

# CARACTERIZACION DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS FABRICADAS EN LAS CENTRALES ASFALTICAS TAMBOR SECADOR-MEZCLADOR<sup>(1)</sup>

FRANCISCO DO PINO GONZALEZ (\*)  
BALTASAR RUBIO GUZMAN (\*\*)

**RESUMEN.** El gran desarrollo experimentado últimamente por la técnica de fabricación de mezclas bituminosas en centrales tambor secador-mezclador, TSM, motivó a la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas español a proponer al Centro de Estudios de Carreteras un estudio experimental con mezclas producidas en estas centrales y su comparación con las fabricadas en centrales convencionales.

El estudio, desarrollado recientemente, tuvo como fin caracterizar las propiedades mecánicas y reológicas de las mezclas fabricadas en centrales TSM e investigar posibles variaciones experimentadas en los materiales constituyentes de las mezclas por causa del proceso en sí, especialmente con respecto al betún, filler y humedad.

Las características del ligante recuperado de mezclas procedentes de varias centrales, TSM, son comparables a las obtenidas con ligantes utilizados en centrales convencionales.

Se ha comprobado la aptitud de estas centrales para secar los áridos hasta el grado de humedad conveniente para, según varios investigadores, facilitar el proceso de mezclado.

Por otra parte, se han realizado numerosos ensayos que evidencian propiedades mecánicas y reológicas de las mezclas TSM, análogas a aquellas obtenidas en instalaciones convencionales.

También se ha comprobado la idoneidad de estas centrales en la técnica de reciclado.

**ABSTRACT.** *The considerable breakthroughs that have been made in techniques for the manufacture of bitumen mixtures in mixingdrying plants (MDP), have prompted the General Roads Direction of the Ministry of Public Works in Spain to suggest that the Road Studies Centre carries out a research project involving mixtures produced in these plants, sothat they can be compared with those made in conventional plants.*

*The project, which has recently been completed, was carried out with a view to characterizing the mechanical and rheological properties of the mixtures manufactured, MDP, and to research possible variations undergone by the materials that make up the mixtures, where this change is a result of the process itself, especially where bitumen, filler and dampness are concerned.*

*The characteristics of the binder recovered from mixtures that have come from various MDP are comparable with those obtained with binders used in conventional plants.*

*According to various researchers, the suitability of such plants for drying aggregates to the required degree of dampness for making the mixing process sufficiently easy, has been demonstrated.*

*On the other and, a number of tests bear witness to the similarities that exists between the mechanical and rheological properties of the MDP mixtures and those from conventional installations.*

*The suitability of these plants for use in recycling techniques has also been shown.*

(1) Presentado en el V Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto. Punta del Este (URUGUAY), 4-10 diciembre 1989.

(\*) Licenciado en Ciencias Químicas. Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX (MOPU).

(\*\*) Doctor en Ciencias Químicas. Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX (MOPU).

## INTRODUCCION

La técnica de los tambores secadores-mezcladores TSM, para la fabricación de mezclas bituminosas, que consiste en secar, calentar y mezclar los materiales en un tambor rotatorio, ver figura última página, aparece en EE.UU. en 1910, pero la cuantía de producción de estas centrales es escasa (15 t/h). Esta, cuantitativamente, pequeña producción, obligó a reemplazarlas por otras

instalaciones de fabricación con los elementos de secado y mezclado separados.

En Francia, en 1946, se construyeron unas quince centrales TSM con una producción máxima de 30 t/h.

A partir de 1970 y como consecuencia de avances en la técnica en cuestión en los EE.UU., se produce un desarrollo espectacular de estas instalaciones.

En la actualidad hay en España más de medio centenar de estas centrales, construidas por diversas firmas extranjeras y nacionales, que fabrican mezcla bituminosa para pavimentación de carreteras de la red viaria nacional. Varias de estas centrales están en producción desde principio de los '80, y se han empleado también en trabajos de reciclado de mezclas bituminosas.

La realización de este estudio tuvo por objeto, en consecuencia, la caracterización de las mezclas bituminosas, fabricadas en centrales TSM, determinando las propiedades mecánicas y geológicas de las mismas, así como la busca de posibles variaciones cualitativas y cuantitativas experimentadas en los materiales constituyentes por causa del proceso en sí, especialmente en lo que concierne al ligante bituminoso, filler y balance hídrico ponderal inicial y final.

