre ambos, conseguido mediante la existencia de unas corrugas o deformaciones internas denominadas indentaciones o resaltos. Esta segunda fase resistente va acompañada de la fricción o rozamiento entre ambos componentes. Ambas fases son consecutivas, no comenzando el trabajo de la segunda hasta haber agotado la primera, produciéndose en ese instante un corrimiento entre ambos componentes denominado «primer corrimiento».

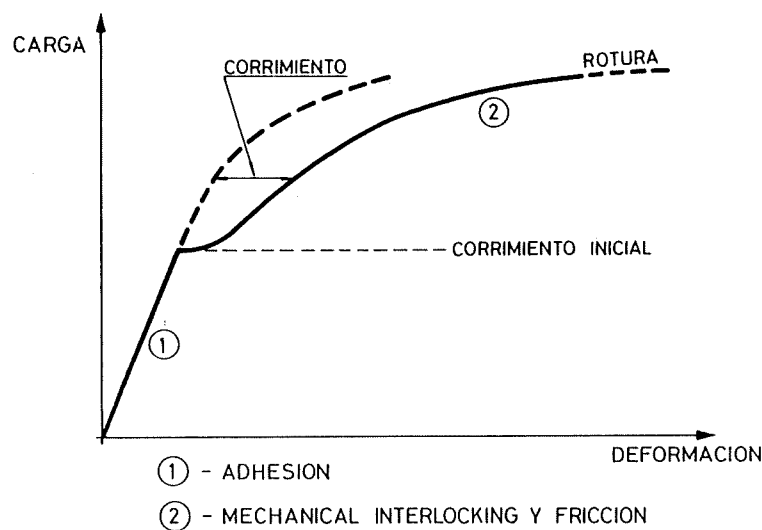


FIGURA N.º 2

Once the resisting capacity has failed in both its phases, and in the case where there are studs at the end supports of the slab and these begin to work, it reaches the limit state once the same begin to fail.

In order to establish the resisting capacity to shear bond of these slabs it is necessary to take into account the first two phases described and to follow the more commonly used technique of failure analysis today, as established in the codes of ANSI and B.S. 5950. Part 4, applying the following formula:

$$V_u = \frac{Bd}{1,25} \left(m \rho \frac{d}{L'} + K \sqrt{f'_c} \right)$$

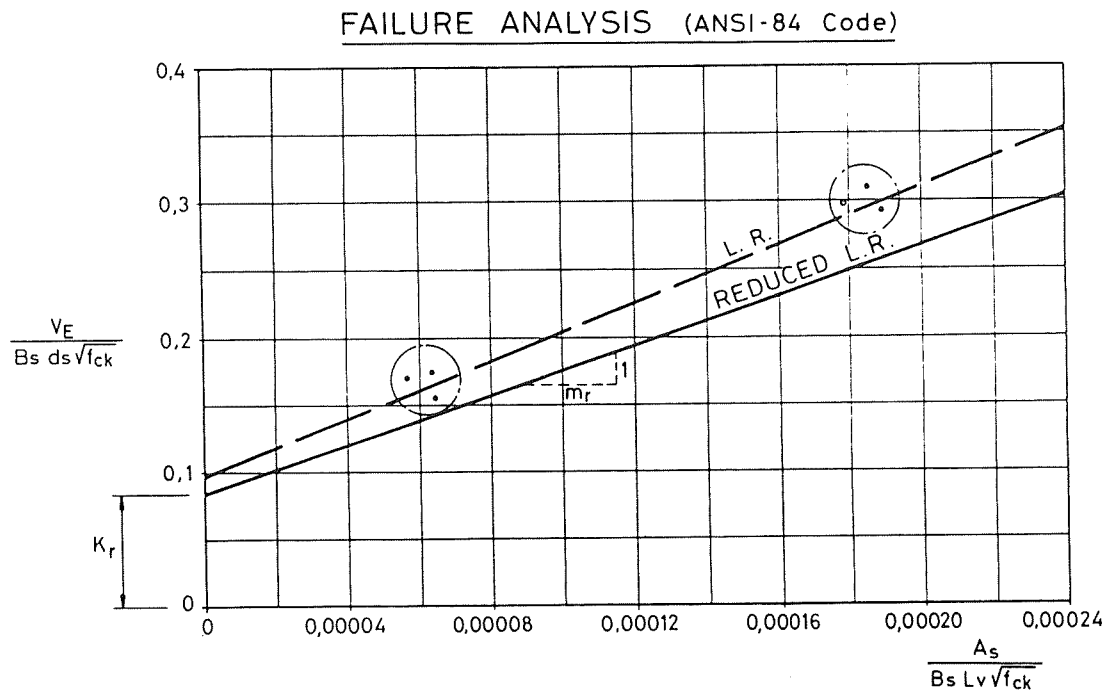
where:

- V_u Shear limiting the resistance capacity to shear bond.
- B Width of the slab.
- d Mechanical depth.
- ρ Geometrical quantity of the sheet (A_s/Bd).
- L' Shear span (for uniform loads equal to $L/4$).
- f'_c Resistance of the concrete.

The parameters m and k are determined by way of an experimental test process in the Laboratory, in which the sheet-concrete binomial is characterized by these same, and thereafter associated with the resisting capacities to shear bond of these slabs.

Tests of this type are shown in photographs 4 and 5 and were carried out at INTERMAC's Central Laboratory and served as a technical guarantee of different types of sheet and concrete used in different buildings.

The final phase of analysis of linear regression, which is essentially carried out in order to establish the parameters, may be observed in fig. 3.



Una vez ha fallado la capacidad resistente en ambas fases y en el caso de existir conectores en los apoyos extremos del forjado, comenzarían a trabajar ellos, llegándose al estado último una vez se alcanzase el agotamiento de los mismos.

El establecimiento de la capacidad resistente a tensiones rasantes de estos forjados se lleva a cabo teniendo en cuenta las dos primeras fases detalladas y siguiendo, hoy en día mayoritariamente, la corriente técnica de análisis en rotura que recogen las Normas ANSI y B.S. 5950. Parte 4, aplicando la fórmula siguiente:

$$V_u = \frac{Bd}{1,25} \left(m \rho \frac{d}{L'} + K\sqrt{f'_c} \right)$$

en donde:

V_u = Cortante que limita la capacidad resistente a tensiones rasantes.

B = Ancho del forjado.

d = Canto útil.

ρ = Cuantía geométrica de la chapa (A_s/Bd).

L' = Luz de corte (para cargas uniformes igual a $L/4$).

f'_c = Resistencia del hormigón.

Los parámetros m y k se determinan mediante un proceso experimental de ensayos en Laboratorio, que hacen que el binomio chapa-hormigón quede caracterizado por ellos, desde entonces asociados a las características resistentes a tensiones rasantes de estos forjados.

Ensayos de este tipo son los reflejados en las fotografías n.ºs 4 y 5 realizados en el Laboratorio Central de INTEMAC y que sirvieron para avalar técnicamente diferentes tipos de chapa y hormigones utilizados en distintos edificios.

En la fig. n.º 3 se observa la fase final del análisis de regresión lineal que es preciso llevar a cabo para el establecimiento de los parámetros.

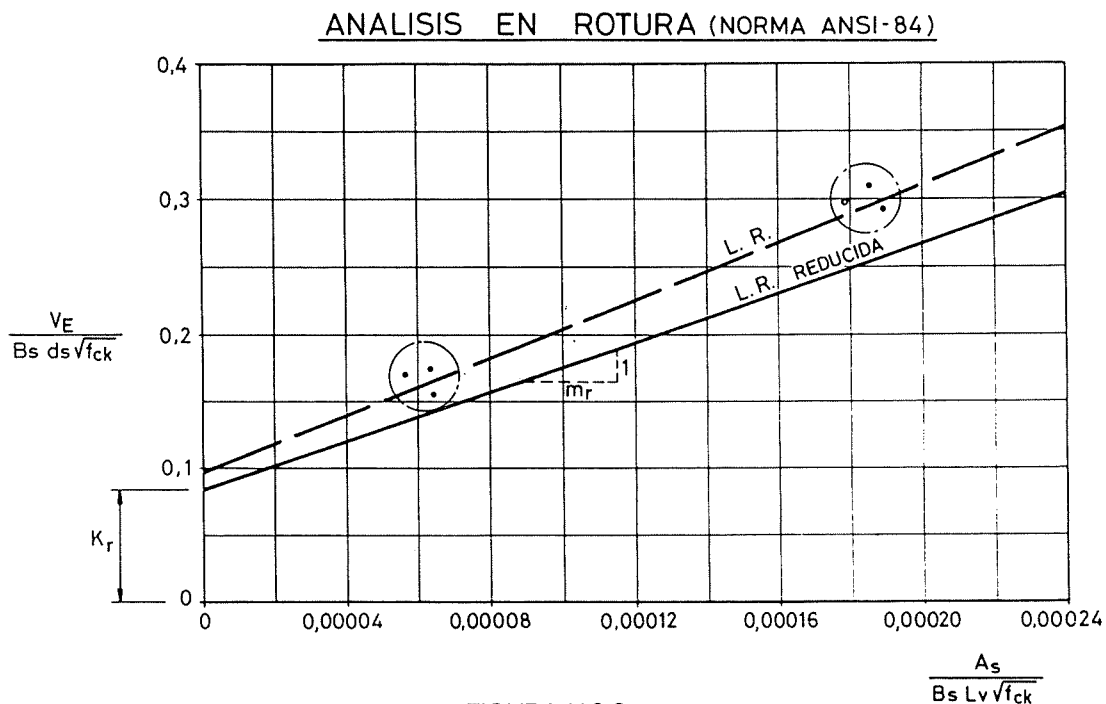


FIGURA N.º 3

The method of the experimental test process is as established in the aforementioned ANSI and B. S. Codes.

The need to establish new parameters comes together with a change in concrete typology (normal or lightweight) or that of the sheet (mechanical or geometrical characteristics).

Different methods and formulas do exist to those previously mentioned, in order to analyze the resisting capacity to the shear bond of these slabs, though it is always necessary to carry out previous Laboratory tests to establish the characteristic parameters.

