

## HIDRÁULICA FLUVIAL

### GEOMORFOLOGÍA

El término **Geomorfología** proviene del griego geo (Tierra), morfo (forma) y logos (estudio, conocimiento).

Se conoce como **Geomorfología** a la rama concurrente de las Ciencias Geográficas y Geológicas que estudia las formas de la superficie terrestre y los procesos que las generan.

### HIDROMORFOLOGÍA

La **Hidromorfología** o **Geomorfología Fluvial** es la rama especializada de la **Geomorfología** que se encarga del estudio de los accidentes geográficos, formas y relieves ocasionados por la acción de los ríos sobre la superficie terrestre.

### DINÁMICA FLUVIAL

La **Dinámica Fluvial** es el proceso por el que la acción de erosión, transporte y sedimentación, de los ríos modifica de distintas maneras y en distintos grados al relieve terrestre y el propio cauce y trazado de los ríos.

Compendia una serie de procesos de aplicación fundamental en el análisis de la Hidrografía e Hidrología, en especial, en el estudio de las aguas continentales.

La **Hidrografía** es la rama de la Geografía que realiza la descripción y el estudio de los cuerpos de agua planetarios, especialmente de los recursos hídricos continentales, haciendo hincapié en las medidas, recopilación y representación del trazado, fondo, costas y corrientes, de manera que se puedan plasmar sobre una carta hidrográfica. Para el estudio de mares y océanos adopta específicamente la denominación de Oceanografía.

La **Hidrología** se dedica al estudio de la distribución, espacial, temporal y propiedades del agua presente en la atmósfera y en la corteza terrestre, incluyendo procesos de precipitaciones, escorrentía, infiltración, evapotranspiración, humedad y equilibrio de masas de agua líquida, nival o glaciaria.

### RÍO

Es el componente del sistema fluvial que recoge y concentra las aguas de la cuenca de aportes y las transporta a superficie libre hasta su desembocadura.

### CAUCE

El cauce o lecho de un río es el canal natural por el que circulan las aguas del mismo. En su análisis intervienen dos características principales: perfil longitudinal, que es el que contiene

el thalweg o vaguada (la parte más profunda del cauce), desde el nacimiento del río hasta su desembocadura y los sucesivos perfiles transversales, que indicarían para cada sección de estudio el fondo del cauce desde una orilla a la otra.

## EROSIÓN FLUVIAL

La **Erosión** es el desgaste y modelación de la corteza terrestre causados por la acción de los glaciares, de la remoción gravitatoria en masa, del viento, la lluvia, el granizo, los procesos fluviales, marítimos, glaciares, mojado-secado, gradientes de temperatura y la acción de los seres vivos (plantas, animales e intervención humana).

El **Deslizamiento en Masa** abarca un conjunto de procesos debidos al movimiento de materiales, por la acción de la gravedad, sin que medie un agente de transporte (hielo, agua, viento).

El **Desplazamiento en Masa** es la movilización descendente del material de laderas, en estado plástico, desde el interfluvio hacia la vaguada, en forma rápida o lenta (este fenómeno es del dominio de la Mecánica de Suelos).

El **Transporte en Masa** está conformado por movimientos de rápidos a muy rápidos de mezclas viscosas de agua y materiales térreos, que avanzan a lo largo de los cauces o sobre las depresiones del terreno y valles de salida de las corrientes. El flujo viscoso se puede originar a partir de masas desplazadas y su estudio es del dominio de la Mecánica de los Fluidos.

El compendio de la erosión originada por el agua o **Erosión Hídrica** se puede clasificar como:

TIPO	ACCIÓN	EFECTOS
<b>EROSIÓN POR LLUVIA:</b> La acción de las aguas lluvias, con la contribución de otros agentes climáticos, sobre la superficie del interfluvio.  <b>NOTA:</b> Las crestas del interfluvio son laderas (naturales) y taludes (construidos)	<i>Saltación pluvial:</i> Desalojo y dispersión por gotas de lluvia.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Impacto de la gota de agua.</li> <li>● Reducción de la capa de infiltración.</li> <li>● Destrucción de los poros y de las fisuras del suelo expuesto</li> </ul>
	<b>ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL DIFUSO</b>	
	<i>Erosión laminar:</i> Arrastre uniforme de capas de suelo a muy corta distancia.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Escurrimiento de suelos limosos y arenosos.</li> <li>● Es fuente importante de sedimentos.</li> </ul>
	<b>ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL CONCENTRADO</b>	
	<i>Surcos de erosión:</i> El escurrimiento concentrado forma pequeños canales paralelos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Destrucción de taludes y laderas.</li> <li>● Alto aporte de sedimentos.</li> <li>● Los canales se borran con perfilado y labranza.</li> </ul>
	<i>Cárcavas:</i> Son zanjones profundos y de gran tamaño, por lo tanto son difíciles de controlar.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Acentuar el relieve promoviendo otras formas de inestabilidad.</li> <li>● Fuente importante de sedimentos.</li> <li>● Corrección de alto costo.</li> </ul>
<b>ESCURRIMIENTO SUBSUPERFICIAL</b>		
<b>EROSIÓN INTERNA:</b> Por flujo subterráneo.	<i>Tubificación y cavernas:</i> Debilitamiento interno.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Puede originar manantiales, cárcavas y hundimientos.</li> </ul>
<b>EROSIÓN FLUVIAL</b>	<i>Socavación de fondo</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Profundiza el fondo de los cauces naturales</li> </ul>
	<i>Socavación lateral</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Elimina el soporte de laderas.</li> </ul>
	<i>Descarga torrencial</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Efectos devastadores en las márgenes del cauce.</li> </ul>

Finalmente, dentro de los tipos de Erosión Hídrica se encuentra la **Erosión Fluvial**, que es la que producen los cursos de agua, torrentes, arroyos y ríos. La fuerza tractiva del agua vence la resistencia de los materiales del cauce, produciéndose procesos de socavación lateral, de fondo y de la llanura de inundación, generándose a continuación el transporte del material por la acción hidrodinámica de la corriente.

## TRANSPORTE FLUVIAL DE SEDIMENTOS

El **Transporte Fluvial de Sedimentos** es el proceso mediante el cual, posteriormente a la Erosión, los materiales desprendidos de laderas y lechos se movilizan en la dirección de la corriente. Estos materiales están constituidos por una mezcla de minerales solubles, arcillas, limos, arenas, gravas, cantos rodados y bloques mayores, los cuales se transportan en las formas de solución, suspensión, saltación y acarreo de fondo, pudiendo ser este último por arrastre y/o rodadura.

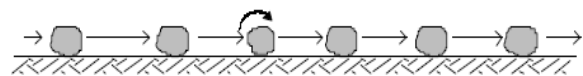
**Transporte en solución:** corresponde a las sustancias químicas disueltas en el flujo, en el cual, el agua al fluir en la cuenca va disolviendo una gran cantidad de minerales y esos materiales en disolución son transportados por los ríos. Por ser en general de poca magnitud, y no afectar, por ejemplo, las vidas útiles de los embalses, suele no tomarse en cuenta.

**Transporte en suspensión:** predomina en los cauces de pendiente baja y media, en las zonas de planicies. Está compuesto principalmente por arenas finas, limos y arcillas, que son los materiales más finos de todos. En estos casos la turbulencia del flujo tiene la energía necesaria para levantar dichos materiales del fondo y transportarlos en el seno del flujo en agitación o suspensión.

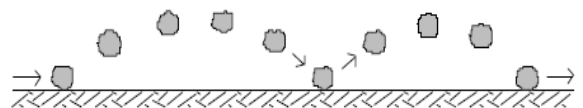
**Transporte por Saltación:** se produce en zonas de fuerte pendiente, por la acción hidrodinámica de la corriente y la forma aplanada de algunas rocas, que son elevadas por fuerzas de sustentación hasta caer nuevamente, recorriendo el cauce hacia aguas abajo, mediante sucesivos "saltos".

**Arrastre de fondo.** Predomina en los cauces de fuerte pendiente (torrenciales), en las zonas montañosas. Está compuesto principalmente por elementos gruesos: peñones, cantos

rodados, gravas y arenas gruesas, los cuales se desplazan por el fondo del cauce, debido a que la turbulencia del flujo no tiene la energía necesaria para levantarlos del mismo y pasarlos al estado de suspensión. Es decir, esas piedras van desplazándose sin rodar o rodando unas sobre otras y a su vez se van desgastando, generándose poco a poco las formas esféricas, típicas de los cantos rodados.



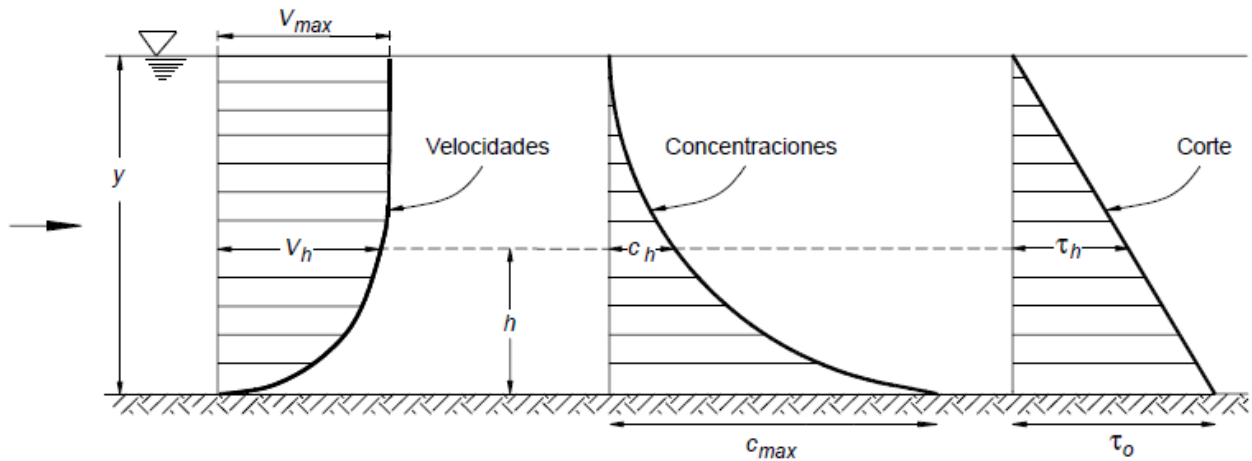
ARRASTRE



SALTACION



SUSPENSION



## SEDIMENTACIÓN FLUVIAL

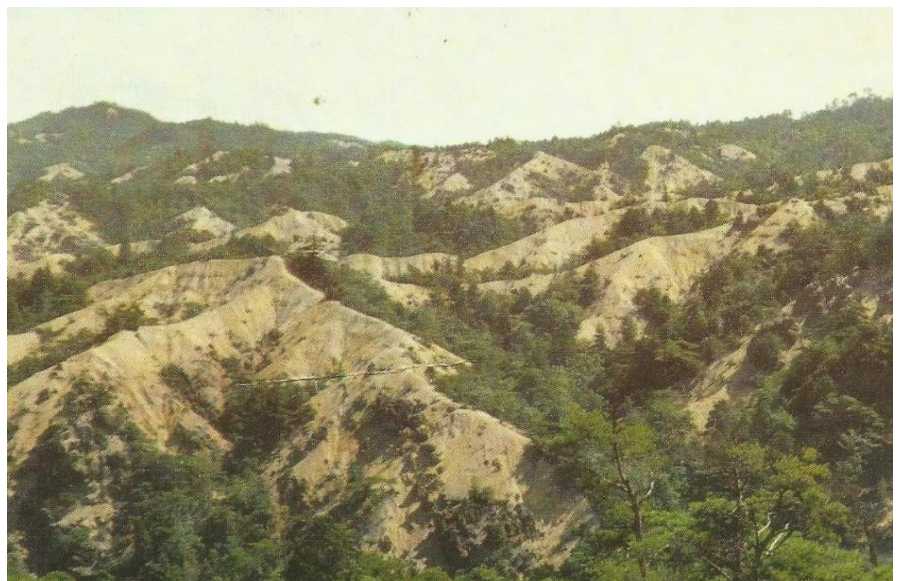
La **Sedimentación Fluvial** es el proceso opuesto a la Erosión Fluvial, produciéndose la acumulación de sedimentos transportados en aquellos lugares y épocas donde las corrientes de los ríos pierden velocidad y consecuentemente la acción hidrodinámica no alcanza para seguir transportando sedimentos, depositándolos en forma clasificada a lo largo de los cauces.

