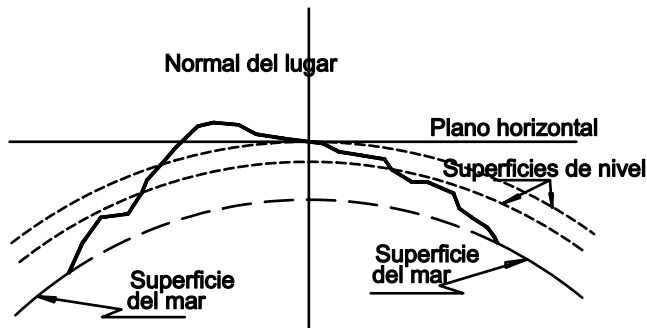


## Unidad 2. Curvas de nivel

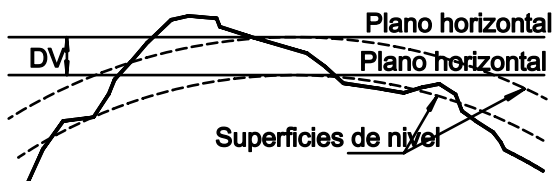
**Superficie de nivel** es aquella que es concéntrica a la superficie del mar, considerando que ésta no se mueve y prolongada por debajo de los continentes.

**Plano horizontal** es aquel que es tangente a la superficie de nivel en el punto por donde pasa la normal del lugar.

**Normal del lugar** es la línea imaginaria que resulta de prolongar hacia arriba y hacia abajo la dirección que nos indica el hilo de una plomada en suspensión. Se define también que en la parte superior de esta dirección se encuentra el zenit y en su parte inferior el nadir.

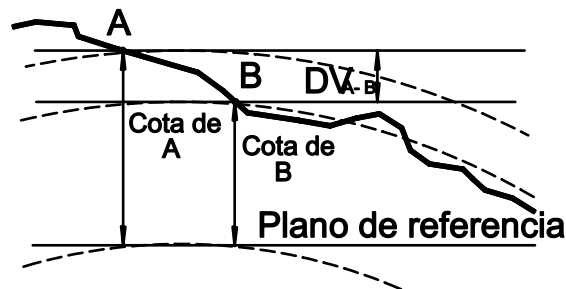


A cada superficie de nivel se le asocia un plano horizontal (como se puede observar en el diagrama), y entre cada par de planos horizontales existe una distancia que medida sobre la vertical, se le conoce como distancia vertical o diferencia de nivel (DV).



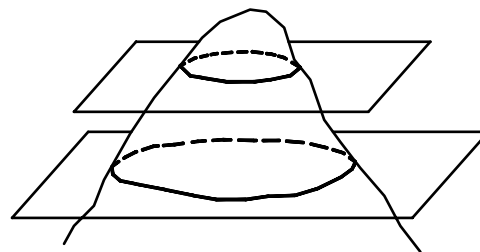
**Cota de un punto** es la distancia vertical que existe entre dos planos horizontales de los cuales uno de ellos siempre es de referencia y se le asigna un valor arbitrario. Un caso específico de las cotas es la altitud, o elevación sobre el nivel medio del mar, en donde el plano de referencia es el tangente a la superficie del mar y se le asigna el valor de cero.

**Desnivel entre dos puntos.** Se le llama así a la diferencia de cotas de esos dos puntos.

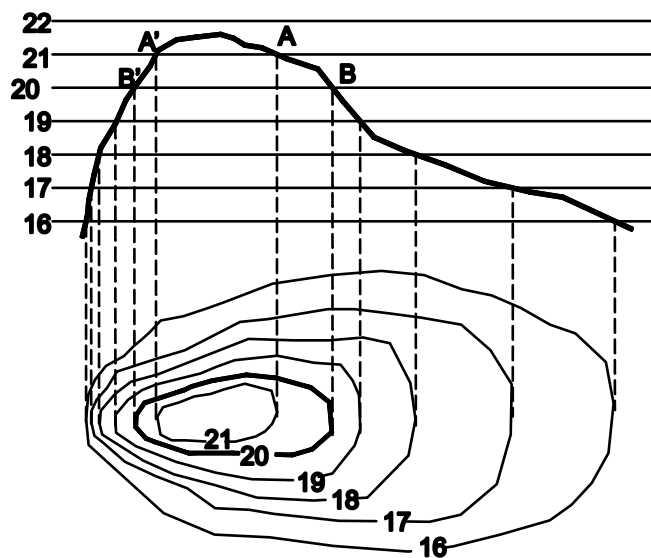


Viendo en perspectiva uno o varios planos horizontales como los que hemos expuesto en el diagrama anterior, nos damos cuenta de que en una elevación el corte resultante sería una línea imaginaria que tendría en todos sus puntos la misma cota, así definimos que:

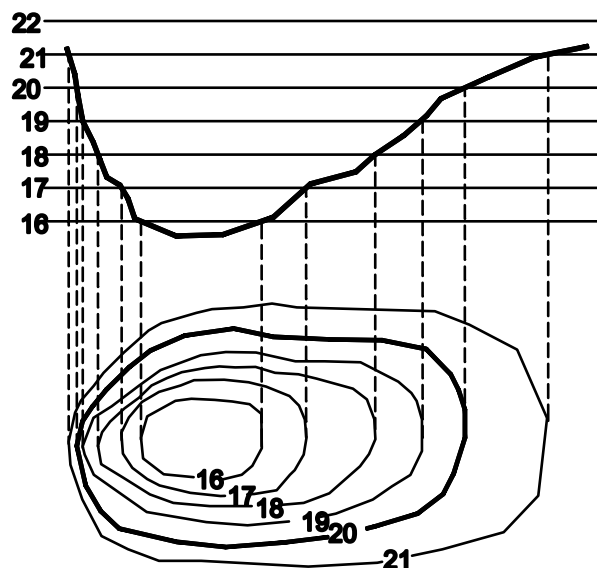
**Isohipsa o curva de nivel** es la línea imaginaria que une los puntos de igual cota.



