

# ESTUDIO DEL NUEVO ALIVIADERO EN TÚNEL DE LA PRESA DE EL LIMONERO (MÁLAGA)

Juan Antonio Rodríguez Arribas

Ingeniero de Caminos Canales y Puertos

*Director Técnico de la Confederación Hidrográfica del Sur*

José Luis Manzanares Japón

Dr. Ingeniero de Caminos Canales y Puertos

*Catedrático de Estructuras de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla*

*Presidente del Grupo de Ingeniería AYESA*

Guillermo Bravo Guillén

Dr. Ingeniero de Caminos Canales y Puertos

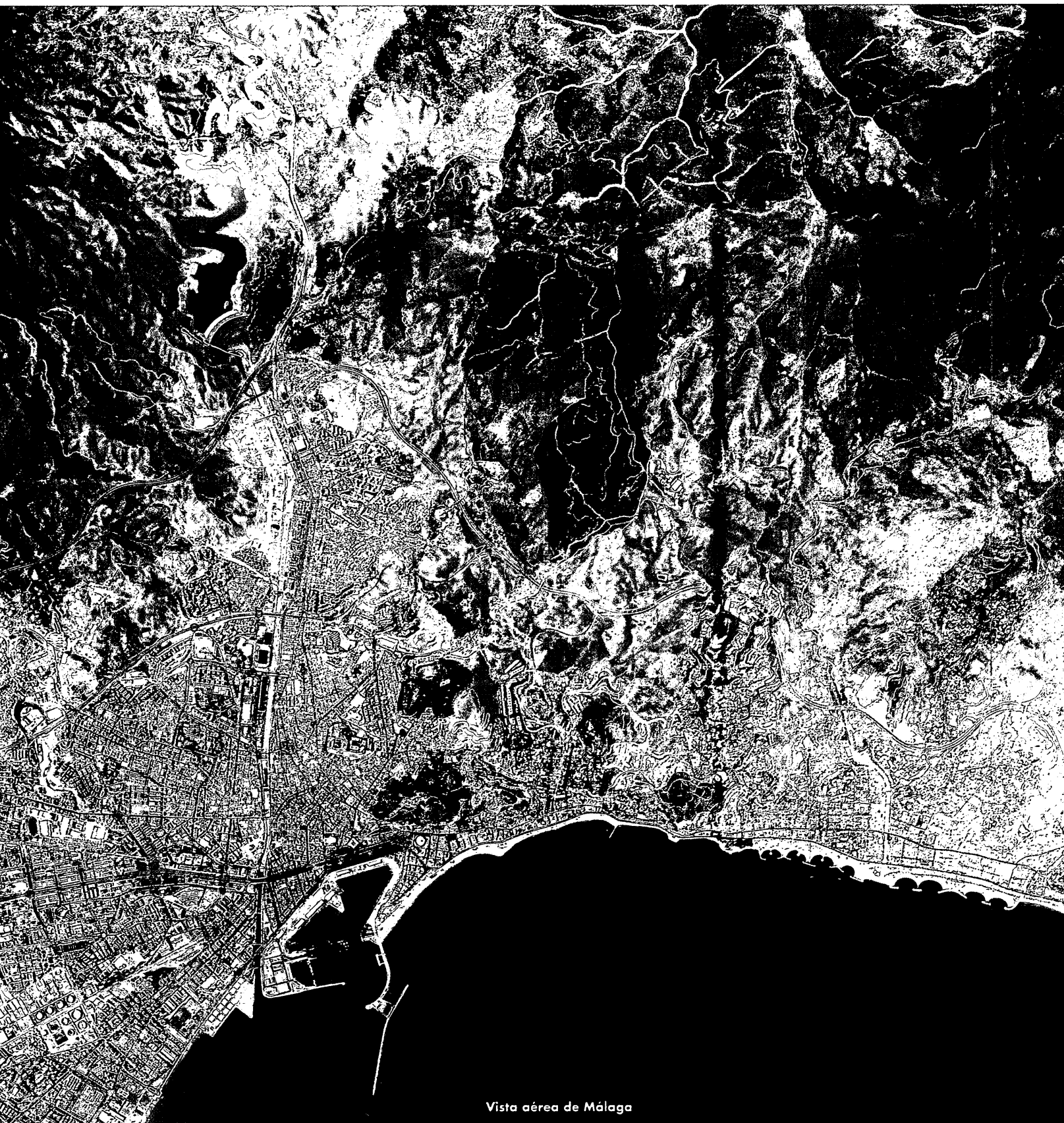
*Miembro del Comité Nacional de Grandes Presas Españolas*