For reasons of its singularity and clear arrangement, mention should be made of the method recommended by the Specialist group No. 3 of the «Avis Techniques» and published by the C.S.T.B. in France, which analyses this phenomenon, considering these slabs as products for untraditional constructions. It carries out an analysis in function of the same, bearing in mind both the results obtained at the moment of failure and the results corresponding to the moment in which adhesion between sheet and concrete was broken and which corresponds to that carried out at the first slip between both components. By a process of lineal regression it is possible to determine the two parameters, also denominated m and k which are those applied in the following formula in order to obtain the permissible shear bond for each type of slab.

$$\tau_{adm} = m \frac{H}{L} \rho + k$$

- τ_{adm} = Permissible shear bond (V/B Z)
- Z = Mechanical depth of the composite section
- H = Span of the slab
- ρ = Geometrical quantity of the sheet (As/Bd)

The process determining the parameters m and k is indicated in fig no. 4. In addition to this consideration is made on whether the loads on the slab are static or dynamic.

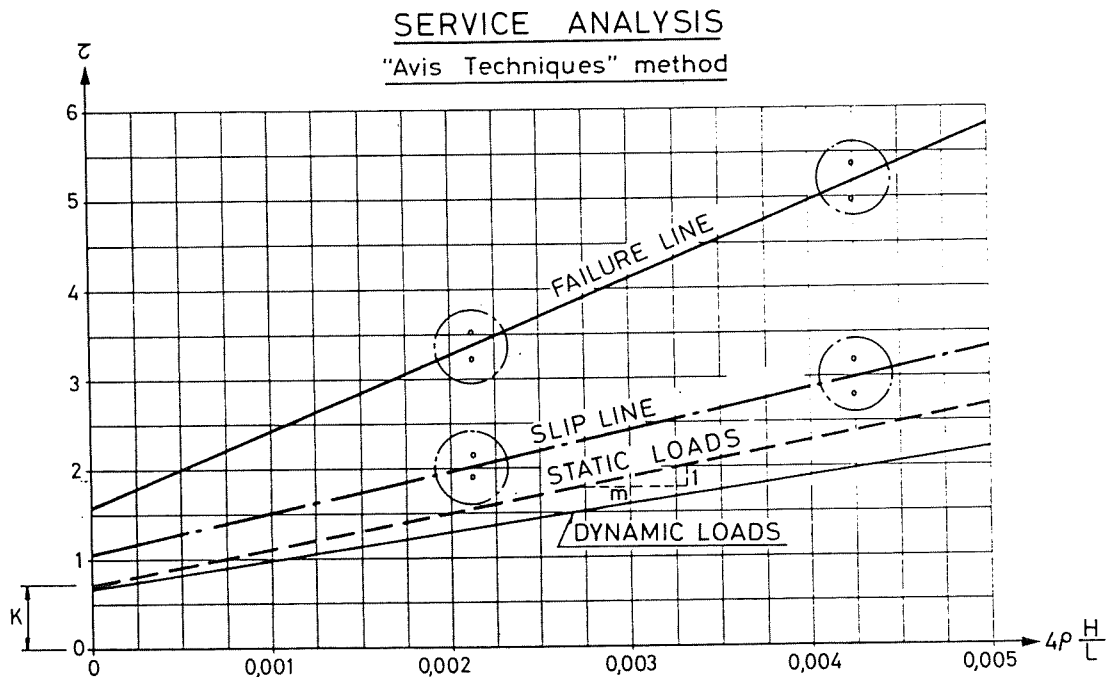


FIGURE No. 4

La sistemática del proceso experimental de ensayos, viene determinada en las citadas Normas ANSI y B.S.

La necesidad de establecer nuevos parámetros vendrá de la mano de un cambio en la tipología del hormigón (normal o ligero) o de la chapa (características mecánicas o geométricas).

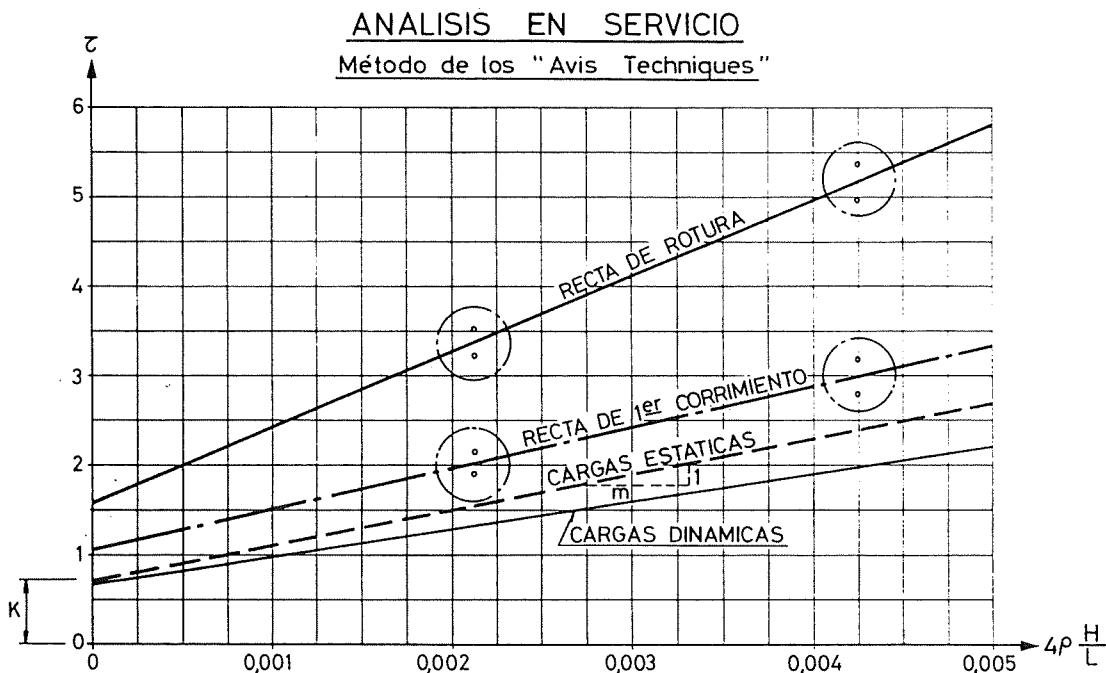
Existen otros métodos y formulaciones distintas a las indicadas anteriormente, para analizar la capacidad resistente a tensiones rasantes de estos forjados, si bien siempre es necesario el efectuar ensayos previos en Laboratorio para la determinación de parámetros característicos.

Por su singularidad y claro planteamiento, destacamos un método que preconizado por el Grupo Especializado n.º 3 de los «Avis Techniques» y publicado en los cuadernos del C.S.T.B. en Francia, analiza este fenómeno, considerando a estos forjados como productos para la construcción no tradicionales, llevando a cabo un análisis en servicio de los mismos, teniendo en cuenta no sólo los resultados obtenidos en el momento de la rotura, sino también los correspondientes al momento de romperse la adhesión entre la chapa y el hormigón que se corresponde con el que se lleva a cabo el primer corrimiento entre ambos componentes. Mediante un proceso de regresión lineal se llega a la determinación de dos parámetros, también denominados m y k que son los que se aplican en la fórmula que se indica a continuación, para obtener la tensión rasante admisible para cada tipo de forjado:

$$\tau_{adm} = m \frac{H}{L} \rho + k$$

- τ_{adm} = Tensión rasante admisible (V/B Z)
- Z = Brazo mecánico de la sección compuesta.
- H = Luz del forjado.
- ρ = Cuantía geométrica de la chapa (As/Bd).

En la fig. n.º 4 se refleja el proceso para determinar los parámetros m y k. En él se observa que además de lo indicado, se considera si las cargas a las que se verá sometido el forjado son estáticas o dinámicas.



As we can see in this formula, the resistance of the concrete is not given, which is in accordance with other lines of investigation which indicate the same in relation to the non implication of the resistance of the concrete, but not its typology (normal or lightweight) in the resisting capacity to shear bond of these slabs.

In the B.S. Code 5950, Part 4 another type of test is indicated which is called type 1, and is directed towards the carrying out of previous performance tests on slabs with real designed spans, and which serves to establish the suitable extra loads to be taken into account. These tests include dynamic cycles which may be carried out prior to those we have previously indicated in the method of analysis of failure.

When comparing the methods of analysis in failure with those of analysis in service, we may state, in accordance with the considerations obtained in the investigation carried out by the author of this article (*), that the simple determination of the resisting capacity to shear bond, by way of the respective processes established in the B. S. Code 5950. Part 4 and ANSI-84, lead us to consider exclusively the limit shear which produces the failure of the slab, without taking into account the value of the shear which produces the breaking of adherence between the sheet and the concrete, and which may condition the state of service due to excessive deformation.

In the previous performance tests carried out, the said investigation considers it important to bear in mind the relation between the load of the first slip and the load of failure, as an indicative value of the slabs whose service state may or may not be affected by the shear produced by the failure in adherence. It is recommended that the value 0.55 be adopted as the significant coefficient between one behaviour and another and when the coefficient is below 0.55 the service state will be seen to be conditioned by the value of the stress produced by the first significant slip.

The resistance to shear stress and punching is normally established in accordance with the previously mentioned B. S. Code 5950, Part 4.

In order to obtain the theoretical deformation of these slabs, the different Codes and papers, referred to in the Bibliography, recommend that the inertia to be considered in a section, be the mean between the inertia of the cracked section and that of the uncracked section, and subsequently applying the corresponding formula, bearing in mind the respective deformation module.

With respect to the aforementioned investigation carried out by the author of this article, we may say that as a result of the first significant slip, that is to say, the breaking of adherence between the sheet and the concrete, an important reduction in the rigidity of the composite section occurs. This leads to the upsetting of the adjustment between the deflection obtained in the applied theoretical model.

The said loss in rigidity and the disadjustment is not the same for all typologies and will depend on the geometrical and profile characteristics of the sheets, and which should be capable of limiting the first significant slip as much as possible.

As a result of the aforementioned investigation, it would be interesting if the different codes directed their approach towards the aspects we have commented on, and similarly consider the conditions of ductility of the typologies which allow discreet slip between the sheet and the concrete.

(*) «Experimental study of the behaviour of bending: Shear bond and deformation of slabs composed of sheet and normal or lightweight concrete». Doctoral thesis of J. Jordán de Urrías, under the direction of J. Calavera, at the School of Civil Engineering in Madrid. The tests were carried out at INTEMAC's Central Laboratory.

Como podemos ver en esta fórmula, no está presente la resistencia del hormigón, lo cual está en la línea de otras corrientes de investigación que indican lo mismo en relación a la no incidencia de la resistencia del hormigón, no así de su tipología (normal o ligero), en la capacidad resistente a tensiones rasantes de estos forjados.