Si los planos horizontales son equidistantes entre sí (como en el diagrama siguiente), se observa que la cota del punto A es la misma que la del punto A', pero los puntos que quedan a uno y otro lado de éstos, también tendrán la misma cota. De igual manera la cota del punto B será la misma del punto B' y todos los puntos que estén a uno y otro lado de éstos también tendrán la misma cota, así que en ambos casos formarán curvas que tendrán cota A y cota B respectivamente. Por lo que si pudiéramos materializarlas y observarlas desde arriba, tendríamos la proyección que se muestra para cada uno de los planos horizontales y sus curvas de nivel respectivas.



**Corte y curvas de una cima o elevación**



**Corte y curvas de una depresión**

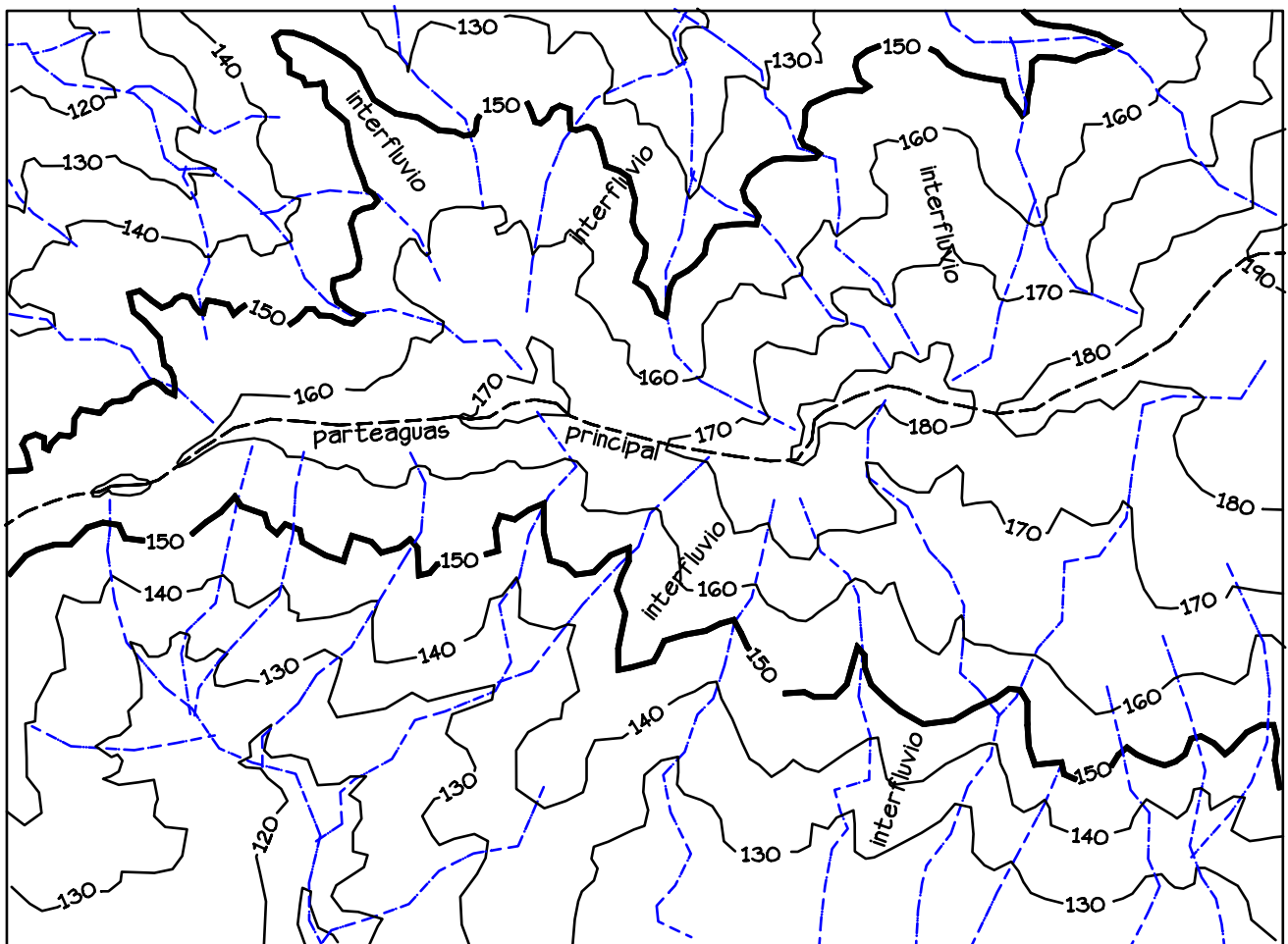
### Características de las curvas de nivel.

