

RED HIDROGRAFICA DEL PAIS VASCO

PATXI TAMÉS URDIAIN

INTRODUCCION

La red hidrográfica del País Vasco está formada por dos tipos de cuencas. Por una parte están los ríos que vierten sus aguas al mar Cantábrico y forman parte de la cuenca Cantábrica o cuenca Norte constituida por los ríos que surcan las provincias de Guipúzcoa y Vizcaya, y por otra parte tenemos la Cuenca del Ebro formada por los ríos alaveses que son afluentes del río Ebro. Por fin el río Ebro en sí constituye un río limítrofe entre el País Vasco y Castilla y Rioja.

Desde un punto de vista planificación hidráulica se podría dividir a nuestras aguas en 4 grupos, así tendríamos: 1.º) Aguas que nacen y discurren por Euskadi y van a desembocar al mar Cantábrico. Estas aguas forman los ríos Vizcaínos y Guipuzcoanos. 2.º) Aguas que nacen en Euskadi y pasan por otros entes, que son los ríos Alaveses y una porción pequeña de los ríos de la parte Occidental Vizcaína. 3.º) Aguas que nacen en otros entes y pasan por Euskadi, que están formadas por las aguas limítrofes de Navarra y Guipúzcoa y van a verter al Cantábrico, las aguas del Condado de Treviño y una muy pequeña parte de las aguas del N. de Castilla, y 4.º) Aguas que nacen en otros entes y bordean Euskadi formadas por los afluentes de la Margen derecha del río Ebro y por las aguas del río Bidasoa.

En un primer vistazo a un mapa de las cuencas hidrográficas se puede apreciar la diferencia existente entre las características de las Cuencas Cantábrica y las características de las cuencas que vierten al río Ebro. Así se puede apreciar que las cuencas del Ebro son en general más grandes que las cuencas Cantábricas. Otra diferencia destacable se encuentra en relación a los caudales, siendo como era de esperar mucho menores por km^2 de cuenca los caudales de los ríos Alaveses, así si comparamos los caudales medios anuales del río Oria y del río Zadorra por ejemplo, vemos que mientras el río Zadorra tiene un caudal de $20,25 \text{ m}^3/\text{seg.}$ en su desembocadura, el río Oria con una cuenca mucho menor en superficie tiene un caudal de $25,88 \text{ m}^3/\text{seg.}$ en Orio, esto es debido como veremos más adelante a la influencia de las precipitaciones en la escorrentía, ya que al ser las precipitaciones mucho menores en el Sur de Euskadi provocan que el agua que corre superficialmente por km^2 de

una cuenca sea mucho menor siendo de alrededor de 251./seg./km.² en las cuencas Cantábricas y de unos 151./seg./km.² en las cuencas que vierten al Ebro. Esta característica sin embargo no se mantiene en las épocas de estiaje, ya que otra gran diferencia existente entre ambos tipos de ríos, es su comportamiento, siendo los ríos Cantábricos mucho más torrenciales que los ríos Alaveses, esto unido al aprovechamiento límite que se hace de los ríos Vizcaínos y Guipuzcoanos donde la más pequeña regata está normalmente captada bien para las Industrias o bien para abastecimientos de nuestros pueblos provoca que en las épocas de estiaje los ríos Cantábricos vayan secos o casi secos, con el consiguiente desequilibrio ecológico que esto provoca, además estando enormemente agravado este desequilibrio ecológico por la gran cantidad de vertidos contaminantes que anualmente reciben nuestros ríos sin que apenas exista agua en los cauces para la dilución de los contaminantes que permita al río llevar un agua de calidad mínimamente aceptable, siendo esto por desgracia quizás la característica más sobresaliente de nuestros ríos, la altísima contaminación que padecen, aunque es de señalar que en los últimos años han experimentado una mejoría.

INFLUENCIA DE LA GEOLOGIA EN LA RED HIDROGRAFICA

La geología ha tenido una fuerte influencia en la configuración hidrográfica.