En la Norma B.S. 5950, Parte 4 se reflejan asimismo otro tipo de ensayos denominados de tipo 1, que van encaminados a efectuar ensayos de comportamiento previo sobre forjados con luces reales proyectadas, que sirven para establecer las sobrecargas idóneas que deben ser tenidas en cuenta. Son ensayos que incorporan ciclos dinámicos y que pueden llevarse a cabo como antesala de los que hemos indicado en el método de análisis en rotura comentado.

Comparando los métodos de análisis en rotura y el de análisis en servicio, podemos indicar, atendiendo a las consideraciones obtenidas en la investigación realizada por el autor de este artículo (*) que la determinación simple de la capacidad resistente a tensiones rasantes, mediante procesos como los establecidos al respecto en las Normas B.S. 5950. Parte 4 y ANSI-84, conduce a considerar exclusivamente los cortantes últimos que provocan la rotura de los forjados, sin tener en cuenta el valor del cortante que provoca la rotura de la adherencia entre la chapa y el hormigón, lo cual puede llegar a condicionar el estado de servicio debido a excesivas deformaciones.

La citada investigación considera importante el tener en cuenta, en los ensayos de comportamiento previo que se realicen, la relación carga del primer corrimiento/carga de rotura, como valor indicativo de los forjados que pueden ver condicionado su estado de servicio por el cortante que provoca la rotura de la adhesión y cuáles no. Se recomienda el adoptar el valor de 0,55 como coeficiente significativo entre uno y otro comportamiento y así cuando aquel coeficiente sea inferior a 0,55, verán condicionado su estado de servicio por el valor del cortante que produce el primer corrimiento significativo.

La resistencia a esfuerzo cortante y punzonamiento se establece habitualmente de acuerdo a la Norma B.S. 5950, Parte 4, a la que nos remitimos.

Para la obtención teórica de las deformaciones de estos forjados, las recomendaciones de las diferentes Normas y tratados aludidos en el apartado de Bibliografía, recomiendan que la inercia a considerar de la sección, sea una media entre la inercia de la sección fisurada y la de la sección no fisurada, aplicando a posteriori la fórmula correspondiente, el estado de cargas correspondiente, teniendo en cuenta el módulo de deformación que corresponda.

Al respecto y aludiendo nuevamente a la investigación llevada a cabo por el autor de este artículo, podemos indicar que a raíz de producirse el primer corrimiento significativo, es decir, la rotura de la adhesión entre la chapa y el hormigón, se provoca una importante reducción de rigidez de la sección compuesta, lo que conlleva un desajuste de las flechas obtenidas al modelo teórico aplicado.

Tal pérdida de rigidez y desajuste no es igual para todas las tipologías y dependerá de las características geométricas y recursos internos que las chapas posean, que deben ser capaces de limitar el primer corrimiento significativo, lo más posible.

Después de la investigación a la que hemos hecho referencia, sería interesante el que las diferentes normativas orientasen su enfoque hacia la consideración de estos aspectos comentados, así como atendiendo a condiciones de ductilidad de las tipologías que permitan corrimientos discretos entre la chapa y el hormigón.

(*) «Estudio experimental del comportamiento a flexión: Tensiones rasantes y deformaciones de forjados compuestos de chapa y hormigones normales o ligeros». Tesis doctoral de J. Jordán de Urríes, bajo la dirección de J. Calavera, en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos de Madrid. Los ensayos fueron realizados en el Laboratorio Central de INTEMAC.

3. DIFFERENT TYPOLOGIES

The different typologies of these slabs is related to the different types of sheet used, together with the other variable in the type of concrete used, i.e. normal or lightweight.

The development of the type of sheet has basically been related to the following causes:

- The need to obtain shape and profile characteristics of the sheet (indentations, etc.) to improve the resistance to shear bond.
- The need to obtain adequate shapes to enable the sheet to have the necessary rigidity to bear the weight of the fresh concrete, without having to shore the slab.
- The development of the characteristics of steel and the technical means to manufacture these slabs.
- The use of complementary elements, such as connectors in joists, which create further requirements in order that they be placed in the valleys of the sheet.

Two very general typologies are distinguished geometrically as can be seen in fig. 5, according to whether the rib be open or closed in a dovetail. The heights of the ribs vary between 38 and 75 mm and the thickness of the sheet between 0.8 and 1.5 mm.

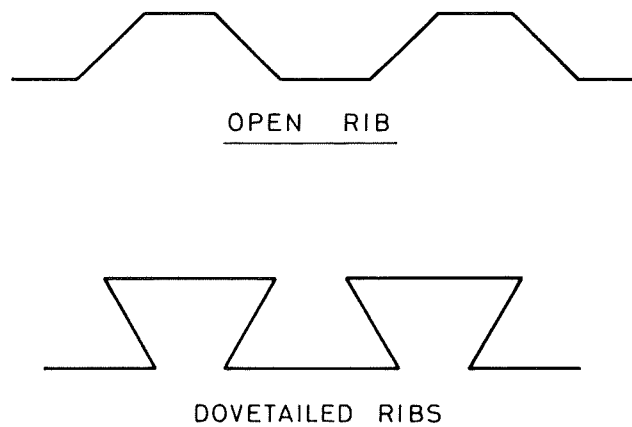


FIGURE No. 5

A further geometrical variable is that of the separation between the ribs and which varies between 150 mm and 600 mm.

In figures 6, 7 and 8, the more frequent types may be observed and in fig. 9 some of the geometrical characteristics of the more common sections.

While the geometrical shape of the sheet is a decisive factor in the first phase of adhesion between it and the concrete, the so called profile characteristics of the sheet (corrugations, indentations, etc.) play a decisive role in guaranteeing that this type of sheet has the necessary composite action to bear the actions to which the slab will be subjected. The indentations are, therefore, elements which also characterize the sheets and as such generate different typologies.

3. DIFERENTES TIPOLOGIAS

Las diferentes tipologías de estos forjados están relacionadas con los diferentes tipos de chapa utilizados, incorporando otra variable, como es la utilización de hormigones normales o ligeros.

La evolución del tipo de chapa ha estado ligada fundamentalmente a las siguientes causas.

- Necesidad de conseguir formas y recursos internos en ellas (indentaciones, resaltos, etc.) para mejorar la resistencia a las tensiones rasantes.
- Necesidad de conseguir formas adecuadas para permitir tener chapas con rigidez suficiente para soportar el peso del hormigón fresco, sin necesidad de cimbrar el forjado.
- Evolución de las características de los aceros y de los medios técnicos para la fabricación de estos forjados.
- Utilización de elementos complementarios, como conectores en vigas que plantean unas exigencias para su ubicación en los valles de las chapas.

Geoméricamente se distinguen dos tipologías muy generales que se pueden observar en la fig. n.º 5, según el nervio sea abierto o cerrado en forma de cola de milano. El rango de las alturas de los nervios oscila entre 38 y 75 mm. y los espesores de la chapa entre 0,8 y 1,5 mm.

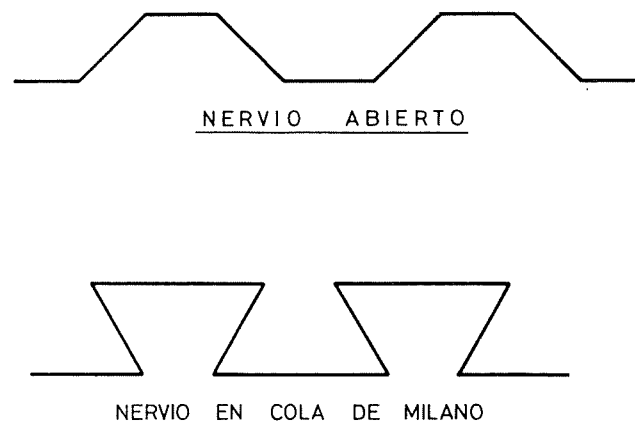


FIGURA N.º 5

También es otra variable geométrica la separación entre nervios que suele oscilar de 150 mm. a 600 mm.

En las fig. n.ºs 6, 7 y 8, podemos observar los tipos más frecuentes y en la fig. n.º 9 algunas de las características geométricas de las secciones más habituales.

Si bien la forma geométrica en la chapa influye decisivamente en la fase primera de adhesión entre ella y el hormigón, superada la misma son los denominados recursos internos de la chapa (indentaciones, resaltos, etc.), los que juegan un papel decisivo para que este tipo de chapa pueda garantizar la acción compuesta necesaria para soportar las acciones a las que se va a ver sometido el forjado. Son pues las indentaciones o resaltos, elementos que también caracterizan a las chapas y que por lo tanto generan diferentes tipologías.

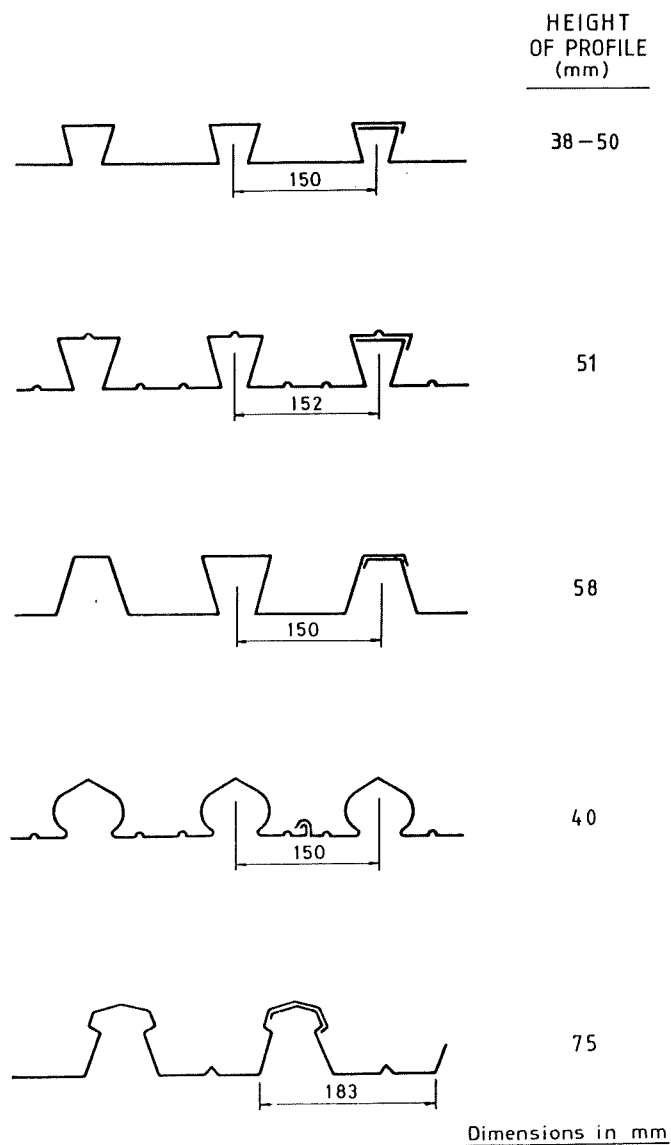


FIGURE No. 6

The factors which affect the greater or lesser efficiency of these elements are listed below:

- Size of the indentation
- Frequency of indentations in the sheet
- Position of the indentation in profile
- Length of the indentation
- Direction of the indentation in the vertical plane, inclined or horizontal to the sheet.

