

## ESTUDIO PREVIO DE REGULACION Y APROVECHAMIENTO DEL RIO GUADARRAMA

Por JOAQUIN GAVALA RUIZ  
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

*Profundo conocedor del tema por su cargo de Director del Gran Abastecimiento de Agua a los pueblos de la sierra de Guadarrama y por su inveterada afición a este tipo de estudios generales, presenta el autor este interesante trabajo, cuya importancia puede juzgarse leyendo simplemente las conclusiones que destaca en su "Resumen final".*

### Generalidades.

El Río Guadarrama, afluente de la margen derecha del Tajo, tiene para la capital de España un interés hidráulico muy apreciable. Es la razón que nos ha movido a realizar un estudio de sus posibilidades de utilización bajo tres aspectos fundamentales: Abastecimientos de agua, regulación de caudales de estiaje y regadíos.

La cuenca total del río tiene una extensión de 1722 Km.<sup>2</sup> y la longitud de su cauce desde las cumbres de la Sierra de Guadarrama hasta su desembocadura en el Tajo, aguas abajo de Toledo, es de 125 Km. El principal subafluente es el Río Aulencia, que desemboca por su margen derecha tras recorrer desde las cumbres de El Escorial un trayecto de 34 Km.

Los límites hidrogáficos del Guadarrama son: por el Norte y Noroeste las alturas principales de la sierra del mismo nombre que sirve de divisoria con la cuenca del Duero; por el Este las estribaciones de la misma sierra y los altizanos de la meseta madrileña-toledana que lo separan del Río Manzanares y el Arroyo Guatón, y por el Oeste otra cadena de sierras y altiplanicies lo separan del Río Alberche y sus afluentes Cofio y Perales. Se trata, pues, de una cuenca muy alargada en sentido N-S con una anchura media transversal de unos 18 Km.

La topografía es consecuencia de su constitución geológica. El tercio norte está formado por terrenos antiguos (granito y gneis) y el resto

por terrenos arenosos del Mioceno. La cadena montañosa que bordea su cabecera tiene altitudes que varían de 1 800 metros en el extremo occidental a 2 200 en el oriental. Al pie de esa cadena se extiende una altiplanicie con altitudes descendentes desde 1 000 a 800 metros, que termina en un nuevo escalón formado por el final del granito, siguiendo la línea Valdemorillo-Torrelodones. Desde aquí hasta el Tajo, las dos terceras partes de la cuenca total, nos encontramos la meseta miocena con altitudes de 650 a 400 metros.

Y consecuencia de estas diferencias topográficas son las variadas precipitaciones de agua y nieve que se producen en las distintas zonas, y que oscilan entre medias anuales de 1 200 mm. en cabecera y de 400 mm. en el extremo meridional.

Por consiguiente, desde el punto de vista hidráulico, el interés de la cuenca del Guadarrama termina en el mencionado escalón granítico Valdemorillo-Torrelodones, no sólo porque en esta zona disponemos de la aportación más importante, sino también porque aguas abajo del mismo, la naturaleza del terreno descarta la posibilidad de construir embalses reguladores de los irregulares caudales del río, abundantes de noviembre a marzo y casi nulos de mayo a octubre.

Otro factor importante en el régimen hidráulico del Guadarrama, es la escorrentía. Toda la cuenca alta tiene el granito o el gneis a flor

de piel, por lo que la retención de agua por el terreno es prácticamente nula. Puede decirse que al segundo día de un régimen de lluvias, la totalidad de la precipitación se convierte en caudales circulantes por los cauces, sin más excepción que las nieves que quedan retenidas por encima de la cota 1 600. Por el contrario, la cuenca baja es una auténtica esponja que absorbe el 80 por 100 de las precipitaciones y se va desangrando poco a poco por las diferentes capas alternas de arenas y margas que constituyen el mioceno de la meseta.

### Estudio de la cuenca.

La cabecera del Guadarrama está formada por tres brazos principales: Río Navalmedio, Río Pradillo y Río de La Venta. Constituyen, por así decirlo el corazón de la cuenca. El primero nace en el puerto de Navacerrada, entre los picos de La Bola del Mundo y el Telégrafo; el segundo descende de la cadena de Siete Picos, y el tercero del puerto de la Fuenfría, rodeado de los picos de El Calvero, Minguete, El Aguila y La Peñota. Todos estos vértices tienen altitudes superiores a 1 900 metros y es, por consiguiente, la zona de máximas precipitaciones de agua y nieve.

La unión de los dos primeros ríos se produce en Cercedilla, y la del tercero aguas arriba de Los Molinos. Desde aquí hasta Villalba recoge el Guadarrama, por su margen derecha, varios arroyos que descienden de la divisoria Cofio-Duero, siendo los más importantes los llamados Guatel 1.º y Guatel 2.º, cuyas cuencas están formadas por los cerrados valles de Cuelgamuros (Valle de los Caídos) y San Macario o La Jarosa.

Por la margen izquierda recibe dos arroyos de la primera altiplanicie: Labajos y La Povéda, de amplias cuencas receptoras, pero de caudales más reducidos por la carencia de alta montaña.

Desde Villalba a Torreldones, el cauce del Guadarrama es un auténtico cañón labrado en granito, con pendientes muy fuertes, que podría tener marcado interés hidroeléctrico si no se utilizaran sus aguas para otro fin más importante, como es el de abastecimientos, y en este tramo recibe por la margen izquierda al Arroyo Peregrinos, cuenca bien definida y con posibilidades de utilización independiente. Al final de este cañón y coincidiendo con el paso al mioceno, podemos contemplar los restos de la antigua presa del Gasco, construida en tiem-

pos de Carlos III, con el ambicioso plan de trasvasar las aguas al Manzanares y convertirla a nuestro aprendiz de río en navegable.

Seiscientos metros aguas abajo de dicha presa termina el terreno granítico y comienza el mioceno arenoso. El río ha cubierto desde su nacimiento un recorrido de 38 Km., abarcando una cuenca receptora de 307 Km.<sup>2</sup>

Hasta la confluencia con el afluente principal, el Río Aulencia, recorre aún 14,7 Km. y aumenta su cuenca receptora en 124 Km.<sup>2</sup>

El Río Aulencia nace en la encrucijada conocida como La Cruz Verde, límite de los términos de San Lorenzo de El Escorial, Robledo de Chavela y Santa María de la Alameda. Su cabecera está formada por los Arroyos del Batán, Romeral y Las Cebadillas, que recogen las aguas de la gran mole que respalda El Escorial, y está coronada por los picos de Abantos y Barranco de la Cabeza, de unos 1 700 m. Esta diferencia de altitud con las cumbres de la cabecera del Guadarrama, da origen a menores aportaciones por unidad de superficie en el afluente.

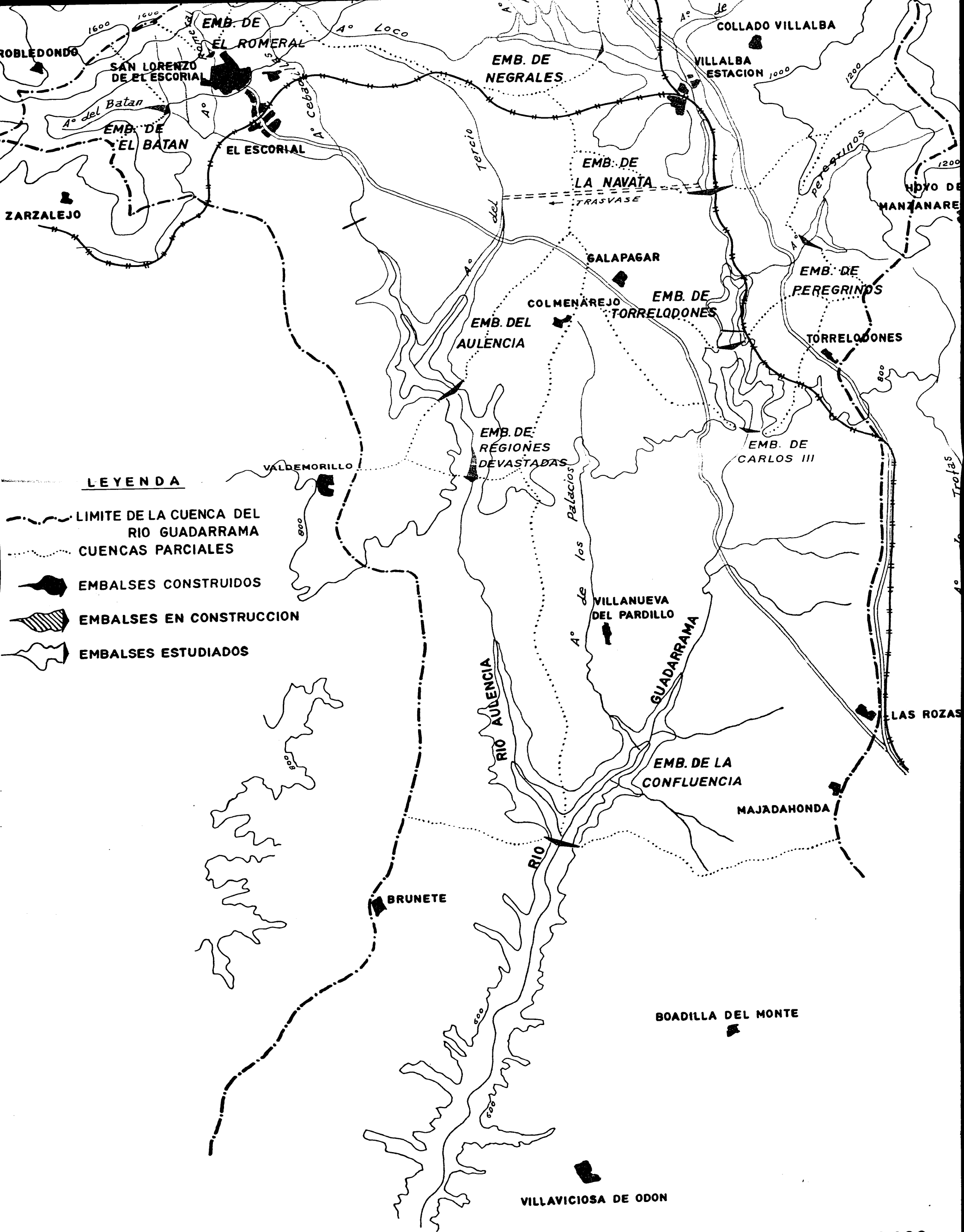
Después de un trayecto de 8 Km. a través de la altiplanicie de El Escorial y Valdemorillo, que recibe por la margen izquierda el importante Arroyo del Tercio, atraviesa, como el río principal, el último escalón granítico en un cauce de gran pendiente, que desemboca en el repetido mioceno de la meseta. Hasta el final del granito, el Aulencia ha recorrido 25 Km. y ha dominado una cuenca receptora de 121 Km.<sup>2</sup>. Después de atravesar el mioceno durante 10 Km. y aumentar su cuenca receptora en 38 Km.<sup>2</sup>, se produce su unión con el Guadarrama.