- 1.- Siempre son curvas cerradas, aún cuando la magnitud del trabajo no nos lo muestre así.
- 2.- Nunca se bifurcan o se cruzan. En el caso de cárcavas o cavernas las curvas de cota inferior se representan en forma punteada interpretándose que unas pasan por debajo de las otras.
- 3.- Cuando las curvas de nivel tienden a juntarse nos indican que hay una pendiente más pronunciada. Y cuando tienden a separarse nos indican una pendiente más suave.
- 4.- Cuando la numeración crece hacia el punto concéntrico nos indica que es una elevación. Y cuando la numeración decrece hacia el punto concéntrico nos indica que hay una depresión.
- 5.- Entre dos vaguadas siempre existe un parteaguas y entre dos parteaguas siempre existe un escurrimiento.
- 6.- Escurrimiento (vaguada). Las curvas de nivel nos indican que hay un escurrimiento cuando tienden a acercarse a la parte alta; que es lo mismo que cuando las curvas de cota mayor envuelven a las de cota menor; que es lo mismo que cuando las curvas adoptan una forma cóncava en el sentido de la pendiente.
- 7.- Parteaguas o línea divisoria de aguas. Las curvas de nivel nos indican que existe un parteaguas cuando tienden a alejarse de la parte alta; que es lo mismo que cuando las curvas de cota menor envuelven a las de cota mayor; que es lo mismo que cuando las curvas adoptan una forma convexa en el sentido de la pendiente.

## Plano de curvas de nivel

Del plano de curvas de nivel podemos decir que es un documento de trabajo fundamental para la planeación y evaluación de las actividades que están relacionadas con las formas de la superficie de la tierra. En él se pueden deducir infinidad de factores que de otra forma sería muy difícil hacerlo directamente en el terreno. La detección de barrancas, valles, dolinas, acantilados, posibles fallas, mesetas, caídas de agua, zonas de inundación o interfluvios, son algunos de los muchos elementos que podemos observar directamente en el plano sin la necesidad de tenerse que transportar al lugar mismo en el terreno.

En los planos no solamente se pueden apreciar los aspectos cualitativos de la zona, sino que por el hecho de estar contruidos a escala también se pueden obtener datos cuantitativos, como distancias, áreas, desniveles, pendientes, volúmenes, etc.



## Perfil gráfico.

El perfil lo definimos como:

La traza que resulta de la intersección de un plano vertical imaginario con la superficie terrestre.

El perfil lo podemos obtener a partir de medidas directas sobre el terreno (tema que abordaremos con todo detalle en uno de los capítulos de topometría), o bien de la lectura de las curvas de nivel de un plano.

A diferencia de los diagramas anteriores en que vimos como a partir de la proyección de los planos horizontales trazados de un corte nos sirvieron para definir las curvas de nivel, en el caso del perfil, es lo contrario. Es decir, a partir de las curvas de nivel podemos construir

una gráfica que nos represente un corte del terreno. Como ejemplo, en la figura tenemos la trayectoria A-B trazada sobre el plano de curvas de nivel, en donde tomando el punto A como origen, podemos obtener las distancias que hay a cada una de las curvas cuya altura se conoce, y posteriormente elaborar su gráfica correspondiente (es decir, el perfil), relacionando cada distancia con la altura respectiva a cada curva, tal como se muestra en la parte inferior de la figura.

Cuando se tiene el plano de la configuración de un terreno interpretada por medio de las curvas de nivel, éste nos permite hacer la “lectura” tanto de las distancias horizontales como de las elevaciones a lo largo de una trayectoria o trazo preestablecido. De ahí que lo representamos como una gráfica en las dimensiones xz, es decir, distancias – alturas (cotas) en la que dadas las dimensiones de las distancias horizontales con respecto al intervalo de las alturas en que se desarrolla el perfil, la gráfica siempre tiene dos escalas, una escala horizontal para el eje de las “x”, o sea las distancias, y otra escala vertical para el eje de las “z” o alturas.

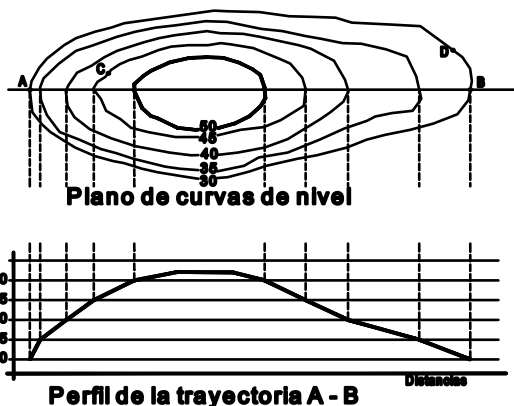
Por lo general se acostumbra (aunque no es regla), que exista una relación de 1:10 entre las escalas vertical y horizontal. Por ejemplo si la escala horizontal de un trabajo es de 1:500, entonces puede utilizarse una escala vertical de 1:50. Algunas veces, sobre todo en perfiles de cauces de ríos de larga extensión y muy poca pendiente, la relación entre una y otra escala puede llegar a ser mucho mayor.

Son tres las formas básicas que nos permitirán elaborar un perfil y es común combinarlas para obtener mayor calidad y detalle, cuestión que depende de la finalidad del trabajo y las condiciones del terreno.

