

LA MORFOLOGÍA FLUVIAL Y SU INCIDENCIA EN LA ESTABILIDAD DE LAS OBRAS VIALES

Arturo Rocha Felices

Consultor de Proyectos Hidráulicos

INTRODUCCIÓN

Los ríos aluviales son esencialmente móviles, es decir, que sus características no tienen estabilidad ni permanencia. Se desplazan y modifican más de lo que suele imaginarse. Esta movilidad fluvial representa un peligro para las obras de ingeniería ubicadas sobre el lecho fluvial y en sus inmediaciones, las que por su propia naturaleza deben ser estables. En consecuencia, para el diseño de estas obras, que incluye especialmente las viales, se debe conocer el comportamiento del río, lo que implica identificar las diferentes formas fluviales.

La Fluviomorfología estudia las formas fluviales y el mecanismo mediante el cual el río ha llegado a ellas. De acá se puede inferir el comportamiento futuro del río. Las formas que puede adoptar un río pueden originarse en su propio comportamiento, ser una consecuencia de determinadas acciones externas, principalmente humanas, o una combinación de dichas posibilidades.

La Morfología Fluvial (Fluviomorfología) es el estudio de las formas que tienen los ríos. Cuando se habla de la forma de los ríos, es decir de su apariencia, debe entenderse que esto equivale a describirlos tal como se ven desde el aire. Sin embargo, no debe perderse de vista que la forma de los ríos, a la que en inglés se llama "*channel patterns*", no es la misma a lo largo del tiempo. Los caudales que se presentan, básicamente en el estiaje o en la época de avenidas, son fundamentales para definir la forma de un río. A lo anterior debe añadirse que cuando se habla de la forma de un río se trata de la forma de un tramo fluvial específico, pues los ríos no tienen la misma forma a lo largo de todo su recorrido.

Una vista aérea de los ríos indicaría que sus formas son tantas como ríos existen, pero para fines prácticos la Morfología Fluvial considera tres formas fundamentales, las que aparecen esquemáticamente en la Figura N° 1.

Ellas corresponden a:

- a. Ríos rectos
- b. Ríos entrelazados
- c. Ríos a meandros

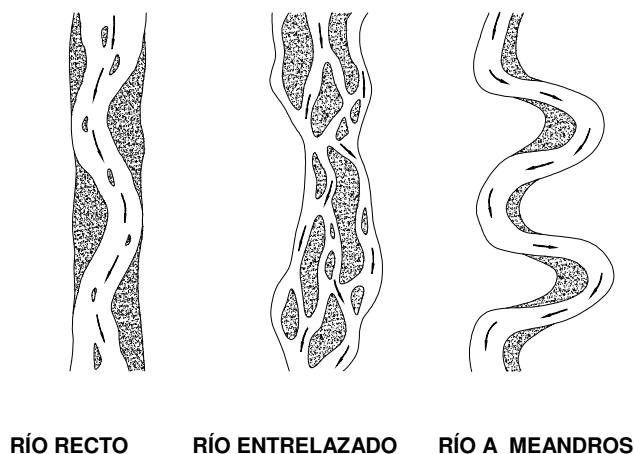


Figura N° 1 Formas fluviales básicas

Al presentar esta clasificación de los ríos, que es muy usada en Hidráulica Fluvial, no puede dejar de recordarse la importante contribución que al mejor conocimiento de la Fluviomorfología hicieron Luna B. Leopold y M. Gordon Wolman. Su trabajo "River Channel Patterns: braided, meandering and straight" es un clásico en la materia. Hay, sin embargo, numerosas investigaciones que tratan de este tema. Se podría mencionar, entre otros, los estudios de Knighton (1984), de Rosgen (1996) y los que aparecen en las Referencias.

Los problemas relativos a la Morfología Fluvial constituyen un reto permanente para la ingeniería; sin embargo, la comprensión de las variadas formas que adoptan los ríos es indispensable para el diseño de las obras viales que estén en contacto con un río o cerca de él. Los ríos aluviales toman su nombre precisamente del hecho de correr sobre un material aluvial, que es el que ha sido transportado y depositado por el río. En los ríos aluviales las márgenes son erosionables y cambiantes. En consecuencia, los ríos aluviales son muy dinámicos con el paso del tiempo y de los diferentes caudales líquidos y sólidos que se presentan.

La clasificación antes mencionada se basa en el grado de sinuosidad del río y es ilustrativa de las tres formas principales que suelen tener los ríos. Estas diferentes formas pueden presentarse en tramos sucesivos de un mismo río, en función de la pendiente, del caudal líquido, del caudal sólido, de la granulometría y de otros factores. Naturalmente que hay estados transitorios o intermedios. Así por ejemplo, se habla de ríos sinuosos, que no son rectos ni llegan a ser meándricos.

Para describir y cuantificar la sinuosidad de un río se establece la relación entre la longitud del talweg y la longitud del valle. A esa relación se le llama Índice de Sinuosidad o, simplemente, sinuosidad. Es el concepto usado por Leopold y Wolman. El Talweg es la línea que une las máximas profundidades de cada sección transversal de un río. *Talweg* es una palabra alemana que literalmente significa algo así como camino (*Weg*) del valle (*Tal*). En inglés se suele escribir "*thalweg*". La palabra castellana equivalente a *Talweg* es *vaguada*, poco usada en el Perú. En los ríos navegables es muy importante su determinación. El valor mínimo de la sinuosidad es 1 y correspondería a un río perfectamente recto. El valor máximo está alrededor de 4 (HEC 20). En la Figura N° 2 se representa el concepto de sinuosidad antes señalado.