Por un lado tenemos las estribaciones de los macizos Calizos Vizcaínos y Guipuzcoanos que dan paso a los terrenos fundamentalmente Terciarios de la depresión del Ebro en su parte Alavesa, en estas zonas la litología predominante es terrígena, habiéndose desarrollado tanto por la litología como por la tectónica una topografía mucho más suave que en la parte Vizcaína y Guipuzcoana, las cuencas tienen un desarrollo mayor y unas pendientes más suaves.

En las provincias Cantábricas, los materiales aflorantes están constituidos por una pequeña zona de materiales paleozoicos que forman el macizo de cinco villas de litología detrítica fina en su mayor parte y en los que se ha desarrollado una pizarrosidad debido a un metamorfismo regional muy suave, además aflora el Granito posthercínico de Peñas de Aya, pero debido a la poca extensión de estos afloramientos la influencia en la red hidrográfica de Euskadi ha sido muy escasa. El resto está formado por materiales Mesozoicos y Terciarios con litología bien detrítica o bien caliza con desarrollo de karst, estos materiales han sufrido la orogenia Alpina que los ha plegado y fracturado, los pliegues tienen una dirección NNW-SSE y las fracturas predominantes tienen una dirección igual que los pliegues, existiendo unas fracturas de menor envergadura de dirección NNE-SSW.

Estas estructuras han condicionado la red hidrográfica de distinta forma. Así en Vizcaya el Anticlinal de Bilbao tiene el núcleo más erosionable con lo

que se ha formado una depresión dando lugar a la ría Bilbaina donde desemboca sus tres ríos más importantes como son el Cadagua, el Nervión y el Ibaizabal, el resto de la red hidrográfica está formada por pequeños ríos que van subperpendiculares al mar, excepción hecha del Butrón que sigue la dirección NNW-SSE del sinclinorio de Vizcaya.

En Guipúzcoa el anticlinal de Bilbao se complica dando lugar al Pliegue-Falla de Aitzgorri y a la escama tectónica de Aralar, en ambos casos se dan unos afloramientos calizos que dan los relieves más altos de nuestra provincia y de estos puntos parten los tres ríos más importantes como son el Deba, el Urola y el Oria.

El Deba nace de las regatas colectoras de escorrentía superficial e hipodérmica casi en el límite de la provincia y toma personalidad a partir de Salinas de Léniz, recibiendo aguas del río Oñate y Aránzazu que es uno de los pocos con trayectoria subterránea en Guipúzcoa. La trayectoria del río es subperpendicular a la costa cortando el sinclinorio de Vizcaya y el anticlinorio de Tolosa-monte Arno para al final describir una serie de meandros y desembocar en el mar Cantábrico.

Por último cabe citar respecto a la cuenca del Deba el levantamiento general de la costa Cantábrica que ha provocado un nuevo nivel de base en el río. Este se ha ido encajonando en su antiguo cauce por medio de una erosión ascendente que con el tiempo llegará a cabecera.

El río Urola tiene la particularidad que en su zona alta apenas alcanza los 4 km. de anchura y dista en un punto apenas 600 m. de la divisoria hidrográfica con el Oria, existiendo la posibilidad de que sea captado bien por erosión regresiva o por desbordamiento por el río Oria ya que se encuentra su cauce a mayor altura que los afluentes del Deba y Oria. En la parte baja también describe meandros probablemente preformados cuando el nivel de base quedaba más alto que el actual.

El río Oria que recibe sus aguas de la Sierra de Aralar y la de Aitzgorri tiene un perfil bastante próximo al equilibrio, es un río con un valle muy ancho habiéndose producido una gran erosión y un kilómetro antes de Usurbil describe una curva de 90° hacia la izquierda para desembocar describiendo meandros en Orio.

Los otros dos ríos de la provincia, el Urumea y Oyarzun, crecen en los relieves paleozoicos y tienen escasas cuencas ya que la costa se acerca mucho a la divisoria entre las cuencas del Norte y la del Ebro.