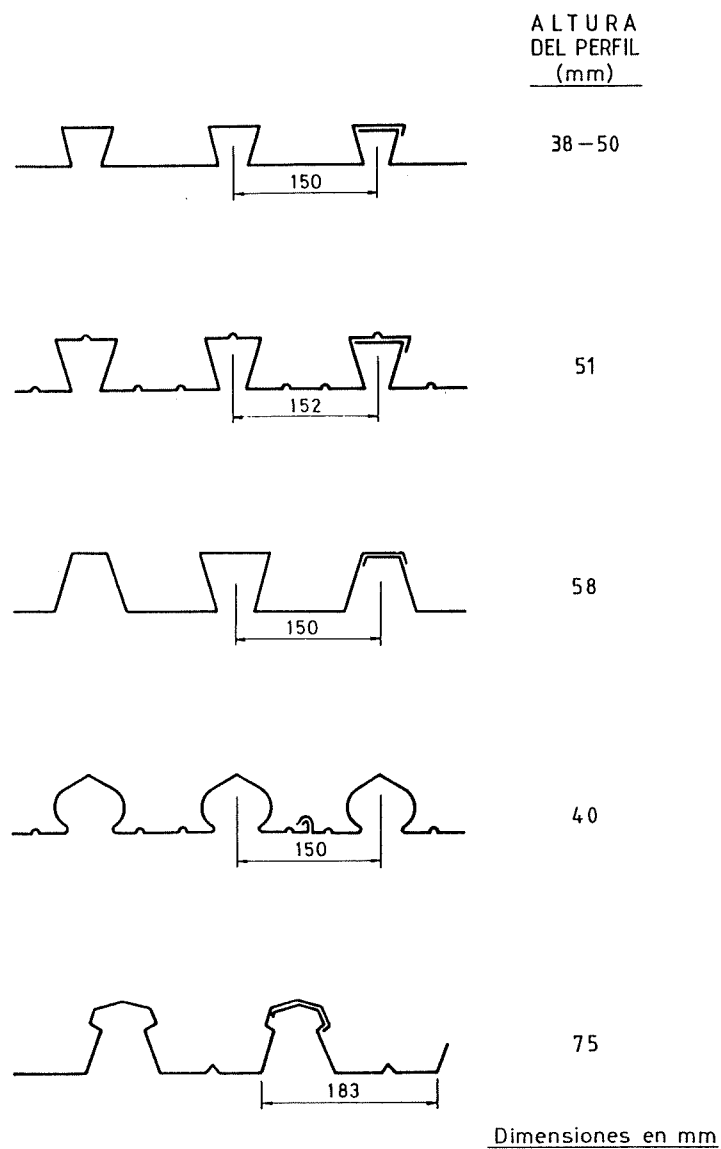


FIGURA N.º 6

Son factores que inciden en la mayor o menor eficacia de estos elementos los siguientes aspectos:

- Tamaño de la indentación.
- Intensidad de las indentaciones en la chapa.
- Posición de la indentación en el perfil.
- Longitud de la indentación.
- Orientación de la indentación en la parte vertical, inclinada u horizontal de la chapa.

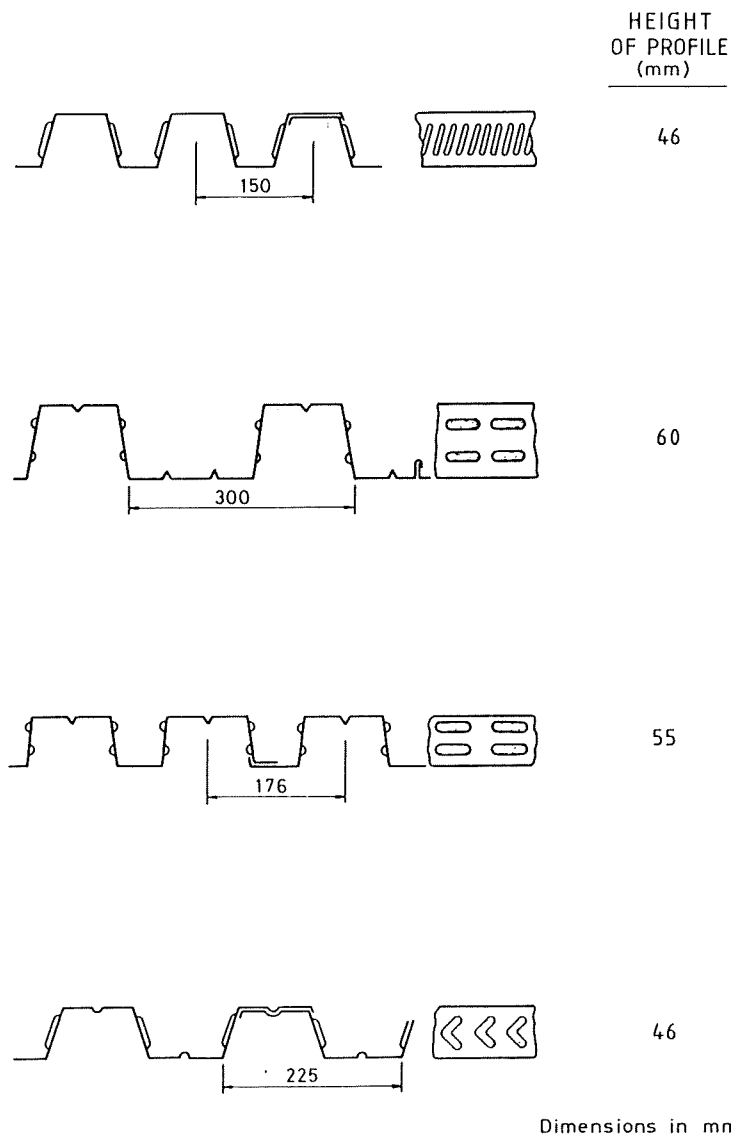


FIGURE No. 7

But it is necessary to take into account that:

- The size of the indentation may be disadvantageous in the initial work of the sheet, that of bearing the weight of the fresh concrete. As such it is recommended that the weight of the indentation be the highest possible without affecting the rigidity of the profile.
- The depth of the indentation should be in relation to the thickness of the sheet and which as a guideline for 0.9 mm sheet thickness should not be over 4.5 mm.
- The orthogonal indentations in the direction of movement corresponding to the sheet-concrete movement, are more effective when inclined or longitudinal.

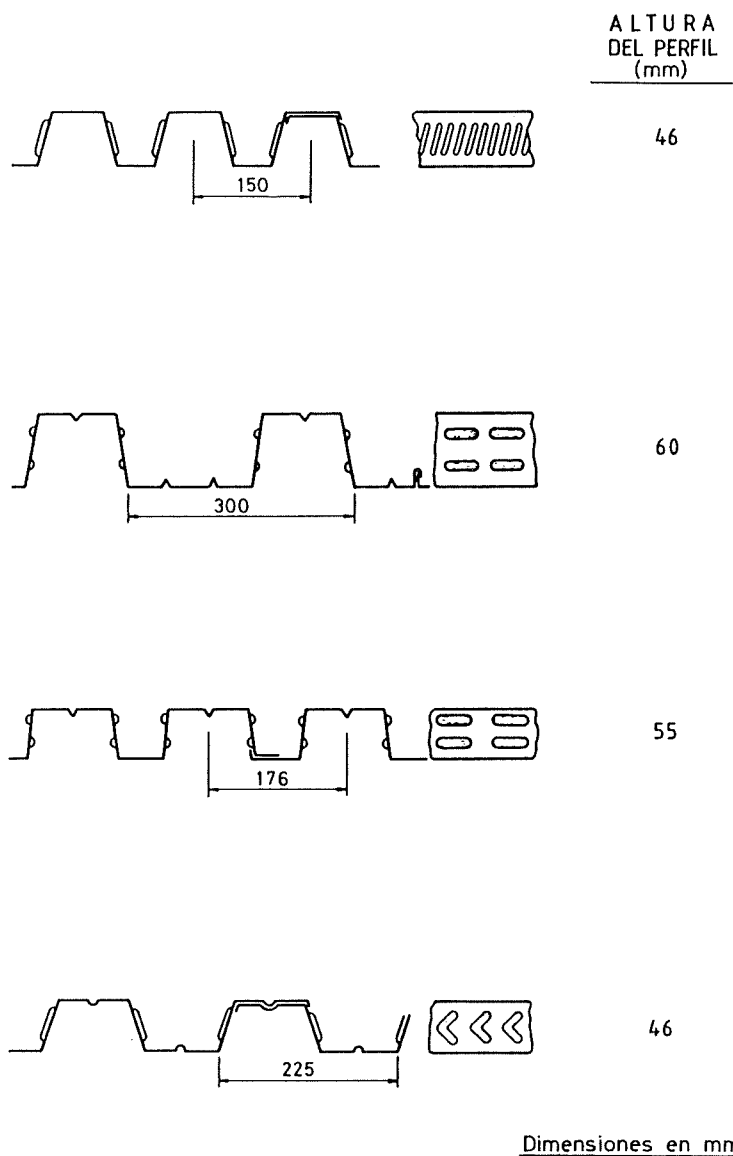


FIGURA N.º 7

Pero será preciso tener en cuenta que:

- El tamaño de la indentación puede afectar desfavorablemente en el trabajo inicial de la chapa, para soportar el peso del hormigón fresco. A tal efecto se recomienda que la altura de la indentación sea la mayor posible que no comprometa la rigidez del perfil.
- La profundidad de la indentación deberá estar en consonancia con el espesor de la chapa que a título orientativo y para 0,9 mm. de espesor de chapa no deberá sobrepasar los 4,5 mm.
- Las indentaciones ortogonales a la dirección del movimiento correspondiente al corrimiento chapa-hormigón, son más efectivas que las inclinadas o longitudinales.

