

T-497  
S  
DES  
ej. 1

329

06 24

01/49

131

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE INGENIERIA  
DIVISION DE ESTUDIOS SUPERIORES

UN ESTUDIO DE OPERACION DE VEHICULOS EN PENDIENTE,  
EN CAMINOS DE MANO DE OBRA.

ING. JAVIER SABORIO ULLOA.

MEXICO, D.F., MAYO 1977.

TESIS CON  
FALSA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

1.- INTRODUCCION

2.- ESPECIFICACIONES DEL CAMINO Y DIMENSIONES DE LOS VEHICULOS

OBSERVADOS

3.- PLANTEAMIENTO MATEMATICO

4.- CONCLUSIONES

5.- REFORMAS

FIGURAS

#### 1.- INTRODUCCION

Para obtener algunas conclusiones sobre las características de ascenso de vehículos, en caminos de mano de obra, en donde generalmente la superficie de rodamiento es de tierra; en esta muy modesta investigación, se efectuaron mediciones de las velocidades de régimen de algunos tipos de vehículos, tratando de estudiar su comportamiento en tangentes ascendentes del alineamiento vertical, para este tipo de camino.

En la primera parte de este trabajo se presenta las especificaciones del camino de mano de obra, en donde se hizo el estudio y las dimensiones de los vehículos observados.

En la segunda parte se desarrolla el planteamiento matemático que sirvió de base para la construcción de gráficas, que muestran las características de ascenso de los vehículos. Estas se anexan al final de este trabajo.

Finalmente, en la tercera parte se dan las conclusiones a que se llegó en esta tesis.

## 2.- ESPECIFICACIONES DEL CAMINO Y DIMENSIONES DE LOS VEHICULOS OBSERVADOS

Los tramos en que se efectuaron las observaciones, pertenecen al camino de mano de obra, que une las poblaciones de Texcalame y Quila, dentro de una area agrícola y ganadera en el municipio de Ameca, Estado de Jalisco. Dicho camino tiene las siguientes especificaciones:

Ancho de corona	5.00 m
Pendiente gobernadora	12 ‰
Pendiente máxima	17 ‰
Grado de curvatura máxima	40°
Drenaje transversal:	Muy ineficiente (carece de alcantarillado)
Drenaje longitudinal:	Muy ineficiente (no tiene cunetas)
Tránsito diario aprox.	Muy bajo, del orden de 20 vehículos diarios.
Costo de conservación:	\$ 3,100.00 km/año.
Velocidad de proyecto:	40 km/h
Tipo de pavimento:	Sobre el suelos de cimentación, principalmente "CL" y toba alterada, se construye una capa de revestimiento de 15 a 20 cm de espesor de grava triturada mezclada con un cementante limo-arcilloso, del lugar.
Señalamiento:	No tiene

Observando físicamente que el estado que guardaba la superficie de rodamiento, era muy diferente en los distintos tramos; de manera

arbitraria se clasificó ésta de: mala, regular y buena. Basándose union mente en un exámen visual de los "baches" y "deformaciones" que oresentaba.

Tramos con pendiente de:	Estado que guarda la superficie de rodamiento:
0.5 %	Mala
2.2 %	Mala
5.0 %	Regular
7.0 %	Buena
10.0 %	Regular
15.0 %	Regular

Las pendientes en que se efectuaron los estudios correspondieron a los tramos localizados en los siguientes kilometrajes:

Pendiente	0.5 % km	0 + 900
Pendiente	2.2 % km	1 + 840
Pendiente	5.0 % km	7 + 020
Pendiente	7.0 % km	8 + 940
Pendiente	10.0 % km	10.0 + 100
Pendiente	15.0 % km	10.0 + 900

En la actualidad se dispone de poca información a cerca de la composición del tránsito que circula en los caminos de mano de obra, - la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (SAHP), antes - Secretaría de Obras Públicas, (SOP), ha efectuado estudios muy completos en las carreteras principales del país, para definir la composición de su tránsito; concluyendo que está formado por 55 % de vehículos ligeros, 30 % de camiones y 15 % de autobuses; de los camiones el 75 % es de dos ejes.

Para los caminos de mano de obra, la SAHOP ya ha iniciado estudios similares tendientes a obtener datos a este respecto.