ESTUDIOS GEOMORFOMETRICOS

Estudios morfométricos:

Hasta hace relativamente poco tiempo los estudios de geomorfología solían ser cualitativos, sin embargo últimamente se ha visto la ventaja de realizar estudios cuantitativos sobre las características morfológicas de las

cuencas, ya que así se evitan las descripciones siempre subjetivas y se introducen parámetros matemáticos que se pueden tratar con ordenador, pudiéndose de esta forma analizar el medio Físico mediante términos matemáticos. Desde hace unos tres años el departamento de Geomorfología de la Facultad de Ciencias de Bilbao ha empezado a estudiar nuestras cuencas por estos métodos en Vizcaya, habiendo sido estudiadas dos cuencas de Guipúzcoa. Aunque estos estudios están en su inicio voy a describir alguno de los métodos utilizados y de los resultados obtenidos de una forma breve.

Unos de los primeros parámetros que se pueden obtener en una cuenca son aquellos que nos hablan sobre la forma de la cuenca. En estos parámetros como el Coeficiente de Compacidad de Gravelius o el alargamiento medio de Caquot se relaciona el perímetro o bien el recorrido del cauce más largo de la cuenca con la superficie de ésta, en todas las cuencas estudiadas hasta ahora en Euskadi se ha obtenido que nuestras cuencas son bastante alargadas.

Otro tipo de parámetros a obtener se refieren al relieve. El más simple de todos hace referencia a amplitud de relieve, es decir, a la diferencia entre las costas máximas y mínimas. Esta amplitud en los ríos Vizcaínos y Guipuzcoanos es muy fuerte para las superficies de las cuencas, ya que en muchas ocasiones superan los mil metros. En Alava la diferencia es menor.

Pero son más interesantes los parámetros que relacionan las áreas y las alturas. Para esto es preciso confeccionar el mapa hipsométrico, es decir, las cuencas con sus curvas de nivel. Con este mapa se puede estudiar las Distribuciones Hipsométricas, es decir, el % de superficie que hay en un intervalo de altura determinada, así en Vizcaya y Guipúzcoa se obtiene que las alturas más frecuentes de una cuenca se dan entre los 200-400 m. con un 35% más o menos del valor total de la cuenca. En Alava la altura más frecuente es mayor. Con los valores de alturas y superficie se puede dibujar la curva Hipsométrica porcentual y la Integral hipsométrica. Por medio de la primera podremos detectar influencias de pendientes por la litología, etc. Por medio de la segunda y tercera podremos saber el grado de disección del paisaje, es decir, un volumen de roca aproximado ha sido erosionado por los cauces en una cuenca. Así en el Deba da un valor del 65,5% que correspondería a 455,3 km.³ de roca erosionada. En otras cuencas se han obtenido valores semejantes. Por fin, por medio de la relación entre alturas y superficies se puede obtener el rectángulo equivalente y los índices de pendiente. El rectángulo equivalente fue introducido por Roche (1963) y compara las características morfológicas de la cuenca con la circulación superficial, suponiendo que la circulación en una cuenca a igualdad de otros factores sería equiparable a la que circulase por un rectángulo con la misma superficie de la cuenca. De esta forma la cuenca que convertida en un rectángulo, siendo las curvas de nivel paralelas al lado menor del rectángulo, en unos de estos lados estaría la salida de la cuenca. Los índices de pendiente que se pueden obtener son múltiples, siendo muchos de ellos no muy representativos, ya que las variaciones de pendiente en una cuenca pueden ser muy grandes. Quizás uno de los más representativo es el propuesto por

Sthraler (1958) que calcula la pendiente entre dos intervalos de altura. Por ejemplo entre 900-1000 m. calculando la anchura media entre dos curvas de nivel y dividiéndolo por la media aritmética de la longitud de las dos curvas de nivel, los valores obtenidos hasta ahora en las cuencas de Vizcaya y Guipúzcoa son de algo más de 20° en las partes altas para alcanzar unos valores medios de unos 15° y los más bajos entre los 0-100 m. de menos de 10°

Análisis Cuantitativo de la Red de Drenaje:

Otros trabajos morfométricos que se están realizando en estos momentos hacen referencia al estudio de la red de drenaje de una cuenca. Este tipo de trabajos además del valor puramente geomorfológico tienen la ventaja de que por medio de ellos se puede intentar correlacionar parámetros morfométricos con el funcionamiento hidrológico de una cuenca y con características litológicas e hidrológicas. Esto en regiones como la nuestra donde los datos hidrogeológicos son muy escasos permitiría hacer estimaciones de ciertos datos que de otra forma serían imposibles.