Por consiguiente, la cuenca total de ambos ríos en la confluencia es de 590 Km.<sup>2</sup>.

Todavía ha de recorrer el río otros 78 Km. a través del mioceno para llegar al Tajo, recibiendo las aportaciones de multitud de arroyos y barrancos, siendo los más importantes los de Vallehermoso, Camarenilla y Renales, todos por la margen derecha.

Como resumen de esta exposición podemos decir que las cuencas fácilmente utilizables en el Guadarrama y el Aulencia, tienen sus límites en el escalón granítico Valdemorillo-Torreldones, con superficies parciales de 307 y 121 kilómetros cuadrados, respectivamente. Que existe una remota posibilidad de utilizar la cuenca comprendida entre aquel escalón y la confluencia de ambos ríos, con una superficie de 162 Km.<sup>2</sup>; y que el resto de la cuenca total, 1.132 Km.<sup>2</sup>, es





**LEYENDA**

- LIMITE DE LA CUENCA DEL RIO GUADARRAMA
- ... CUENCAS PARCIALES
- EMBALSES CONSTRUIDOS
- ▨ EMBALSES EN CONSTRUCCION
- ◊ EMBALSES ESTUDIADOS

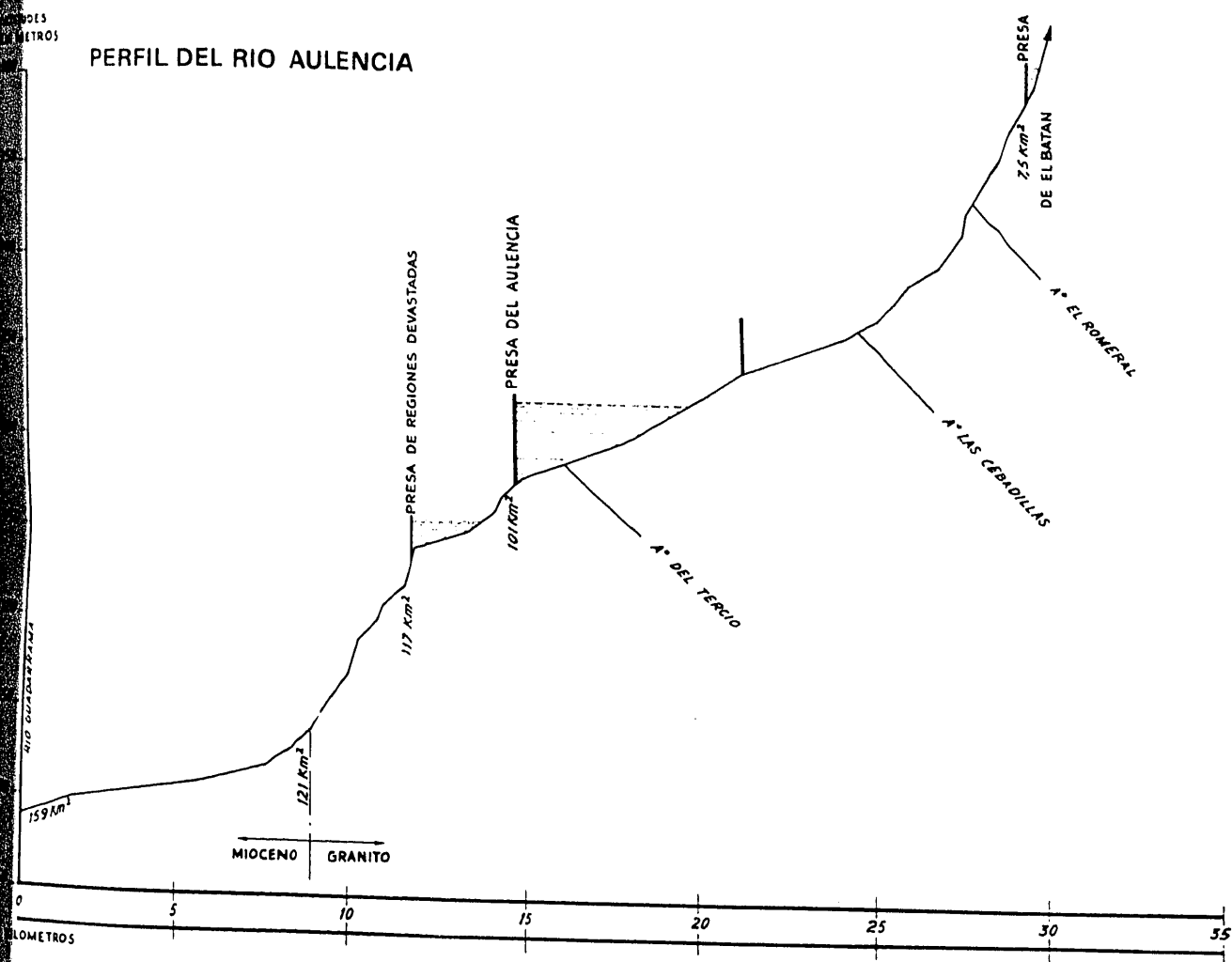
**ESCALA 1:100.000**

imposible regulación artificial, si bien la naturaleza geológica de estos terrenos produce una regulación natural, que permite extraer grandes cantidades de agua subterránea y subálvea en pleno estiaje.

### Estudio del perfil.

La representación gráfica del perfil longitudinal de un río es fundamental para realizar un

la confluencia con el Río de La Venta, la pendiente es fuertísima, como corresponde a su tramo de alta montaña. Desde aquí hasta el Arroyo Guatel, la pendiente es moderada, ofreciendo a continuación un tramo plácido en términos de Alpedrete y Villalba, para lanzarse seguidamente a través del cañón granítico de Torreldones, con pendientes tan fuertes como las de cabecera. Nueva pendiente moderada en el pri-



estudio de regulación artificial. La simple observación de sus cambios de pendiente nos denuncia la existencia de cerradas y vasos de embalse, cuyos emplazamientos más adecuados se localizan finalmente con la planta topográfica. El cambio brusco de una pendiente suave a otra fuerte, implica casi sin excepción, la existencia de una buena cerrada respaldada por un vaso favorable.

El Río Guadarrama tiene un perfil longitudinal muy interesante. Desde su nacimiento hasta

mer tramo mioceno hasta la unión con el Aulencia, y, finalmente, la insignificante del 2 por 1 000 hasta su confluencia con el Tajo.

Casi análogo es el perfil del Aulencia. Pendiente de alta montaña hasta la Villa de El Escorial; moderada hasta Valdemorillo, con dos inflexiones interesantes; fortísima, como en cabecera, para atravesar el escalón granítico y nuevamente moderada hasta el Guadarrama.

La primera visión de estos perfiles nos marcan los emplazamientos más adecuados para la



regulación. En el Guadarrama, hacia la cota 1040, en las proximidades de la estación de La Navata. En el Aulencia, las inflexiones en las cotas 840 y 780, entre El Escorial y Valdemorillo. La última y la del Guadarrama, ofrecen a continuación el gran escalón granítico que proporcionarían con conducciones de 6 y 8 Km. saltos adicionales de 140 y 210 m., respectivamente, de marcado interés hidroeléctrico.

Si estudiamos estos emplazamientos en la planta topográfica, podemos comprobar que en los tres casos se cumple la teoría: Existen buenas cerradas respaldadas por amplios vasos. Sin embargo, si en el segundo emplazamiento del Aulencia tenemos campo libre para construir un embalse de la capacidad que se desee, en el Guadarrama la mano del hombre ha inutilizado el buen emplazamiento con otras construcciones de interés superior: el ferrocarril Madrid-Irún, la carretera de Madrid a La Coruña y el Barrio de la Estación de Collado-Villalba, que quedarían inundados al formar el embalse necesario. Y en el emplazamiento del Aulencia se inundaría la carretera de El Escorial.