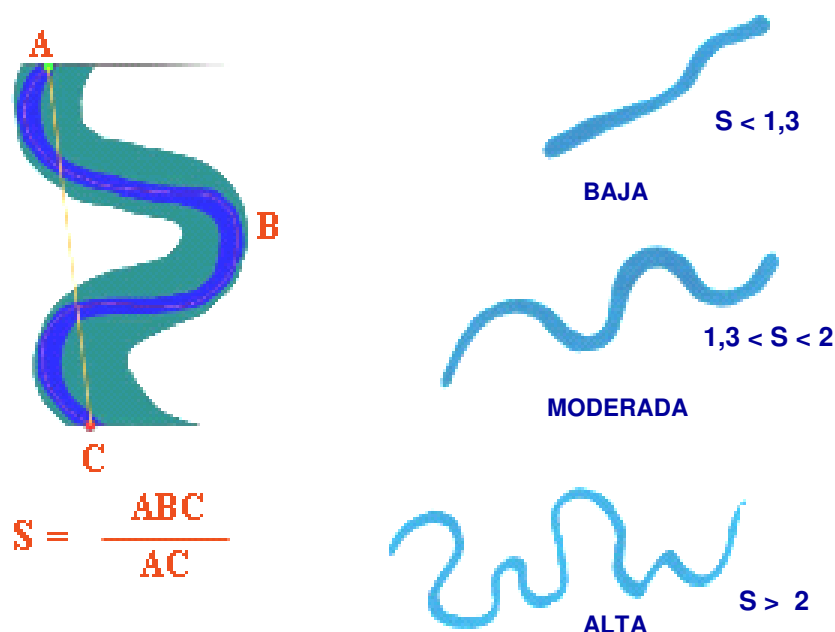


Figura N° 2 Representación esquemática del concepto de sinuosidad y de sus grados

La sinuosidad es tan importante en la descripción de las formas fluviales que algunos autores clasifican morfológicamente a los ríos como de baja ($S < 1,3$), moderada ($1,3 < S < 2$) o alta sinuosidad ($S > 2$), tal como se aprecia en la Figura N° 2. Carmelo Conesa García estudió tramos significativos de 29 ríos españoles y encontró un Índice de Sinuosidad Medio de 1,38 (con una desviación estándar de 0,35) y valores máximos y mínimos de 2,9 y 1,06, respectivamente.

Los ríos, como puede comprobarse fácilmente, tienen formas muy diversas y, además, muy variables en el tiempo. Cada río, en realidad cada tramo fluvial, tiene una forma característica. Al tratar de las formas fluviales con fines de diseño, no se intenta responder a la hipotética pregunta de ¿por qué son los ríos como son?, sino a las preguntas ¿cómo son los ríos? y ¿cómo influye su apariencia en la estabilidad de las estructuras?

RÍOS RECTOS

En la naturaleza prácticamente no existen ríos rectos. Se les suele considerar como un estado transitorio al meándrico. Blench dice que un tramo fluvial recto es anormal y transitorio; es decir, esencialmente inestable. Leopold dice que, según su experiencia, en la naturaleza los cursos de agua verdaderamente rectos son tan raros que pueden considerarse como inexistentes. En inglés a los ríos rectos se les llama "*straight rivers*". Hay ríos que tienen pequeños tramos rectos, o casi rectos (se les llama semirectos), cuya longitud podría ser, referencialmente, tan solo del orden de 10 veces el ancho del río. Esta aparición circunstancial de pequeños tramos rectos puede deberse a la presencia de determinadas estructuras geológicas.

Un río recto podría definirse como aquel cuya sinuosidad es tan pequeña que puede despreciarse. En un tramo rectilíneo el Índice de Sinuosidad es teóricamente igual a 1. Referencialmente, se puede señalar que usualmente se llama "río recto" a aquél cuyo Índice de Sinuosidad es menor que 1,05.

Algunas veces la construcción de obras viales requiere la ejecución de un encauzamiento formado por diques paralelos. Se tiene, aparentemente, un río recto. Es una situación creada artificialmente y el río solo se comporta como recto cuando el caudal es lo suficientemente grande como para ocupar totalmente la caja fluvial. A este caudal a veces se le llama "caudal de no desborde". En inglés se conoce con el nombre de "*fullbank discharge*". Para caudales pequeños el río formará, dentro del encauzamiento, un cauce sinuoso. Es por eso que a veces la situación más peligrosa en un encauzamiento de esta naturaleza se produce cuando el río, sin alcanzar la avenida de diseño, desarrolla su recorrido y debido a su sinuosidad ataca frontalmente las defensas.

RÍOS ENTRELAZADOS

Los ríos entrelazados reciben varios nombres. Se les llama también trenzados. Una variante de ellos está constituida por los ríos anastomosados, cuyas características se presentan más adelante. En inglés se les llama "*braided rivers*", a los primeros, y "*anastomosing rivers*", a los segundos.

Los ríos entrelazados tienen varios canales secundarios (brazos) que se comunican entre sí y que forman bancos (islas transitorias) entre ellos. Se ha dicho que son "multicanalizados". Estos canales se separan y vuelven a unirse. Este tipo de ríos tiene un curso divagante, literalmente "entrelazado". Los cauces se entrecruzan. Los brazos no tienen una definición permanente. Estas variaciones son notables después de las grandes avenidas. Cuando se trata de construir un puente sobre un río entrelazado se requiere de una gran luz debido al ancho importante del río, cuya gran variabilidad no puede dejar de tenerse en cuenta.

Se acepta que un río trenzado se origina cuando en una corriente hay gran transporte sólido y líquido y, de pronto, disminuye el caudal líquido y entonces los sólidos, al no poder ser transportados, depositan en el lecho formando islas o barras, tal como se aprecia en las Figuras N° 3 y N° 4.



Figura N° 3 Río entrelazado



Figura N° 4 Otro río entrelazado

Una vista panorámica de un río entrelazado daría la impresión de ser rectilíneo, pero los brazos (canales) que lo constituyen suelen ser muy sinuosos. Los ríos entrelazados aparecen en las corrientes que tienen grandes cantidades de sólidos de fondo, relativamente gruesos. En general, en las márgenes y en el lecho hay poca cantidad de limos y arcillas.

