

EXPERIENCIA ESPAÑOLA SOBRE CAPAS DE BASE DE HORMIGÓN COMPACTADO⁽¹⁾

AURELIO RUIZ RUBIO (*)
JULIO VAQUERO GARCIA (*)

RESUMEN. En este artículo se pasa revista a la técnica seguida en nuestro país para el proyecto y construcción de capas de hormigón compactado en carreteras. La experiencia adquirida en los más de 300 km construidos con este material ha mostrado su idoneidad para este tipo de obra, presentando como principales ventajas: gran rendimiento en la puesta en obra, extendido y compactado con los equipos usuales de carreteras, apertura inmediata al tráfico y capacidad de soporte al menos equiparable a la del hormigón convencional.

ABSTRACT. *In this article, we review the techniques used in our country for designing and construction of compacted concrete layers in roads. The experience gained in over 300 km constructed with this material has proved it to be ideal for this kind of work, its main advantages being: excellent performance in laying, extended and compacted with the usually road construction equipment, immediate opening to traffic, bearing capacity at least equivalent to conventional concrete.*

1. INTRODUCCION

El hormigón compactado (Rollerete o Rollerete como se le conoce en los países de habla inglesa) puede definirse como un hormigón seco (de fluencia nula en el cono de Abrams), que se extiende y compacta con los equipos utilizados para capas de base de carreteras.

Aunque existen referencias de su utilización en aeropuertos al finalizar la Segunda Guerra Mundial no se construye de forma generalizada hasta la década de los setenta, impulsado por su éxito en la construcción de presas, en las que con este material se buscan economías en los tiempos de ejecución al emplear maquinaria de gran rendimiento. La técnica se adaptó rápidamente a la construcción de carreteras, siendo sus principales promotores Canadá, Francia y Estados Unidos. Actualmente la mayoría de los países europeos utilizan, en mayor o menor escala, este material.

En España existen referencias de obras de carreteras ejecutadas en los años setenta por pequeñas empresas que operaban en Cataluña, pero desde el año 84 su empleo ha desbordado el ámbito local, empleándose cada vez con mayor profusión en firmes de nueva construcción, reparaciones o refuerzos bajo tráfico. El impulso en la construcción debido al Plan General de Carreteras, y las ventajas que este material ofrece a los

firmes para tráfico pesado ha hecho que España se ponga a la cabeza de realizaciones respecto a otros países. En el año 87 se proyectaron 400.000 m² de carretera con hormigón compactado, y en la actualidad se estima que existen en conjunto más de 300 km construidos con este material.

Las principales características que definen la composición del hormigón compactado son:

- Un esqueleto mineral de alta capacidad de soporte, debido a su granulometría densa y continua y al elevado porcentaje de partículas con caras de fractura.
- Contenido de conglomerante del mismo orden que el hormigón tradicional.
- Posibilidad y conveniencia de emplear una elevada proporción de adiciones activas como parte del conglomerante.
- Bajo contenido de agua (relaciones agua/conglomerante próximas a 0,35) que le confieren una consistencia seca con asentos nulos en el cono de Abrams.

De aquí pueden deducirse las propiedades en que se basa su empleo y que son las siguientes:

- Su consistencia de «zahorra húmeda» facilita su fabricación en centrales continuas convencionales, transporte en camiones volquete, extensión con motoniveladoras, extendedoras de aglomerado o autogrados y compactación con rodillos o neumáticos.
- El contenido de conglomerante, del orden del 10 al 14 % sobre el peso total de materia seca, y la energética compactación, dan al material características re-

(1) Presentado en el 7.º Simposio Colombiano sobre Ingeniería de Pavimentos, Medellín, 1988.

(*) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

sistentes superiores a las de un hormigón tradicional, pervibrado, a igualdad de constituyentes.

- La utilización de cementos con un elevado contenido de adiciones ofrece ventajas complementarias: economía, desarrollo lento de la resistencia y bajo calor de hidratación. Estas dos últimas características junto con el bajo contenido de agua tienen como consecuencia la producción de grietas de retracción más espaciadas y de menos separación entre bordes que las de los hormigones.

Como se deduce de lo expuesto, el campo de aplicación del hormigón compactado se refiere principalmente a:

- Capas de base de firmes de nueva construcción, con gran economía frente a otras soluciones para firmes de tráfico medio o alto.
- Refuerzos bajo tráfico.
- Ensanches de firmes antiguos.
- Reparaciones de firmes deteriorados.

2. MATERIALES

2.1. ARIDOS

Las características que se exigen a los áridos en las especificaciones españolas son:

- Tamaño máximo 16 mm (o 20 mm, si el control de la calidad de ejecución es estricto) con el objetivo de reducir la segregación y mejorar la regularidad superficial.
- Caras de fractura.

El 50 % de las partículas ha de tener dos o más caras de fractura para conseguir un gran rozamiento interno y disminuir la segregación. Parte del árido fino puede ser rodado para mejorar la trabajabilidad siempre que no modifique de forma importante la capacidad de soporte inmediata (CBR sin sumergir > 65).

- La resistencia a la fragmentación, medida con el ensayo Los Angeles debe ser inferior a 30 para tráfico pesado o medios y a 35 para tráfico ligero. Esta exigencia asegura una gran resistencia a la flexión, un alto rozamiento entre bordes de grietas de retracción y unas roturas mínimas en la compactación.

TAMIZ UNE ABERTURA EN mm	CERNIDO PONDERAL ACUMULADO (%)	
	HC (16)	HC (20)
25	—	100
20	100	85-100
16	88-100	75-100
10	70-87	60-83
5	50-70	42-63
2	35-50	30-47
0,4	18-30	16-27
0,08	10-20	9-19

TABLA 1. Husos granulométricos.

- Plasticidad.

Para que la hidratación de la mezcla sea efectiva, los finos han de ser no plásticos con tráfico pesado y medios, y con tráfico ligero cumplirán: $LL < 25$; $IP < 6$ y $EA < 30$.

- La materia orgánica será inferior a 0,05 % por el mismo motivo.
- Las granulometrías de los áridos (Tabla 1) son densas y continuas, es decir, estables y compactas incluso sin aditivo.

2.2. CONGLOMERANTES

Pueden utilizarse los cementos denominados tipo I (Portland), II (Portland con adiciones activas), III (Siderúrgicos), IV (Puzolánicos) o V (Mixtos) (Tablas 2 y 3).

En el hormigón compactado se han utilizado desde el principio de la técnica cenizas volantes de centrales térmicas.

Las cenizas volantes pueden utilizarse como un ingrediente más en la planta de fabricación o como conglomerante de tipo mixto, mezclado en la fábrica de cemento.