## EJEMPLOS DE EFECTOS DE EROSIÓN Y SEDIMENTACIÓN

**Degradación de Laderas:** en la imagen siguiente izquierda, se observa un río y una ladera constituida originalmente por roca. Esa roca se fue degradando por los efectos de cambios de temperatura, lluvia, raíces de las plantas que van creciendo en la zona, animales que circulan y hacen cuevas, así como las actividades del hombre. Finalmente, la roca se fue desagregando, partiendo en bloques y terminará cayendo al río como aporte de sedimentos.



Erosión natural de una cuenca en Venezuela.



Denudación de una cuenca en Japón causada por la tala de los bosques.

**Deforestación de Cuencas:** en la imagen precedente, arriba a la derecha, se observa una cuenca en Japón que hace un siglo fue muy deforestada. Casi todos los árboles fueron talados para obtener madera de construcción y leña, eso produjo que quedaran muchas de las laderas sin ninguna protección de cobertura vegetal y sujetas a la acción erosiva de la lluvia, de la nieve, etc. generando una fuerte erosión que no tenía cuando estaba naturalmente forestada.

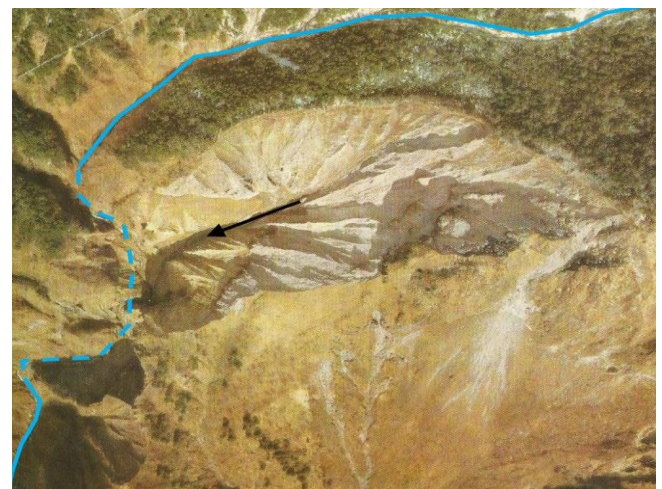
**Erosión Fluvial:** se observa la erosión en la margen izquierda de una curva de un cauce tropical.



Quebrada La Esperanza, Eduardo Lara, Venezuela

Este río, típicamente tropical, en épocas de sequías tiene un mínimo caudal y en épocas de crecientes se pueden observar caudales importantes y muy violentos, que por inercia tienden a seguir en línea recta, afectando la parte inferior de la ladera, socavándola y haciendo que al perder apoyo el resto de la ladera se derrumbe, con aportes importantes de sedimentos a la corriente.

**Deslizamientos en Masa del Terreno:** se puede observar un macro deslizamiento, por las enormes dimensiones que tiene, producido probablemente por la conjunción de inestabilidades de la ladera y temblores sísmicos, muy frecuentes en Japón. Este fenómeno acumuló el material deslizado, represando el río con una verdadera presa natural, lo cual generó su embalsamiento hasta desbordar por encima del material acumulado. A partir de allí el río fue excavando por erosión su nuevo cauce.



Deslizamiento de terreno de grandes proporciones, hacia el cauce del Río Inari, en Japón

**Aporte de Cenizas Volcánicas:** los volcanes como los existentes en Sudamérica en la Cordillera de los Andes (Chile, Perú, Bolivia, Ecuador), en el mar Mediterráneo (Italia, Grecia) y también en el Océano Pacífico (Japón, Islas del Sur), cuando entran en erupción arrojan enormes cantidades de cenizas. Esas cenizas son partículas sumamente finas que se mantienen en suspensión y son transportadas por los vientos en la atmósfera, hasta que van descendiendo al suelo, pudiendo llegar a cubrir cuencas enteras. Cuando vienen las lluvias, o el derretimiento de nieve, esas cenizas van siendo arrastradas hacia los ríos y son una considerable fuente de sedimentos a transportar en suspensión.



Volcán Sacurajima, Japón, arrojando enormes cantidades de ceniza a la atmosfera



**Sedimentación de Embalses:** en la imagen precedente se muestra el embalse de la presa de Matícora, construida en el año 1978, es una presa de tierra, unificada de unos 40 metros de altura aproximadamente, tiene su aliviadero en el contacto de la presa con el estribo derecho y la toma es un túnel que pasa por el estribo izquierdo y sale aguas abajo, al canal de riego y a una descarga ecológica al cauce y tiene una torre toma en la cual hay cuatro compuertas a diferentes niveles. Su función era básicamente para riego y para abastecimiento de algunas poblaciones del sector.



En la segunda imagen se puede observar el estado de ese mismo embalse en el año 2015, totalmente sedimentado. Entre los años de 1978 y 2015, el embalse se sedimentó totalmente.

También, se puede ver que, la Torre de Toma está enterrada prácticamente, y solo hay un minúsculo charco de agua alrededor de ella. Finalmente, se puede observar una máquina abriendo un canal para tratar de comunicar el resto de agua que quedó hacia la parte final para tratar de captarlo hacia la Torre de Toma.

## CLASIFICACIÓN DE LOS RÍOS (\*)

(\*) Glosario Hidrológico Internacional de la Organización Meteorológica Mundial (OMM)

**Río con Pendiente Estabilizada:** río que ha alcanzado aparentemente un estado aproximado al de equilibrio entre transporte y aportación de sedimentos (sólidos).

**Río Encajonado:** río que ha excavado su cauce en el lecho de un valle muy cerrado.

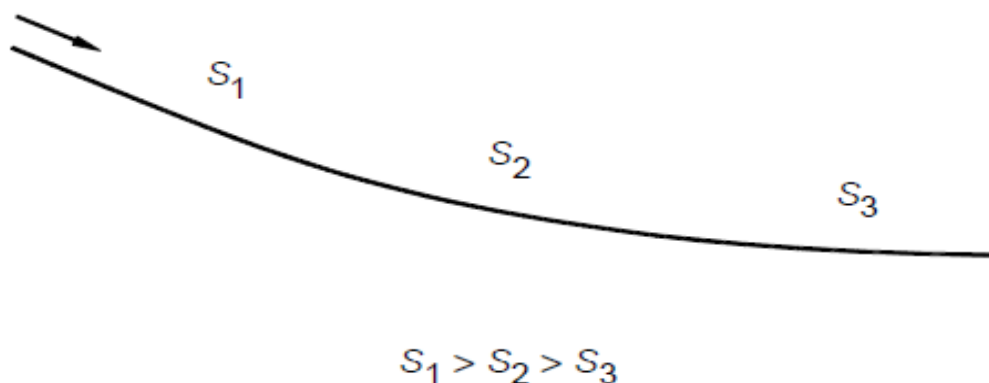
**Río Estable:** río que en su conjunto mantiene sus pendientes, profundidades y dimensiones de cauce sin elevar o descender su lecho.

**Río Fangoso:** flujo de agua en el que, por estar fuertemente cargada de agua y residuos, la masa fluyente es espesa y viscosa.

**Río Kárstico:** río que tiene su origen en una fuente kárstica, o que corre por una región kárstica.

**Río Subterráneo:** masa de agua en movimiento que pasa a través de un intersticio de gran tamaño, tal como una caverna, cueva o conjunto de grandes intersticios en comunicación.

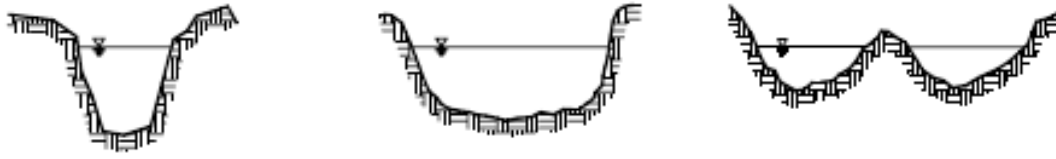
## PENDIENTE LONGITUDINAL DE LOS RÍOS



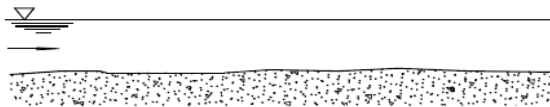
Curso Alto	Curso Medio	Curso Bajo
Tendencia a la erosión Velocidades grandes Sedimentos gruesos	Tendencia al equilibrio	Tendencia a la sedimentación Velocidades bajas Sedimentos finos



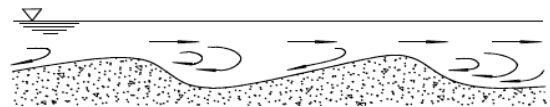
## CARACTERÍSTICAS DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL



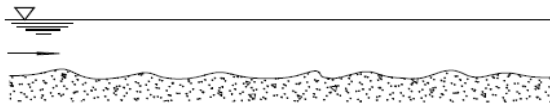
## CARACTERÍSTICAS DEL FONDO



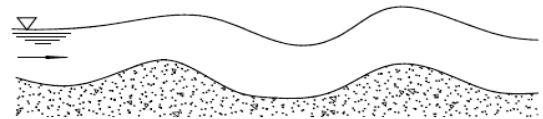
FONDO PLANO



DUNAS



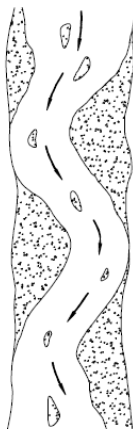
RIZOS



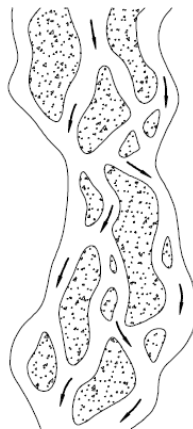
ANTIDUNAS

## CLASIFICACIÓN MORFOLÓGICA DE LOS RÍOS

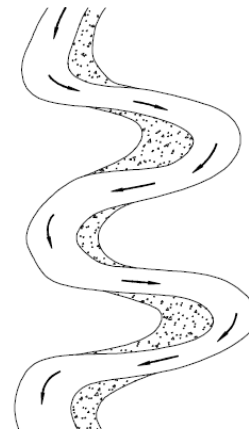
Desde el punto de vista morfológico hay tres grandes grupos de ríos. Ellos son: rectos, entrelazados y meándricos, como se ve en la Figura