El ligante bituminoso se introduce en este tipo de centrales en, aproximadamente, una zona próxima a la sección media del tambor secador-mezclador, por lo que aquél puede ser afectado por calentamientos inadecuados, alterando sus características iniciales en mayor medida de lo tolerable.

La adición del filler de aportación se realiza, o conjuntamente con los áridos combinados, antes de entrar éstos en el tambor, o bien en un punto próximo al de adición del ligante, con técnica muy diferente a la tradicional. Por otra parte, la extracción de finos sobrantes o de baja calidad se realiza al final del tambor y en la zona de incorporación del material a reciclar —si es el caso— consiguiéndose una mayor eficacia que en los otros tipos de centrales.

La humedad natural inicial de los áridos puede influir en el proceso productivo de dos maneras: una, en la dosificación ponderal de los áridos, si no se hace previamente la corrección adecuada por causa de la presencia de agua en aquéllos; y otra, consecuencia de la posible emulsificación del ligante con el agua durante el mezclado, lo que implicaría una menor viscosidad del sistema y, en consecuencia, una menor temperatura de mezclado y de puesta en obra. Es, por tanto, la determinación y control de la humedad, en áridos y en mezcla, un aspecto importante para poder establecer, si procede, causas asignables de comportamientos particulares de la mezcla fabricada y de la puesta en obra de la misma.

El estudio que se reseña, se efectuó en cinco centrales de fabricación de mezcla bituminosa, ubicadas en diversos lugares de España y en épocas climáticas diferentes de acuerdo con un plan establecido.

Asimismo, con el fin de comprobar la aptitud de este tipo de centrales para producir mezclas bituminosas que

mantengan sus características mecánicas y reológicas razonablemente constantes a lo largo del tiempo de fabricación, el control se desarrolló en cada central visitada durante varias jornadas consecutivas de funcionamiento.

## RESULTADOS EXPERIMENTALES

A continuación se exponen algunos de los resultados de los ensayos realizados con el material estudiado y que se consideran de mayor significación para el cumplimiento del fin propuesto.

### Análisis granulométrico de los áridos extraídos de las mezclas (según norma NLT-165)

Los valores medios de las granulometrías de los áridos extraídos encajan, salvo algún tamaño aislado, en los usos respectivos de las fórmulas de trabajo. Las desviaciones observadas son en algunos casos importantes, especialmente en los tamaños más finos, inferiores a 80  $\mu$ m. Se pueden atribuir estas dispersiones a falta de uniformidad en los acopios, y/o a la dificultad que presenta la realización de una toma de muestras representativa, de una vena de material granulado (áridos) en movimiento (cinta elevadora). El sistema de compuerta graduable en combinación con la velocidad regulable de cinta puede y debe asegurar una correcta dosificación de áridos en frío.

### Contenido de ligantes en mezcla (según norma NLT-164)

Las dispersiones observadas entre los contenidos de ligante, determinados en cada planta, presentan valores en algunos casos importantes pero comparables a los obtenidos en centrales con elementos de secado y mezclado separados. A continuación se muestran los estadísticos calculados para los datos determinados en las cinco centrales (tabla 1).

| CONTENIDO<br>LIGANTE % S/A        | CENTRALES DE FABRICACION |      |      |      |      |
|-----------------------------------|--------------------------|------|------|------|------|
|                                   | A                        | B    | C    | D    | E    |
| NUMERO MUESTRAS, n                | 5                        | 7    | 6    | 6    | 9    |
| VALOR MEDIO, $\bar{x}$            | 4,87                     | 3,52 | 3,70 | 5,10 | 4,01 |
| DESVIACION TIPICA, $\sigma_{n-1}$ | 0,14                     | 0,29 | 0,31 | 0,28 | 0,35 |
| COEFICIENTE VARIACION, CV         | 2,87                     | 8,23 | 8,37 | 5,49 | 8,73 |

TABLA 1.

### Caracterización del ligante asfáltico recuperado de la mezcla (según norma NLT-353)

Se ha caracterizado el ligante recuperado mediante los ensayos de penetración y punto de reblandecimiento.