El primer caso, que fue el más utilizado en las obras iniciales, ofrece la ventaja de poder ajustar la relación ceniza/clinker y en general lleva a una mayor economía; sin embargo presenta los problemas del control de calidad adicional de las cenizas y de una menor homogeneidad en el mezclado.

Actualmente se tiende a la utilización generalizada de las cenizas en conglomerantes mixtos fabricados en la planta de cemento. Las relaciones ceniza/clinker son del orden de 50/50 (en algunos casos se ha llegado a relaciones 80/20).

La función principal de las cenizas en el hormigón compactado es ocupar un volumen que en otro caso tendría que ser ocupado por cemento o agua. Ocuparlo con cemento encarecería el producto y llevarla a unas resistencias iniciales altas y por tanto a importantes agrietamientos por retracción. Ocuparlo con agua originaría una pérdida de resistencias y también un aumento de la retracción.

Por otro lado pequeñas cantidades de cal liberadas por el cemento son suficientes para reaccionar con grandes volúmenes de cenizas volantes. La reacción puzolánica se produce a lo largo de meses e incluso años. Por tanto, las cenizas volantes no sólo ocupan espacio, sino que también contribuyen a un desarrollo lento de resistencias.

Otra característica importante es que las cenizas volantes desarrollan, en la hidratación, menos calor por unidad de tiempo que el cemento. De esta manera, el aumento de temperatura en la masa se reduce de forma importante, ya que una gran parte puede dispersarse mientras se produce. Esta característica es de gran importancia en carreteras, porque se reduce el riesgo de agrietamientos térmicos.

Entre otros efectos adicionales de las cenizas pueden destacarse los siguientes:

CARRETERAS Y AEROPUERTOS

TIPOS		PROPORCIÓN EN MASA (1)				
DENOMINACIÓN	DESIGNACIÓN	CLINKER	ESCORIA GRANULADA DE HORNO ALTO	PUZOLANA NATURAL	CENIZA VOLANTE	FILLER CALIZO
CEMENTOS PORTLAND	I	93-100	0	—	—	5
CEMENTOS PORTLAND CON FILLER CALIZO	II	85-95	—	—	—	5-15
CEMENTOS PORTLAND CON ESCORIA		65-90	10-35	0	—	5
CEMENTOS PORTLAND CON PUZOLANA		65-90	0-5 (2)	10	— 35	0-5 (2)
CEMENTOS PORTLAND COMPUESTOS		65-88	6-29	6	— 29	0-5
CEMENTOS DE HORNO ALTO	III	45-65	36-55	0	—	5
		20-44	56-80	0	—	5
CEMENTOS PUZOLANICOS	IV	≥ 60	0-5 (2)	≤ 40	—	0-5 (2)
CEMENTOS MIXTOS	V	20-60	40-80	—	—	0-5
CEMENTOS ALUMINOSOS	VI	100	—	—	—	—

TABLA 2. Tipos de cemento composición.

(1) Los valores de la tabla se refieren al índice CEMEN, entendiendo por tal el clinker y las adiciones, con exclusión del regulador de fraguado y los aditivos.

(2) Indica que el total de escoria más caliza no debe rebasar el 5% en masa.

NOTA.—El fabricante de cemento contendrá a los usuarios que lo soliciten, tanto la proporción y naturaleza de los componentes, como cualquier variación en la proporción que sobrepase en ± 5 puntos, la inicialmente prevista.

- La forma esférica de las partículas de las cenizas volantes mejoran la trabajabilidad para iguales cocientes agua/cemento.
- Se ha comprobado que las cenizas silicoaluminosas aumentan el tiempo de fraguado y, por tanto, de la trabajabilidad del hormigón compactado. Entre las sulfocálcicas algunas lo aumentan y otras no tienen ningún efecto en esta característica.
- Los hormigones en los que se ha sustituido parte del cemento por cenizas pueden desarrollar mayores resistencias finales que el mismo hormigón sin cenizas. La velocidad de aumento de la resistencia depende de las características de las cenizas, del cemento,

de la relación cenizas/cemento, y del régimen de curado.

2.3. AGUA

El agua de amasado tiene como limitaciones las sustancias orgánicas (< 0,05 %) y las sales disueltas contaminantes. Por otro lado conviene que su temperatura no sea muy alta para no acelerar el fraguado.

2.4. ADITIVOS

En caso de que sean de temer retrasos entre la fabricación y ejecución conviene utilizar retardadores de fraguado (melaninas, lignosulfonatos).

COMPOSICIÓN MÁXIMO %	TIPOS									
	I	II				III		IV	V	VI
		F	S	Z	S/Z	1	2			
PF	5	7	5	7	7	5	5	8	12	—
RI	5	5	5	—	—	5	5	—	—	—
SO ₃	4,5	4	4,5	3,5	4	4,5	4,5	3,5	4	—
Cl ⁻	0,1									
Al ₂ O ₃	—									
PUZOLANICIDAD	—							(1)	—	

TABLA 3. Especificaciones químicas de los cementos.

(1) Deberá cumplir el ensayo correspondiente, a 7 o 28 días, según el método de la norma UNE 80 280.


 PEDIDOS: Contra reembolso ☐ — Cheque adjunto ☐
HYDRAULICS OF PIPELINES. Pumps, valves, cavitation, transients.

 Tullis, J.P. —19625—
 1989 ed. 266 págs. 8.830 pts.

CONTENIDO: Basic concepts and equations of fluid flow. Design of pipelines. Pumps. Valves. Fundamentals of cavitation. Cavitation data for valves. Cavitation data for orifices, nozzles and elbows. Fundamentals of hydraulic transients. Numerical solution of transients. Column separation and trapped air.

HYDROLOGY AND HYDRAULIC SYSTEMS

 Gupta, R.S. —21966—
 1989 ed. 739 págs. 11.872 pts.

CONTENIDO: Development of water resources. Demand of water. Availability of water. Theory of groundwater flow. Applications of groundwater flow. Measurement of surface water flow. Estimation of surface water flow. Computation of extreme flows. Storage and control structures. Conveyance system. Open channel flow. Pressure flow system: pipes and pumps. Drainage system.

HISTORICAL CHANGE OF LARGE ALLUVIAL RIVERS

 Petts, G.E. —21226—
 1989 ed. 356 págs. 14.310 pts.

CONTENIDO: Historical analysis of fluvial hydrosystems. Impact of 18th and 19th century river training works. Three case studies from Switzerland. Hydroclimatic fluctuations of some European rivers since 1800. Hydrological changes of the Rhine river. Use of cartographic sources for analysing river channel change with examples from Britain. Cartography of rivers in France...

COMPOSITING MUNICIPAL SLUDGE. A technology evaluation

 Benedict, A.H. —10891—
 1988 ed. 177 págs. 5.830 pts.

