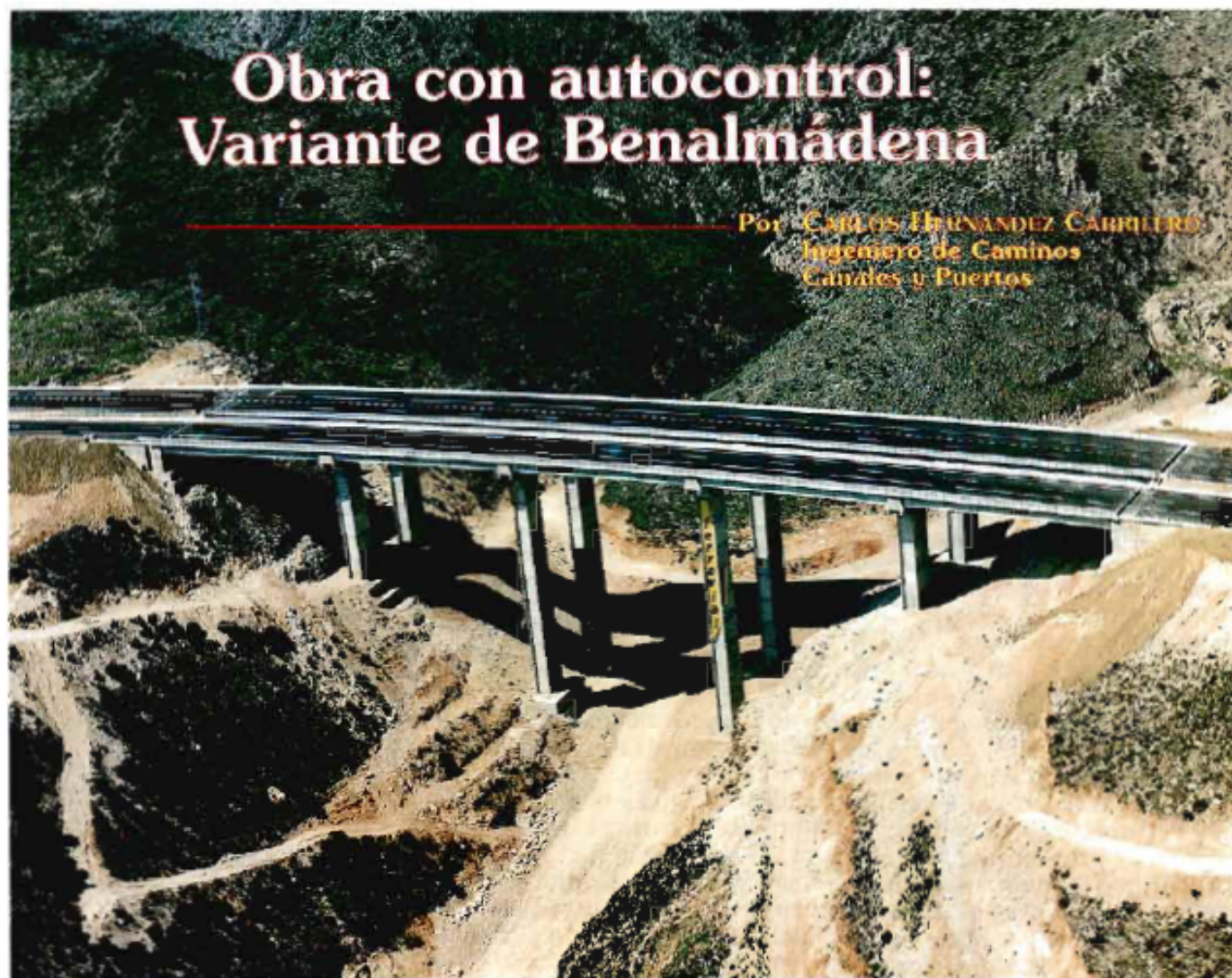


## Obra con autocontrol: Variante de Benalmádena

Por CARLOS HERNÁNDEZ CARRILLO  
Ingeniero de Caminos,  
Canales y Puertos



Viaducto de Benalmádena.

### Objetivos de la obra

**L**A Variante de Benalmádena se inscribe dentro del Primer Plan de Carreteras del M.O.P.T. La variante salva la circunvalación de Torremolinos, la travesía de Benalmádena-Costa y el tramo de peor trazado de la actual CN-340, de Torreblanca del Sol a Torrequebrada.

El objetivo fundamental de la misma es separar el tráfico rápido y de larga distancia del tráfico turístico y costero. Esta separación repercutirá notablemente en el tiempo de recorrido del tramo y en el consumo de combustibles.

Dado el carácter urbanístico de la zona, el trazado se ha proyectado por la parte norte de los munici-



Enlace nº 4.