## RESUMEN

La historia de Málaga ha estado jalonada por numerosos episodios de inundaciones, provocadas por las avenidas del río Guadalmedina. En 1924, tras las devastadoras inundaciones de 1907, quedó concluida la Presa de el Agujero, de 5 Hm<sup>3</sup> de capacidad, con el único objetivo de laminar las avenidas. Junto a esta presa, las diferentes actuaciones de defensa y acondicionamiento del cauce en su tramo urbano, han defendido la ciudad hasta la década de los ochenta. En 1983 se finalizó la construcción de la Presa de El Limonero, situada aguas abajo de la anterior, con 42 Hm<sup>3</sup> de capacidad, garantizándose así la seguridad de la ciudad de Málaga frente a las avenidas. No obstante, la conveniencia de eliminar la evacuación de los caudales laminados por el embalse, a través del tramo de cauce que discurre por el casco antiguo de la ciudad, plantea la necesidad de acometer un nuevo aliviadero para la presa de El Limonero, que entregue los caudales de avenidas directamente al mar. En el presente artículo se analizan las posibilidades de este nuevo aliviadero en relación a su tipología y emplazamiento.

## ABSTRACT

The history of Malaga has been marked by numerous floods caused by the swelling of the River Guadalmedina. After the devastating floods of 1907, the Agujero Dam was built in 1924, with a 5 Hm<sup>3</sup> capacity and with the sole object of controlling the freshets. Together with this dam, various defences and bank protection to the urban stretch of the river have served to protect the city up to the eighties. In 1983 the El Limonero Dam was completed, this dam being set downstream of the earlier dam and with a 42 Hm<sup>3</sup> capacity which has served to guarantee the safety of the city of Malaga against flooding. However, the need to eliminate the evacuation of flows split by the reservoir, through the section of river flowing through the old part of the city, has led to plans to install a new spillway in the El Limonero dam which will force the freshet flows directly into the sea. The present article analyses the possibilities of this new spillway in terms of characteristics and positioning.



Vista aérea de Málaga

## ANTECEDENTES

La historia de Málaga y el río Guadalmedina está marcada por numerosos episodios de inundaciones, lo que ha inducido a la construcción de numerosas obras de encauzamiento y defensa en este río, entre las que se encuentran lógicamente la construcción de embalses para la regulación de la cuenca. Dentro de estas actuaciones hay que destacar la construcción de las presas de El Agujero (1924) y de El Limonero (1983), situadas justo al norte de la ciudad, y las sucesivas obras de encauzamiento del último tramo del río Guadalmedina a su paso por la ciudad de Málaga.

A unos 8 kilómetros de la desembocadura del río Guadalmedina se encuentra la presa del Agujero.

La presa de El Limonero se construyó unos 2,5 km aguas abajo de la anterior y su embalse inunda parcialmente el cuerpo de la presa de El Agujero. Esta presa regula la mayor parte de la superficie de la cuenca del río Guadalmedina (158 de los 182 km<sup>2</sup> totales). El objetivo fundamental de esta presa es precisamente la laminación de las avenidas del río; no obstante, sirve además, aunque de forma actualmente secundaria, como fuente de suministro para el abastecimiento de la ciudad. A continuación se resumen las características más importantes de la presa, su embalse y la cuenca de aportación.

El río Guadalmedina se encuentra encauzado desde la presa de El Limonero hasta su desembocadura en el mar en una longitud aproximada de 5,5 km. El cauce ha sido sometido a sucesivas obras de defensa, datando la de mayor antigüedad y significación del año 1923 y las más recientes las realizadas en la última década.

Este encauzamiento recoge las aguas de los 24 km<sup>2</sup> de cuenca que se encuentra sin regular y los caudales evacuados por el aliviadero de la presa. El caudal de diseño del encauzamiento es de 600 m<sup>3</sup>/s.

