

Procedimientos específicos empleados durante la ejecución del núcleo asfáltico en la Presa de Mora de Rubielos (España)

J.M. BENLLIURE (*), M.G. DE MEMBRILLERA (**), C. SEITL (***) y V. FLÓREZ (***)

RESUMEN Este artículo describe la construcción de la Presa de Mora de Rubielos, proyectada como estructura de materiales sueltos heterogénea con núcleo asfáltico tras el análisis de varias alternativas técnicas. Con anterioridad, esta tipología sólo había sido adoptada en España en el estribo derecho de la Presa del Algar, también explotada por la Confederación Hidrográfica del Júcar (Ministerio de Medio Ambiente). Empleando un núcleo de esta naturaleza, se resuelve las dificultades que surgen a la hora de encontrar suelos impermeables de calidad adecuada y se respeta la normativa medioambiental. En añadidura, los procesos de envejecimiento o erosión interna a través del núcleo pueden descartarse, al tiempo que se mejora el rendimiento de la puesta en obra para el cuerpo de presa. Las recomendaciones apuntadas en el Boletín 84 del ICOLD han sido consideradas, y se ha escogido un núcleo de 0,50m de anchura junto con transiciones de 1,50m para la presa, de 35m de altura. La sección transversal se completa con escollera caliza y gravas en los espaldones. Los autores muestran los pasos seguidos con objeto de alcanzar los requerimientos de calidad y seguridad, mencionando las particularidades y modificaciones aplicadas a las mezclas del núcleo, los materiales y los procedimientos de construcción por causa de las condiciones locales.

SPECIFIC PROCEDURES DURING THE CONSTRUCTION OF THE ASPHALTIC CONCRETE CORE IN MORA DE RUBIELOS DAM (SPAIN)

ABSTRACT *This paper describes the construction of Mora de Rubielos dam, designed as a zoned embankment with asphaltic concrete core after the analysis of several feasible technical alternatives. Before Mora de Rubielos dam, in Spain, this particular solution had only been set out for the construction of the right abutment in Algar dam, also managed by the Júcar River Water Authority (Spanish Environment Ministry). With the bituminous core usage, disabilities faced when looking for impervious soils of enough quality as well as meeting environmental constraints are overcome. In addition, there is no need to consider internal erosion through the core or ageing and performance in handling and placing material for dam body is improved. Suggestions pointed out in ICOLD's 84th Bulletin "Bituminous cores for fill dams" have been followed, and a 0,50 m width concrete core with transitions of 1,50 m width have been adopted for the 35 m high dam. Cross section is completed with limestone rockfill and natural gravels at the outer shoulders. In this paper the authors show the steps followed during construction, taking account of particular modifications and adjustments made to mixes, materials and construction procedures imposed by local conditions in order to meet quality and safety requirements.*

Palabras clave: Núcleo asfáltico, Condiciones locales, Mezcla, Ensayos, Puesta en obra, Calidad.

1. INTRODUCCIÓN

La presa de Mora de Rubielos se ubica sobre el Arroyo de las Tosquillas, afluente del río Mora, tributario del Río Mijares, correspondiente a la Confederación Hidrográfica del Júcar.

El objetivo principal de la presa es la regulación de caudales para la dotación e incremento de garantía en los regadíos de la zona, así como asegurar el abastecimiento a Mora de Rubielos (Teruel), localidad turística que ve incrementada su población de forma estacional.

Tras el análisis de las alternativas técnicas viables para la construcción de la presa, se adoptó la solución de materia-

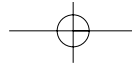
les sueltos con núcleo asfáltico. De esta forma, se obvia las dificultades que surgen a la hora de encontrar suelos suficientemente impermeables, accesibles y de calidad, al tiempo que se respeta la restricciones impuestas por la normativa medioambiental.

Con anterioridad, este sistema sólo había sido empleado en España para la construcción del estribo derecho en la presa del Algar, también explotada por la Confederación Hidrográfica del Júcar. En este caso se trata de la aplicación a todo el cuerpo de presa. En la presente comunicación se describe brevemente las características de la presa, para centrarse finalmente en las particularidades y los ajustes llevados a cabo en dosificaciones, materiales y procedimientos de construcción del núcleo asfáltico. Con el objetivo de alcanzar los requerimientos de calidad y seguridad establecidos en el diseño, acordes con las recomendaciones del Boletín 84 del ICOLD "Bituminous cores for fill dams", se ha tenido en cuenta las condiciones locales de la obra.

