

LOS RIOS ESPAÑOLES Y SU REGULACION

Por ENRIQUE BECERRIL

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Las características hidrológicas de un país influyen profundamente sobre la técnica, tanto en sus objetivos como en sus métodos de trabajo. La hidrología española, con sus características peculiares, ha impuesto una orientación de la política agrícola y energética, y a la vez ha obligado a la aplicación de métodos y criterios desarrollados por razón de la misma necesidad.

Se ha dicho que la Península Ibérica tiene las características de un pequeño continente; su situación crucial en el extremo occidental de Europa determina la presencia de cuatro influencias, de las que dos, la atlántica y la mediterránea, son marítimas, y otras dos, la europea y la africana, son continentales.

Las situaciones meteorológicas típicas que afectan a la península pueden sintetizarse en los esquemas de la figura 1.^a, en los cuales se señalan cinco tipos de tiempo. De éstos, aquel que tiene un mayor valor positivo en el orden hidrológico es el que corresponde a la configuración b). El avance de una depresión desde las Azores en dirección NO., da lugar a la producción sobre la península de vientos atlánticos que progresivamente giran en el sentido de las agujas de un reloj desde la posición SO. hasta la dirección NO. El paso de un sistema de depresiones de esta especie puede representar la captación en los embalses españoles, en pocos días, de un volumen de 2 000 a 3 000 millones de m.³. Las posiciones que pudiéramos llamar mediterráneas están simbolizadas en la figura c) y dan vientos de componente NE. y precipitaciones litorales con frecuencia de gran intensidad.

A las influencias exteriores se suma la del propio relieve, integrado por un conjunto de barreras montañosas, que dan a la península semejanza con una fortaleza dividida en recintos.

Esta influencia es importante porque origina estancamiento en el frente anterior y localizaciones de efecto föen en el posterior. Este efecto es muy marcado en el litoral cantábrico para los vientos del Sur (el Abrego), y en cambio afecta a los vientos del NO. en las cuencas del Duero y del Tajo, que en parte quedan así a la sombra de la lluvia.

La estructura del recinto montañoso determina, en definitiva, que sea la dirección SO. aquella según la cual es más fácil para los temporales el abordarlo; habida cuenta de la importancia de las perturbaciones atlánticas, resulta que toda el área peninsular es alcanzada por ellas, incluso hasta las

costas de Levante, aun cuando, naturalmente, con la reducción debida al efecto de barrera de la Cordillera Ibérica que se orienta de Norte a Sur.

Por el contrario, las depresiones mediterráneas, menos extensas siempre que las atlánticas, encuentran un límite a su acción en la propia Cordillera Ibérica, por lo cual es predominante la influencia atlántica sobre los ríos Ebro y Júcar.

De aquí también que no exista prácticamente una compensación de regímenes entre los ríos atlánticos y mediterráneos, excepto para la zona litoral.

Los temporales de origen mediterráneo son los que, en general, producen las grandes lluvias torrenciales, determinantes de inundación en los cauces de Levante, que ejercen su terrible amenaza principalmente en los meses de otoño, en coincidencia, en general, con buen tiempo en el resto de la península.

La historia regional recuerda más de 40 avenidas catastróficas desde el siglo XV hasta nuestros días. La última ocurrió en la ciudad de Valencia en los días del 12-14 de octubre de 1958, y en ella los pantanos reguladores de la cabecera de los ríos Júcar y Turia, prácticamente, no recibieron aportación, localizándose las precipitaciones en la zona del litoral (fig. 2).

Mención especial merece el complejísimo régimen de lluvias en las vertientes españolas de la cordillera pirenaica, a las que alcanzan, ya desprovistos de humedad, los vientos del NO. que atraviesan las llanuras francesas. De aquí la mayor riqueza de la vertiente Norte del Pirineo y la sequía muy marcada de algunas zonas subpirenaicas en el valle del Ebro.

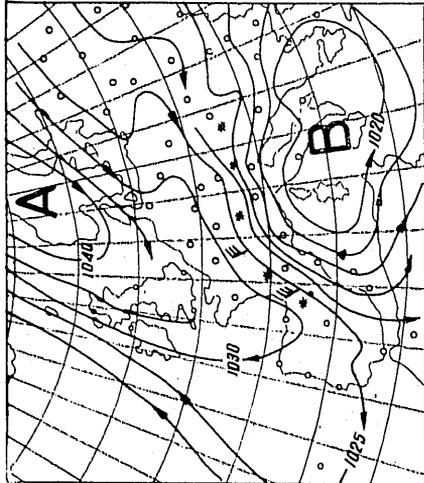
La influencia de las nieves en el sistema español es, en general, reducida; sólo tiene verdadera importancia en las altas montañas pirenaicas y es apreciable en los macizos centrales y en el interesante episodio de Sierra Nevada.

El valor medio de la lluvia en España es relativamente elevado, próximo a los 650 mm. anuales, pero su repartición es extraordinariamente desigual, y asimismo es muy irregular por sus variaciones de un año a otro. Los promedios registrados en los últimos años son los siguientes:

1948	620 mm.	1954	512 mm.
1949	544 »	1955	802 »
1950	512 »	1956	698 »
1951	788 »	1957	627 »
1952	662 »	1958	763 »
1953	537 »	1959	881 »

Situación del NE.