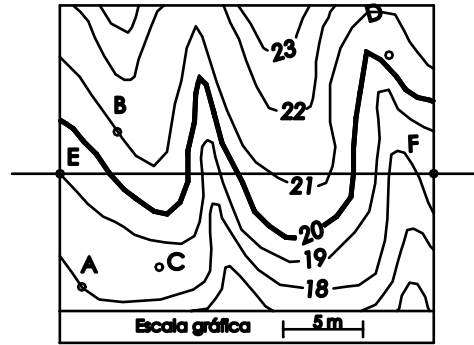
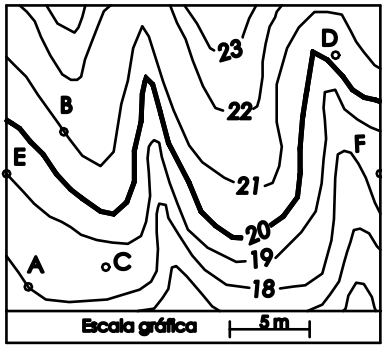
- A) Distancias y cotas a cada una de las curvas de nivel.
- B) Distancias y cotas a puntos donde cambia el sentido de la inclinación.
- C) Equidistancia de los puntos y sus cotas respectivas.

Estos tres procedimientos para la obtención de la gráfica, coinciden con tres de los métodos utilizados en las mediciones de campo para la construcción de un perfil, que como mencionamos, lo abordaremos en la parte de Topometría. Por lo pronto haremos una breve descripción de cada uno de ellos; sin embargo, antes de ello debemos definir el concepto de cadenamamiento, pues en lo subsecuente haremos uso cotidiano de él.

**Cadenamiento** de un punto es la distancia acumulativa a lo largo de una trayectoria que hay desde un origen preestablecido hasta el punto que nos interesa.



Para ejemplificar estos métodos, en el siguiente plano desarrollemos el perfil entre los puntos EF marcado en la figura.

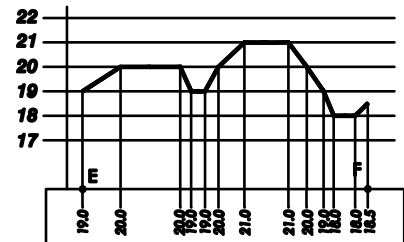
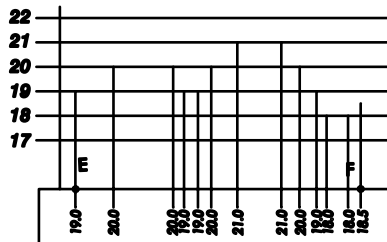
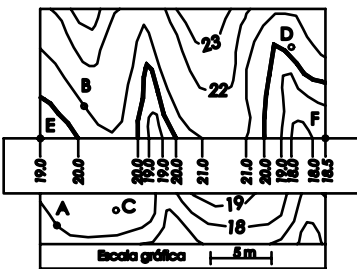


## Métodos para elaborar un perfil

### A) Distancias y cotas a cada una de las curvas de nivel

Consiste en elaborar una tabla que contenga los cadenamientos y elevaciones de cada una de las curvas de nivel.

Para el ejemplo emplearemos la misma escala del plano como escala horizontal del perfil, por lo que podemos marcar en una tira de papel los intervalos de distancia a que pasa cada una de las curvas de nivel y posteriormente graficarlos asignando a cada una de éstas la altura correspondiente.

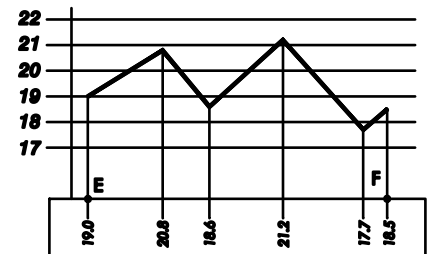
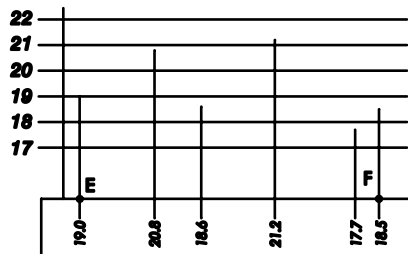
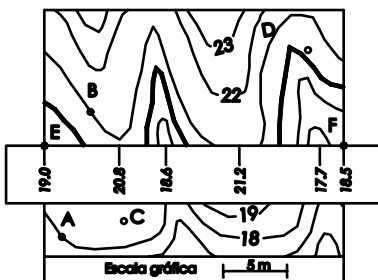


**Distancias a cada curva de nivel**

Este método no detecta exactamente los puntos más bajos y más altos cuando cambia de sentido la inclinación.

### B) Distancias y cotas a puntos donde cambia el sentido de la inclinación

Se toma la distancia y la elevación estimada (interpolada) a cada uno de los puntos críticos de la trayectoria, tanto los más bajos, como los más altos además del inicio y final.

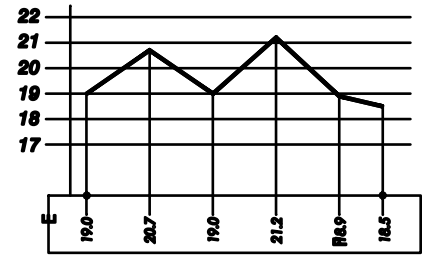
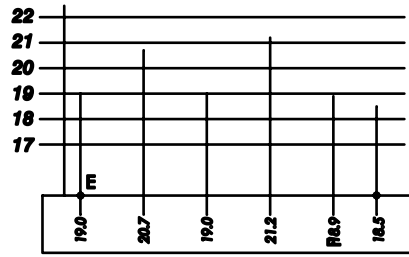
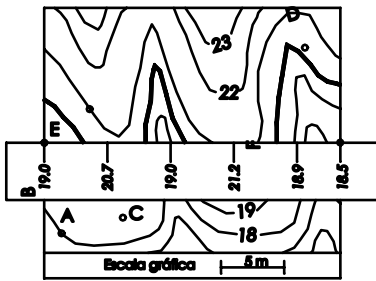


**Distancias a lugares críticos**

Aquí se tiene la desventaja de que la gráfica resultante puede ser errónea, pues las inclinaciones resultantes generalmente no coinciden con las laderas del terreno.

