



La AP-41. La nueva opción para unir Madrid y Toledo

Luis Barceló Vidal, Geólogo, Master en Ingeniería Geológica por la UCM y Jefe de Tramo; y Santiago de Santiago, Ingeniero Superior Informática y Jefe de Sistemas.

La concesión de la autopista de peaje Madrid-Toledo (AP-41) salió a concurso por parte del Ministerio de Fomento en el mes de agosto de 2003: Concesión incluida dentro del Plan de Infraestructuras 2000-2007, que salió a licitación al mismo tiempo que otras cuatro autopistas de peaje en régimen de concesión.

Este Plan contemplaba la cons-

trucción de una autopista desde Madrid a Toledo, y su prolongación, en una segunda fase, hasta las proximidades de Córdoba, pasando por Ciudad Real, para ofrecer una solución alternativa al sinuoso trazado de la actual A-4 (autovía de Andalucía) a su paso por el puerto de Despeñaperros. Este trayecto supondría una reducción de 75 km aproximadamente, frente al actual trazado de la autovía de Andalucía en los desplazamientos Madrid - Córdoba. Esta segunda fase (Toledo - Ciudad Real - Córdoba) continúa vigente en el actual Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte.

La construcción, explotación y financiación de la autopista de peaje AP-41, Madrid-Toledo corre a cargo de la Sociedad Concesionaria Autopista Madrid-Toledo, C.E.A.S.A., fundada por el consorcio constituido por las empresas constructoras: Isolux-Corsan, Comsa, Azvi, Sando y la entidad financiera Banco Espírito Santo, adjudicatario del concurso de la concesión administrativa citada.

El proyecto abarca tanto el tramo Madrid-Toledo como la autovía, libre de peaje A-40, de Castilla-La Mancha, tramo: Circunvalación Norte de Toledo, con un volumen de inversión

Autopistas de Peaje

total cercano de 440 millones de euros.

La autopista de peaje AP-41 permitirá reducir a poco más de media hora el trayecto entre Madrid (M-40) y Toledo. Gracias a ella, los usuarios podrán disminuir el tiempo empleado en efectuar este recorrido utilizando la autovía existente A-42 (en la actualidad, se emplea una media de 60 minutos, siempre y cuando el usuario no se encuentre con una de las habituales retenciones en la autovía A-42).

El nuevo trazado entre Madrid y Toledo, de 71,5 km de longitud, tiene su origen en la carretera de circunvalación de Madrid M-40; y, tras recorrer sus primeros 14,5 km por la existente autopista R-5, da paso a un trazado completamente nuevo de 57 km hasta Toledo. La autopista AP-41 tiene una longitud de 57 km, y unirá la autovía de circunvalación a Madrid M-40 con Toledo, mediante 14,5 km de la autopista R-5, actualmente en funcionamiento (figuras 1 y 2).

La nueva autopista cruza los términos municipales de Moraleja de Enmedio, Griñón y Serranillos del Valle en la Comunidad de Madrid y los de Carranque, Illescas, Yuncos, Numancia de La Sagra, Yuncler, Villaluenga de La Sagra, Cabañas de La Sagra y Olías del Rey de la provincia de Toledo, en la comunidad de Castilla-La Mancha (figura 3).

A diferencia del resto de autopistas radiales de Madrid, el esquema de peaje que implantará por la sociedad concesionaria permitirá realizar el trayecto completo entre Madrid y Toledo con una única parada para los medios de pago convencionales (tarjetas bancarias y metálico), y ninguna parada si se utiliza el sistema de telepeaje "VIA-T", ya implantado en casi todas las autopistas de España, incluidas las vecinas autopistas radiales de Madrid.