Irrupción de aire ártico continental. En invierno: heladas, cielo claro, mistral y cierzo en los valles del Ródano y Ebro. Puede suceder a una situación del N o más bien tras un paso de presión del Golfo de Cádiz al Mediterráneo. La situación de nevadas sobre la Península se produce solamente cuando hay una aportación de aire cálido, por estar la baja mediterránea muy al S. y con las isobaras en el sentido de los paralelos.



c)

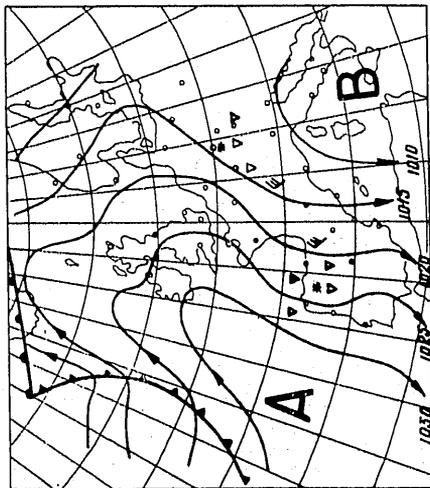
Situación del N.

Entrada de aire frío del N. Estancamiento en las laderas septentrionales, chubascos, especialmente en el Cantábrico.

Vientos entre NW-NE superiores a 50 km/h. desde superficie a 5.000 metros.

Duración de 1 a 5 días, más frecuente algo más de 2 días.

Se producen detrás del paso al Mediterráneo de un frente frío o borrasca. Foehn a solavento en las cordilleras principales.

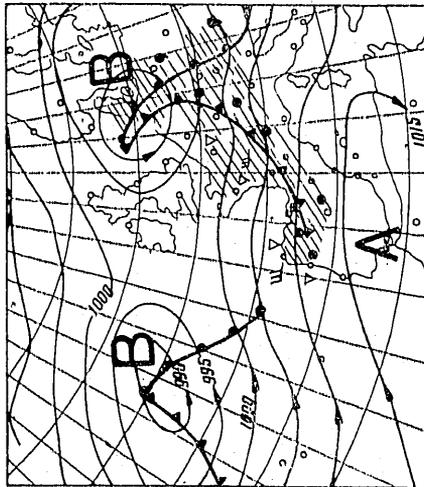


a)

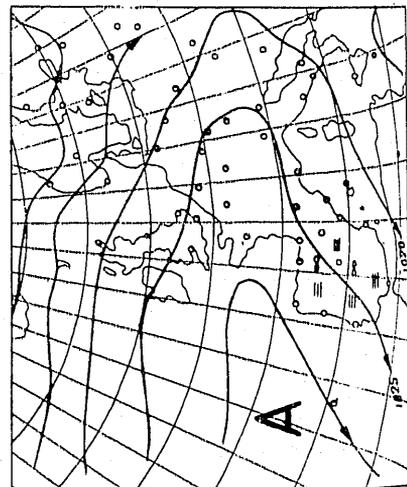
Situación del W.

Entrada de masa atlántica; generalmente sólo afecta a la mitad N. de la Península. Lluvias, chubascos y claros, marcan el paso alternado de frentes y cuñas anticiclónicas entre los sistemas frontales. La frecuencia de la precipitación decrece de N a S y de W a E. Vientos fuertes.

d)



e)



Buen tiempo, anticiclónico

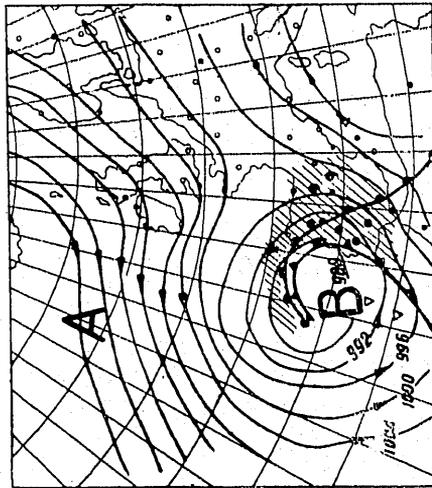
Alta centrada en el Atlántico: tiempo bueno, inversiones fuertes, nieblas en invierno y otoño.

Alta centrada sobre Europa: tiempo seco, heladas de radiación en invierno y, en verano, calor.

Situación del SW.

Depresiones o secundarios al W de la Península, flujo cálido y húmedo del SW; lluvias abundantes en toda la vertiente Atlántica primero, en Andalucía occidental y Extremadura moderadas o fuertes, después lluvias generales; chubascos en Galicia, tiempo nuboso en costa Cantábrica.

Persistencia de 5 a 10 días en función del bloqueo ejercido por el anticiclón de Islandia y las altas presiones en Europa Oriental.



b)

La distribución de los valores medios se señala en el mapa de la figura 3, en el que puede verse que los valores máximos corresponden a las zonas del N.-NO., a la Cordillera Central y a las proximidades del Estrecho de Gibraltar, marcándose muy claramente el efecto de las alturas que por el lado portugués cierran la meseta, y a las que correspon-

Esta distribución de la lluvia puede sintetizarse por la curva de la figura 4, que señala su notable disimetría. Sobre la misma se ha representado la distribución de la escorrentía con disimetría aún más acentuada.

La irregularidad en la distribución geográfica y temporal de las lluvias se traduce en el régimen