Recto



Entrelazado



Meándrico

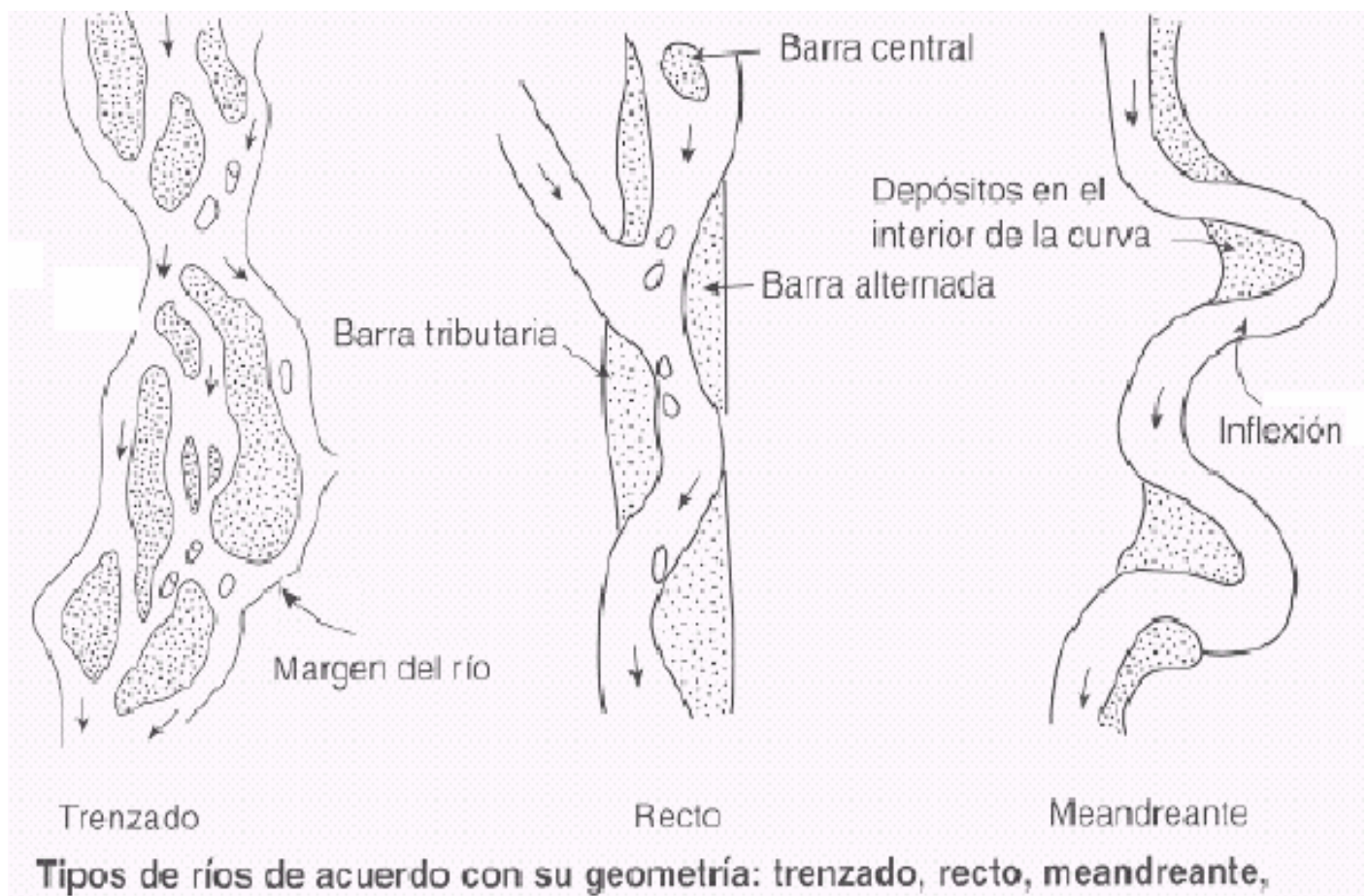
**Ríos Rectos:** prácticamente no existen ríos rectos en la Naturaleza. A veces sucede que existe un sistema de encauzamiento recto, constituido por diques paralelos, pero dentro de él, para caudales menores que el de diseño, el río desarrolla su propia sinuosidad. Para el caudal de diseño el río

ocupa toda la sección transversal y se comporta como si fuese recto. En determinados encauzamientos ocurre que lo más peligroso para el sistema de defensas no es el caudal máximo, sino uno menor, para el cual el río desarrolla curvas, una de las cuales puede atacar casi frontalmente los diques de encauzamiento.

**Ríos Entrelazado:** a veces se les llama ríos trenzados. Corresponden generalmente a ríos anchos, cuya pendiente es fuerte, lo que da lugar a pequeños tirantes (calados) y el río corre en forma de varios canales o brazos alrededor de pequeñas islas. LANE planteó que las dos causas que explican la existencia de un río entrelazado son: 1) exceso de sedimentos que el río no puede transportar en su totalidad, una parte de los cuales deposita y da lugar a la formación de islas, y 2) pendiente fuerte, lo que origina pequeños tirantes. Uno de estos factores, o los dos juntos, son causa de la aparición de ríos entrelazados.

**Ríos Meándricos:** están formados por una sucesión de curvas. La característica de estas curvas, que son muy dinámicas, es que no se deben esencialmente a las propiedades del terreno, sino a la naturaleza del comportamiento fluvial.

Esta clasificación es ilustrativa de las tres formas principales que suelen tener los ríos. Estas diferentes formas pueden presentarse en tramos sucesivos de un río o en un mismo tramo, en función de la pendiente y el caudal en un momento dado.