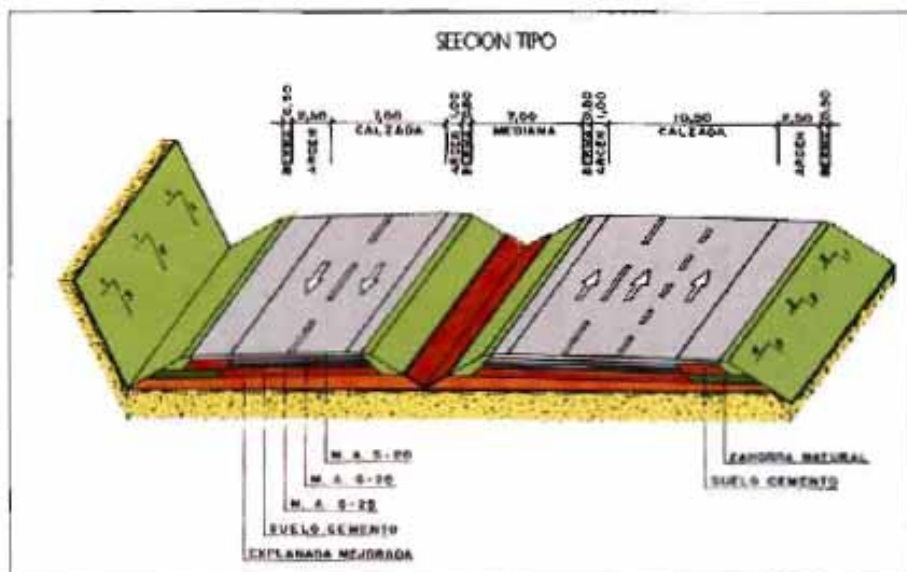
pios para favorecer el desarrollo turístico y no interferir con las urbanizaciones existentes y futuras.

Por último, la Variante de Benalmádena tiene unas características que le permiten integrarse perfectamente en el trazado de la Autopista de la Costa del Sol.

### Proyecto

En Diciembre de 1987 se redactó el Estudio Informativo de la Autovía de la Costa del Sol. En el mes de Mayo de 1989, se redactó por parte de la Demarcación del Estado en Andalucía Oriental, el proyecto de trazado que dio base al concurso restringido del Proyecto de Construcción, con cláusula de autocontrol, de las obras de la Autovía de la Costa del Sol. Tramo de la Variante de Fuengirola a la Va-

“**E**n la Autovía propiamente dicha, la sección transversal está formada por dos calzadas separadas con 7,0 m en la descendente y 10,5 en la ascendente, es decir dos y tres carriles respectivamente; la mediana tiene un ancho de 10,0 m y los arcenes de 2,5 y 1 m respectivamente.”



Sección transversal.

riante de Torremolinos: Variante de Benalmádena, convocado el día 9 de Agosto de 1989. Este Concurso se adjudicó a Ferrovial S.A. en Abril de 1990. El Proyecto de Construcción se desarrolló por la empresa citada, con la colaboración de Urbiconsult y en él se desarrolló el Proyecto de Trazado. Este último permitía solamente cambios en la tipología de obra de fábrica y unidades de obras menores, siendo el trazado, el firme y los enlaces inamovibles. La modalidad de concurso restringido con cláusula de autocontrol obliga al Contratista de dos maneras: la primera, es la realización de la obra a precio cerrado y la segunda, a ejecutar el control de calidad de la obra, control que supervisa la Dirección de Obra de una manera estadística y que puede auditar en cualquier momento.

## Características de la obra

### Descripción

El trazado se inicia en la Variante de Fuengirola a la altura del enlace con la carretera de Mijas, seguidamente gira y se dirige hacia el Norte por el curso del arroyo Pajarés, se llega así al p.k. 2 + 740 en donde el trazado se dirige sensiblemente hacia el Este. Este tramo inicial se considera como la conexión con Fuengirola, cuando en un futuro el trazado tenga continuidad hacia el Oeste, y por ello, tiene unas características geométricas más estrictas.

El trazado sigue hacia el Este y en el p.k. 5 + 500 intercepta la carretera de Benalmádena a Mijas, lugar donde se encuentra situado el tercer enlace. Posteriormente, continúa al Norte de la citada carretera, bordeando la Sierra de Mijas,

pasando por encima de Benalmádena, Veracruz y Arroyo de la Miel, punto en el que se sitúa el cuarto enlace de la Autovía.

La Obra sigue a media ladera en dirección a Torremolinos, pasando por detrás de "Los Manantiales" y del Palacio de Congresos. Justo al Norte del mismo se sitúa el quinto enlace. Finalmente, se dirige hacia la unión con el tramo contiguo: "Variante de Torremolinos-Azuarcera".

### Geología

La Obra discurre por las estribaciones meridionales de la Sierra Blanca. Desde el punto de vista geológico está situada en el borde occidental de la cordillera Bética, y concretamente en la Unidad Bética, que se caracteriza por la presencia de materiales paleozoicos y triásicos.



En la Autovía podemos diferenciar tres unidades:

La Unidad Blanca, que sería la más profunda y que está compuesta fundamentalmente por mármoles. La Unidad Alpujarride, que recubriría la Unidad Blanca, y que está compuesta principalmente por néises masivos en la base y micaesquistos en su parte superior.

La Unidad Malaguide, que está formada por calizas alabeadas en la base, y sobre ella encontramos pizarras con intercalaciones de areniscas.

Discordante sobre el conjunto Bético, se encuentran sedimentos marinos modernos, de edad Pliocena. En esta zona abundan los conglomerados, arcillas y arenas.

Estructuralmente existe cierta homogeneidad en el rumbo y buzamiento de las capas, debido al manto Bético, con los rumbos E-W o NE-SW, y los buzamientos hacia el sur y de valor medio alto (25°). Los materiales del Plioceno suelen estar subhorizontales o con buzamientos menores de 10°.

La fracturación es importante con diversos sistemas de juntas y fallas, especialmente la Unidad Blanca.

### Geométricas

La Variante de Benalmádena tiene una longitud de 18 km. En el primer tramo, la sección está formada por dos calzadas de 7.0 m cada una, con arcén exterior de 2.5 m e interior de 1.0 m. La mediana tiene un ancho de 5 m.