En cuanto a los accesos y servicios, cabe decir que esta vía contempla la construcción de nueve enlaces y de tres áreas de servicio. El proyecto incorpora diversas medidas medioambientales para su correcta

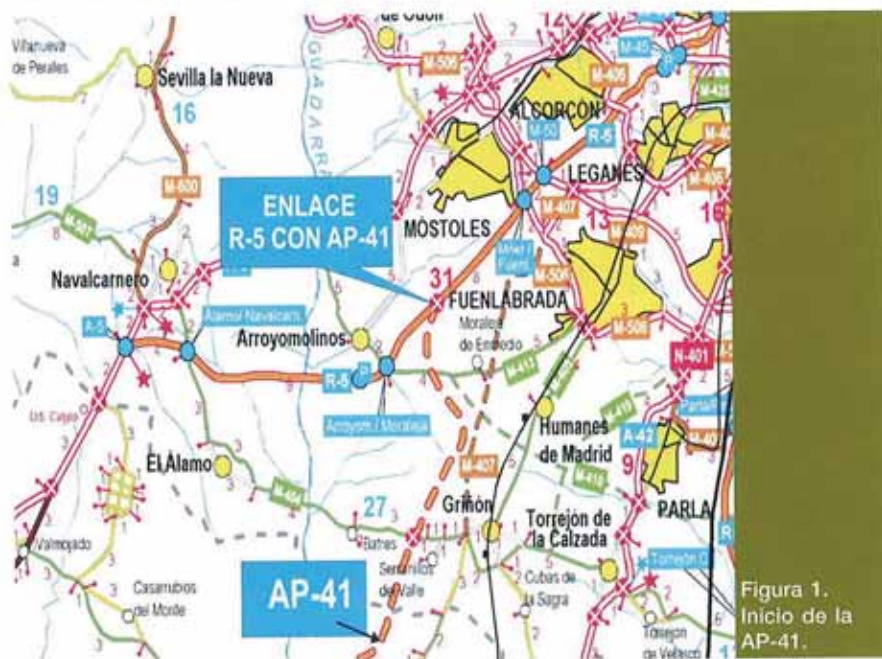


Figura 1. Inicio de la AP-41.



Figura 2. Final de la AP-41.



Figura 3. Situación de los enlaces y áreas de peaje de la AP-41.

integración paisajística, así como los más avanzados elementos de seguridad vial y sistemas de cobro.

Actualmente, las obras se encuentran en un avanzado estado de desarrollo en la mencionada circunvalación, así como en una parte relevante de la autopista de peaje. La ejecución de este proyecto se inició en enero de 2005, y la fecha de finalización de las obras está prevista para diciembre de 2006, no siendo previsibles retrasos en la fecha programada.

La autopista AP-41 Madrid-Toledo (figura 3) tiene enlaces con las distintas carreteras de competencia estatal, autonómica y provincial que atraviesa en su recorrido:

- 1.- Enlace con la autopista de peaje R-5. (Madrid M-40-Navalcarnero A-5).
- 2.- Enlace de Moraleja de Enmedio (con la autonómica M-413).
- 3.- Enlace de Serranillos del Valle (con la autonómica M-404).
- 4.- Enlace de Carranque (con la provincial TO-4112-V).
- 5.- Enlace de Illescas (con la antigua N-401, Madrid-Toledo).
- 6.- Enlace de Numancia de la Sagra (con la autonómica CM-4004).
- 7.- Enlace de Villaluenga de la Sagra (con la provincial TO-9401).
- 8.- Enlace de Villaseca de la Sagra (con la autonómica CM-4001).
- 9.- Enlace con la autopista A-40 (Maqueda A-5 - Cuenca).
- 10.- Enlace de Mocejón (con la autonómica CM-4001).
- 11.- Enlace de Toledo (con la autopista A-42, Madrid - Toledo, N-400, Toledo - Cuenca, y N-403, Toledo - Avila).

El tramo de autovía de Circunvalación Norte de Toledo (figura 3) forma parte de la autovía de Castilla-La Mancha (A-40). Discurre por el eje Maqueda-Toledo-Ocaña-Tarancón-Cuenca, con una longitud total aproximada de 18 km de tronco de autovía. Inicia su trazado en la N-403 Ávila - Toledo, en el p.k. 13 aproximadamente, y recorre los términos municipales de Bargas, Olías del Rey y Mocejón en la provincia de Toledo, para acabar conectando en este úl-



Figura 4. Sección tipo del tronco y de la sección del firme.



Enlace de Mocejón (con la CM-4001).

timo municipio con la autopista de peaje AP-41, Madrid - Toledo, en el p.k. 64+000.

Este tramo de la autovía A-40 dispone de cinco enlaces: con la N-403, la CM-4003 (acceso a Bargas), la A-42, la CM-4006 (acceso a Olías del Rey) y la AP-41.