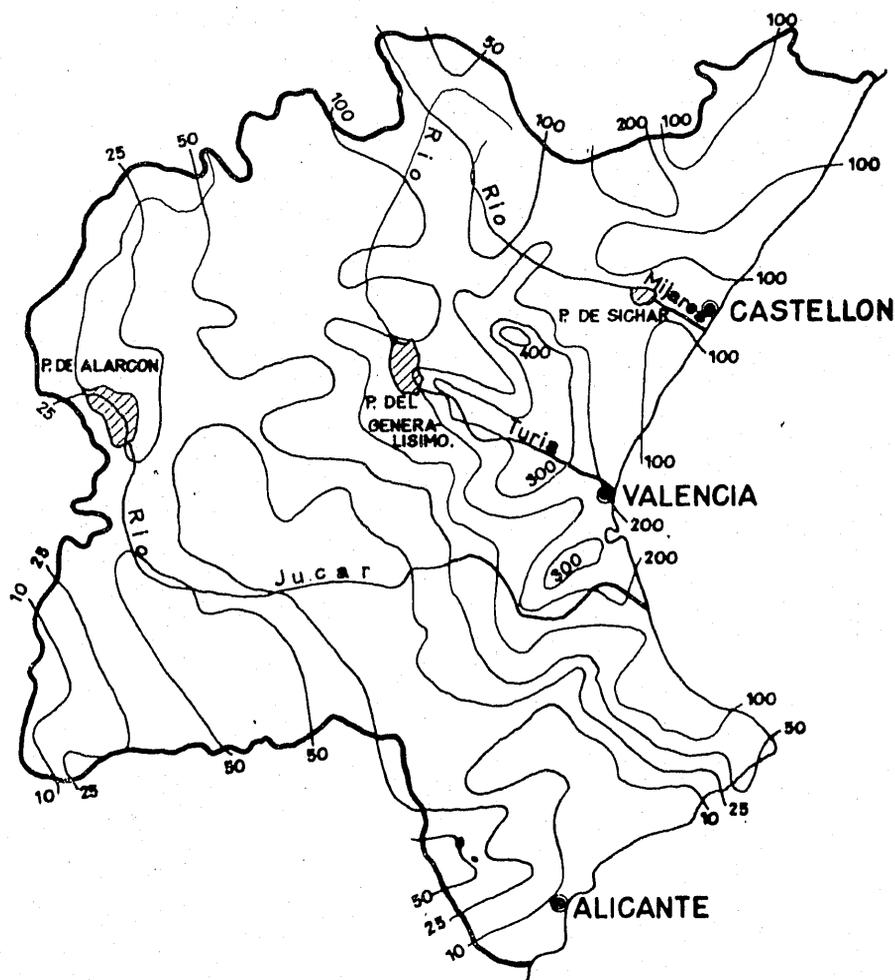


Fig. 2.ª — Isohietas de los días 13 a 15 de octubre de 1957 en la zona de Valencia.

den las más fuertes localizaciones de la lluvia. Los valores mínimos, que alcanzan apenas los 200 milímetros/año, caracterizan las zonas más secas de las comarcas del SE. La isoyeta de 500 mm. separa dos regiones netamente diferenciadas, que se designan de ordinario con el nombre de *Iberia seca* e *Iberia húmeda* (1).

(1) La información meteorológica de este artículo es debida a los Sres. Castejón y Pérez Delgado, de los Servicios Técnicos del Banco Urquijo.

de los ríos, que son, así, intermedios entre los europeos y los africanos. Tal irregularidad afecta a la distribución de caudales dentro de cada año y al volumen de la aportación total en el año, y la cuantía de una y otra variación ha aconsejado realizar un estudio de los dos fenómenos por separado.

En efecto, la distribución de los caudales dentro de cada año, es decir, el ciclo anual, está presidido por el movimiento de traslación terrestre y, por consiguiente, existe una norma general de distribución

