

ANALISIS NUMERICO DE LOS PERFILES HIDROGRAFICOS

Carmen Marín Benavente*

RESUMEN

Para detectar los movimientos neotectónicos que han afectado a los cauces fluviales, se ha desarrollado un método de cálculo numérico que permite analizar los puntos de inflexión o rupturas existentes en los perfiles longitudinales de los ríos.

El método consiste en la construcción de un Perfil Hidráulico Equivalente por conversión de los parámetros fluviales —altitud, longitud— a la unidad, así como el cálculo de la ecuación del perfil por ajuste de una serie de n cúbicas. De este modo, podemos determinar el valor de la pendiente en los puntos de inflexión y establecer las necesarias comparaciones entre distintos cauces fluviales.

SUMMARY

In order to detect the neotectonic movements that have an effect on the bed of the rivers, has been developed a numeric calculus method, such method allows to analyze the points of inflection or fracture of the slope existing in the longitudinal profile of the rivers.

The method consists in the construction of an hydraulic and equivalent profil transforming into the unit the fluvial parameters —altitude, length— just as the calculation of the equation of the profile for regulation of one N cubic serie. So we can determine the value of the slope on the inflexion points and to stablish the necessary relations among the different bed of the rivers.

* Junta de Energía Nuclear. División Tecnología Geológica. Edificio 20. Ciudad Universitaria. Madrid.

De acuerdo con la mayoría de los geomorfólogos suponemos que los movimientos endogenéticos y las fallas recientes cuyo trazado intersecte a los cauces fluviales deben producir rupturas de pendiente en los perfiles longitudinales de los ríos. Es por lo que nos propusimos realizar un análisis adecuado a los perfiles hidráulicos de equilibrio que permitiera detectar los últimos movimientos neotectónicos, siempre que no hayan sido atenuados por los procesos de erosión-colmatación.

Ahora bien, es necesario señalar que para realizar este ensayo sólo contamos con los mapas topográficos escala 1:50.000, cuya precisión altimétrica es marcadamente deficiente, pero pensamos puede ser suficiente para deducir los hechos morfológicos más notables.

Perfil hidráulico equivalente

Para efectuar una interpretación apropiada de las rupturas de pendiente de los perfiles longitudinales de los ríos, hemos calculado los que denominamos Perfiles Hidráulicos Equivalentes; esto es, referir los valores paramétricos a la unidad. De este modo, los parámetros fluviales no soportan la influencia de los valores absolutos de altitud y longitud y por otro lado, permite la necesaria clasificación y comparación entre los ríos de una cuenca o una ladera.

El perfil hidráulico se construye de modo que las ordenadas o alturas (Y) de cada punto de perfil equivalente sean iguales a la razón h/H y las abscisas o distancias (X) sean iguales a la razón l/L .

Sin embargo, como los perfiles longitudinales están definidos por un escaso número de puntos, pues únicamente conocemos con certeza los puntos de intersección de las curvas de nivel con el trazado de los ríos en el mapa topográfico, lo que nos impide conocer el verdadero valor de los puntos intermedios, se hace necesario efectuar una interpolación entre los puntos conocidos del perfil.

Para evitar estos inconvenientes se ha calculado la ecuación del perfil ajustando una serie de cúbicas, C_i , entre cada dos puntos P_i y P_{i+1} consecutivos medidos. Cada una de estas cúbicas tendrá una ecuación de la forma:

$$C_i \equiv Y = a_i x^3 + b_i x^2 + c_i x + d_i \quad (i = 1, n-1).$$

Este ajuste se ha realizado de manera que cada cúbica cumpla las condiciones:

- C_i debe pasar por P_i y P_{i+1} ,
- La tangente C_i (Y') en el punto P_i debe ser igual a la tangente C_{i+1} en dicho punto.