Tales ensayos muestran que el endurecimiento experimentado por el ligante —disminución de la penetración y aumento del punto de reblandecimiento— está dentro de los valores normales, con penetraciones retenidas (% con respecto a la original) por encima de los mínimos requeridos y aumento del punto de reblandecimiento por debajo del límite superior establecido. Los índices de penetración, calculados según Pfeiffer-Van Doornal, muestran una tendencia hacia valores menos negativos que implica, aparte de una evolución normal de los ligantes durante el proceso de fabricación de acuerdo con la experiencia, una mejora de los mismos en cuanto a sus características de susceptibilidad a la temperatura. Por tanto, los betunes asfálticos empleados en el proceso de fabricación de mezclas en las centrales TSM que se han controlado para la realización de este estudio, han sufrido modificaciones normales, respecto a su endurecimiento y, en cualquier caso, comparables a las producidas en las centrales convencionales.

Tampoco se ha detectado en ningún caso contaminación del betún por partículas de combustible no quemadas, por causa de un mal funcionamiento del mechero o empleo de combustibles inadecuados y/o no precalentados. Este hecho se hubiera puesto de manifiesto, entre otros, en un menor endurecimiento o ablandamiento del ligante en el proceso de fabricación (tabla 2).

| CARACTERÍSTICAS<br>BETUN ASFALTICO | CENTRAL DE FABRICACION |       |       |       |       |
|------------------------------------|------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                                    | A                      | B     | C     | D     | E     |
| ORIGINAL                           |                        |       |       |       |       |
| TIPO                               | 60/70                  | 60/70 | 40/50 | 60/70 | 40/50 |
| PENETRACION (10,1 mm)              | 62                     | 58    | 42    | 65    | 42    |
| PTO. REBLATO (°C)                  | 49,5                   | 50,0  | 54,0  | 48,5  | 52,0  |
| INDICE PENETRACION                 | -0,8                   | -0,8  | -0,6  | -0,9  | -1,0  |
| RECUPERADO (1)                     |                        |       |       |       |       |
| N.º DE MUESTRAS                    | 3                      | 7     | 6     | 6     | 9     |
| PENETRACION (10,1 mm)              |                        |       |       |       |       |
| $\bar{x}$                          | 36                     | 36    | 32    | 43    | 34    |
| $\sigma_n - 1$                     | 2                      | 3     | 2     | 6     | 2     |
| PENETRACION RETEN (%)              | 58                     | 62    | 76    | 66    | 81    |
| PTO. REBLATO (°C)                  | 56                     | 57,7  | 58,5  | 55,5  | 56,5  |
| $\Delta$ PTO. R. (°C)              | 6,5                    | 7,5   | 4,5   | 7,0   | 4,5   |
| INDICE PENETRACION                 | -0,5                   | -0,2  | -0,3  | -0,2  | -0,5  |

**TABLA 2.**

(1) Para la recuperación del ligante de las mezclas bituminosas para su caracterización se ha utilizado el aparato rotavapor y disolvente diclorometano, de acuerdo con la norma NLT-353/85.

### Efecto del agua sobre la cohesión de las mezclas bituminosas compactadas (según norma NLT-162)

Los ensayos realizados de inmersión-compresión, para determinar el efecto del agua en la cohesión de las mezclas, presentan valores de resistencia conservada en el entorno del 75 %. Las dispersiones observadas en las resistencias a compresión simple de las probetas, tanto en las sumergidas como en las mantenidas en seco, son

en algún caso elevadas y, en general, con valores individualizados altos.

Puesto que las características del betún recuperado no han evidenciado una degradación o alteración de éste y los contenidos en agua residual de la mezcla (como se verá más adelante) son despreciables, no cabe atribuir la, en algunas de las mezclas estudiadas, baja resistencia conservada, <75 %, a otra causa que a la mezcla misma y no al proceso productivo como tal (tabla 3).