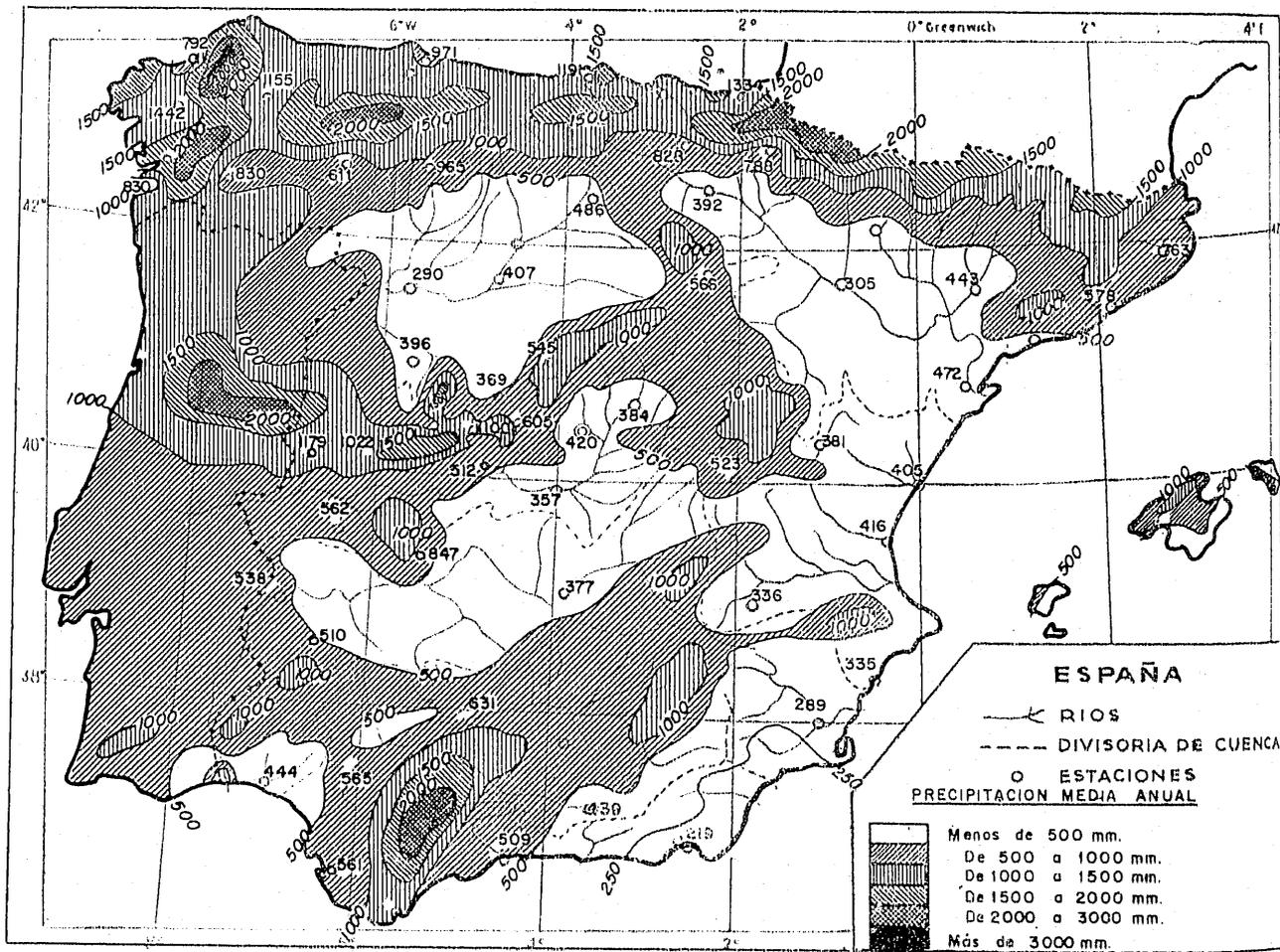


Fig. 3.— Mapa de España.

CURVAS PLUVIOMETRICAS Y DE APORTACIONES EN LA PENÍNSULA IBERICA

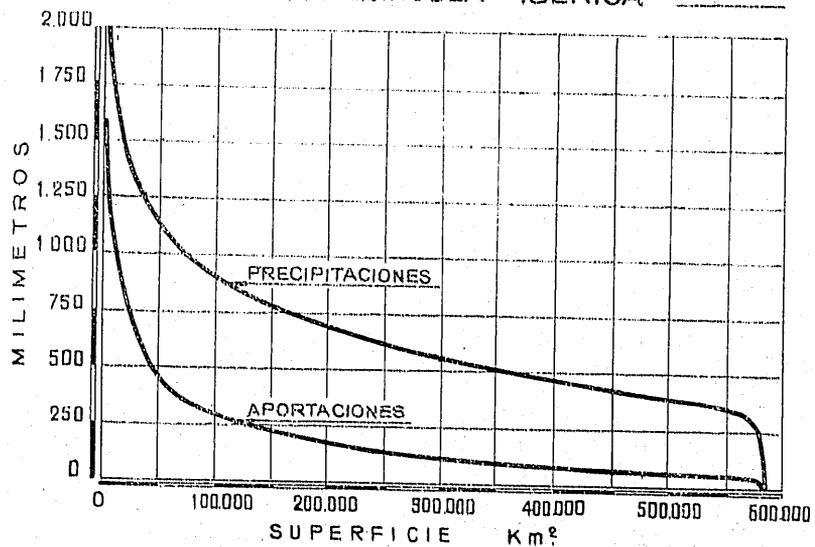


Figura 4.

de los caudales que representan un fenómeno periódico no regular. Los máximos de caudal en los ríos españoles corresponden, de ordinario, a los dos períodos *noviembre-diciembre* y *enero-febrero-marzo*, separados por otro en que ejercen su influjo situaciones de alta presión atlántica y cuya duración es, de ordinario, de veinte a treinta días. En general, el máximo más acusado es el de primavera, aun cuando la irregularidad particularmente marcada del régimen otoñal haga relativamente frecuente la aparición de años con máximo otoñal. La dispersión estadística de los caudales primaverales es más moderada que la de los caudales de otoño. El estiaje es muy intenso y se extiende de julio a octubre, si bien en las zonas de alta montaña la nieve determina un retraso en los caudales de primavera y un sequiaje de invierno.

Podemos, por otra parte, considerar demostrado que las lluvias de primavera y otoño son en nuestro país estadísticamente independientes entre sí, es decir, que la correlación entre los valores respectivos no tiene significación (1); pero no ocurre lo mismo con los caudales, porque dependiendo éstos de la cuantía de la lluvia y de las condiciones en que el terreno se encuentra al recibirla, en los otoños abundantes se produce la alimentación de las reservas profundas, que sumadas a la acción de las superficiales, se acusan en indudable mejoría de la escorrentía primaveral. De aquí que pueda afirmarse que la situación determinada por el año hidrológico que finaliza en octubre queda completamente liquidada después del estiaje, y las áreas de captación de los cauces fluviales se disponen a recibir sin prácticas reservas la presentación del nuevo año hidrológico; la independencia interanual puede, por tanto, considerarse como un postulado de aplicación práctica a la mayor parte de los casos.

En el estudio, por tanto, de la irregularidad, pueden sentarse — sin perjuicio de admitir excepciones particulares — dos afirmaciones útiles como instrumento de trabajo:

- 1.ª En cada río, la sucesión anual se acomoda a una configuración bastante definida.
- 2.ª Cada año hidrológico es, físicamente, independiente del anterior y del que le sigue.

De aquí la posibilidad de estudiar la *regulación anual* de los ríos en la forma que se indica en las figuras 5 y 6, que corresponden a datos del río Genil, en el que el Ministerio de Obras Públicas está construyendo el importante pantano de Iznájar.

Por el método habitual de caudales acumulados se determina el volumen regulador necesario para obtener un régimen uniforme, y los resultados se trasladan a un gráfico general: los puntos quedan alineados con dispersión moderada y una línea trazada desde el origen con el coeficiente angular 0,20

cubre prácticamente la totalidad de los valores individuales.