CONTENIDO: Conclusions and recommendations. Static pile facility descriptions. Windrow facility descriptions. Static pile composting operations assessment. Windrow composting operations assessment. Cost evaluation. Comparison of technologies.

BIOHAZARDS OF DRINKING WATER TREATMENT

 Larson, R.A. —13708—
 1989 ed. 293 págs. 9.646 pts.

CONTENIDO: Volatile organic compounds in treated drinking water. Pathogens in treated drinking water. Chlorination pathways and by-products. Ozonation by-products. Granular activated carbon. Recent developments.

AQUATIC TOXICOLOGY AND WATER QUALITY MANAGEMENT

 Nriagu, J.O. —18607—
 1989 ed. 292 págs. 13.250 pts.

CONTENIDO: Will we ever get ahead of the problems? Aquatic toxicology in management of marine environmental quality: present trends and future prospects. Survival of lake charr embryos under pulse exposure to acidic runoff water. Hematological parameters and parasite load in wild fish with elevated radionuclide levels...

ENERGY: FACTS AND FUTURE

 Matore, H.F. —21351—
 1989 ed. 229 págs. 23.850 pts.

CONTENIDO: Energy and human development. Population changes and energy requirements. Entropy and the industrial society. Main sources of energy. Status and future of energy industry based on coal. Reserves of nonrenewable energy sources. Renewable energy sources. Nuclear vs. chemical energy sources. Status and future of nuclear (fission) reactors. Fusion vs. fission energy sources...

FUEL CELL HANDBOOK

 Appleby, A.J. —22042—
 1989 ed. 762 págs. 17.702 pts.

CONTENIDO: General aspects of fuel cells. Characteristics of fuel cell systems. Utility systems. On-site integrated energy systems and industrial cogeneration. Japanese and European fuel cell programs. Military and aerospace systems. Electric vehicles. Choice of fuel and oxidant. Electrodes. Electrolytes. Anodic electrocatalysis. Cathodic electrocatalysis.

FLOODS. Hydrological, Sedimentological and geomorphological implications

 Beven, K. —22039—
 1989 ed. 290 págs. 13.674 pts.

CONTENIDO: The hydrology, sedimentology and geomorphological implications of floods: an overview. Storm runoff generation in small catchments in relation to the flood response of large basins. Flood wave attenuation due to channel and floodplain storage and effects on flood frequency. Physically based hydrological models for flood computations.

Alguno de estos productos (lignosulfonatos) actúan también como reductores de agua, con lo que si se utilizan puede disminuirse el agua necesaria para la compactación y, por tanto, se reduce la retracción.

3. ESTUDIO DE LABORATORIO

Tiene por objeto la determinación de:

- Humedad de fabricación.
- Densidad de referencia.
- Dosificación de conglomerante y aditivo.
- Granulometría.
- Porcentaje de árido rodado.

Los métodos utilizados son los ensayos Proctor Modificado, CBR y Resistencias en el ensayo brasileño o a compresión.

En primer lugar se determina la granulometría conjunta en función de los materiales disponibles, suponiendo un contenido medio de conglomerante, encajándola lo más cerca posible a la media del huso seleccionado. Se comprueba después si es válido el contenido de árido rodado, mediante el ensayo CBR.

El paso siguiente es la determinación del porcentaje de agua de compactación y la densidad de referencia, mediante el ensayo Proctor Modificado.

El hormigón compactado es muy sensible al contenido de agua. Un exceso o un defecto puede producir disminuciones importantes en las resistencias. Por otro lado la falta excesiva de agua conlleva un riesgo de segregación y produce problemas en la compactación. Los excesos dan también problemas en la compactación por acolchonamientos y blandones, y una mala calidad en la regularidad superficial. La práctica más aconsejable es quedarse siempre del lado seco de la curva Proctor Modificado (Hop - 1 %). No obstante, en la determinación del porcentaje de agua deben tenerse en cuenta las condiciones atmosféricas en la zona y momento de la obra, y las distancias de transporte.

Posteriormente se fabrican probetas con distintas humedades, densidades y contenidos de conglomerantes para determinar las resistencias dentro de los posibles intervalos de variación. En cualquier caso la resistencia a tracción indirecta (ensayo brasileño) a los 28 o 90 días (según sea un conglomerante de endurecimiento normal o lento), debe ser superior a los 33 MPa.

Si se utilizan retardadores de fraguado su dosificación se lleva a cabo mediante el ensayo de ultrasonidos, o la aguja de Vicat, y teniendo en cuenta las posibles temperaturas ambiente y el tiempo de trabajabilidad deseado.

4. DIMENSIONAMIENTO

El dimensionamiento de los firmes con hormigón compactado puede hacerse con los métodos tradicionales de dimensionamiento de firmes de hormigón, aunque en España, en el nuevo catálogo de dimensionamiento de la Dirección General de Carreteras del MOPU se han seguido por un lado los criterios deducidos de la experien-

cia con materiales tratados con cemento, y por otro se han utilizado métodos de dimensionamiento analítico basados en las teorías de Burmister.

En los firmes con hormigón compactado que aparecen en el Catálogo (Tabla 4), el espesor mínimo de la capa de hormigón varía entre 20 cm para los tráfico más ligeros (menos de 50 vehículos pesados al día) y 25 para los más pesados (más de 2.000 vehículos pesados al día). Al hormigón se le exige una resistencia a tracción indirecta de 3,3 MPa a los 28 o 90 días, dependiendo de la mayor o menor cantidad de adiciones activas en el conglomerante. Esto equivale a una resistencia media a flexión de 5,5 MPa o a una resistencia característica de 4,5 MPa.

En la Figura 1 se representan curvas de evolución de resistencias de testigos, para un material que cumple especificaciones. Como puede verse son sensiblemente inferiores a las obtenidas con probetas debido al menor grado de compactación (del orden de un 30 %) y a un curado más deficiente que en laboratorio, pero no obstante se obtienen resistencias considerablemente altas.

Para este material el módulo de elasticidad subió de 20.000 MPa a los 90 días, a 35.000 MPa a los 2 años.

Por otro lado, como sub-base se utiliza suelo-cemento fabricado en planta, y colocado en espesores comprendidos entre 15 y 20 cm, según el tipo de tráfico y de explanada. Sólo se admiten capas granulares de soporte con tráfico bajos (inferior a 50 vehículos pesados al día). En este caso si la explanada es de elevada capacidad de soporte ($CBR > 20$) puede extenderse directamente sobre la misma.