Los ríos entrelazados son marcadamente inestables y de comportamiento altamente impredecible. Aparecen con pendientes grandes, tienen pequeños calados (tirantes) y su ancho es grande. Pueden tener grandes cantidades de sólidos de fondo que excedan la Capacidad de Transporte de la corriente. El exceso de sólidos sedimenta y se forman islas transitorias y bancos inestables. El río se subdivide en varios brazos muy sinuosos que rodean los bancos que se forman.

Lane planteó la existencia de dos causas que, juntas o independientemente, podrían dar lugar a la formación de un río entrelazado:

- a) Exceso de sedimentos que el río no puede transportar en su totalidad lo que trae como consecuencia que una parte de ellos deposite en el cauce y dé lugar a la formación de bancos (islas).

b) Pendiente grande, lo que origina pequeños tirantes.

La primera causa señalada por Lane se presenta, como ya se dijo antes, cuando la Capacidad de Transporte de la corriente es insuficiente para transportar las cantidades de sólidos de fondo que se presentan en el río como producto de la erosión de la cuenca. Se denomina Capacidad de Transporte a la máxima cantidad de material sólido de fondo, de una cierta granulometría, que una corriente puede transportar con un gasto dado.

Una variante de los ríos entrelazados está constituida por los ríos anastomosados, los que se presentan cuando del curso principal se separan brazos que regresan, luego de un cierto recorrido, al cauce principal. La isla que se forma tiene un carácter más o menos permanente, a diferencia de lo que ocurre con un río trenzado en el que las islas (en realidad, bancos) son variables, inestables y transitorios.

La palabra anastomosis, de donde proviene uno de los nombres de este tipo de ríos, no se originó en la hidráulica. Anastomosis es la unión de un elemento anatómico con otro. Según Leopold, parece que esta expresión fue introducida en la Hidráulica Fluvial por Jackson hacia 1834. En la Figura N° 5 se aprecia un río anastomosado.

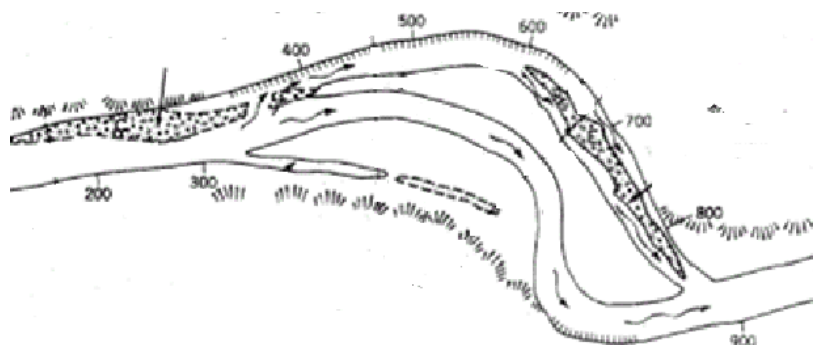


Figura N° 5 Río anastomosado: Horse Creek (Leopold)

RÍOS A MEANDROS (MEANDRIFORMES)

La tendencia a formar meandros es característica de los ríos aluviales. Es por eso que se dice que son serpenteantes. Es decir que tienen una tendencia natural a no seguir un curso rectilíneo, lo que constituye una expresión de su inestabilidad. En inglés a este tipo de ríos se les llama "*meandering rivers*". La aparición de meandros significa necesariamente un aumento del recorrido fluvial lo que implica una disminución de la pendiente y de la velocidad media de la corriente. En las Figuras N° 6, 7 y 8 se aprecian algunos meandros fluviales.



Figura N° 6 Planta característica de un río a meandros (Leopold).



Figura N° 7 Un típico río meándrico



Figura N° 8 Meandros del río Utcubamba

Son muy ilustrativas las menciones que hace Leliavsky acerca de las investigaciones realizadas hace muchos años en el laboratorio de Dresde y que consistieron básicamente en lo siguiente. Se colocó un fondo granular con una ligera pendiente. Se insinuó un cauce recto y se dejó correr el agua. Leliavsky comenta “¿Erosionará esa agua un solo cauce rectilíneo...? Se observó que a medida que iba pasando el tiempo el cauce originalmente rectilíneo iba curvándose paulatinamente hasta que se formaba un cauce sinuoso o meándrico. En la Figura N° 9 se observa el desarrollo descrito, según las

investigaciones de Friedkin en el Waterway Experimental Station, en Vicksburg, U.S.A. (1945), presentadas por Leliavsky.