El trazado de la vía presenta un alzado sin obstáculos topográficos de consideración, e, incluso, puede calificarse de llano en buena parte de ella. Tan sólo algunas zonas en la margen derecha del Tajo y en las inmediaciones de Toledo-capital ofrecen un relieve acusado.

Esta región tiene clima mediterrá-

neo (en la clasificación de Köppen), caracterizado por ser templado, con verano seco y caluroso. La temperatura media del mes más cálido es superior a 22° C; la del mes más frío, superior a -3° C e inferior a 18° C. La precipitación del mes más seco es inferior a 300 mm.

El área por la que discurre la autopista AP-41 pertenece a la cuenca hidrográfica del Tajo, que es el río más importante, con sus afluentes Guadarrama, Manzanares y Jarama (estos dos últimos fuera de los límites del proyecto).

Geológicamente, el trazado de la autopista se encuadra íntegramente

Tabla 1. Características geométricas del tramo de la autopista

Velocidad de proyecto:	120 km/h
Trazado en planta:	
• Radio mínimo:	700 m
• Longitud mínima de curva de transición:	100 m
Trazado en alzado:	
• Inclinación mínima:	0,50 %
• Inclinación máxima en rampa:	4,00 %
• Inclinación máxima en pendiente:	5,00 %
• Inclinación excepcional:	6,00 %
• Parámetro mínimo de acuerdo convexo:	15 276 m
• Parámetro mínimo de acuerdo cóncavo:	6685 m
Longitud mínima de acuerdo:	120 m

en la Cuenca del Tajo, constituida fundamentalmente por sedimentos del Mioceno (Terciario superior) tapizados parcialmente por materiales recientes del Cuaternario.

Las unidades geológicas, clasificadas aproximadamente en orden de mayor a menor calidad geotécnica, interesadas por la obra son las siguientes: (1) Arenas y arenas arcillosas ("arenas de miga", "arenas tosquizas" y similares), (2) Arenas muy arcillosas y arcillas arenosas ("toscos" y "toscos arenosos"), (3) Arcillas de La Sagra (arcillas cerámicas), (4) Arcillas y limos muy plásticos ("peñuelas") y (5) Cuaternario.

Las características geométricas adoptadas para el tronco de la autopista son las correspondientes a una A-120, por lo que se engloba en el grupo 1 de carreteras. Según la Norma 3.1-I.C., son las que se expone en la *tabla 1*.

La plataforma del tronco de la autopista (*figura 4*) tiene una anchura total de 41 m, dentro de los cuales se ubican dos calzadas de 12,5 m y una mediana de 10 m. Cada calzada dispone de una berma exterior de 1 m, como mínimo; un arcén exterior de 2,5 m, dos carriles de 3,5 m, un arcén interior de 1 m y una berma interior de 1 m.

El paquete de firme en el tronco (*figura 4*) de la carretera está formado por una explanada tipo E-2, constituida por: 0,25 m de suelo estabilizado del tipo 1 con cal, 0,25 m de suelo estabilizado del tipo 2 con cemento, sobre la que está prevista la colocación de 0,30 m de suelocemento y 0,20 m de mezclas bituminosas. Estas últimas se colocarán en la siguiente disposición: base con 0,10 m de G-20, intermedia con 0,06 m de S-20 y una rodadura de 0,04 m con PA-12.

Las principales unidades de obra de la autopista AP-41 son las que se exponen en la *tabla 2*. Así mismo, las pertenecientes al tramo de autovía Circunvalación Norte de Toledo aparecen en la *tabla 3*.

Tanto el proyecto constructivo co-

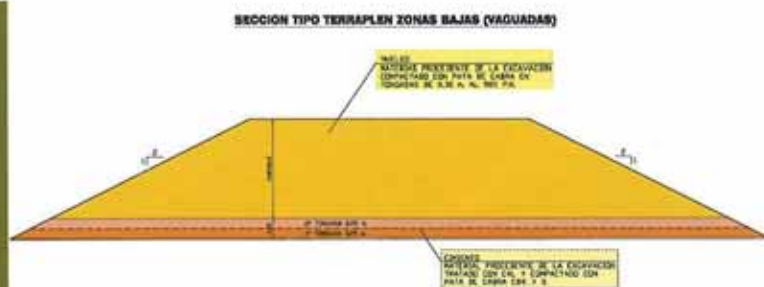
Tabla 2. Principales unidades de obra de la AP-41.