La colocación del hormigón compactado sobre el suelo-cemento tiene como objetivo conseguir una gradación de rigideces sin diferencias importantes, lo que mejora

		E1	E2	E3
T0	MEZCLA BITUMINOSA		10	10
	HORMIGÓN COMPACTADO		25	25
	SUELO-CEMENTO		20	20
	ZAHORRA NATURAL		—	—
T1	MEZCLA BITUMINOSA		10	10
	HORMIGÓN COMPACTADO		22	22
	SUELO-CEMENTO		20	20
	ZAHORRA NATURAL		—	—
T2	MEZCLA BITUMINOSA	8	8	8
	HORMIGÓN COMPACTADO	20	20	20
	SUELO-CEMENTO	20	20	15
	ZAHORRA NATURAL	20	—	—
T3	MEZCLA BITUMINOSA	4 o TS	4 o TS	4 o TS
	HORMIGÓN COMPACTADO	20	20	20
	SUELO-CEMENTO	15	15	—
	ZAHORRA NATURAL	—	—	—
T4	MEZCLA BITUMINOSA	4 o TS	4 o TS	4 o TS
	HORMIGÓN COMPACTADO	20	20	20
	SUELO-CEMENTO	—	—	—
	ZAHORRA NATURAL	20	20	—

TABLA 4. Espesores de firmes.

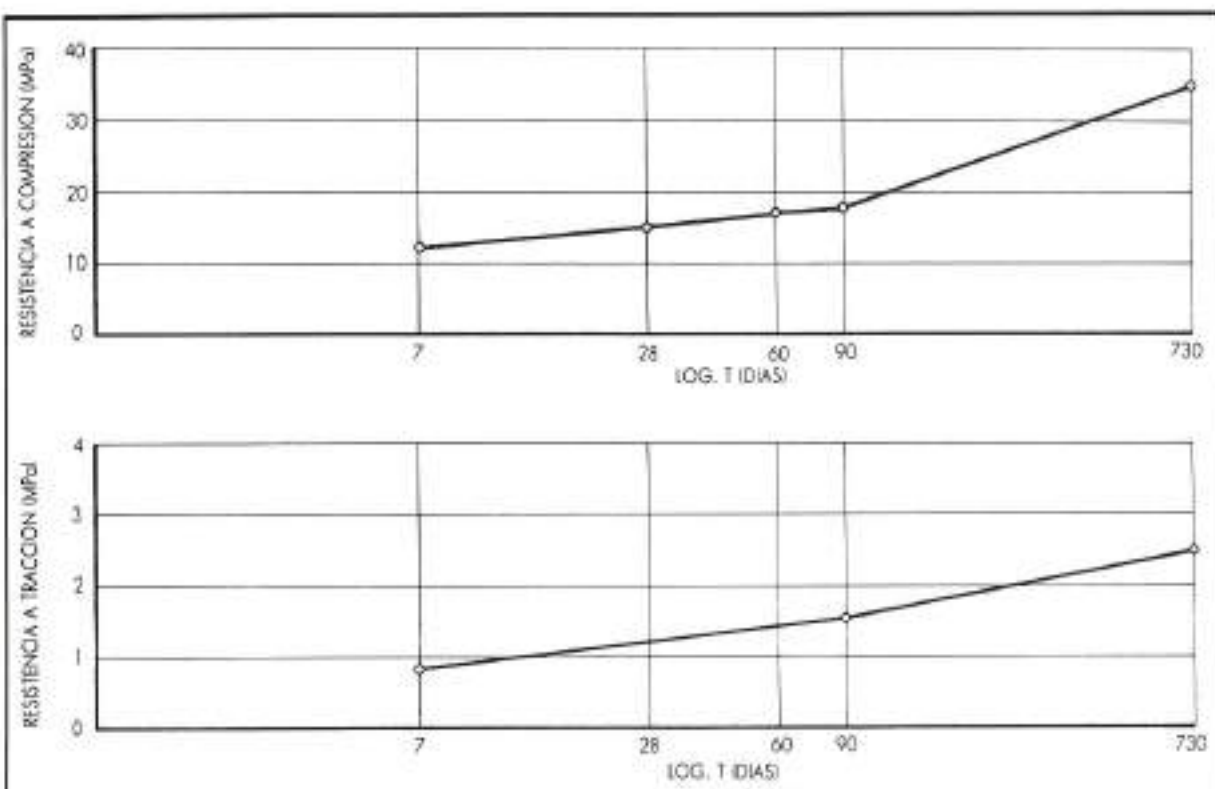


FIGURA 1. Resumen de resultados sobre resgos.

el reparto tensional. Además presenta las ventajas de facilitar el paso de los equipos de puesta en obra, mejorar la densidad alcanzada en la compactación del hormigón, conseguir una mejor regularidad superficial y facilitar una mayor precisión en los espesores de la capa final.

El aspecto de mayor discusión es el del pavimento que se coloca sobre el hormigón, que no es necesario desde el punto de vista estructural pero sí desde el funcional para mejorar la mala regularidad de la superficie final del hormigón compactado. El problema son las grietas de retracción que se reflejarán en la superficie de rodadura si el espesor de aglomerado no es suficiente y no se toman otras medidas para evitarlo. Estas grietas no son debidas a un fallo estructural y por tanto no afectan directamente a la respuesta del firme. Sin embargo, hacen que el firme presente un aspecto de deterioro, constituyen una vía de entrada de agua que puede despegar el aglomerado, erosionar el apoyo del hormigón y reblandecer la explanada, y producen también una rodadura incómoda si se producen resacas del aglomerado en los bordes de la grieta.

En vías secundarias ha sido normal el empleo de firmes con 10-20 cm de hormigón compactado, sin aglomerado sobre él y extendido directamente sobre el terreno. En este caso se termina superficialmente con un fratasado.

5. FABRICACION Y PUESTA EN OBRA

5.1. FABRICACION

El hormigón compactado puede fabricarse en centrales continuas (del mismo tipo que las empleadas para grava-cemento) o discontinuas (típicas de hormigones). Suele preferirse en general las primeras por su sencillez, facilidad de transporte, y gran rendimiento.

En las centrales continuas para obras importantes la dosificación debe ser ponderal, al menos para las fracciones más finas del árido, el cemento y las cenizas volantes en caso de que se empleen. En caso contrario las dispersiones en la calidad del material pueden ser importantes.

La capacidad de las plantas varía entre 100 y 700 t/h, pero en cualquier caso no debe ser mayor que la del equipo de extendido y compactación.

5.2. TRANSPORTE

En el transporte del hormigón compactado se utilizan generalmente camiones volquete de 17 t o 25 t de capacidad. En tiempo caluroso o de lluvia debe protegerse adecuadamente el material.

La duración del recorrido puede obligar a la utilización de retardadores de fraguado.



Ponga a su constructor de cara a la pared.

Y que le enseñe. Que le demuestre si de verdad lleva ISOVER.