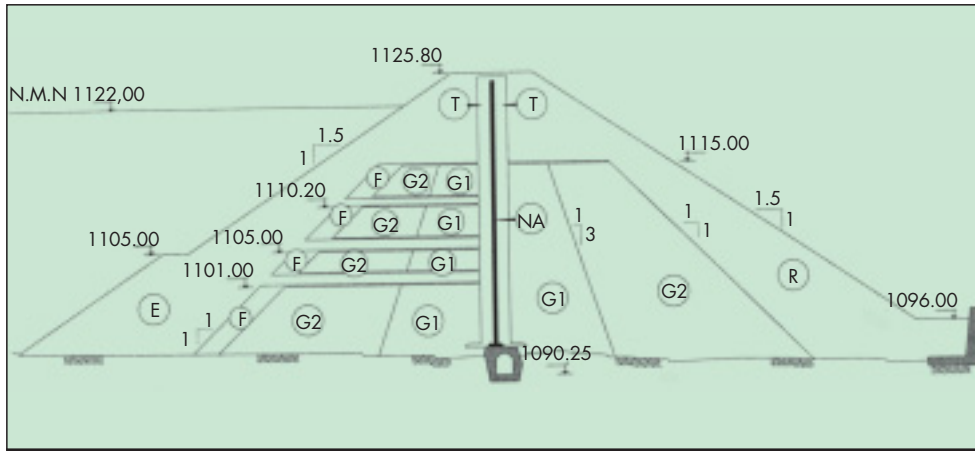
(*) Civil Engineer. Confederación Hidrográfica del Júcar.

(**) Civil Engineer. Ivalleying Consulting.

(***) Civil Engineer. FCC CONSTRUCCIÓN, S.A.



PROCEDIMIENTOS ESPECÍFICOS EMPLEADOS DURANTE LA EJECUCIÓN DEL NÚCLEO ASFÁLTICO EN LA PRESA DE MORA DE RUBIELOS (ESPAÑA)



LEYENDA:
 NA : núcleo alféltico.
 T : transiciones
 G1 : gravas (finos<12%)
 G2 : gravas
 F : filtro aguas arriba
 E : escollera

FIGURA 1. Sección tipo de la Presa de Mora de Rubielos.

2. DESCRIPCIÓN DE LA PRESA

La presa cuenta con una superficie de aportación de 21,1 km² y el caudal máximo sin laminar para la avenida de período de retorno 1.000 años (avenida de proyecto) es de 372 m³/s.

La cerrada constituye un importante estrechamiento del Arroyo de las Tosquillas, con unas laderas escalonadas que alternan pendientes suaves y escarpadas.

La geología existente en el entorno se corresponde con la rama oriental de la Cordillera Ibérica, estando constituida por potentes series sedimentarias, detríticas y carbonatadas, de edad cretácica. Esta unidad incluye un conjunto de margas y calizas margosas nodulosas, en el tramo inferior, y un conjunto detrítico donde aparecen argilitas violáceas, areniscas y microconglomerados, en el inferior.

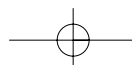
La sección tipo es trapecial con coronación a la cota 1.125,80 y altura sobre cimientos de 35 m. Los taludes son 1,5H:1V en ambos paramentos, disponiéndose aguas arriba una berma de 3 m de anchura a la cota 1.105,00 y, aguas abajo, de 5 m de anchura sobre la cota 1.096,00 m.

Los espaldones, formados por gravas y escollera, están zonificados para permitir el aprovechamiento de los materiales existentes en el entorno. Sin embargo, ha sido necesario un tratamiento de cribado con las gravas para reducir su alto contenido en finos, ubicando más cerca del núcleo las de superior calidad. Igualmente, en el espaldón de aguas arriba ha sido preciso establecer varios drenes horizontales a fin de disipar las eventuales presiones de poro, bajo la hipótesis de desembalse rápido, junto con un filtro granular entre gravas y escollera.

A ambos lados del núcleo se ha dispuesto materiales de transición, de anchura 1,50 m, que confieren al aglomerado



FIGURA 2. Vista de las obras desde el estribo izquierdo.



+

+

el confinamiento lateral necesario para que no presente dilatación.

