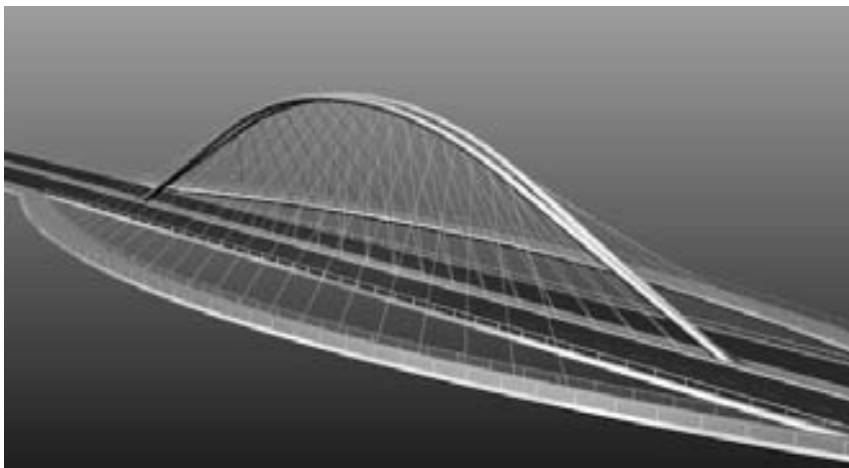


II CONGRESO DE ACHE DE PUENTES Y ESTRUCTURAS

Realizaciones, Puentes



TÍTULO: PUENTES ARCO MIXTOS **Javier Manterola Armisén**
Antonio Martínez Cutillas
Miguel A. Gil Ginés

(Carlos Fernández Casado S.L)

TÍTULO: PUENTES ARCO MIXTOS

Voy a presentar tres puentes arco con una única característica común, los tres tienen arcos mixtos, acero y hormigón.

El primero es el puente sobre el río Ebro en Zaragoza con arco superior de sección triangular de 120 m de luz y dintel de hormigón pretensado. El segundo es el puente sobre el río Escudo, también de 120 m de luz, pero en este caso con arco inferior el dintel. Los arcos son tubulares, mixtos y el dintel formado por vigas doble “T” también mixto.

Así como estos dos puentes están terminados, el tercero, el puente sobre el río Ebro en Logroño, de 140 m de luz, está en un muy avanzado estado de construcción. El arco es superior al dintel, mixto y también de sección tubular.

Aparte de las características propias de cada puente, el comportamiento de la interacción acero-hormigón en los arcos mixtos, se reproduce bien suponiendo, a tiempo cero, que el módulo de elasticidad del hormigón corresponde a su módulo de elasticidad inicial y reduciendo por el valor de “ ϕ ” el módulo de elasticidad del hormigón para obtener las características conjuntas del arco a tiempo infinito.

En un estudio preciso en el que el hormigón y el acero del arco se reproducen independientemente, se comprueba que la deformación por fluencia del hormigón equivale a una fuerza transversal en el arco y otra igual y contraria en el hormigón que produce la transferencia de carga en el tiempo de uno a otro material.

1.- PUENTE ARCO SOBRE EL RÍO EBRO. RONDA DE LA HISPANIDAD (ZARAGOZA)



El tercer cinturón de Zaragoza cruza el río Ebro por medio de un puente cuyo dintel, de 31,9 m

de anchura y 304 m de longitud, tiene una sección lenticular de 2,2 m de canto. Se producen cinco vanos de 42 m+52 m+120 m+52 m+42 m. Todas estas luces se tranquean con el dintel lenticular, salvo en lo que se refiere al vano de 120 m que cruza el Ebro. Para

solventar este vano se añade un arco superior de 120 m de luz que ayuda al soporte del dintel en esta zona.



Es una tipología bastante utilizada por nosotros últimamente. Un dintel continuo, recto, constante, dimensionado para luces pequeñas o medias y que se ayuda o bien de un arco; caso de este puente; o de un atirantamiento, caso del puente de Córdoba sobre el Guadalquivir, actualmente en construcción, para salvar la luz principal.

Transversalmente, los 31,9 m de anchura están divididos en dos aceras de borde de 4 m, una mediana central de 3 m y dos calzadas de 10,5 m cada una.