Al comprar una casa la gente se fija cada vez más en los detalles. Como en lo que hay detrás de las paredes. Ya saben que, si su casa no está bien aislada, además de soportar los gritos del vecino, tendrán que pagarlo en calefacción. Por eso piden un aislamiento como exige la ley.

ISOVER es lana de vidrio. Por eso consigue absorber hasta el 70% del ruido incidente.

Y como aislamiento térmico, con ISOVER podrá reducir hasta en un 40% los recibos de calefacción. Así contribuimos a proteger el medio ambiente: menos calefacción, menos contaminación. No se nos escapa nada. ISOVER es confort. Y también seguridad. Porque ISOVER es incombustible y no desprende gases tóxicos.

Recuérdelo. Exija a su constructor que mire por usted. Que mire a la pared.



Con ISOVER es otra casa.



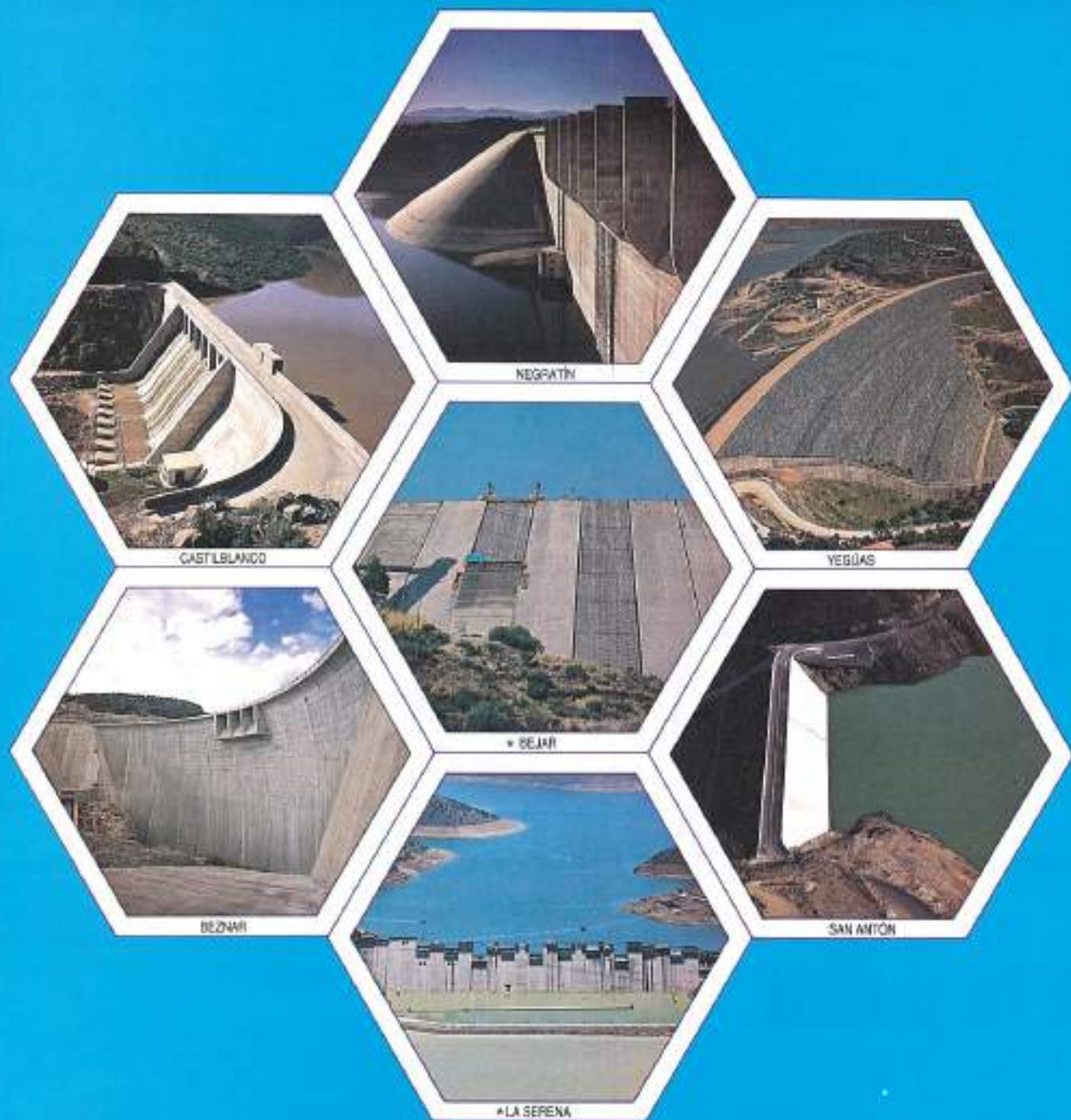
Solicite información a ISOVER. Apartado 61.021, 28080 Madrid.

Nombre: _____

Profesión: _____

Dirección: _____ C.P. _____

Localización: _____



OCISA

OBRAS Y CONSTRUCCIONES INDUSTRIALES S.A.

• GRUPO

CONSTRUCCION Y SERVICIOS

Oficinas Centrales: Princesa, n.º 3 - 28008 Madrid - Télex 42211 - OBYC-E - Tel. (91) 542 40 00 - Fax (91) 248 83 92



FOTO 1. Planta de hormigonado.

5.3. SUPERFICIE DE APOYO

La superficie sobre la que se extenderá el hormigón compactado debe ser regular y sobre todo tener una capacidad de soporte suficiente. En caso contrario la compactación vibratoria del hormigón compactado podría producir agrietamientos, llevaría a bajas densidades e incluso podría «clavar» el árido en el apoyo.

5.4. EXTENDIDO

El extendido del material puede realizarse con motoniveladoras, extendedoras de aglomerado o extendedoras del tipo «autograde».