En la autovía propiamente dicha, la sección transversal está formada por dos calzadas separadas con 7.0 m en la descendente y 10.5



Movimiento de tierras.

en la ascendente, es decir dos y tres carriles respectivamente. La mediana tiene un ancho de 10.0 m y los arcenes de 2.5 y 1 m respectivamente. Esto da lugar a que toda la obra esté constituida por cinco carriles que obligan a realizar una plataforma de 40 m de anchura.

El trazado que cumple con las características de A-120, de la Norma 3.1.-I.C., tiene radios míni-



Movimiento de tierras.

mos de 550 m y pendiente máxima de 4.97%. El trazado en alzado tiene además la singularidad de ser constantemente ascendente hasta el punto más alto de la Obra y constantemente descendente hacia el final de la misma.

Por último, la Autovía está proyectada con idea de poder adicionarle un carril más, en cada calzada, por el lado interior.

### Paisajísticas

La ubicación de la Obra en la Costa del Sol, su situación a media ladera, su altura sobre el nivel del mar y la complicada orografía del terreno, producen desde la costa un gran impacto visual. Dada la importancia turística del entorno se han previsto grandes medidas para minimizar este impacto. Las medidas que se han realizado son: recubrimiento de los taludes calizos con tierra vegetal, plantación de especies autóctonas en desmontes y terraplenes, tratamiento de enlaces, plantación de mediana, hidro-siembra colorcada de los taludes de desmonte calizos y realización de una cuneta de protección en la zona de los manantiales de Torremolinos que evite que los vertidos sobre la plataforma puedan contaminar los acuíferos.

### Económicas

El presupuesto de las Obras ascendió a 14 500 Mpts., que da un coste por kilómetro de 800 Mpts. Este presupuesto se reparte en un 34% en movimiento de tierras, un 19% en drenaje, un 20% en estructuras y un 14% en firmes, siendo los demás capítulos los que completan el Presupuesto.

El plazo de ejecución de los trabajos se fijó en 24 meses, y se ha realizado en 21 meses de trabajo real y en 23 desde la firma del acta de replanteo.

### Unidades de obra

#### Movimiento de tierras

Se han movido en la ejecución más de 5.5 millones de metros cúbicos de desmonte y los mismos de terraplén. De ellos, prácticamente, alrededor del 80%, se han realizado con voladura con precorte. Esta cantidad de desmonte hay que incrementarla en los préstamos para



Trazado.

**“Se han ejecutado un total de 16 estructuras: 7 pórticos de 100 m de luz, 6 pasos sobre la autovía de 4 vanos, 1 pérgola de 100 m de largo y un viaducto de doble calzada con cinco vanos.”**

suelo cemento y explanada con lo que la cifra total de excavación se aproxima a los 6 millones de metros cúbicos.

Los rellenos han sido fundamentalmente de dos tipos, pedraplenes con material calizo y terraplenes con el resto de los materiales. El talud de pedraplén se fijó en 4H/3V y el de terraplén en 2H/1V, existiendo dos de ellos que por su altura y ocupación se construyeron en 3H/2V. En cuanto a los taludes de desmorte se ejecutaron, fundamentalmente, con el 1H/1V, aunque existen de otras pendientes en función del estudio geotécnico que se realizaba en campo.

Las alturas de desmorte han llegado a 70 m y las de rellenos a 45 m.

Los equipos de movimiento de tierras estaban formados por una pala CAT-992, un bulldozer CAT D-11, y camiones CAT-777 de 80 t o pala tipo CAT-988B, D-10 y 773 de 50 t. Estos equipos trabajaban a triple turno, así como las perforadoras, de las que se ha llegado a tener hasta 8 unidades.

## Drenaje

La orografía de la Sierra de Mijas es muy accidentada en la zona que atraviesa la Obra y ha obligado a la realización de 140 obras de fábrica de drenaje transversal y para paso de caminos. Las tipologías que se han utilizado han sido las siguientes: bóvedas triarticuladas para pasos de camino y obras de fábrica con mucha carga de tierras, de tamaños desde 10,5 x 5,70 hasta 5 x 2,5; marcos de hormigón armado de 5 x 5, para paso de caminos, y de diversas medidas para drena-

je, siempre que la carga de tierras lo permitía, y tubos de acero corrugado para las obras pequeñas. Las longitudes de las obras de fábrica han superado siempre los 70 m y algunas llegan a los 300 m.

Por último, se están realizando 30 km de cuneta revestida y se han ejecutado grandes encauzamientos de los arroyos paralelos a la traza.

## Estructuras

La realización de la obra llevó aparejada la construcción de 16 estructuras de diversa tipología. Se ejecutaron siete pórticos de 10 m de luz y 6 m de gálibo, con longitudes aproximadas de 50 m; seis pasos sobre la autovía de cuatro vanos, con luces de 25 m y ancho de tablero de 11 m, realizados con doble viga artesa; una pérgola de 100 m de largo y luz de 19 m sobre estribos prefabricados, y un viaducto de doble calzada con cinco vanos, 40 m de luz entre pilas, pilas de 65 m y vigas doble T. Este viaducto está previsto para 4 calzadas en sentido ascendente y para tres en el descendente.



Obra de paso nº 12.

Para la realización de estas estructuras la empresa constructora ha contado con su parque de vigas situado en Pinos Puente, Granada, que ha prefabricado todas las vigas de la obra y los dinteles del viaducto. Dentro del capítulo de estructuras se incluyen los muros, que se han construido con tierra armada fundamentalmente por motivos de cimentación y de altura, realizándose hasta de 3 000 m<sup>2</sup> y 25 m de altura.