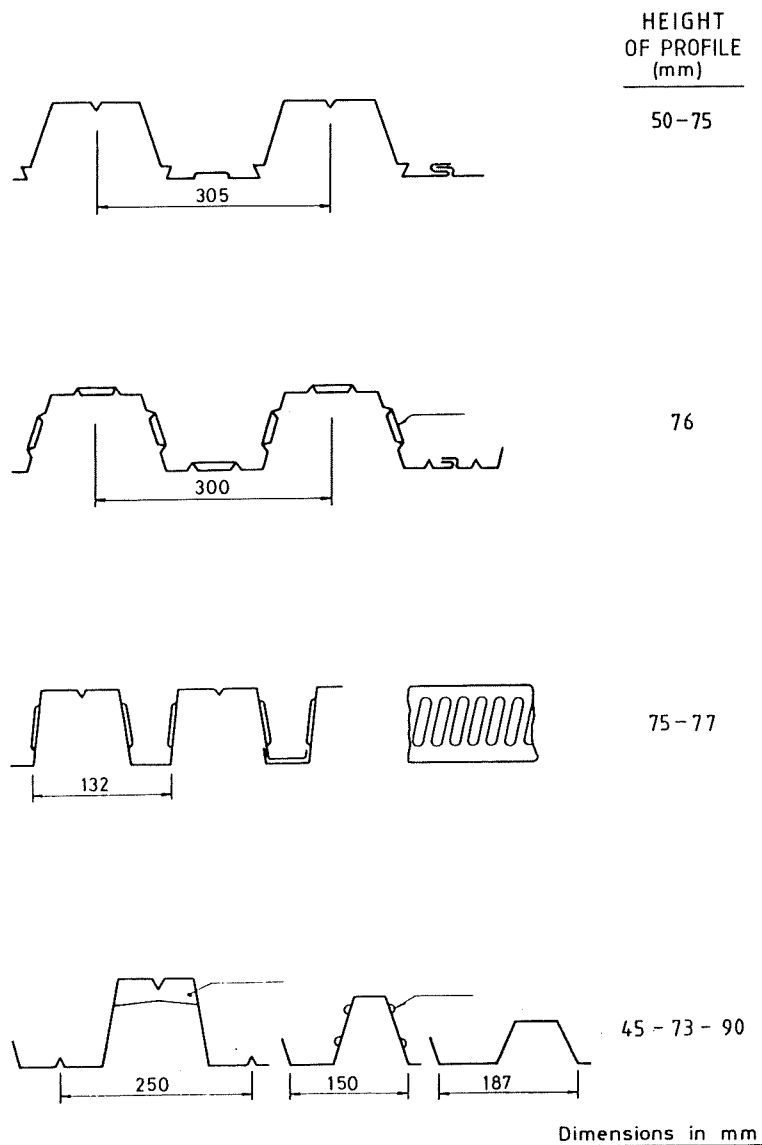


FIGURE No. 8

In certain situations complementary elements may be used, such as crack mesh, with either smooth sheets or not, in order to improve the resisting characteristics to shear bond; this technique should, however, be carried out if possible in the place of manufacture of the sheet or in very carefully carried out work, as the guarantee of the procedure lies in the connection points between both elements which should be made without damaging the sheet.

In photographs 6, 7 and 8, different types of sheet and indentations may be seen, emphasizing the importance of these results for the efficient working of this type of slab.

4. THE USE OF THIS TYPE OF SLABS WITH DIFFERENT TYPES OF CONCRETE AND SHEET

In previous sections we have shown the affect that the use of different types of concrete or sheet may have in the resisting capacity of these slabs, and basically to shear bond.

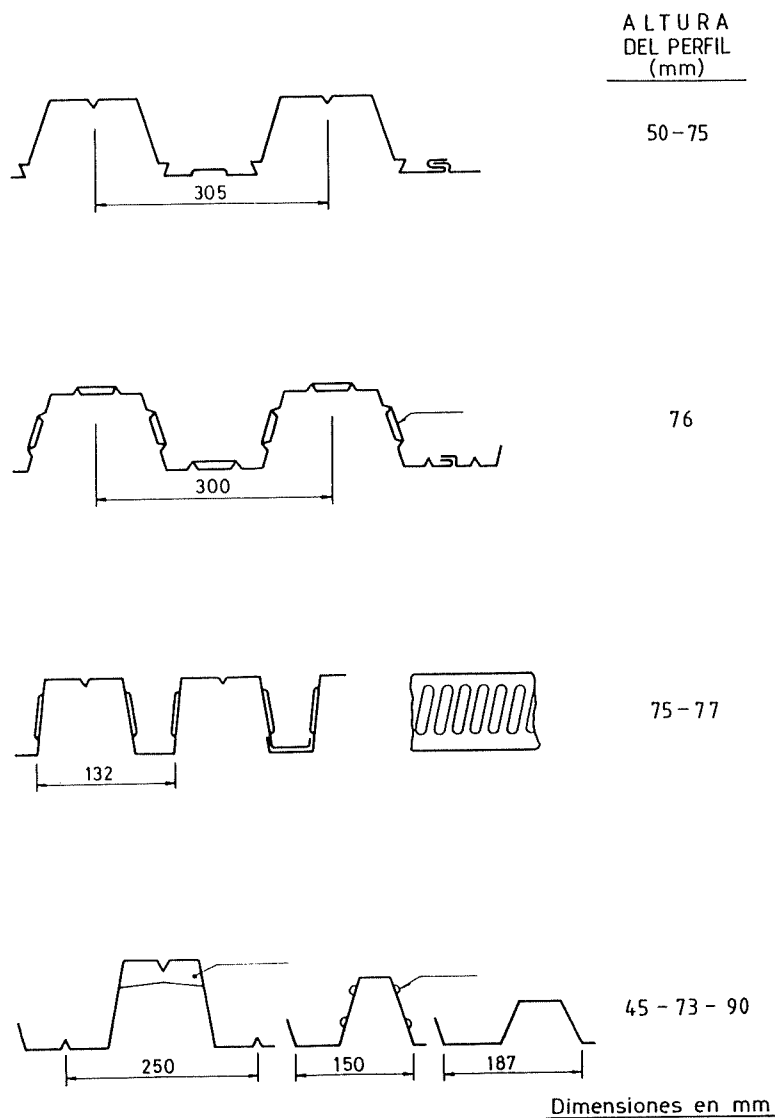


FIGURA N.º 8

Circunstancialmente se pueden utilizar elementos complementarios, como un mallazo, con chapas lisas o no, para mejorar las características resistentes a tensiones rasantes; pero esta técnica debe realizarse a ser posible en el centro de fabricación de la chapa o en obra con mucho cuidado, pues la garantía del procedimiento radica en los puntos de conexión entre ambos elementos que deberá llevarse a cabo sin que la chapa quede dañada.

En las *fotografías n.ºs 6, 7 y 8*, se pueden observar diferentes tipos de chapas y de indentaciones, resaltando lo importante de estos resultados para un trabajo eficaz de este tipo de forjados.

4. LA UTILIZACION DE ESTOS FORJADOS CON DIFERENTES TIPOS DE HORMIGON Y DE CHAPA

En apartados precedentes hemos puesto de manifiesto la incidencia que la utilización de distintos tipos de hormigón o de chapas puede tener en la capacidad resistente de estos forjados, fundamentalmente a tensiones rasantes.

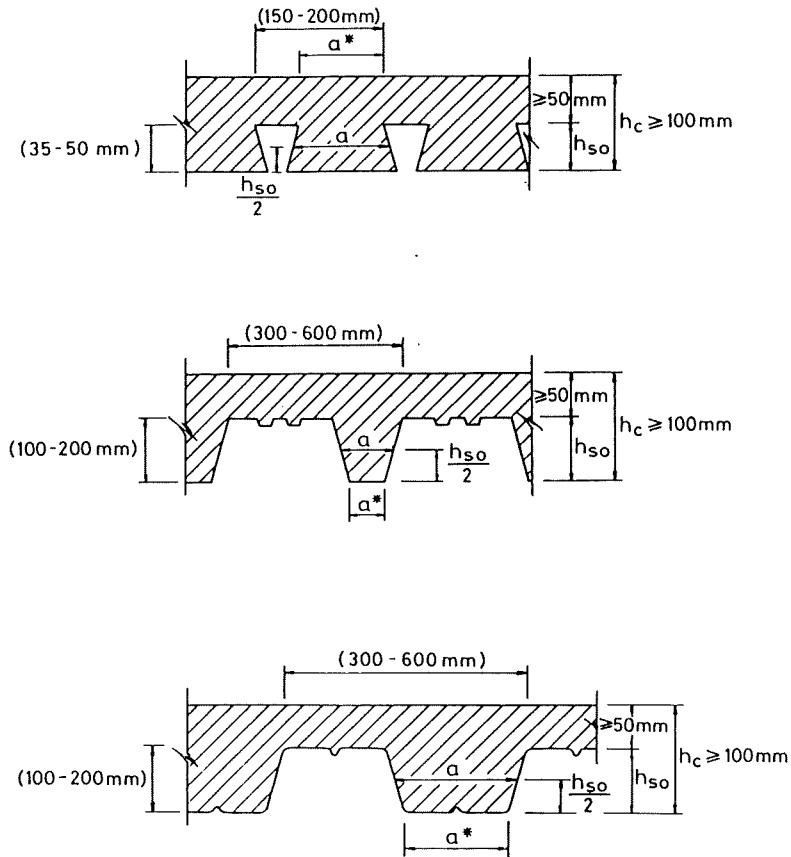


FIGURE No. 9

It is also considered common practice to use lightweight structural concrete in these slabs, made with natural or artificial aggregate and with densities that range between 1.7 and 2 T/m³.

As is well known and recorded in papers and codes, this type of concrete, which is intrinsically different from normal concrete, gives the structural element a number of important qualitative aspects different to those when using normal concrete.

One of the characteristics which normally differentiates both types of concrete is the different adherence of both to other materials and to steel in particular.

With respect to this type of slab, and in accordance with the Codes, the use of lightweight concrete implies a certain reduction in the resisting capacity to the shear bond of these slabs, as indicated in the ANSI/ASCE Code 3-84 «Specification for the Design and Construction of Composite Slabs».