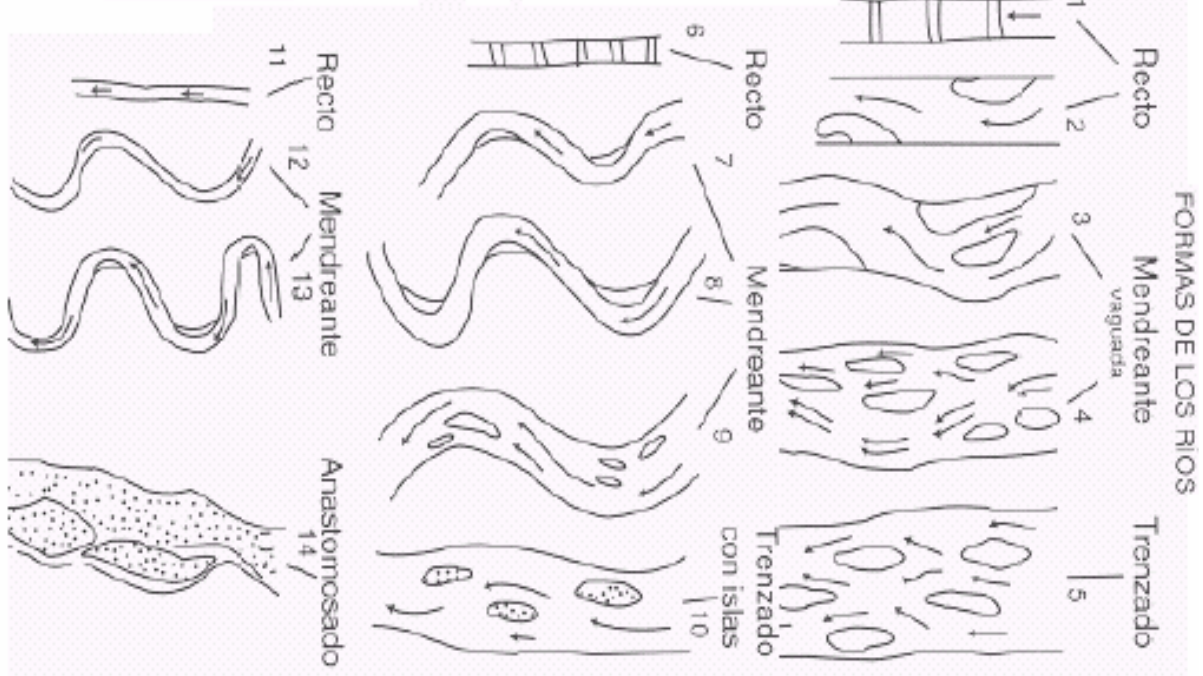
TIPOS DE RÍOS

De acuerdo con el transporte de material

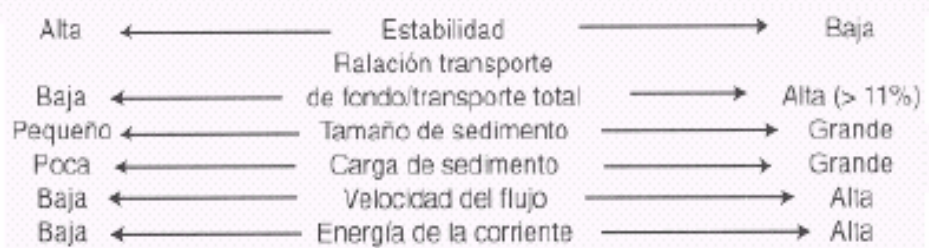
Con sedimento en suspensión

Con arrastre de fondo y en suspensión

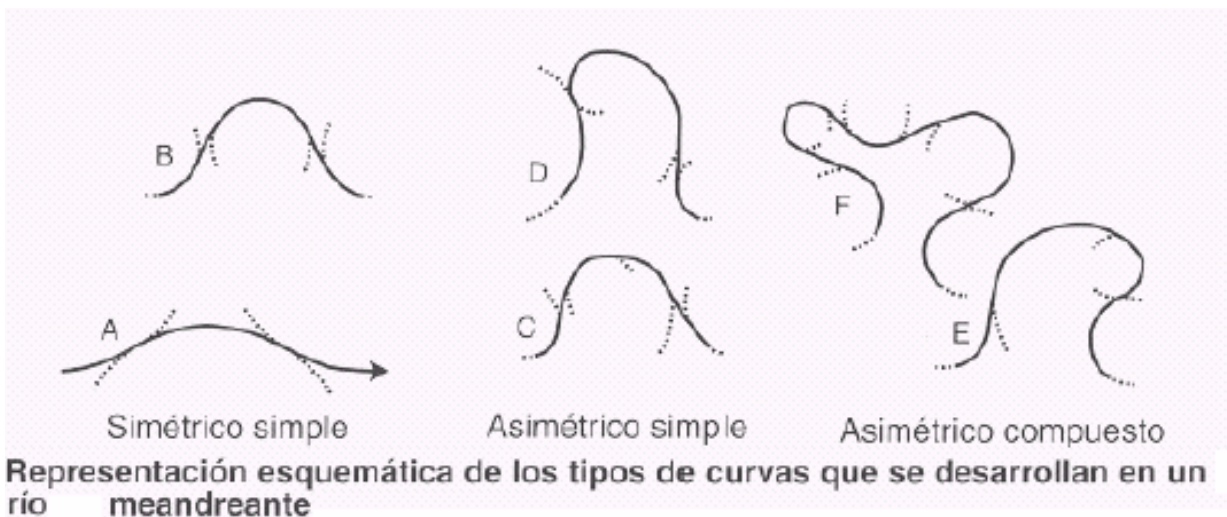
Con arrastre de fondo

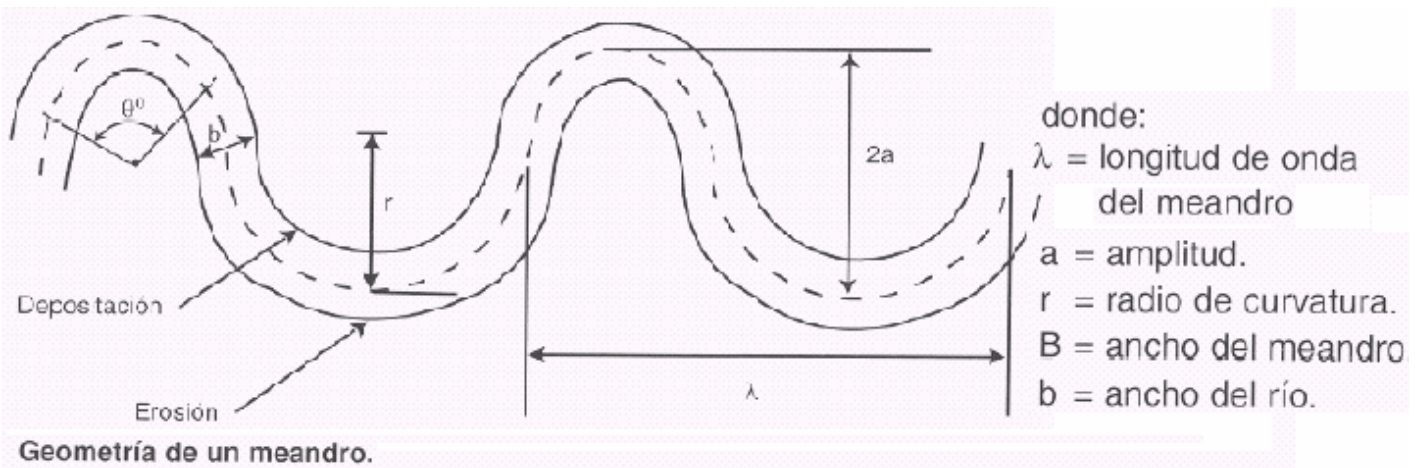


FORMAS DE LOS RÍOS

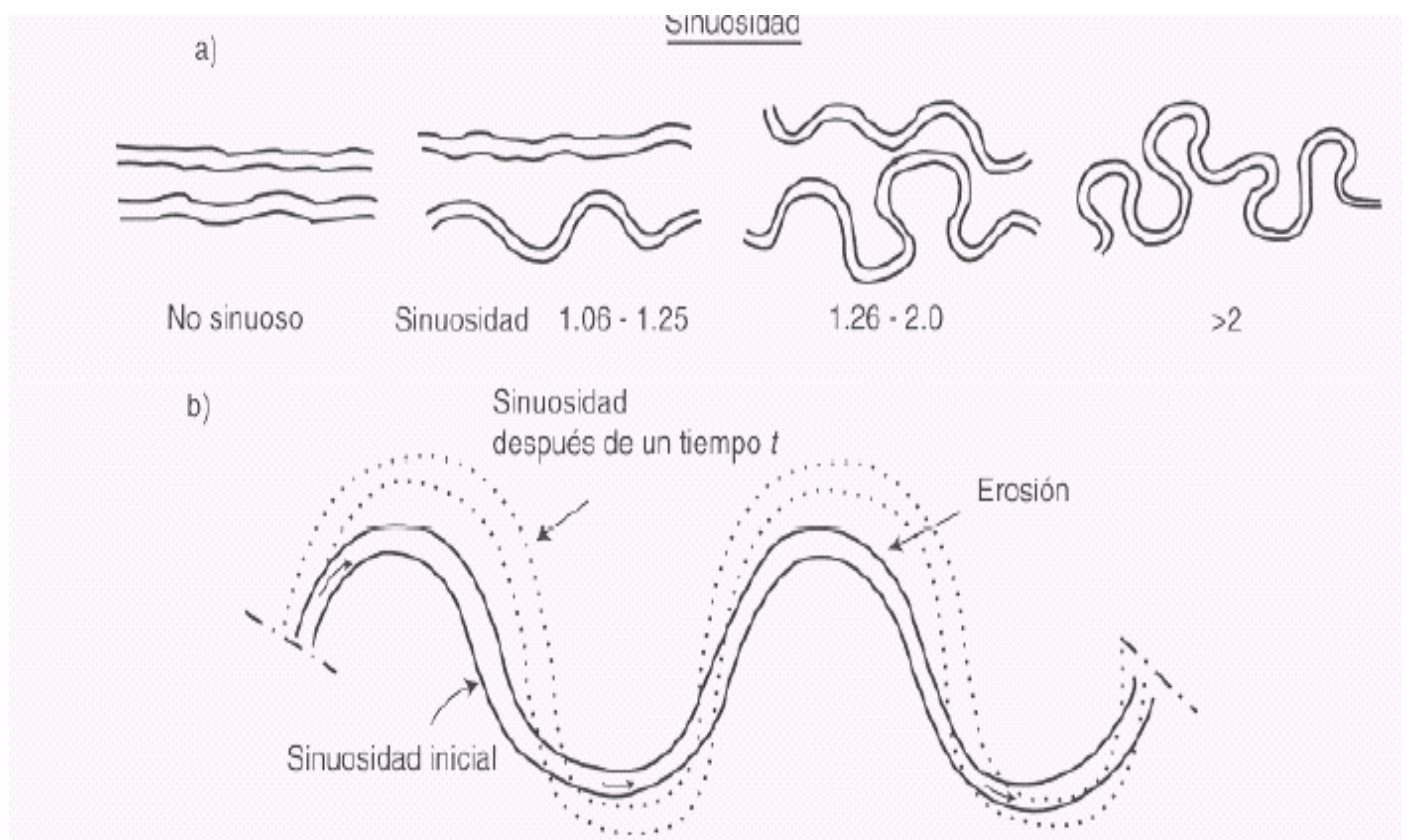


CARACTERÍSTICAS DE MEANDROS

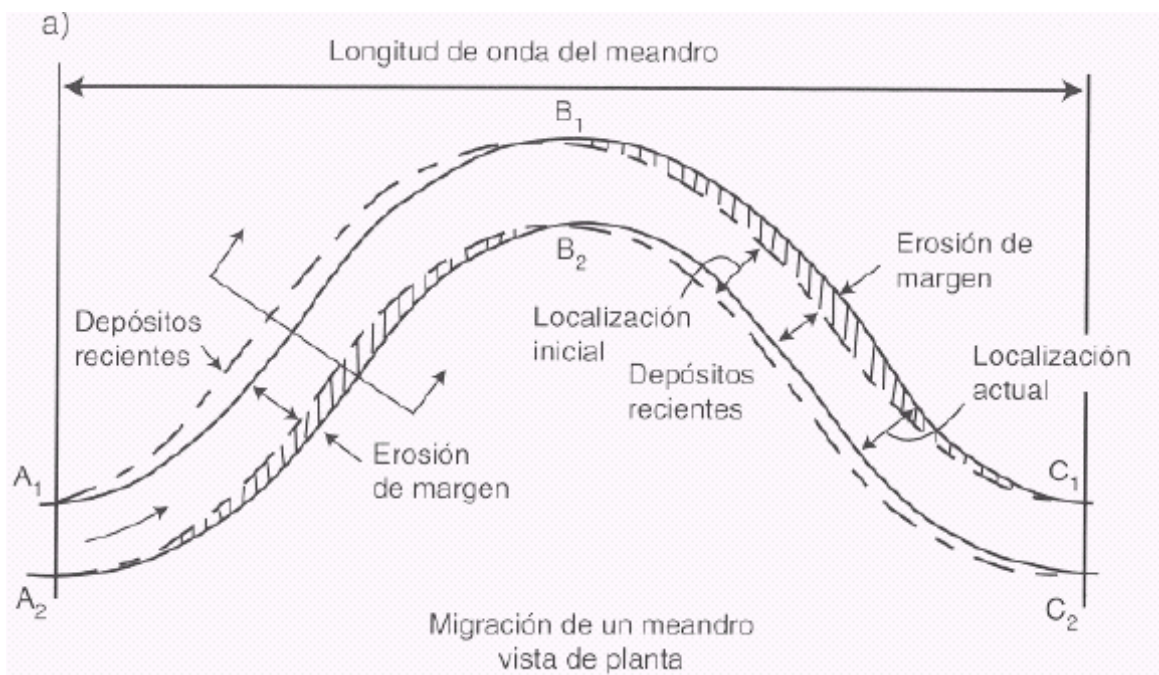
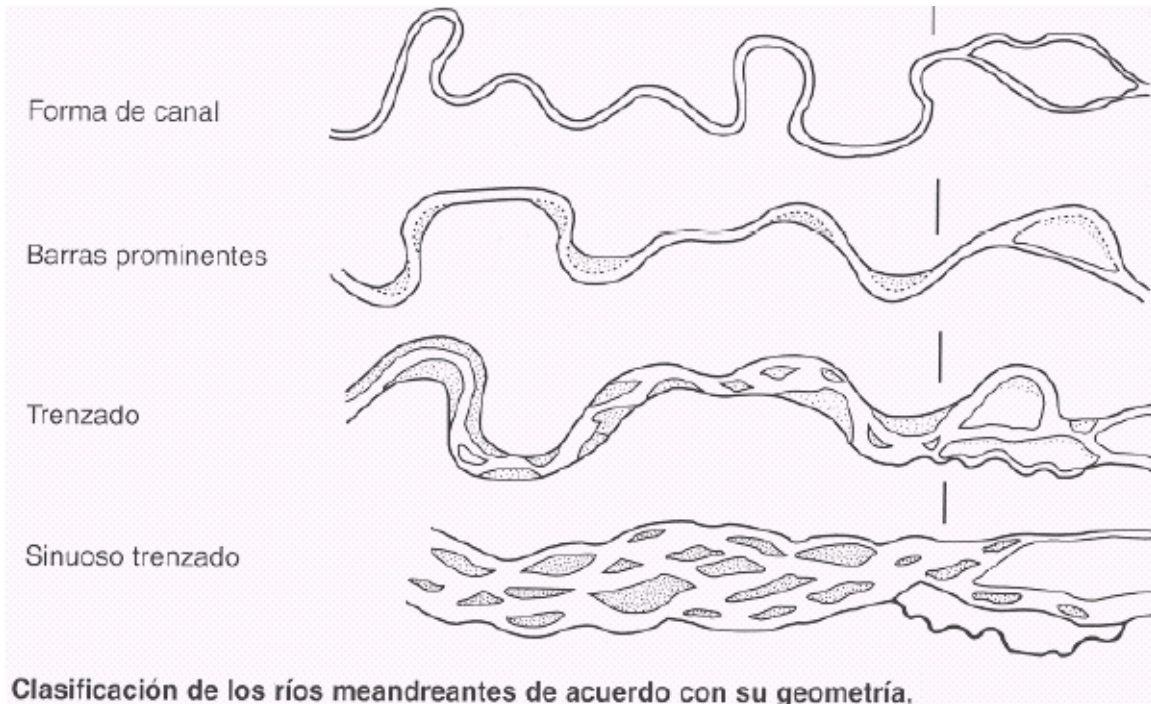


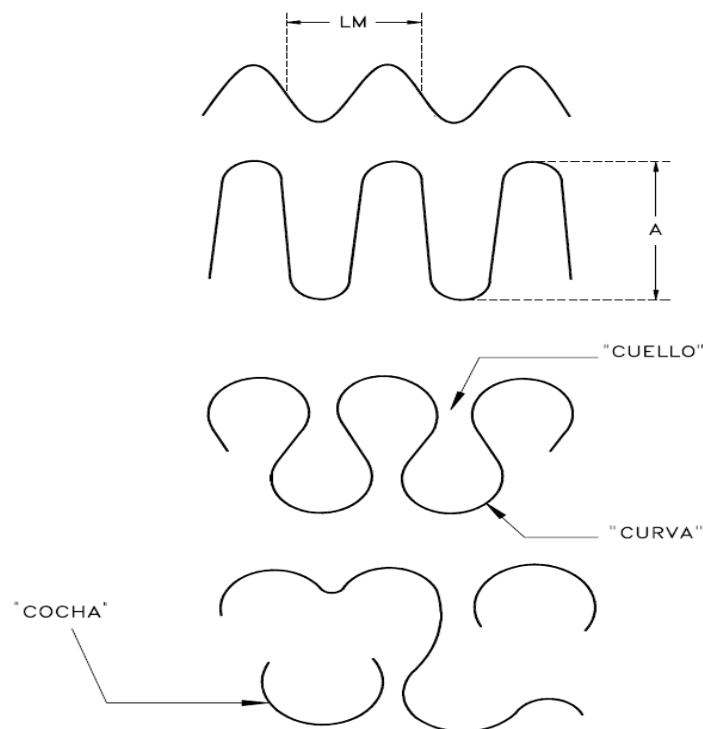
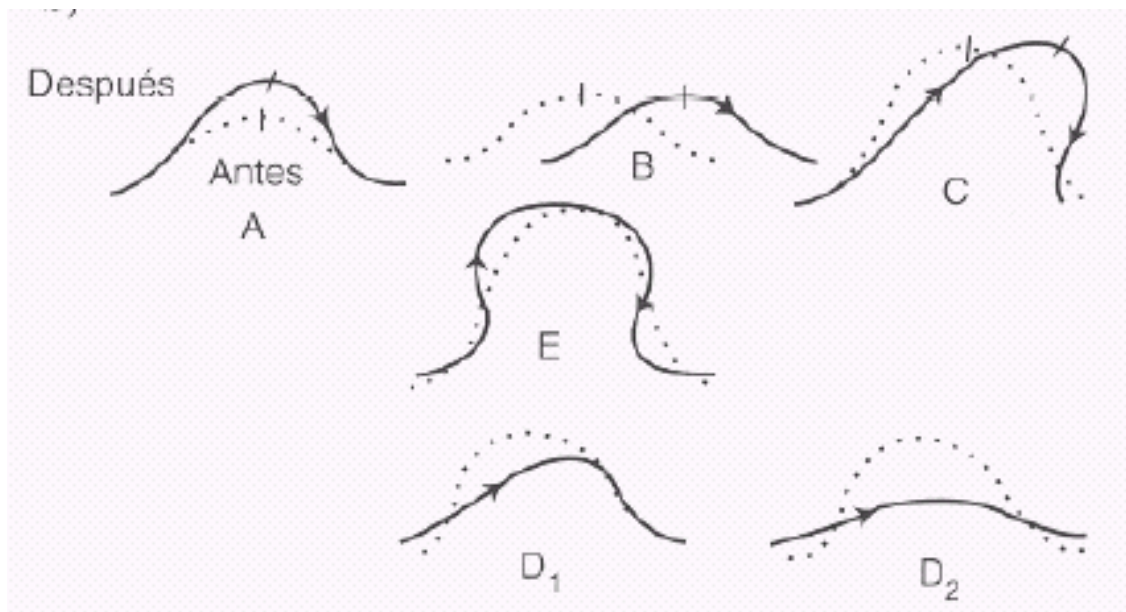


La sinuosidad es la relación entre la longitud del río y la longitud del valle, en condiciones de equilibrio también se puede definir como la relación de la pendiente del valle y la pendiente del río. Los ríos con meandro tienen una sinuosidad mayor que 1.2. En general los meandros son de diferentes formas y tamaños. Para determinar las relaciones del tamaño de meandro con la frecuencia de ocurrencia, generalmente se hacen juicios subjetivos para considerar si una curva es no meandro (ver la siguiente figura).