Más adelante veremos que la regulación total se puede conseguir en el Aulencia mediante el trasvase del Guadarrama desde La Navata.

Estos son los emplazamientos ideales de la cuenca que nos ocupa, pero por necesidades de otra índole ha habido que buscar otras posibilidades, con soluciones más caras, pero que compensan por la gran utilidad que reportan. Tal es el caso del Plan de Abastecimiento de Agua a los Pueblos de la Sierra de Guadarrama, los abastecimientos de El Escorial y San Lorenzo, el mancomunado de la zona de Brunete o de regiones devastadas, los que puedan redundar en mejora de calidad del agua circulante en estiaje, como consecuencia de los vertidos de aguas negras de los pueblos abastecidos y, finalmente, la posibilidad del trasvase al Manzanares, para mantener en este río un caudal mínimo apreciable, a su paso por Madrid.

Para la primera finalidad (abastecimientos de agua) se han construido los minúsculos embalses de El Romeral y El Batán, en la cabecera del Aulencia, con capacidad ambos de 0,3 hectómetros cúbicos para suministro a San Lorenzo y la Villa de El Escorial, así como el de Regiones Devastadas, en pleno cañón granítico del mismo río, y con capacidad de 0,4 Hm.<sup>3</sup>.

Para el abastecimiento a los pueblos de la sierra de Guadarrama se utiliza el afluente Gua-

del 2.º o Arroyo de La Jarosa, que ofrece una inflexión muy interesante de su perfil en la cota 1045 y, como consecuencia, una buena cerrada y embalse dentro de los límites propios de un cauce de alta montaña.

Otra inflexión en el perfil del Río Navalmedio permite construir un pequeño embalse regulador de puntas de crecidas de toda la cabecera principal del Guadarrama, para su ulterior trasvase al embalse de Navacerrada, conjunto que forma parte del mismo Plan de Abastecimientos.

Un afluente de la cuenca media del Guadarrama presenta inflexión propicia en su perfil, y es el arroyo Peregrinos, entre Hoyo de Manzanares y Torreldones. Podría utilizarse como embalse de reserva de años secos en el citado plan.

En el propio cauce del Guadarrama existen otros posibles emplazamientos para regulaciones parciales con miras a los otros fines enunciados más arriba, y son los siguientes:

Confluencia del Río de La Venta, entre Cercedilla y Los Molinos (embalse de Cercedilla); confluencia del Guatel (embalse de Negrales); estación de Torreldones (embalse de Torreldones), y final del escalón granítico (embalse de Carlos III). Estos dos últimos, aprovechando dos cortos remansos en la fuerte pendiente del cañón final.

En el Río Aulencia, aparte de los emplazamientos descritos, no hay otros puntos interesantes.

Nos queda, por último, como única posibilidad de regulación ulterior, la confluencia del Aulencia con el Guadarrama. Si bien topográficamente se trata de un buen emplazamiento, geológicamente es casi desechable; un reconocimiento minucioso, mediante sondeos, podrá decir la última palabra.

### **Aportaciones.**

Pasada revista a todos los emplazamientos posibles para establecer presas de embalse, intentaremos determinar las aportaciones de agua de que podrá disponerse en cada uno de ellos.

Como desgraciadamente ocurre en la mayoría de estos estudios, se carece casi en absoluto de aforos directos con garantía y hay que recurrir a métodos más o menos empíricos que nos den siquiera una idea aproximada.

En toda la cuenca sólo existen las estaciones de aforos de La Jarosa, con antigüedad de 1955, y la recientísima de Navalmedio (1965). Durante el período 1950-56 se tomaron datos de

aforos en la presa de Regiones Devastadas del Aulencia, que también nos proporcionan alguna luz. Casi nada para un estudio profundo. Hemos de utilizar datos de cuencas próximas que tengan regímenes de lluvia y nieve similares y superficies del mismo orden de magnitud. Afortunadamente se tienen datos muy completos del Río Manzanares en la presa de Santillana (242 Km.<sup>2</sup>), desde el año 1927, y del Río Lozoya, en Puentes Viejas (675 Km.<sup>2</sup>), desde 1900.

Tenemos también datos pluviométricos de muchas estaciones de nuestra cuenca y de las dos contiguas citadas que nos permiten establecer las debidas correlaciones.

Las aportaciones de los ríos dependen de dos factores principales: la precipitación y la escorrentía. Ambas están íntimamente ligadas a una circunstancia topográfica: las altitudes de los distintos sectores de la cuenca, y a otra geológica: la naturaleza del suelo.

En las tres cuencas base de nuestro estudio, Lozoya, Manzanares y Guadarrama, la circunstancia geológica es idéntica, por lo que la escorrentía queda influenciada solamente por la intensidad y naturaleza de la precipitación y la pendiente o altimetría de la cuenca.

#### a) Precipitaciones y escorrentías.

Con los datos disponibles podemos establecer las siguientes premisas:

1.º Por encima de la cota 1 600 las precipitaciones son preferentemente de nieve, y por debajo de dicha cota, de lluvia.

2.º En la cuenca del Manzanares, hasta Santillana, las precipitaciones medias anuales, según la altitud, son:

De 800 a 1 000 m. ....	800 mm.
De 1 000 a 1 200 m. ....	900 mm.
De 1 200 a 1 400 m. ....	1 000 mm.
De 1 400 a 1 600 m. ....	1 100 mm.
De 1 600 a 1 800 m. ....	1 200 mm.
De 1 800 a 2 000 m. ....	1 300 mm.
A más de 2 000 m. ....	1 400 mm.

3.º En la cuenca del Guadarrama las precipitaciones son algo menores, y pueden clasificarse de la siguiente forma:

De 400 a 600 m. ....	400 mm.
De 600 a 800 m. ....	500 mm.
De 800 a 1 000 m. ....	650 mm.
De 1 000 a 1 200 m. ....	750 mm.
De 1 200 a 1 400 m. ....	850 mm.

De 1 400 a 1 600 m. ....	950 mm.
De 1 600 a 1 800 m. ....	1 000 mm.
De 1 800 a 2 000 m. ....	1 100 mm.
A más de 2 000 m. ....	1 200 mm.

4.º La escorrentía puede tomarse según la fórmula de Becerril  $e = c \sqrt{P}$ , siendo  $P$  la precipitación en milímetros y  $c$  un coeficiente que depende de la misma y de las condiciones topográficas y geológicas.

En el caso de Santillana, hacemos variar  $c$  desde 0,013 para precipitaciones de 800 milímetros hasta 0,019 para las de 1 400 mm.

En el Guadarrama oscilará entre 0,009 para 400 mm. y 0,017 para 1 200 mm.

5.º Las precipitaciones de lluvia y nieve de los años secos y lluviosos guardan las siguientes proporciones con las del año medio:

$$\frac{\text{lluvia año seco}}{\text{lluvia año medio}} = 0,53$$

$$\frac{\text{nieve año seco}}{\text{nieve año medio}} = 0,75$$

$$\frac{\text{lluvia año lluvioso}}{\text{lluvia año medio}} = 1,30$$

$$\frac{\text{nieve año lluvioso}}{\text{nieve año medio}} = 1,22$$

#### b) Aportaciones.

Para un estudio detallado del régimen de explotación de un embalse, es indispensable disponer de la curva de volúmenes acumulados con valores de aportación, por lo menos mensuales, durante un período de años que incluyan varias campañas de años secos, los cuales suelen presentarse en parejas de años consecutivos. En nuestra región es normal el ciclo de cinco años con dos de aportaciones medias, uno de aportación extremada y dos de aportaciones deficientes.

Para un estudio como éste, que sólo tiene por objeto presentar las posibilidades de los distintos emplazamientos en que puede realizarse una regulación total o parcial, es suficiente conocer la cuantía aproximada de las aportaciones medias de los años medios, de los años lluviosos y de los años secos y manejarlas suponiendo una sucesión, según el ciclo quinquenal antes citado.

Según esto, llamaremos  $A_m$  a la aportación media del río;  $A_s$ , a la media de los años secos,  $All$ , a la media de los años lluviosos. Es decir, que estas dos últimas, no son los valores extremos de máxima o mínima aportación.

La aportación bruta de una cuenca, en hectómetros cúbicos es el producto de la superficie en kilómetros cuadrados por la precipitación anual en metros; y la aportación neta, el resultado anterior, multiplicado por el coeficiente de corriente.

Según las proporciones establecidas en el párrafo anterior, para precipitaciones de años secos y lluviosos, las aportaciones de estos años, en relación con la del año medio, vendrán afectadas de los siguientes coeficientes:

aportación por lluvia en año seco ( $As_1$ ) = aportación por lluvia en año medio ( $Am_1$ )  $\times$   $0,53^{3/2}$

aportación por nieve en año seco ( $As_2$ ) = aportación por nieve en año medio ( $Am_2$ )  $\times$   $0,75^{3/2}$

aportación por lluvia en año lluvioso ( $All_1$ ) = aportación por lluvia en año medio ( $Am_1$ )  $\times$   $1,30^{3/2}$

aportación por nieve en año lluvioso ( $All_2$ ) = aportación por nieve en año medio ( $Am_2$ )  $\times$   $1,22^{3/2}$

sea:

$$As_1 = 0,38 Am_1$$

$$As_2 = 0,65 Am_2$$

$$All_1 = 1,50 Am_1$$

$$All_2 = 1,35 Am_2$$

Llamaremos aportaciones de años secos a aquellas que son inferiores al 75 por 100 de la aportación media, y aportaciones de años lluviosos, a las superiores al 125 por 100 de la misma. Las intermedias serán, por consiguiente, las consideradas como aportaciones de años medios.