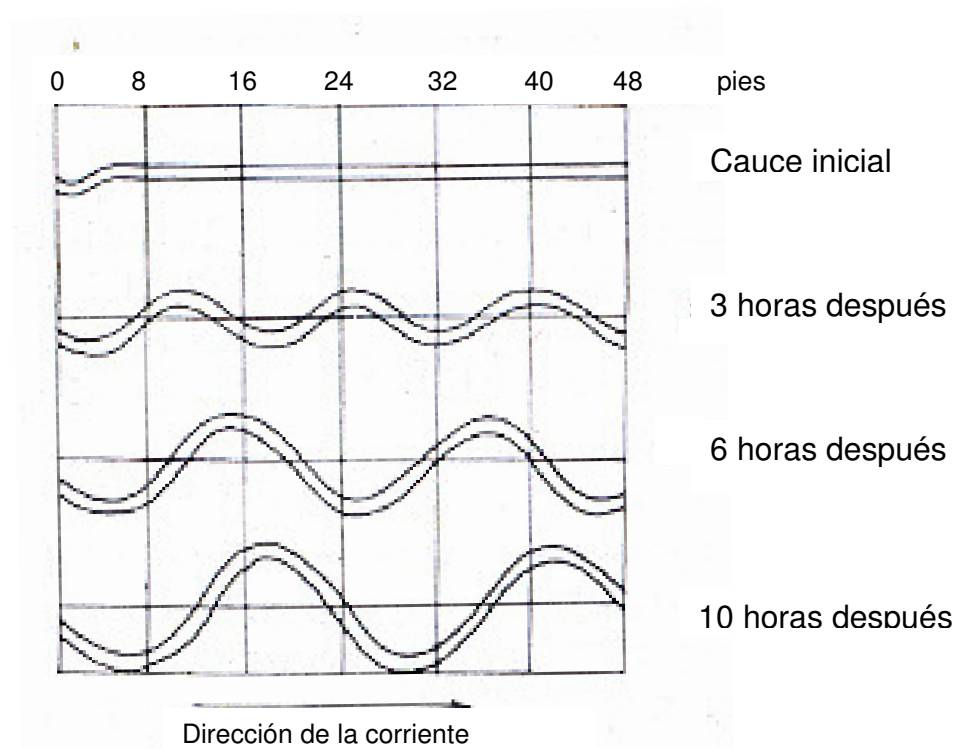


Figura N° 9 Evolución de un cauce originalmente rectilíneo (Friedkin, Waterway Experimental Station, en Vicksburg, U.S.A.)

Numerosos investigadores se han dedicado a estudiar los meandros fluviales. Así por ejemplo, Farias señala que *“Para ríos aluviales el alineamiento meandriforme parecería ser la forma más plausible y eficiente a través de la cual el sistema tiende a minimizar progresivamente su pendiente para aproximarse a la condición de equilibrio dinámico. Aunque algunos ríos exhiben largos tramos cuasi-rectilíneos, la mayor parte de los ríos de llanura desarrollan meandros más o menos regulares.”* En el Manual Sedimentation Engineering publicado por la ASCE hay un capítulo titulado River Meandering and Channel Stability del cual es coautor nuestro compatriota el Dr. Jorge D. Abad.

En el diccionario de la Real Academia (DRAE) la palabra meandro se define como cada una de las curvas que describe el curso de un río. Por extensión se aplica a un camino. La palabra meandro, que se usa mucho en sentido metafórico, viene del griego, a través del latín. En griego, “Maiandros” era el nombre de un río del Asia Menor, celebre por lo tortuoso de su curso. Su longitud total hasta su desembocadura en el mar Egeo es de 380 kilómetros. En el presente se le conoce con los nombres de Mendereh, Büyük Menderes o Menderez y se encuentra en la actual Turquía.

Los ríos a meandros son ríos muy sinuosos y presentan muchas inflexiones a lo largo de su recorrido. Se dice también que un meandro es la

sinuosidad de un río formada por un proceso de erosión en la orilla exterior (cóncava) y de sedimentación en la orilla interior (convexa), como se ve en la Figura N° 10.

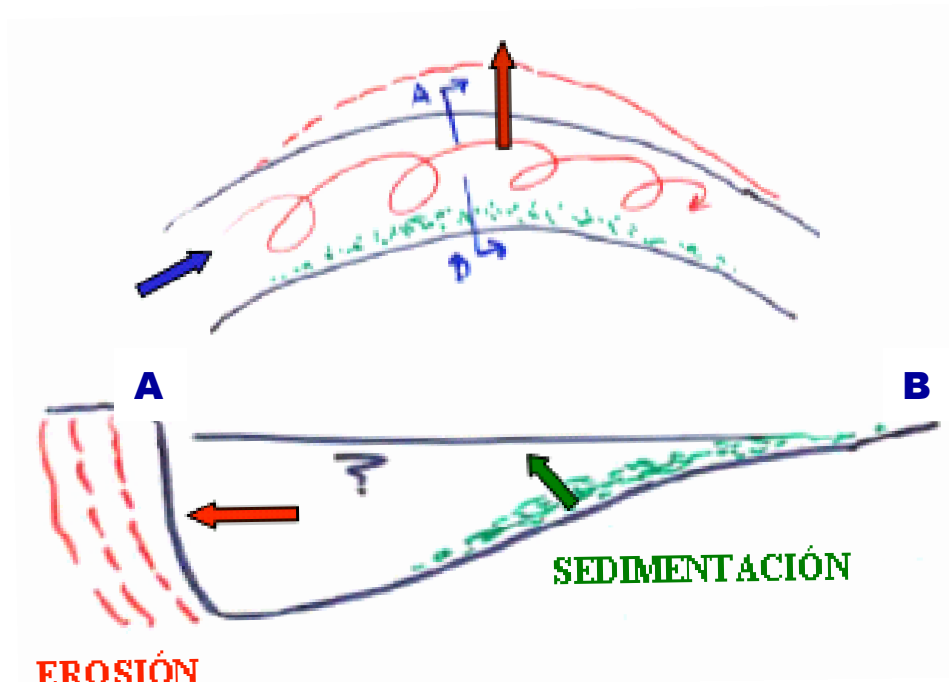


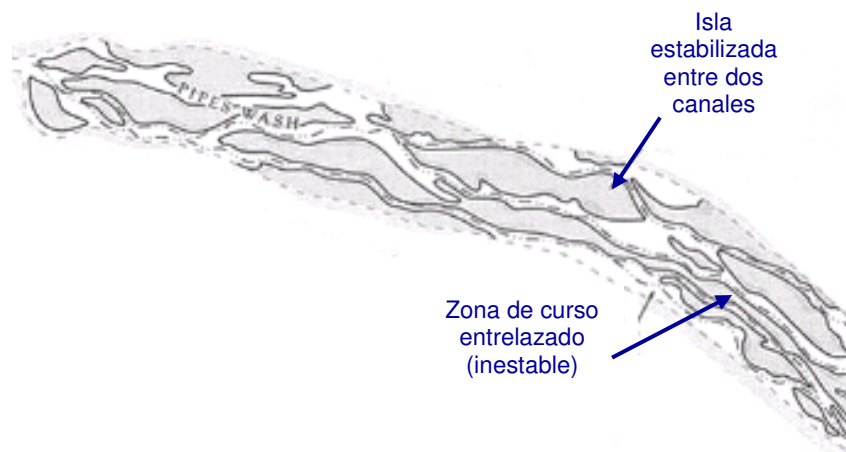
Figura N° 10 Erosión y sedimentación en un meandro