El puente se subdivide en tres partes. La parte central, constituida por el puente arco de 120 m de luz y las otras dos partes, laterales, de 92 m de longitud están separadas de la central por una junta de dilatación. Las partes laterales y la central no se interfieren resistentemente en nada. Únicamente utilizan la misma pila, como apoyo común, apoyo que se realiza a media madera.

El arco, mixto, de directriz parabólica de 18 m de flecha tiene una sección triangular variable, desde un canto mínimo en el centro de 1,6 m, hasta un canto máximo junto a los apoyos de 1,74 m. La sección

triangular se achaflana en las esquinas. El espesor de la chapa es de 60 mm de acero. El hormigón interior rellena completamente el arco, lo que es muy fácil de realizar y ahorra bastante acero.



El tablero está formado por un cajón central bicelular de 2,2 m de canto en el eje del puente y disminuye ligeramente hacia los bordes de este mismo cajón, que distan entre sí 10 m. Las almas exteriores son de espesor variable entre 0,45 y 0,8 m, y las interiores, entre 0,5 y 0,8 m. Transversalmente el dintel se completa con dos unidades nervadas de 10,8 m de anchura, que completan la forma lenticular del núcleo central. Los tirantes que unen arco y tablero se disponen a una distancia de 8 m y se anclan a los lados del alma central. Se dispone, en ese mismo punto, una viga transversal que transfiere la carga conducida por las almas laterales al tirante.

El dintel está pretensado longitudinal y transversalmente. Longitudinalmente para enfrenar el empuje del arco, que se cortocircuita a lo largo del dintel y además para resistir el efecto de la flexión vertical. Transversalmente, en los nervios transversales para transmitir su efecto al cuerpo central.

Las péndolas están formadas por dos unidades separadas entre sí, en dirección transversal, 1,3 m.

Los tramos de acceso tienen dos luces continuas de 50 m y 42 m. En este caso en el cajón desaparece el alma central así como los diafragmas transversales interiores. Por lo demás se mantienen las características del dintel bajo el arco.

Se pretensa longitudinal y transversalmente, así como se arma con la armadura pasiva correspondiente.

El tramo principal, el tramo arco, apoya sobre la pila por medio de dos apoyos principales de neopreno-teflón en caja fija y el dintel por otros dos apoyos laterales. Como en casos extremos de carga, unos de estos últimos apoyos podría ponerse en tracción, para evitar anclarlo a la pila, se le pone encima el apoyo del tramo de acceso de 52 m de luz.



De la misma manera, aunque los tramos, principal y de acceso, están separados, el arco penetra en el tramo de acceso a lo largo de su mediana, lo que determina una particular configuración de los apoyos.

Entre ambos tramos de acceso se dispone una pila principal y en su extremo un estribo nuevo. Pilas y estribos descansan sobre pilotes.

Se disponen dos estribos curvos en planta cuya disposición encaja muy bien formalmente con el dintel de sección transversal también curvo.

El puente se ha construido de la siguiente manera:

Se construye el núcleo central del dintel, de uno a otro extremo del puente, apoyándose, en la zona de las orillas, en una cimbra y en la zona del río sobre vigas metálicas apoyadas sobre 3 pilas provisionales. Cuando se elimina la cimbra, la parte del dintel situada sobre el río queda apoyada sobre tres apoyos provisionales pilotados.

Una vez concluido el núcleo central, se monta un carro transversal que deslizando sobre el núcleo central va fabricando los voladizos transversales. Terminado el dintel se monta el arco metálico apoyándolo sobre apoyos provisionales, se suelda y se rellena interiormente por hormigón.

Una vez concluido el arco, se ponen en carga las péndolas hasta que el dintel se despegue de los 3 apoyos provisionales situados en el río. Se vuelan los apoyos provisionales y se realizan las terminaciones correspondientes.

FICHA TÉCNICA

Puente arco sobre el río Ebro – Ronda de la Hispanidad

Propietario:	Demarcación de Carreteras del Estado de Aragón (Mariano Ferrad)
Dtor. del Proyecto y construcción:	Angel Morancho
Autores del Proyecto:	Javier Manterola, Antonio Martínez Cutillas (Carlos Fernández Casado S.L.)
Construcción:	UTE FCC y ACS (Alberto Ronchel, José Mª Cañas, José Luis Cerezo, Carlos José Conejo)
Asistencia Técnica en obra:	Carlos Fernández Casado S.L. y Sers (Fernando Escorihuela, Octavio Ariñez)

2.- PUENTE SOBRE EL RÍO ESCUDO. AUTOPISTA DEL CANTÁBRICO (SANTANDER)



Era intención de la Administración y del estudio de impacto ambiental realizar una obra singular en un paraje tan hermoso como la zona de desembocadura del río Escudo en el Mar Cantábrico.