### CUENCA

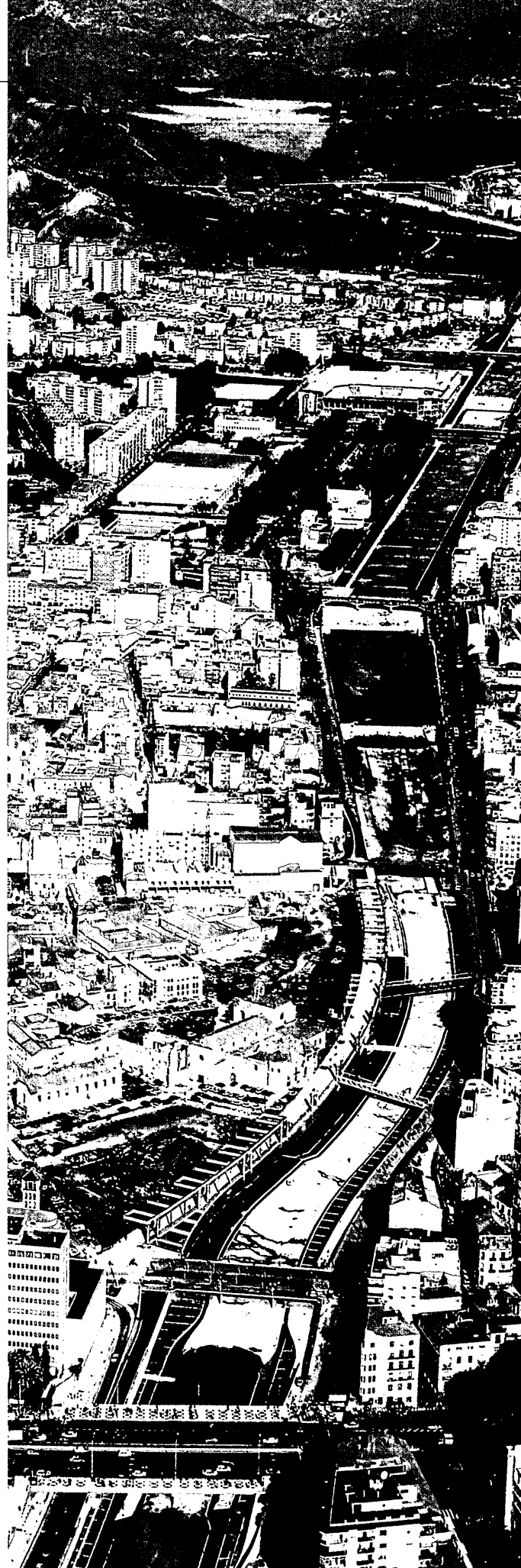
Longitud del río hasta la presa.....	37,1 km.
Tiempo de concentración:.....	6 h
Superficie: .....	158 km <sup>2</sup>
Precipitación media anual: .....	542 mm.
Aportación media anual: .....	15 hm <sup>3</sup>

### EMBALSE

Cota nivel máximo normal:.....	104 m.
Volumen:.....	25 hm <sup>3</sup>
Superficie: .....	105 ha.
Nivel de Avenida de Proyecto:.....	118.1 m.

### PRESA

Tipología: materiales sueltos con núcleo central	
Cota de coronación.....	121 m.
Longitud de coronación .....	414 m.
Altura sobre cimientos.....	95 m.
Aliviadero de labio fijo .....	109 m.



Vista del Encauzamiento del Río Guadalmedina en Málaga

**DATOS HIDROLÓGICOS**

La máxima avenida para un período de recurrencia de 10.000 años tiene un caudal punta de 1.238 m³/s (alcanzado en la tormenta de diseño de 6 h) y un volumen máximo de 26,30 hm³ (alcanzado en la tormenta de diseño de 12 h). Para el control de los caudales ordinarios y extraordinarios, la presa cuenta con los siguientes órganos de desagüe: aliviadero de superficie ( $Q_{m\acute{a}x} = 614 \text{ m}^3/\text{s}$ ), desagües de fondo ( $Q_{m\acute{a}x} = 100 \text{ m}^3/\text{s}$ ) y torre de toma para abastecimiento. Los órganos de desagüe de la presa fueron diseñados para crecidas de 10.000 años de periodo de recurrencia que se corresponden con tormentas de cálculo de diferentes duraciones (6, 9 y 12 horas). Los caudales punta y volúmenes de avenida afluentes al embalse para ese periodo de retorno son los reflejados en el cuadro 1.

Con las características descritas de los elementos de desagüe, los hidrogramas de avenida y de las curvas altura-superficie y altura-volumen del embalse de El Limonero, se ha calculado el efecto de laminación del embalse frente a las avenidas afluentes al mismo. Los resultados obtenidos se muestran en el cuadro 2.

CUADRO 1		
Duración de la tormenta (h)	$Q_{m\acute{a}x}$ (m³/s)	Volumen avenida (hm³)
6	1.238	20,3
9	1.109	22,7
12	812	26,3

CUADRO 2			
Nivel inicial (m)	Nivel final (m)	Q laminado (m³/s)	Tormenta '(h)
80	111.86	83	6
82	112.40	109	6
84	112.94	137	12
86	113.47	167	12
88	114.01	199	12
90	114.56	234	12
92	115.09	270	12
94	115.62	307	12
96	116.15	346	12
98	116.66	384	12
100	117.16	423	12
102	117.64	462	9
<b>104</b>	<b>118.10</b>	<b>500</b>	<b>9</b>
106	118.53	536	6
108	119.07	583	6
109	119.33	606	6

(1) Se ha anotado la tormenta más desfavorable de las tres duraciones analizadas

**PROBLEMÁTICA**

Tras un análisis de los resultados anteriormente expuestos se concluye, que para el nivel máximo de explotación vigente actualmente en el embalse de El Limonero (104 m), el caudal aportado al encauzamiento para una avenida de 10.000 años de período de retorno es de 500 m³/s de la presa, a los que hay que añadir los caudales de la cuenca no regulada de aguas abajo. La coincidencia de ambas puntas de caudal es remota, pero su ocurrencia agotaría la capacidad del encauzamiento.