Al iniciar los estudios en el camino, se creyó en un principio, que el mayor volumen de tránsito lo hacían vehículos del tipo pick-up, o pequeños camiones de tres toneladas, basados en informaciones recabadas en las pequeñas poblaciones del lugar. Sin embargo, una vez que se empezaron a efectuar las mediciones de velocidad de régimen, durante el tiempo que duró el estudio, se notó que los camiones de dos ejes formaban, en la mayoría de los tramos, un porcentaje del mismo orden que los pick-up, y mayor que el resto de vehículos.

Las características y dimensiones aproximadas de los vehículos, a los que se les midieron sus velocidades de régimen, fueron:

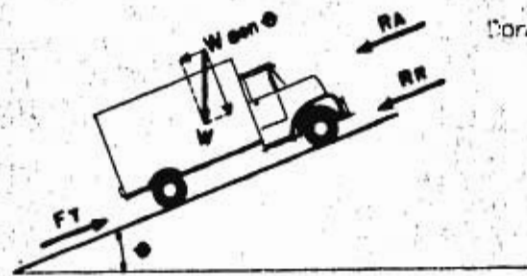
Relación de peso/potencia, en kg/hp	90	60	45
Peso total del vehículo, en kg	15000	10000	5000
Potencia del vehículo, en hp	167	167	111
Area frontal del vehículo, en m <sup>2</sup>	6.0	3.5	3.0
Eficiencia	0.8	0.8	0.8
Constante de resistencia al aire	0.005	0.005	0.005
Constante de resistencia al rodaje	0.05	0.05	0.05
	0.10	0.10	0.10
	0.15	0.15	0.15

### 3.- PLANTEAMIENTO MATEMATICO.

Para determinar las características aceleración-desaceleración de los camiones al entrar al ascenso de una pendiente, se escogió el planteamiento presentado por Magallanes y Negroe (Ref. 2).

Un camión al estar subiendo una pendiente, la fuerza neta disponible para acelerar, será igual a la fuerza tréctiva del motor,

menos las resistencias que se oponen a su movimiento, principalmente la del aire, a la rodadura y por pendiente; o sea:



$$F_D = F_T - R_A - R_R - R_P \quad (1)$$

Donde:  $F_T = \frac{270HP}{V} \cdot (CF) \quad (2)$

$$R_A = (K_a) A V^2 \quad (3)$$

$$R_R = (K_r) W \quad (4)$$

$$R_P = W \text{sen} \theta = W_p \quad (5)$$

Podemos poner:  $F_T - (R_A + R_R) - W \text{sen} \theta = \frac{W}{g} a \quad (6)$

si,  $P = F_T - (R_A + R_R)$  se tendrá:  $(7)$

$$P/W = \text{sen} \theta + \frac{a}{g} \quad (8)$$

En donde:

$F_T$  = fuerza tractiva neta del vehículo, en kg

$W$  = peso total del vehículo, en kg

$R_A$  = resistencia al aire, en kg

$R_R$  = resistencia de rodamiento, en kg

$R_P$  = resistencia a la pendiente, en kg

$CF$  = eficiencia del motor y transmisiones

$K_a$  = constante de resistencia al aire

$K_r$  = constante de resistencia al rodamiento

$hp$  = potencia neta del motor del vehículo, en hp

$V$  = velocidad media, en km/h

$A$  = area frontal del vehículo, en m<sup>2</sup>



- $\theta$  = ángulo de inclinación de la pendiente
- $p$  = pendiente de la tangente vertical, en m/m
- $G$  = aceleración gravitacional, en m/seg<sup>2</sup>
- $a$  = aceleración del vehículo, en m/seg<sup>2</sup>
- $P$  = fuerza disponible para acelerar al vehículo, una vez vencidas las resistencias al aire y al rodamiento.