Morfológicamente el cruce de la Autovía – Tramo Lamadrid-Unquera – sobre el río Escudo se encuentra con una plataforma rocosa de unos 110 m de anchura, prácticamente horizontal, encajada entre dos montes rocosos de no excesiva pendiente.

La plataforma horizontal está ocupada por el río en su totalidad en el caso de mareas altas y ocupa aproximadamente la mitad izquierda en mareas bajas.

En la margen izquierda está instalado un ferrocarril de vía estrecha en servicio.

No existe nada más que señalar que la gran belleza del entorno y la insistencia del informe ambiental de realizar un puente de más de 70 m de luz.

Solución adoptada



Se trata de un puente de arco mixto de tablero superior con una longitud entre estribos de 229 m, la luz del arco es de 126,4 m.

La plataforma tiene una anchura total de 29,2 m formada por dos calzadas de 13,6 m

de ancho cada una y una mediana central de 2 m. A los lados de la plataforma hay una barrera rígida para impedir la caída de los vehículos.

El dintel estaba formado, inicialmente, por dos cajones metálicos con una losa superior de hormigón formando una estructura mixta. Posteriormente se sustituyó por un emparrillado de vigas doble “T”, también mixto. Longitudinalmente está formado por seis vigas doble “T” de 1,1 m de canto, agrupados en dos conjuntos de 3 vigas, arriostrados entre sí por vigas transversales, cada 15,8 m, también doble “T”, que sirven para transmitir la carga a los pilares cilíndricos únicos que salen de cada uno de los dos arcos tubulares inferiores.

Encima de las vigas metálicas se colocan prelosas prefabricadas de hormigón que sirven de soporte a la losa “in situ” de 25 cm de espesor y con la cual forma la estructura mixta del tablero.



Los arcos son de directriz parabólica de 126,4 m de luz y 15,8 m de flecha. Cada arco está formado por dos tubos metálicos de 1,2 m de diámetro, rellenos de hormigón para formar un arco mixto.

Cada pareja de tubos están unidos entre sí en los puntos donde recibe la carga del dintel. Esta unión está compuesta por dos chapas de acero verticales y una según la inclinación del arco en cada posición, lo que proporciona la rigidez horizontal conjunta a los arcos.

Los arcos se cimentan por medio de un elemento de hormigón armado que transmite la carga a la roca. Esta cimentación es común con la pila adyacente al arco.



Cada tres vigas longitudinales están apoyadas en el centro por medio de una pila que es un tubo de acero de 0,8 m de diámetro constante. La altura de las pilas es variable, entre un metro y doce.

Las pilas llevan en su parte superior una placa rigidizada para recoger la carga del dintel. Las pilas se apoyan bien en la roca mediante una zapata de hormigón armado, o bien sobre los arcos por medio de una pieza metálica que transmite la carga a los tubos. Entre la pila y el dintel hay apoyos de neopreno para independizar los movimientos relativos.



El viaducto sobre el río Escudo es un puente de arco y tablero superior mixto. Par su análisis se ha hecho un modelo de barras especial con el que se obtiene la respuesta general de la estructura.

Los elementos de unión entre tablero y pilas y entre pila y arco se han estudiado mediante modelos elasto-plásticos de elementos finitos para comprobar la transmisión de cargas.

La estructura del puente se ha discretizado por un emparrillado de vigas para el dintel y una

barra longitudinal por cada pareja de arcos.

El arco se ha desdoblado en dos conjuntos de barras, uno que reproduce el acero y otro, el hormigón. En los nudos longitudinales ambos materiales están solidarios lo cual permite introducir diferentes condiciones reológicas en acero y hormigón y recoger con precisión el intercambio de esfuerzos entre ellos a lo largo del tiempo. Aunque el acero recoge a tiempo infinito parte de la carga que inicialmente recogía el hormigón, se ha conseguido reducir el arco metálico inicial de 1,6 m de diámetro a 1,2 m y con reducción de espesor incluido.