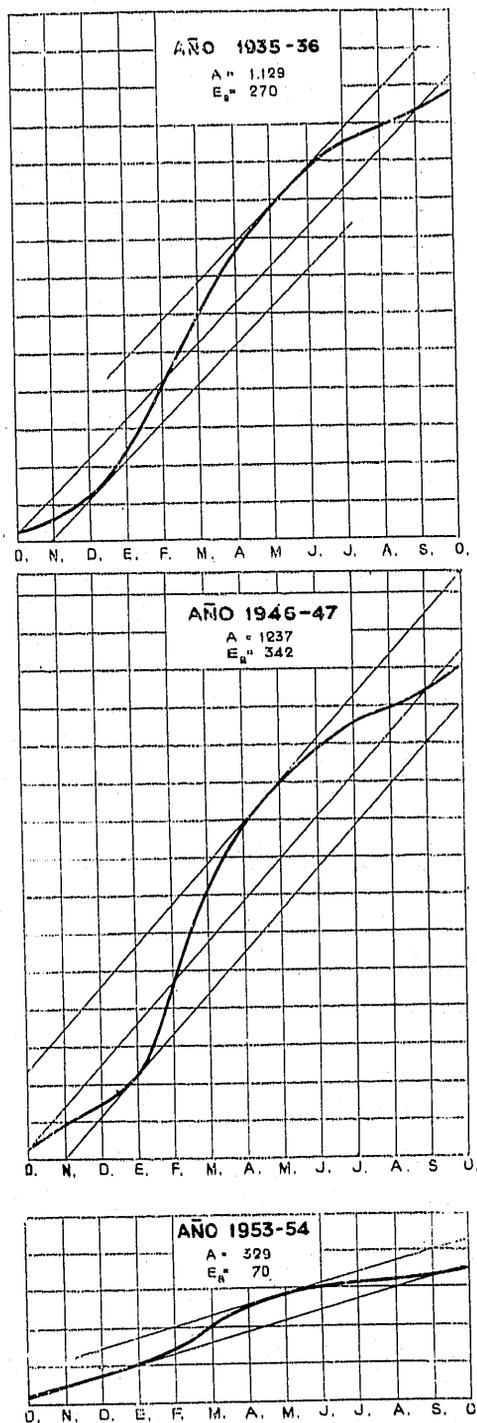


Figura 5.

Debido al efecto de la nieve de Sierra Nevada, el río Genil tiene un coeficiente de regulación anual moderada. En el resto de la península son frecuentes los valores comprendidos entre 0,30 y 0,35.

(1) Estudios del Prof. González Quijano.

Características distintas tiene el problema de la regulación interanual. La irregularidad de los ríos españoles se señala numéricamente por los valores

Tan fuerte dispersión afecta a la exactitud del conocimiento de los valores de la media, ya que, por ejemplo, para que los promedios respectivos

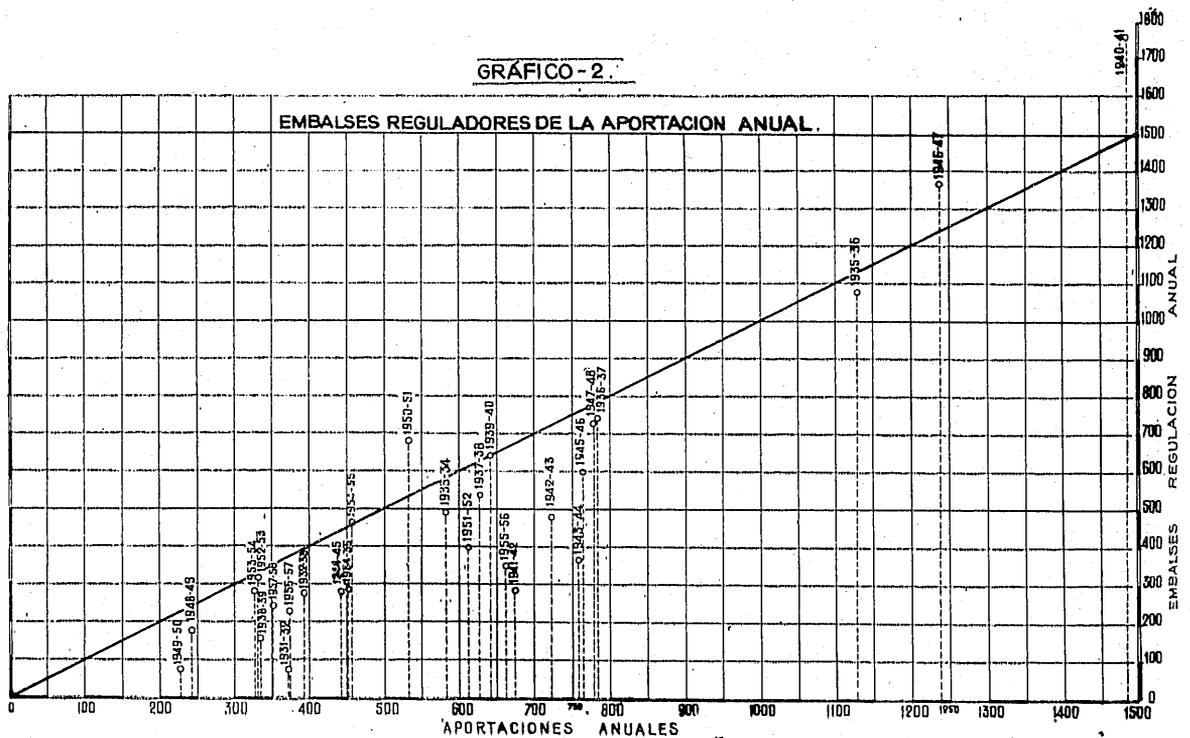


Figura 6.

de las desviaciones cuadráticas respectivas, que oscilan entre $\sigma = 0,25$ (Garona) y $\sigma = 0,75$ (Guadalquivir); al río Tajo, en situación central, le corresponde un valor $\sigma = 0,50$.

Sean conocidos con un error probable de ± 5 por 100, hace falta disponer de series de aforos de doce años en el Garona, cincuenta en el Tajo y ciento doce en el Guadalquivir.

