

PAVIMENTOS EN PENDIENTE

ARISTIDES COTTINI
Universidad de Mendoza

1. DISTINTAS MANERAS DE EXPRESAR LAS PENDIENTES

Recordemos que en geometría descriptiva se utiliza el término "pendiente" para designar el ángulo que forma una recta o un plano con el plano de proyección horizontal, el plano icnográfico. El término "inclinación" se emplea cuando debemos relacionar un plano o una recta con el plano vertical, el plano ortográfico.

A veces suele decirse "plano inclinado" cuando se tiene un piso o una rampa en pendiente, ya que así se lo denomina en física —en mecánica— en el capítulo donde se analizan las fuerzas que actúan sobre el mismo. En arquitectura conviene, para evitar confusiones con la geometría descriptiva, denominar este tipo de pisos o rampas como pavimentos en pendiente.

El pavimento horizontal es ideal para el tránsito humano y partiendo de esa condición fundamental, en la-cual la pendiente es nula, todas las referencias que efectuamos partirán de esa situación de horizontalidad.

Cuando hablamos de pendientes se entiende que ella está determinada sobre la línea de máxima pendiente, es decir la traza perpendicular, normal, a las frontales del plano. La línea de máxima pendiente es la que sigue un móvil librado a libre movimiento en descenso, es la línea que sigue el agua en su libre escurrimiento. En sentido opuesto es la línea que trata de evitar todo aquel que debe efectuar un esfuerzo para remontar una altura: un ciclista que se enfrenta con un camino de pronunciada ascensión trata de esquivar esa línea y sigue un derrotero en zig-zag.

La pendiente, ya sea de un camino, una calle, una circulación, una cañería tiene distintas maneras de expresarse, según veremos a continuación.

— Una forma elemental es indicar la pendiente mediante el ángulo sexagesimal que se forma con el plano horizontal. Se indica con la letra griega α (alfa) y si bien no es corriente su utilización para indicar pendientes en planimetría es imprescindible su determinación cuando debemos aplicar fórmulas trigonométricas. En la planilla de pendientes que anexamos a este apunte está indicada en la primer columna; por ejemplo 1° ; 5° ; 7° ; $5^\circ 42' 38''$. . . etc.

— Una manera muy corriente es denotar la pendiente mediante una relación porcentual. Se basa la expresión tomando para la abcisa el valor 100 y para la ordenada un número que variará según la pendiente. Esta manera será entonces dicha según un tanto por ciento: **2%**; **5%**; **10%** . . . , etc. En

otros términos es la tangente trigonométrica del ángulo a multiplicada por 100. Por ejemplo para $a = 15^\circ$ la tangente es 0.268 y de acuerdo con lo antedicho un piso en estas condiciones tiene una pendiente de 26,8%. Con una calculadora o una tabla de valores trigonométricos se efectúa fácilmente la conversión e inversamente si se expresa la pendiente en porcentual es sencillo pasar al valor angular, asunto muy necesario si se tiene que operar con el seno, coseno, tangente o sus complementos.

La forma porcentual de indicar las pendientes es muy común cuando se trate de pisos interiores y exteriores, caminos, vías férreas y todo tipo de rampa a recorrer por el hombre, vehículos o animales.

— En el párrafo anterior indicamos que en la forma porcentual la abcisa es constante —tiene por valor 100— y la variable es la ordenada, por lo general un número entero, y positivo si la pendiente es ascendente. También podemos expresar la pendiente de otra manera en la cual el valor constante es 1 (uno) y corresponde a la ordenada y el valor variable es la abcisa indicándose con un número entero. La rampa es ascendente si el valor 1 es positivo y descendente si es -1 .

Esta relación de proporcionalidad entre ordenada (constante) y abcisa (variable) se indica en planografía según la forma 1:n. Esta manera de expresar una pendiente es muy usual para el tendido de cañerías por su practicidad para el operario que trabaja en obra. Así se establece por ejemplo que una cañería cloacal no puede exceder de la pendiente 1:20 y el dirigente en el obrador sabe que para salvar un metro de diferencia de nivel no debe tomar sobre el terreno una longitud menor de 20 m. En planos de redes cloacales, especialmente en las domiciliarias, se indica esta manera en cada tramo de cañería. Sería bastante engorroso para un obrero o capataz que la pendiente de la cañería estuviera expresada en tanto por ciento y mucho peor si lo fuera según su valor angular.