ANALISIS NUMERICO DE LOS PERFILES HIDROGRAFICOS

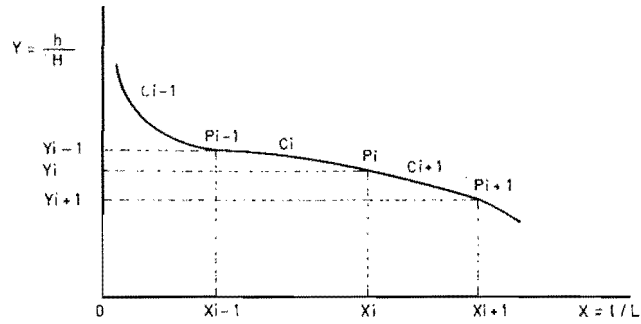


Gráfico 1.
Ajuste de una cúbica al perfil hidráulico.

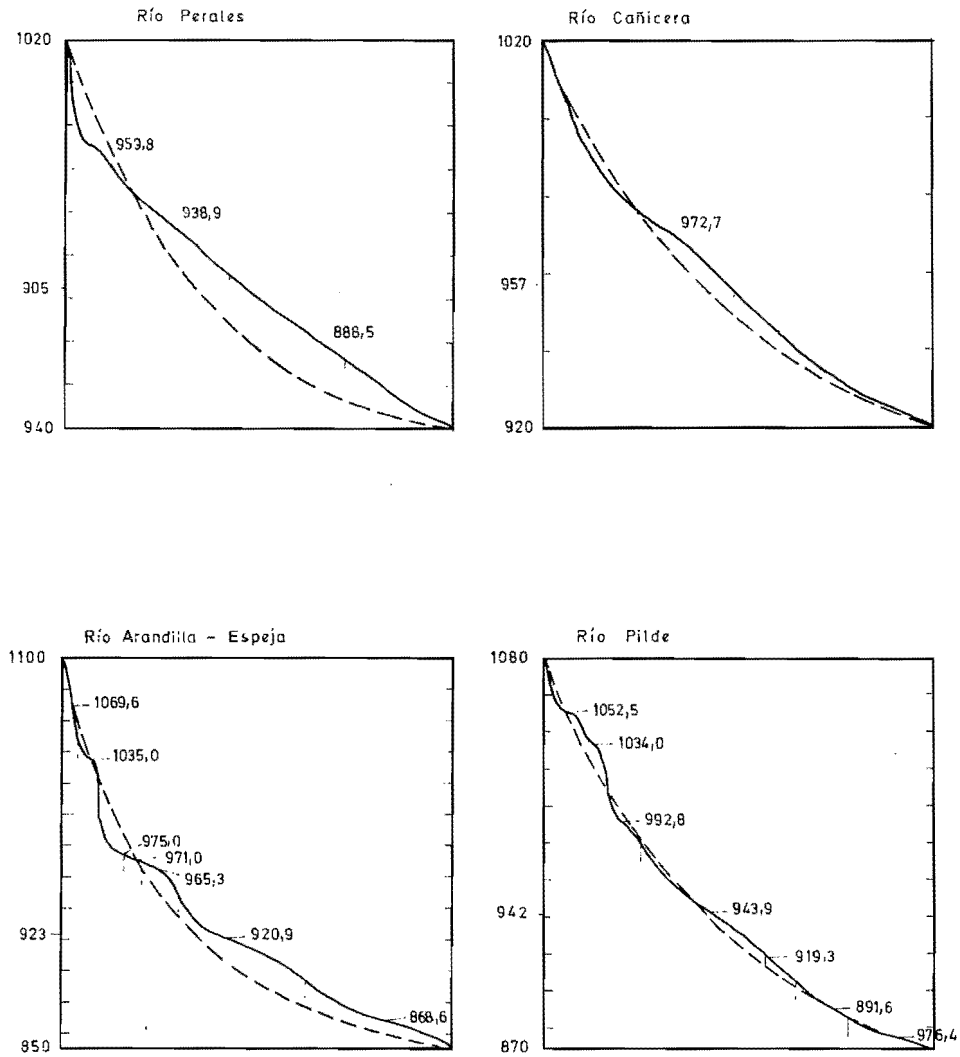


Gráfico 2.
Perfiles hidráulicos, equivalentes.