Se ha tenido en cuenta la no linealidad geométrica del comportamiento del arco a través de la matriz geométrica que es función del axil aplicado. Por ello se ha obtenido el

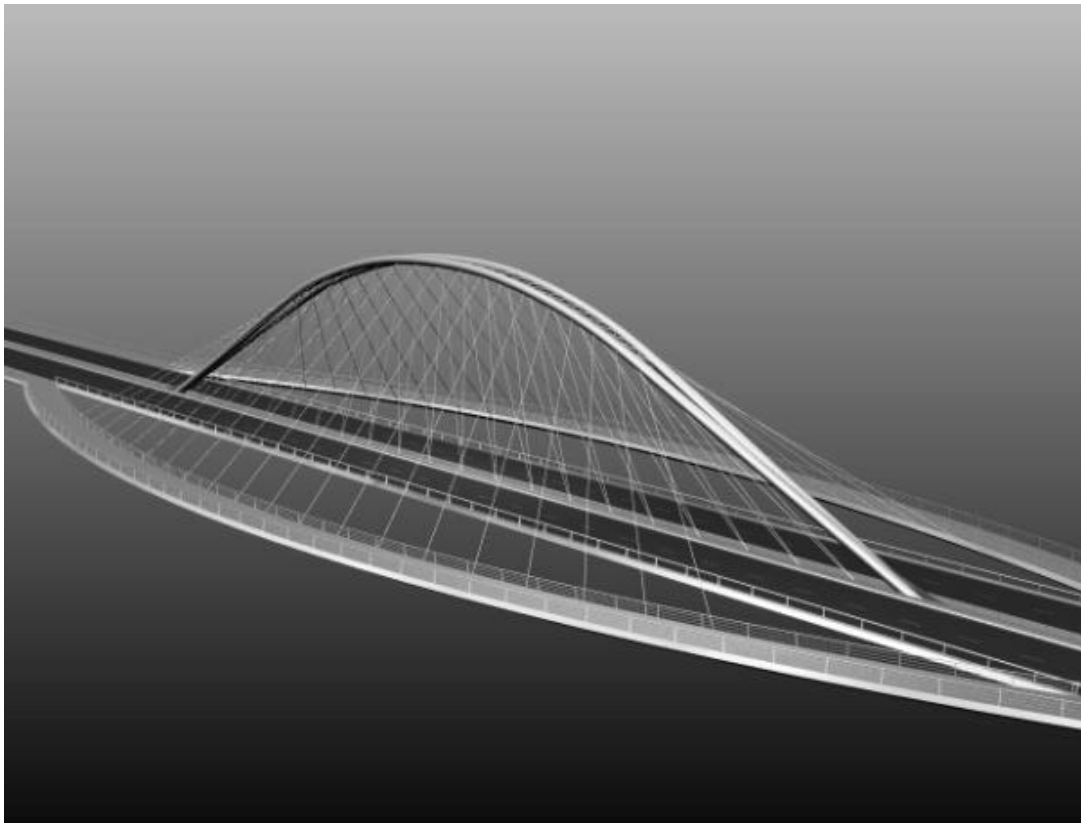
nivel de carga permanente y se han calculado todas las hipótesis de sobrecarga con dicha matriz geométrica. Para el peso propio y carga muerta se ha puesto el axil de peso propio acero más hormigón.