**ALTERNATIVAS**

Ante esta situación se ha abordado el análisis de alternativas que permitan reducir estos caudales a su paso por la ciudad y que permitan mejorar aún más la seguridad de la ciudad. Existen varias medidas a adoptar para conseguir el objetivo anterior, tanto estructurales como administrativas y de gestión:

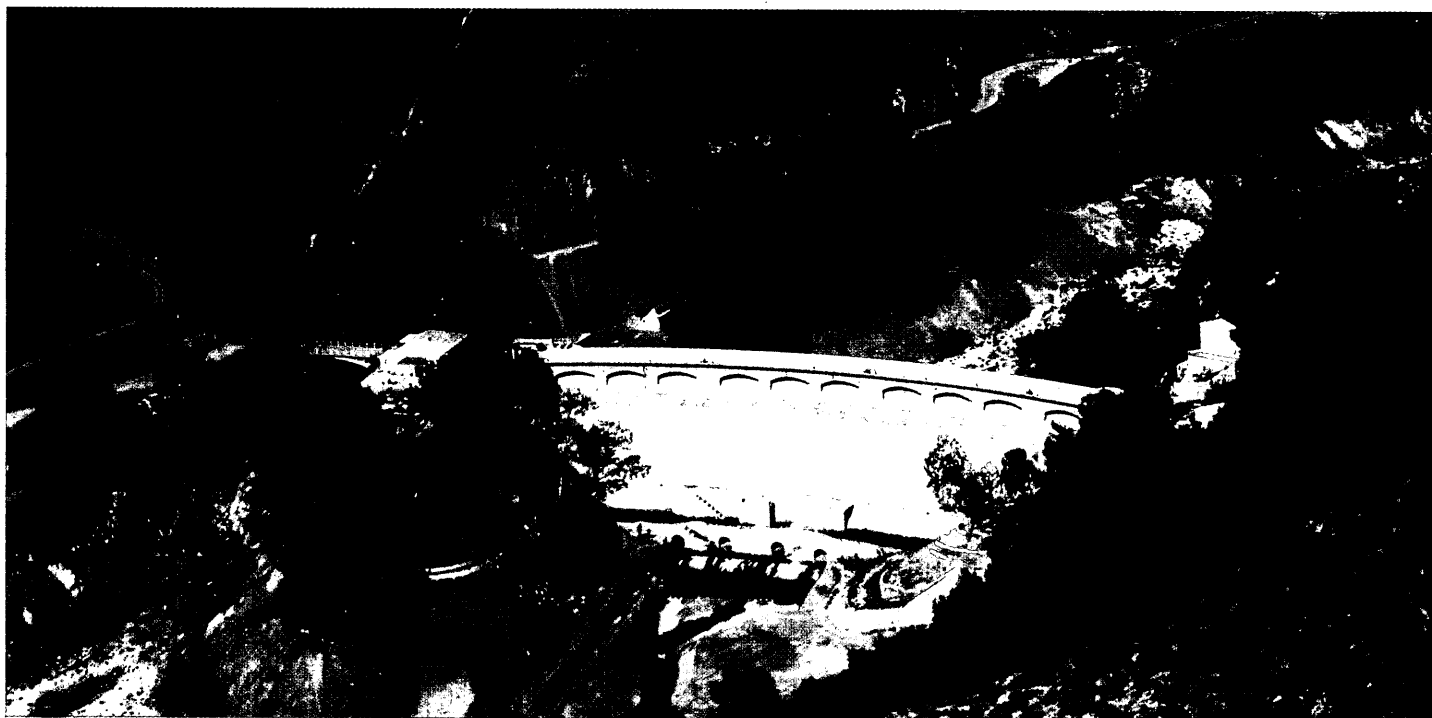
▼ **Reducción del nivel máximo de explotación en el embalse de El Limonero:** Aunque es la solución óptima desde un punto de vista económico, no es la más recomenda-

ble por la pérdida de los recursos hídricos regulables y que agravaría aún más la situación actual deficitaria de los recursos frente a las demandas en el sistema de abastecimiento a la ciudad de Málaga.

▼ **Nuevas obras de regulación en la cuenca:** Sería la solución idónea, pero es inviable debido a que la orografía y ordenación del territorio imposibilita el emplazamiento de nuevos grandes vasos receptores.