— La derivada segunda (Y'') o gradiente de pendiente de la cúbica C_i en el punto P_i debe ser igual a la derivada segunda de la cúbica siguiente C_{i+1} en dicho punto. (Ver gráfico 1).

De este modo se consigue una función no creciente, sin inflexiones de los puntos P_i conocidos, medidos sin error. Esta interpolación realizada por el método de Spline, puede exagerar localmente el relieve, pero se obtiene un aspecto de mayor verosimilitud que cuando se efectúa una interpolación lineal.

Puntos de inflexión de los perfiles hidráulicos equivalentes

Los accidentes detectados en los perfiles longitudinales de los ríos, considerados como rupturas de pendiente o niveles morfológicos, pueden estar condicionados por contrastes litológicos, fenómenos de captura o más frecuentemente por acciones neotectónicas.

Estas irregularidades se pueden caracterizar por modificaciones en el gradiente de la pendiente de los perfiles ($\delta^2h/\delta x$). En efecto, sabemos que un perfil cóncavo define un gradiente de pendiente que aumenta de modo continuo ($\overrightarrow{\text{grad } P} > 0$) desde la zona de desagüe hasta la cabecera, mientras que un perfil convexo requiere una disminución continua ($\overrightarrow{\text{grad } P} < 0$) en el mismo sentido. Los perfiles en régimen permanente o en régimen de cuasi-equilibrio, el gradiente de pendiente debe ser nulo en todo el recorrido fluvial ($\overrightarrow{\text{grad } P} = 0$). En consecuencia, un análisis del gradiente de la pendiente de los perfiles hidráulicos equivalentes debe determinar la naturaleza geométrica y la posición de aquellas irregularidades de los perfiles longitudinales de los ríos. Anteriormente hemos definido a los perfiles hidráulicos equivalentes por una función $y = f(x)$ según una serie asociada de cúbicas, de modo que conocemos el valor de la pendiente en cada punto por ser ésta igual a la derivada de esta función $y' = dy/dx$, y el valor del gradiente como el valor de la segunda derivada de la función $y'' = dy'/dx = d^2 y/dx^2$.

De este modo, los perfiles pueden considerarse divididos en tramos cóncavos, determinados por un gradiente positivo ($y'' > 0$) y tramos convexos, en los cuales el gradiente de la pendiente es negativo ($y'' < 0$). Entre cada dos tramos se define un punto de inflexión del perfil.

Los puntos de inflexión denominados rupturas ($y'' = 0$) son aquéllos en los que el gradiente pasa de ser positivo ($y''_{i-1} > 0$) a negativo ($y''_{i+1} < 0$), y denotan un máximo de pendiente en el perfil.

De este modo los tramos cóncavos, que consideramos normales se extienden desde un punto de inflexión de mínima pendiente o nivel de base sublocal a un punto de inflexión o de ruptura de máxima pendiente, donde se forma un tramo convexo. Estos puntos son de hecho zonas de transición

ANÁLISIS NUMÉRICO DE LOS PERFILES HIDROGRÁFICOS

inestables, en los que los procesos de corrosión y erosión fluvial tienden a ser muy acusados.

Para estas rupturas de pendiente se establecen las hipótesis siguientes:

— Diferencias litológicas alcanzadas por el proceso general de superposición de la red hidrográfica.