Para la correcta aplicación de este análisis los datos deben ser obtenidos con una técnica prefijada, de forma que los resultados puedan ser comparados con los de otros sectores.

Para realizar estos estudios primero habrá que hacer la red de drenaje de la cuenca, es decir, situar todos los cauces de la cuenca en el plano; después habrá que jerarquizarla de modo que a cada cauce se le asigne un número según su importancia relativa en la red. Existen varios métodos de jerarquización. Hasta ahora en cuencas del País Vasco se han venido utilizando los métodos de Horton y de Schumm-Sthraler. Al aplicar estos métodos se tienen jerarquizados los cauces y también se pueden jerarquizar las distintas subcuencas. Con este tipo de jerarquizaciones salen en cuencas del País Vasco normalmente 6 órdenes de cauces, en algún caso 7.

A partir de la jerarquización propuesta por Horton y por Schumm-Sthraler se pueden estudiar las siguientes relaciones:

- a) La distribución del número de cauces de sucesivos órdenes existentes en la cuenca.
- b) La variación de la longitud media de dichos cauces.
- c) La variación del área media de las cuencas de drenaje correspondientes.

Por medio de estos estudios se ha podido ver que el número de cauces de cada orden en nuestras cuencas forma una progresión geométrica que en las cuencas hasta ahora estudiadas en el País Vasco tiene una razón algo superior a 3,5 e inferior a 4,5. La longitud total de los cauces de cada orden también forma progresión geométrica con razones que suele ser de algo más de 2. La superficie total de las cuencas de un determinado orden forman progresión

geométrica cuya razón está comprendida entre tres y cuatro para nuestras cuencas; y por fin, que existe una relación entre la longitud media de los cauces y el área media de las subcuencas, siendo la:

$$S_n = a L_n^b \quad (1)$$

donde a y b son parámetros. Esta relación hace referencia a la comparación establecida entre las leyes biológicas que expresan la relación existente entre la velocidad de crecimiento de los órganos y la de todo el individuo, pues la relación (1) hace referencia a que cualquier parámetro medible de un sistema fluvial, se incrementa progresivamente, de modo que en los órdenes sucesivos indican una progresión en el tiempo.

Los parámetros obtenidos hasta ahora en cuencas del País Vasco, nos dan índices de una torrencialidad moderadamente alta y de sistemas con un desarrollo bastante elevado, es decir, las cuencas están en un estado de madurez.

Por fin otros parámetros que se han obtenido hacen referencia a la densidad de drenaje, es decir, la relación existente entre la longitud total de los cauces y la superficie de la cuenca, su valor está controlado por características litológicas, de vegetación y climáticas existentes en la cuenca. En la cuenca del río Deba el valor es de 3,15, es decir, por cada km^2 de cuenca existen 3,15 km. de cauces. Este valor es típico de regiones con textura grosera, y la influencia de las calizas que son muy abundantes es muy clara. En otras cuencas los valores son bastantes similares, así en el Urola es de 2,57, en el de Arratia de 3,8 y en el Nervión de 2,5 km./km^2 . También se ha obtenido de diferentes cuencas la constante de mantenimiento de canal, que puede interpretarse como el área necesaria para que haya una longitud de cauce habiéndose obtenido valores de 0,3 que nos hablan también de sistemas maduros.

Ya sólo falta comentar una última representación de un río que es su perfil longitudinal, que es simplemente representar las longitudes de un río con sus alturas dándonos una idea del equilibrio existente entre erosión y sedimentación en el río, así como de la influencia de la litología en la forma del río.