Cuando por efecto de la pendiente, la velocidad del vehículo se estabiliza, y en consecuencia se llega a la velocidad de régimen ( $V_R$ ). Se tendrá que " $a = 0$ ", y por lo tanto, la expresión (8) queda:

$$P/W = \text{sen} \theta \doteq \text{tang} \theta = p \quad (9)$$

La expresión (1) se puede poner en los siguientes términos:

$$F_D = \frac{W}{g} a = \frac{270HP}{V} CF - K_a A V^2 - W (K_r + \text{sen} \theta) \quad (10)$$

Que alcanza la velocidad de régimen ( $V_R$ ),  $a = 0$ , queda:

$$\frac{270HP}{V} CF - K_a A V^2 - W (K_r + \text{sen} \theta) = 0 \quad (11)$$

$$\text{sen} \theta = \frac{270HP}{VW} CF - \frac{K_a A V^2}{W} - K_r \quad (12)$$

Para el cálculo de la longitud requerida en metros, para que un vehículo pase de una velocidad  $V_1$ , a la velocidad  $V_2$ , se partió de la expresión para movimiento con aceleración uniforme:

$$L = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2a} = \frac{W}{254F_D} (V_2^2 - V_1^2) \quad (13)$$

Considerando la velocidad en km/h,  $W$  en kg, y  $F_D$  en kg.

El tiempo requerido en segundos para que el vehículo pasa de la velocidad  $V_1$  a la velocidad  $V_2$  puede calcularse mediante la expresión:

$$T = \frac{V_2 - V_1}{35.4 F_D} W \quad (14)$$

considerando la velocidad en km/h,  $W$  en kg, y  $F_D$  en kg.

En las figuras 1 al 9, se muestran las relaciones entre velocidad de régimen y la relación  $P/W = \text{sen } \theta = \text{tg } \theta = p$ , para los vehículos cuyas dimensiones y características se dieron en la página num. (4). Se determinaron con las expresiones (9) a (12) para  $F_D = 0$ , obteniendo de esta manera, el valor de  $V_r = V$  para cada valor de  $p = \text{tg } \theta = \text{sen } \theta = P/W$ .

Para determinar la aplicabilidad de las curvas resultantes a las características de operación, que en realidad presentaron los vehículos en el camino de mano de obra, con superficie de rodamiento de tierra; se determinaron nueve curvas haciendo variar el coeficiente de resistencia a la rodadura ( $K_r$ ), de 0.05, 0.10 y 0.15.

En las figuras 4 al 6 se observan, que con el coeficiente  $K_r = 0.10$ , hay una cierta concordancia entre las velocidades de régimen medias tomadas en el camino, (en los tramos con superficie de rodamiento en regular estado), con las velocidades de régimen teóricas, tanto para camiones de 90 kg/hp, como para camiones pequeños de 60 kg/hp y 45 kg/hp. Con los coeficientes  $K_r = 0.05$  y  $K_r = 0.15$  francamente se dispararon,

La distribución de las velocidades de régimen observadas en el camino, de los vehículos cargados en tangentes de pendiente conocida; se muestran en las figuras 10 al 12

Se hace notar que el número de muestras tomadas, fue reducido, debido a que el tránsito diario en este camino es muy bajo del orden de 20 vehículos diarios, como ya se había anotado.

Otro hecho notable encontrado, es, que las velocidades de régimen en pendientes suaves con superficie de rodamiento en mal estado, fueron del mismo orden que las observadas en pendientes fuertes, con superficie de rodamiento en mejores condiciones.

La opinión de algunos conductores explicando este hecho, indica que en los tramos de camino con pendientes pequeñas ó a nivel, tienen más cuidado de evitar los baches, disminuyendo mucho la velocidad; cosa que en subidas pronunciadas no lo hacen, prefiriendo que el camión se golpee más, pero no bajar demasiado la velocidad.

En la figura 13, se determinó la proporción en que cada vehículo interviene en la corriente de tránsito en este camino, tomando las velocidades de régimen correspondientes al 85 percentil, de las curvas de distribución de las figuras 10, 11, y 12. El resultado fué:

En superficie de rodamiento buena:

Vehículos tipo C-2,	(90 kg/hp)	=	45 %
Vehículos tipo Ac,	(60 kg/hp)	=	25 %
Vehículos tipo pick-up.	(45 kg/hp)	=	30 %

En superficie de rodamiento regular:

Vehículos tipo C-2,	(90 kg/hp)	=	37 %
Vehículos tipo Ac,	(60 kg/hp)	=	20 %
Vehículos tipo pick-up.	(45 kg/hp)	=	43 %

En superficie de rodamiento mala:

Vehículos tipo C-2,	(90 kg/hp)	=	30.5 %
Vehículos tipo Ac,	(60 kg/hp)	=	27.5 %
Vehículos tipo pick-up.	(45 kg/hp)	=	42.0 %