El núcleo asfáltico es vertical y se sitúa centrado con el camino de coronación. Posee un espesor uniforme de 0,50 m en todo su desarrollo, exceptuando la base y los contactos laterales, donde se incrementa hasta 1,50 m y se ha colocado con tongadas de espesor 0,20 m.

Otro elemento ciertamente singular lo constituye el aliviadero lateral de 55 m de longitud, con labio a la cota 1.122,00 y una compuerta frontal que mejora la operación con avenidas. La restitución al río se realiza mediante un trampolín de lanzamiento situado a la cota 1.099,40 m.

Los desagües de fondo están ubicados en el interior de una galería que se ha utilizado en el desvío del río. Están formados por dos conductos $\Phi 800$ mm de acero con espesor 8 mm, y se controlan con un sistema de compuertas tipo "Bureau" de $0,90 \times 0,60$ m² alojadas en la cámara de válvulas.

Las tomas de agua para abastecimiento y riego están ubicadas a tres niveles en una torre exenta que conecta con la galería del desagüe de fondo. El proyecto contempla, además, diversas actuaciones de recuperación ambiental como, por ejemplo, proteger la calidad de las aguas mediante una estación de tratamiento compacta, adecuar el terreno para la recuperación paisajística, revegetar con especies autóctonas, hidrosembrar en taludes, etc.

3 EJECUCIÓN DEL NÚCLEO ASFÁLTICO

A continuación se describe los aspectos concretos relacionados con la construcción del núcleo.

3.1. CIMENTACIÓN DEL NÚCLEO ASFÁLTICO

En la zona de estribos, el núcleo se coloca sobre un plinto de hormigón de 6,00 m de anchura y 0,80 m de espesor. La estanqueidad entre losas es garantizada mediante juntas transversales, diseñadas específicamente, que se introducen en el terreno. En la cimentación se asegura el contacto con inyecciones de consolidación y anclajes.

En la zona central, el núcleo se localiza sobre el techo de la galería perimetral, con dimensiones interiores $2,00 \times 3,00$ m², desde la que puede efectuarse labores de control e inyección. Además, esta galería presenta juntas transversales de contracción impermeabilizadas con bandas de neopreno enlazadas con la base del núcleo en los correspondientes cajetines, sellados con mástic bituminoso.

3.2. DISEÑO DE LA MEZCLA

Con el objetivo de diseñar de la mezcla de hormigón asfáltico, se estableció un plan de ensayos según:

- Ensayos preliminares con los áridos locales disponibles: árido grueso, árido fino y filler.
- Ensayos preliminares para estimar la adhesividad y plantear las posibles mezclas.
- Ensayos preliminares con las mezclas propuestas estableciendo composiciones granulométricas, ensayos Marshall con diferentes cantidades del betún disponible (B60/70) y propuesta del contenido de betún (antes de los ensayos triaxiales).
- Ensayos finales con las mezclas propuestas, que implican ensayos Marshall, aumentos de volumen, permeabilidades bajo presión y ensayos triaxiales.
- Terraplén de ensayo in situ.

3.2.1. Ensayos preliminares

En el presente apartado se recoge un extracto del informe de laboratorio¹ realizado por el subcontratista de las obras, Kolo Veidekke, en relación con la aptitud del núcleo asfáltico. Empleando áridos y betún suministrados desde España se obtuvo una granulometría que asegura el sellado del núcleo.

Tras los preceptivos ensayos sobre los materiales básicos se estableció una propuesta de potenciales proporciones para continuar con el diseño, y todas las mezclas fueron preparadas de acuerdo con lo recogido en el MS-2².

Las curvas granulométricas de los áridos siempre encajaron dentro del huso de Fuller³ y se añadió una cierta cantidad de arena para facilitar la trabajabilidad de la mezcla y su compactación.

Por otra parte, en esta fase se fijó el contenido de betún por encima del mínimo necesario para, teóricamente, reducir en la medida de lo posible el índice de huecos y lograr la máxima densidad durante la compactación. Los porcentajes de betún manejados fueron del 6,40%, 6,70%, 7,00% y 7,30% (en peso).

Las probetas se fabricaron a una temperatura de 180° y, transcurrida una hora, la compactación se llevó a cabo entre 160 y 165° C.