Explanaciones	
Tierra vegetal	1 658 000 m ³
Desmontes	12 430 000 m ³
Saneos	950 000 m ³
Material a vertedero	1 135 000 m ³
Material de préstamo	1 060 000 m ³
Terraplenes	11 450 000 m ³
Suelo estabilizado S-EST1	620 000 m ³
Suelo estabilizado S-EST2	600 000 m ³
Drenaje	
Obras de drenaje tipo caño 1800	3850 m
Obras de drenaje tipo marco	670 m
Obras de drenaje tipo bóveda	350 m
Firmes	
Suelocemento	475 000 m ³
Mezcla asfáltica	760 000 t
Estructuras	
Viaductos	10 u
Pasos inferiores tipo pórtico	19 u
Pasos inferiores con vigas	15 u
Pasos superiores	48 u
Señalización, balizamiento y defensas	
Barrera de seguridad	127 590 m

Tabla 3. Principales unidades de obra de la Circunv. Norte de Toledo.

Explanaciones	
Tierra vegetal	530 000 m ³
Desmontes	2 776 000 m ³
Material de préstamo	320 000 m ³
Terraplenes	3 100 000 m ³
Suelo estabilizado S-EST1	212 000 m ³
Suelo estabilizado S-EST2	238 000 m ³
Drenaje	
Obras de drenaje tipo caño 1800	3 036 m
Obras de drenaje tipo marco	270 m
Firmes	
Suelocemento	130 000 m ³
Mezcla asfáltica	145 000 t
Estructuras	
Viaductos	3 u
Pasos inferiores tipo pórtico	8 u
Pasos inferiores con vigas	6 u
Pasos superiores	15 u
Señalización, balizamiento y defensas	
Barrera de seguridad	42 000 m

Figura 5. Sección tipo terraplén en zonas bajas.



mo las investigaciones geotécnicas realizadas en la fase de obra han puesto de manifiesto la presencia de dos problemas geotécnicos, para mantener el plazo de finalización de la construcción dentro de las fechas previstas. Por un lado, la obra se ha encontrado en determinadas zonas con materiales marginales por problemas de capacidad portante; y, por otro, unas zonas con suelos blandos como apoyo de amplias zonas de relleno.

Los suelos marginales por capacidad portante son materiales procedentes de las formaciones "Peñuelas" y "Transición Tosco-Peñuelas". Se trata de suelos con valores del índice CBR saturado por debajo de 3. La presencia de estos materiales en muchas excavaciones de la obra y la inexistencia de préstamos adecuados han obligado a estudiar la mejor forma de aprovechamiento de estos ma-

La plataforma del tronco de la autopista tiene una anchura total de 41 m, dentro de los cuales se ubican dos calzadas de 12,5 m y una mediana de 10 m

nos afectados.

La solución obtenida en obra para la construcción de los rellenos ubicados en zonas bajas (vaguadas) y con poca pendiente longitudinal consiste en la ejecución de la siguiente sección transversal (figura 5): (1) Cimiento: Formado por dos tongadas de 0,25 m con material con un índi-



Figura 6. Sección de relleno ejecutado.



teriales, asegurando la estabilidad y durabilidad de los rellenos formados por estos materiales. Para ello, se ha prestado especial atención a las zonas de la autopista en las que el material puesto en obra pueda saturarse, porque, al ser puntos bajos del terreno natural, son zonas potencialmente inundables.

Se ha realizado un estudio hidrológico muy profundo, en el que se han investigado las zonas del trazado potencialmente inundables para la avenida de los 500 años, obteniéndose en cada caso las cotas de máxima inundación de los relle-

ce CBR > 3 o con material procedente de la excavación de la traza tratado con cal (dotación entre el 1 y el 1,5%). El material se compacta con pata de cabra hasta conseguir una compactación igual o superior al 98% del ensayo de apisonado Proctor Normal. (2) Núcleo y espaldones: Se emplea material procedente de las excavaciones de la traza, compactado mediante cuatro pasadas dobles de pata de cabra en tongadas de 0,30 m de espesor hasta obtener una compactación igual o superior al 98% del ensayo P.N.