| INMERSION-COMPRESION       | CENTRAL DE FABRICACION |       |              |         |       |
|----------------------------|------------------------|-------|--------------|---------|-------|
|                            | A                      | B     | C            | D       | E     |
| NUMERO MUESTRAS            | 18                     | 42    | 36           | 36      | 54    |
| SUMERGIDAS:                |                        |       |              |         |       |
| RESISTENCIA (N)            | 292                    | 276   | 317          | 410     | 295   |
| $\sigma_n - 1$ (N)         | 23                     | 17    | 55           | 54      | 60    |
| EN SECO:                   |                        |       |              |         |       |
| RESISTENCIA (N)            | 427                    | 359   | 400          | 568     | 432   |
| $\sigma_n - 1$ (N)         | 45                     | 16    | 60           | 42      | 74    |
| RESISTENCIA CONSERVADA (%) | 68                     | 77    | 79           | 72      | 68    |
| TIPO ARIDO                 | CUARCITA CAIZA         | CAIZA | SILICE CAIZA | PORFIDO | CAIZA |

**TABLA 3.**

### Resistencia a la deformación plástica por el método Marshall (según norma NLT-159)

Los valores de estabilidad Marshall son algo más bajos que los definidos en las respectivas fórmulas de trabajo, lo que debe tener su explicación en que las mezclas se fabrican con parámetros distintos a los establecidos por el laboratorio con dicha fórmula. Por lo demás, las dispersiones dentro de cada tipo de mezcla y para cada central están dentro de las variaciones normales que se obtendrían en una instalación convencional, tanto en los valores de estabilidad como de deformación (tabla 4).

| MARSHALL         | CENTRAL DE FABRICACION |      |      |      |      |
|------------------|------------------------|------|------|------|------|
|                  | A                      | B    | C    | D    | E    |
| MEZCLA TIPO (1)  | S-12                   | G-25 | G-20 | D-20 | G-20 |
| N.º MUESTRAS     | 24                     | 16   | 32   | 36   | 36   |
| ESTABILIDAD (kN) |                        |      |      |      |      |
| FORM. TRABAJO:   | 15,0                   | 14,0 | 12,9 | 11,5 | 12,0 |
| OBRA: $\bar{x}$  | 10,2                   | 12,0 | 9,6  | 11,3 | 7,9  |
| $\sigma_n - 1$   | 0,1                    | 0,2  | 0,1  | 0,1  | 0,1  |
| DEFORMACION (mm) |                        |      |      |      |      |
| FORM. TRABAJO:   | 3,5                    | 2,4  | 2,3  | 2,3  | 3,0  |
| OBRA: $\bar{x}$  | 2,7                    | 3,1  | 2,6  | 2,7  | 3,1  |
| $\sigma_n - 1$   | 0,4                    | 0,4  | 0,5  | 0,4  | 0,3  |

**TABLA 4.**

(1) S = semidensa; G = gruesa; D = densa.  
12, 20, 25... tamaños de áridos máximo nominal.  
Dirección General de Carreteras. M.O.P.U. España.

**Resistencia a la deformación plástica empleando la máquina giratoria (GTM) (norma ASTM D.3387-78)**

El comportamiento de las mezclas estudiadas en el ensayo giratorio es de aceptable a bueno, ya en las estabilidades ya en el ángulo giratorio.

Durante la realización del ensayo (1.000 vueltas, 1.100 kN/m<sup>2</sup>, 1° giratorio inicial y 60 °C) se han obtenido los valores que se muestran en la tabla 5.

|                                            | MÍNIMO | MÁXIMO |
|--------------------------------------------|--------|--------|
| ESTABILIDAD GIRATORIA (kN/m <sup>2</sup> ) | 250    | 500    |
| ÁNGULO GIRATORIO FINAL (GRADO)             | 1,00   | 1,57   |
| DENSIFICACIÓN PROBETA (%)                  | 1,8    | 7,0    |

**TABLA 5.**

Los valores mínimos y máximo abarcan a la totalidad de los ensayos individuales realizados con probetas tipo Marshall fabricadas con mezcla procedente de las cinco centrales consideradas A, B, C, D y E, en este estudio: Dichos valores son comparables, de acuerdo con la experiencia adquirida en el Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX, con los que se hubieran obtenido con mezclas semejantes en centrales de fabricación con elementos de secado y mezclado separados, a las que se vienen denominando centrales convencionales.

**Resistencia a la deformación plástica mediante el ensayo de pista de laboratorio**

El ensayo se realiza siguiendo la norma NLT-173, con carga específica de la rueda de 900 kN/m<sup>2</sup>, temperatura de 60 °C y movimiento de vaivén de 42 pasadas/minuto, durante 120 minutos.