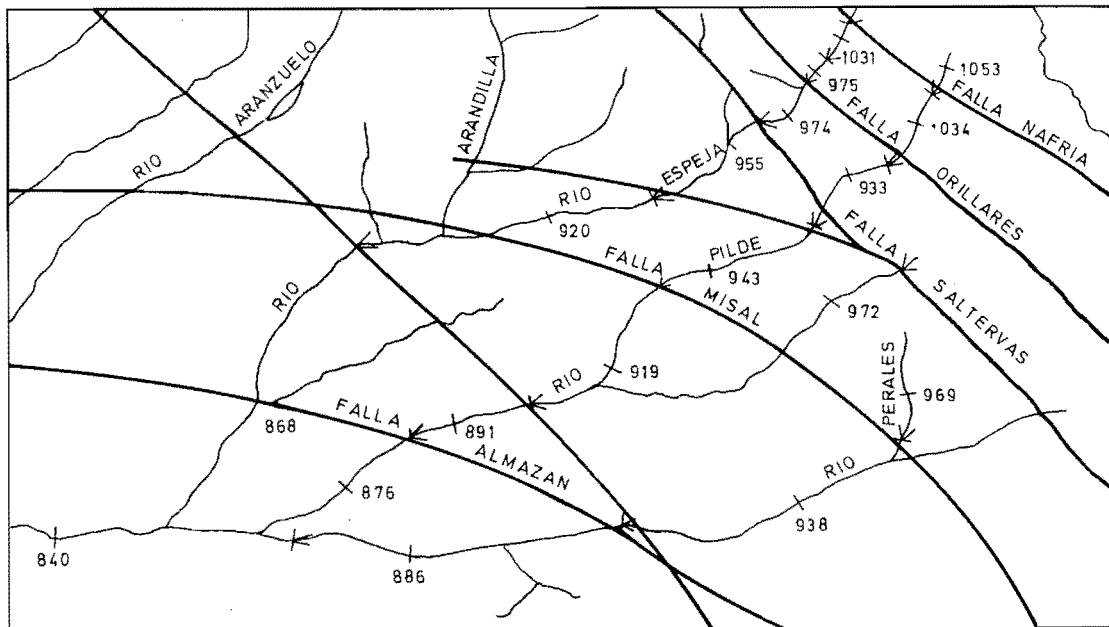
— Movimientos tafrogénicos de sobre-elevación del nivel local de equilibrio, elaborado en estadios anteriores de la evolución hidrográfica.

— Cambios del curso de los ríos provocados por basculamientos zonales que condicionan modificaciones en el material transportado (carga) y originan derrames.

Si bien, como veremos más adelante, todas las rupturas de pendiente detectadas en los cauces fluviales estudiados se pueden explicar por efectos de movimientos recientes de fallas que fracturaron el Territorio.

Análisis de la cuenca del río Perales

Este método de análisis se ha ensayado en numerosos afluentes del Duero y Jalón, con buenos resultados, pero en este trabajo presentamos únicamente la cuenca del río Perales, afluente del Duero en la zona de Peñaranda.



∨ Ruptura
— Nivel

Gráfico 3.
Localización de las rupturas de pendiente.

CARMEN MARIN BENAVENTE

El río Perales es el colector de un sistema de drenaje subparalelo, de rumbo medio NE-SO, condicionado por la vergencia general de la zona. Sus afluentes son: Arandilla-Espeja, Pilde y Cañicera. Hay que señalar que la fuente de Arandilla-Espeja y el nivel de base del Perales están situados fuera de la zona de estudio, de modo que los puntos así denominados son artificiales.

Perfiles hidráulicos equivalentes de los ríos

Los perfiles hidráulicos equivalentes de los ríos Perales y Cañicera presentan cierta similitud (graf. 2), pues ambos tienen un tramo superior cóncavo de fuerte pendiente, con escasos puntos de inflexión y un tramo inferior de pendiente uniforme, sin rupturas de pendiente significativas. De igual modo, se pueden establecer ciertas analogías entre los perfiles de los ríos Arandilla-Espeja y Pilde, como los numerosos puntos de inflexión, su mayor concavidad y tramos convexos.