▼ **Trasvases extraordinarios a otras cuencas:** Reducir puntas de caudales en avenidas precisaría de enormes dimensionamientos y, consecuentemente, de inversiones desproporcionadas. Además, las infraestructuras hidráulicas de los potenciales sistemas de explotación receptores (Sistema Viñuela por la margen izquierda y Sistema Casasola por la derecha), son incapaces de absorber las puntas del calibre de las comentadas.

▼ **Evacuación de los caudales de crecida del embalse directamente al mar a través de un túnel- aliviadero:** A la vista de todo lo anterior, se trata de la solución idónea y definitiva para evitar cualquier tipo de riesgos en relación a los caudales de crecida que el río Guadalmedina aporta a



Vista de la Presa de "El Agujero"

través del embalse de El Limonero a la ciudad de Málaga. Este aliviadero sustituiría al actual de la presa.

### **NUEVO ALIVIADERO DEL EMBALSE DE EL LIMONERO**

Se ha establecido como cota del umbral del labio del nuevo vertedero la misma que el nivel máximo de explotación del embalse, es decir, la 104. Tal criterio se ha tomado con la intención de no reducir los niveles de explotación actuales.

En el estudio particular del emplazamiento de la obra de toma del nuevo vertedero se ha tenido en cuenta la singularidad que en el proceso de laminación de las crecidas, pueda tener la especial configuración y situación de la presa de El Agujero. En consecuencia se han analizado dos posibilidades para la ubicación del vertedero del aliviadero: vaso del embalse de El Limonero o vaso del embalse de El Agujero.

La presa de El Agujero, construida en el año 1.924, es de gravedad, de fábrica de hormigón con los paramentos recubiertos de sillería

La presa se diseñó, exclusivamente, para cumplir el objetivo de laminación de avenidas, por lo que se dispuso un amplio desagüe, permanentemente abierto, atravesando en túnel el estribo izquierdo.

La construcción aguas abajo de la presa de El Limonero, dejó inutilizada la presa de El Agujero, por lo que se levantaron y enclavaron las compuertas de los desagües profundos y se rebajó la cota de parte del aliviadero lateral de la presa, para

facilitar la comunicación entre aguas arriba y aguas abajo de la presa de El Agujero, sin crear diferencias de carga en el embalse de El Limonero, que la inunda parcialmente.

Con las características de los elementos de desagüe, los hidrogramas de avenida y las curvas altura- superficie y altura- volumen, tanto del embalse de El Limonero como de El Agujero, se ha calculado el efecto de laminación en el conjunto de ambos embalses, considerando las singularidades de los desagües de fondo de la presa de El Agujero, así como su aliviadero.

A continuación se adjunta una tabla donde se puede observar el caudal máximo evacuado por el nuevo túnel aliviadero, para distintas longitudes de vertedero, así como la altura máxima alcanzada en el embalse, para una situación inicial del nivel del embalse en la cota 104 (nivel máximo normal de explotación), sin utilización del desagüe profundo de la presa de El Limonero y para los dos posibles emplazamientos de la embocadura (vaso de El Limonero o vaso de El Agujero). Se ha modelizado para ello la laminación con las avenidas de 10.000 años de período de retorno y con distintas duraciones de tormenta (6, 9 y 12 h) anotándose el resultado pésimo de entre las tres laminaciones realizadas para cada caso.

Como primera conclusión, destaca la disminución de los caudales punta evacuados por el túnel- aliviadero debido a la particular disposición del embalse de El Agujero dentro de El Limonero. (Cuadro 3).

Los gráficos que se adjuntan corresponden a la hipótesis del vertedero de 10 m de longitud, el primero de ellos para la situación del aliviadero en el vaso de El Limonero, y los dos siguientes para el vaso de El Agujero.

CUADRO 3

LONGITUD VERTEDERO (m)	H máx (m)	Q máx (m <sup>3</sup> /s)	H máx (m)	Q máx (m <sup>3</sup> /s)	Tormenta pésima (h)
5	116.87	485	116.27	451	12
10	114.33	697	113.35	606	9
15	112.91	837	111.84	692	6
20	111.91	935	111.41	847	6

En la elección de la solución idónea a la hora de establecer el emplazamiento y las dimensiones de la embocadura del túnel- aliviadero se han tenido en cuenta los siguientes condicionantes:

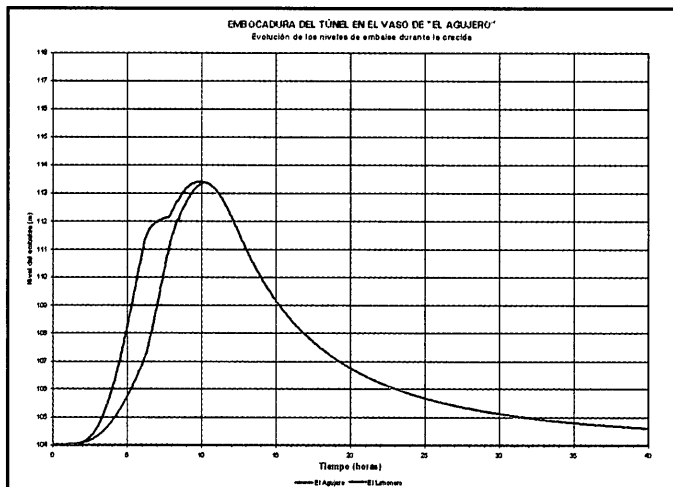
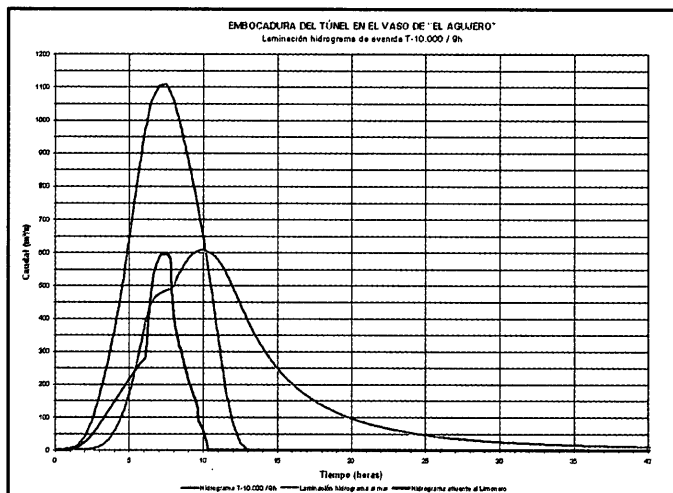
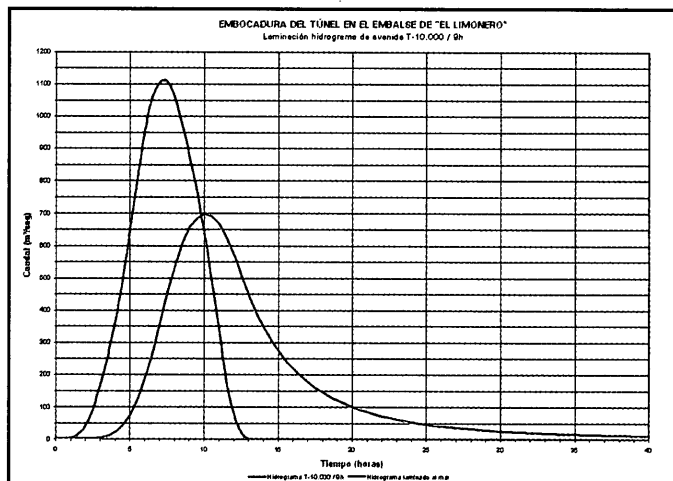
- ▼ Reducción al máximo del nuevo nivel de avenidas de proyecto del embalse de El Limonero.
- ▼ Reducción al máximo posible del caudal de dimensionamiento del túnel-aliviadero.
- ▼ Características geométricas del trazado del túnel desde el punto de arranque hasta el punto de restitución al mar.
- ▼ Facilidad constructiva, tanto de la obra de embocadura como del resto del trazado del túnel desde su punto de arranque.

Según todas las premisas anteriores la ubicación idónea de la embocadura del túnel se encuentra en el vaso de El Agujero, y así se ha establecido en la solución adoptada.

En cuanto a las dimensiones del vertedero de la embocadura del túnel, las mayores longitudes de vertedero ofrecen como ventaja menor altura final de la lámina de agua en el embalse y, por ende, mayor seguridad para la presa de El Limonero; sin embargo presentan como contrapartida mayores dimensiones del túnel- aliviadero. Finalmente se ha escogido la solución que optimizaría las dimensiones del túnel, que contempla una **longitud de vertedero de 10 m**. Con esta opción el **caudal de dimensionamiento** adoptado ha sido de **700 m<sup>3</sup>/s**.

Según lo anterior, la cota máxima de la lámina de agua que se alcanzaría en el embalse para la crecida de 10.000 años de período de recurrencia (avenida de proyecto) sería la 113,35. Este sería el **nuevo Nivel de Avenida de Proyecto**, rebajándose en casi 5 metros el establecido hasta ahora (118,11 m). En esta nueva situación se alcanza un resguardo en el embalse en situación de crecidas de más de 7,5 metros<sup>2</sup>.