From the previously mentioned investigation carried out by the author, a summary of which was published by the magazine «Hormigón y Acero» (*) («Concrete and Steel»), it may be inferred that the use of a lightweight concrete does not significantly affect the resistance to failure in the face of the shear bond of these slabs, but does show quan-

(*) JORDAN DE URRIES, Jorge. Experimental study of the Behaviour of bending: Shear bond and deformation of slabs composed of sheet and normal or lightweight concrete. Hormigón and Acero no. 176. (Concrete and Steel no. 176). Third quarter 1990.

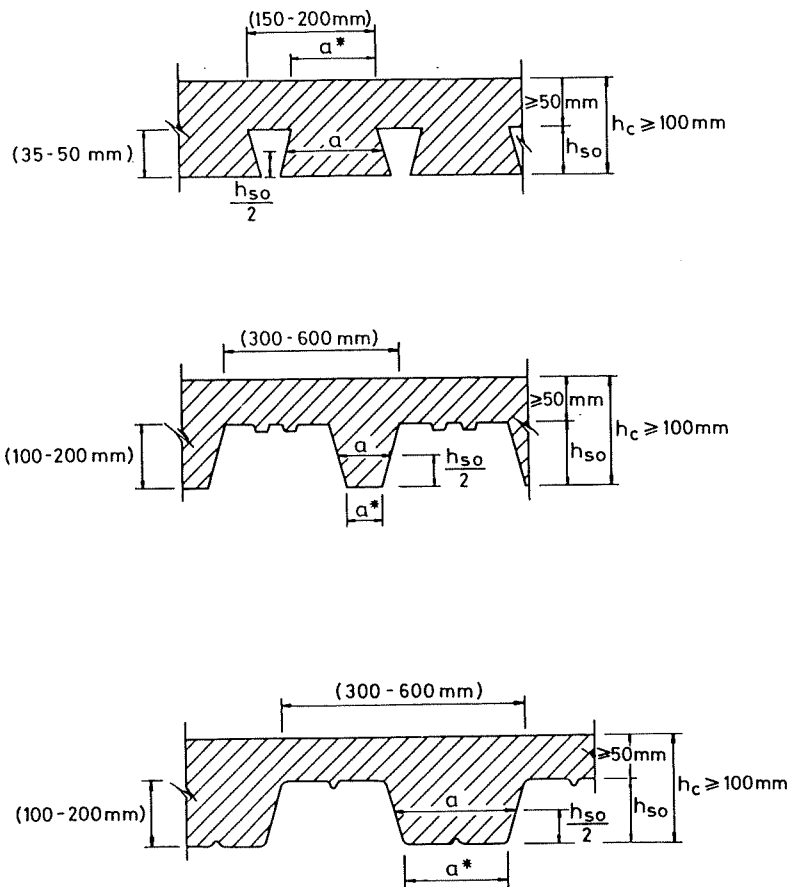


FIGURA N.º 9

Resulta bastante habitual, por otra parte, el utilizar en estos forjados hormigón ligero estructural fabricado con áridos naturales o artificiales y con densidades que pueden oscilar entre 1,7 y 2 T/m³.

Este tipo de hormigón, intrínsecamente diferente al normal, incorpora al elemento estructural generado con él, como es sabido y ha quedado reflejado en tratados y normativas, una serie de aspectos cualitativos importantes, diferentes de cuando se utiliza un hormigón normal.

Una de las características que habitualmente diferencia ambos tipos de hormigón, es la distinta adherencia de ambos a otros materiales y en concreto al acero.

En lo que se refiere a estos forjados, la utilización del hormigón ligero implica, según las Normas, una disminución no cuantificada en la capacidad resistente a tensiones rasantes de estos forjados, como refleja la Norma ANSI/ASCE 3-84 «Specification for the Design and Construction of Composite Slabs».

De la investigación llevada a cabo por el autor y a la que ya hemos aludido, cuyo resumen fue publicado por la revista Hormigón y Acero (*) puede deducirse que la utilización de un hormigón ligero no influye significativamente en la resistencia a rotura frente a tensiones rasantes de estos forjados, presentando, eso sí, disminuciones cuanti-

(*) JORDAN DE URRIES, Jorge. «Estudio experimental del Comportamiento a flexión: Tensiones rasantes y Deformaciones de forjados compuestos de chapas y hormigones normales o ligeros». Revista Hormigón y Acero n.º 176. Tercer trimestre 1990.

titative reductions, which are always more disfavoured when using lightweight concrete (3 % to 9 % in the study). However, when considering the service performance the permissible resisting capacity of the lightweight concrete slabs may be considerably smaller (37 % in the study), according to the sheet, than that corresponding to normal concrete.

The type of sheet, when possessing the necessary internal properties (indentations, etc.), significantly influences the service performance (up to 20 % difference in the study) but to a lesser degree in failure (only 5 % in the study).

Dovetailed sheet forms prove to be clearly preferable, due to their favourable effect in shrinking as well as their preventing the vertical separation of the sheet and the concrete.

Lastly, we must point out once again the affect that certain types of sheet may have in the reduction of the first significant slip and, as such, in the moment in which adhesion is broken between the sheet and the concrete, the smallest possible amount of rigidity is lost. Therefore, geometrical forms together with adequate profile characteristics, limit this phenomenon to a minimum, and will always improve the technical characteristics of these slabs. All these improvements should be sanctioned by way of experiment.

5. BIBLIOGRAPHY

- (1) ACI 318-83. «Building Code Requirements for Reinforced Concrete».
- (2) ACI Committee 213. «Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete».
- (3) ASCE; ANSI/ASCE 3-84 1986. «Specifications for the Design and Construction of Composite Slabs and Commentary on Specifications for the Design and Construction of Composite Slabs».
- (4) BRITISH STANDARDS INSTITUTION. «The Structural use of steelwork. The design of composite floors with profiled steel sheeting». B.S. 5950: Part. 4. 1982.
- (5) BROZETTI, Jacques. «Planchers mixtes à Toles Profiles d'acier». Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics. N.º 467. Septiembre 1988.
- (6) CALAVERA, José. «Cálculo, Construcción y Patología de Forjados de Edificación». INEMAC. Madrid. 4ª Edición. 1988.
- (7) C.E.B. BOL. n.º 95. «Manuel Technologie des Structures en bétons légers». Septiembre 1973.
- (8) EUROCODIGO N.º 4. «Construcción mixta hormigón-acero».
- (9) EUROPEAN RECOMMENDATIONS FOR STEEL CONSTRUCTION. «The Design of composite floors with Profiled Steel Sheet». Comité n.º 11. 1975.
- (10) JORDAN DE URRIES, Jorge. «Estudio experimental del Comportamiento a flexión: Tensiones rasantes y Deformaciones de forjados compuestos de chapas y hormigones normales o ligeros». Revista Hormigón y Acero n.º 176. Tercer trimestre 1990.
- (11) ONG, K.C.G. «Shear-bond capacity of composite slabs made with profiled sheeting». The International Journal of Cement Composition and Lightweight Concrete. Volume 8 Numbers. Nov. 1986.
- (12) PORTER, M.L. «Commentary on Specifications for the Design and Construction of Composite Slabs». ASCE. Technical Council of Codes and Standards Division. New York 1982.
- (13) PORTER, M.L.; EKBERG, C.E. Jr. «Design VS, Test results for Steel deck floor Slabs». Conference on Cold-Formed Steel Struct. St. Louis. Nov. 1975.
- (14) PORTER, M.L.; EKBERG, Carl E. Jr.; GREIMANN, LOWELL, F.; ELLEBY HATTEN, A. «Shear-bond Analysis of Steel-Deck-Reinforced slabs». Journal Structural Division. vol, 102. Dic. 1976.
- (15) SHUSTER, R.M.; LING, W.C. «Mechanical interlocking capacity of composite slabs». Fifth International Spec. Conf. on Cold. Formed Steel Struct. St. Louis. Nov. 1980.

tativas, siempre en contra de los ejecutados con hormigón ligero (3 % a 9 % en el estudio). Sin embargo, si consideramos el comportamiento en servicio, la capacidad resistente admisible de los forjados realizados con hormigones ligeros puede llegar a ser considerablemente más pequeña (37 % en el estudio) que la correspondiente a un hormigón normal, dependiendo del tipo de chapa.

El tipo de chapa, siempre que la misma posea recursos internos suficientes (indentaciones, resaltos, etc.) influye significativamente en el comportamiento en servicio (hasta un 20 % de diferencia en el estudio) y menos en rotura (sólo un 5 % en el estudio).

Las configuraciones de chapa con «colas de milano» se muestran claramente preferibles, debido, tanto al efecto favorable de la retracción, como al hecho de impedir la separación vertical entre la chapa y el hormigón.

Por último, resaltamos de nuevo la incidencia que determinados tipos de chapa pueden tener en la discretización del primer corrimiento significativo y, por lo tanto, el que en el momento de producirse la desadhesión entre chapa y hormigón, se produzca una pérdida de rigidez lo más pequeña posible, para lo cual unas configuraciones geométricas de aquéllas que, junto con unos recursos internos adecuados, limiten al máximo este fenómeno, mejorarán siempre las características técnicas de estos forjados. Todas estas mejoras deberán venir sancionadas por vía experimental.