FICHA TÉCNICA

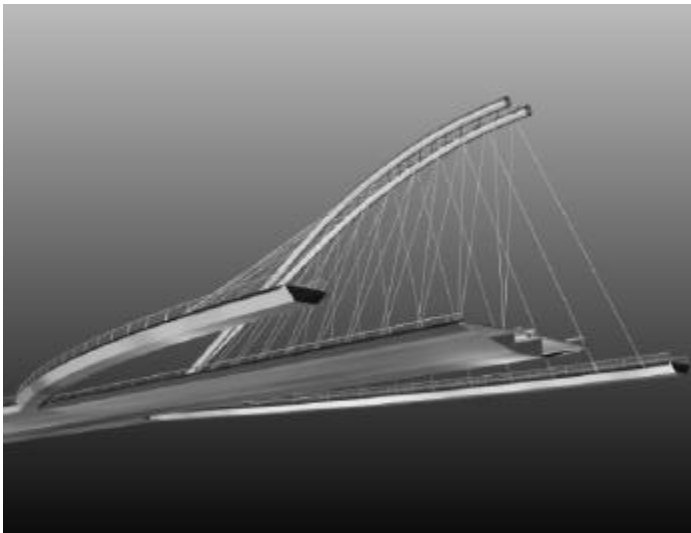
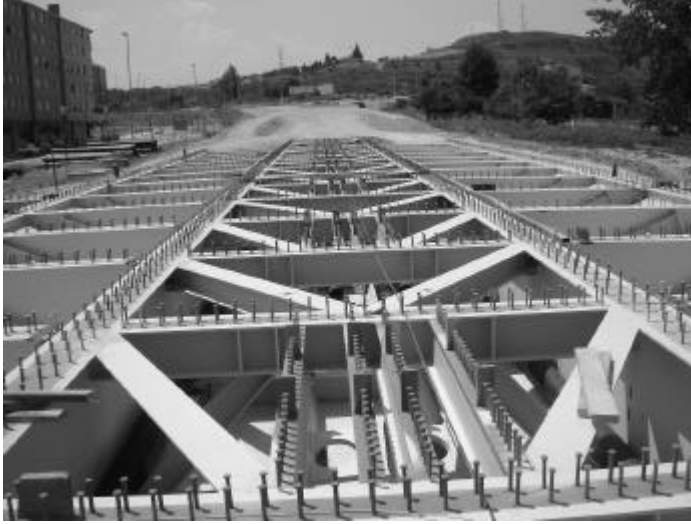
Puente del Escudo

Propietario:	Demarcación de Carreteras del Estado en Cantabria
Dtor. del Proyecto y obra:	José Antonio Herrero Gómez
Autores del Proyecto:	Javier Manterola, Miguel A. Gil, Amando López Padilla (Carlos Fernández Casado S.L.)
Construcción:	UTE SAN VICENTE (Dragados – FCC) (Fernando Santos y José A. Madrazo)

3.- PUENTE DE LOGROÑO



En un proyecto anterior, el de un puente arco realizado para Elche, separamos el tablero en dos partes a través de un corte curvo en el eje. Calzada más acera derecha se separaba de calzada más acera izquierda y obteníamos un atirantamiento espacial del puente.



En este caso la espacialidad la hemos conseguido de otra manera. En lugar de separar la calzada, separamos solo las aceras, con lo cual la dimensión espacial buscada se realizaba con mas intensidad, el tráfico podría desarrollarse con normalidad en una alineación recta y es el peatón el que podrá sentir la tensión de su aislamiento y espacialidad.

El puente de Logroño tiene 140 m de luz y está formado por tres tableros. Uno centrado por el que pasa el tráfico y dos laterales para el paso de peatones.

El tablero para el paso del tráfico es de estructura mixta y está constituido por una viga cajón

de sección trapecial de 2,0 m de canto y 18,6 m de anchura. Está formado por tres células, la central de 4,00 m y las laterales de 7,3 m de anchura. La losa de hormigón tiene 0,26 m de espesor y está constituida por una chapa plegada y una losa de hormigón.

Este tablero se encuentra pretensado longitudinalmente.

Los tableros laterales tienen una sección trapecial, con cara superior de 4,00 m, inferior de 2 m y canto de 1,1 m. Es totalmente metálico.

En este puente como en los ya mencionados, la capacidad de resistencia a flexión, del arco en su plano está muy limitada, por lo que ante la sobrecarga, sobre todo las alternadas, es el dintel el que produce la máxima contribución a su resistencia.

La sustentación de las pasarelas obligó, para no interrumpir con los tirantes el paso de los vehículos del dintel principal, a realizar un arco funicular en el cual las péndolas extremas salen desde posiciones elevadas del arco, a recoger la carga de los bordes de las pasarelas en las proximidades del apoyo. Esto conduce a una terminación del antifunicular del arco en recta.

