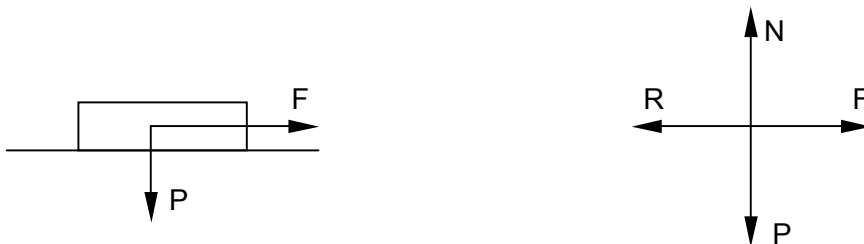


ROZAMIENTOROZAMIENTORESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO

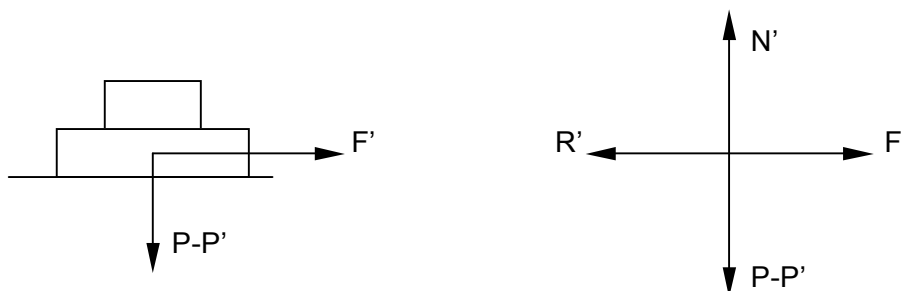
El rozamiento es una fuerza omnipresente de la que a menudo no somos conscientes. No resulta difícil comprender lo que afirma la primera de las tres leyes de la mecánica que formuló Newton: si sobre un cuerpo no actúa ninguna fuerza, este permanecerá en reposo o seguirá moviéndose con la misma velocidad.

La primera parte de esta ley es evidente: para mover algo debemos ejercer una fuerza, pero la segunda parece contradecir nuestra experiencia: si golpeamos una pelota, esta se pone en movimiento pero acaba por pararse. Si la primera ley de Newton es cierta, la pelota debería seguir moviéndose eternamente con la misma velocidad, a no ser que cuando está en movimiento, actúe alguna fuerza. Y en efecto, este es el caso, esta fuerza que actúa sobre el balón en movimiento, es el rozamiento.

Consideremos la experiencia siguiente: mediante una fuerza F arrastramos un bloque de peso P con velocidad constante. Por la primera ley de Newton, la fuerza resultante que actúa sobre el bloque ha de ser nula. Sobre el bloque actúan cuatro fuerzas: La fuerza de arrastre F , que ejercemos nosotros y que es paralela a la superficie; la fuerza de rozamiento R , que es así misma paralela a la superficie y se opone al movimiento; el peso del bloque P , y la reacción de la superficie N , de intensidad igual a la de P pero dirigida verticalmente hacia arriba.



Por ser la resultante nula, ha de ser: $P=N$ y $F=R$. Al repetir la experiencia colocando sobre el primer bloque un segundo bloque de peso P' , el nuevo diagrama de fuerza en equilibrio será:



Se cumple ahora que la intensidad de N' es igual a la $P+P'$ y la de R' es igual a la de F' . Con esta experiencia el físico Francés Coulomb halló lo siguiente:

- A) El rozamiento no depende del área de las superficies en contacto.
- B) Si depende de la naturaleza de estas superficies.
- C) Existe una proporcionalidad entre la fuerza de rozamiento y el peso o, lo que es lo mismo, la reacción normal de la superficie.