Las motoniveladoras tienen una gran movilidad en curvas o en trazados en los que varíen frecuentemente las secciones transversales, pero no tienen una gran

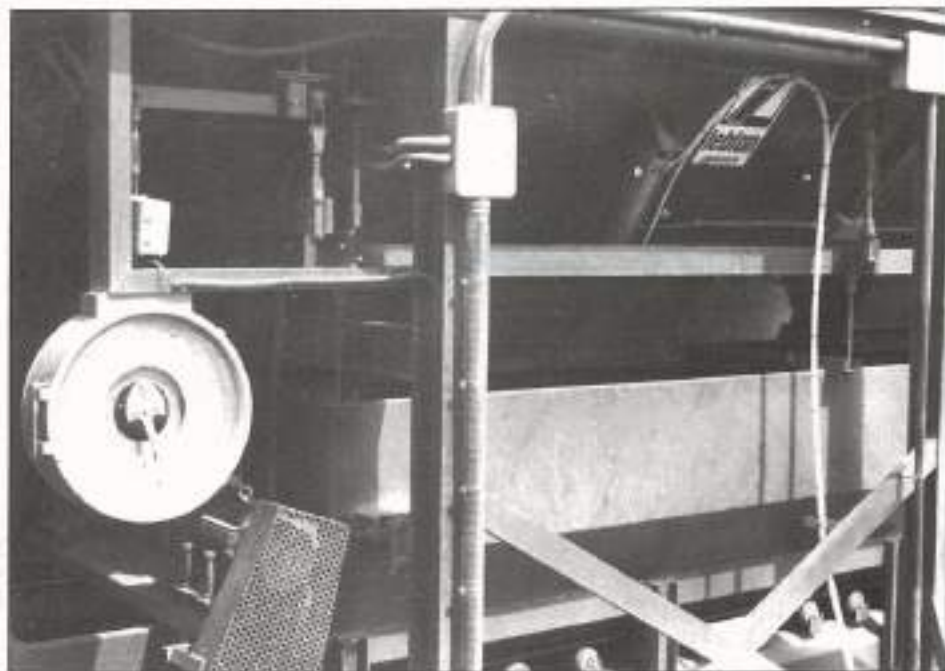


FOTO 2. Sistema de dosificación ponderal.



FOTO 3. Dosificación de las distintas fracciones.



FOTO 4. Transporte a la anasadora.

precisión en los espesores puestos en obra (4-6 cm) y los rendimientos son bajos (250-350 t/h). Por otro lado la calidad depende de la destreza del maquinista, se desperdicia material (10-15 %) y se pueden producir segregaciones.

Las extendedoras de aglomerado tienen la ventaja de proporcionar una precompactación inicial con el tamper, que al gunas veces llega a ser del 95-97 % de la máxima del Proctor Modificado. Sus principales inconvenientes son que no pueden extender espesores superiores a 25 cm y que para extender en todo el ancho de la calzada hay que disponer al menos dos equipos.

Su rendimiento oscila alrededor de las 400 t/h, y su precisión es media (2-3 cm).

Las extendedoras del tipo autogrado pueden colocar espesores importantes y extender en todo el ancho. La precisión en los espesores es superior que con los equipos anteriores (1-2 cm), y sus rendimientos son elevados (700 t/h).

5.5. COMPACTACION

El sistema de compactación más utilizado consiste en un rodillo vibrante pesado de más de 30 kp/cm de generatriz), que da sus primeras pasadas sin vibrar para no producir arrollamientos, y las siguientes (8-10) vibrando. Es usual terminar la compactación con un compactador de neumáticos (carga por rueda superior a 3 toneladas y presión de inflado superior a 8 kp/cm²), que cierra la superficie.

Durante la operación de compactación hay que mantener húmeda la superficie mediante pulverización de agua de forma que se contrarreste la evaporación su-



FOTO 5. Detalle de la amasadora.



FOTO 6. Vertido sobre camión volquete.



FOTO 7. Vertido en obra.



6. SALON INTERNACIONAL DE MAQUINARIA PARA OBRAS PUBLICAS, CONSTRUCCION Y MINERIA

- AIRE COMPRIMIDO, PERFORACION, SONDEOS, PILOTAJE.
- CENTRALES DE HORMIGON, GRAVA-CEMENTO, ASFALTO. MACHAQUEO Y CLASIFICACION.
- MAQUINARIA PARA MOVIMIENTO DE TIERRAS. EXCAVACION.
- COMPACTACION. VIBRACION.
- MAQUINARIA DE ELEVACION Y TRANSPORTE APLICADA A OBRAS.
- MAQUINARIA Y UTILLAJE PARA PREFABRICADOS.
- MAQUINARIA Y EQUIPOS PARA MINERIA.
- VARIOS.

16. 20. - 02 - 1990
ZARAGOZA ESPAÑA



Carretera Nacional II, Km. 311 • E 50012 ZARAGOZA
Teléfono (976) 70 11 00 • Telex 58185 FEMU E
Fax (976) 33 06 49 • P.O. Box, 108 • E 50060 ZARAGOZA





FOTO 8. Sistema de reparto del material.

perforal y se evite el levantamiento de la superficie por los rodillos metálicos. Sin embargo debe vigilarse que la cantidad de agua no sea más de la necesaria para mantener la superficie ligeramente húmeda.

5.6. JUNTAS

El hormigón compactado, al igual que el hormigón convencional, se agrieta por retracción. Debido al bajo con-

tenido de agua, y a la utilización de conglomerantes puzolánicos las grietas transversales de retracción aparecen espaciadas entre 8 y 15 metros frente a la separación de 3 a 5 metros que se da en el hormigón convencional.

La práctica usual en nuestro país ha sido permitir que el material se agriete libremente. Sin embargo esto presenta varios problemas:



FOTO 9. Detalle de los coballones.



FOTO 10. Equipo autogrado de extendido.

- La superficie de rodadura, si se reflejan las grietas, presenta al usuario un aspecto de deterioro.
- Al producirse libremente el agrietamiento, las losas formadas tienen grietas de esquina, que pueden producir un fallo localizado por falta de capacidad de soporte.
- No se puede «armar» el pavimento de aglomerado en

la zona de las grietas al no poderse prever el lugar de aparición.

Por ello en las últimas obras para tráfico pesado, en zonas de clima seco y caluroso, se tiende al serrado de juntas de contracción. El serrado se realiza en una profundidad de 5 cm, perpendicularmente al eje de la calza-



FOTO 11. Detalle del sistema de reparto.



FOTO 12. Detalle del sistema de precompactación.

da o con una cierta inclinación (1:6). En estas obras se ha dispuesto una geomalla en el aglomerado situado sobre la grieta para aumentar su resistencia a las tracciones producidas por el movimiento relativo de los bordes de la losa.

En los firmes de bajo tráfico en los que el hormigón compactado se coloca sin capa de rodadura. También se

han serrado juntas, principalmente por motivos estéticos.