Esta manera proporcional entre ordenada constante (igual a 1) y la abcisa difiere de la forma porcentual en que una es la inversa de la otra. Si deseamos pasar una pendiente indicada en tanto por ciento a la expresión 1:n bastará dividir por cien la expresión porcentual y tomar su valor inverso. Así por ejemplo si tenemos una pendiente de 5% dividimos 5 por 100 (será 0,05) y si tomamos su valor inverso tendremos la abcisa de la forma 1:n. En nuestro caso 1:20. (Se lee uno en veinte).

PLANILLA DE PENDIENTES USUALES

Ángulo	p %	1:n	Observaciones
0°	0	0:0	Nota 1
1°	1,74	1:57	
2°	3,49	1:29	Nota 2
2°51'44"	5,00	1:20	Nota 3
3°	5,24	1:19	
4°	6,99	1:14	Nota 4
4°44-40"	8,30	1:12	Nota 5
5°	8,74	1:11	
5°42'38"	10,00	1:10	Nota 6
6°	10,51	1:9,5	
7°	12,27	1:8,15	
8°	14,05	1:7,11	Nota 7
9°	15,83	1:6,32	
10°	17,63	1:5,67	
11°18'35"	20,00	1:5,00	Nota 8
15°	26,79	1:3,73	
20°	36,39	1:2,75	
30°	57,73	1:1,73	Nota 9

2. PLANILLA INDICATIVA DE PENDIENTES USUALES

Exponemos en estos apuntes una **planilla de pendientes usuales**. En la primera columna se establece el valor angular de la pendiente; en la segunda columna el valor de esa pendiente expresada en forma porcentual (es decir p%); en la tercera columna la misma pendiente calculada en la forma 1:n. En la cuarta columna indicamos una llamada para algunos casos particulares que pueden representar de interés en nuestro estudio.

A continuación comentamos aquellas observaciones, relacionándolas fundamentalmente con el tránsito humano.

Nota 1. Sobre un suelo horizontal y a "paso de camino", sin carga, el hombre puede recorrer 5 kilómetros en una hora es decir a razón de 1,4 m/segundo.

En terreno horizontal un caballo puede traccionar hasta ocho veces su propio peso y un buey hasta nueve veces su peso pero es incapaz de efectuar trabajo alguno si se encuentra en la más ligera pendiente. En caminos norteños, en zonas agrícolas puede observarse la buena utilización de este animal para transportar grandes pesos.

Nota 2. (Pendiente 3,5%) Ésta pendiente puede ser salvada por un hombre en bicicleta y puede traccionar un carro de mano pesando en conjunto —carro y carga— dos veces su propio peso. Un caballo puede arrastrar tres veces su propio peso.

Esta es la pendiente máxima para ferrocarriles subterráneos donde no existe la contingencia de aguas de lluvia o nieve.

Nota 3. (Pendiente 5%; 1:20) En esta pendiente el hombre puede transitar sin dificultad e inclusive puede efectuar algunos trabajos como, por ejemplo, traccionar una camilla con un paciente o efectuar reparaciones mecánicas en automotores. Un automóvil debe utilizar la marcha directa ("primera") y es el límite máximo para las vías tranviarias y el recorrido por trolebús.

En esta pendiente un hombre puede llevar una carretilla cargada con 60 kg. De tierra. En estas condiciones transita a razón de 0,4 m/seg. y al final de una jornada de trabajo puede haber trasladado 20 m³ de tierra a 30 metros de distancia.

Nota 4. (Pendiente 7%; 1:14) Si bien todavía puede ser superada por la marcha humana, esta pendiente comienza a ser peligrosa para el tránsito vehicular por las contingencias en el frenado del vehículo. Son pendientes propias de caminos de montaña.

Nota 5. (Pendiente 8,3%; 1:12) Ésta pendiente puede ser recorrida por un hombre conduciendo una carretilla con tierra deslizando por un tablón, en modo ascensional. El transporte puede hacerse a razón de 0,20 m/seg. El trabajo no puede exceder de un límite según la capacidad del operario y será muy poca la tierra trasladada en relación con el esfuerzo humano y el salario pagado. Corresponde en este punto sustituir el trabajo humano por algún medio mecánico.

Nota 6. (Pendiente 10%; 1:10) Sobre esta pendiente debemos analizar varios problemas.

Es el ángulo en el cual se confunden trigonómicamente el seno, el arco y la tangente. Por eso en las antiguas reglas de cálculo el índice izquierdo de la regla se inicia con ese valor dando los mismos valores para sen, arc y tg.