**Sinuosidad. a) Diferentes grados de sinuosidad, b) Cambio de sinuosidad.**





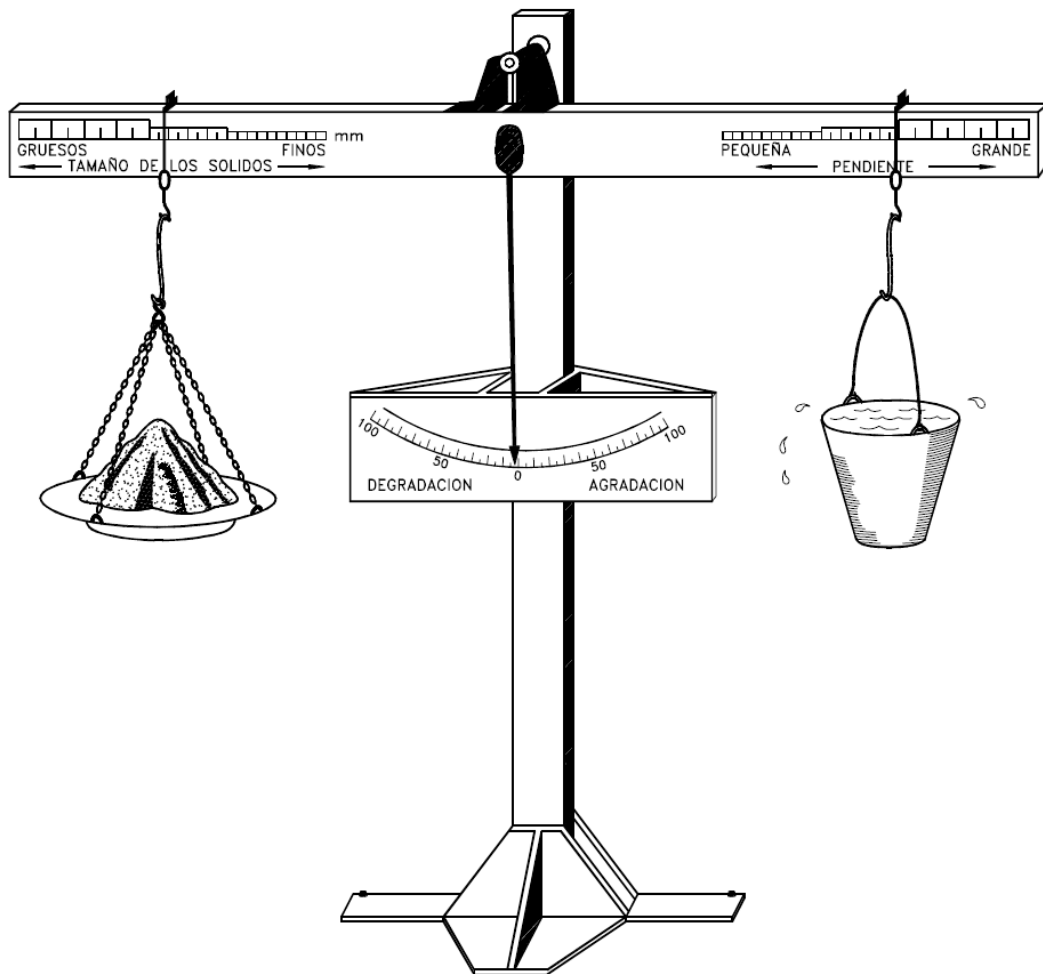
## BALANZA DE LANE

Para la descripción cualitativa de muchos procesos puede usarse la expresión de LANE en su versión restringida, que consiste en no considerar los exponentes con sus valores particulares, sino como si fuesen igual a 1, quedando:

$$TF \cdot d :: Q \cdot S$$

Esta relación cualitativa implica que el cambio en una de las variables repercute en un cambio en una o más de las otras variables para recuperar el balance. Algunos ingenieros del U.S. Bureau of

Reclamation, entre ellos W.H. BORLAND, conscientes de la importancia de la Relación de LANE para la descripción de los cambios fluviales idearon la Figura conocida como la Balanza de LANE.



El gasto sólido (**TF**) está representado por la arena depositada en el platillo de la izquierda, y el caudal líquido (**Q**) corresponde a la cantidad de agua contenida en el balde de la derecha. Los puntos de los que penden el platillo y el balde pueden desplazarse a la izquierda o derecha, como expresión de las variaciones del diámetro de los sólidos (**d**) y de la pendiente (**S**).

Veamos que otra información puede darnos la Relación de LANE. Si en la última ecuación despejamos la pendiente se obtiene:

$$S : : TF \cdot d / Q$$

de donde resulta que la pendiente de un cauce fluvial puede disminuir por una reducción del gasto sólido, por una reducción del tamaño de los sólidos o por un incremento de la descarga. Por el contrario, un aumento de la pendiente puede originarse en un aumento del gasto sólido, en un aumento del diámetro representativo del material sólido ó en una disminución del caudal.

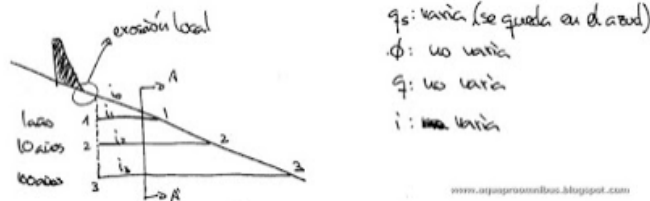
Si se construye una gran presa sobre el lecho de un río el gasto sólido disminuye, debido a la sedimentación, y en consecuencia también disminuye la pendiente. Hay numerosos procesos que pueden analizarse por medio de la Relación de LANE.

### 1.- Aumento de caudal líquido

Una avenida provoca un aumento en el caudal líquido por encima del caudal natural del río. Como consecuencia, la balanza se inclina hacia la incisión o erosión del lecho, lo que provoca el inicio del transporte de sedimentos y, a su vez, un incremento de la pendiente. En este instante el lecho se encuentra en desequilibrio fluvial, por lo que una vez finalizada la avenida el río tenderá a recuperarse depositando sedimentos en el lecho erosionado. De esta manera se recuperará de nuevo el lecho inicial.

### 2.- Azud o presa (sin modificación del caudal líquido)

Este tipo de estructuras se caracterizan por impedir el transporte de sólidos aguas abajo ( $Q_s = 0$ ), debido al efecto barrera que este realiza. Mirando el efecto aguas abajo, donde no existe transporte de sedimentos, la balanza se inclina hacia la incisión, aumentando la pendiente gradualmente y generando transporte de sedimentos. La pendiente tenderá a suavizarse (ver imagen) provocando una cuña de erosión que va progresando para así volver de nuevo al equilibrio fluvial.



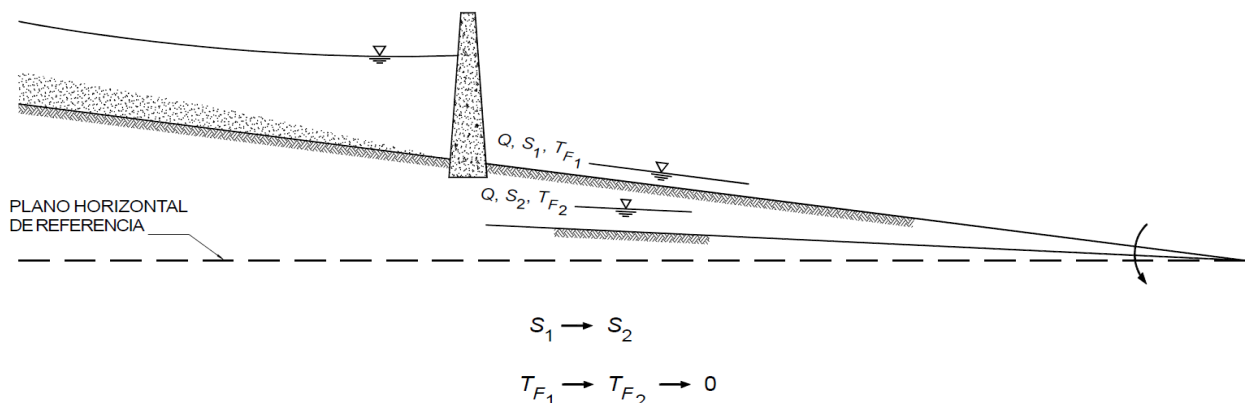
Problemas de incisión (erosión) del lecho aguas abajo de una obra de regulación hidráulica.

### 3.- Transvase de agua

El intercambio de líquido entre cuencas también ocasiona un desequilibrio fluvial ya que provoca dos importantes modificaciones: la primera, en la cuenca cedente se produce una sedimentación aguas abajo del punto de captación, que será compensado con el incremento de la pendiente; la segunda, en la cuenca receptora se produce la erosión del lecho debido al incremento de caudal, volviendo al equilibrio como se ha descrito en el ejemplo 1.

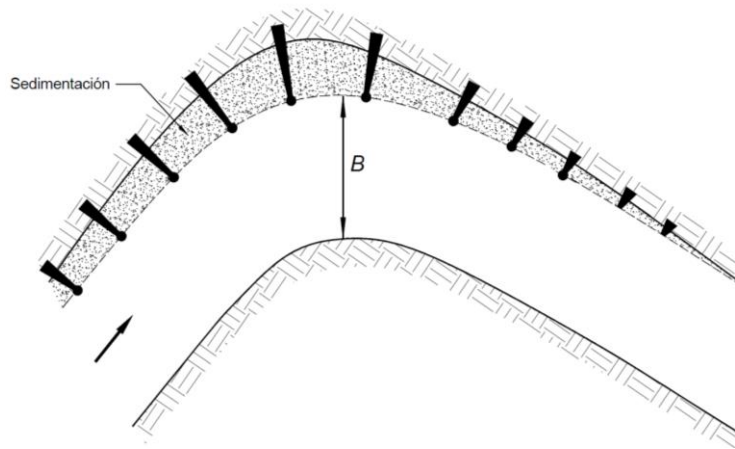
Como puede deducirse, el concepto de **Balanza de Lane relaciona los cambios morfológicos del lecho del río con los caudales líquido y sólidos** y, junto a su simplicidad, es una gran herramienta para entender los cambios en el río.