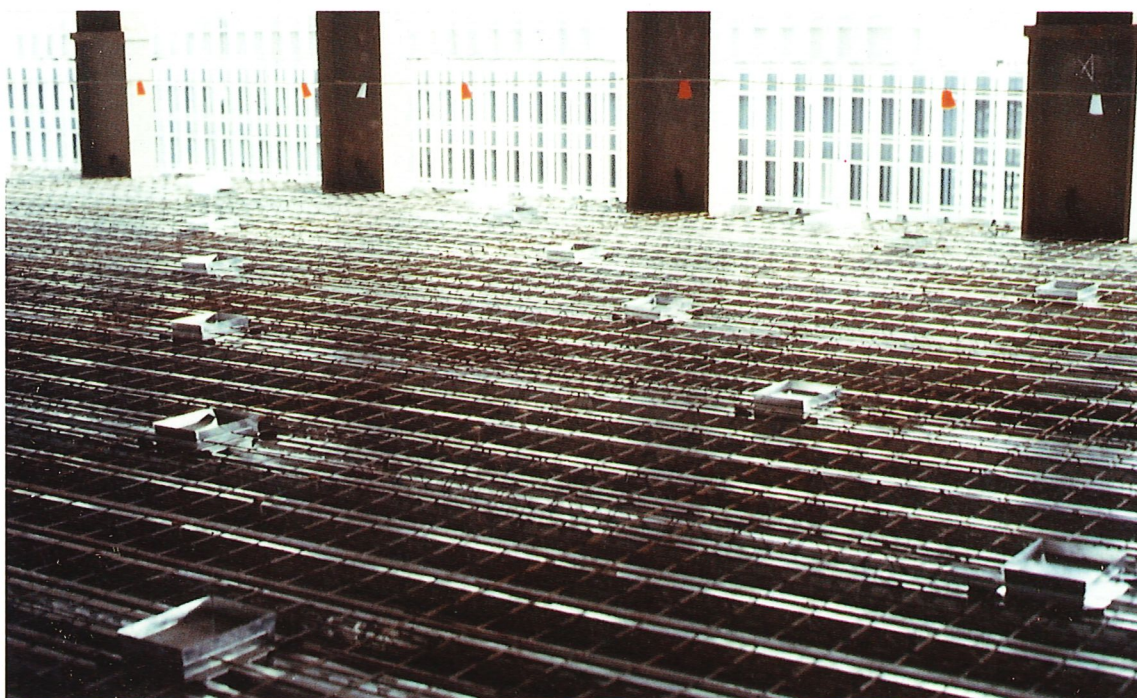
5. BIBLIOGRAFIA

- (1) ACI 318-83. «Building Code Requirements for Reinforced Concrete».
- (2) ACI Committe 213. «Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete».
- (3) ASCE; ANSI/ASCE 3-84 1986. «Specifications for the Design and Construction of Composite Slabs and Commentary on Specifications for the Design and Construction of Composite Slabs».
- (4) BRITISH STANDARDS INSTITUTION. «The Structural use of steelwork. The design of composite floors with profiled steel sheeting». B.S. 5950: Part. 4. 1982.
- (5) BROZETTI, Jacques. «Planchers mixtes à Toles Profiles d'acier». Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics. N.º 467. Septiembre 1988.
- (6) CALAVERA, José. «Cálculo, Construcción y Patología de Forjados de Edificación». INTEMAC. Madrid. 4ª Edición. 1988.
- (7) C.E.B. BOL. n.º 95. «Manuel Technologie des Structures en bétons légers». Septiembre 1973.
- (8) EUROCODIGO N.º 4. «Construcción mixta hormigón-acero».
- (9) EUROPEAN RECOMMENDATIONS FOR STEEL CONSTRUCTION. «The Design of composite floors with Profiled Steel Sheet». Comité n.º 11. 1975.
- (10) JORDAN DE URRIES, Jorge. «Estudio experimental del Comportamiento a flexión: Tensiones rasantes y Deformaciones de forjados compuestos de chapas y hormigones normales o ligeros». Revista Hormigón y Acero n.º 176. Tercer trimestre 1990.
- (11) ONG, K.C.G. «Shear-bond capacity of composite slabs made with profiled sheeting». The International Journal of Cement Composition and Lightweight Concrete. Volume 8 Numbers. Nov. 1986.
- (12) PORTER, M.L. «Commentary on Specifications for the Design and Construction of Composite Slabs». ASCE. Technical Council of Codes and Standards Division. New York 1982.
- (13) PORTER, M.L.; EKBERG, C.E. Jr. «Design VS, Test results for Steel deck floor Slabs». Conference on Cold-Formed Steel Struct. St. Louis. Nov. 1975.
- (14) PORTER, M.L.; EKBERG, Carl E. Jr.; GREIMANN, LOWELL, F.; ELLEBY HATTEN, A. «Shear-bond Analysis of Steel-Deck-Reinforced slabs». Journal Structural Division. vol. 102. Dic. 1976.
- (15) SHUSTER, R.M.; LING, W.C. «Mechanical interlocking capacity of composite slabs». Fifth International Spec. Conf. on Cold. Formed Steel Struct. St. Louis. Nov. 1980.

DOCUMENTACION FOTOGRAFICA
PHOTOGRAPHIC DOCUMENTATION



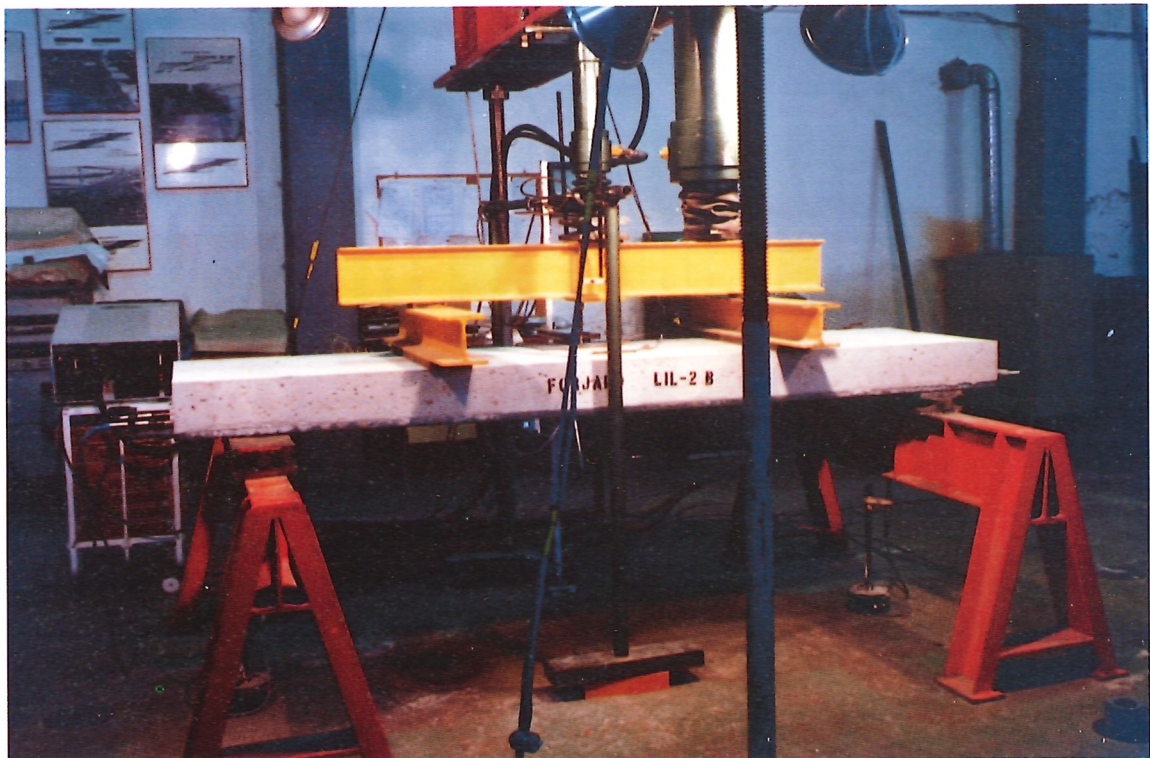
Fotografía n.º 1. Colocación preliminar de la chapa.
Photograph No. 1. Preliminary placing of the steel sheet.



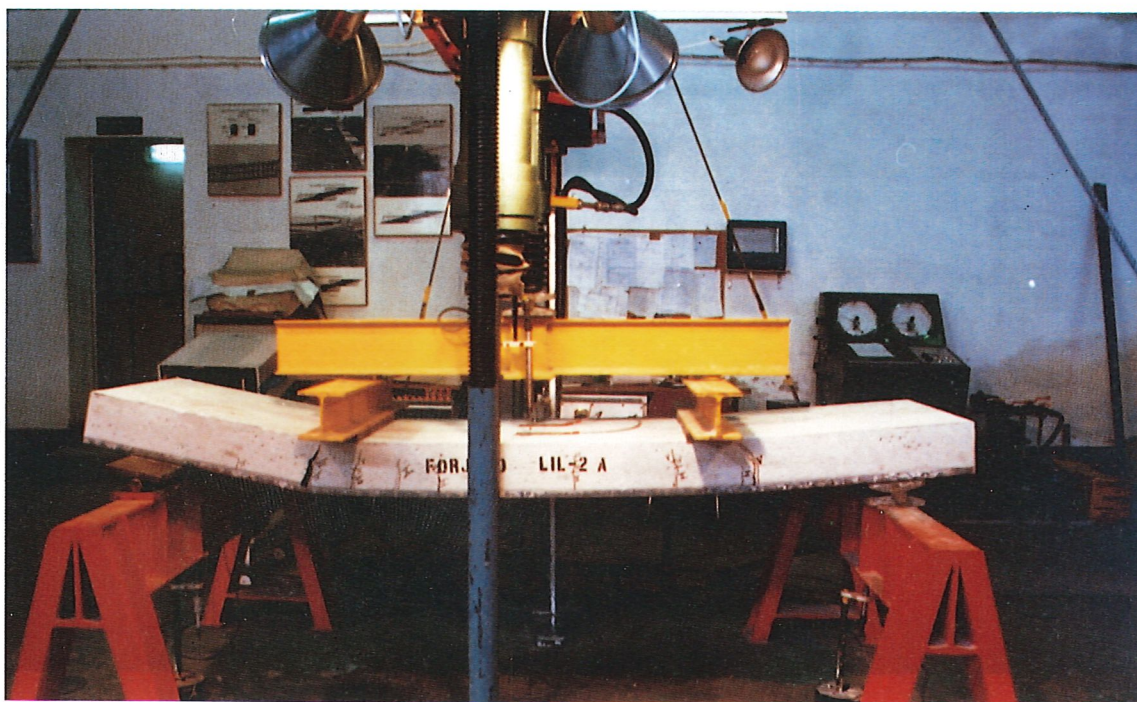
Fotografía n.º 2. Colocación de la armadura complementaria.
Photograph No. 2. Placing of complementary reinforcement.



Fotografía n.º 3. Fase de hormigonado.
Photograph No. 3. Concreting phase.