En los ángulos menores de $5^{\circ}42'38''$ puede obviarse la reducción al horizonte para determinar la pendiente asimilándose la secante (o sea la hipotenusa) al coseno del ángulo a . Muy pocas calles urbanas ofrecen pendientes mayores del 10% ($5^{\circ}42'38''$) y por lo tanto si deseamos conocer la pendiente de una vereda podemos, sin cometer gran error apoyar la cinta métrica sobre el propio pavimento para determinar la longitud de la abcisa o coseno del ángulo. Lo antedicho lo conocen los profesionales que determinan pendientes ferroviarias. Las vías tienen escasas pendientes —no más de 3%— y por ello se puede apoyar la cinta métrica sobre el riel ya que ofrece una buena superficie para determinar distancias entre dos o más puntos.

Si efectuamos el cálculo sobre el error cometido al asimilar la hipotenusa de un triángulo (secante trigonométrica) con el coseno y para $a = 5^{\circ}42'38''$ ($p = 10\%$) tendríamos que para la misma ordenada (0.1) la abcisa sería 1.00499, es decir un error de 5 mm. por metro y con alguna aproximación la pendiente sería 9.95%.

Para pendientes mayores de 10% es necesario efectuar la reducción al horizonte para apreciar la abcisa.

Existen algunos edificios con rampas y circulaciones para el tránsito humano con pendientes de 10%. Esto equivale a decir que para subir 3,50 m. (un entresijo) es necesario recorrer 35 m. Si en el momento de dar el mal paso de utilizar la rampa vemos en las proximidades una cómoda escalera muy posiblemente utilizaremos esta última en lugar de la rampa. Si deseamos tener una idea concreta de una rampa de 10% podemos visitar la Escuela Normal frente a la Plaza Independencia y allí tenemos una rampa así proyectada y construida que comunica el patio con el salón de actos.

El Hospital Nacional de Pediatría tiene resuelto el relacionamiento de entresijos con rampas de 10%. Se considera excesiva esta pendiente para el desplazamiento de sillas rodantes, coches infantiles, carros de servicio, camillas, etc.

Esta pendiente es el límite de los peraltes en carreteras y en las vías

públicas presentan una acentuada peligrosidad. Un tramo de la calle Las Heras, en su cruce con la vía férrea tiene esta pendiente. Algo similar es la bajada desde la avenida de acceso norte hasta la calle Ituzaingó. En ese lugar ocurrieron varios vuelcos de acoplados de camiones cuando el vehículo descende y gira hacia el norte (ahora prohibido por esta causa). El acoplado al quedar transversal a la pendiente con su tren delantero girado 90° carece de suficiente estabilidad confiada exclusivamente al tren trasero; por lo tanto se produce inevitablemente el vuelco. Esto ocurría hasta que se decidió cambiar el sentido de recorrida de la calle Ituzaingó.

En el tránsito urbano un caballo, en esta pendiente, sólo puede traccionar su propio peso.

Nota 7. (Pendientes 14-15%) **No deben proyectarse pendientes de 10% para el tránsito humano y si las alturas son mayores de un metro.** A pesar de lo antedicho suelen proyectarse rampas de escaso desarrollo lineal pero fuertes pendientes que pueden llegar al 14 o 15%.

Es posible comprobar el esfuerzo extraordinario que deben realizar los transportadores de sillas rodantes, camillas y carritos con materiales variados deslizándose por esta pendiente. Personas con dificultades en la marcha caen al suelo, los líquidos en recipientes destapados se derraman inevitablemente; la auxiliar de un hospital que lleva un bulto de ropa que le impide ver el suelo, se cae de bruces.

Nota 8. (Pendiente 20%; 1:5) Pendientes tan acentuadas no son practicable para el hombre y solamente admisibles para el tránsito de vehículos, automotores livianos y bajo dos condiciones esenciales: que sean de muy corto recorrido y que se encuentren bajo techo, no al aire libre. Si una rampa de esta pendiente se encuentra al aire libre y recibe agua de lluvia o lavado del pavimento, nieve, granizo o mucho peor aceite proveniente de los propios automotores se torna muy peligrosa por el bajo coeficiente de rozamiento entre pavimento y neumático.

Es posible ver en las ciudades garajes particulares en viviendas privadas, accesibles mediante rampas de 20%, al aire libre. También puede comprobarse que en muchos casos el ocupante de la casa abandona el uso del garaje como tal y deja el auto estacionado en la calle. Son por lo general casos en que el vehículo debe sacarse con marcha atrás, con el motor frío y cuando el propietario ha tenido la ingrata experiencia de tratar de dar marcha atrás con el pavimento cubierto de nieve o hielo y las ruedas motrices giran peligrosamente es el momento que abandona el uso de la cochera o construye otra casa con otro arquitecto . . .

Esta pendiente es el límite, sobre terreno escabroso, que un caballo montado puede ascender.

Es la pendiente que con marcha reducida puede ser superada por un

camión.