## DEGRADACION AGUAS ABAJO DE UNA PRESA

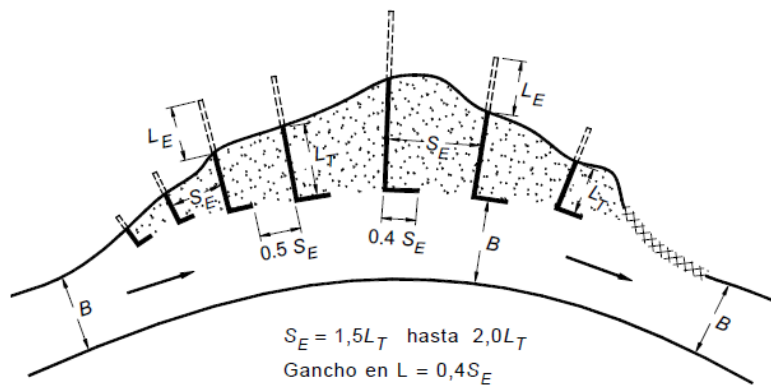
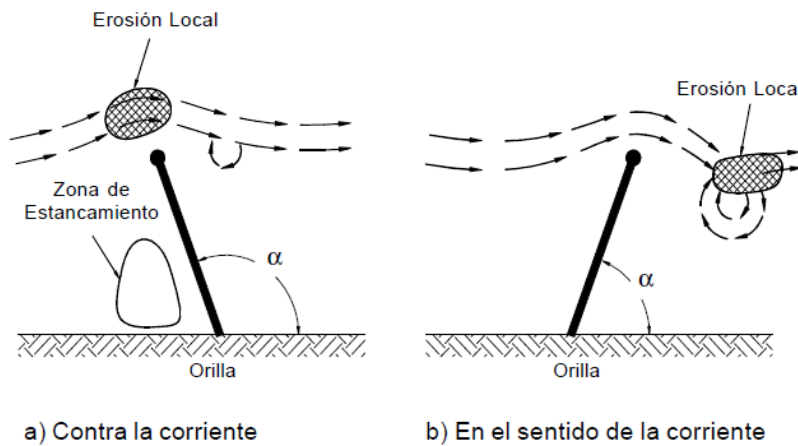




ACCIÓN HIDRODINAMICA DE LAS CORRIENTES



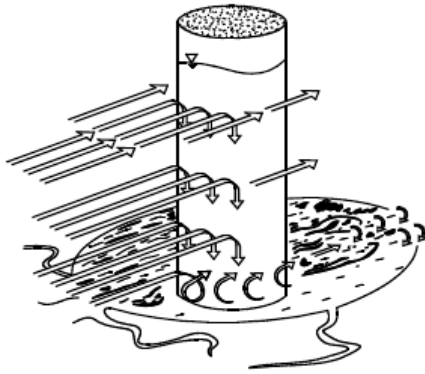
Representación esquemática de un tramo en curva protegido con un sistema de espigones



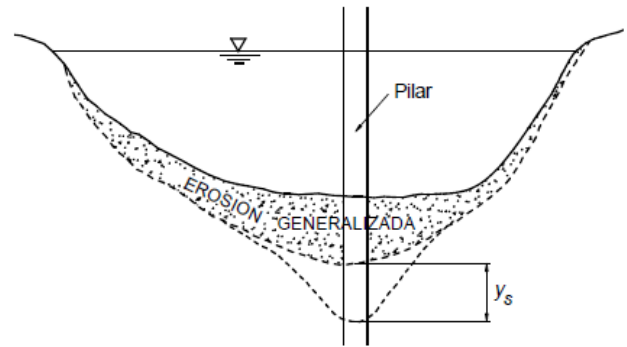
$S_E = 1,5L_T$  hasta  $2,0L_T$   
 Gancho en  $L = 0,4S_E$   
 = Sedimentación  
 (Después plantar)

(c)

Esquemas típicos de espigones. En las figuras a y b se muestra la ubicación de los espigones con respecto a la dirección de la corriente. En la figura c una disposición de espigones en L en el río Piura en un tramo en curva.

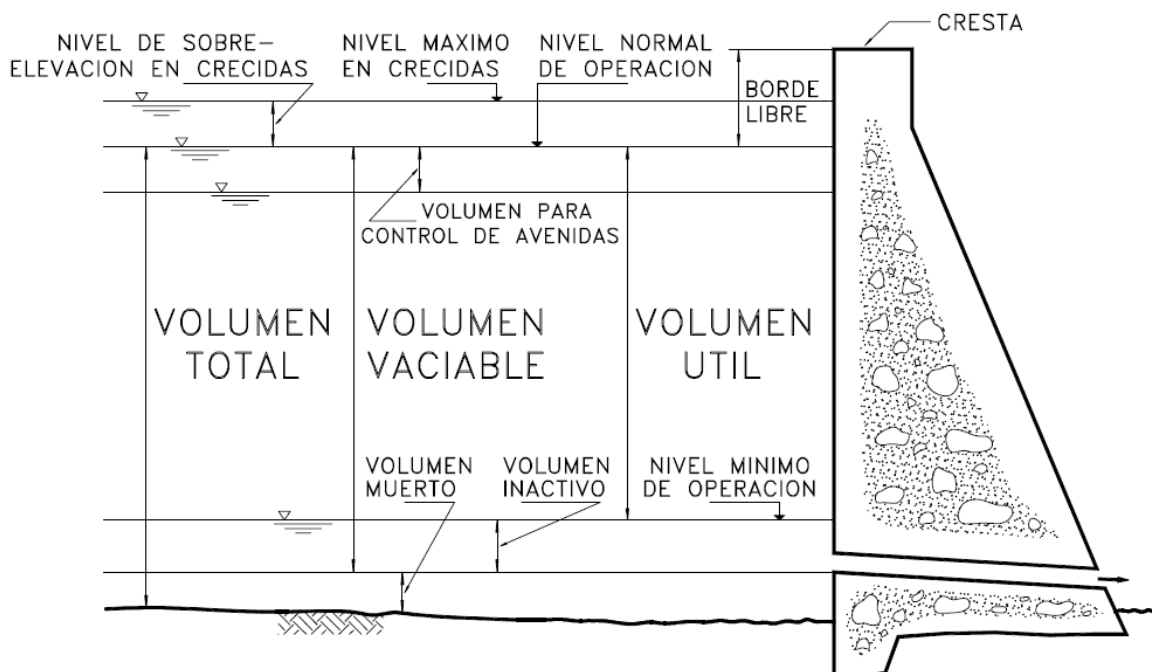


a) Esquema de la socavación como un fenómeno tridimensional



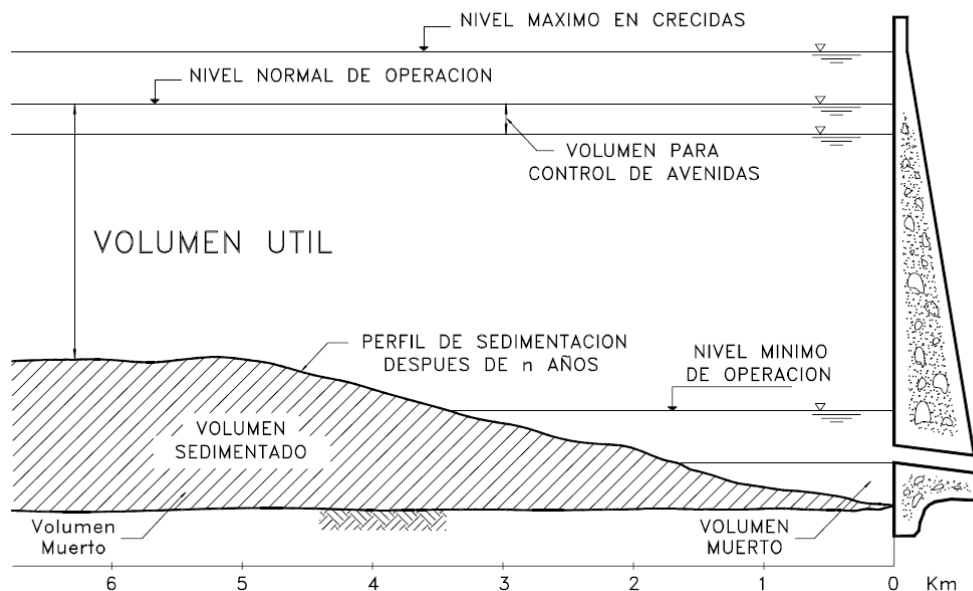
b) Obsérvese como la erosión local  $y_s$  se adiciona a la erosión generalizada

Los pilares y estribos de puentes son elementos extraños dentro de la corriente. Ellos producen, para cada caudal, una socavación (erosión local) que se debe a la aparición de corrientes vorticosas complejas al chocar el flujo contra dichos elementos. Hay, pues, una interacción entre el flujo alrededor de un pilar y el lecho fluvial. Es importante tener en cuenta que la socavación, que es una erosión local, se adiciona a la degradación del lecho (erosión generalizada) correspondiente al caudal de que se trata. En la Figura se aprecia esquemáticamente estos conceptos.