Se hizo una segunda determinación de la composición del

tránsito tomando como base, el conteo de vehículos, que se hizo en las 10.0 hr que se estuvo en el camino, durante los sesenta días (meses - octubre, noviembre y diciembre) en que se efectuó este estudio. La - - composición de tránsito registrada para 546 vehículos fué:

Vehículos ligeros	18.7 %	
Autobuses	7.1 %	
Vehículos tipo pick-up.	31.5 %	42.5 %
Vehículos tipo A0, (60 kg/hp)	15.2 %	20.5 %
Vehículos tipo C-2, (90 kg/hp)	<u>27.5 %</u>	<u>37.0 %</u>
	100.0 %	

El cálculo de las características de aceleración-desceleración en los vehículos considerados en este estudio, se hicieron con las expresiones (10), (12) y los parámetros ya mencionados; variando el coeficiente de resistencia a la rodadura,  $K_r$  de 0.05, 0.10 y 0.15. Los resultados se muestran en las gráficas num. 14 al 22.

Utilizando el método que indica el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras SOP, las gráficas num. 14 al 22 pueden utilizarse en el cálculo de velocidades y tiempos recorridos para diferentes pendientes.

Otra aplicación de las curvas aceleración-desceleración, es para determinar la longitud crítica de la pendiente máxima; o sea, aquella longitud en que las velocidades de los vehículos no se reducen más de una magnitud determinada.

#### 4.- CONCLUSIONES

a) Las velocidades de régimen medias observadas en el camino, fueron francamente bajas; tanto en los tramos de poca pendiente, como en los tramos de fuerte pendiente.

Para vehículos tipo C-2 (90 kg/hp), la mayor velocidad de régimen media obtenida fué de 20.19 km/h en el tramo con pendiente de 7.0 % - con superficie de rodamiento en buen estado; la menor, de 8.40 km/h - en el tramo de pendiente de 15 % con superficie de rodamiento en regular estado.

Para vehículos tipo Ac (60 kg/hp), la mayor velocidad de régimen media obtenida fué de 23.46 km/h en el tramo con pendiente de 7.0 %, - con superficie de rodamiento en buen estado; la menor, de 12.50 km/h en el tramo con pendiente del 15 %, con superficie de rodamiento en regular estado.

Para vehículos tipo pick-up (45 kg/hp), la mayor velocidad de régimen media obtenida fué de 31.8 km/h en el tramo con pendiente de 7.0 %, - con superficie de rodamiento en buen estado; la menor, de 15.58 km/h en el tramo con pendiente de 0.5 %, con superficie de rodamiento en mal estado.

- b) El estado que guarda la superficie de rodamiento tiene una influencia determinante en las velocidades de régimen. Presentándose el caso de velocidades de régimen más bajas en pendientes a nivel, que en pendientes del 10 % o 15 %, donde su superficie de rodamiento presentaba mejores condiciones.
- c) En la composición de tránsito de vehículos de carga; el camión tipo C-2 (90 kg/hp), tuvo mayor porcentaje que el camión pequeño tipo Ac (60 kg/hp), y casi del mismo orden del pick-up, (45 kg/hp).
- d) Las curvas teóricas sen  $\theta$  - velocidad de régimen, desarrolladas con un coeficiente de resistencia al rodamiento  $K_r = 0.10$  fueron las que presentaron mejor concordancia con las velocidades de régimen observadas, (para la mayoría de los vehículos de carga que se anotaron), en tramos con superficie de rodamiento en regular estado.

- 11
- e) Los conductores de vehículos al ascender en pendientes fuertes tienden a no bajar la velocidad, aunque el camino tenga superficie de rodamiento francamente mala, causando gran deterioro a sus camiones. Disminuir la pendiente máxima, para este tipo de camino a 12 %, reduciría notablemente el costo de operación. Además se mejoraría, encuando a la posibilidad de accidentes, por la paligrosidad que presentan los tramos de camino, con pendientes del 17 % o 15 %.
- f) Dar mayor énfasis a una conservación bien programada, con mano de obra de la región, que deje una superficie de rodamiento en buen estado todo el año, se reflejaría en otra reducción en el costo de operación muy considerable.