## Afirmado

La Variante de Benalmádena se ha proyectado para tráfico T1 y Explanada E3, dentro del catálogo de



Estructura nº 3.

firres de autovías editado por el M.O.P.T. Se escogió la sección 133 para el tronco y 233 para ramales. Esta sección consta de 20 cm de suelo cemento, 10 cm de mezcla tipo G-25, 6 cm de mezcla tipo G-20 y de 6 cm de rodadura tipo S-20, sobre 50 cm de explanada E3.

Las cantidades que se han ejecutado son: 377 000 m<sup>3</sup> de material para explanada, 125 000 m<sup>3</sup> de suelo cemento y 380 000 t de mezclas asfálticas.

Para la fabricación de estas unidades de obra, y más propiamente para los firres, se ha contado con una planta de suelo cemento de 500 t/h y de una de aglomerado de 300 t/h, pertenecientes al parque de maquinaria de la empresa constructora.

La puesta en obra del suelo cemento se realizó con un equipo Guntori que extendía y precompactaba el suelo cemento, seguido de un equipo de compactación formado por un rodillo mixto, un tandem y un rodillo de neumáticos. Este equipo trabajó en todo el ancho de calzada. Con estos medios se han llegado a extender 5 000 t/día, que equivale a 1,2 km de calzada diarios, siendo la media de 1,1 km diarios.

Para la puesta en obra del aglomerado se ha contado con dos extendedoras Demag y sus correspondientes equipos de compactación, más un equipo completo de reserva. Las extendedoras trabajaron en tandem para conseguir el ancho total de calzada. El rendimiento obtenido ha llegado a 3 500 t/día, extendiéndose 1,3 km/día de G-25 y 2,5 de G-20 y S-20.

### Señalización

La señalización se ha realizado, atendiendo a parámetros de Autopista; cada uno de los preavisos, banderolas, pórticos, etc., se han diseñado individualmente calculándose, el tamaño del cartel, las dimensiones de las letras, en función del número de líneas, la importancia del aviso y las condiciones visuales. Otro problema importante ha sido la colocación y cimentación de los distintos elementos, dado el gran tamaño de los mismos.

La señalización, la ejecución de



Planta de aglomerado.

las barreras de seguridad y la señalización horizontal, se han ejecutado en un tiempo récord, estando programado perfectamente el momento de inicio de los trabajos en función del resto de las unidades de obra.

### Servicios

Uno de los capítulos más importantes en el desarrollo de la obra, ha sido la reposición de servicios afectados, ya que este capítulo suele perjudicar mucho la programación de la obra. En ésta nos hemos encontrado con 37 cruces eléctricos, casi todos de alta tensión; la tubería de abastecimiento de la Costa del Sol, el canal Suarez-Borres de abastecimiento a Málaga, dos depósitos e infinidad de pequeñas afecciones. Todas ellas se estudiaron conjuntamente con los Organismos responsables en la fase de proyecto y esto permitió ejecutarlas nada más comenzar las obras, y tenerlas terminadas sin que hayan producido interferencia con el resto de los trabajos.

## Organización, producción, autocontrol

### Organización

La organización que ha llevado a cabo la ejecución de la Variante de Benalmádena se puede resumir de la siguiente manera: un Delegado de Obra del que dependían los Jefes de Obra, de tierras y drenaje, de estructuras, de firres y servicios, el Jefe de la unidad de control y oficina técnica de obra, el Jefe de topografía y el Jefe administrativo. Desde el punto de vista de la producción, la organización era la habitual de una obra salvo por el gran número de personas que la han integrado. La organización del autocontrol se merece una explicación más detallada por ser una figura poco corriente en las empresas constructoras. Esta estaba dirigido por un Ingeniero de Caminos, del que dependían la Oficina Técnica propiamente dicha, que llevaba la coordinación con los distintos proyectistas que han colaborado en la



Oficinas.

Obra, la dirección de la Asistencia Geotécnica y la del Control de Calidad. La Asistencia Geotécnica estaba formada por tres Geólogos a pie de obra controlados por un Ingeniero de Caminos y un Geólogo que visitaban la obra todas las semanas. El Control de Calidad se encomendó a un laboratorio independiente y estaba compuesto por un Ingeniero de Caminos, dos Geólogos, cinco laborantes y dos operadores de nuclear. Esta organización tenía asignado, además, dentro de topografía, un equipo de la misma para realizar sus tomas de datos y sus controles geométricos.

La independencia de la organización de control, respecto de los jefes de obra, venía fijada por las del M.O.P.T., respecto a las obras con autocontrol que fijaban que éste no podía depender de las unidades directamente producidas; criterio que parece perfectamente racional.

## Producción

El reducido plazo de que disponíamos para realizar la obra, obligó a realizar un estudio muy minucioso de la organización. Se realizaron planes de obra de cada capítulo del Proyecto, partiendo principalmente de dos líneas de movimiento de tierras; el diagrama de masas y la producción mensual de los equipos determinaban el rit-

mo de las demás unidades de obra. Hay que tener en cuenta que se ha llegado a producciones de 1 500 Mpts/mes y más de 500 000 m<sup>3</sup>/mes de movimiento de tierras.

La programación se ha cumplido, casi perfectamente, mejorando algunas previsiones. Esto permitió llegar a la fase de firmes con toda la obra libre y conseguir, por lo tanto, un ritmo de extendido muy alto.