La base de nuestro estudio es la relación de aportaciones en Santillana (treinta y ocho años) y la más completa de Puentes Viejas (sesenta y cinco años). Esta última la consideramos suficientemente larga para aceptarla como prototipo. Los datos de otra estación de aforos de periodo menor hemos de compararlos con los de Puentes Viejas y Santillana de la misma época, para hacer la corrección proporcional que nos dé el valor real de la cuenca.

La aportación total de Puentes Viejas en los sesenta y cinco años conocidos es de 19 753,0

hectómetros cúbicos, lo que da una media anual de:

$$\frac{19\,753,0}{65} = 303,8 \text{ Hm.}^3$$

Durante el período de treinta y ocho años registrados por Santillana, la aportación de Puentes Viejas fue de 10 920,6 Hm.<sup>3</sup>, y la media de:

$$\frac{10\,920,6}{38} = 287,4 \text{ Hm.}^3 = 0,946 \text{ de la media global.}$$

Esto quiere decir que para conocer el régimen real de Santillana, hemos de dividir la media conocida por dicho coeficiente.

La media de Santillana en el período 1927-28 a 1964-65 ha sido:

$$\frac{4\,067,6}{38} = 107,0 \text{ Hm.}^3;$$

por consiguiente, hemos de aceptar como aportación media real la de:

$$\frac{107,0}{0,946} = 113,0 \text{ Hm.}^3.$$

Las correcciones de los aforos de La Jarosa y Aulencia las haremos por comparación con Santillana en los mismos períodos, por tratarse de cuencas más próximas a ésta que a Puentes Viejas.

La media conocida en La Jarosa es de 7,4 hectómetros cúbicos durante el período 1955-56 a 1964-65. En el mismo, la media de Santillana fue de:

$$\frac{1\,278}{10} = 127,8 \text{ Hm.}^3;$$

por lo que debemos de aceptar como aportación media en La Jarosa:

$$7,4 \times \frac{113,0}{127,8} = 6,5 \text{ Hm.}^3.$$

Igualmente para el Aulencia, cuya media conocida en el período 1950-51 a 1955-56 fue de 26,4 Hm.<sup>3</sup>, hay que utilizar un coeficiente de co-

rección resultante de la aportación de Santillana en ese período:

$$\frac{712,6}{6} = 118,8 \text{ Hm.}^3;$$

$$26,4 \times \frac{113,0}{118,8} = 25,0 \text{ Hm.}^3.$$

### Determinación de las aportaciones.

Para calcular las aportaciones medias de los años medios, secos y lluviosos, en cada uno de los emplazamientos que vamos a estudiar de la cuenca del Guadarrama, seguimos el siguiente método.

Sobre planos a escala 1 : 100 000, superficies cada una de las franjas de altitudes comprendidas en la discriminación realizada en el apartado referente a precipitaciones. Multiplicando la superficie por la precipitación media, obtenemos la aportación parcial bruta correspondiente a cada altitud, y este producto por la escorrentía nos da la aportación neta.

La suma de todos los resultados parciales es la aportación media de la cuenca estudiada. En

todos los casos haremos sumas parciales de aportaciones relativas a las zonas por encima y por debajo de la cota 1 600 con objeto de averiguarlas de los distintos coeficientes de lluvia y nieve, para obtener las aportaciones de los años secos y lluviosos.

Como comprobación de la exactitud de este método presentamos a continuación el cálculo de la cuenca de Santillana. Empezaremos por clasificar las aportaciones reales de la misma en menores de 80 Hm.<sup>3</sup> (años secos), mayores de 130 Hm.<sup>3</sup> (años lluviosos) e intermedias (años medios).

La media de los años secos resulta:

$$\frac{646,6}{12} = 53,9 \text{ Hm.}^3;$$

y la de los años lluviosos:

$$\frac{1\ 952,3}{12} = 162,7 \text{ Hm.}^3.$$

En el cuadro I se han obtenido la aportación media general y las de los años secos y lluviosos por el sistema teórico.

CUADRO I. — Aportaciones en Santillana.

$$S = 242 \text{ Km.}^2.$$

Altitudes — m.	Superficie — Km. <sup>2</sup>	Precipitación media — mm.	Aportación bruta — Hm. <sup>3</sup>	Escorrentía — $e = c \sqrt{P}$	Aportación neta — Hm. <sup>3</sup>	Aportaciones parciales — Hm. <sup>3</sup>	Aportación media
800 a 1 000	86,0	800	68,8	0,013   800 = 0,36	24,7	} $Am_1 = 73,5$	} $Am = 112,0 \text{ Hm.}^3$
1 000 a 1 200	56,4	900	50,7	0,014   900 = 0,42	21,2		
1 200 a 1 400	29,6	1 000	29,6	0,015   1 000 = 0,47	13,9		
1 400 a 1 600	23,7	1 100	26,0	0,016   1 100 = 0,53	13,7		
1 600 a 1 800	17,5	1 200	21,0	0,017   1 200 = 0,59	12,4	} $Am_2 = 38,5$	} $(0,46 \text{ Hm.}^3 \text{ Km.}^2)$
1 800 a 2 000	15,6	1 300	20,2	0,018   1 300 = 0,65	13,1		
más de 2 000	13,2	1 400	18,4	0,019   1 400 = 0,71	13,0		
Totales .....	242,0	970	234,7	0,478	112,0	112,0	

Año seco.

$$\left. \begin{aligned} \text{Aportación por lluvia: } As_1 &= Am_1 \times 0,38 = 73,5 \times 0,38 = 28,0 \text{ Hm.}^3. \\ \text{Aportación por nieve: } As_2 &= Am_2 \times 0,65 = 38,5 \times 0,65 = 25,0 \text{ Hm.}^3. \end{aligned} \right\} As = 53,0 \text{ Hm.}^3.$$

Año lluvioso.

$$\left. \begin{aligned} \text{Aportación por lluvia: } All_1 &= Am_1 \times 1,50 = 73,5 \times 1,50 = 110,5 \text{ Hm.}^3. \\ \text{Aportación por nieve: } All_2 &= Am_2 \times 1,35 = 38,5 \times 1,35 = 52,0 \text{ Hm.}^3. \end{aligned} \right\} All = 162,5 \text{ Hm.}^3.$$

Los resultados obtenidos son:

- Aportación media .....  $A_m = 112,0 \text{ Hm}^3$ .
- Aportación años secos .....  $A_s = 53,0 \text{ Hm}^3$ .
- Aportación años lluviosos ...  $A_{ll} = 162,5 \text{ Hm}^3$ .

Es decir, cifras similares a las reales deducidas de aforos directos.

Por el mismo procedimiento calculamos las aportaciones de La Jarosa, cuenca perteneciente ya al Guadarrama.

Según los datos de aforos directos, las aportaciones medias fueron:

$$\text{Media de años lluviosos } \frac{35,6}{3} = 11,8 \text{ Hm}^3;$$

$$\text{Media de años secos: } \frac{9,9}{3} = 3,3 \text{ Hm}^3.$$

La media global,  $7,4 \text{ Hm}^3$ , afectada por el coeficiente de corrección del período es:

$$A_m = 7,4 \times 0,88 = 6,5 \text{ Hm}^3.$$

En el cuadro II se realiza el cálculo de aportaciones por el método teórico.

Los coeficientes de aportaciones de años secos y lluviosos debidos a precipitaciones de lluvia, se han corregido respecto a los que figuraban en Santillana, debido a que así como la nieve presenta gran regularidad de precipitación, independientemente de la superficie de la cuenca, no ocurre lo mismo con respecto a la lluvia de las zonas bajas. La irregularidad de éste en años secos o lluviosos es más acusada en cuencas pequeñas, por lo que los coeficientes de aportación debida a lluvia se corrigen en cada caso con el porcentaje resultante de la aportación media por lluvia de la cuenca matriz (Santillana) dividida por la de la cuenca que se estudia.

En cuencas iguales o mayores que Santillana, se mantienen los coeficientes de ésta.

Del cálculo teórico de La Jarosa se desprende que la aportación media es prácticamente la misma que resulta de los aforos reales. Las aportaciones de años secos y lluviosos son algo menores que las reales del período aforado, lo que resulta lógico si se comprueba que en dicho período no están los grandes mínimos registrados en los años 44-45, 48-49 y 49-50, y sí, en cam-

CUADRO II. — Aportaciones en La Jarosa.  
 $S = 18 \text{ Km}^2$ .