$$\frac{R}{N} = \frac{P'}{N'} = \text{Constante.}$$

Esta constante de proporcionalidad se denomina coeficiente de rozamiento por deslizamiento o coeficiente cinético de rozamiento y se representa con la letra griega μ . Escribiremos pues, $R = \mu \cdot N$. El coeficiente es adimensional, ya que R y N están expresados en la misma unidad. Para iniciar el movimiento del bloque se requiere una fuerza un poco mayor que para mantenerlo a velocidad constante una vez iniciado éste. De ahí que se defina el coeficiente estático de rozamiento o coeficiente de adherencia, a la reacción entre la menor fuerza necesaria para iniciar el movimiento y el peso del cuerpo.

$$\mu_e = \frac{F_e}{P}$$

μ_e representa la fracción de peso (o fuerza normal a la superficie de contacto) que hay que aplicar al cuerpo para que este inicie su desplazamiento el coeficiente estático es debido a que, estando en reposo el cuerpo, las irregularidades de su superficie se encastran con las irregularidades de la superficie sobre la que apoya.

Como ya dijimos la fuerza necesaria para mantenerlo, con velocidad uniforme " F ", es menor que F_e .

Esta fuerza F , llamada resistencia por rozamiento dinámico o fricción, es también paralela y opuesta al movimiento.

Es menor que F_e por cuanto, una vez iniciado el movimiento relativo, las irregularidades de ambas superficies tienen peor encastramiento.

A la relación entre la fuerza de rozamiento dinámico, y el peso (o la fuerza normal a la superficie de contacto) se la denomina coeficiente de rozamiento dinámico o de fricción " μ ".

$$\mu = \frac{F}{P}$$

Ejemplo práctico: Para una mayor interpretación.

Un auto estacionado de 1000 Kg, de masa sobre un pavimento de asfalto con ruedas bloqueadas en estado estático.

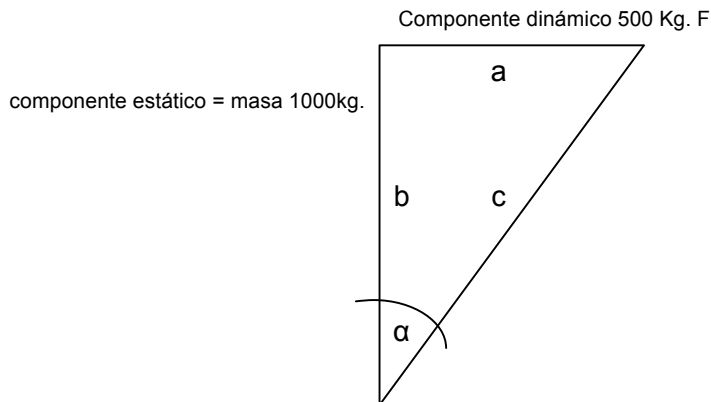
La fuerza (F), el componente dinámico, que venciendo la resistencia de la adherencia, logró poner en movimiento este vehículo con ruedas bloqueadas sin la mínima rotación, resultó ser una componente dinámica de esta fuerza, cuyo valor era de 500 Kg.

El valor del rozamiento (R) en este caso, nos lo brindará la división de ambos componentes:

Componente dinámico sobre componente estático, es igual a 500 Kg. Sobre 1000 Kg., y esto es igual a 0.5, valor que en la correspondiente figura triangular nos ofrecerá por medio de

la tangente α además de un grado ($26^\circ 33' 54,18''$), como también el coeficiente del rozamiento igual a 0.5 que se señala con la letra griega μ .

Figura triangular



COEFICIENTE DE ROZAMIENTO

$$\frac{\text{COMP.dinámico}}{\text{COMP.estático}} = \frac{a}{b} = \frac{500}{1000} = \text{Tg. } \alpha = 0,5$$

$$\text{Tg. } \alpha = 0.5 = 26^\circ 33' 54,18''$$

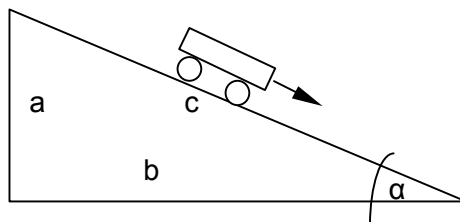
Este mismo valor 0,5 señala también el grado de un plano inclinado, un declive, sobre el cual, colocado este mismo vehículo de 1000 Kg, de masa, por medio de sus ruedas bloqueadas resistirá la fuerza = $\mu \times \text{sen. } \alpha$, de un resbalamiento, que como veremos a continuación será menor que la fuerza del componente dinámico de 500 kg., sobre un plano horizontal.