CALIDAD QUIMICA DEL AGUA

Ya en 1954 Pierre Lamare, en la Guía Turística del País Vasco Español y Francés, decía lo siguiente: «Actualmente ríos como el Oria y su afluente el Leizarán, como el Urola y el Bidasoa están de tal modo captados que en verano no se ve de ellos sino un hilillo sucio y nauseabundo que serpentea en lo que antaño fue su colérico lecho». Esta situación se ha ido agravando si cabe aún más hasta hace unos años en que debido a la situación tan angustiosa se ha empezado a intentar solucionar este problema, cuyo origen hay que buscarlo en dos razones: Por una parte la enorme cantidad de desechos y

vertidos que soportan sin ningún control nuestros ríos y por otra parte la falta total de agua en época de estiaje de nuestros ríos debido a su régimen torrencial que provoca que tengan un estiaje muy fuerte y a la gran cantidad de captaciones existentes, tanto para abastecimiento industrial como para abastecimiento urbano, que quita la poca agua que llevarían los ríos dejándoles casi secos. Para resolver este problema se puede decir que hay tres tipos de actuaciones: 1.º) Un control sobre los vertidos a nuestros ríos. 2.º) Instalación de plantas depuradoras que mejoren la calidad del agua. 3.º) Aporte de agua al río en épocas de estiaje, proveniente de presas de regulación y de aguas subterráneas en el caso que se encuentren caudales suficientes.

La clasificación de la calidad del agua se hace teniendo en cuenta una serie de parámetros químicos, según que agua lleve una cantidad de una determinada sustancia mayor que la que marque la clase, ese agua no pertenecerá a esa clase, sino a la siguiente, si el valor de una determinada sustancia es muy alto, entonces el agua es de la última clase que corresponde a un agua sin ninguna utilidad. Los parámetros estudiados suelen ser P^h , Oxígeno disuelto, D.B.O., D.Q.O., Sólidos en suspensión, Amonio, Fenoles, Cianuros, Cromo, Cadmio, Cobre, Cinc, Hierro, Plomo Mercurio, Fosfatos, Detergentes, etc. Con estos parámetros unidos a los índices bióticos, es decir, el estudio biológico de los ríos, sabremos la situación global del río.

Pues bien, en Guipúzcoa tenemos el estado siguiente:

El río Deba se encuentra prácticamente sin vida desde Oñate y Mondragón hasta Elgóibar, punto en el cual experimenta una ligera mejoría hasta la desembocadura.

El río Urola en Legazpia empieza a estar contaminado, al llegar a Zumárraga está ya prácticamente muerto hasta Azpeitia donde al recibir un caudal importante del Ibai-Eder y Régil mejora y tiene una calidad media hasta la desembocadura.

El río Oria en Segura empieza a estar contaminado para estar prácticamente muerto hasta Usúrbil. Los afluentes en cabecera tienen buena calidad pero al ir acercándose a la corriente principal van perdiendo su calidad.

El río Urumea tiene buena calidad hasta Hernani, donde se vuelve a un río muy contaminado.

El río Oyarzun mantiene una calidad biológica relativamente buena hasta Oyarzun donde la pierde.

El río Bidasoa es quizás el menos contaminado de los que pasan por Guipúzcoa.

Este estado es en condiciones normales, pero además existe el problema de que de vez en cuando hay empresas que realizan vertidos tóxicos totalmente incontrolados que vuelven a matar el río, y éste tarda mucho tiempo en recuperar la calidad que tenía con anterioridad, o bien se producen accidentes de carretera que producen contaminación.

El estado de los ríos Vizcaínos es muy semejante al de los Guipuzcoanos, quizás con una calidad mejor en las partes altas debido a que la industria está más localizada en la ría del Nervión que la industria guipuzcoana.

Los ríos Alaveses van perdiendo calidad según se van acercando al río Ebro en la parte de la Rioja Alavesa. Las aguas de la parte norte tienen una calidad muy aceptable, y el resto se mantiene dentro de los límites de buena calidad.