Altitudes m.	Superficie Km. <sup>2</sup>	Precipitación media mm.	Aportación bruta Hm. <sup>3</sup>	Escoorrentia $c = c \sqrt{P}$	Aportación neta Hm. <sup>3</sup>	Aportaciones parciales Hm. <sup>3</sup>	Aportación media
1 000 a 1 200	4,5	750	3,4	$0,012 \sqrt{750} = 0,33$	1,1	} $A_{m_1} = 5,1$	} $A_m = 6,3 \text{ Hm}^3$ .
1 200 a 1 400	7,0	850	6,0	$0,013 \sqrt{850} = 0,38$	2,3		
1 400 a 1 600	4,0	950	3,8	$0,014 \sqrt{950} = 0,43$	1,7		
1 600 a 1 800	2,5	1 000	2,5	$0,015 \sqrt{1 000} = 0,47$	1,2	$A_{m_2} = 1,2$	( $0,35 \text{ Hm}^3/\text{Km}^2$ )
Totales .....	18,0	870	15,7	0,40	6,3	6,3	

año seco.

$$0,38 - \frac{0,38}{100} \times \frac{73,5}{5,1} = 0,38 - 0,07 = 0,31 ; \quad \left. \begin{aligned} A_{s_1} &= A_{m_1} \times 0,31 = 5,1 \times 0,31 = 1,6 \text{ Hm}^3. \\ A_{s_2} &= A_{m_2} \times 0,65 \times 1,2 \times 0,65 = 0,8 \text{ Hm}^3. \end{aligned} \right\} A_s = 2,4 \text{ Hm}^3.$$

año lluvioso.

$$1,50 + \frac{1,50}{100} \times \frac{73,5}{5,1} = 1,50 + 0,22 = 1,72 ; \quad \left. \begin{aligned} A_{ll_1} &= A_{m_1} \times 1,72 = 5,1 \times 1,72 = 8,8 \text{ Hm}^3. \\ A_{ll_2} &= A_{m_2} \times 1,35 = 1,2 \times 1,35 = 1,6 \text{ Hm}^3. \end{aligned} \right\} A_{ll} = 10,4 \text{ Hm}^3.$$

bio, los máximos de los años 55-56, 59-60 y 61-62, que corresponden a máximos *maximorum* de los aforos de períodos más amplios.

Es decir, que el método teórico, aparte de dar resultados altamente ajustados a la realidad, sirve para descubrir falsos espejismos que pudieran derivarse de observar aforos reales en un período de años corto.

Hemos de manifestar que ese ingenioso método fue empleado por don José Bravo Suárez

al redactar el primitivo Plan de Abastecimiento de la Sierra, y que de él nos hemos servido posteriormente para estudios análogos.

### Emplazamientos y cuencas estudiadas.

Puntualizando más lo expuesto al hablar del perfil del río, vamos a estudiar sobre el Guadarrama la cabecera principal formada por los ríos Navalmedio, La Venta y Pradillo, con los arroyos de La Teja y Navarejos, que hasta los pa-

CUADRO III. — Superficies de cuenca en Km.<sup>2</sup>.

#### a) Río Guadarrama:

Altitudes — m.	Cabecera utilizada por J. A. S.	Presa de Cercedilla	Quateles utilizados por J. A. S.	Presa de Negrales	Presa de La Navata	Presa de Peregrinos	Presa de Torreldones	Presa de Carlos III	Haya confluencia con Guadarrama
400 a 600	—	—	—	—	—	—	—	—	2,0
600 a 800	—	—	—	—	—	—	1,0	4,0	109,0
800 a 1000	—	—	—	45,0	101,5	7,0	133,5	143,5	161,5
1000 a 1200	—	6,0	5,5	49,5	65,5	6,0	71,5	71,5	71,5
1200 a 1400	3,2	13,6	11,0	37,1	39,6	2,0	42,6	42,6	42,6
1400 a 1600	8,0	10,8	7,0	23,8	23,8	—	23,8	23,8	23,8
1600 a 1800	8,5	9,5	4,5	13,5	13,5	—	13,5	13,5	13,5
1800 a 2000	5,5	5,3	—	6,3	6,3	—	6,3	6,3	6,3
más de 2000	0,8	0,8	—	0,8	0,8	—	0,8	0,8	0,8
Totales .....	26,0	46,0	28,0	176,0	251,0	15,0	293,0	306,0	431,0

#### b) Río Aulencia:

Altitudes — m.	Batán más Romeral	Presa del Aulencia	Presa de Regiones Devastadas	Hasta confluencia con Guadarrama	Guadarrama más Aulencia en confluencia
De 400 a 600	—	—	—	1,0	3,0
De 600 a 800	—	2,0	5,0	39,0	148,0
De 800 a 1000	—	75,5	88,5	95,5	257,0
De 1000 a 1200	3,1	10,0	10,0	10,0	81,5
De 1200 a 1400	3,8	8,0	8,0	8,0	50,6
De 1400 a 1600	2,7	4,0	4,0	4,0	27,8
De 1600 a 1800	0,9	1,5	1,5	1,5	15,0
De 1800 a 2000	—	—	—	—	6,3
De más de 2000	—	—	—	—	0,8
Totales .....	10,5	101,0	117,0	159,0	590,0

de toma situados hacia la cota 1 300, van a ser utilizados para llenar los embalses de Navalmedio y Navacerrada, del Plan de Abastecimiento de Agua a los Pueblos de la Sierra de Guadarrama (J. A. S.).

Por otra parte, las cuencas de La Jarosa y Cuatrel 1.<sup>o</sup>, dedicadas al mismo fin y tomadas hacia la cota 1 050.

En el cauce principal se estudian los emplazamientos de los posibles embalses de Cercedilla (cota 1 058), Negrals (cota 885), La Navata (cota 844), Torreldones (cotas 743 y 765), y Carlos III (cota 649). También se estudia la cuenca lateral del Arroyo Peregrinos, que tiene posibilidad de regulación en la cota 870.

En el Aulencia, la cabecera formada por los arroyos de El Batán y el Romeral, en que están construidos los pequeños embalses de abastecimiento de San Lorenzo y El Escorial; la cuenca del futuro embalse de regulación (cota 775), que regulará las aguas propias y las trasvasadas des-

de el Guadarrama, con destino al abastecimiento de Madrid y la actual presa de Regiones Devastadas, situada aguas abajo de la anterior.

Por último, se estudia la cuenca completa en la confluencia de los dos ríos (cota 589) por si hubiera posibilidad de construir una presa en dicho punto.

En el Cuadro III se presentan las superficies de las cuencas clasificadas según las distintas altitudes de cada una.

Con los datos de precipitaciones y escorren-tías que corresponden a cada altitud, y de la misma forma que se hizo el estudio teórico de La Jarosa, efectuamos el cálculo teórico de aportaciones medias y de años secos y lluviosos de las cuencas reflejadas en el cuadro III.

El resumen de las aportaciones en todas ellas se recoge en el cuadro IV, que presentamos a continuación. Estos datos nos servirán para calcular las capacidades de embalse más apropiadas en cada emplazamiento.

CUADRO IV. — Aportaciones en los diferentes emplazamientos.

a) Río Guadarrama:

EMPLAZAMIENTO	Cabecera utilizada por J. A. S.	Presa de Cercedilla	Cuatrel utilizados por J. A. S.	Presa de Negrals	Presa de 1.ª Navata	Presa de Peregrinos	Presa de Torreldones	presa de Carlos III	Hasta confluencia con Río Aulencia
Superficie de cuenca Km. <sup>2</sup>	26	46	28	176	251	15	293	306	431
Am.	12,1	18,4	9,9	52,3	67,8	3,4	76,4	78,5	93,4
As.	6,5	8,9	4,1	22,4	28,7	1,0	32,0	32,7	38,5
All.	18,0	27,5	15,6	78,4	100,4	6,2	112,8	116,4	138,4

b) Río Aulencia.

EMPLAZAMIENTO	Batán más Romeral	Presa del Aulencia	Presa de Regiones Devastadas	Hasta confluencia con río Guadarrama	Guadarrama más Aulencia en confluencia
Superficie de cuenca Km. <sup>2</sup>	10,5	101	117	159	590
Am.	3,5	21,1	24,0	29,2	122,6
As.	1,2	8,0	9,1	11,1	49,6
All.	6,2	32,7	37,0	45,0	183,4

## Estudio de los embalses.

Ya dijimos más arriba que un estudio definitivo requiere el conocimiento de la curva de aportaciones acumuladas en un período suficientemente largo, pero para nuestro trabajo de orientación nos basta con los datos reflejados en el cuadro IV

Existen dos tipos de desembalse: el uniforme a lo largo del año y el predominante de verano. El primer tipo es el característico de los embalses de regulación o en nuestro caso el del Aulencia para suministro a Madrid. El segundo es aplicable a los embalses de abastecimiento de los pueblos de la Sierra de Guadarrama, en que el 80 por 100 de su capacidad se consume en los meses de estiaje. Como es lógico, este último sistema requiere una capacidad de embalse mucho mayor si se quiere aprovechar al máximo la aportación del río.

Para un dimensionamiento rápido del embalse, se pueden sentar las siguientes premisas:

### 1.º *Desembalse uniforme.*

Supondremos un ciclo de cinco años, compuesto de dos años medios, dos secos y uno lluvioso. Si el embalse tiene capacidad superior a la aportación media, pero inferior a la de año lluvioso, se puede establecer:

$$D_m = \frac{2E + 2A_m + 2A_s}{5} = \frac{2}{5}(E + A_m + A_s) \text{ Hm.}^2;$$

siendo  $E$  la capacidad del embalse, y  $D_m$  el desembalse anual asegurado.