Los ríos meándricos están formados por una sucesión de curvas cuyo Índice de Sinuosidad es superior a 1,5 (valor referencial). Un río aluvial es tortuoso en la medida en la que tiene muchas curvas y tiene meandros en la medida en la que estas curvas (es decir, las tortuosidades) se desplazan. Blench menciona que un canal en roca puede ser tortuoso, pero no tener meandros, porque no hay movilidad de las tortuosidades. Esta enorme movilidad de los meandros tiene gran importancia para la ingeniería en el momento de proyectar una obra, como podría ser un camino o un puente. Parece ser que existe una gran similitud, en diferentes ríos, entre sus respectivas relaciones entre el radio de curvatura y el ancho del río.

Los ríos que forman meandros tienen generalmente las siguientes características:

- Márgenes (orillas) erosionables
- Sección transversal variable
- Baja pendiente
- Transporte sólido no muy grande, de granulometría fina.
- En muchos casos, variación de caudales no muy marcada.
- Flujo característico en las curvas
- Corren sobre amplias áreas de inundación que les permiten sus desarrollos laterales.

Un río puede ser meándrico y entrelazado al mismo tiempo. Al respecto Martín Vide señala lo siguiente *“El carácter trenzado y el meándrico pueden verse como dos ingredientes presentes en distintas proporciones en un mismo río real. Es frecuente que un río sea trenzado en su tramo alto y luego pase a ser meandriforme aguas abajo, donde la pendiente es menor aunque el caudal es mayor.”* En la Figura N° 11 se aprecia un río de estas características.



VALLE HOMESTEAD

Figura N° 11 Río a meandros y trenzado (Jeffrey F. Mount)

El comportamiento de los meandros es complejo e intrigante. Muchos investigadores han hecho grandes esfuerzos por comprenderlos. Es conveniente recordar el interés de Albert Einstein, el famoso autor de la Teoría de la Relatividad, por algunos aspectos de la hidráulica fluvial. En efecto, en 1926 publicó un breve artículo titulado *Die Ursache der Mäanderbildung der Flußläufe und des sogenannten Baerschen Gesetzes*, título que puede ser traducido como *Las causas de la formación de meandros en los cursos de agua y la ley de Baer*. Se considera que ese artículo de Albert Einstein ayuda considerablemente a entender, de un modo muy simple, la participación del flujo helicoidal en la formación de los meandros, en la determinación de su longitud y en su propagación hacia aguas abajo.

Las curvas características de los ríos con meandros son muy dinámicas y no se deben esencialmente a las propiedades del terreno, sino a la naturaleza del comportamiento fluvial. En la Figura N° 12 se aprecia la formación y evolución de los meandros.

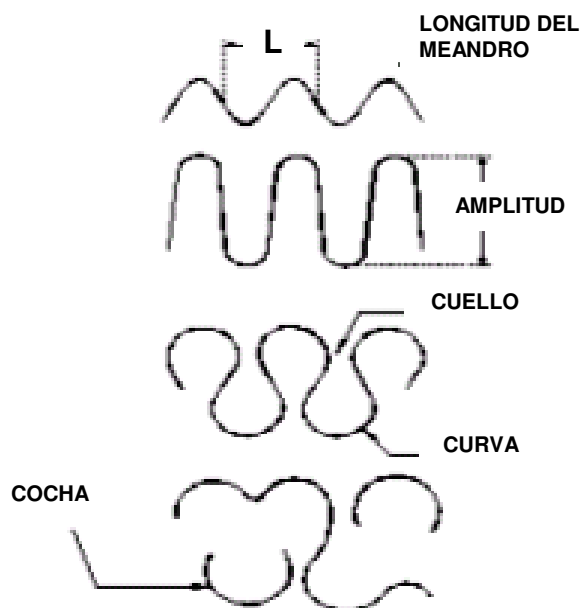


Figura N° 12 Evolución de meandros (NEDECO)

Los meandros no son estables, sino todo lo contrario. Su dinámica se manifiesta por:

- a) Un continuo alargamiento
- b) Migración, generalmente hacia aguas abajo
- c) Cortes eventuales

El intenso dinamismo que presentan las curvas fluviales, que se manifiesta mediante procesos de erosión y sedimentación y desplazamientos laterales y longitudinales, juega un papel muy importante en la gestación y desarrollo de la morfología fluvial. Tal como se dijo antes, un río recto prácticamente no existe en la naturaleza; en consecuencia, la formación de curvas y meandros es inherente a los ríos. Estas características de los meandros deben tenerse en cuenta necesariamente al diseño de obras viales ubicadas en las inmediaciones de un río. La migración de los meandros pone en peligro las obras ubicadas en sus inmediaciones.

En este tipo de ríos se presentan eventualmente los cortes de los meandros, que son propios de la dinámica fluvial. En inglés el corte de un meandro por el cuello se llama *neck-cutoff*. Los cortes corresponden a la propia inestabilidad y movilidad característica de los meandros. También pueden ser producto de una labor intencional en el manejo del río. Es indudable que el corte de un meandro producirá ajustes importantes: se acorta la longitud del río, aumenta su pendiente y su calado, aumenta la Capacidad de Transporte, etc., los que se producirán en un tiempo variable y que deberían ser cuidadosamente previstos. Los cortes, o rectificaciones, de un meandro suelen ser útiles en los ríos navegables y en los sistemas de defensas.