Para el caso de las zonas poten-

cialmente inundables, la sección de relleno ejecutado se ha hecho de la siguiente forma (figura 6): (1) Cimiento: Construido con dos tongadas de 0,25 m de suelos con índice CBR > 3 o bien con material procedente de las propias excavaciones, tratado con cal (dotación entre 1 y el 1,5%). La compactación se lleva a cabo con pata de cabra hasta alcanzar una compactación igual o superior al 98% del ensayo P.N. (2) Núcleo: Formado por tongadas de 0,30 m de espesor, compactadas con cuatro pasadas dobles de pata de cabra hasta conseguir una compactación igual o superior al 98% del ensayo P.N. (3) Espaldones: Se utiliza el material procedente de la propia excavación tratado con cal, con dotaciones del 1 al 1,5%, con objeto de conseguir un índice CBR > 3. La compactación se lleva a cabo con cuatro pasadas dobles del compactador pata de cabra hasta alcanzar una compactación igual o superior al 98% del ensayo P.N. La ejecución del espaldón se continúa en altura hasta alcanzar una cota de + 0,5 m por encima de la cota máxima de la avenida de los 500 años.

Además de los procedimientos de ejecución comentados, se ha llevado a cabo también un intenso control de procedencia del material que garantiza su calidad antes de llevar a cabo la excavación y su transporte al relleno.

Ha habido un segundo problema geotécnico, al encontrar suelos blandos, que se resolvió con la construcción de terraplenes. Las zonas afectadas por este tipo de materiales ya se pusieron de manifiesto en el proyecto constructivo; y en la fase de obra se ha procedido a una intensa campaña de investigación de campo, con objeto de tramificar la obra y definir los mejores tratamientos para la construcción de estos rellenos.

Donde el espesor de las zonas blandas era inferior a 4 m, se ha optado por el saneamiento y la sustitución del material por suelos procedentes de las excavaciones de la traza, tratados con cal siempre y



Enlace de Toledo (con la autopista A-42, Madrid - Toledo, N-400, Toledo - Cuenca, y N-403, Toledo - Ávila).

cuando la zona fuera susceptible de inundación por la cercanía del nivel freático.

En el caso de no cumplirse la condición anterior, se ha optado por una segunda solución, que ha consistido en el tratamiento de las zonas blandas con mechas drenantes verticales. Después de un profundo estudio de los asientos y plazos necesarios para obtenerlos, considerando el plazo de ejecución de la obra, se ha trabajado con el objetivo de disminuir los tiempos de espera por consolidación de los terrenos de apoyo de los terraplenes. Para ello, se ha op-

tado por la realización de drenes verticales en forma de mechas drenantes hincadas.

El relleno ejecutado sobre suelos blandos, con elevado espesor (> 4 m), se ha realizado siguiendo las siguientes pautas (figura 7). (1) Formación de la zona de asientos de las mechas: Consiste en la ejecución, mediante material procedente de la traza, de un bombeo transversal de la sección, de tal forma que la altura sea superior al máximo asiento elástico previsto. La pendiente transversal de bombeo es superior al 2%. (2) Hinca de mechas drenantes: Se procede a la hinca mediante martinete de las mechas drenantes en malla triangular (1; 1,5; 2; y 2,5 m) y con profundidad variable según la tramificación realizada. (3) Colocación de geomembrana: Se trata de una lámina drenante por una cara e impermeable por la contraria, que se apoya sobre la zona de asiento de las mechas, cubriendo igualmente a estas últimas. (4) Carga y ejecución del terraplén: Se inicia el relleno sobre el geocompuesto, de forma que la presión de sobrecarga del terraplén envíe agua a la unión de las mechas y geocompuestos, y la alivie fuera del relleno. De esta forma, se facilita la consolidación del terreno subyacente al relleno, acelerando el mencionado proceso de consolidación.

Como parte necesaria de la eje-

Debido a la ejecución de estos rellenos blandos, se ha elaborado un programa de auscultación para el control y seguimiento de los asientos producidos

ZONAS DE MECHAS DRENANTES, SECCION TRANSVERSAL. TIPO.