Nota 9. (Pendiente 30° ; 57,7%) Este es un caso extremo: una rampa o pavimento con una pendiente semejante a las zancas de una escalera recta. La señalamos porque en esta situación paradójica la componente rasante del esfuerzo que es necesario efectuar para trasladar una carga —despreciando el rozamiento— tiene por valor la mitad del peso propio de la carga. Para dar un ejemplo: si la carga fuera una persona en una camilla el enfermero que tracciona el vehículo tendrá que ejercer una fuerza de 60 kg. (límite de sus posibilidades) si la camilla y el paciente acostado pesan 120 kg.

Frecuentemente puede observarse un hecho concreto comprobatorio de lo antedicho. Si sobre una escalera recta —con peldaños en relación 17/28 se extienden tabloncillos tendremos un plano de deslizamiento de 30° ($\mu = 58\%$). En la Casa de Gobierno, en el subsuelo, se encuentra la Imprenta Oficial y anualmente es necesario extraer de allí alguna maquinaria pesada (guillotina, prensa, etc.) para proceder a su reparación en algún taller especializado. Para llevar a la calle —y montar sobre un camión— tan pesado bulto no existe otro recurso que emplear gruesos tabloncillos extendidos sobre la escalera. El esfuerzo para conseguir el ascenso de esta pieza es mayor que la mitad de su propio peso ya que interviene el rozamiento. El trabajo se ejecuta mediante aparejos y poleas y previamente debió apuntalarse la escalera ya que no puede confiarse en que la estructura pueda absorber la componente vertical del peso.

Como vemos el problema de la rampa y su pendiente debe también analizarse bajo el aspecto estático, las componentes de las fuerzas y otras particularidades mecánicas que naturalmente también inciden en las posibilidades del trabajo humano.

Ese otro aspecto, abreviadamente, lo analizaremos en párrafos siguientes.

3. FUERZAS QUE ACTÚAN SOBRE UNA RAMPA

El problema físico del plano inclinado

PLANO INCLINADO -Sólido reposando sobre un plano

Consideremos un sólido pesado apoyado sobre un plano inclinado sin frotamiento (fig. 1).

Si el cuerpo no está sometido más que a su propio peso P , no podrá permanecer en equilibrio. Apliquemos al sólido otra fuerza F (no directamente opuesta al peso) y determinemos las condiciones a imponer a esta fuerza F para tener el equilibrio. Del estudio del sólido apoyado sobre un plano sin frotamiento, las condiciones necesarias y suficientes de equilibrio son que las fuerzas P y F tengan una resultante normal al plano, que penetra en el plano por el interior del polígono de sustentación y dirigido de manera de aprisionar al sólido sobre el plano.

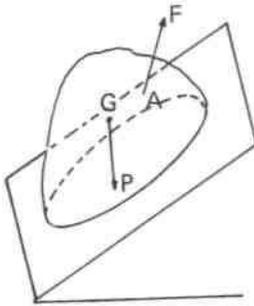


Fig. 1

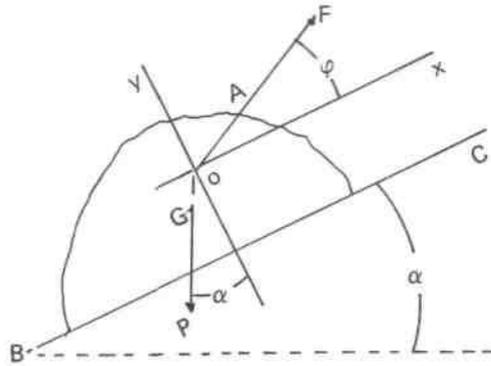


Fig. 2

Ello exige, desde luego, que las fuerzas **P** y **F** pertenezcan a un mismo plano y ese plano debe ser:

1° vertical, puesto que contiene **P**;

2° normal al plano inclinado, puesto que contiene la resultante de las fuerzas **P** y **F**.

Es entonces un plano vertical cortando el plano inclinado según una línea de pendiente **BC**. Observemos para ello la figura 2.

Las fuerzas **P** y **F** se encuentran sobre dicho plano; la fuerza **F** no es paralela al peso **P**, sino ella no determinaría una resultante normal al plano inclinado. Ellas concurren entonces a un cierto punto **O**. Elijamos dos ejes de coordenadas, el eje **Ox** paralelo a **BC** y ascendente, el eje **Oy** normal a **BC** y ascendente. Llamemos φ al ángulo **(Ox, AF)** y a α al ángulo del plano dado por el plano horizontal.