Es posible encontrarse con “meandros abandonados”. Cuando se compara mapas antiguos con la situación presente se observa la presencia de paleocauces que corresponden a cortes de meandros. (Ver Figuras N° 6 y N° 12). En las inmediaciones de los ríos de la selva es frecuente encontrar lagunas, a las que, en general, se les conoce con el nombre de cochas. Ver Figura N° 12. En quechua cocha significa laguna. Corresponden a “meandros abandonados”. Algunas de ellas se originan cuando se produce, de un modo natural, el corte de un meandro. El antiguo tramo fluvial, ahora aislado, constituye una laguna o cocha, generalmente de forma semicircular.

CRITERIOS PARA DISTINGUIR LAS FORMAS FLUVIALES

S. A. Schumm y H. R. Khan realizaron una serie de estudios en un canal aluvial para determinar el efecto de la pendiente y del gasto sólido sobre las formas fluviales. Encontraron que cuando la pendiente era muy baja y el gasto sólido muy pequeño, el río que se formaba era prácticamente recto, pero al aumentar la pendiente y el gasto sólido aparecía un curso meándrico. Para valores mayores aparecía un cauce entrelazado. Los resultados se muestran en la Figura N° 13.

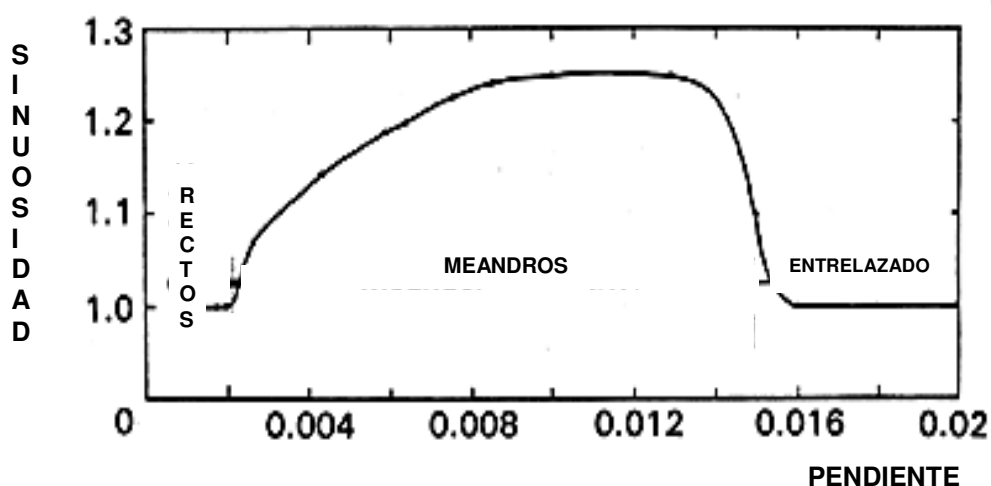


Figura N° 13 Sinuosidad y pendiente (Khan)

No es fácil establecer las condiciones hidráulicas que limitan las formas fluviales básicas que fueron anteriormente descritas, a las que algunos autores llaman umbrales morfológicos. Los criterios más usados son el de Lane y el establecido por Luna B. Leopold y M. Gordon Wolman (1957) para distinguir los ríos meándricos de los trenzados (de fuerte pendiente). Estos criterios no tienen un valor absoluto; deben considerarse como información referencial. A continuación se expone brevemente cada uno de ellos.

El criterio de Lane fue establecido experimentalmente en trabajos hechos en cauces arenosos para distinguir los ríos meándricos de los entrelazados, en función del caudal y de la pendiente. En la Figura N° 14 se

presentan sus resultados. Las ecuaciones que marcan los umbrales respectivos son las siguientes:

$$\text{Si, } S Q^{0,25} > 0,0041 \text{ (Sistema Intern.)} \quad \text{RÍO TRENZADO}$$

$$\text{Si, } S Q^{0,25} < 0,0007 \text{ (Sistema Intern.)} \quad \text{RÍO A MEANDROS}$$

Q es el Caudal Medio Anual. Hay una zona intermedia a la que se llama de transición.