Las desventajas de esta técnica, aparte de las económicas, son las del descascarillado del borde de la junta que a veces se produce, y afecta al aspecto general del firme cuando no se coloca capa de rodadura, y el agrietamiento aleatorio que aparece cuando no se ajusta con-

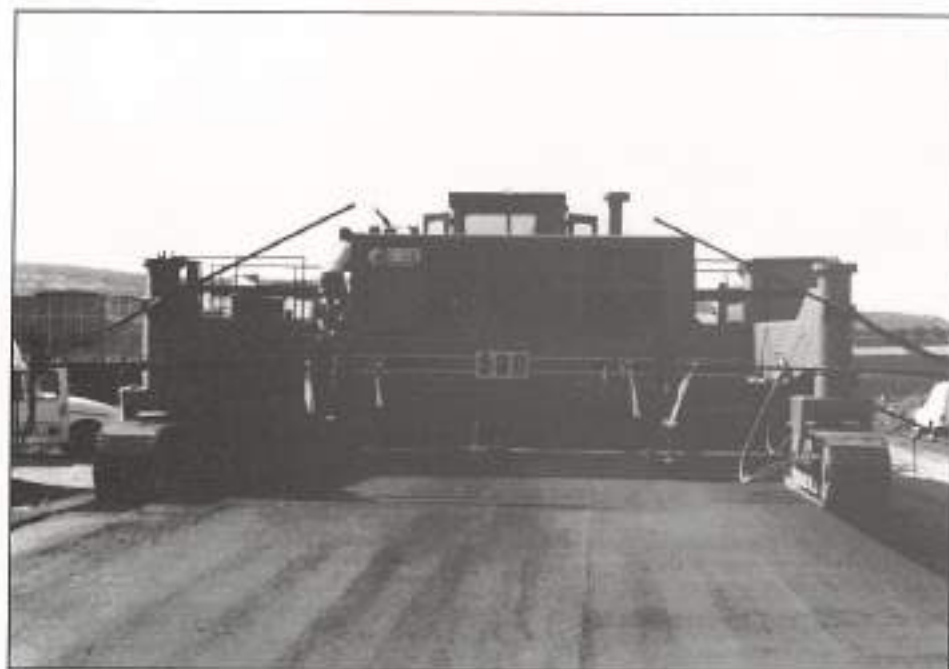


FOTO 13. Superficie recién extendida.



FOTO 14. Detalle del sistema de guado del equipo de extendido.

venientemente el espaciamiento de las juntas y el momento de realizarlas.

Otro aspecto a considerar es el tratamiento de las juntas de trabajo de fin de día o de separación longitudinal de zonas de extendido cuando las extendedoras no trabajan en todo el ancho de la calzada.

Estas juntas pueden ser de dos tipos: en fresco o en

frío. La junta en frío se produce cuando no hay unión entre el material ya colocado y el que se va a colocar. Cuando se considera que la junta va a ser en frío, debe cortarse verticalmente el canto y humedecerse antes de proceder al extendido del nuevo material. Debido a la pequeña cantidad de agua del hormigón compactado, el tiempo para efectuar juntas en fresco es reducido (1-2 h).



FOTO 15. Compactación del material.

ALGO NUEVO BAJO EL SOL

Cool-Lite, Antelio y Reflectasol. De Cristalería Española. Las lunas reflectantes de bajo factor solar que permiten el paso de la luz del sol, pero no de su calor.

Ideales para su utilización en "structural glazing". Productos a los que nadie puede hacer sombra. Porque sus prestaciones los han convertido en líderes del mercado.

Como Antelio y Reflectasol, dos procesos de

fabricación de la más avanzada tecnología, dos soluciones específicas de alta calidad.

O como Cool-Lite, una amplísima gama de colores que se integran en el ambiente. La culminación de la estética.

Cuando emprenda su proyecto no se acalore. Déle más luz con los reflectantes de Cristalería Española. Tendrá dónde elegir.

ANTELIO

cool-lite

REFLECTASOL

 **CRISTALERÍA ESPAÑOLA, S.A.**
SOLUCIONES DE VIDRIO

Si desea recibir más información, envíe este cupón al Centro de Información Técnica de Aplicaciones del Vidrio (CITAV).
Paseo de la Castellana, 77. 28046 Madrid. Tel. (91) 397 21 19.

Nombre y Apellidos _____ Profesión _____
Dirección _____ Población _____ C.P. _____



Firestone

EN MARCHA HACIA EL FUTURO.



FOTO 16. Detalle del acabado de bordes.

5.7. CURADO

Una vez terminada la compactación, el curado suele efectuarse con emulsiones no ácidas, para evitar el ataque al cemento. Suelen ser suficientes dotaciones de 0,300-0,500 kg/m² de betún residual.

Si va a circular tráfico sobre la capa antes de exten-

der la siguiente, debe sellarse el riego con arena o gravilla.

En aquellos firmes para tráfico o aplicaciones industriales en los que el propio hormigón compactado constituye la rodadura, el curado se efectúa con agua o con películas de curado con base de polímeros.



FOTO 17. Unidad de obra acabada.



FOTO 18. Detalle del acabado superficial y de la aparición de grietas de retracción.

5.8. CONTROL DE CALIDAD

El control de calidad es el proceso de asegurar que los materiales básicos y el producto terminado cumplen las especificaciones contractuales.

Los ensayos del control de calidad se refieren a los materiales, calibrado de la planta, densidad in situ, hu-

medad, contenido de cemento, regularidad superficial, resistencia del hormigón y espesor de la capa.

Las exigencias sobre los materiales se han visto en un apartado anterior. Los ensayos necesarios se realizan de acuerdo con las Normas NLT correspondientes.

El calibrado de la planta es básico para conseguir una buena calidad en el material. En general se efectúa



FOTO 19. Junta serrada.



FOTO 20. Junta de retracción producida por un serrado tardío.



FOTO 21. Pavimento de hormigón compactado sin juntas. Evolución de los grietas de retracción tras mantenerse abierto al tráfico durante un año.

mediante análisis granulométricos de la mezcla de áridos, de la de materiales secos y determinación del agua de amasado. Estos controles deben realizarse con una frecuencia alta.

Una de las grandes ventajas del hormigón compactado sobre el convencional es su gran densidad. Por otro lado, de la densidad alcanzada depende en gran medida el comportamiento del material a lo largo de su vida de servicio. La práctica usual de control es llevar a cabo, al comienzo de la obra, ensayos detallados en un tramo de pruebas. Aquí se hacen densidades por el método de la arena en la superficie y fondo de capa para distinto número de pasadas de los compactadores. Las exigencias españolas son del 97 % y 95 % del Proctor Modificado respectivamente. Una vez aceptado el procedimiento de compactación se controla éste a lo largo de la obra y se realizan medidas con equipos nucleares como comprobación de los resultados alcanzados.

El contenido de humedad puede controlarse indirectamente mediante medidas de la consistencia con el equipo Vebe, antes de extender el material, o con un equipo nuclear una vez puesto en obra (este último sistema es mucho menos recomendable).

La regularidad de la terminación se controla a veces con reglas de tres metros y más frecuentemente con el equipo viógrafo. Según las especificaciones españolas, la superficie de la capa de hormigón compactado no deberá presentar diferencias de más de 5 mm con la regla de tres metros si la capa de rodadura consiste en un tratamiento superficial y 10 mm si la capa de rodadura se efectúa mediante una capa de aglomerado en caliente. Debe tenerse en cuenta que el control de esta característica es muy necesario ya que debido a la gran energía



FOTO 22. Reflexión de grietas de retracción no serradas en las capas de aglomerado.

de compactación necesaria, la regularidad final es uno de los puntos débiles de la técnica.