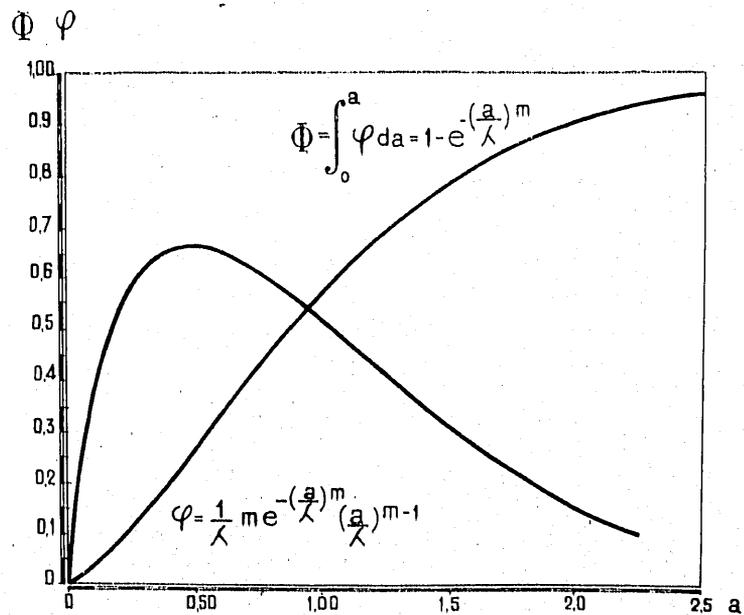


Figura 7.

RIO GENIL EN IZNAJAR

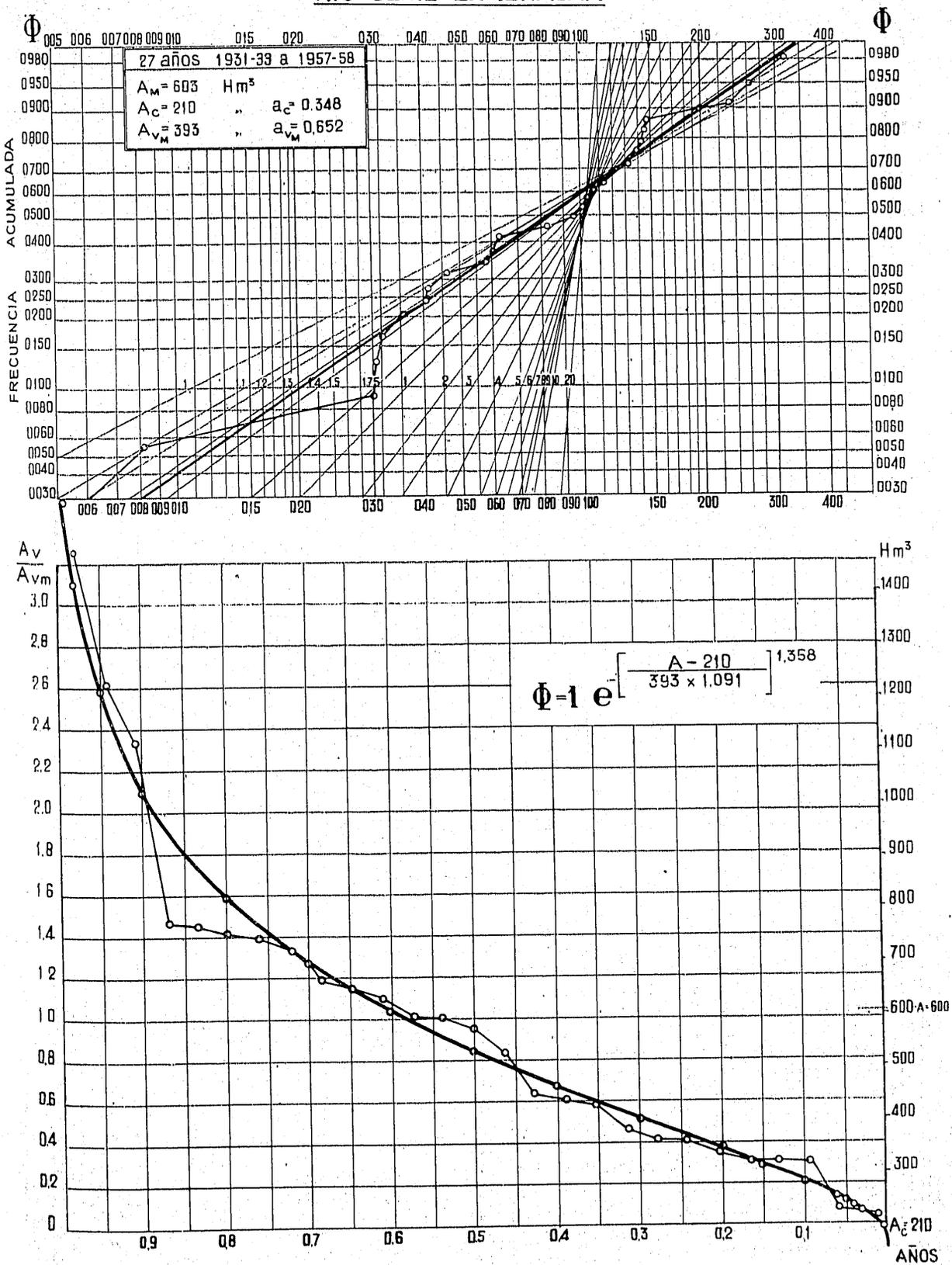


Figura 8.