La fuerza que pretende llevar a este vehículo hacia abajo sobre este plano inclinado será:

$$F = m \times \text{sen. } \alpha$$

$$F = 1000 \times 0,447213598 = 447 \text{ Kg } 721 \text{ gr.}$$

F con 52 Kg 786 gr. Menor, que era la fuerza dinámica ;



$$a=5; \quad b= 10; \quad c= a^2 + b^2 = 11,18030989$$

$$\frac{a}{c} = \frac{5}{11,18} = \text{sen. } \alpha = 0,44721359 = 26^\circ 33' 54,18''$$

$$a = 5 = \text{tg. } \alpha = 26^{\circ}33'54,18''$$

$$\frac{b}{c} = \frac{10}{11,18} = \cos. \alpha = 0,8944272 = 26^{\circ}33'54,18''.$$

El coeficiente crece con el aumento del componente dinámico.

$$\frac{600 \text{ kg. F. Comp. Dinámico}}{1000 \text{ kg. Masa = Presión}} = 0,6 = \text{tg. } \alpha$$

Y en proporción directa crece también el ángulo del triángulo ilustrativo (tg. $\alpha = 0,6 = 30^{\circ}57'49,52''$).

El coeficiente decrece con la disminución del componente dinámico, o con el aumento del componente estático, es decir con la Masa (peso)= que es igual a la presión del vehículo:

$$\frac{500 \text{ kg. (F) comp. Dinámico}}{1300 \text{ kg. Comp. Estático}} = 0,3846..... \text{tg. } \alpha$$

Y en proporción directa crece también el ángulo del triángulo ilustrativo (tg. $\alpha = 0,3846.....=21^{\circ}2'15,04''$)

Es necesario subrayar aquí la regla categórica de la física que el coeficiente del rozamiento es independiente de la extensión lateral de la superficies en contacto. De manera que el valor del rozamiento de una cubierta de un vehículo de un metro de ancho (autos de carrera), no tiene mejor rozamiento que la angosta cubierta de una bicicleta (en ambos casos se trata del caucho con el asfalto).-

De la división de los componentes dinámicos y estáticos, nace el coeficiente del rozamiento o el factor de adherencia, donde entre los cuerpos en estado estático uno es casi siempre constante (la cubierta de caucho del vehículo) pero el otro cuerpo en contacto es variable (asfalto, macadán, betún, tierra compactada, ripio y arena).-

De esta manera el coeficiente del rozamiento, de la adherencia por causa de la variabilidad de uno de los cuerpos, y también por variación climática (lluvias, hielo, nieve etc.), puede aumentar o disminuir su valor.-

RESISTENCIA A LA RODADURA

Al hacer rodar un cuerpo sobre una superficie horizontal se observa que el cuerpo después de más o menos un tiempo, se para, lo que indica la existencia de un par de fuerza de resistencia a la rodadura del sentido contrario al que hace girar el cuerpo. Ello es debido a que, por no ser absolutamente rígidos el cuerpo que rueda y el suelo que apoya, la rueda queda como encajada en este en sus sucesivas posiciones, siendo mayores las reacciones del suelo contra la rueda en la parte anterior que en la posterior, resultando en definitiva una fuerza de reacción como en la figura 1, que origina el par de resistencia a la rodadura.

Para que una rueda se traslade al mismo tiempo que gira, es necesario una fuerza de resistencia al deslizamiento, aplicada en el punto de contacto del cuerpo con el suelo. En caso de no existir tal rozamiento, al aplicar a una rueda una fuerza de tracción "F" figura 1 bis, deslizaría sin rodar, a lo largo del plano.