Parámetros hidrográficos

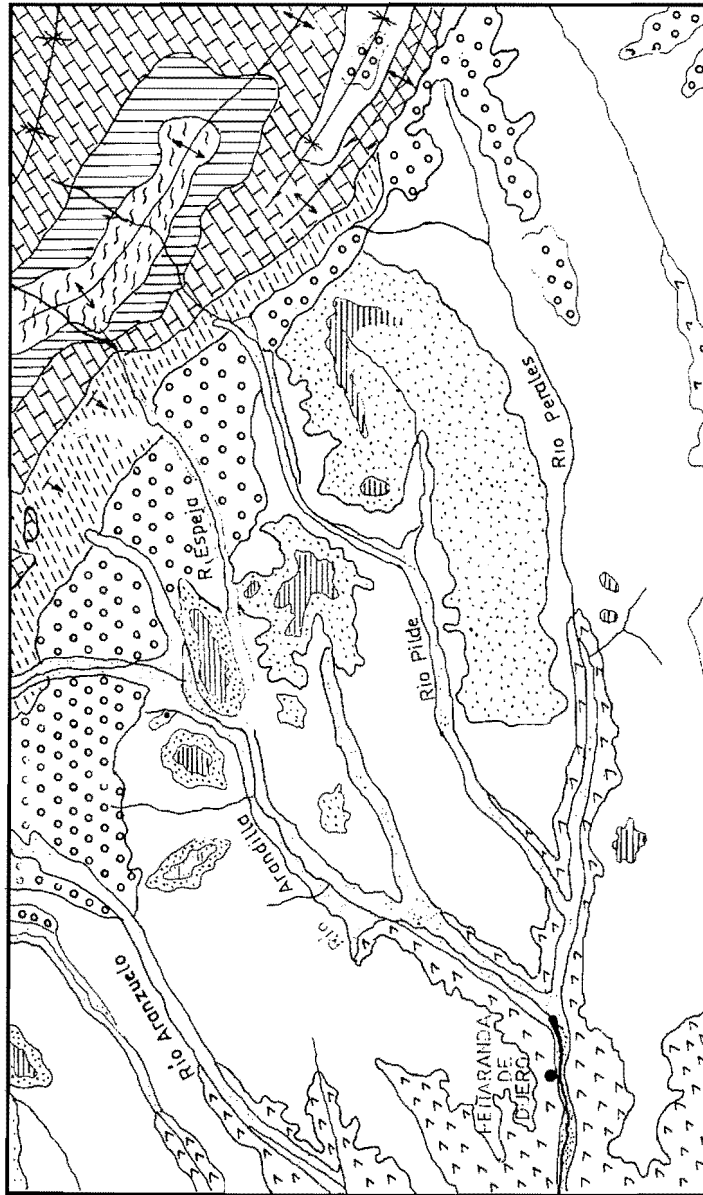
Río	Long.	H. máx.	H. mín.	Relieve	Pend.	H. med.	H. media
Perales	32,1	1020	840	180	0,560	905	0,360
Aran-Espe	29,8	1100	850	250	0,839	923	0,294
Pilde	28,0	1080	870	210	0,750	942	0,345
Cañicera	12,0	1020	920	100	0,833	957	0,375

A continuación se incluye la relación de los puntos de inflexión calculados en los perfiles hidráulicos equivalentes. En ella se hace constar la altitud del punto de inflexión, distancia de este nivel de base, la pendiente y su clasificación como nivel de ruptura. Se ha señalado con un asterisco aquellas rupturas que por su fuerte pendiente no pueden explicarse por fenómenos de erosión diferencial.