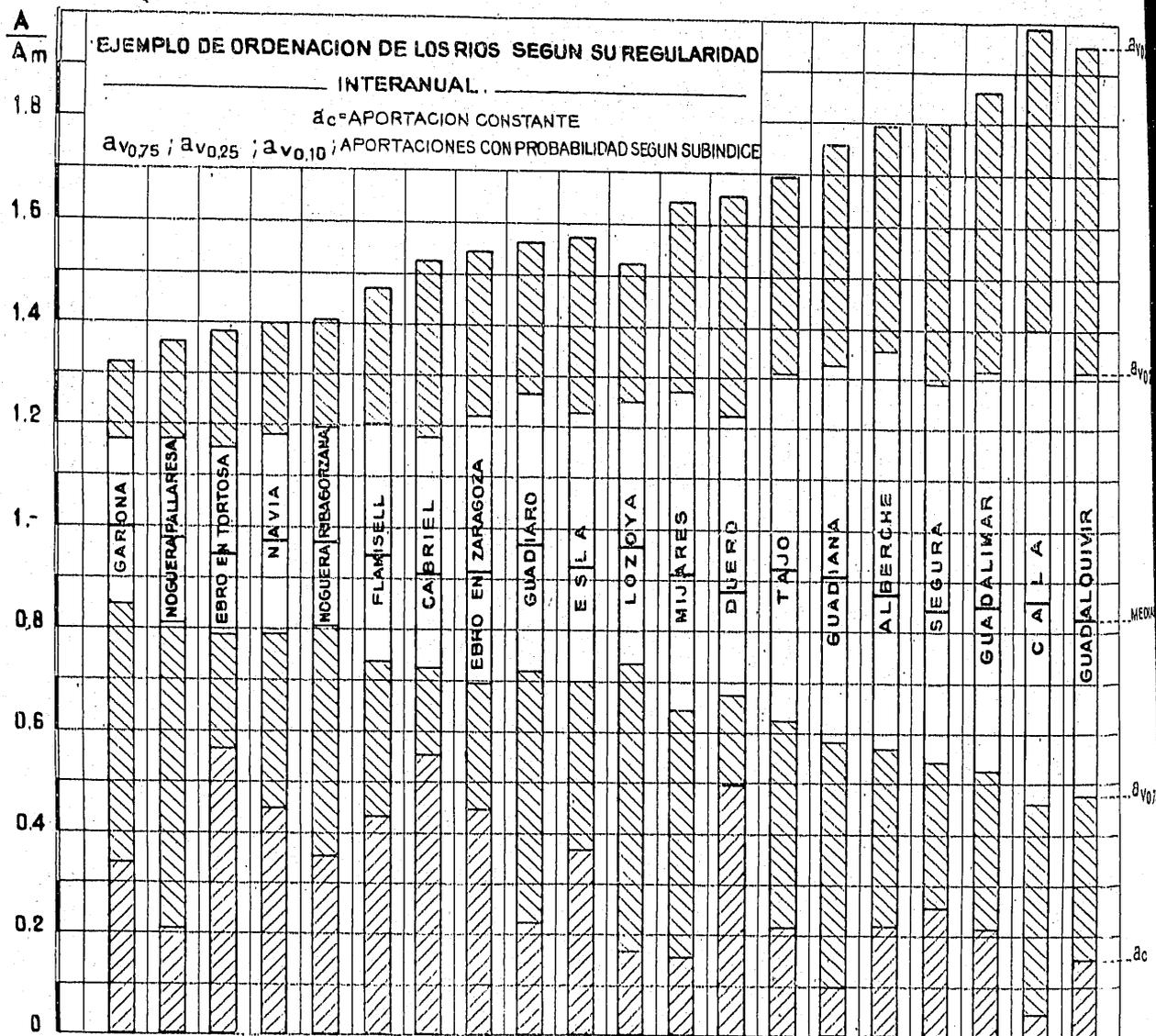


Figura 9.

Con mayor motivo y a menos de disponer de larguísimas series de aforos — que en la realidad no existen —, es imposible juzgar acerca de la validez de las sucesiones de los valores anuales.

No quiere esto decir que neguemos la posibilidad de una influencia periódica posiblemente originada en la actividad solar, tema objeto de interesantes investigaciones en el momento actual; pero consideramos más adecuado prescindir de toda ley de sucesión y considerar el fenómeno regido exclusivamente por la ley estadística deducida del período aforado. La aceptación de este convenio corresponde, por consiguiente, a separar dentro del fenómeno fluvial un aspecto preferentemente determinista (la sucesión dentro de cada año) y otro de puro azar (la sucesión de los valores anuales). El primer aspecto es, principalmente, morfológico, es decir, cua-

litativo; el segundo es estadístico, es decir, cuantitativo.

Siguiendo estas ideas, hemos llevado a cabo un estudio sistemático de un conjunto de ríos españoles (1), utilizando para interpolar sus curvas frecuencia funciones del tipo

$$\Phi = \int_0^a \varphi da = 1 - e^{-\left(\frac{a}{\lambda}\right)^m} \quad (\text{Fig. 7})$$

de las que damos el diagrama correspondiente al mismo río Genil al que nos hemos referido anteriormente (fig. 8).

(1) *La regulación de los ríos*. Madrid, 1959. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Aparte el valor modular, expresivo de la cuantía, cada río queda definido por dos parámetros, que son el valor de la aportación constante a_c (mínimo de los volúmenes anuales) y el exponente n característico de la variabilidad.

De tales datos puede deducirse el volumen del embalse interanual necesario para asegurar un régi-

regulación en función de la garantía exigida al régimen uniforme, diagrama éste que por su expresividad nos dispensa de todo comentario.