## Autocontrol

El Autocontrol se organizó, desde el primer momento, como Aseguramiento de Calidad, modalidad que nos pareció la más interesante desde el punto de vista de la calidad de la obra, la programación, y el costo de la misma.

El equipo de Autocontrol tenía, asignadas, tres labores diferenciadas; la coordinación de la distintas oficinas técnicas que han realizado los proyectos de detalle, el seguimiento de los informes geotécnicos, y el control de calidad propiamente dicho. El equipo geotécnico ha sido el mismo tanto en la redacción del Proyecto de Construcción como en la ejecución de la obra. Los proyectos se han realizado, principalmente, en nuestra oficina técnica llevándose desde obra la coordinación de los distintos trabajos. El control de calidad estaba compuesto por el equipo de control y un laboratorio a pie de obra ca-

## ORGANISMOS Y PERSONAS

Dirección de carreteras de Andalucía Oriental

D. Rafael Villar Riosco

Dirección de Obra

D. Juan Francisco Martín Enciso

Asesor

D. Luis Tobaruela Martínez

Asistencia a la Dirección de Obra

Inocsa

D. Jesús González Ramos

Empresa Constructora

Ferrovial

Director Regional

D. Gabriel Aparicio Soto

Delegado de Obra

D. Carlos Hernández Carrilero

Jefe de Estructuras

D. Tomás Camero Uclés

Jefe de Tierras y Obras de Fábrica

D. Justo Santos Toledano

Jefe de Oficina Técnica

D. Andrés Valdes

Jefe de Topografía

D. Fernando Bernal

Asistencia Geotécnica

Geostudios y Euroestudios

D. Miguel Ángel Rodríguez Miranda

D. Enrique Lucha

Asistencia de Autocontrol

Protimec

D. Miguel Ángel Collado

Proyecto

Oficina Técnica de Ferrovial

D. Fermín Velasco

D. Santiago Pérez Fadón

Urbaconsalt

D. Antonio Madrid

Siegrist y Moreno

D. Juan Moreno Torres

paz de realizar todos los ensayos necesarios para una obra de carreteras. El control topográfico estaba asignado al equipo de topografía de la obra. Toda la información generada se utilizó para la búsqueda de materiales, la prevención de deslizamientos, la comprobación de las cimentaciones, etc. El Autocontrol es una herramienta muy útil dentro de la obra que nos ha permitido mejorar la ejecución de la misma, resolver los problemas que nos han ido apareciendo y, por lo tanto, mejorar el cumplimiento de la planificación de la obra.

## Movimiento de tierras

### Desmontes

Como se ha expuesto en el párrafo anterior, el movimiento de tierras es uno de los capítulos más importantes de la obra, no sólo por la importancia del volumen total (5 700 000), sino por la compleji-



Enlace nº 3.

dad geotécnica y la gran altura de los mismos. Nos encontramos desmontes de hasta 60 m en rocas. Estos desmontes se han seguido día a día para poder fijar, primero las características del talud, y luego comprobar la adecuación de las previsiones a la realidad y la buena ejecución de los mismos.

Los taludes más usuales que se han ejecutado son: talud 1V: 1H, 2V: 1H, 2V: 3H en calizas según las características de los desmontes.

La ejecución del movimiento de tierras ha sido muy rápida, alrededor de 500 000 m<sup>3</sup>/mes, y ha implicado una atención constante del equipo geotécnico para poder minimizar las pérdidas de rendimiento y evitar los riesgos de caídas inesperadas.

El control de los desmontes se comenzaba desde el principio de la excavación; se realizaban controles periódicos del ajuste del talud, cada tres metros aproximadamente, de la inclinación de los estratos para comprobar in situ la adecuación del estudio previo a la realidad; además este control ha servido para mejorar las condiciones de seguridad en la ejecución puesto que permitía prever los posibles desprendimientos.

### Rellenos

Como hemos mencionado anteriormente existen dos tipos fundamentales de rellenos: los ejecutados con material calizo procedente de voladura, pedraplenes, y los ejecutados con el resto de los materiales. En los primeros el talud es

de 4H/3V y en los segundos de 2H/1V. Dentro de estos últimos hay dos realizados con el 3H/2V, con pizarras y peridotitas, con una altura de 45 m. Estos rellenos fueron objeto de un estudio especial del Autocontrol que consistió en: análisis del material, ensayos edométricos, ensayos triaxiales, cálculo de la estabilidad y puesta a punto del método de compactación. Dada la importancia del relleno se han instalado células de medición de asientos para comprobar el comportamiento del material, y su adecuación al modelo teórico. Este mismo control se ha realizado en los pedraplenes calizos más altos. Estos estudios han registrado, hasta la fecha, un comportamiento del material muy parecido al teórico.

Los estudios realizados para la optimización de las compactaciones de los rellenos y los espesores de tongadas en función del material, han permitido a la Producción de la obra tener una herramienta muy versátil y aprovechar los medios de manera óptima.

## Viaducto de Benalmádena

### Descripción general

Se encuentra ubicado en el centro de la Variante de Benalmádena y constituye, por su naturaleza, la estructura más importante y singular de la misma. En realidad habría que hablar de dos viaductos, pues cada calzada de la autovía cuenta con una estructura diferenciada.

La longitud de los tableros es



Enlace nº 5.



Viaducto en construcción.

de, aproximadamente, 200 m y están formados por cinco vanos cada uno, de luces prácticamente iguales. El tablero de la calzada derecha (sentido Fuengirola-Málaga) tiene un ancho de 14 m mientras que el de la izquierda es de 17,50 m. Ambos están constituidos por un cuerpo de vigas por cada vano, tipo I, de 5 Uds., la calzada derecha y 6 a la izquierda, y una losa continua de hormigón de 25 cm de canto mínimo. Las losas no cuentan con juntas de dilatación salvo las situadas en los estribos.