Los resultados obtenidos presentan valores normales y comparables a los de mezclas procedentes de centrales convencionales (tabla 6).

| PISTA LABORATORIO                                       | CENTRAL DE FABRICACION |               |              |              |              |
|---------------------------------------------------------|------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
|                                                         | A                      | B             | C            | D            | E            |
| DEFORMACION TOTAL 120 MINUTOS (mm)                      | 1,84<br>2,05           | 11,56<br>2,02 | 1,77<br>2,10 | 1,40<br>1,89 | 1,62<br>2,20 |
| VELOCIDAD DE DEFORMACION (µm/min.) ENTRE: 30/45 MINUTOS | 10<br>20               | 10<br>17      | 11<br>20     | 12<br>33     | 7<br>23      |
| 75/90 MINUTOS                                           | 3,3<br>5,3             | 2,0<br>3,3    | 2,0<br>6,0   | 1,3<br>3,3   | 1,3<br>4,7   |
| 105/120 MINUTOS                                         | 3,3<br>5,3             | 2,0<br>3,3    | 2,0<br>6,0   | 1,3<br>3,3   | 1,3<br>4,7   |

**TABLA 6.**

Nota. Los cifras resaltadas se corresponden con los valores mínimos (superior) y máximos (inferior) determinados en cada mezcla (central).

**Balance hídrico de los materiales antes y después del proceso de fabricación**

Para la evaluación de la aptitud de las centrales TSM en secar los áridos se han determinado los contenidos de humedad en los materiales, áridos combinados en cinta elevadora, antes de entrar en el tambor secador-mezclador y en la mezcla bituminosa terminada, en la descarga a los camiones de transporte.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 7.

Uno de los aspectos más importantes a estudiar en las centrales TSM, junto con las potenciales alteraciones del ligante, es la aptitud de este tipo de instalaciones para eliminar la humedad de los áridos antes de que éstos entren en contacto con el ligante y la posible influencia de la humedad residual en las propiedades de la mezcla. De las centrales controladas sólo en una, la referenciada D, se tuvo la oportunidad de encontrar áridos en acopios con contenidos de humedad relativamente elevados del 2,9 al 5,6 %. La humedad residual determinada en la mezcla fue del 0,4 %, valor muy por debajo del estimado como máximo tolerable (1 %).

Las temperaturas de fabricación en las centrales son, en general, del mismo orden de magnitud que las utilizadas en las instalaciones convencionales. Hay que

|                                             | CENTRAL DE FABRICACION |                      |                         |                        |                                      |
|---------------------------------------------|------------------------|----------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------------------|
|                                             | A                      | B                    | C                       | D                      | E                                    |
| CLIMATOLOGIA DURANTE EL CONTROL             | CALOR SECO DESPEJADO   | CALOR SECO DESPEJADO | FRIO SECO (1) DESPEJADO | CALOR HUMEDO DESPEJADO | TEMPLADO SECO (1) DESPEJADO-CUBIERTO |
| HUMEDAD (%) ARIDOS COMBIN. MEZCLA TERMINADA | 2,4<br>0,1             | 0,4<br>0,0           | 1,8-2,4<br>0,0-0,1      | 2,9-5,6<br>0,3-0,5     | 1,1-4,4<br>0,0-0,1                   |

**TABLA 7.**

(1) Presencia de bancos de niebla, en los primeros horas de la mañana, que desaparecen totalmente durante la primera hora de trabajo