**C) Equidistancia de los puntos y sus cotas respectivas.**

A lo largo de la trayectoria se ubican puntos equidistantes entre sí (5, 10, 20, 25 ó 50 metros), y de cada uno de ellos se toma la elevación para posteriormente graficar los datos obtenidos.

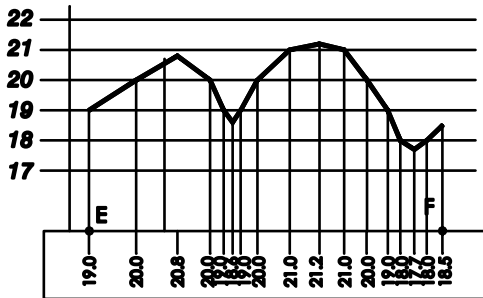


**Distancias constantes**

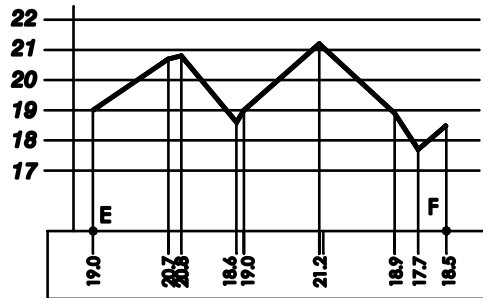
Este método es el que con más frecuencia se utiliza por su manera práctica de ejecutarlo e interpretarlo; y con más razón se utiliza en lugares donde el terreno no cuenta con muchos accidentes. Sin embargo, tiene el inconveniente de que entre cadenamiento y cadenamiento puede haber una cima o depresión destacada en el terreno y no ser detectada y, por lo tanto, no representada en la gráfica del perfil.

Por lo anterior siempre es conveniente combinar algunos de los métodos para obtener una representación más fidedigna del terreno, como se aprecia en las siguientes figuras:

**Combinación de métodos**



**Distancias a curvas y puntos críticos**

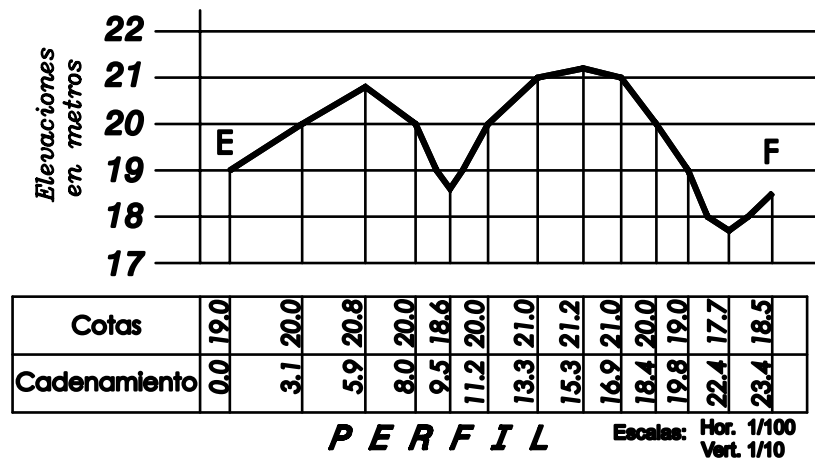


**Distancias constantes y puntos críticos**

En el ejemplo de distancias a curvas y a puntos críticos (cuando cambia el sentido de la inclinación), los datos tabulados deben quedar de la siguiente manera:

| Cadenamiento en m | Elevación en m |
|-------------------|----------------|
| 0                 | 19.0           |
| 3.1               | 20.0           |
| 5.9               | 20.8           |
| 8.0               | 20.0           |
| 9.5               | 18.6           |
| 11.2              | 20.0           |
| 13.3              | 21.0           |
| 15.3              | 21.2           |
| 16.9              | 21.0           |
| 18.4              | 20.0           |
| 19.8              | 19.0           |
| 22.4              | 17.7           |
| 23.4              | 18.5           |

Con estos datos estamos en posibilidad de construir la gráfica para elaborar el plano del perfil que debe contener todos los datos, así como especificar sus escalas horizontal y vertical







## Pendiente

Definimos como **pendiente** a la relación que existe entre una distancia vertical y una horizontal expresada con respecto al número 100, de ahí que sea común decir: **pendiente por ciento** ( P %). La relación puede ser con respecto a otras cantidades, por ejemplo en nuestro país se utiliza 20 ó 1000 y en tal caso se les nombra Pendiente por veinte ( $P_{20}$ ) o Pendiente al millar ( $P_{1000}$ ).

Cuando la relación entre estas cantidades se expresa en grados le denominaremos **inclinación**.

La pendiente la consideramos positiva si desde el punto en donde nos encontramos se observa que el terreno “sube”, y negativa si el terreno “baja”.

La pendiente es un dato importante para los agrónomos ya que influye en el movimiento del agua y el suelo. Del conocimiento exacto de ésta, en mucho dependerá el éxito de las practicas agronómicas que deban realizarse, ya sea en obras de conservación, ingeniería de riego, el trazo de los surcos, etc.

Hay muchas denominaciones de los rangos de la pendiente, pero lo importante de éstas es poder determinar y entender que cada una de ellas obedece a una concepción y finalidad de tipo técnico, económico y social. Sobre todo cuando se refieren a los aspectos relacionados con la agricultura. Por lo que de todas las clasificaciones de pendiente debemos identificar cuál se tiene que aplicar a qué trabajos y a qué zonas del país, o bien a qué tipo de agricultura.