En la zona de los viaductos, la autovía describe, en su trazado en planta, una curva circular de radio 720 m (en la mediana) y en alzado el perfil longitudinal presenta un acuerdo vertical de parámetro 15 606 kv, con pendientes de entrada del 4,45% y salida del 1,38%. La calzada derecha cuenta con dos carriles de descenso mientras que la izquierda cuenta con tres de ascenso, de 3,50 m de anchura cada uno, además de arceñes de 1,5 m el exterior y 1,00 m, el interior. Las losas están separadas entre sí 7 m y se encuentran ya habilitadas para su futura ampliación por un carril adicional.

Las pilas están huecas en su interior y su sección estructural es rectangular de dimensiones 5 x 3 m las de la calzada derecha y 7 x 3 m las de la izquierda. El espesor de las paredes de hormigón es de 30 cm. Cuentan con unas pequeñas aletas en las esquinas que les confieren forma de H. La altura máxima hasta cota de tablero es de 56

**“Durante la ejecución del viaducto se produjo un deslizamiento, en la ladera Oeste, que afectó al emplazamiento de las pilas y estribos, y que dio lugar a una gran obra de sostenimiento.”**

m. Para su ejecución se han empleado dos juegos de encofrado trepante de 5 m de altura, consiguiéndose, salvo en las primeras “tongadas”, un ritmo de ejecución de una “trepá” cada dos días con cada juego.

Sobre la pila se colocó un dintel prefabricado en nuestro parque, que posteriormente se giraba.

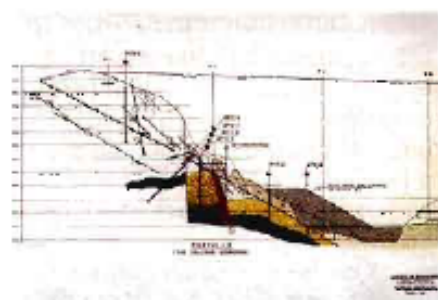
El tablero es de vigas y losa de hormigón. Las vigas se han lanzado con carro lanzador, llegándose a seis unidades día.

Durante la ejecución del viaducto se produjo un deslizamiento, en la ladera Oeste, que afectó al emplazamiento de las pilas y estribos, y que dio lugar a una gran obra de sostenimiento.

## Deslizamiento

*Descripción de la ladera del viaducto.*

El área de ubicación donde se cimienta el Viaducto de Benalmádena está compuesta de mármoles más o menos brechificados, bajo un escaso recubrimiento de suelos. El valle tiene fuertes pendientes en ambas márgenes e incluso escarpes de altura moderada en el lado Fuengirola; en este último se produjo el deslizamiento.



Planta de deslizamiento.



Viaducto en deslizamiento.

En la ladera existen tres planos principales de fractura que sirven de referencia para la interpretación de las condiciones litológicas y estructurales del macizo rocoso.

- El cantil rocoso que delimita la ladera por el norte, con dirección oblicua a la traza, coincide sensiblemente con una falla (“L”) prácticamente vertical que va asociada a una franja de roca milonitizada y carstificada de unos dos o tres metros.

- En la parte posterior de las pilas 1, y coincidiendo con el paramento posterior de las zapatas, existe una falla (“K”) transversal a la traza y de buzamiento vertical, que presenta un relleno arcilloso de 10 a 20 cm de espesor.

- Por último, existe un plano de discontinuidad (“C”) de rumbo paralelo a la ladera y buzamiento de unos 30°. Hacia el exterior de la misma, que tiene un relleno arcilloso de unos 50 cm de espesor.

## Proceso del deslizamiento

Tras realizarse las excavaciones correspondientes a las pilas P-3 y P-4 ubicadas en la ladera de Torremolinos, y encontrándose hasta el momento todos los datos según lo previsto, se iniciaron las excavaciones en la ladera Fuengirola, de forma simultánea en las pilas P-1 y P-2. El terreno se ajustaba a lo previsto en la pila P-1, pero en la pila P-2, y hacia el fondo de la excavación, aparecía un plano de discontinuidad neto, de orientación sensiblemente paralela a la ladera y que ponía en contacto los mármoles su-

nos con una formación subyacente de calcoesquistos meteorizados.

A favor de este plano de discontinuidad, descalzado por la excavación y con buzamiento medio de 30° se produjo el deslizamiento. La zona deslizada tiene un frente de unos 40 m y su longitud, entre el pie de la rotura y la coronación del escarpe, es de unos 30 m. El espesor de la masa deslizada varía entre 6 y 8 m; por lo tanto el volumen de roca afectado es 9 000 m<sup>3</sup> aproximadamente.



Perfil geotécnico.

Nada más producirse el deslizamiento se construyó un contrafuerte de tierras, de 20 m de altura y 10 m de espesor sobre la masa deslizada, con objeto de evitar la progresión de la rotura. Este se realizó con material tipo todo-uno.

Partiendo de la denominación de las fallas y plano del apartado anterior, se entiende que todos los



Alternativas llaves de hormigón.

deslizamientos se han producido sobre el plano “C” y su escarpe se ha ido retranqueando hasta alcanzar la falla “L”, en prolongación del cantil natural que delimita el norte de la ladera.