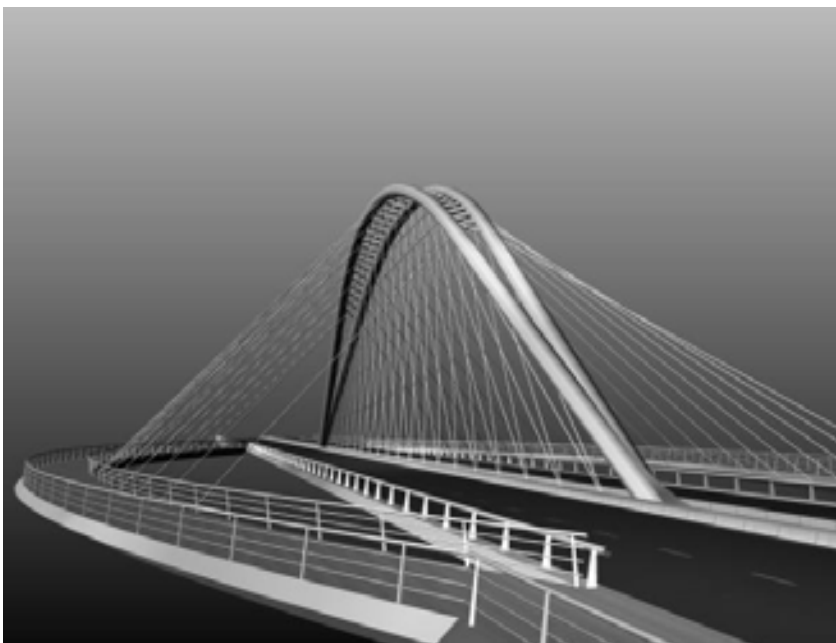


En cuanto al problema específico planteado por este puente es el mismo que el analizado en Elche y es el que corresponde a la situación de la sobrecarga de peatones, sobre una sola de las pasarelas, cuyo borde interno se encuentra situada a 23,00 m del eje del puente en el centro de la luz.

Para esta sobrecarga la deformabilidad transversal del arco central era enorme y por tanto las flechas verticales de la pasarela que alcanzaban 1,3 m. La primera solución al problema que encontramos fue una consecuencia de nuestra experiencia en Elche y consistía en la disposición de un conjunto de vigas transversales entre el tablero central y los laterales así como el cierre de la gran anchura dispuesta entre pasarelas de peatones y

vía principal. Sin embargo esta solución era absolutamente insatisfactoria. El concepto de flotar en el espacio de la pasarela de peatones desaparecía.

La solución adoptada, que resolvió perfectamente el problema sin adoptar



disposiciones especiales fue:

- 1º) Aumentar la rigidez transversal del arco. Desdoblamos el arco en dos tubos de 1,2 m de diámetro, con una separación máxima de 3,00 m en el eje, y la realización de un tejido transversal, también de tubos, que proporcionaba al arco una gran rigidez horizontal.
- 2º) Pero con esto no bastaba. Se adoptó una segunda disposición Anclar transversalmente los arcos, por los tirantes extremos que van al estribo. Además como la forma empleada en la directriz del arco permitía que este anclaje se produjese a 40 m del arranque del arco, convertía a esta estructura, en dirección transversal en una viga continua, sobre apoyos flexibles, de tres vanos con luces de 40 m + 60 m + 40 m, lo cual unido a su gran rigidez de eje vertical, tenía una respuesta formidable a la acción de la sobrecarga de peatones dispuesta en un solo lado.



- 3º) La sustentación de las pasarelas era muy simple. Colgadas del borde cada 7,75 m se encuentran torsionadas, comprimidas y por tanto flexionadas con eje vertical, además de la flexión propia de eje horizontal. Sin embargo estos esfuerzos son muy pequeños pues la pasarela pesa poco. Horizontalmente actúa como un arco, transmitiendo, a una gran viga situada tras el estribo, su carga axial que es recogida por el tablero central que está axialmente pretensado.

- 4º) El puente reposa sobre dos estribos curvos, claramente curvos, artificio que hemos utilizado bastantes veces para acoplar la oblicuidad de la geometría en planta del puente con la normalidad de un puente ortogonal.
- 5º) Se ha realizado un estudio dinámico para controlar las vibraciones de la pasarela a plena satisfacción.

FICHA TÉCNICA

Puente en Logroño

Propietario:	Excmo. Ayuntamiento de Logroño
Dtor. del Proyecto y obra:	Francisco Herrero
Autores del Proyecto:	Javier Manterola, Miguel A. Gil (Carlos Fernández Casado S.L.)
Construcción:	Ferrovial (Keneth Martínez, Elena Peyró)
Asistencia Técnica en obra:	Carlos Fernández Casado S.L.