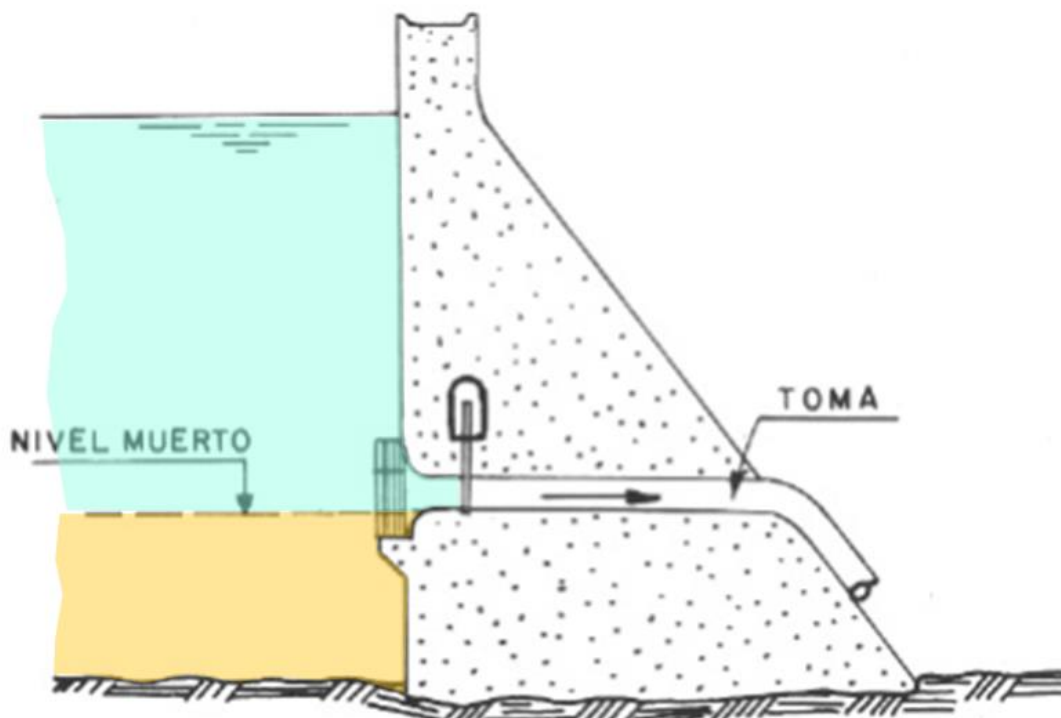


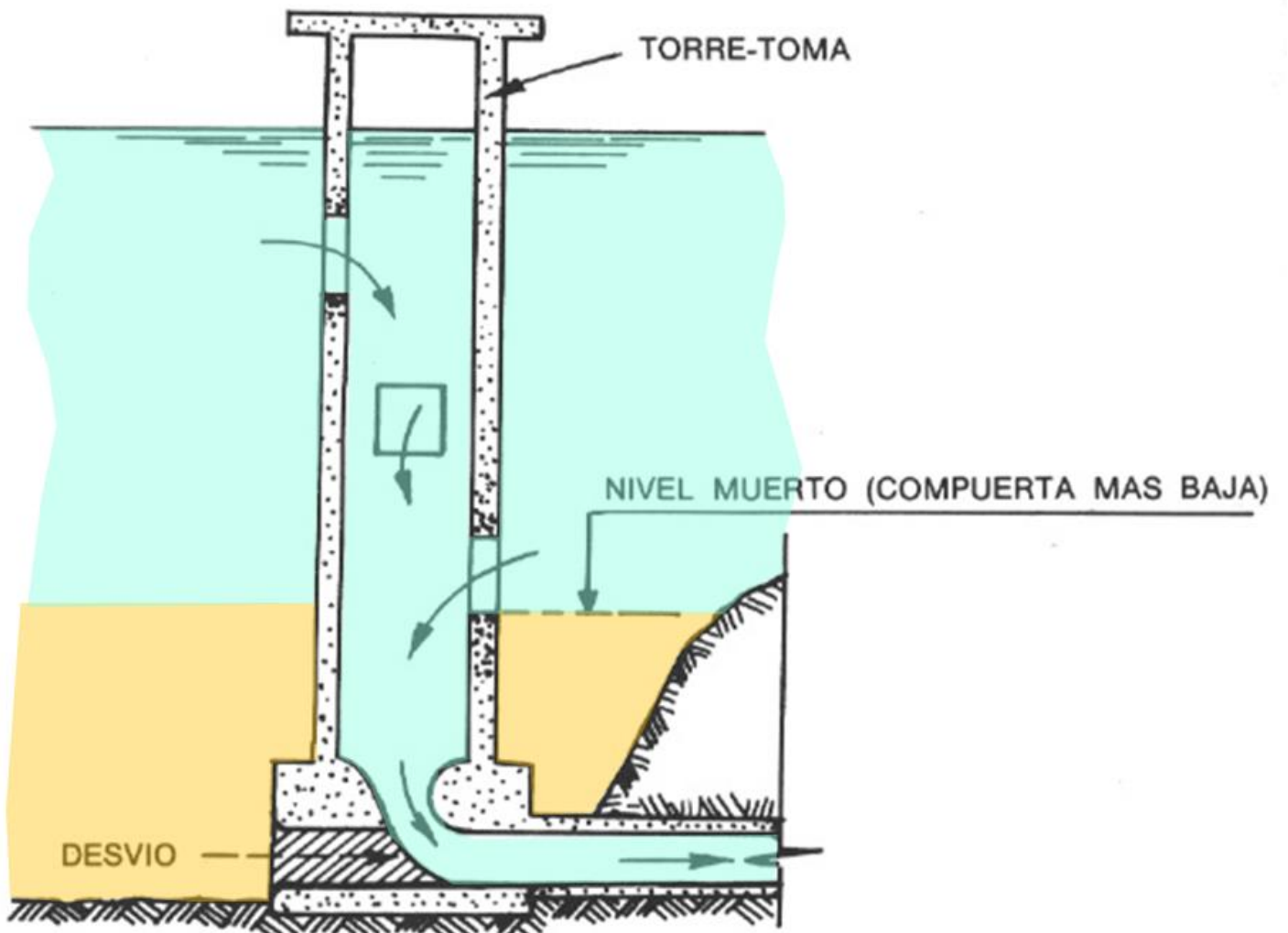
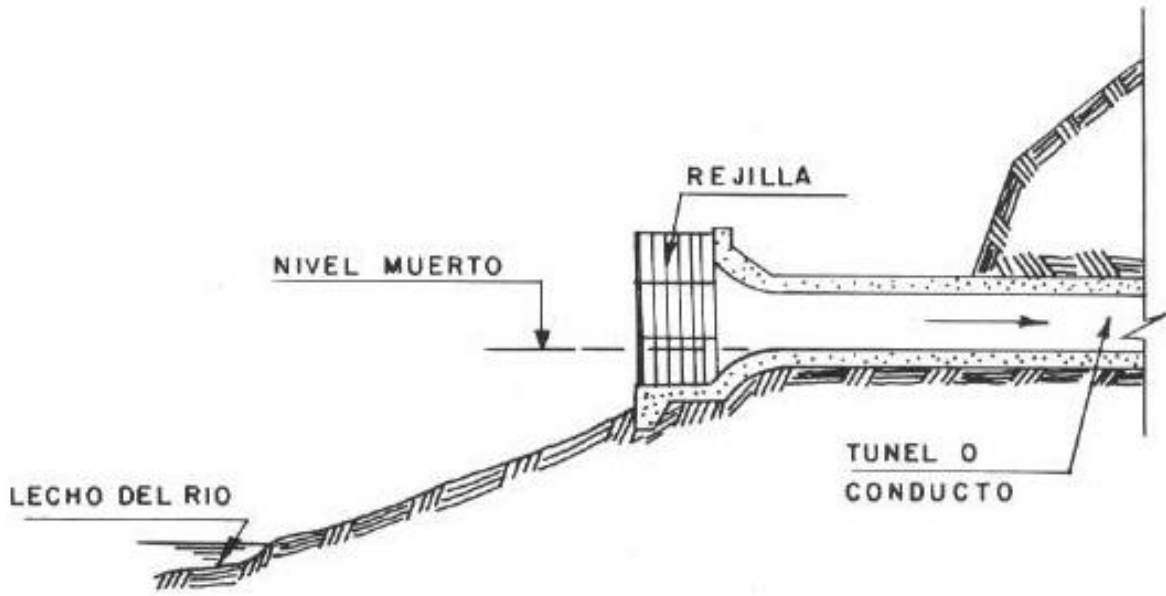
Cuando se construye una presa en el lecho de un río, ésta actúa como una trampa de sedimentos, y una parte de los sólidos transportados por la corriente queda retenida en el embalse, disminuyendo

así el volumen de almacenamiento. Este riesgo debe ser evaluado. Por tal razón se considera muchas veces en el diseño un volumen de embalse adicional al requerido para satisfacer las necesidades del proyecto, y que sirve para el depósito de los sólidos sedimentados en el embalse. Este volumen se llenará con el transcurso del tiempo. A este volumen adicional se le conoce generalmente con el nombre de Volumen Muerto; pero éste término es equívoco. Podría decirse, para mayor precisión, que es el Volumen Muerto por sedimentación, y no por cota de derivación.



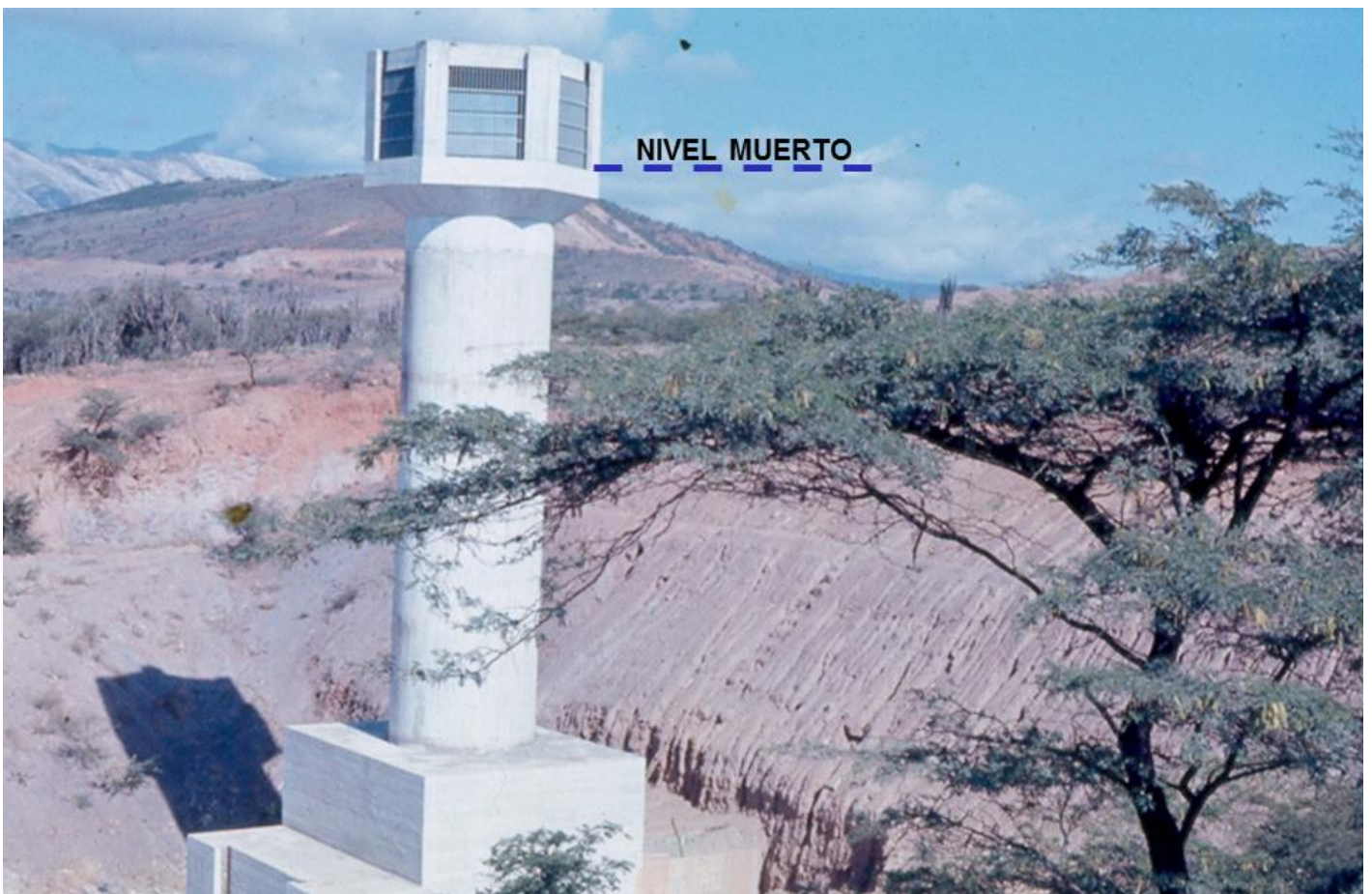
Significado de los términos para un embalse en proceso de sedimentación. Nótese como es que un mismo volumen de sedimentos puede depositar en lugares diferentes del embalse, moverse dentro de él, y ocupar o no el volumen muerto por cota de derivación.







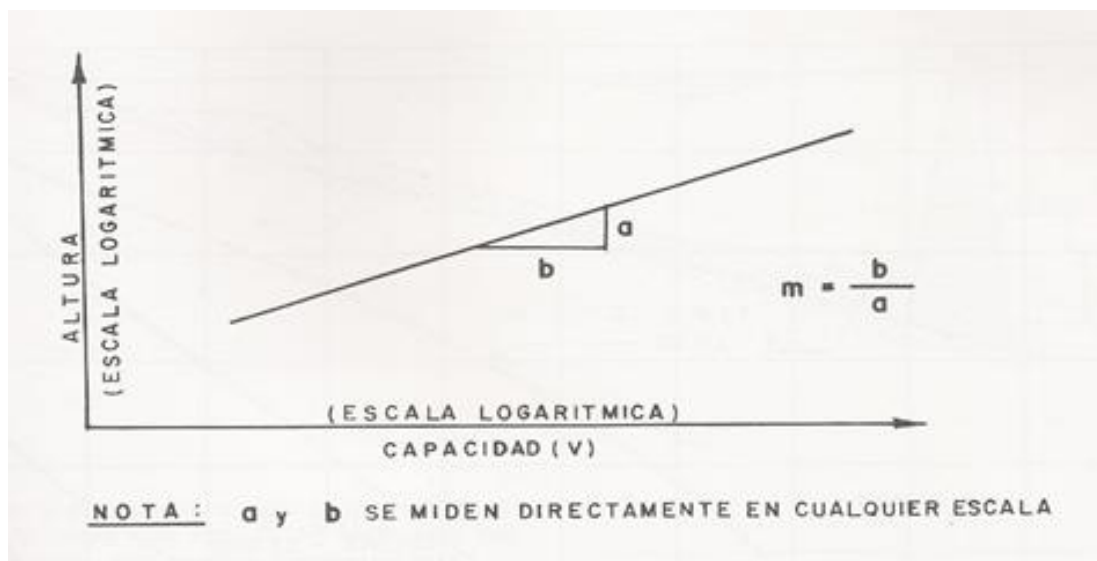
Toma en el Embalse de Maracao.



Toma en el Embalse de Dos Cerritos.

## ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN MUERTO NECESARIO

Método modificado de la reducción empírica de las áreas, Desarrollado por Borland, Miller, Moody y Lara, en el US Bureau of Reclamation, 1962. Se basa en la determinación de las formas características en las que se distribuyen los sedimentos en los embalses, lo cual se hizo mediante levantamientos batimétricos hechos en un gran número de ellos, ubicados principalmente en los Estados Unidos.