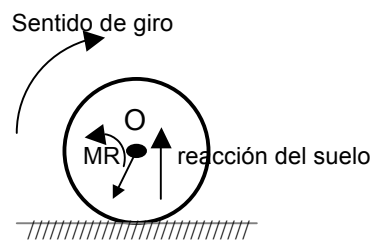


Fig.1

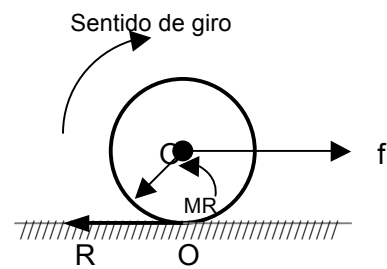


Fig. 1 bis

La rodadura depende de la deformación de los cuerpos que ruedan.-

La deformación de la superficie, debida al peso "P" del cuerpo, implica la aparición en ella de una suerte de escalón, que tiende a impedir el movimiento relativo, y que por cuyo centro pasa la reacción al peso, con que esta deja de pasar por el centro de gravedad del cuerpo, (lo hace a una distancia de "CG", que llamamos "f") es decir que aparece un momento:

$$M = P \times f$$

El cual puede igualarse al que provoca la fuerza de resistencia por rozamiento estático "Fe", que dista "R" del centro de gravedad "CG":

$$F_e \times R = P \times f$$

Para que exista rodadura deberá ser :

$$F_e < P \times Me$$

Como

$$F_e = P \times f / R$$

Entonces

$$f/R < Me$$

Los valores del brazo de palanca "f" se hallan tabulados para distintos materiales .-

Un caso notorio y útil para facilitar la comprensión de este tipo de resistencia al movimiento ocurre cuando se circula con un automóvil sobre terreno blando (medano, por ejemplo), en cuyo caso se nota que el movimiento es mucho mas penoso que sobre una superficie dura pudiendo resultar imposible si la profundidad de la huella es similar al radio de la rueda .

El hecho de que el coeficiente de rozamiento estático sea mayor que el friccional explica en parte porque la eficiencia del frenado disminuye cuando se bloquean los neumáticos del durante el mismo.-

Es así que, mientras un automóvil frena su desplazamiento sin llegar a bloquear sus neumáticos se denomina bloqueo de neumático cuando se impide el giro de los mismos, estos ruedan sin resbalar, es decir que en cada instante, la zona que está en contacto con el piso carece de movimiento relativo con respecto a este, por lo que su rozamiento es de tipo estático. –

Cuando se bloquean los neumáticos, aparece movimiento relativo entre el piso y la zona de aquellos que esta en contacto con el, por lo que el rozamiento entre estas dos superficies es el tipo dinámico.-

A esto hay que agregar que mientras los neumáticos estan rodando, tambien actúa la resistencia a la rodadura, la que desaparece en cuanto comienza el bloqueo con el consecuente deslizamiento.-

Experimentalmente se ha demostrado que la máxima eficiencia de frenado de un rodado ocurre cuando los frenos reducen la velocidad angular solo en un 15% de la que tendría en ese instante sin frenar.-

LEYES DE FRICCIÓN: Cuando un sólido resbala sobre otro, la fuerza de fricción es:

1°).- Proporcional a la fuerza normal.-

2°).- Independiente del área de la superficie de contacto.-

3°).- Independiente de la velocidad de resbalamiento.-

Las dos primeras leyes enunciadas por Leonardo, se consideran en la actualidad suficientemente correctas. La tercera enunciada por Coulomb, se sabe que no lo es, ya que el coeficiente friccional disminuye con el aumento de la velocidad. Debe aclararse que, si bien el coeficiente de frenado varia con la velocidad, solo lo hace con la inicial, ya que para cualquier otra, una vez bloqueadas las ruedas, el mismo permanece sensiblemente constante, siempre que no se modifique la superficie o la interface.-

Factores que inciden en el coeficiente de fricción:

_ Se ha comprobado que el coeficiente de deslizamiento virtualmente no está influido por el desgaste de los neumáticos, ya que su diferencia en este caso, a la misma velocidad, es del orden del 5% a favor de los neumáticos nuevos.-

_ Los coeficientes de fricción dependen de muchos factores tales como naturaleza de los materiales, temperatura, estado, grado de limpieza y tipo de suciedad de la superficie, etc..-

_ Mientras el coeficiente medio para una carretera seca está entre 0,6 y 0,8 cae a 0,5 con la carretera mojada. Si sobre la superficie hay arena seca el "M" varia entre 0,4 y 0,5 .-

_ La misma carretera, con nieve, puede tener un coeficiente del orden del 0,3. Si presenta hielo, estará en 0,1.-

_ Un incremento de la temperatura ambiente de 27° disminuye el coeficiente en 0,1, para carretera limpia y seca.-

_ Los valores mas bajos del coeficiente de fricción se encuentran para nieve compacta o hielo a temperatura del entorno de 0° centígrados, pues en estas condiciones, punto de congelamiento o fusión, coexisten dos estados de agua, liquida y sólida, y ante la presión ejercida por los neumáticos, se licúa una capa superficial que lubrica el movimiento, al igual que con los patines para hielo .-

TABLA DE COEFICIENTE DE FRICCIÓN USUALES:

VALORES DEL COEFICIENTES DE FRICCIÓN
(NEUMATICOS - PISO)

PISO	SECO	HUMEDO
Asfalto nuevo	0,85	0,60

Asfalto viejo	0,70	0,55	
Asfalto resbaladizo	0,5	0,35	
Concreto nuevo	0,85	0,55	
Concreto viejo	0,70	0,55	
Empedrado limpio	0,60	0,40	
Ripio	0,6	0,65	
Tierra dura	0,65	0,70	Tierra
suelta	0,50	0,55	
Arena s/ pavimento	0,45	0,30	
Barro s/ pavimento	0,45	0,30	
Barro sobre empedrado	0,40	0,25	
Nieve sobre pavimento	0,30	0,20	
Hielo cristal	0,15	0,07	

Los valores de la tabla son útiles para el frenado de automotores. Los ensayos de Reed y Keskin han demostrado que para camiones o vehículos pesados, los valores medidos son del 70% de los que surgen de la tabla anterior, para la misma superficie (excepto para nieve o hielo, en los que se mantienen).-

OTROS COEFICIENTES DE FRICCIÓN USUALES:

PESO	COEFICIENTES	
	rueda trasera	ambas ruedas
Kg		
100	0,31 a 0,40	0,53 a 0,67
150	0,36 a 0,43	0,62 a 0,76
200	0,31 a 0,42	0,72 a 0,87
350	0,36 a 0,51	0,63 a 0,88

Valores para asfalto seco (1) y húmedo (2).-

= moto deslizándose, caída de costado (1) : $0,35 < M < 0,50$.-

= moto deslizándose, caída de costado (2): $0,30 < M < 0,40$.-

= automóviles: En caso de vuelco o choque, tenemos:

AUTOMOVILES DESLIZANDOSE SOBRE SU TECHO O COSTADO

Sobre concreto: $M = 0,30$.-

Sobre asfalto: $M = 0,40$

Sobre grava o ripio: $0,5 < M < 0,7$.-

Sobre cesped : $M = 0,5$.-

Sobre polvo: $M = 0,2$.-

Pick-up deslizándose de costado sobre concreto: $0,3 < M < 0,4$.-

Rozamiento de carrocería : $M = 0,60$.-

=Derrape: Los estudios de Reveley, Brown y Guenther determinaron:

Para asfalto seco, en frenada recta $M = 0,7$; en tanto que para un derrape en la misma superficie es de $M = 0,8$; superior en un 15% al que se mide en frenada recta.-

=Cuerpo humano:

cuerpo humano deslizándose : $M = 1,10$.-

- cuerpo humano deslizándose y rebotando:
- _ sobre asfalto seco o húmedo : $M=0,66$.-
 - _ sobre pasto seco o húmedo = $M=0,80$.-
 - cuerpo humano contra carrocería : $M= 0,25$.-