Para que las resultantes de las fuerzas **P** y **F** sea normal al plano inclinado, es necesario y suficiente que la suma de sus proyecciones sobre **Ox** sea nula:

$$F \cos \varphi - P \operatorname{sen} \alpha = 0$$

Se tiene, entonces, proyectando las fuerzas sobre el **Oy** la medida algebraica **N** de la resultante medida sobre **Oy**

$$N = F \operatorname{sen} \varphi - P \cos \alpha$$

Para que el cuerpo no se deslice es necesario que la fuerza **N** retenga al cuerpo sobre el plano, es decir:

$$F \operatorname{sen} \varphi - P \cos \alpha < 0$$

Se deberá verificar finalmente que el punto donde la resultante incida sobre el plano inclinado sea interior al polígono de sustentación.

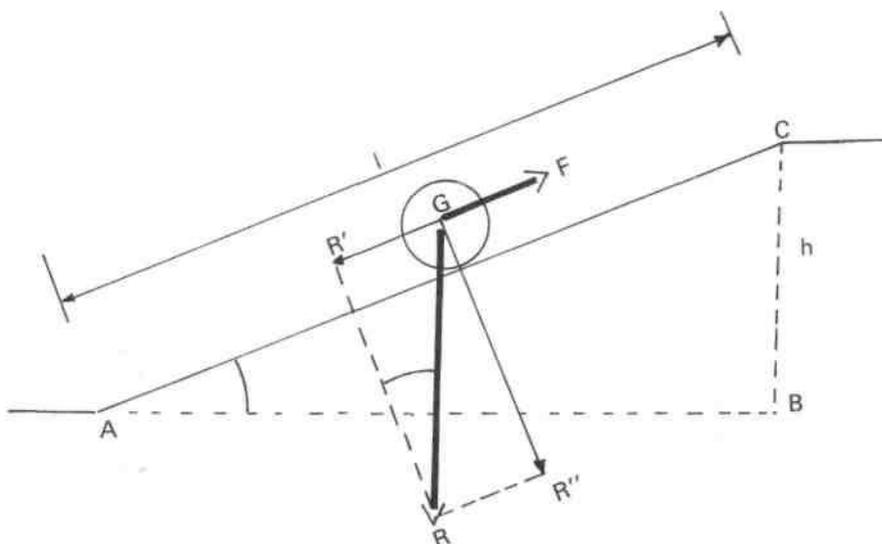


Fig. 3

La figura 3 muestra un plano inclinado y un barril cuyo peso es la resistencia R que se debe equilibrar con la fuerza motriz F . Para hallar la condición de equilibrio, descompongamos la resistencia R en dos:

R' , paralela al plano inclinado, y

R'' , perpendicular al mismo. Como ésta queda anulada por la reacción del plano, la que hace deslizar al barril hacia abajo es R' . A ella, pues, se debe anular, y la condición es que sea F igual y opuesta a R' .

Observando la figura se advierte que los triángulos GRR' y ABC son semejantes, por ser rectos y tener $A = R$ (pues sus lados son perpendiculares entre sí y ambos son agudos). Por lo tanto sus lados homólogos son proporcionales:

$R' : R = h : l$. Como cuando hay equilibrio se cumple que $F = R'$, será $F \cdot l = R \cdot h$ y podemos enunciar:

La condición de equilibrio en el plano inclinado, es que el producto de la fuerza motriz por la longitud del plano sea igual al producto de la resistencia por la altura del mismo.

Denotemos que la relación $h:l$ (h/l) es el seno del ángulo A y por lo tanto $F = R \cdot h/l = R \cdot \text{sen } A$. (1)

Si el barril pesa 100 kg. y el plano forma 30° con la horizontal la fuerza

necesaria para subir el barril será:

$$F = R \text{ SEN } 30^\circ = 100 \times 0.5 = 50 \text{ kg.}$$

No hemos considerado el rozamiento entre el objeto que se desplaza y el rozamiento del mismo sobre el plano. En el caso que debiéramos tomar en cuenta el rozamiento a la fuerza debemos adicionarle otra que vale $R.f \cos A$; siendo f el coeficiente de rozamiento.

Por lo tanto la fórmula (1), teniendo en cuenta esa circunstancia será:

$$F = R \text{ sen } A + R.f \cos A = R (\text{sen } A + f. \cos A)$$

Esta fórmula es válida para la ascensión.

Para ascender la fuerza a aplicar será $F = (f \cos A - \text{sen } A) R$.

Y para mantener en reposo el móvil será $F = (\text{sen } A - f \cos A) R$.

Tablas apropiadas en manuales de construcción suministran los valores de f para distintos materiales y en qué condiciones se encuentran: secos, húmedos, con hielo o nieve, con manchas de aceite, etc.