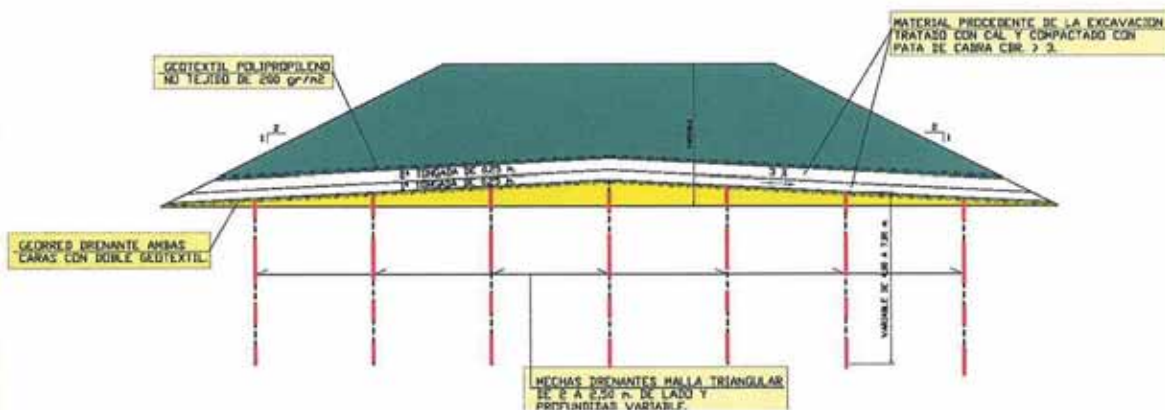


Figura 7. Sección tipo terraplén en zonas tratadas con mezclas drenantes.

cución de estos rellenos sobre suelos blandos, se ha elaborado un programa de auscultación para el control y seguimiento de los asentamientos producidos. En unas zonas de la obra se ha optado por la utilización de líneas de asiento, con objeto de continuar el seguimiento en la fase de explotación; y en otras zonas de la obra, se han utilizado placas de asiento complementadas por ensayos de penetración dinámica antes y después de la consolidación del terreno.

En líneas generales, se ha procedido a una ejecución de los rellenos especiales por fases, comenzándose su ejecución hasta una altura de 5 m, correspondiente a la máxima altura estable del relleno. Una vez comprobado el cese de los asentamientos para el primer escalón de carga, verificándose que se han estabilizado los asentamientos a través de los datos obtenidos por la auscultación, se ha procedido a continuar el proceso de carga del relleno con el siguiente escalón.

Los procedimientos comentados y ejecutados en la formación de rellenos están funcionando con total normalidad, y en el momento actual ya tienen ejecutadas como mínimo las capas para la formación de la explanada. Sí cabe destacar que continúa activo el programa de auscultación en muchos casos, y se prolongará su seguimiento en la fase de explotación de la autopista.

Las unidades de obra más significativas involucradas en el tratamien-

to de terraplenes de suelos blandos son las siguientes:

Geocompuesto 755 583 m²
Mechas drenantes: 1 553 304 m

Innovaciones en sistemas de la autopista AP-41

Con un total de dos estaciones de peaje semitroncales (Madrid y Toledo) y ocho peajes laterales, la autopista Madrid-Toledo es considerada como una de las pocas autopistas de peaje en España que poseen un sistema de peaje semicerrado (figura 3).

Todos los trayectos con origen en Madrid o Toledo se beneficiarán del sistema de peaje abierto, ya que sólo será necesario hacer una parada en destino para abonar el importe del peaje. El sistema abierto dotará a la autopista de gran agilidad, evitando las clásicas retenciones en las entradas a los peajes principales. El resto de los trayectos formará parte del sistema de peaje cerrado, es decir: será necesario recoger un tique en la estación de entrada para entregarlo a la salida, momento en el que se abonará la tarifa según el recorrido efectuado.

Como valor añadido y novedoso, cabe destacar la implantación de un sistema de detección de vehículos basado en tecnología OCR. Diseñado e implantado por la UTE Indra-Isolux, el sistema permite diferenciar de forma rápida la procedencia de los vehículos en los peajes laterales. Un sistema compuesto por pórticos dotados de cámaras y antenas de te-

lepeaje realiza la primera captura de imagen o información de OBE; la imagen captada se analiza por un servidor de control, el cual manda la información a la estación de peaje,

Ficha Técnica

Administración:

Ministerio de Fomento.