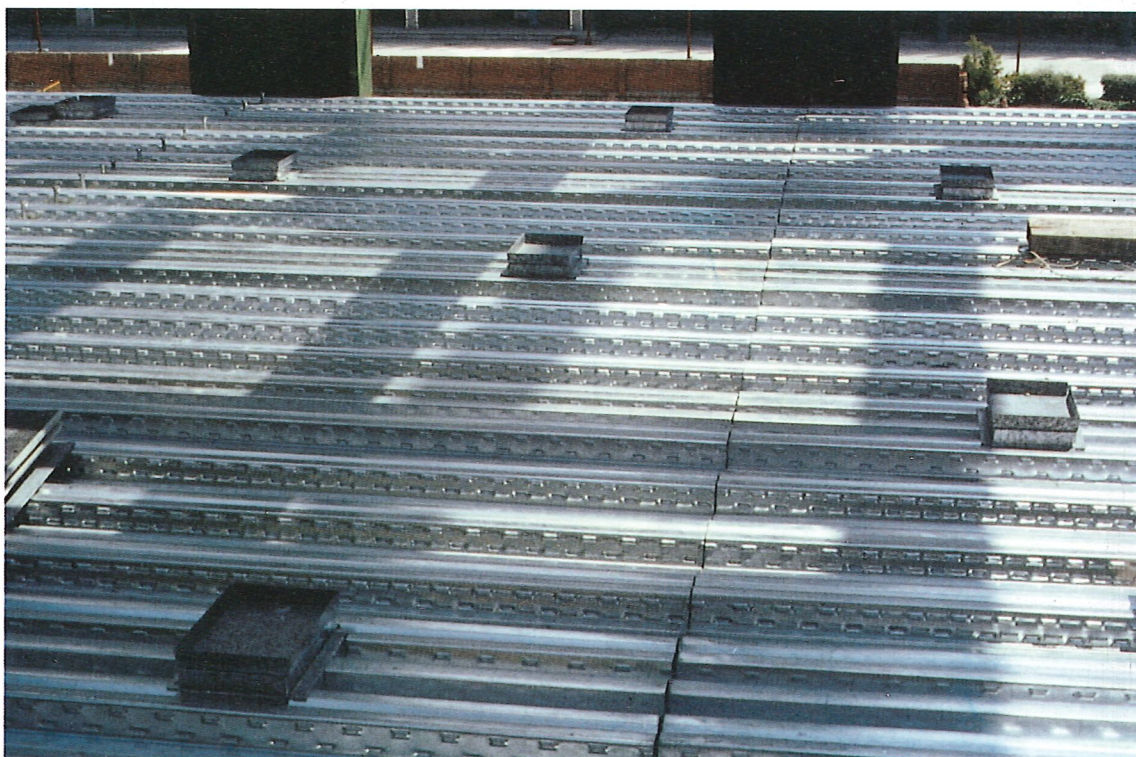


Fotografía n.º 4. Disposición del ensayo de un forjado de dos metros de luz efectuado en el Laboratorio Central de INTEMAC.
Photograph No. 4. Lay out of the test on a slab with a span of two meters, carried out at INTEMAC's Central Laboratory.



Fotografía n.º 5. Ensayo realizado por INTEMAC para determinar las características resistentes de estos forjados.

Photograph No. 5. Test carried out by INTEMAC to determine the resisting characteristics of these slabs.



Fotografía n.º 6. Tipo de chapa.
Photograph No. 6. Type of sheet.



Fotografía n.º 7. Tipo de chapa.
Photograph No. 7. Type of sheet.



Fotografía n.º 8. Tipo de chapa.
Photograph No. 8. Type of sheet.

Relación de personal titulado

Arquitectos

Luzón Cánovas, José M.^a
Pulido Muñoz, José

Ingeniero Agrónomo

Valdés Tamames, Begoña

Ingenieros de Caminos

Acón Robleda, Miguel Angel
Calavera Ruiz, José
Cortés Bretón, Juan María
Corral Folgado, Claudio
Delibes Liniers, Adolfo
Díaz Lozano, Justo
Espinosa Espinos, José
Fernández Gómez, Jaime Antonio
Ferrer Serafi, 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 Urzáiz, Jorge
Pérez Sánchez, José
Rodríguez Moragón, julio
Sanz Pérez, Lorenzo
Sirvent Sirvent, Enrique
Tapia Menéndez, José

Ingenieros Civiles

Arias Brostella, Carlos Alfredo
Pulgar Allendes, Jorge Osvaldo

Ingeniero I.C.A.I.

Marín Estévez, Gonzalo

Ingenieros Industriales

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

Ingeniero de Minas

Ramos Sánchez, Adelina

Licenciado en Ciencias Físicas

Díaz Paniagua, Carlos

Licenciados en Ciencias Geológicas

Blanco Zorroza, Alberto
Calafat Colom, Felio Jaime
Massana Mila, Joan
Serrano Martín, Luis

Licenciados en Ciencias Químicas

López Sánchez, Pedro
Morgado Sánchez, José Carlos
Rodríguez-Maribona Gálvez, Isabel Ana

Arquitectos Técnicos

Bielsa Guiu, Julio
Blanco Pérez, Hermenegildo
Casado de la Fuente, M.^a Esther
Cervera García, Eduardo
Fuente Rivera, Jesús de la
Jambrina de la Peña, María Isabel
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
Alvarez Martín, Gonzalo
Díaz-Trechuelo Laffón, Antonio
Gómez Gómez, Angel Manuel
González Carmona, Manuel
Madueño Morano, Antonio
Rodríguez Delgado, José Manuel

Ingeniero Técnico Industrial Químico

Fernández París, José Manuel

Ingenieros Técnicos de Minas

Ballesteros Peinado, Luis Alberto
Santacoloma Arroyo, Andrés

Ingenieros Técnicos de Obras Públicas

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 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

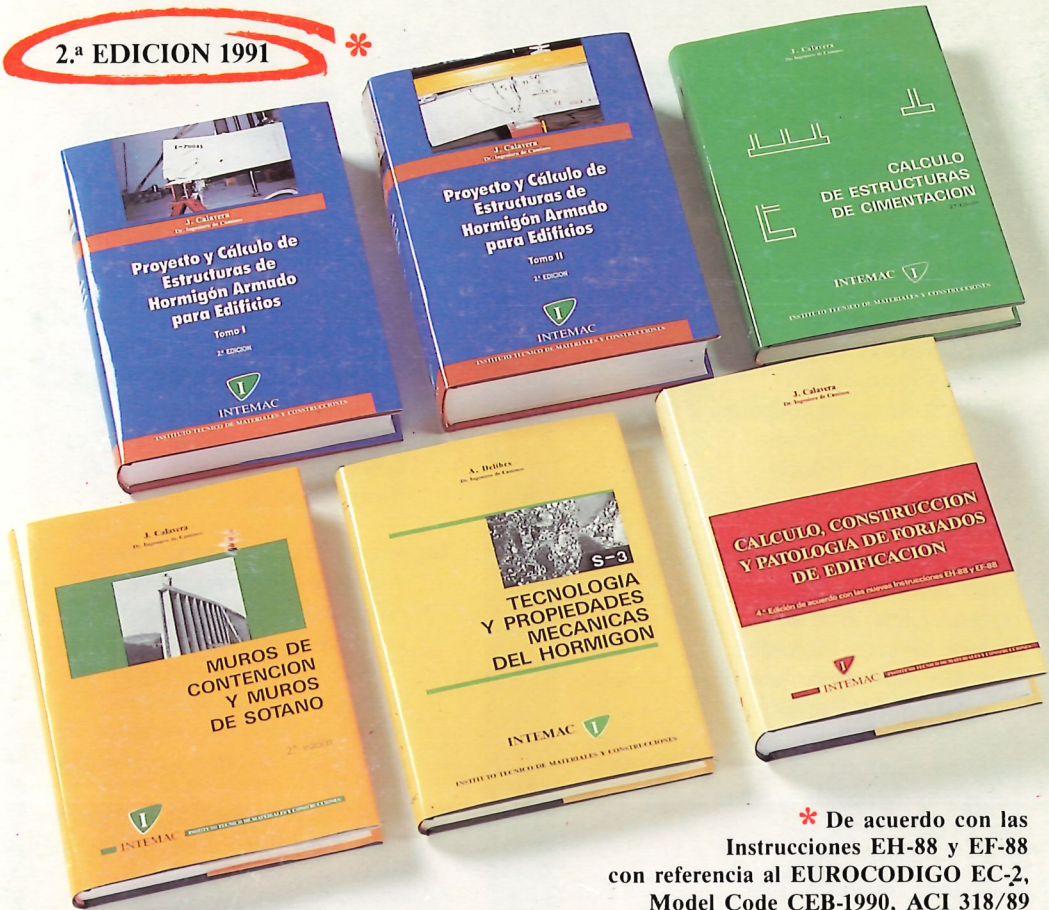
García Rodríguez, Juan Tomás

Topógrafo

Alquézar Falcetto, Ricardo

SERVICIO DE PUBLICACIONES

2.ª EDICION 1991



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

Los precios indicados son para entregas dentro del territorio español.

<p>"PROYECTO Y CALCULO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO PARA EDIFICIOS"</p> <ul style="list-style-type: none"> • Autor: J. CALAVERA. • 2.ª Edición, 1991 de acuerdo con Instrucciones EH-88 y EF-88, con referencia a EC-2, Model Code CEB-1990, ACI 318/89. 	
<p>TOMO I CALCULO DE ESFUERZOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • 568 páginas. • Encuadernación en guallex. • 373 figuras. • 90 gráficos y tablas auxiliares. 	<p>TOMO II DIMENSIONAMIENTO Y DETALLES CONSTRUCTIVOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • 871 páginas. • Encuadernación en guallex. • 611 figuras. • 142 gráficos y tablas auxiliares.
<p>Precio de la obra completa: 15.000 Pts.</p>	
<p>"CALCULO DE ESTRUCTURAS DE CIMIENTACION"</p> <ul style="list-style-type: none"> • Autor: J. CALAVERA. • 2.ª Edición. • 381 páginas. • Encuadernación en guallex. • 38 gráficos y tablas auxiliares. • 40 tablas para el dimensionamiento directo. • AGOTADO. (Próxima edición 1991). 	<p>"CALCULO, CONSTRUCCION Y PATOLOGIA DE FORJADOS DE EDIFICACION"</p> <ul style="list-style-type: none"> • Autor: J. CALAVERA. • 4.ª Edición. • 678 páginas. • Encuadernación en guallex. • 344 figuras. • 93 tablas y abacos. • 16 ejemplos resueltos. • 159 referencias bibliográficas. • 188 detalles constructivos. • Precio: 6.770 Pts.
<p>"MUROS DE CONTENCIÓN Y MUROS DE SOTANO"</p> <ul style="list-style-type: none"> • Autor: J. CALAVERA. • 2.ª Edición. • 308 páginas. • Encuadernación en guallex. • 26 gráficos y tablas auxiliares. • 22 tablas para el dimensionamiento directo. • Precio: 5.900 Pts. 	<p>"TECNOLOGIA Y PROPIEDADES MECANICAS DEL HORMIGON"</p> <ul style="list-style-type: none"> • Autor: A. DELIBES. • 266 páginas. • Encuadernación en guallex. • AGOTADO. (Próxima edición 1992).

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.



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