Si en lo expuesto se traduce la preocupación de los técnicos españoles por la irregularidad característica de sus ríos y por la manera de corregirla, se comprende que desde fines del pasado siglo se

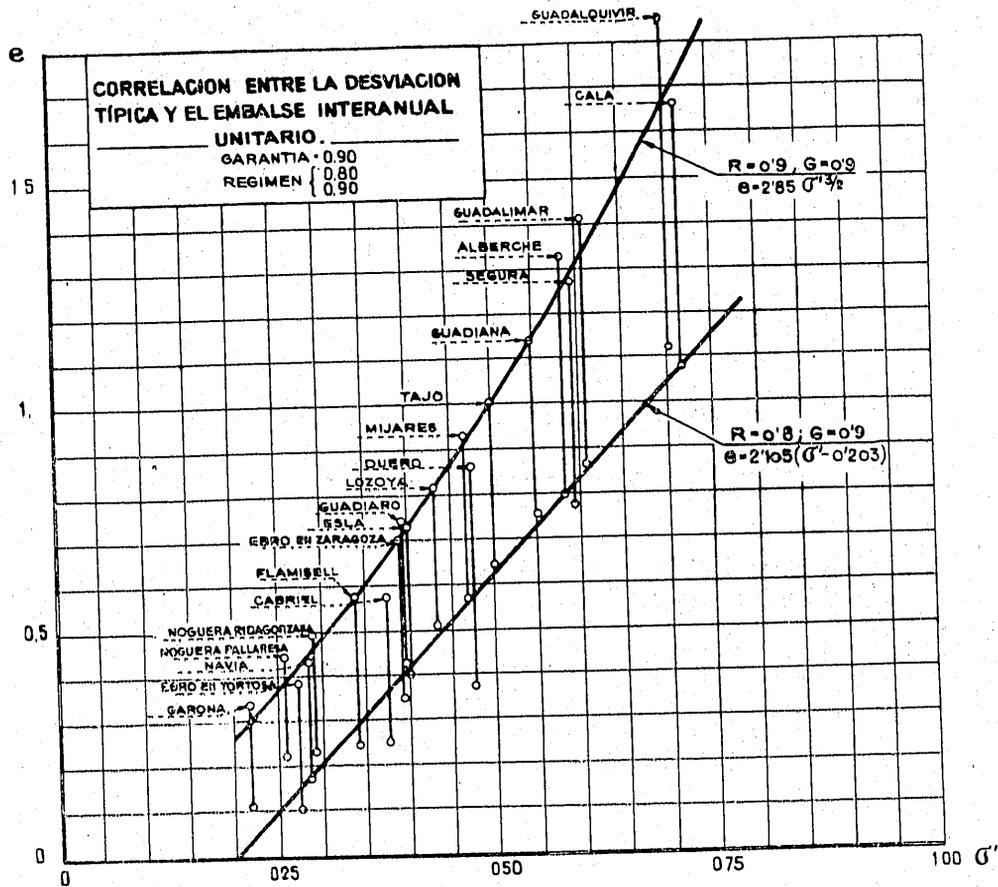


Figura 10.

men unitario r con garantía G ; como suficientemente aproximada, se puede utilizar la fórmula:

$$e = 0,309 b^{1,725} \frac{r^{1,725}}{[1 - r]^{0,725}} \sigma^2$$

siendo r el volumen de régimen y b un parámetro función de la garantía G :

$$b = -0,58 - 2,58 \log_{10} (1 - G)$$

Los resultados de ese trabajo nos permiten acompañar una ordenación de ese conjunto de ríos en la figura 9, y en la figura 10, el estudio de su

señalara ya la necesidad de un sistema regulador de capacidad suficiente.

Aparte iniciativas tan importantes como las del político Gasset, autor del primer Plan de Obras Hidráulicas, y de los estudios llevados a cabo por los Ingenieros de Caminos Rivera, Morer y Martínez Campos, bien para el abastecimiento de aguas de Madrid, bien para la protección contra avenidas de la cuenca del Segura, puede decirse que el promotor de una amplia solución para el problema de la irregularidad fué el también Ingeniero de Caminos don Manuel Lorenzo Pardo, autor del proyecto del pantano de cabecera del Ebro en Reinosa y más

tarde Director del Centro de Estudios Hidrográficos, en el que colaboraron otros ilustres compañeros como D. Severino Bello y D. Pedro González Quijano, Profesor este último de la Escuela Especial, a quien se debe el planteamiento fundamental de los estudios sobre hidrología española.

Lorenzo Pardo, en el proyecto del pantano del Ebro, formuló el principio de esta regulación de gran alcance, introduciendo el concepto de *hiperembalse*, destinado no sólo a la compensación cíclica de la irregularidad fluvial dentro de cada período de un año, sino también a la regulación que pudiéramos llamar estadística de compensación de aportaciones de años sucesivos.

Los trabajos de Lorenzo Pardo precisan así la noción del hiperembalse y de la función reguladora interanual que al mismo corresponde, dejando fijada la terminología española sobre el tema.

En comunicación al Congreso Mundial de la Energía, sesión especial de Barcelona, año 1929, titulada "Posibilidad y conveniencia económica de la construcción de hiperembalses", expone sus ideas el Sr. Lorenzo Pardo en la forma siguiente:

"Embalses destinados a una regulación de orden superior a la anual, de tal modo, que no se limita la regulación a vaciar durante el estiaje las aguas

superabundantes de las épocas de lluvias extremadas y deshielos, ni a invertir el régimen acomodándolo al de las necesidades, sino a conservar acopios más duraderos y eficaces para absorber el sobrante de años lluviosos y de estiajes poco acentuados y aumentar el suplemento de los estiajes muy acentuados.

Obtiénese así un nuevo tipo de embalse de superior categoría, de regulación en largo plazo, cuyo semejante con la Naturaleza lo ofrece un gran lago de nivel variable a voluntad por obra del ingenio humano. Para distinguirlo de las corrientes de regulación anual con capacidad suficiente para años secos normales o copiosos de escasa y gran irregularidad, según la amplitud del criterio que se adopte, lo hemos calificado de *hiperembalses*."

De aquellas iniciativas ha resultado una política encaminada a la construcción de embalses, cuyo volumen alcanza hoy a 17 000 millones de m.³, y que supone aproximadamente la posibilidad de retención del 20 por 100 de la totalidad de las aguas que circulan sobre el territorio nacional, cifra que creemos superior a la de cualquier otra nación.

El conjunto es la medida del esfuerzo que la economía y la técnica españolas han realizado para compensar una característica geográfica y mejorar la producción y el nivel de vida de nuestro país.