## Campaña de reconocimientos

Una vez realizado el contrafuerte de tierras, indicado anteriormente, se inició el estudio geotécnico, encaminado a obtener un conocimiento preciso de las condiciones geológico-geotécnicas del macizo rocoso. —en superficie y en profundidad—, a interpretar la posible

evolución del deslizamiento y a definir y optimizar las medidas de estabilización.

Para realizar este estudio se llevaron a cabo las siguientes investigaciones:

- Cartografía geológico-geotécnica de la ladera sobre un taquímetro escala 1:200.

- Excavación de 12 calicatas.
- Apertura de zanjas en mármol con martillo rompedor, para el reconocimiento de las características geomecánicas de los planos de discontinuidad.

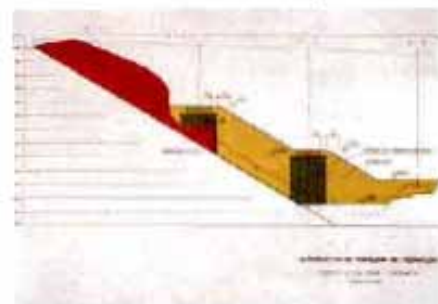
- Perforación de 4 taladros a rotoperforación, con un total de 60 m taladrados.

- Perforación de 12 sondeos a rotación, con un total de 195 m perforados.

La realización de este trabajo ha sido llevada por el equipo de asistencia geotécnica de la obra, asesorados por personal de Euroestudios y Geostudios. Las personas que realizaron la cartografía, llevaron además la supervisión y registro de los sondeos de forma permanente; estos últimos fueron realizados por la empresa Site, S.A.

#### Solución definitiva

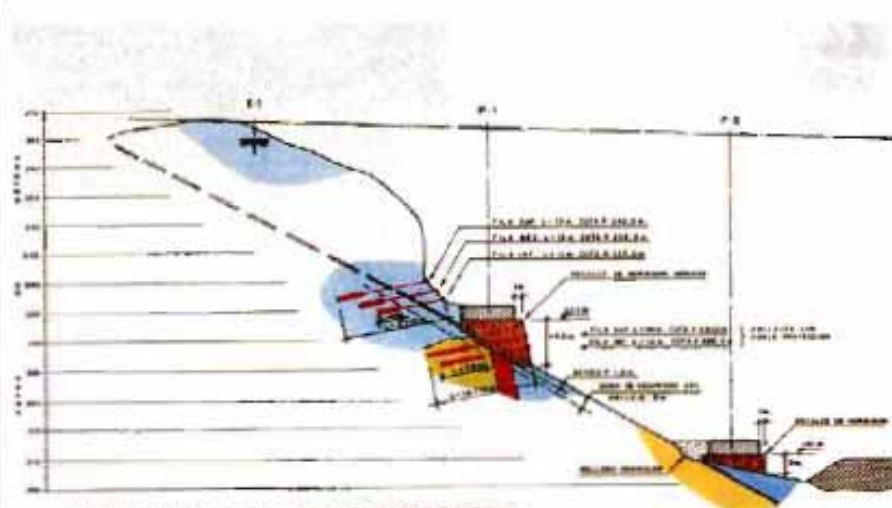
Partiendo de la descripción del terreno realizada en los puntos anteriores, y teniendo en cuenta la falta de continuidad del plano "C"



Alternativa pedraplén.

detrás de las fallas verticales, se consideró tratar las dos zonas potencialmente inestables de maneras distintas:

- Al este de la falla "U", donde el plano sirve de contacto entre los mármoles y los calcoesquistos, se consideró que el plano tenía una continuidad del 100%, con relleno arcilloso de 50 cm y espejos de falla de origen tectónico. Del análisis de las arcillas que componían el material de relleno, se dedujo, una cohesión cero y un ángulo de fric-



200m. Sección de un Talud a pie de la ladera, a pie de la ladera, y a pie de la ladera.

ESTUDIO DE ESTABILIDAD  
LADERA, CALZADA  
ESTABILIZACIÓN EN EL DOMINIO DE LA CALZADA DERECHA  
Escala 1:500

#### Solución adoptada.

ción de 29 a 34 grados, por lo que se adoptó:

$$= 20^\circ \text{ y } c' = 0$$

- Al oeste de la falla "K", donde el plano atraviesa un macizo rocoso constituido casi por completo por mármoles, podemos considerar la no continuidad total del plano, la posibilidad de un relleno de arcilla discontinuo de 10 a 30 cm, y en parte relleno arenoso; y cabe también tener en cuenta la existencia de puentes de roca, que aumentan de manera apreciable el coeficiente de seguridad, por lo que se adoptó:

$$= 30^\circ \text{ y } c' = 0$$

La solución definitiva fue:

Oeste de la falla "K"

- Fuerza de retención de 10 500 t, 84 anclajes de 120 t, inclinados  $10^\circ$  con la horizontal.

- Longitud de la zona libre del anclaje debería sobrepasar en dos metros el plano "C".

- Longitud de la zona de anclaje de cuatro metros supuesta una adherencia de lechada-mármol de

20 kg/cm y factor de seguridad 2.

- Longitudes de los anclajes de 17 m, con un total de 1 176 m, dispuestos en tres filas separadas metro y medio verticalmente, y uno horizontalmente.

Este de la falla "K"

- Fuerza de retención de 7 100 t, equivalente a 60 anclajes de 120 t, inclinados  $10^\circ$ .

- Longitud de zona libre de dos metros.