AFOROS, CAUDALES Y ESCORRENTIA SUPERFICIAL

En el cuadro se puede ver los caudales medios de los ríos de Euskadi. Es de señalar que estos caudales aunque no son exactos sí que se les puede considerar como de aproximados y nos dan una idea general de los recursos de agua. Lo primero que resalta al mirar este cuadro es la diferencia existente entre la escorrentía en la parte Norte que es más o menos de unos 30 l./seg./Km.² y la escorrentía de la cuenca del Ebro que es de unos 20 l./seg./km.². Esto es debido a que la escorrentía que es el agua que discurre por la superficie de la tierra, es igual a las Precipitaciones menos la infiltración y menos la evapotranspiración de las plantas y del terreno. Al tener la parte Alavesa unas precipitaciones menores que la Guipuzcoana y Vizcaína la escorrentía será menor en condiciones normales. Ahora bien, si medimos la escorrentía en una zona muy permeable, como es natural gran parte del agua se infiltrará y obtendremos una escorrentía pequeña, por lo que hay variaciones en la escorrentía en las distintas cuencas según sea la pliviometría y la litología. Otro hecho señalable en la escorrentía es su valor muy elevado para el río Urumea debido sin lugar a dudas al aumento de las precipitaciones que se da en esta cuenca, ya que en la zona del Añarbe sobrepasan los 2.000 mm. en muchos años.

El mejor método para conocer los caudales de los ríos es por medio de las estaciones de Aforo. Una estación de aforos consta esencialmente del vertedero o zona encauzada con resalte, aunque esto no es fundamental, de la escala para ver la altura del agua y del limnógrafo o aparato que nos marca la variación de la altura del agua con el tiempo. Además habrá que calcular la tabla de gastos, es decir, la función que nos relacione la altura de la lámina de agua con el caudal. Esta tabla o curva se detiene por medio de aforos directos, realizados con un molinete que nos da la velocidad del agua. Sabiendo la superficie de la sección y multiplicándola por la velocidad podremos obtener el caudal por segundo en un tramo de un río. Una vez calculado el caudal por segundo en distintas épocas, a cada altura obtenida en el limnógrafo le corresponderá un caudal único, por lo que en todo momento sabremos el caudal de ese río.

La comisaría de aguas tiene instaladas en Euskadi trece estaciones de aforos en los ríos, aunque hay algunas que su funcionamiento no es bueno. Estas estaciones son, en Alava: 1 en el Ebro, 1 en el Bayas, 3 en el Zadorra;

en Vizcaya: 1 en el Nervión, 1 en el Ibaizabal, 1 en el Artibay; en Guipúzcoa: una en cada río importante.

Actualmente la Diputación de Vizcaya tiene en marcha un proyecto llevado a cabo por El Grupo de Hidrogeología de la Facultad de Ciencias de Lejona, en el que se han instalado 40 limnigrafos y en poco tiempo se podrán tener datos sobre el caudal de la mayoría de los ríos de aquella provincia.

En Guipúzcoa la Diputación Foral tiene proyectado un plan de aforos, con lo que se podrá saber los recursos exactos de nuestra provincia. Además, en dichas estaciones se prevén análisis químicos de forma periódica, habiéndose previsto tres tipos de estaciones según la importancia de los parámetros a analizar.

Para acabar voy a referirme brevemente a la problemática de las inundaciones, que por desgracia, están tan de actualidad. Las referencias de inundaciones, tanto en Vizcaya como en Guipúzcoa, son muy antiguas. Así en Guipúzcoa se tiene cuenta de unas inundaciones en el siglo XVI en la cuenca del Deba y Urola; en la ría del Nervión se han encontrado una marca en una casa que data de una inundación de 1858. Las últimas inundaciones fueron el 12 de Junio de 1975 y el 13 de Junio de 1977 aunque no fueron de proporciones muy grandes. Por fin, todos conocemos las del 26 de Agosto de este año.

Una inundación se produce cuando el río necesita evacuar un volumen mayor de agua que la capacidad máxima de evacuación. Este caudal mayor, que uno dado, se suele dar en un período de tiempo determinado calculado según métodos estadísticos, así el Nervión se piensa que puede evacuar 750 m.³/seg. Pues bien, cada 11 años hay una vez que el Nervión requiere evacuar 600 m.³/seg. ; cada 20 años requiere evacuar una vez 1.000 m.³/seg. y cada 100 años se produce una avenida de 1.400 m.³/seg. Está claro que en los dos últimos casos se producirá inundación.