Siguiendo el procedimiento sugerido por el MS-2, se alcanzó el mínimo índice de huecos con áridos de naturaleza caliza y un contenido de betún del 7%. De hecho, los ensayos de permeabilidad confirmaron que las muestras sometidas a una presión de 10 bares durante más de 10 horas eran completamente impermeables.

3.2.2. Ensayos triaxiales

El Instituto Geotécnico Noruego (NGI) fue el encargado de llevar a cabo los ensayos triaxiales que determinaron el comportamiento tenso-deformacional de las potenciales mezclas para el aglomerado asfáltico del núcleo de la presa.

Al margen de lo habitualmente realizado por el NGI, se incluyó presiones de célula de 0,20 N/mm² para simular más fidedignamente alguno de los niveles tensionales que podrían darse en el cuerpo de presa. En todos los casos, se empleó el mismo tipo de betún (B60/70), aunque se varió el porcentaje de conglomerante, la naturaleza de los áridos y la presión lateral en la célula. Los ensayos triaxiales realizados fueron los recogidos en la siguiente tabla:

Nº ensayo	% betún	Tipo de árido	Tensión de confinamiento (MPa)
1	6,7	Calizo	0,5
2	7,0	Calizo	0,5
3	7,0	Calizo	0,5
4	7,0	Calizo	0,2
5	7,0	Silíceo	0,2
6	7,3	Calizo	0,5
7	7,3	Silíceo	0,5

TABLA 1. Características de los ensayos triaxiales realizados.

PROCEDIMIENTOS ESPECÍFICOS EMPLEADOS DURANTE LA EJECUCIÓN DEL NÚCLEO ASFÁLTICO EN LA PRESA DE MORA DE RUBIELOS (ESPAÑA)

El módulo de elasticidad que se deriva del primer tramo de las curvas tensión-deformación es bastante elevado debido a la viscosidad del betún utilizado. De hecho, la tendencia actual en núcleos asfálticos parece conducir al uso de betunes menos viscosos.

Para contenidos del 7,0 y 7,3 %, se obtuvo un comportamiento claramente dúctil y tan sólo se apreció una ligera pérdida de resistencia para deformaciones mayores que la de rotura y en una magnitud cercana al 8 % de la deformación vertical.

Otro de los aspectos clave a determinar con estos ensayos fue la potencial dilatancia de las mezclas que, obviamente, disminuye al incrementarse la presión lateral y el contenido de betún. En cualquier caso, los aumentos de volumen fueron pequeños y no superaron el 0,50 % con deformaciones axiales de hasta el 4 %.

Además, los resultados obtenidos con áridos de naturaleza caliza y silícea resultaron prácticamente análogos. De esta forma, al emplearse una planta comercial de aglomerado para la fabricación, se dedujo que no era preciso modificar su configuración cuando ésta, además del núcleo de la presa, suministrara la capa de rodadura a las obras de una autovía cercana (con producciones lógicamente superiores).

En definitiva, los ensayos triaxiales permitieron establecer que el porcentaje de betún B60/70 más recomendable era del 7,30 %; debido a su alta viscosidad. Con esta proporción se ha utilizado una mezcla con la trabajabilidad, flexibilidad y ductilidad necesarias, manteniendo una dilatancia limitada.

3.2.3. Terraplén de ensayo

La última fase del diseño de la mezcla para el aglomerado asfáltico se basó en la realización de varios terraplenes de prueba en las cercanías de la cerrada. Al margen de servir como entrenamiento para los equipos de ejecución del núcleo, permitió poner a punto la maquinaria, comprobar la

elaboración de mezclas in situ, verificar los niveles de compactación alcanzados y realizar ensayos previos sobre la mezcla ejecutada.

3.3. PREPARACIÓN DEL APOYO PARA EL NÚCLEO

Antes de iniciar la colocación del núcleo asfáltico, resulta imprescindible proceder a la preparación del apoyo, tanto en las losas de los estribos como en la galería central.

Por un lado, la superficie del hormigón siempre debe tener una cierta rugosidad pero manteniendo la planeidad y, por otro, la máxima limpieza resulta ineludible.

A lo largo de toda la construcción, se ha lavado la superficie de apoyo con agua a presión y ácido disuelto. Posteriormente se ha fabricado un mástic compuesto por la arena previamente combinada con un 5% de betún y que, una vez en la obra, se ha introducido en una pequeña mezcladora junto con el resto del betún necesario, un ácido especial para mejorar la unión con el hormigón y calor.