(2) Recuérdese en este sentido, que el Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses vigente en la actual legislación española recomienda que en presas de categoría A y en presas de materiales sueltos el resguardo mínimo (resguardo para el NAP) no debe ser inferior al intervalo 2-3 m.

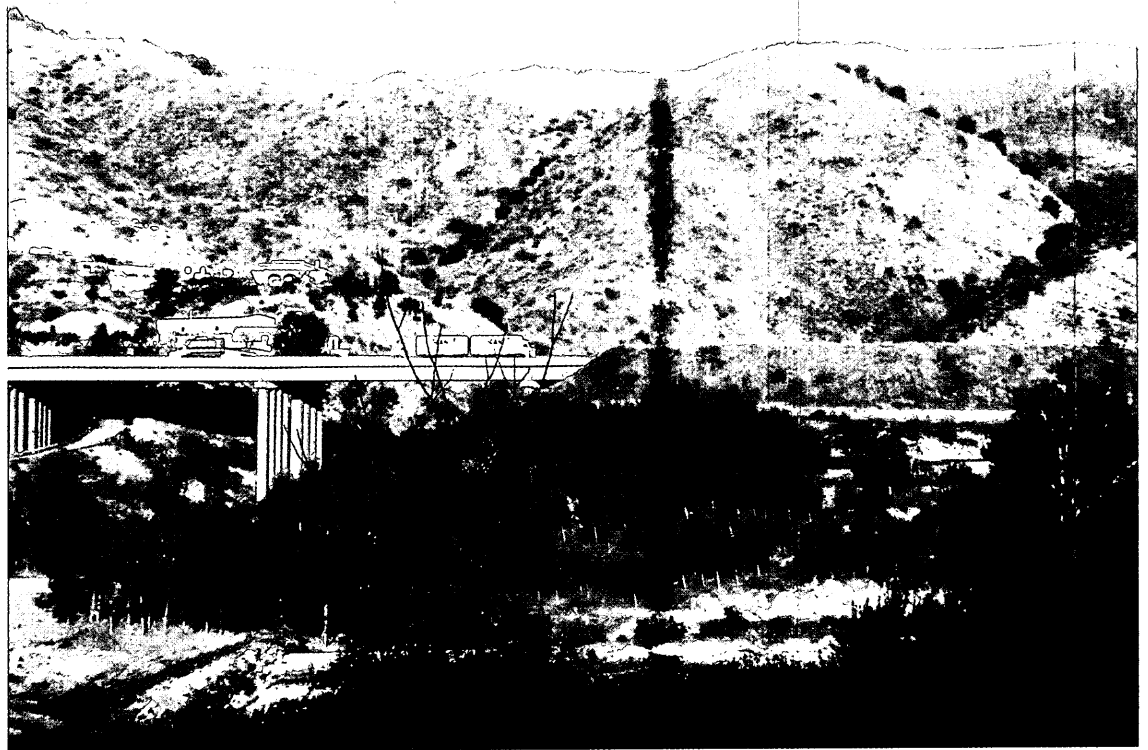


## EL TÚNEL ALIVIADERO

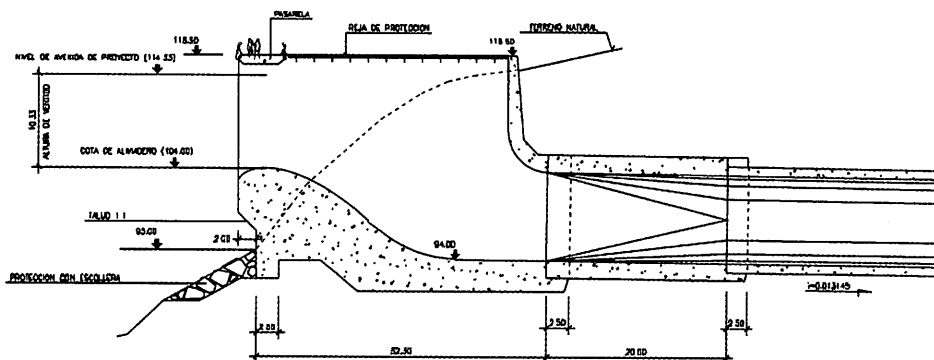
La problemática mayor que presenta este túnel es su desagüe en el mar, y concretamente su afloramiento costero. Para ello se ha buscado un área sin usos recreativos o aprovecha-



Trazado del Túnel.