### 2.º *Desembalse de verano.*

En este caso no tenemos más defensa que la capacidad del embalse contra una sucesión de dos años secos, y el desembalse asegurado,  $D_v$ , será:

$$D_v = \frac{E + 2A_s}{3} \text{ Hm.}^3.$$

### 3.º *Volúmenes derivados para abastecimientos.*

De las aportaciones que figuran en el cuadro IV tenemos que descontar los volúmenes que se utilizarán en los abastecimientos de los pueblos de la Sierra y que sólo en parte volverán al

cauce de los ríos principales en forma de aguas negras.

Así, pues, en la presa de Cercedilla, hemos de descontar las aportaciones de años medios y secos de la cabecera utilizada por J. A. S. (Junta de Abastecimiento de la Sierra), y a partir de la de Negrales, los utilizados por la misma entidad en los Guateles 1.º y 2.º (La Jarosa).

Los derivados por las presas de El Romeral, El Batán y Regiones Devastadas son tan pequeños que no los tomamos en consideración, ya que además se verán compensados por los vertidos de aguas residuales.

Por efecto de los abastecimientos de la Sierra, y a pesar de las depuraciones de aguas residuales que se establezcan en cada núcleo, no hay duda de que durante el estiaje van a circular por el Guadarrama exclusivamente aguas negras. Como este río atraviesa los núcleos urbanos de Los Molinos, Guadarrama, Negrales, Valalba, La Navata y Torreldones, es de gran interés conseguir la mejora de esas aguas. El sistema más adecuado es la construcción de algunos embalses a lo largo del río, que vaciados en verano, produzcan la debida dilución de las aguas negras. Un apreciable caudal circulante de aguas corregidas en verano, a través de los núcleos antes citados, es el complemento del gran Plan de Abastecimientos, aparte de las perspectivas turísticas que ofrecería esta serie de lagos artificiales en el mismo corazón de la zona veraniega.

Para este fin están indicadísimos los emplazamientos que llamamos Presa de Cercedilla, Presa de Negrales, Presa de La Navata (utilizada también para trasvase al Aulencia), Presa de Torreldones y Presa de Carlos III (con posible utilización para trasvase al Manzanares).

Como embalse de reserva del Abastecimiento de la Sierra, para años secos, cabe estudiar la Presa del Peregrinos.

Para regulación general de la cuenca Guadarrama-Aulencia, estudiaremos el embalse sobre este último, con régimen de utilización constante para el abastecimiento de Madrid.

Y, por último, el hipotético emplazamiento de la confluencia de los dos ríos principales con vistas a un desembalse en verano para mejorar los aprovechamientos existentes en la cuenca baja, que indudablemente han de verse afectados por los volúmenes que van a sustraerse aguas arriba.

En el cuadro V se presentan los vertidos de aguas negras previsible en cada tramo del Guadarrama cuando esté en explotación normal el Abastecimiento de la Sierra.

#### A) EMBALSE DE CERCEDILLA.

La Presa se situará en la confluencia del río de La Venta con el de Las Puentes (Pradillo y Navalmedio), punto en que el río comienza a llamarse Guadarrama. La cota del cauce es la 1055, y se dispone de un buen estribo izquierdo

Con un embalse  $E = 4,5 \text{ Hm}^3$ :

$$Dv = \frac{4,5 + 2 \times 2,4}{3} = 3,1 \text{ Hm}^3.$$

$$Qv = 95 \times 3,1 = 2,95 \text{ l. s.}$$

Con  $E = 2,6 \text{ Hm}^3$ . (25 metros de altura):

$$Dv = \frac{2,6 + 2 \times 2,4}{3} = 2,5 \text{ Hm}^3.$$

$$Qv = 95 \times 2,5 = 235 \text{ l. s.}$$

CUADRO V. — *Vertido de aguas negras en verano.*

NUCLEOS	Caudal de abastecimiento	Vertidos al río — l/s.	Tramo del río afectado
Cercedilla .....	240	80	Aguas arriba de Presa de Cercedilla.
Los Molinos-Guadarrama .....	300	100	Entre Presas de Cercedilla y Negrals.
Colonias Guadarrama, Alpedrete, Negrals y Villalba .....	480	160	Entre Presas de Negrals y La Navata.
Galapagar y La Navata .....	150	50	Entre Presas de La Navata y Torrelodones.
Estación de Torrelodones .....	180	60	Entre Presas de Torrelodones y Carlos III.
Torrelodones .....	60	20	Entre Presas de Carlos III y Confluencia.

y más alargado el derecho. El ferrocarril Villalba-Segovia impone un límite máximo de altura de 30 metros, que equivale a un embalse de 4,5 Hm.<sup>3</sup>.

Las disponibilidades de agua son:

$$Am = 18,4 - 10,0 = 8,4 \text{ Hm}^3.$$

$$As = 8,9 - 6,5 = 2,4 \text{ Hm}^3.$$

$$All = 27,5 - 10,0 = 17,5 \text{ Hm}^3.$$

siendo los sustraendos los volúmenes utilizados aguas arriba por J. A. S. en años medios, secos y lluviosos.

Los desembalses de verano asegurados y caudales circulantes aguas abajo durante el estiaje serán:

$$Dv = \frac{E + 2 As}{3} \text{ Hm}^3.$$

$$Qv = \frac{3 \times 1000}{315} Dv = 95 Dv \text{ l./s.}$$

Parece suficiente esta última solución, teniendo en cuenta que el vertido de aguas negras anterior es de 80 l/s., es decir, del 30 por 100 del caudal de aguas limpias que produce el embalse.

#### B) EMBALSE DE NEGRALES.

El lugar adecuado de la Presa está inmediatamente aguas abajo de la confluencia del Guadarrama con el Guadarrama, en la cota 885,50. Como en el caso anterior, se dispone de un buen estribo (el derecho). El otro habría que desarrollarlo por una larga altiplanicie, pero con buen cimiento granítico. Este emplazamiento tiene la gran ventaja de que con muy poca altura de presa se consigue un embalse de gran capacidad (20 Hm.<sup>3</sup>. para  $H = 15,50$  metros).

Las disponibilidades de agua, suponiendo construido el embalse de Cercedilla, son:

$$Am = 52,3 - 17,0 - 2,5 = 32,8 \text{ Hm}^3.$$

$$As = 22,4 - 10,6 - 2,4 = 9,4 \text{ Hm}^3.$$

$$All = 78,4 - 17,0 - 2,5 = 58,9 \text{ Hm}^3.$$

Este embalse hay que estudiarlo desde dos puntos de vista: a) Para mejorar los caudales de estiaje del Guadarrama, y b) Para preparar el trasvase al Aulencia.

En el primer caso, basta con un embalse de reducidas proporciones; en el segundo conviene apurar sus posibilidades, como veremos al tratar del embalse de La Navata.

a) *Explotación de verano.*

Con una altura de 11 metros, se consigue un embalse  $E = 6,0 \text{ Hm.}^3 < A s$ :

$$Dv = 6,0 \text{ Hm.}^3.$$

$$Qv = 95 \times 6,0 = 570 \text{ l./s.}$$

Con altura de 10 metros,  $E = 4,0 \text{ Hm.}^3$ :

$$Dv = 4,0 \text{ Hm.}^3.$$

$$Qv = 95 \times 4,0 = 380 \text{ l. s.}$$

Como el caudal de aguas negras incorporado aguas arriba es de 100 l./s., bastaría con esta última solución.

b) *Explotación de trasvase.*

Si se quiere conseguir una regulación anual apreciable con vistas al trasvase Guadarrama-Aulencia, debemos estudiar capacidades mayores y desembalses en todo el año.

Para  $E = 18,0 \text{ Hm.}^3$  ( $H = 15$  metros):

$$Dm = \frac{2}{5} (18,0 + 32,8 + 9,4) =$$

$$= \frac{2}{5} \times 60,2 = 24,0 \text{ Hm.}^3.$$

$$Qm = \frac{24\ 000}{31,5} = 760 \text{ l./s.}$$

Para  $E = 10,6 \text{ Hm.}^3$ . ( $H = 13$  metros):

$$Dm = \frac{2}{5} (10,6 + 32,8 + 9,4) =$$

$$= \frac{2}{5} \times 52,8 = 21,6 \text{ Hm.}^3.$$

$$Qm = \frac{21\ 600}{31,5} = 680 \text{ l./s.}$$

Para esta finalidad parece suficiente la capacidad de  $10,6 \text{ Hm.}^3$ .

En ambos casos el caudal de estiaje se vera aumentado en el regulado por la presa superior y los vertidos de aguas negras.

Una explotación racional sería la de mantener un mínimo de  $4 \text{ Hm.}^3$  para desembalsar en verano con vistas a mantener un caudal de estiaje de aguas suficientemente limpias en el tramo subsiguiente y utilizar el resto del embalse como laminador de crecidas de invierno para lograr un trasvase económico al Aulencia.

C) *EMBALSE DE LA NAVATA.*

El gran emplazamiento del Guadarrama se encuentra en la cota 844. De la bondad del mismo es clara demostración que con una altura de 39 m. se obtiene un embalse de  $65 \text{ Hm.}^3$ , capaz de regular totalmente toda la cuenca que determina, aun sin derivaciones para abastecimientos.

Pero ya dijimos en su momento que la cretera de La Coruña, el barrio de la Estación de Villalba, y sobre todo el ferrocarril Madrid-Irún impiden la construcción de este gran embalse. La última circunstancia limita la altura del embalse a la cota 855, con lo que su capacidad queda reducida a tan sólo  $1,1 \text{ Hm.}^3$ . Es decir, que el mejor emplazamiento del Guadarrama ha de aprovecharse para instalar una pequeña presa de derivación, que no podrá cumplir ni siquiera el objetivo de laminar las crecidas normales.