La temperatura de aplicación del mástic es de 180°C y, para su colocación, este tajo no tiene por qué coincidir temporalmente con la puesta en obra del núcleo.

3.4. PUESTA EN OBRA DEL NÚCLEO ASFÁLTICO

De cara a la puesta en obra del núcleo asfáltico, se ha preparado unos procedimientos que tienen en cuenta todas las labores a realizar a lo largo de la construcción de esta unidad de obra, incluyendo las modificaciones más probables a priori.

Las primeras tongadas, realizadas de forma continua sin máquina extendedora y con un sobreaño, tienen un procedimiento que contempla la limpieza del mástic previamente colocado sobre la superficie de apoyo y su calentamiento. Después se emplea unos pequeños encofrados para contener el aglomerado asfáltico del núcleo que, junto con las transiciones, es vertido y compactado con las especificaciones deducidas de los terraplenes de prueba.



FIGURA 3. Ejecución de la primera tongada del núcleo asfáltico.

PROCEDIMIENTOS ESPECÍFICOS EMPLEADOS DURANTE LA EJECUCIÓN DEL NÚCLEO ASFÁLTICO EN LA PRESA DE MORA DE RUBIELOS (ESPAÑA)



FIGURA 4. Colocación de la última tongada del núcleo asfáltico.

Una vez se cuenta con una base horizontal de núcleo y suficiente espacio para manejar la extendedora, únicamente se emplea el procedimiento manual en el contacto de cada tongada con los estribos.

En la puesta continua del núcleo mediante extendedora, el procedimiento indica la necesidad de utilizar el calentador en la primera capa del día para asegurar la perfecta unión entre tongadas. El calor almacenado en la primera capa es suficiente para la segunda o tercera capa, aunque cuando es necesario colocar tres capas al día se establece una parada de 1-2 horas antes de la última, para que no se deforme por la compactación. No obstante, al haberse ejecutado todo el núcleo durante el verano español y sin paradas superiores a tres días, realmente se podría haber prescindido del calentamiento. Igualmente, este procedimiento determina el desfase máximo admisible entre núcleo y transiciones respecto a los demás materiales, las actuaciones especiales relacionadas con la instalación de los elementos de auscultación y las condiciones para el paso de maquinaria sobre la unidad de obra.

Por último, se ha determinado también el procedimiento para la retirada de capas defectuosas teniendo en cuenta si ésta se realiza antes o después del enfriamiento de la misma.

4. CONTROL DE CALIDAD

Seguidamente se indica con brevedad los controles de calidad aplicados durante la construcción.

4.1. MATERIALES

En relación con los materiales, los controles de calidad han consistido en lo siguiente:

- Betún: Certificado de conformidad y características con cada suministrador de la planta.
- Áridos: Control semanal de granulometrías por la planta suministradora y control de la densidad y absorción cuando sea requerido.

4.2. AGLOMERADO FABRICADO EN LA PLANTA

Con el material fabricado por la planta:

- Elaboración de probetas Marshall.
- Índice de huecos, como mínimo un ensayo completo cada día de construcción. El contenido máximo permitido ha sido del 2%.

4.3. MUESTRAS ELABORADAS EN LA PLANTA

Una vez elaboradas las probetas se ha realizado:

- Granulometría de los áridos y contenido de betún; un ensayo mínimo por día.
- Los resultados deben verificar la mezcla de diseño y las desviaciones máximas permitidas han sido:

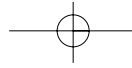
- 7 % para áridos de 2 mm y mayor.
- 5 % para áridos entre 0,25-1 mm.
- 4 % para áridos que atraviesen el tamiz 0,125 mm.
- 3 % para áridos con tamaño inferior a 0,075 mm.
- 3 % para el contenido de betún.

4.4. MUESTRAS EXTRAÍDAS DIRECTAMENTE DEL NÚCLEO

Por último, se ha completado el control de calidad con la obtención de muestras perforadas directamente sobre el núcleo de la presa.