Por ejemplo el diccionario geomorfológico\* sólo tiene cuatro rangos para definir la inclinación de las laderas; El manual de conservación de suelos de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”\* al referirse al escurrimiento y su relación con la vegetación, textura de suelo y pendiente, menciona tres rangos. El manual de conservación de agua y del suelo editado por el Colegio de Posgraduados menciona cinco rangos descritos por la FAO. Sin embargo el Ing. Marco Vinicio Rodríguez G. menciona ocho.

En términos generales abrupto y escarpe son sinónimos, sin embargo para los fines que aquí perseguimos y teniendo en cuenta que el diccionario define al escarpe como una ladera abrupta o a desplome, le daremos mayor peso a su segunda acepción. Es decir, ubicaremos al escarpe en la clasificación que hace el Ing. Marco Vinicio Rodríguez, entre el rango de los 45° (100%) y la caída a desplome. De esa manera podremos entonces referirnos a una pendiente abrupta como aquella que es muy pronunciada pero que no rebasa los 45°. Para reafirmar lo anterior podemos mencionar que para los materiales no consolidados, las pendientes superiores a 45° son muy raras (M. Derraau, 1958), y el “máximo ángulo de reposo “ se encuentra en las gravas de grano grueso y angular, que oscila entre 35° y 42° (F. H. Lahee, 1952), mientras que la gravas de suelos redondeados no suelen llegar a 35° .

Habiendo hecho esta aclaración, a continuación se presentan las siguientes tablas de las fuentes, instituciones y personas antes mencionadas, en las que se exponen los diferentes rangos de pendientes y sus denominaciones respectivas. En cada tabla aparecen los valores tanto en grados de inclinación como en porcentaje de pendiente.

Para clasificar las laderas según O. K. Leontiev y G. I. Richagov. Diccionario geomorfológico.

|  | <b>Intervalo de inclinación<br/>Grados</b> | <b>Denominación de la<br/>Pendiente</b> | <b>Valor de la<br/>pendiente en %</b> |
|--|--|---|---------------------------------------|
|  | 2° - 5°                                    | Suaves                                  | 3 – 9                                 |
|  | 5° - 15°                                   | Tendidas                                | 9 – 27                                |
|  | 15° - 35°                                  | Pendiente media                         | 27 – 70                               |
|  | 35° y mas                                  | Abruptas                                | 70 y mas                              |

Para referirse a los coeficientes de escurrimiento

|  | <b>Intervalo de inclinación<br/>Grados</b> | <b>Denominación de la<br/>Pendiente</b> | <b>Valor de la<br/>pendiente en %</b> |
|--|--|---|---------------------------------------|
|  | 0° - 3°                                    | Plano                                   | 0 – 5                                 |
|  | 3° - 6°                                    | Ondulado                                | 5 – 10                                |
|  | 6° - 17°                                   | Escarpado                               | 10 – 30                               |

Clasificación de la FAO (Food and Agriculture Organization, “Organización para la Alimentación y la Agricultura”)

| <b>Fase</b> | <b>Intervalo de inclinación<br/>Grados</b> | <b>Denominación de la<br/>Pendiente</b> | <b>Valor de la<br/>pendiente en %</b> |
|-------------|--|---|---------------------------------------|
| I           | 0° - 1.5°                                  | Llano                                   | 0 – 3                                 |
| II          | 1.5° - 7°                                  | Ondulado                                | 3 – 12                                |
| III         | 7° - 11°                                   | Montañoso                               | 12 – 20                               |
| IV          | 11° - 19°                                  | Muy montañoso                           | 20 – 35                               |
| V           | 19° y mas                                  | Escarpado                               | 35 y mas                              |

Ing. Marco Vinicio Rodríguez, modificada en lo que respecta a los rangos abrupto y escarpe.

|  | <b>Intervalo de inclinación<br/>Grados</b> | <b>Denominación de la<br/>Pendiente</b> | <b>Valor de la<br/>pendiente en %</b> |
|--|--|---|---------------------------------------|
|  | 0° - 1.5°                                  | Nula                                    | 0 – 3                                 |
|  | 1.5° - 5°                                  | Débil                                   | 3 – 9                                 |
|  | 5° - 10°                                   | Suave                                   | 9 – 18                                |
|  | 10° - 15°                                  | Moderada                                | 18 – 27                               |
|  | 15° - 20°                                  | Severa                                  | 27 – 36                               |
|  | 20° - 30°                                  | Fuerte                                  | 36 – 57                               |
|  | 30° - 35°                                  | Muy fuerte                              | 57 – 70                               |
|  | 35° - 45°                                  | Abrupta                                 | 70 – 100                              |
|  | 45° y más                                  | Escarpe                                 | 100 y mas                             |

Sin importar la denominación que tenga la pendiente, su valor incide y afecta al escurrimiento en la forma siguiente:

|                          |  |
|--------------------------|--|
| Pendiente<br>0 a 5 %     | Agua estancada o escurrimiento muy lento, la mayor parte del agua se percola o se evapora.                           |
| Pendiente<br>5 a 10 %    | Escurre de lento a medio, hay agua superficial por períodos cortos, erosión leve.                                    |
| Pendiente<br>10 a 20 %   | Escurre rápido, la mayor parte del agua escurre en la superficie, sólo una pequeña parte se infiltra, erosión media. |
| Pendiente<br>20 a 35 %   | Escurre muy rápido, casi toda el agua escurre, erosión severa.   |
| Pendiente<br>Más de 35 % | Se mueve tan rápido como se precipita al suelo, erosión muy severa.  |