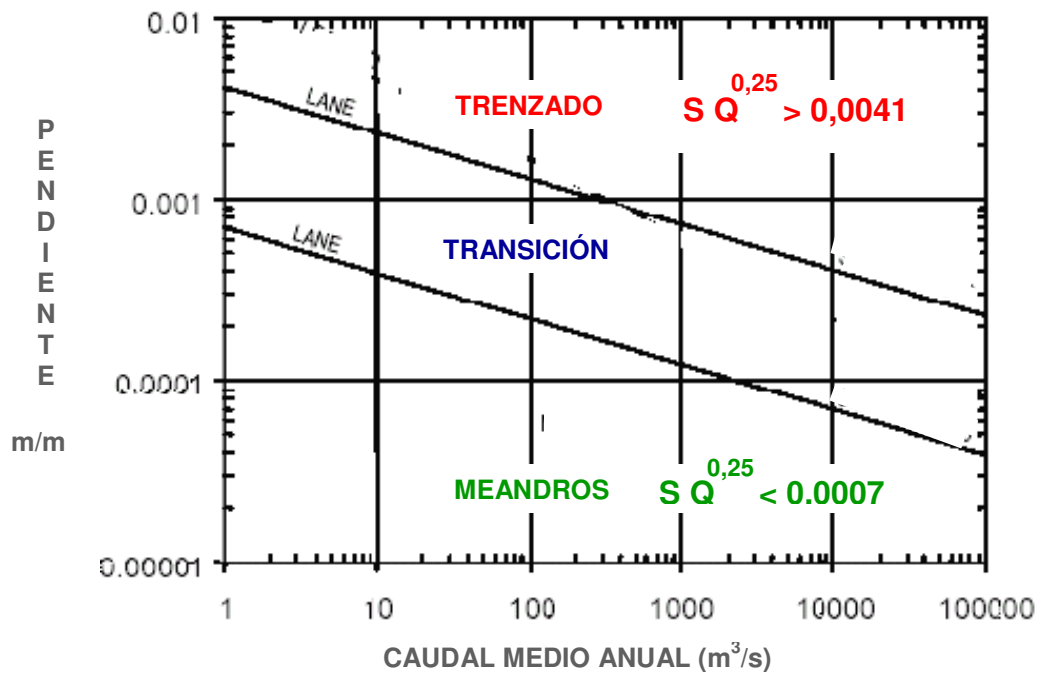


Figura N° 14 Criterio de Lane: Umbrales morfológicos

Leopold & Wolman realizaron observaciones de campo y estudios de laboratorio. La parte experimental de sus investigaciones se realizó en el Laboratorio de Sedimentología del Instituto Tecnológico de California. Establecieron una relación entre pendiente y caudal, para lechos de arena y de grava, para distinguir los ríos trenzados de los meándricos. En la Figura N° 15 se muestra el resultado de sus investigaciones. La ecuación que marca el umbral respectivo es:

$$S = 0,0125 Q^{-0,44} \quad \text{Q es el Caudal Medio Anual en m}^3\text{/s.}$$

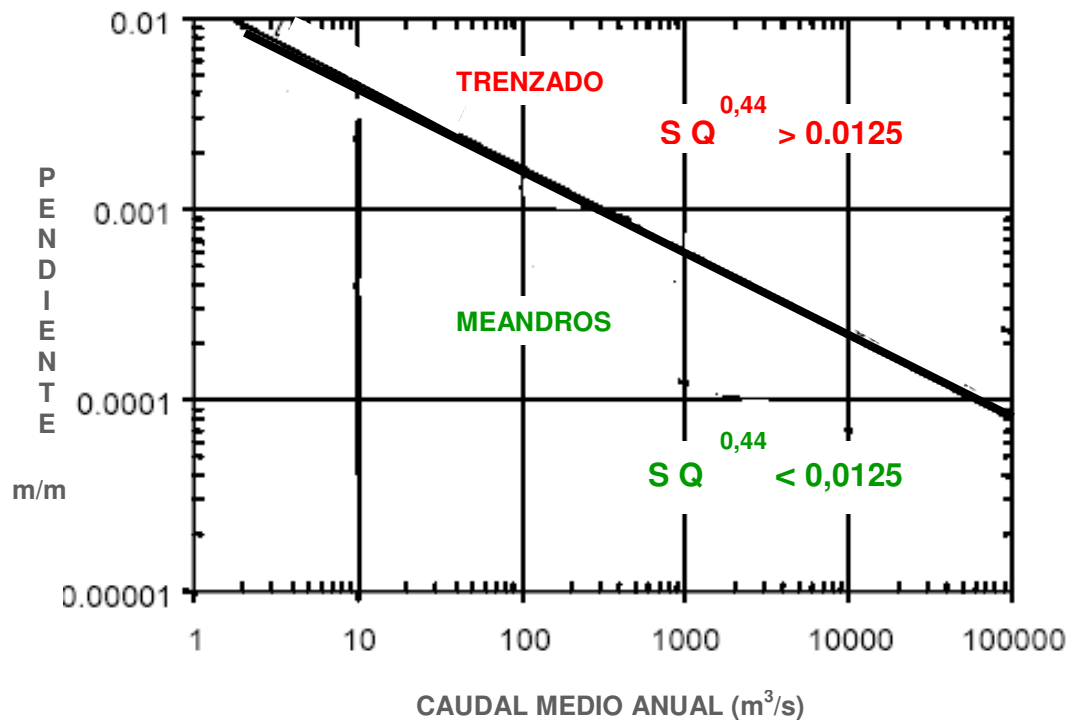


Figura N° 15 Criterio de Leopold y Wolman

Leopold & Wolman manifiestan que un río entrelazado es aquel que fluye con dos o más brazos anastomosados alrededor de bancos constituidos por el material aluvial. En el estudio que realizaron llegaron a la conclusión de que los tramos fluviales entrelazados, tomados como un todo, son de mayor pendiente, más anchos y de menor calado que los mismos brazos fluviales, sin haberse dividido, y llevando el mismo caudal.

Posteriormente se pensó en la importancia que tiene el tamaño de las partículas constituyentes del lecho en el establecimiento de la condición de frontera entre ríos meándricos y trenzados. Es así como Henderson planteó una fórmula para incorporar el diámetro.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