Una vez al mes, como mínimo, se ha extraído 3 testigos procedentes del núcleo, con un diámetro de 100 mm y a una profundidad de 40 cm. En todas las ocasiones, el hueco generado ha quedado posteriormente limpio y relleno con aglomerado compactado en capas de espesor igual a 50 mm. Tras eliminar los 3 cm superiores de cada testigo y a fin de comprobar los índices de huecos, la longitud restante ha sido cortada en trozos de 50-60 mm. Las especificaciones a cumplir han sido:

- Índice de huecos inferior al 3%.



PROCEDIMIENTOS ESPECÍFICOS EMPLEADOS DURANTE LA EJECUCIÓN DEL NÚCLEO ASFÁLTICO EN LA PRESA DE MORA DE RUBIELOS (ESPAÑA)

- Promedio del índice de huecos, para todas las pastillas obtenidas del testigo, menor del 2,5%.
- Sólo una pastilla del testigo puede tener un índice de huecos superior al 3% y, en tal caso, ser menor del 4%.

Finalmente, se ha llevado a cabo un ensayo de permeabilidad mensual, sobre uno de los testigos, cuando así se ha estimado conveniente.

5. CONCLUSIONES

Aspectos medioambientales y relacionados con la disponibilidad de materiales, en calidad y cantidad suficiente, han condicionado el diseño de la Presa de Mora de Rubielos.

Finalmente se ha escogido los materiales sueltos con núcleo asfáltico como solución y, de las filosofías de diseño empleadas hasta ahora en esta tipología de presas, Mora de Rubielos queda enmarcada entre las que poseen espaldones con parámetros tensodeformacionales superiores a los del núcleo.

Se ha mostrado los pasos seguidos al objeto de alcanzar los requerimientos de calidad y seguridad impuestos; mencionando las decisiones y medidas adoptadas por causa de las condiciones locales en materiales, mezclas, control de calidad y puesta en obra.

A fin de asegurar una impermeabilidad mínima en el núcleo (10^{-7} cm/s), el índice de huecos se ha situado por debajo

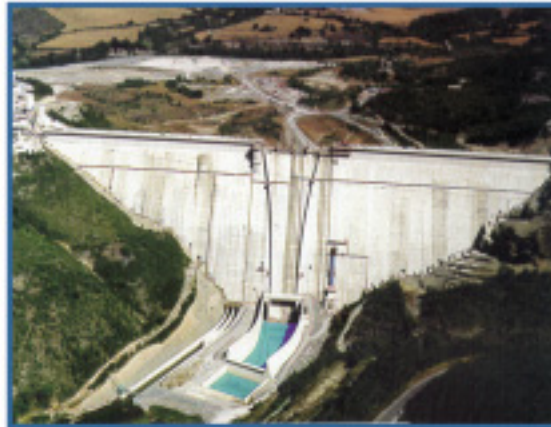
del 3 % en todo momento. Es por ello que la necesidad de contar con una mezcla que no muestre dilatación ha resultado clave teniendo en cuenta los niveles tensionales que, previsiblemente, existirán en el conjunto presa y cimientado. De hecho, la mezcla empleada ha mostrado unos patrones de flexibilidad y deformabilidad que le permiten cubrir las incertidumbres asociadas al comportamiento.

En estas circunstancias, los ensayos previos realizados con materiales locales y los triaxiales llevados a cabo con varias mezclas, han facilitado la elección de la dosificación específica más adecuada. La bondad del diseño y los procedimientos de construcción se ha corroborado con la ejecución de varios terraplenes de prueba y un modelo numérico para, finalmente, asegurar su correcta implementación mediante el programa de control de calidad.

6. REFERENCIAS

1. Kolo Veidekke. Noruega, enero de 2005. *Informe de laboratorio para las obras "Presa del embalse de Mora de Rubielos"*.
2. Asphalt Institute. *Mix design methods (Sixth edition)*.
3. Kaare Höeg, 1993. *Asphaltic Concrete Cores for Embankment Dams*.

tjma
TECNICAS REUNIDAS
Infraestructuras y Medioambiente



Presa de Itoiz (Navarra)

ACTIVIDAD- HIDRÁULICA

• Presas

• Canales y encauzamientos

• Centrales hidroeléctricas

• Planificación de recursos hidráulicos

• Regadíos, Agronomía y Desarrollo rural

INFRASTRUCTURAS Y MEDIOAMBIENTE

c/ Rafael Calvo 3 - 5 - Madrid 28010

Tlf. +34 91 592 39 00 Fax: 91 592 39 01

www.tecnicasreunidas.es