## Cálculo de pendiente

Atendiendo a la definición de pendiente tenemos que :

$$\frac{Dv}{Dh} = \frac{P}{100}$$

Donde

Dv = Distancia vertical = Diferencia de nivel

Dh = Distancia horizontal

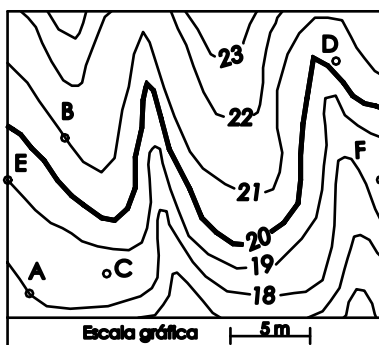
P = pendiente buscada

La pendiente puede ser positiva o negativa dependiendo del lugar en que nos encontremos, por lo que el signo positivo o negativo indicará si el terreno baja o sube con respecto a nuestra posición.

Del plano que hemos venido utilizando podemos estimar que la cota del punto C es de 18.5 m y la del punto D es de 20.2 m, por lo que la distancia vertical que existe entre los dos ( diferencia de nivel) es de 1.70 m. Así mismo consideremos que la distancia que separa a estos dos puntos es de 19.66 m.

Entonces la pendiente entre el punto C y D será:

$$\frac{1.70}{19.66} = \frac{P_{CD}}{100} \quad P_{CD} = \frac{1.70 \times 100}{19.66} \quad P_{CD} = \frac{170}{19.66} = 8.65 \%$$



La pendiente entre los puntos A y B será:

Cota de A= 19 m, cota de B=21 m, distancia entre AB= 10.00 m

$$\frac{2.00}{10.00} = \frac{P_{AB}}{100} \quad P_{AB} = \frac{2.00 \times 100}{10.00} \quad P_{AB} = \frac{200}{10.00} = 20 \%$$

La pendiente entre los puntos B y F será:

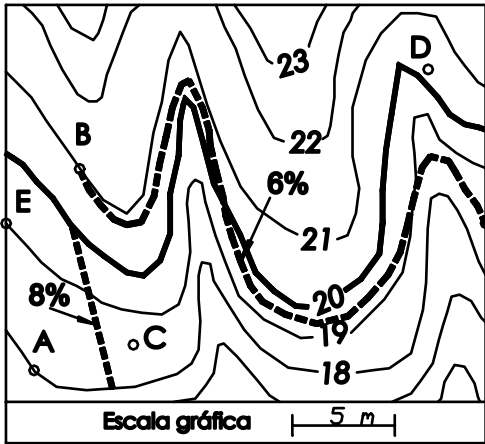
Cota de B=21 m, cota de F=18.5 m, distancia BF=20.05 m.

$$\frac{2.5}{20.05} = \frac{P_{BF}}{100} \quad P_{BF} = \frac{2.5 \times 100}{20.05} \quad P_{BF} = \frac{250}{20.05} = 12.47 \%$$

Efectuar el cálculo de las pendientes entre BD y DF.

### Trazo de una pendiente en el plano de curvas de nivel.

Pongamos por caso que deseamos trazar una línea que tenga una pendiente de 25%, entonces lo que debemos hacer es escoger un intervalo entre curvas de nivel, por ejemplo, para el plano anterior tomaremos un valor de  $Dv=2$ , entonces tenemos que encontrar cual es la distancia que deba tener una línea que una puntos cuya diferencia de nivel sea 2.



$$\frac{Dv}{Dh} = \frac{25}{100}$$

$$\frac{2}{Dh} = \frac{25}{100}$$

$$Dh = \frac{2 \times 100}{25}$$

$$Dh = 8$$

Quiere decir que al colocar una distancia de 8.0 m que una dos curvas cuya diferencia de nivel sea de 2m entonces tendremos una pendiente de 25 %.

No siempre es necesario o requisito que la distancia que une el intervalo escogido sea localizada en línea recta. Es muy común que el trayecto para recorrerla lo haga a lo largo de una trayectoria curva.

Por ejemplo, para trazar una pendiente del 6% entre los puntos B y F, (que ya sabemos que su desnivel es de 2.5m), calculamos la distancia horizontal

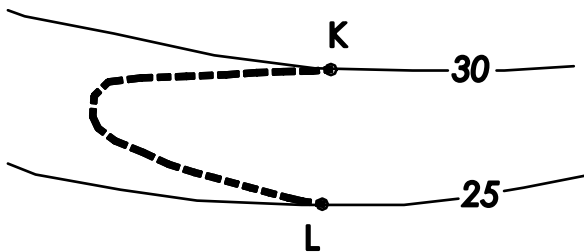
$$\frac{Dv}{Dh} = \frac{6}{100}$$

$$\frac{2.5}{Dh} = \frac{6}{100}$$

$$Dh = \frac{2.5 \times 100}{6}$$

$$Dh = 41.67$$

Sin embargo si unimos los puntos con una línea recta, vemos que no se cumple con la longitud de 41.67m, porque los puntos están más cerca. Entonces tenemos que realizar un trazo curvo que nos permita alargar la distancia y cumplir con la que hemos calculado.



En caminos construidos en pendientes muy fuertes es común encontrar trazos en forma de U para lograr la pendiente requerida. La figura de la izquierda nos muestra como a medida que se avanza de un punto al otro (sobre la línea discontinua), las elevaciones son diferentes.