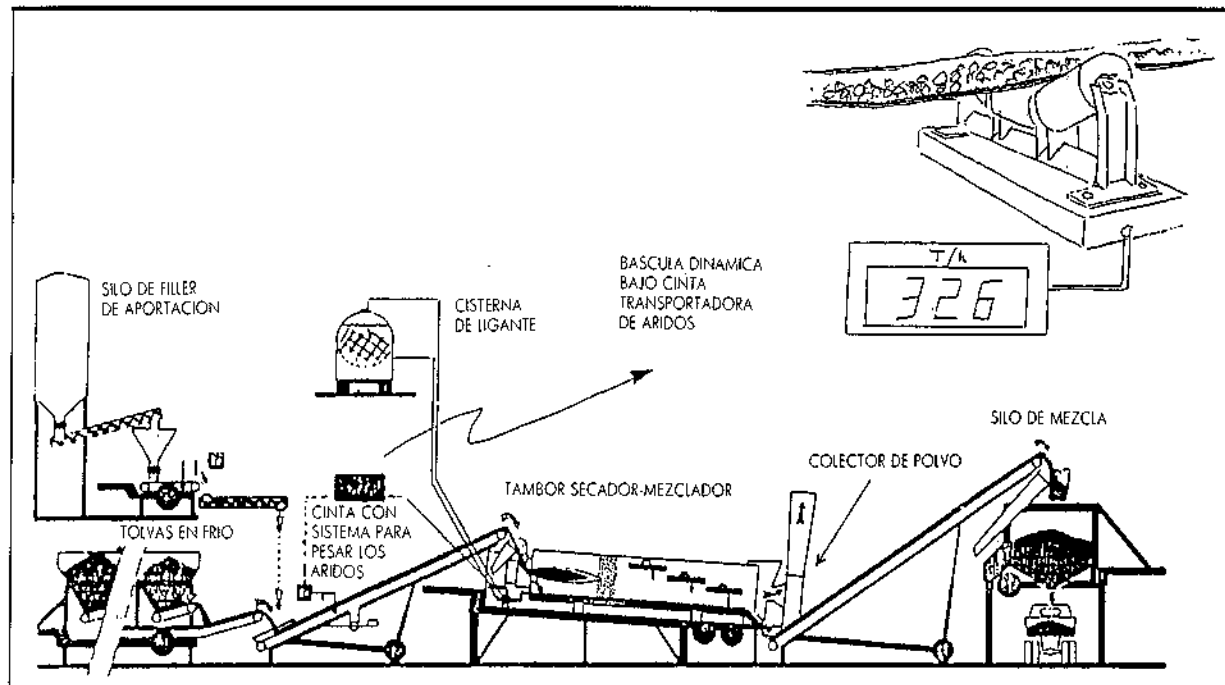


FIGURA 1. Esquema de planta asfáltica con tambor secador-mezclador.

tener en cuenta que las humedades determinadas en los áridos son bajas a excepción de las de la central D, por lo que no procede en tales condiciones disminuir la temperatura de mezclado. En la citada central D, se fabricaba a una temperatura unos 10 °C por debajo de lo que le correspondería al proceso de mezcla para el tipo de betún empleado en una central de elementos de secado y mezclado separados, en consonancia con el mayor grado de humedad de los áridos y de la mezcla bituminosa terminada.

### CONCLUSIONES

El trabajo de control realizado en las centrales TSM objeto de este informe permite concluir con carácter general y en espera de disponer en un futuro próximo de más información al respecto, lo que sigue:

- Es necesario en este tipo de centrales un mayor cuidado en el suministro y formación de acopios de áridos, vigilando la uniformidad de aquéllos y evitando intercontaminaciones en éstos.

- Para la correcta toma de muestras de los áridos combinados (dosificación en frío) debiera arbitrarse un dispositivo especial que permitiera dicha toma en condiciones idóneas, sin alterar el funcionamiento de la central.
- No se ha detectado evolución del ligante asfáltico en sus características de consistencia que supongan endurecimientos o ablandamientos del mismo fuera de lo normal; y en todo caso son análogas a las experimentadas por tales ligantes en las centrales convencionales. Por tanto, no ha habido calentamientos inadecuados del betún o contaminación del mismo por parte del combustible empleado.
- El análisis de los ensayos mecánicos realizados con las mezclas, no revela comportamientos diferentes significativos entre los materiales producidos en los dos tipos de centrales, aunque la falta de uniformidad en los acopios pueden, probablemente, resultar en diferencias entre los dos procesos en el futuro.



## **TERCER SYMPOSIUM INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE CUBIERTAS**

# **PROPUESTA DE PONENCIAS**

**MONTREAL, QUEBEC, CANADA  
17-19 ABRIL 1991**

Financiado por:

- U.S. National Institute of Standards and Technology (formerly the National Bureau of Standards).
- U.S. National Roofing Contractors Association.
- Canadian Roofing Contractors Association.
- National Research Council of Canada.
- International Waterproofing Association.
- CIB (International Council for Building Research Studies and Documentation).
- RILEM (International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures).