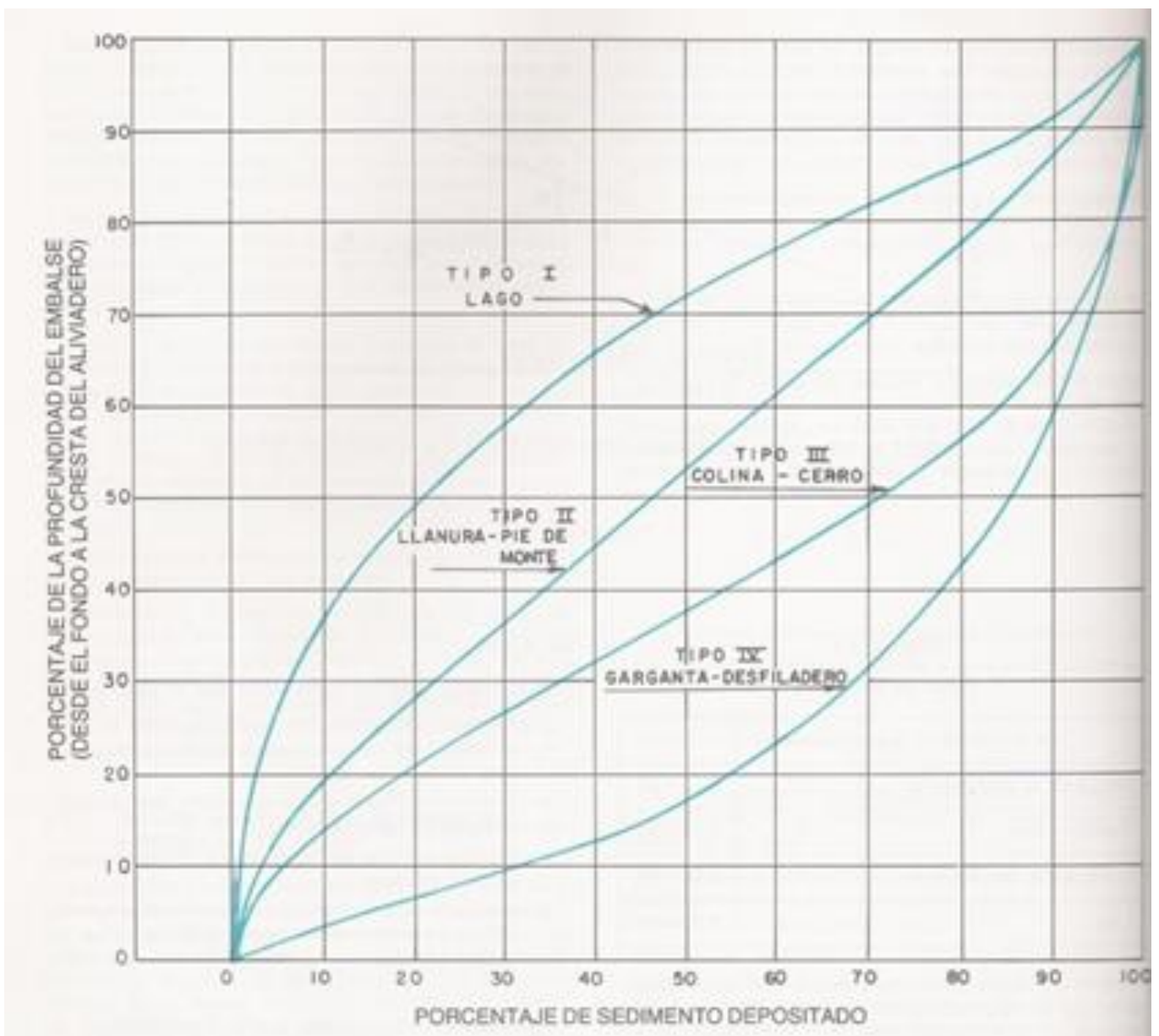
Tipo de embalse	Clasificación	Inverso de la pendiente
Garganta o desfiladero	IV	1,00-1,50
Colinas-cerros	III	1,50-2,50
Llanura-pié de monte	II	2,50-3,50
Lago	I	3,50-4,50

Las tipologías de los embalses se clasifican según el inverso de las pendientes de sus curvas de capacidades (m), representadas en escalas logarítmicas.

Los embalses se clasifican dibujando la curva de capacidades de los embalses, es decir, la capacidad versus la altura (la elevación) en un gráfico doble logarítmico y se mide la pendiente a través de una recta. Esta recta determinará el inverso de la pendiente, la cual será definida como "m" y en base a eso se reúnen las características del embalse. Esto se debe a la clasificación de los embalses, ya que los embalses de llanura son unas extensiones del lago, mientras que los de alta montaña, son todo lo contrario, ya que son muy profundos y de muy poca superficie, de igual manera, hay unos casos intermedios. Todo ello permite reunir en esos gráficos las características que afectan la distribución de los sedimentos de los embalses. En la tabla presentada se muestra la clasificación de los embalses y se tiene cuatro tipos de embalses: el de Garganta o Desfiladero, el cual es de alta montaña, se llama tipo IV y el inverso de la pendiente está comprendido entre 1 y 1,50. También, se

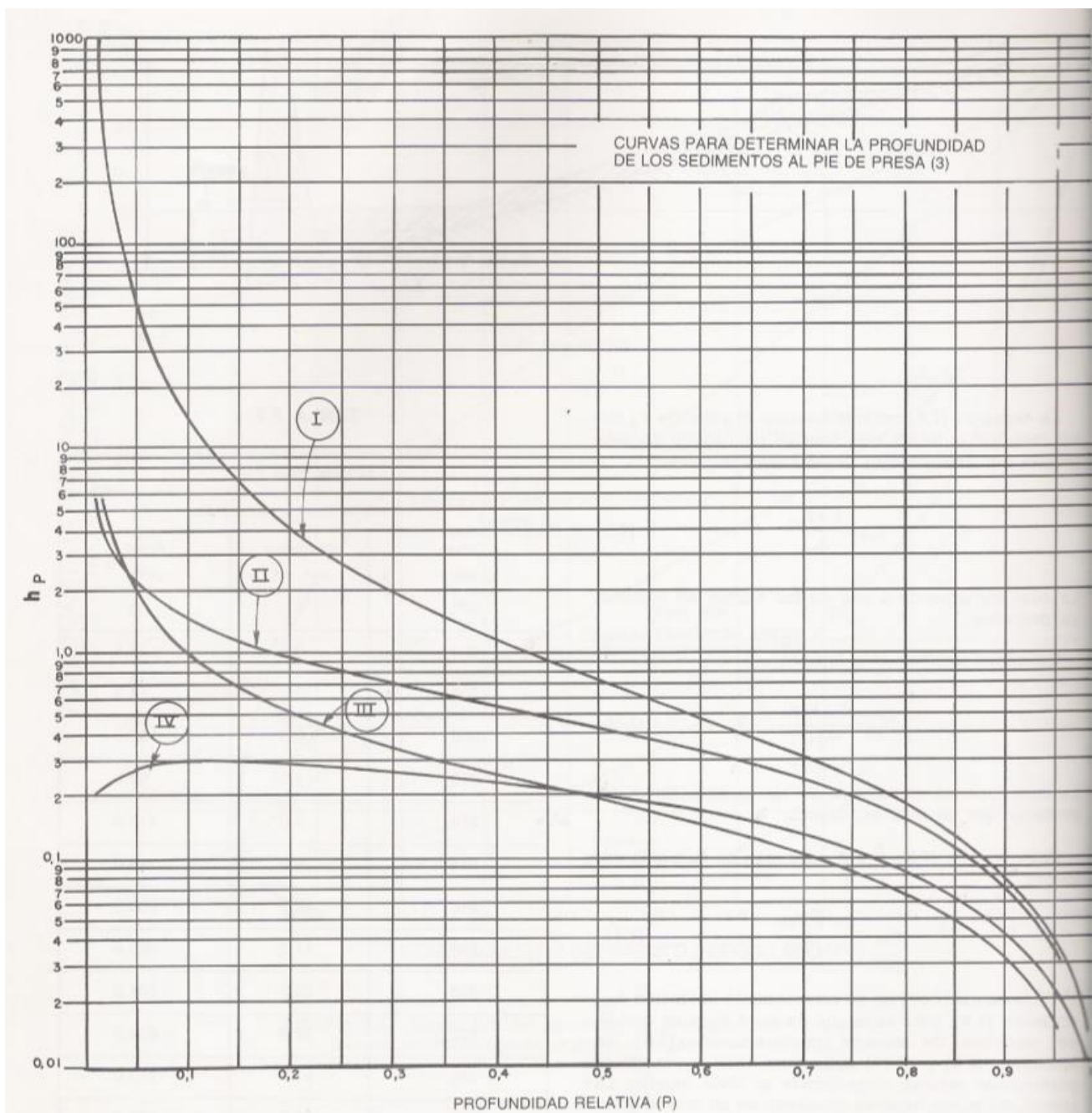
tiene el embalse, que se llama de Colinas-cerros, el cual vendría a ser como el intermedio, es el embalse tipo III y el inverso de la pendiente  $m$  está comprendido entre 1,50 y 2,50. Seguido de este, viene el embalse que lleva el nombre de Llanura-pie de monte, que es el tipo II y cuyo inverso de la pendiente está comprendido entre 2,50 y 3,50. Finalmente, se tiene a Lago, que es el embalse de llanura total, se clasifica como uno tipo I y su inverso de la pendiente de  $m$  es está comprendido entre 3,50 y 4,50.

Resumiendo: Tipo de embalse Clasificación Inverso de la pendiente Garganta o desfiladero IV 1,00-1,50 Colinas-cerros III 1,50-2,50 Llanura-pié de monte II 2,50-3,50 Lago I 3,50-4,50.



Curvas características que reflejan el porcentaje del volumen total de los sedimentos depositados en función del porcentaje de la profundidad del embalse.

Hay una serie de curvas elaboradas que permiten determinar los porcentajes del sedimento depositado en función de la profundidad a la cual nos referimos en el embalse. En el gráfico presentando se muestra las curvas para los distintos tipos de embalse, mostrando el porcentaje del sedimento total que se ha depositado. El gráfico siguiente es similar al anterior, y se muestra la profundidad relativa, es decir, la profundidad respecto a la profundidad máxima del embalse, en forma decimal. En este gráfico se muestra un factor que permite observar unos métodos que son muy sencillos y para los distintos tipos de embalse 1, 2, 3 y 4. Asimismo, permite determinar a qué cuota se deposita el sedimento al pie de la presa, lo cual es muy útil para fijar las descargas de fondo, las tomas, etc.



Este gráfico permite determinar la cota que alcanzará el sedimento al pie del talud aguas arriba de la presa en función del tiempo transcurrido, lo que a su vez permite fijar el nivel muerto del embalse (cota de la toma más baja).



---

## METODOLOGÍAS PARA EVITAR EL ATARQUINAMIENTO DE EMBALSES

### 1- PROTECCIÓN DE LA CUENCA DE APORTES

<https://youtu.be/8hTuytY1Wlg>

### 2- MÉTODO DE LA EVALUACIÓN DEL VOLUMEN MUERTO NECESARIO (USBR)

<https://youtu.be/NZkBCqKb7Hk>

### 3- TERCER ENFOQUE: OPERACIÓN DE LAS DESCARGAS DE FONDO

<https://youtu.be/D87QB0UnBe0>

### 4- TERCER ENFOQUE: EL MÉTODO DE LAS ONDAS DE EXPULSIÓN

<https://youtu.be/ehYq1SQA3Aw>

### 5- TERCER ENFOQUE: SUCCIÓN DE LAS CORRIENTES DE DENSIDAD

<https://youtu.be/CvbCOP783u0>

### 6- TERCER ENFOQUE: VÁLVULAS Y COMPUERTAS EN LAS DESCARGAS DE FONDO

<https://youtu.be/9CBZnhnJJ4M>

### 7- DIFERENCIAS CONCEPTUALES ENTRE VOLUMEN MUERTO Y DESCARGAS DE FONDO

<https://youtu.be/a3wWdR2use8>

#### COMPILADO DE:

- Clases de Hidráulica Aplicada - FI - UNaM
- “Introducción a la Hidráulica Fluvial” - Arturo Rocha Felices - Univ. Nac. Ingeniería – Perú
- “Geomorfología e Hidráulica Fluvial” - Dr. Ing. Pedro A. Basile
- “Diseño, Explotación y Seguridad de Presas y Embalses” - MOOC - CAF - Spancold