Calcula la pendiente de la línea discontinua si el dibujo está elaborado en escala 1:100

## Clasificación de laderas

Ladera es la porción inclinada de la superficie terrestre que delimita formas elevadas y deprimidas en relación con las elevaciones que las rodean.

Según O. Leontiev y G. Richagov, las laderas se pueden clasificar de acuerdo con diferentes parámetros, en varios tipos:

### I Por su inclinación:

- a) Abruptas ( $> 35^\circ$ )
- b) De pendiente media ( $35^\circ$  a  $15^\circ$ )
- c) Tendidas ( $15^\circ$  a  $5^\circ$ )
- d) Suaves ( $5^\circ$  a  $2^\circ$ )

### II Por su longitud:

- a)  $> 500$  m
- b) 500 a 50 m
- c)  $< 50$  m

### III Por la forma del perfil:

- a) Rectas
- b) Cóncavas
- c) Convexas
- d) Cóncavas convexas
- e) Cualquiera de las anteriores con escalones

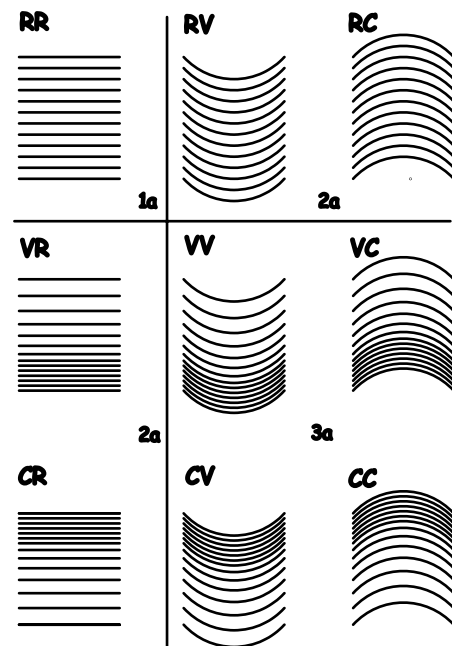
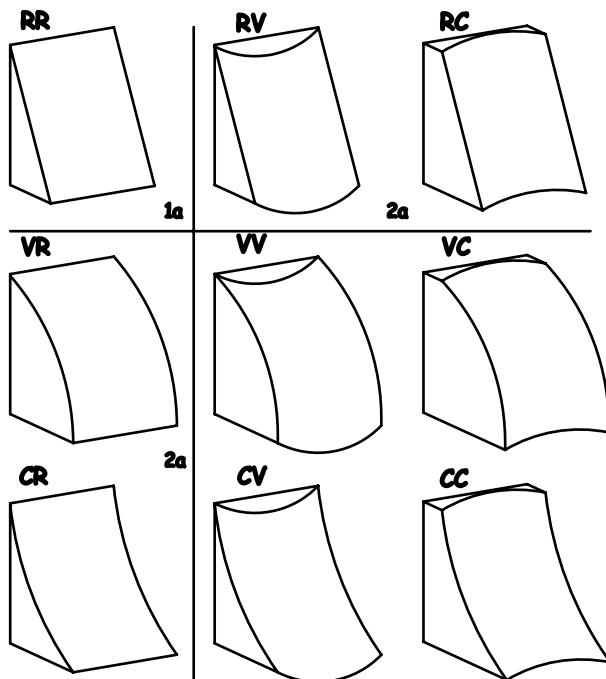
### IV Por su origen:

- a) Endógenas:
  - b<sub>1</sub>) Denudatoria
  - b<sub>2</sub>) Acumulativa
- b) Exógenas

De la combinación de las formas recta, cóncava y convexa, derivan las llamadas nueve geometrías básicas de las laderas, como a continuación muestran las siguientes figuras:

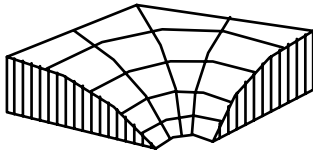
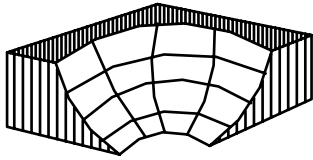
### Las nueve geometrías básicas de las laderas

**R = Recta    V = Convexa    C = Cóncava**

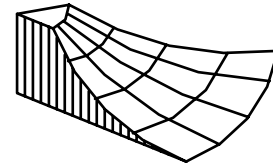
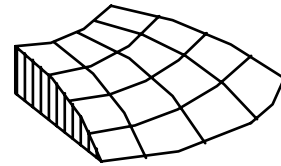


## Laderas y su relación con el movimiento del agua y del suelo

**Laderas colectoras**

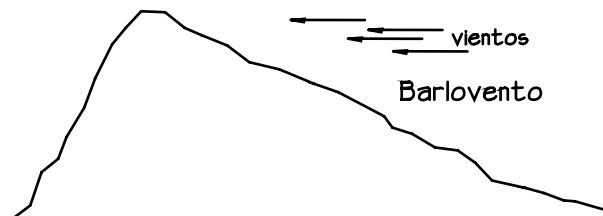


**Laderas esparcidoras**



## Laderas en relación con la dirección del viento

**Ladera de barlovento.**- Vertiente de un elemento orográfico orientada al lado por el cual sopla el viento. Generalmente se presenta con forma alargada en dirección de éste.



**Ladera de sotavento.**- Superficie inclinada del relieve terrestre, orientada hacia el lado contrario de aquella que recibe el viento.