Práctica

1.º Cálculo del caudal aproximado de un río.

a) Método del Barril: Este método rudimentario permite calcular el caudal en regatas de pequeño volumen de agua (hasta 20 l./seg.)

Para ello se precisa los siguientes útiles:

- Un bidón o similar de capacidad conocida.
- Un cronómetro.
- Un plástico.
- Una pala o azada.

Para realizar el aforo es preciso encauzar la regata con el plástico, preferentemente en una zona con desnivel, de forma que se introduzca todo o casi todo el agua dentro del barril, midiendo el tiempo de llenado con el cronómetro, se repite la operación dos o tres veces y se calcula el caudal, por medio de:

$$Q = \frac{V \text{ barril}}{T \text{ llenado}}$$

b) Método del Flotador: Es también un método sencillo que permite calcular el caudal con un error no muy grande. Se requiere para realizarlo un cronómetro y un flotador visible.

Se elegirá un tramo del río recto, donde haya pocas turbulencias e irregularidades. Una vez medida la distancia donde se va a medir la velocidad, se echa el flotador al agua y se mide el tiempo que tarda en recorrer la distancia elegida, repitiéndose la operación en tres secciones del río, por lo menos. En el tramo central se calcula la sección del río, midiendo la profundidad en varios puntos y la distancia a los márgenes.

Con estas medidas podremos calcular el caudal del río, teniendo en cuenta que:

$$0,8 \times V \text{ medida} = V \text{ real}$$

y el caudal Q vendrá dado por la fórmula:

$$Q = \frac{1}{2} h_1 V_1 d_1 + \sum \frac{h_{i-1} V_{i-1} + h_i V_i}{2} d_{i-1} - d_i + \frac{1}{B} h_u V_u d_u$$

donde: V_i = velocidad.

h_i = altura del agua.

l_i = distancia entre h_i y h_{i-1} .

μ = coeficiente:

1/2 para márgenes con poca pendiente.

1/3 para márgenes con fuerte pendiente.

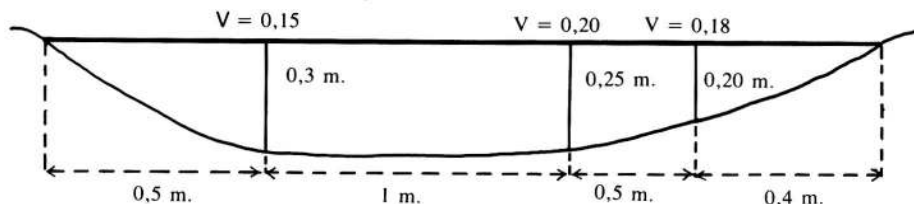
Ejemplo: Se ha calculado la velocidad entre puntos de un río:

$$V_1 = 0,15 \text{ m/seg.}$$

$$V_2 = 0,20 \text{ m/seg.}$$

$$V_3 = 0,18 \text{ m/seg.}$$

Siendo la sección de la figura, obtener el caudal Q.



$$Q = \frac{1}{2} 0,15 \times 0,30 \times 0,5 + \frac{0,15 \times 0,3 + 0,20 \times 0,25}{2} 1 + \frac{0,20 \times 0,25 + 0,18 \times 0,20}{2} 0,5 + \frac{1}{3} 0,18 \times 0,20 \times 0,4 = 0,011 + 0,048 + 0,022 + 0,005 = 0,086 \text{ m}^3/\text{seg.} = 1/\text{seg.}$$

2.º Perfil longitudinal de un río.

Se toma la cota del nacimiento del río en abscisas y la distancia en ordenadas. Sobre las abscisas ponemos las alturas de las distintas de nivel, medimos la distancia desde el nacimiento del río hasta el punto de corte con las curvas de nivel. Las distancias obtenidas se sitúan sobre las ordenadas. Una vez situadas estas distancias, se lleva a la altura que le corresponde según la curva de nivel considerada en abscisa. Finalmente, unimos todos los puntos obtenidos por medio de un trazo continuo (conviene utilizar papel milimetrado para realizar el perfil)