A este respecto hemos de considerar que para conseguir la regulación conjunta en el embalse del Aulencia, es necesario trasvasar al menos la aportación íntegra de los años medios del Guadarrama, lo que supone construir una conducción con capacidad para caudales muy importantes. Si se tiene en cuenta que esta conducción debe tener un túnel de 5 Km. de longitud, hay que conseguir, por cualquier medio, reducir al máximo su sección. De aquí la importancia de estudiar con cariño el embalse de Negrals.

En el año 1964-65, que puede considerarse en el límite de años medios y secos, se produjeron en Santillana ( $242 \text{ Km.}^2$  de cuenca) caudales de  $30 \text{ m.}^3/\text{seg.}$ , sostenidos durante dos días. Siendo la cuenca de La Navata de  $251 \text{ Km.}^2$ , y a pesar de las derivaciones de Cebecera para los embalses del Plan de Abastecimientos de la Sierra, habrá que contar con caudales de crecida

en año medio de 25 m.<sup>3</sup>/seg., mantenidos durante dos días, lo que supone un volumen de 4,5 Hm.<sup>3</sup>. Es decir, que la presa de La Navata no puede cumplir con el fin de laminación de crecidas. El dilema se plantea de la siguiente forma: o construir un túnel para 25 m.<sup>3</sup>/seg. o construir la presa de Negrales, con capacidad suficiente para laminar las crecidas de años medios. Parece más lógica la segunda solución, que permite, además, cumplir el objetivo de mejorar las aguas circulantes de estiaje.

Teniendo en cuenta que el desembalse en verano de la Navata (1,1 Hm.<sup>3</sup>) sólo produce un caudal de  $95 \times 1,1 = 105$  l./s. y que los vertidos en el tramo anterior suponen 160 l./s., para conseguir una dilución aceptable es necesario complementar el caudal de aguas limpias desde Negrales, por lo que el estudio de estos embalses hay que realizarlo conjuntamente.

#### D) NEGRALES-LA NAVATA.

##### a) Para explotación de verano.

Los vertidos desde la presa de Cercedilla hasta la Navata suponen  $100 + 160 = 260$  l./s. Para conseguir siquiera un caudal doble de aguas limpias (520 l. s.), disponemos de los 105 l./s. de la La Navata más el que pueda producirse en Negrales, que ha de ser, por consiguiente:

$$Q_v = 520 - 105 = 315 \text{ l./s.}$$

$$D_v = E = \frac{315}{95} = 3,3 \text{ Hm.}^3$$

##### b) Para preparar el trasvase.

El volumen mínimo de embalse para laminar la crecida de 25 m.<sup>3</sup>/seg. durante dos días, es:

$$E' = 4,5 \text{ Hm.}^3$$

misión que debe cumplir el embalse de Negrales, por lo que su capacidad total deberá ser como mínimo de:

$$E = 3,3 + 4,5 = 7,8 \text{ Hm.}^3$$

embalse que se consigue con una altura de 12 metros.

Con este conjunto quedaría asegurado un trasvase al Aulencia de  $67,8 - 17,0 - 2,5 - 3,3 = 45,0$  Hm.<sup>3</sup> en años medios y lluviosos, y de  $28,7 - 10,6 - 2,4 - 3,3 = 12,4$  Hm.<sup>3</sup>, en años secos.

#### E) EMBALSE DE PEREGRINOS.

Las aportaciones de esta cuenca lateral son:

$$A_m = 3,4 \text{ Hm.}^3$$

$$A_s = 1,0 \text{ Hm.}^3$$

$$A_{ll} = 6,2 \text{ Hm.}^3$$

Para conseguir la regulación máxima con desembalse de verano, necesitamos una capacidad de:

$$D_v = \frac{E + 2 A_s}{3} = A_m;$$

$$E = 3 A_m - 2 A_s = 10,2 - 2 = 8,2 \text{ Hm.}^3$$

El límite económico de este emplazamiento es el embalse de 25 m. de altura, con capacidad de 3,1 Hm.<sup>3</sup>, que permite un desembalse de verano de:

$$D_v = \frac{3,1 + 2 \times 1}{3} = \frac{4,1}{3} = 1,7 \text{ Hm.}^3$$

$$Q_v = 95 \times 1,7 = 160 \text{ l./s.}$$

Ahora bien, el embalse de Navacerrada del Plan de la Sierra, puede disponer en años medios y lluviosos de un volumen mínimo sobrante de aportaciones de 5 Hm.<sup>3</sup>, que supone un caudal en seis meses de invierno de 315 l./s. La conducción Navacerrada-Villalba-Hoyo de Manzanares tiene capacidad superior a ese caudal, y durante el invierno puede utilizarse para trasvasar al embalse del Peregrinos, con lo que podrá aumentarse el rendimiento de éste a:

$$D'_v = \frac{3,1 + 1}{2} = \frac{4,1}{2} = 2,05 \text{ Hm.}^3$$

$$Q'_v = 95 \times 2,05 = 195 \text{ l./s.}$$

que permite abastecer los núcleos de Torrelodones (pueblo), Las Matas y Las Rozas, aumentando las dotaciones de los núcleos de aguas arriba servidos por los embalses principales del Plan.

#### F) EMBALSE DE TORRELODONES.

Este emplazamiento se encuentra aguas abajo de la confluencia del Arroyo Peregrinos y a la cota 743. Existe una buena cerrada, pero la pendiente del tramo del río obliga a alturas excesivas para conseguir una capacidad aceptable.

Supuestos construidos los embalses de Cercedilla, Negrals y La Navata, y derivados los volúmenes necesarios para el Plan de la Sierra y el trasvase al Aulencia, las disponibilidades son:

$$Am = 76,4 - 17,0 - 2,5 - 3,3 - 45,0 = 8,6 \text{ Hm.}^3$$

$$As = 32,0 - 10,6 - 2,4 - 3,3 - 12,4 = 3,3 \text{ Hm.}^3$$

$$All = 112,8 - 17,0 - 2,5 - 3,3 - 45,0 = 45,0 \text{ Hm.}^3$$

Los vertidos desde La Navata ascienden a 50 l./s., por lo que sería suficiente producir un caudal de estiaje de 150 l./s., que se consigue con un embalse de:

$$E = \frac{150}{95} = 1,6 \text{ Hm.}^3$$

que supone una altura de 30 m.

Teniendo en cuenta los sobrantes de aportaciones de años lluviosos (uno cada cinco años), la aportación media de posible regulación se convertiría en:

$$Am' = \frac{2 \times 8,6 + 2 \times 3,3 + 45,0}{5} = 13,7 \text{ Hm.}^3$$

Para alcanzar una regulación igual a este volumen, con desembalse en verano dedicado a un posible trasvase al Río Manzanares, se necesitaría un embalse de:

$$Dv = Am' = \frac{E + 2 \times 3,3}{3}$$

$$E = 3 \times 13,7 - 6,6 = 41,1 - 6,6 = 34,5 \text{ Hm.}^3$$

con lo que se obtiene un caudal de estiaje de:

$$13,7 \times 95 = 1\,300 \text{ l./s.}$$

Pero para ello se requiere una presa de 75 metros de altura, que unida al costoso canal y túnel de trasvase al Arroyo de Trofas, afluente del Manzanares, hacen casi prohibitiva la solución.

Por consiguiente, habrá que contentarse con un pequeño embalse, como máximo, de 2,5 hectómetros cúbicos, que dará origen a un bonito lago en zona de gran belleza natural, que cumpla la misión exclusiva de mejorar la calidad de los caudales de estiaje, y para ello es preferible utilizar la cerrada que se encuentra en la cota 765.

### G) EMBALSE DE CARLOS III.

Al final del cañón granítico encontramos el último emplazamiento útil, en la cota 649 del río Guadarrama. Ocurre aquí un caso similar al de Torrelodones, pero todavía más grave, por ser el vaso del embalse menos propicio. Basta decir que para alcanzar la cota del canal de trasvase al Manzanares, construido en la misma época que la presa, cuyos restos se conservan, hace falta una altura sobre el cauce de 81 m. y el embalse muerto que queda por debajo es tan sólo de 16 Hm.<sup>3</sup>.

Las aportaciones disponibles son:

$$Am = 78,5 - 17,0 - 2,5 - 3,3 - 45,0 - 2,0 = 8,7 \text{ Hm.}^3$$

$$As = 32,7 - 10,6 - 2,4 - 3,3 - 12,4 - 2,0 = 2,0 \text{ Hm.}^3$$

$$All = 116,4 - 17,0 - 2,5 - 3,3 - 45,0 - 2,0 = 46,6 \text{ Hm.}^3$$

El caudal de vertidos desde la presa superior es de 60 l./seg. Para conseguir un caudal de aguas limpias de 180 l./seg., es necesario un embalse de 1,9 Hm.<sup>3</sup>, que se consigue con una presa de 40 m.