La resistencia mecánica se determina mediante ensayos de tracción indirecta aunque puede también utilizarse los de compresión simple ya que existe una buena correlación ($R_C = R_T: 10$). La exigencia es 3,3 MPa a los 28 o 90 días según que se utilicen conglomerantes de endurecimiento normal o lento. Los ensayos se realizan sobre testigos de 15 cm de diámetro. Es convenien-

te realizar ensayos previos de correlación entre los resultados a 7 d o en modo acelerado y los ensayos a 28 d o 90 d, para facilitar la toma de decisiones.

El espesor de la capa debe ser igual o superior al que figura en el catálogo de secciones estructurales para las condiciones del problema en cuestión. Además del control inicial del equipo de extendido, se mide posteriormente el espesor sobre los testigos extraídos para el ensayo de resistencia a rotura.



FOTO 23. Grietas de esquina.

6. RESUMEN

Como resumen de todo lo anterior, puede decirse que frente al hormigón convencional, el hormigón compactado presenta las ventajas de:

- Gran rendimiento de extendido.
- Puede extenderse con equipos usuales en carreteras.
- Requiere poco o ningún trabajo manual de terminación.
- Puede abrirse inmediatamente al tráfico.
- Permite (y es técnicamente adecuado) la utilización de cenizas volantes sustituyendo en parte al cemento.
- Retrae menos que el hormigón convencional.

Y frente a las mezclas bituminosas:

- Coste relativamente bajo para tráfico medios y altos.

- Si se dimensiona, proyecta y construye adecuadamente, su vida de servicio es muy superior a la de una capa bituminosa.

Por contra en el empleo del material debe tenerse en cuenta los siguientes inconvenientes:

- Es difícil conseguir una buena regularidad superficial.
- El material se agrieta por retracción y las grietas se reflejan en superficie si no se toman las precauciones necesarias.
- Es muy crítico a la falta de espesor, a las bajas densidades y al agua de amasado, por lo que el control de calidad debe ser muy estricto.
- Los espesores constructivos le hacen poco competitivo para vías de baja intensidad de tráfico.



**Librería
Ciencia-Industria, S. L.**

Plaza de San Juan de la Cruz, 3
Teléfonos: 234 85 56 y 233 75 43
28003 Madrid

PEDIDOS: Contra reembolso ☐ — Cheque adjunto ☐

ENGINEERING HYDROLOGY TECHNIQUES IN PRACTICE

Shaw, E.M. —22072—
1989 ed. 349 págs. 13.250 pts.

CONTENIDO: Hydrometric schemes. Agricultural drainage. Urban drainage. Transport drainage. Flood mitigation. Reservoir spillways. Water resources. Reservoir yield. River basin development. Irrigation. Water resource river management.

FOUNDATIONS OF OPTIMUM DESIGN IN CIVIL ENGINEERING

Brandt, A.M. —21988—
1989 ed. 632 págs. 31.403 pts.

CONTENIDO: Survey of structural optimization problems. Criteria and methods of structural optimization. Optimum design of beams and frames. Optimum design of columns. Optimization of arches. Optimum design of trusses. Optimization of cable-suspended structures. Optimization of plates. Optimization of plane-loaded plates.

GROUNDWATER MECHANICS

Starck, O.D.L. —22071—
1989 ed. 732 págs. 11.872 pts.

CONTENIDO: Basic equations. Types of flow. Elementary harmonic solutions. Fluid particle paths and solute transport. Applications of conformal mapping. Regional aquifer modeling using the analytic element method. Solving problems with free boundaries by conformal mapping. The boundary integral equation method. Finite difference and finite elements methods. Analogue methods.

SOIL TECHNICIANS' HANDBOOK

Head, K.H. —21742—
1989 ed. 158 págs. 6.503 pts.

CONTENIDO: Description of soils. Test samples. Moisture content. Plasticity tests. Shrinkage and swell. Density and limiting densities. Specific gravity (Particle density) and void ratio. Particle size. Chemical tests. Compaction. California Bearing ratio. Permeability. Vane shear. Direct shear. Uniaxial FALLA TEXTO.

RECENT ADVANCES IN HYDRAULIC PHYSICAL MODELLING

Martins, R. —22055—
1989 ed. 627 págs. 21.863 pts.

CONTENIDO: Fundamentals of hydraulic physical model-

ling. River models. Models for study of the dynamic behaviour of structures in flow and waves. Models for study of the hydrodynamic actions on hydraulic structures. Density models. Tidal models. Hybrid modelling as applied to hydrodynamic research and testing. Wave grouping and harbour design. Sea wave simulation. Dynamic actions on breakwaters. Physical modeling of littoral processes.

PRESTRESSED CONCRETE. A fundamental approach

Nawy, E.G. —22045—
1989 ed. 739 págs. 13.568 pts.

CONTENIDO: Basic concepts. Materials and systems for prestressing. Partial loss of prestress. Flexural design of prestressed concrete elements. Shear and torsion strength design. Indeterminate prestressed concrete structures. Camber, deflection, and crack control. Prestressed compression and tension members. Two-way prestressed concrete floor systems.

POLYMER ASSOCIATION STRUCTURES. Microemulsions and liquid crystals

El-Nokaly, M.A. —21754—
1989 ed. 361 págs. 14.750 pts.

CONTENIDO: Association and liquid crystalline phases of polymers in solution. Formation and characterization of water-in-oil microemulsions stabilized by A-B-A block copolymers. Polymerization in microemulsions. Polymerization of water-soluble monomers in microemulsions: potential applications. Middle-phase microemulsions.

INTELLIGENT BUILDINGS. An IFS executive briefing. (PP)

McClelland, S. —3578—
1988 ed. 176 págs. 19.642 pts.

CONTENIDO: What is an intelligent building? The emergence of the intelligent office building in the USA, Japan and Europe. Will the US experience be repeated in the UK? Alternative intelligent building scenarios. Case study: the Honeywell metro center. Case study: A high technology corporate headquarters. Design of intelligent buildings. Choosing and installing a building management.

ELEMENTS OF STRUCTURAL DYNAMICS

Berg, G.V. —21798—
1989 ed. 268 págs. 9.015 pts.

CONTENIDO: Basic concepts. The linear single-degree-of-freedom system. Numerical methods for solving the differential equations of motion. Response spectra. Multidegree-of-freedom systems. Finding normal modes of multidegree systems. Continuous systems. Finding the modes of continuous systems. Earthquake-resistant design.