## 5.- REFERENCIAS

- 1.- "Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras", Secretaría de Obras Públicas, México (1971)
- 2.- Roberto Magallanes y G. Negroe, "Operación de Vehículos en Pendiente", Informe Instituto de Ingeniería, UNAM, México (1976)
- 3.- Roberto Magallanes, "Proyecto de Especificaciones Geométricas Para Caminos de Bajo Costo", Informe Instituto de Ingeniería, UNAM, México (1972)
- 4.- Schwar J. F, y J. P. Huarte "Statistical Methods in Traffic Engineering", Ohio State University (1976)
- 5.- "Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito", Representación y Servicios de Ingeniería, S.A.. segunda reimpresión (1974)
- 6.- "Engineering Mechanics", Fairman y Cutchall, John Wiley (1966)

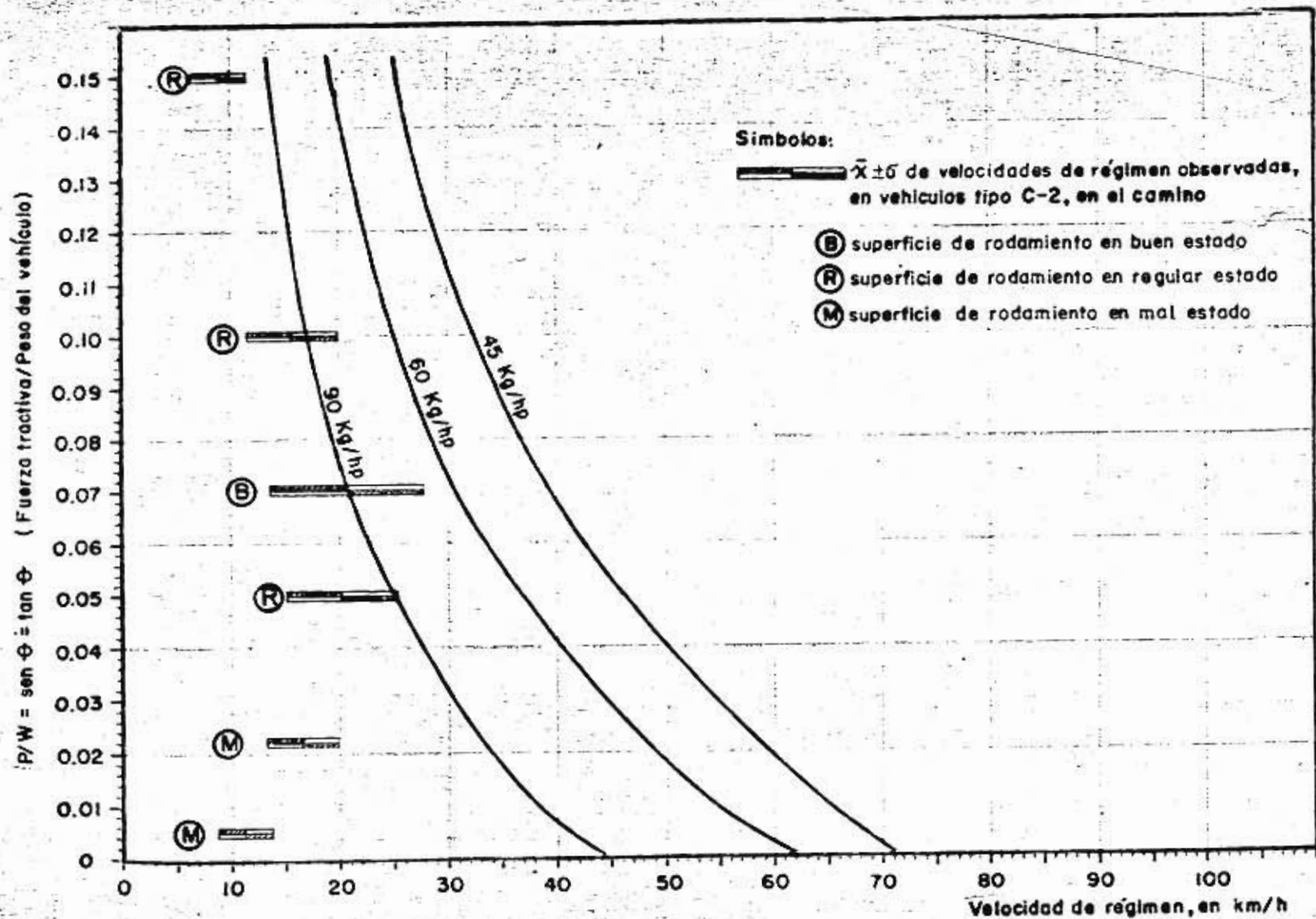


Fig 1 Relación entre velocidad de régimen y pendiente de la tangente vertical ( $k_r=0.05$ )