Como en el caso anterior, la aportación media rectificada con el sobrante de años lluviosos es:

$$Am' = \frac{2 \times 8,7 + 2 \times 2,0 + 46,6}{5} = \frac{68,0}{5} = 13,6 \text{ Hm.}^3$$

Para su regulación, con vistas al trasvase al río Manzanares, se requiere un embalse útil de:

$$E = 3 \times 13,6 - 2 \times 2,0 = 40,8 - 4,0 = 36,8 \text{ Hm.}^3$$

que sumados a los 16 Hm.<sup>3</sup> perdidos para alcanzar la cota del canal, hacen un total de 52,8 hectómetros cúbicos.

Para conseguirlo hace falta una presa de 120 metros de altura. Es curioso pensar que esta solución es la que pretendían lograr los técnicos de Carlos III, con una presa compuesta por dos paramentos casi verticales de mampostería recibida con cal y relleno interior de material suelto.

En resumen, que habrá que contentarse aquí también con un modesto embalse, a lo sumo de 2 Hm.<sup>3</sup>, si queremos embellecer el último paraje montañoso del Río Guadarrama.

## EMBALSE DEL AULENCIA.

Después de pasar revista a todos los emplazamientos del Guadarrama y comprobar los inconvenientes que presentan para conseguir una regulación total del río, hemos de considerar el único vaso que se nos ofrece sin limitaciones de ninguna clase: el embalse del Aulencia.

Hacia la cota 775 de este río, 1 Km. aguas abajo del puente de la carretera de Galapagar a Valdemorillo, existe una buena cerrada, si no de la calidad de La Navata, con garantía suficiente para construir una gran presa de embalse. Las aportaciones de la cuenca propia son:

$$A_m = 21,1 \text{ Hm.}^3.$$

$$A_s = 8,0 \text{ Hm.}^3.$$

$$A_{ll} = 32,7 \text{ Hm.}^3.$$

Si sumamos a ellas las que pueden trasvasarse del Guadarrama, como consecuencia del complejo Negrales-La Navata, obtenemos las siguientes disponibilidades:

$$A'm = 21,1 + 45,0 = 66,1 \text{ Hm.}^3.$$

$$A's = 8,0 + 12,4 = 20,4 \text{ Hm.}^3.$$

$$A_{ll} = 32,7 + 45,0 = 77,7 \text{ Hm.}^3.$$

Para conseguir la regulación total con desembalse a lo largo de todo el año, con destino al abastecimiento de Madrid, se requiere una capacidad de embalse de:

$$D_m = A'm = \frac{2}{5} (E + A'm + A_s);$$

$$E = \frac{3}{2} A'm - A_s = \frac{3}{2} \cdot 66,1 - 20,4$$

$$= 99,2 - 20,4 = 78,2 \text{ Hm.}^3$$

La que hemos de descontar la conseguida en Negrales a efectos de regulación (4,5 Hm.<sup>3</sup>). Es decir, que el embalse óptimo debe ser:

$$E = 73,7 \text{ Hm.}^3.$$

Este embalse se consigue con una altura de 44 m., lo que dice bastante de la buena calidad del vaso.

El caudal continuo que puede destinarse a Madrid sería:

$$Q_m = \frac{66 \cdot 100}{31,5} = 2 \cdot 100 \text{ l./s.}$$

Si se establece una estación de filtración y depuración antes del depósito final de la conducción Aulencia-Majadahonda, podrían utilizarse también los caudales de estiaje producidos por los pequeños embalses del Cercedilla, Negrales y La Navata, aumentados con los vertidos de los núcleos abastecidos de la sierra, lo que supone un total hasta La Navata de:

$$Q_v = 80 + 235 + 260 + 315 + 105 = 995 \text{ l. s.}$$

equivalente a un caudal continuo anual de:

$$Q'm = \frac{995}{3} = 331 \text{ l./s.}$$

Es decir, que el conjunto Guadarrama-Aulencia puede ofrecer al abastecimiento de Madrid un volumen anual asegurado de:

$$V = (2,10 + 0,33) \times 31,5 = 76,5 \text{ Hm.}^3$$

capaz de abastecer una población de 600.000 habitantes, con una dotación de 350 l./h./d.

## I) EMBALSE DE REGIONES DEVASTADAS.

El último emplazamiento granítico que ofrece el Aulencia está ocupado por la presa construida por Regiones Devastadas, en la cota 735, para abastecer a los pueblos de Brunete, Villanueva del Pardillo, Villanueva de la Cañada y Quijorna. Tiene una capacidad de embalse de 0,4 Hm.<sup>3</sup>.

Después de derivar la totalidad de aportaciones del Aulencia hacia Madrid, las disponibilidades de este embalse quedan reducidas a:

$$A_m = 24,0 - 21,1 = 2,9 \text{ Hm.}^3$$

$$A_s = 9,1 - 8,0 = 1,1 \text{ Hm.}^3$$

$$A_{ll} = 37,0 - 32,7 = 4,3 \text{ Hm.}^3.$$

Para obtener la regulación total de la cuenca propia con desembalse continuo, es necesaria una capacidad de:

$$E = \frac{3}{2} A_m - A_s = \frac{3}{2} \times 2,9 - 1,1 =$$

$$= 4,3 - 1,1 = 3,2 \text{ Hm.}^3$$

que no tiene objeto alcanzar de momento, pues la aportación de año seco es superior al consumo actual de los pueblos abastecidos. Sin embargo, con un recrecimiento de 10 m. de la actual pre-

sa, podría alcanzarse la regulación total, que permitiría un abastecimiento a los pueblos de esa zona hasta una población de 40.000 habitantes, con dotación de 200 l./h./d.

## J) EMBALSE DE LA CONFLUENCIA.

Veamos, por último, las posibilidades hidráulicas del emplazamiento situado en la confluencia de los ríos Guadarrama y Aulencia, en la cota 588.

Las aportaciones disponibles son:

$$A_m = 122,6 - 17,0 - 2,5 - 3,3 - 45,0 - 21,1 - 0,4 = 33,3 \text{ Hm.}^3$$

$$A_s = 49,6 - 10,6 - 2,4 - 3,3 - 12,4 - 8,0 - 0,4 = 12,5 \text{ Hm.}^3$$

$$A_{ll} = 183,4 - 17,0 - 2,5 - 3,3 - 45,0 - 32,7 - 0,4 = 82,5 \text{ Hm.}^3.$$

La aportación media rectificada con el sobrante de años lluviosos no derivados aguas arriba es:

$$A'_m = \frac{2 \times 33,3 + 2 \times 12,5 + 82,5}{5} = \frac{174,1}{5} = 34,8 \text{ Hm.}^3.$$

Con idea de desembalsar en verano para mejorar los aprovechamientos del bajo Guadarrama, la capacidad de embalse para la regulación total sería:

$$E = 3 A'_m - 2 A_s = 3 \times 34,8 - 2 \times 12,5 = 104,4 - 25,0 = 79,4 \text{ Hm.}^3$$

que se consigue con una altura de tan sólo 27 metros.

El caudal resultante de estiaje sería:

$$Q_v = 34,8 \times 95 = 3\ 300 \text{ l./s.}$$

al que pueden agregarse los 1 325 l./seg. regulados por los embalses purificadores del Guadarrama, si no se considera oportuno trasvasar dichas aguas al Aulencia.

Esta regulación es interesantísima, pero queda supeditada a la posibilidad de construir una presa con garantía de impermeabilidad de los terrenos circundantes. La construida sobre el Alberche, en Cazalegas, está asentada en terreno de la misma naturaleza y con cerrada topográfica mucho peor. Sin embargo, se ha conseguido

do un buen embalse para la derivación a los canales de riego de la zona de Talavera.

Por consiguiente, estimamos que debe realizarse un profundo reconocimiento, mediante sondeos, para intentar la última regulación importante del Guadarrama.

## Resumen final.

Como resumen de lo expuesto, podemos sacar las siguientes conclusiones sobre el aprovechamiento integral del Río Guadarrama:

1.º Para los abastecimientos de los pueblos de la Sierra de Guadarrama, se puede disponer de un volumen anual asegurado de 10,6 hectómetros cúbicos, utilizando los ríos y arroyos de la cabecera.

2.º Para el abastecimiento de Madrid se puede conseguir un volumen anual asegurado de 66,1 Hm.<sup>3</sup>, construyendo el complejo Negralés-La Navata-Aulencia.

3.º Mediante la construcción de los embalses complementarios de Cercedilla, Torrelodones y Carlos III, se consiguen unos caudales circulares de verano que, incrementados con los vertederos de aguas residuales, oscilan entre 320 y 1 325 litros por segundo, que pueden utilizarse de tres formas: a) Incrementando el rendimiento del embalse del Aulencia; b) creando zonas de regadíos en las llanuras de la zona afectada por el abastecimiento de la sierra, y c) mejorando el desembalse del hipotético embalse de la confluencia.

4.º Como regulación final para aumentar los caudales de estiaje de la cuenca baja, puede estudiarse el embalse de la confluencia Guadarrama-Aulencia.

5.º Los tramos del escalón granítico de ambos ríos, de gran interés hidroeléctrico, no podrán utilizarse a este fin por la derivación de los caudales más importantes para el abastecimiento de Madrid.

6.º Por la misma razón anterior, resulta prácticamente irrealizable el trasvase de caudales de verano al Manzanares, ya que el coste elevado de las obras no sería compensado por una mejora considerable.

7.º Este estudio no pretende ser más que una fuente de orientación para otros más profundos con los que se logre la aspiración de toda deseada: aprovechar hasta la última gota de agua de nuestros irregulares ríos.