EFECTO DE LA PRESION DE LOS NEUMATICOS: Uno de los elementos esenciales para que los neumáticos sean mas duraderos es la presión del inflado. De esta presión dependen las características de comportamiento, duración, resistencia a la carga, A LA VELOCIDAD, a los esfuerzos exteriores, la precisión en la conducción, LA ADHERENCIA, etc.-

Como esta monografía está dirigida a la física solamente tomaremos solamente aquellos efectos que la presión de los neumáticos aportan a la misma. Tales efectos esta dado en el inflado de los mismos:

El bajo inflado: Produce desgastes en la parte exterior del neumático impidiendole la correcta adherencia con el suelo, aprte reduce la posibilidad de recauchutado, rebaja el rendimiento kilometrico y aumenta el consumo de combustible. (ver figura).-

El sobre inflado: Produce desgaste en la parte central del neumático dado que solo se apoya con ella impidiendo la adherencia con el suelo en su totalidad. Además se hace más duro y rigido, perdiendo adherencia y haciendose más vulnerable a los riesgos de cortes y pinchaduras. (ver figura).-

El inflado normal: Es el mas preciso debido a que con el facilitamos la adherencia, dado que el neumático apoya completamente con el suelo. (ver figura) .-

FACTORES QUE AFECTAN AL NEUMATICO:

Desgastes: Se clasifican en externos y internos.-

Externos: (1).- El clima: El aumento de la temperatura ambiental modifica la rigides de los elementos del neumático y origina la perdida importante de materia. En cambio la humedad reduce el desgaste. El hecho se debe a un fenómeno físico simple: el vapor del agua contenido en el aire hace disminuir la temperatura de funcionamiento, sin embargo, en

ambientes húmedos el neumático es más susceptible a los cortes, causa muy importante en su deterioro .-

(2).- Revestimiento de la calzada: Evidentemente el tipo de calzada va a influir notoriamente en el desgaste. No es lo mismo que el neumático tenga que rodar sobre terrenos poco firme, embarrados o empedrados que si lo hace en asfalto ; una cubierta rodando sobre gravilla se desgasta, aproximadamente, seis veces más deprisa que sobre asfalto liso.-

(3).- Perfil de la carretera: Ninguna carretera es completamente plana, puesto que el diseño de su trazado incluye perfiles convexos que faciliten el desgaste desigual de los neumáticos.-

(4).- Trazado: Las curvas de la carretera provoca mayores desgaste puesto que la fuerza lateral que se produce en lo giros provoca deslizamiento transversales, transferencia de carga y flexiones repetidas de la carcasa.-

Internos: Relativos al vehículo o al conductor.-

(1).- Exceso de carga: Cada neumático está preparado para soportar un peso determinado, y cargar a un vehículo que no está determinado para eso puede ocasionar rotura del neumático y accidente por defecto mecánico debido a que afecta a los flancos del neumático.-

(2).- Presión de inflado: Con independencia de un desgaste mayor, su rendimiento no es el adecuado, tanto como si la presión lo es en exceso como si lo es por defecto.-

(3).- Vehículo: Malas direcciones, reglajes o paralelismos defectuosos genera desgastes anormales. Los montajes inadecuados provocan, a su vez lo mismos defectos.-

Causas internas debidas al conductor o, mejor precisado a su modo de conducir, pueden ser:

(1).- Velocidad: Una excesiva velocidad y constante velocidad sin tener en cuenta las peculiaridades de construcción del neumático aboca a un desgaste prematuro.-

(2).- Conducción agresiva: Arranques y aceleraciones rápidas en semáforos, frenazos sucesivos y constantes, toma de curva a velocidad excesiva generan un desgaste muy rápido de los neumáticos.-

(3).- Estacionamiento: Para el vehículo rozando con los bordillos o incluso pelliscando los flancos puede conducir a un pronto deterioro de las zonas mas delicadas del neumático.-