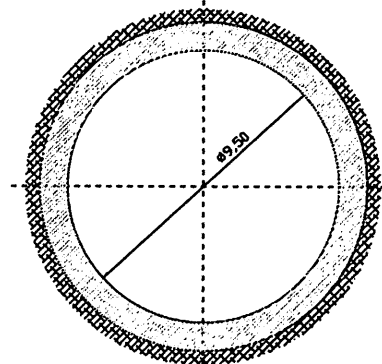


## Sección de la Embocadura

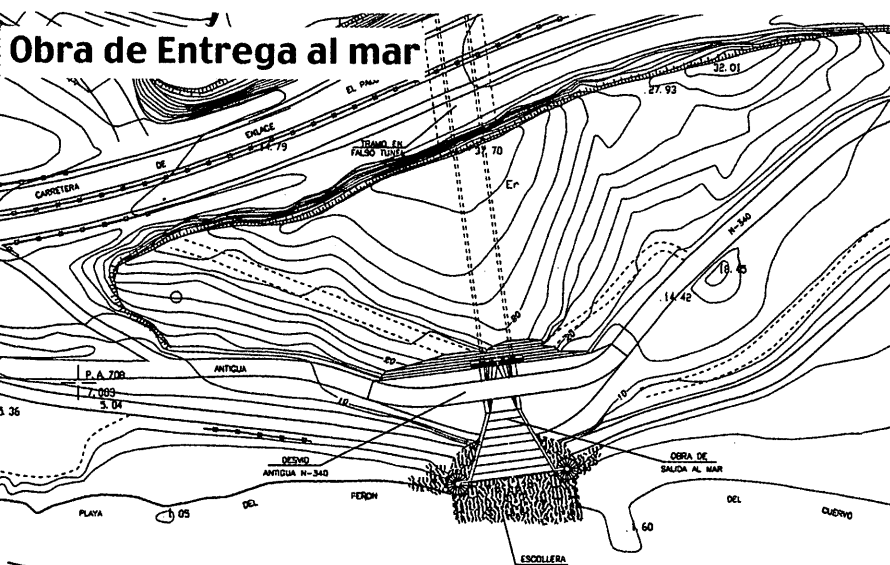


Sección Embocadura.

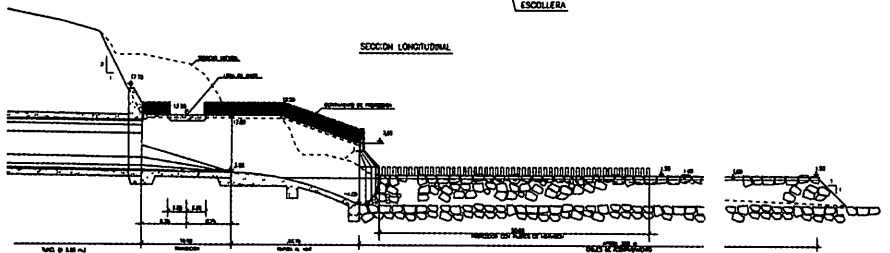
## Túnel Aliviadero



SECCION TIPO



## Obra de Entrega al mar



Planta y sección de la desembocadura.

miento turístico, próxima a *Torre Paloma* en el paraje denominado *Peñón del Cuervo*, antes de la confluencia de la N-340 con la ronda de circunvalación E-902. El trazado presenta una longitud de 11.177 m. La geometría del trazado cuenta con dos alineaciones rectas, separadas por un tramo curvo de radio 5.000 m.

El túnel propuesto está pensado para su funcionamiento en lámina libre y en régimen rápido, con una pendiente única

uniforme del 0,82% comenzando en la cota 94,0 en la boquilla de toma, y terminando a la cota 2,0 en la boquilla de salida, en el mar. La sección es circular, con 9,50 m de diámetro interior y con una superficie útil de 70,8 m<sup>2</sup>.

La montera media del túnel es de unos 160 m, con un máximo de 430 m, en el cerro de San Antón. En todo el tramo intermedio se presenta un mínimo de montera de 95 m, lo que no hará viable acometer "puntos de ataque" intermedios. El tramo final dispone de una montera media de unos 50 m.

## CONCLUSIONES

A la vista de todos los estudios realizados se concluye que el túnel aliviadero de desagüe al mar propuesto en el embalse de El Limonero se considera como una obra técnicamente viable y, desde el punto de vista de la seguridad, necesaria para conseguir eliminar totalmente el riesgo de inundaciones en la ciudad de Málaga por avenidas procedentes de la cuenca alta. La solución permite la reducción del Nivel de Avenida de Proyecto en 4.76 m., pasando de la cota

118.10 m a la 113.35 m. De esta forma, se aumentaría significativamente el resguardo del embalse ante la situación de crecida.

Además, esta solución a diferencia de otras medidas como es la reducción del nivel de explotación del embalse, permite regular, si así se desea, un mayor volumen de las aportaciones de la cuenca para su aprovechamiento en el abastecimiento urbano. ■