Inspector:

D. Javier González Cabezas

Asistencia Técnica: Getinsa.

Jefe de Unidad:

D. Mariano Sánchez Matas, ICCP.

Concesionaria:

Autopista Madrid-Toledo

C.E.A.S.A.

Dirección General:

D. Alfonso Budilño.

Dirección de obra:

D. José Antonio de la Fuente.

Jefe de tramo:

Luis Barceló.

Jefe de sistemas:

D. Santiago de Santiago.

Asistencia técnica:

Euroconsult.

Jefe de unidad: D. Julio Cabezas.

Constructora: UTE Madrid-Toledo.

Gerente: D. José Manuel del Río

Jefe de tramo 1:

D. Francisco Caballero.

Jefe de tramo 2:

D. Carlos Muñoz.

Jefe de tramo 3:

D. Juan Manuel Morales.

Jefe de tramo 4:

D. Javier Fernández.

Jefe oficina técnica:

D. Marcos Chico

Jefe PAC:

D^a M^a Jesús Pérez

Laboratorio:

UTE CIESM-CORVISA.



La autopista AP-41 tiene una longitud de 57 km, y unirá la autovía de circunvalación a Madrid M-40 con Toledo, mediante 14,5 km de la autopista R-5, actualmente en funcionamiento.

donde queda a la espera de la segunda captura ya a nivel de vía, instante en el cual el sistema decide la procedencia y la tarifa.

A la hora de diseñar la vía de peaje, se han tenido en cuenta todos los medios de pago: por este motivo, todas las vías del sistema pueden funcionar en modo manual y automático. Con el objetivo de fomentar el uso del telepeaje, se han instalado antenas en todas las vías, y se ha creado un sistema de descuentos por uso para los usuarios que dispongan de VIA-T o cualquier otro medio de pago electrónico.

Los sistemas informáticos instalados en las estaciones de peaje son de última generación, dando prioridad a la alta disponibilidad y la tolerancia a fallos, garantizando casi en un 100% la integridad del sistema. Un total de 9 unidades componen todo el sistema de gestión de peaje (controladores de estación y servidor de *front-end*).

El sistema central de peaje ubicado en Illescas se ha diseñado como respuesta a un aumento en el número de tránsitos en los peajes. Un *Back*

Office desarrollado a medida procesa diariamente toda la información generada en los peajes, garantizando el flujo correcto de la información y su posterior procesamiento. Análisis de los datos, detección y solución de errores, reclasificación, control de fraude y generación de remesas bancarias son algunas de las tareas que realiza un procesamiento *batch* que se ejecuta cada noche y que se valida cada día por el control del peaje.

Seis bitubos forman la red troncal de datos, compuesta a su vez por nueve nodos troncales del tipo *gigaswitch*. Esta red IP, basada en su totalidad en fibra óptica, permite la comunicación entre todas las estaciones de peaje y la gestión de los equipos de tráfico (ITS), con un total de 13 paneles de mensajería variable, 13 banderolas, 44 parejas de postes de auxilio equipados con tecnología IP en fibra óptica más dos cámaras integradas; 16 cámaras componen el sistema cerrado de televisión (CCTV), 16 estaciones remotas universales (ERU) con estaciones de toma de datos integradas

(ETD), 2 estaciones meteorológicas permiten al centro de control de Illescas llevar un estricto control del estado del pavimento. Un gestor de incidencias de ITS permite a los operadores del centro de control llevar una correcta gestión de todo el sistema.

El centro de control de tráfico ubicado en Illescas estará operativo las 24 horas del día los 365 días al año. Mediante un *videowall* de 2x2 de 50" cada cubo con tecnología DLP, además de 12 monitores TFT murales, el personal de control, compuesto por dos puestos de operación, supervisará el estado de la autopista mediante el sistema de CCTV, además de atender las llamadas SOS y demás incidencias.

Todos los equipos móviles de la concesionaria serán controlados mediante un moderno gestor de flotas, que informará en todo momento de la ubicación exacta de cada vehículo. Como sistema de comunicaciones se dispondrá de una red de radiofrecuencia de dos canales privados, que darán cobertura a toda la autopista. ■