INFLUENCIA DE LOS DESGASTES EN LA ACCIDENTABILIDAD: De todo lo anterior podemos inferir que los desgastes de la banda de rodamiento influyen en la adherencia y por ello en la eficacia de frenada y en la estabilidad en las curva. Por lo tanto en la escultura de la banda de rodamiento debe mantenerse en línea de uso hasta tanto la profundidad del dibujo alcance el mínimo de 1,6mm., que se considera esencial para un nivel de seguridad aceptable.-

Como quiera que la temperatura influye tambien en el rendimiento debe tenerse presente que un rodaje de muchos kilómetros a altas velocidades (autopistas y autovías), durante largo tiempo puede ocasionar una gran elevación de la temperatura del neumático desprendiendose la banda de rodadura y provocando el reventón, con el riesgo que supone a tan alta velocidad.-

En cambio, no debe olvidarse que lo más debil del conjunto, es el flanco, la cual tiene la misión de proporcionar flexibilidad en las tres dimensiones. Al ser la parte más delgada es la que se agrieta con el tiempo con mayor rapidez creando con ello el mayor riesgo de reventón, difícil que aparesca en la banda de rodamiento, la cual influye notoriamente en salida de vía, en especial con suelos mojados con escarcha o hielo, así como

en la disminución de la eficacia frenante; pero, el reventón inopinado, casi siempre en el flanco, causa de modo general, una situación en extremo complicada a partir de determinadas velocidades.-

CONTACTO DEL NEUMÁTICO CON LA CARRETERA:

El contacto del neumático de la carretera es normalmente un espacio que tiene lados rectos paralelos y extremos redondeados tal como se ve en la figura abajo establecida.-

La superficie de rodadura de los neumáticos usuales tienen una ranura que los hacen más flexibles y al mismo tiempo facilitan la penetración del aire para que no se recalienten. Generalmente estas estrías son en zigzag o están moldeadas en forma irregular para que tengan una mejor adherencia sobre ciertas superficies y para crear un modelado o dibujo que adorna o identifica el neumático. De este modo el contacto real de un neumático muestra en el pavimento una serie de listas o tiras que están separadas por la ranura donde el neumático no toca la carretera.-

Anchura mínima de la huella
De deslizamiento cuando el
Neumático patina longitudinalmente
Reproduciendo estriado.-

Anchura máxima de la huella de
Deslizamiento patinando lateralmente, no
Se observa estriado.-

ESTADO DEL CAMINO: Las carreteras pueden ser de firme rígidos o flexibles. Los primeros están constituidos por base de hormigón que tienen por cualidad el transmitir los esfuerzos a distancia repartiéndolos en una gran superficie. Los segundos se forman por capa de materiales con poca resistencia a la tracción y por lo tanto la transmisión de las presiones se efectúa de un modo normal. El rígido está constituido por dos capas y necesita hormigón de gran calidad, es caro para tráfico intenso y pesado con gran duración pero incomodo y de reparaciones de elevado costo y dificultosas. El flexible se ajusta a las deformaciones del terreno y tiene la ventaja e inconveniente contraria a la de los rígidos .-

El pavimento es la capa superior del firme la que se halla en contacto con la atmosfera, crea una superficie de rodadura cómoda y segura y tiene como misiones: resistir la acción mecánica de los vehículos y los agentes atmosféricos y tiene que impermeabilizar el conjunto.-

Otras capas que constituyen el conjunto del firme son :

La base que permite soportar las acciones mecánicas, la sub-base , que refuerza la acción de la base y drena las aguas filtradas, la capa anti-contaminante, que evita en terrenos arcillosos que ascienda la arcilla hacia la sub-base y la contamine y la explanada mejorada que ofrece a la sub-base una resistente explanada.-

La explanada es el asiento del firme y está constituida por el material con el que se ha hecho el terraplen o que se ha quedado al descubierto una vez efectuadas las operaciones de desmonte. La arista de la explanada es la intersección del talud del desmonte o terraplen con el terreno natural.- (ver figura).-