Relación de los puntos de inflexión

	Cota	Distancia km.	Pendiente	Clase
Río Perales	969,79	28,85	0,02	Nivel
	961,50	28,41	*0,27	Ruptura
	938,95	24,40	0,14	Nivel
	911,52	18,46	*0,16	Ruptura
	883,47	12,04	0,12	Nivel
	871,76	8,99	0,12	Ruptura
	840,00	0,00	0,10	Nivel
	Cota	Distancia km.	Pendiente	Clase
Río Arandilla- Espeja	1069,6	29,05	0,55	Nivel
	1051,0	28,61	*0,60	Ruptura
	1035,0	27,00	0,10	Nivel
	986,2	26,67	*1,61	Ruptura
	975,0	26,07	0,27	Nivel
	974,0	25,48	0,13	Ruptura
	971,0	25,03	0,06	Nivel
	970,0	24,73	0,09	Ruptura
	965,3	23,39	0,02	Nivel
	947,5	20,86	0,21	Ruptura
	920,9	17,14	0,03	Nivel
	893,1	11,18	0,09	Ruptura
	868,5	5,07	0,03	Nivel
	Cota	Distancia km.	Pendiente	Clase
Río Cañicera	1000,21	11,28	*0,30	Ruptura
	972,71	8,52	0,05	Nivel
	956,28	6,12	*0,13	Ruptura
	Cota	Distancia km.	Pendiente	Clase
Río Pilde	1052,54	26,32	0,03	Nivel
	1042,48	25,20	*0,27	Ruptura
	1033,98	24,36	0,11	Nivel
	1008,60	23,24	*0,76	Ruptura
	992,85	22,40	0,07	Nivel
	979,83	21,00	*0,21	Ruptura
	943,94	16,24	0,08	Nivel
	920,16	12,04	0,11	Ruptura
	919,27	11,90	0,11	Nivel
	906,08	9,94	0,13	Ruptura
	891,61	7,28	0,07	Nivel
	886,66	6,16	0,05	Ruptura
	876,42	2,94	0,03	Nivel

Los puntos de inflexión calculados se han situado sobre la red de drenaje. Para el trazado de las fallas se ha tenido en cuenta además las lineaciones observadas en las imágenes Landsat. (Graf. 3).



HOLOCENO	Aluvial
PLIOCENO	Conglomerados
MIOCENO	Calizas pontienses
	Caliz. alternantes con margas
	Arenas y margas
	Arenas y arcillas
CUATROCENO	Conglomerados
	Calizas Cenomanense
CRETACICO	Arenas Albense
	Arenas y conglomerados

Gráfico 4
Esquema geológico.

ANALISIS NUMERICO DE LOS PERFILES HIDROGRAFICOS

Geología

La cuenca del río Perales se asienta fundamentalmente sobre materiales de edad miocénica. Los niveles inferiores están constituidos por una serie detrítica de arenas arcillosas que evoluciona, en los niveles superiores, hacia una serie de estratos calizos, blancos, de bastante espesor, alternantes con arenas arcillosas y margas. El nivel estructural definido por las calizas Pontienses muestra un ligero escalonamiento descendente hacia el Duero, interpretado como una suave estructura sinclinal, sin embargo podría estar originado por movimientos endogenéticos recientes (Gráf. 4).

En el borde septentrional de la zona afloran materiales Oligocenos, formados por cantos calcáreos, con cemento arenoso-arcilloso, con buzamiento de 5-15° al sureste, en franca discordancia con las calizas Cenomanenses que afloran al norte. Depósitos pliocuaternarios, tipo raña han sido observados en el estudio fotogeológico.

Bibliografía

- CULLING, W.E.H. (1960). Analytical Theory of Erosion. *The Journal of Geology*, Vol. 68.
- MACHETTE, M.N. y McGIMSEY, R.G. (1982). Quaternary and Pliocene Faults in the Socorro and Western Part of Fort Sumner 1.º x 2.º Quadrangles, New Mexico. *Miscellaneous Field Studies Map*. MF - 1465. A Pamphlet.
- SCHEIDGGER, A.E. (1970). *Theoretical Geomorphologie*. Springer-Verleg.
- STRAHLER, A. (1952). Hypsometric (Area-altitude) Analysis of Erosional Topography. *Bull of the Geological Society of America*, Vol. 63, p. 1117-1142.
- WALLACE, R.E. (1977). Profiles and ages of young fault scarps, north-Central Nevada. *Geological Society of America Bulletin*, Vol. 88, n.º 9 p. 1267-1281.