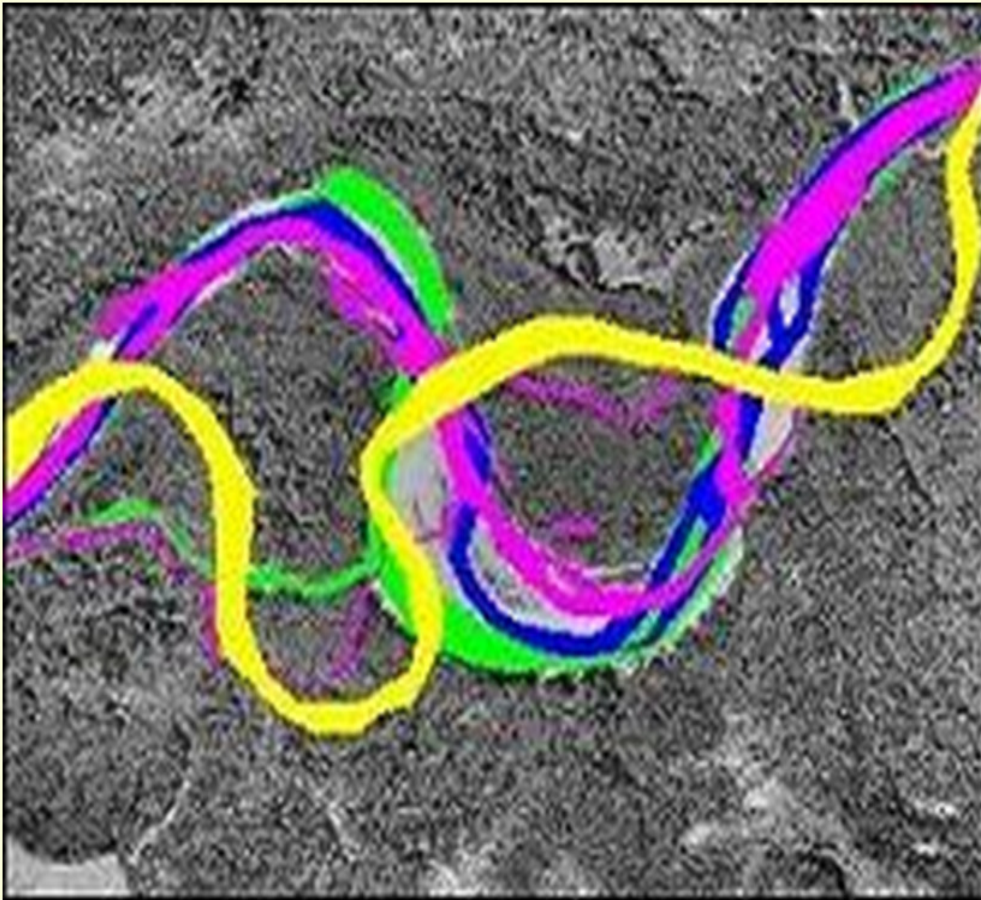
Los estudios fluviomorfológicos, como parte de los de Hidráulica Fluvial, son de vital importancia para garantizar la estabilidad de las obras viales construidas en las inmediaciones de un río.

Se recomienda que las investigaciones de Hidráulica Fluvial, incluyendo las fluviomorfológicas, se emprendan desde la iniciación de los estudios de una obra vial ubicada en las proximidades de un río.

REFERENCIAS

1. ABAD Jorge D. y GARCIA Marcelo H. **RVR Meander a toolbox for re-meandering of channelized streams**. Computers & Geosciences 32 (2006).
2. ABAD Jorge D. y otros. **2D Stream hydrodynamic, sediment transport and bed morphology model for engineering applications**. Hydrol. Process 22, 1443-1459 (2008).
3. BIEDENHARN D. S. y otros. **Fundamentals of Fluvial Geomorphology**. Sedimentation Engineering, Chapter 6, Manual ASCE, 2007.
4. BLENCH T. **Mobile-Bed Fluviology** University of Alberta, Edmonton, Canada.
5. CHANG Howard H. **River Morphology and River Channel Changes**. Trans. Tiajin Univ. 2008.
6. CONESA GARCÍA Carmelo **Trazados de alta y baja sinuosidad en ríos españoles**. Papeles de Geografía, N° 18, Universidad de Murcia, España, 1992.
7. FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION **Stream Stability at Highway Structures** Hydraulic Engineering Circular N° 20 (HEC 20), Washington, USA, March 2001.
8. FARIAS Héctor Daniel **Forma en Planta de Ríos de Llanura. Conciliación de Criterios Empíricos y Analíticos para la Identificación de Umbrales Morfológicos**. Segundo Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos. Neuquén, Argentina, 2005.
9. KNIGHTON D. **Fluvial Forms and Processes**. Arnold Publ. & J. Wiley and Sons, London, United Kingdom 1984.
10. LANE E. W. **A Study of the Shape of Channels Formed by Natural Streams Flowing in Erodible Material (R)**. M. R. D. Sediment Series N° 9 U.S. Army Engineering Division, Missouri River, Corps of Engineers, 1957.
11. LELIAVSKY Serge **Introducción a la Hidráulica Fluvial** Ediciones Omega S.A. Barcelona, 1964.
12. LEOPOLD y WOLMAN. **River Channel Patterns: braided, meandering and straight**. (R) USGS Professional Paper 292-B, 1957.
13. MARTÍN VIDE Juan P. **Ingeniería Fluvial** Ediciones UPC, Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, 2000.
14. MARTÍN VIDE Juan P. **Ingeniería de Ríos** Universidad Politécnica de. Barcelona, 2007.
15. MOUNT Jeffrey. **California Rivers and Streams** University of California Press, 1995.
16. ODGAARD A. Jacob y ABAD Jorge D. **River Meandering and Channel Stability**. Sedimentation Engineering, Chapter 8, Manual ASCE, 2007.
17. RICHARDSON E. V., SIMONS D. B. y otros **Highways in the River Environment-Hydraulic and Environmental Design Considerations**. Colorado State University.
18. ROCHA FELICES Arturo. **Introducción a la Hidráulica Fluvial**. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima 1998.
19. ROCHA FELICES Arturo. **El Dinamismo Fluvial y la Seguridad de Las Obras Viales durante el Fenómeno de El Niño**. SEMINARIO "Reducción de la Vulnerabilidad en la Red Vial del País por Desastres Naturales". Ministerio de Transportes y comunicaciones. Lima, 2005.
20. ROCHA FELICES Arturo. **Introducción a la Hidráulica de las Obras Viales**. Instituto de la Construcción y Gerencia PT 44. Lima, 2009.
21. ROSGEN D. **Applied River Morphology**. Wildland Hydrology, Pagosa Springs, Colorado USA. 1996.
22. SCHUMM S. A. y KHAN H. R. **Experimental Study of Channel Patterns**. Geological Society of America, Bulletin June 1972.
23. SCHUMM S. A. y HARVEY M. D. **Engineering Geomorphology**. Sedimentation Engineering, Chapter 18, Manual ASCE, 2007.

24. SCHUMM S. A. **Fluvial Geomorphology**. Colorado State University, 1973.
25. SCHUMM S. A. **Patterns of Alluvial Rivers**. Ann. Rev. Earth Planet. Sci. 1985.
26. U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. **Stream Stability at Highway Structures**. HEC N 20, March 2001. ■



Historic Channel Migration Patterns