Los originales se aceptarán en idioma inglés y francés.

Los resúmenes de los artículos (200 a 300 palabras) deberán remitirse antes del 1 de marzo de 1990 a:

Thomas Smith, AIA.  
National Roofing Contractors Association.  
One O'Hare Centre.  
6250 River Road.  
Rosemont, Illinois  
60018 USA  
Teléfono: 708/318-6722  
Fax: 708/318-0134

Los autores serán invitados al envío de originales una vez aceptado el resumen. Los artículos completos deberán ser recibidos antes del 20 de junio de 1990.



## **COMITE NACIONAL ESPAÑOL DE GRANDES PRESAS III JORNADAS ESPAÑOLAS DE PRESAS**

Los días 19 y 20 de junio de 1990 se van a celebrar en Barcelona las III Jornadas Españolas de Presas. En ellas se van a debatir fundamentalmente dos temas: el de la interrelación entre avenidas y presas, y el de las presas y la sociedad. Está programado también un viaje de

estudios posterior a las Jornadas con visitas a varias presas de Catalunya.

**Información:** Secretaría de las Jornadas

Junta d'Aigües de Catalunya  
Via Layetana, 10 bis  
08003 BARCELONA

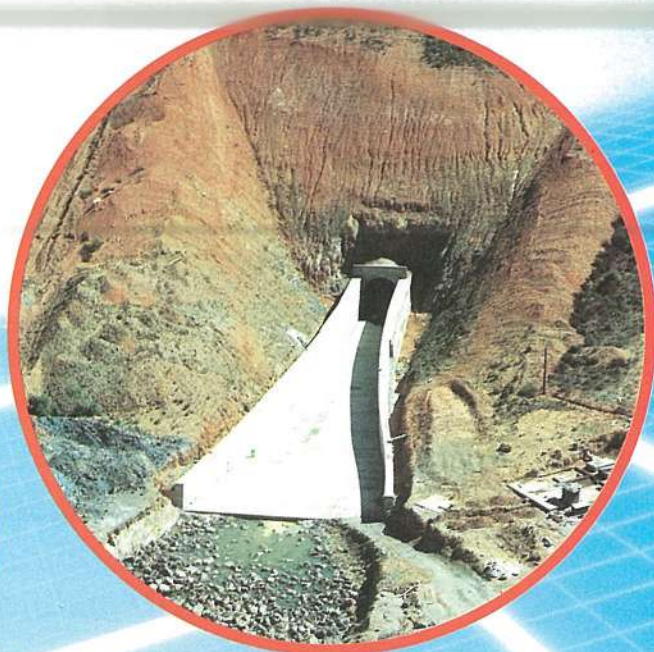
# CONSTRUIMOS SOLUCIONES

*Obras que identifican nuestra forma de trabajar y califican la larga trayectoria de nuestra empresa.*

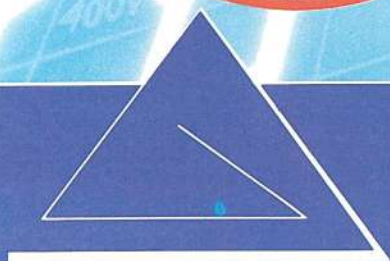
*Construimos grandes realidades que son el fruto de la técnica y la experiencia acumulada a lo largo de los años.*

*Así somos y así seguiremos: construyendo futuro.*





CENTRALES ELECTRICAS • AGRONOMIA • OBRAS HIDRAULICAS  
• CARRETERAS • PUERTOS Y COSTAS • ARQUITECTURA Y URBANISMO •  
GEOLOGIA Y GEOTECNIA • MEDIO AMBIENTE • PLANTAS INDUSTRIALES



# inypsa

INFORMES Y PROYECTOS, S.A.

## INGENIEROS CONSULTORES

### MADRID

General Diaz Porlier, 49  
Teléfono: (91) 402 45 92\*  
Télex: 42496 inyp E  
28001 MADRID

### BARCELONA

Gran Vía de Carlos III, 124  
Teléfono: (93) 205 08 62  
Télex: 97809 inyp E  
08034 BARCELONA