- Longitud de zona de anclaje de cuatro y siete metros y medio, en el dominio de las calzadas derecha e izquierda respectivamente, con una adherencia lechada-mármol de 20 kg/cm<sup>2</sup> en la calzada derecha, y de 10 kg/cm<sup>2</sup> en la izquierda por estar estos situados en la alternancia de calcoesquistos y mármoles; en ambos casos con factor de minoración 2.

- Longitudes de los anclajes de 17 m, con un total de 936 m, y situados a un metro en vertical y 1,25 m en horizontal en la calzada derecha, y a 1,25 horizontal y 2,0 vertical en la izquierda.

Esta solución se complementaba con la ejecución de un elemento de reparto en la calzada derecha, justo delante del apoyo de la zapata de la pila P-1. La ejecución de un basamento de apoyo para la zapata P-1 izquierda que a su vez servía de elemento para la instalación de los anclajes. En la zona superior, anclaje del bloque situado al oeste de la falla "K", los ancla-



Anclajes.

“

P

ara la construcción de los dinteles se ha empleado un innovador procedimiento que hace del Viaducto de Benalmádena una obra singular y notable.”

jes se realizaban inmediatamente detrás de las excavaciones de las pilas uno disponiendo, además, un elemento de reparto para poder realizar la puesta en tensión con garantías.

## Lanzamiento de dinteles

Para la construcción de los dinteles se ha empleado un innovador procedimiento que hace del Viaducto de Benalmádena una obra singular y notable.

El procedimiento ha consistido en el lanzamiento de dinteles prefabricados mediante carro lanzador de vigas, desde el acopio situado en los estribos del puente hasta las pilas, de forma análoga a como se lanzan las vigas, y su giro posterior mediante un conjunto de gatos hidráulicos capaces de mover la pieza prefabricada hasta situarla en su posición definitiva.

Las diferentes operaciones y fases en las que se desarrolla la ejecución y puesta en obra de los dinteles prefabricados son:

- 1) preparación de la pila.
- 2) preparación del dintel.
- 3) lanzamiento del dintel mediante carro lanzador.
- 4) colocación sobre el gato de giro.
- 5) giro del dintel hasta su posición definitiva.
- 6) hormigonado del dintel.

En la parte superior de la pila hay que realizar una plataforma completamente exenta, para que el dintel en su movimiento de giro no se encuentre ningún obstáculo; también es necesario prever los anclajes para el anillo de giro, las torres de apoyo de carro lanzador y los conectores con el dintel, estos últimos se realizaron con mangui-



Proceso de giro de dinteles.

tos gewí colocados a ras de la plataforma.

El dintel hay que disponerlo, en el acopio, de forma que el carro lo pueda cojer. Para esta operación se contaba con dos “elefantes” que lo transportaban hasta el sitio preciso; posteriormente, se montó una estructura interna que se apoyara sobre los cuatro gatos que deslizan sobre el anillo de giro. Estos gatos están dispuestos en cruz y se apo-

yan sobre el anillo de giro sobre una plancha de teflón. A su vez el anillo de giro es de acero inoxidable lo que reduce al mínimo el rozamiento. Los gatos que producían el giro eran de 10 t, para mover una pieza de más de 100 t. El lanzamiento del dintel se realiza con “carro lanzador” de vigas, modificado, para que pueda llevar interiormente el dintel. El carro lo transporta y lo deja en posición



Detalle de colocación del anillo de giro.



longitudinal. En este momento hay que retirar los apoyos provisionales del carro antes de poder realizar el giro. Una vez realizado el giro el sistema permite unos pequeños ajustes de la posición y ya colocado en su sitio se apoya sobre la pila.

Por último, se procede a hormigonar los tímpanos del dintel y a desmontar la estructura interna y el anillo de giro para sacarlos por una boca de hombre existente en el dintel, y poder utilizarlos en el próximo lanzamiento.

## FICHA TÉCNICA

|                                                                                         |                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Excavación (75% voladura).....                                                          | 5 700 000 m <sup>3</sup> |
| Terraplén.....                                                                          | 5 700 000 m <sup>3</sup> |
| Explanada.....                                                                          | 400 000 m <sup>2</sup>   |
| Suelo Cemento.....                                                                      | 120 000 M <sup>3</sup>   |
| Mezclas Bituminosas.....                                                                | 290 000 t                |
| Hormigones.....                                                                         | 80 000 m <sup>3</sup>    |
| Acero AEH - 500 N.....                                                                  | 4 000 000 kg             |
| Obras de Fábrica.....                                                                   | 102 Uds.                 |
| Muros (7 Uds.).....                                                                     | 8 675 m <sup>2</sup>     |
| Estructuras Superiores.....                                                             | 7 U.                     |
| Estructuras Inferiores.....                                                             | 8 U.                     |
| Viaducto de Benalmádena: doble calzada, 65 m de altura y 200 m de longitud por tablero. |                          |
| Restauración Paisajística                                                               |                          |
| Recubrimiento de Taludes.....                                                           | 495 000 m <sup>2</sup>   |
| Plantaciones en Terraplenes.....                                                        | 293 000 m <sup>2</sup>   |
| Plantaciones en Desmontes.....                                                          | 127 500 m <sup>2</sup>   |
| Alineaciones de Árboles.....                                                            | 6 600 m                  |
| Plantaciones en Mediana.....                                                            | 16 450 m                 |
| Número de Plantas.....                                                                  | 120 000 U.               |

Con este método puesto a punto una altura de 45 m, y sin posibilidad de acceder con grúas. ■

Carlos Hernández Carrilero fue Delegado de Obra de Ferroviario.