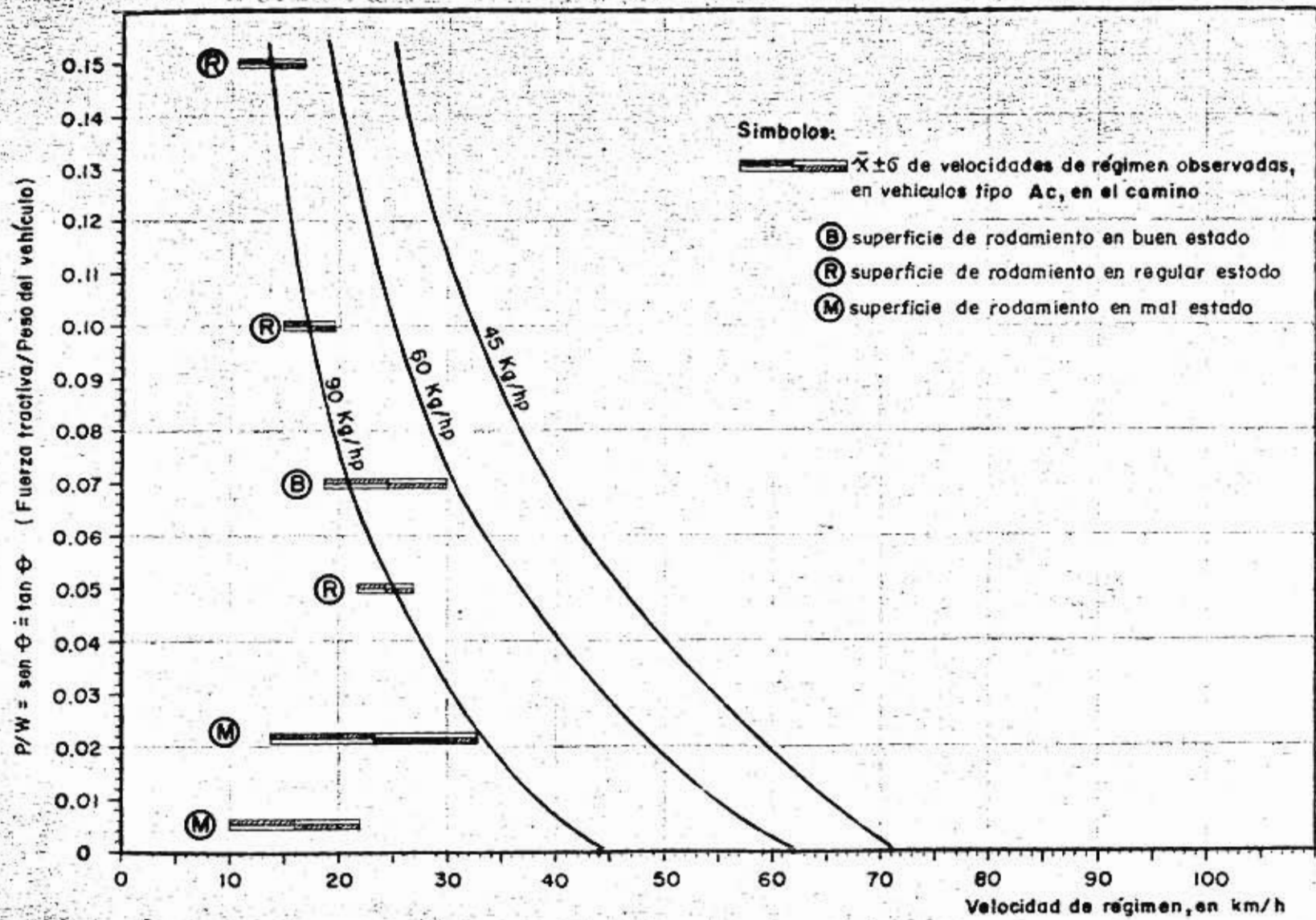


Fig 2 Relación entre velocidad de régimen y pendiente de la tangente vertical (kr=0.05)

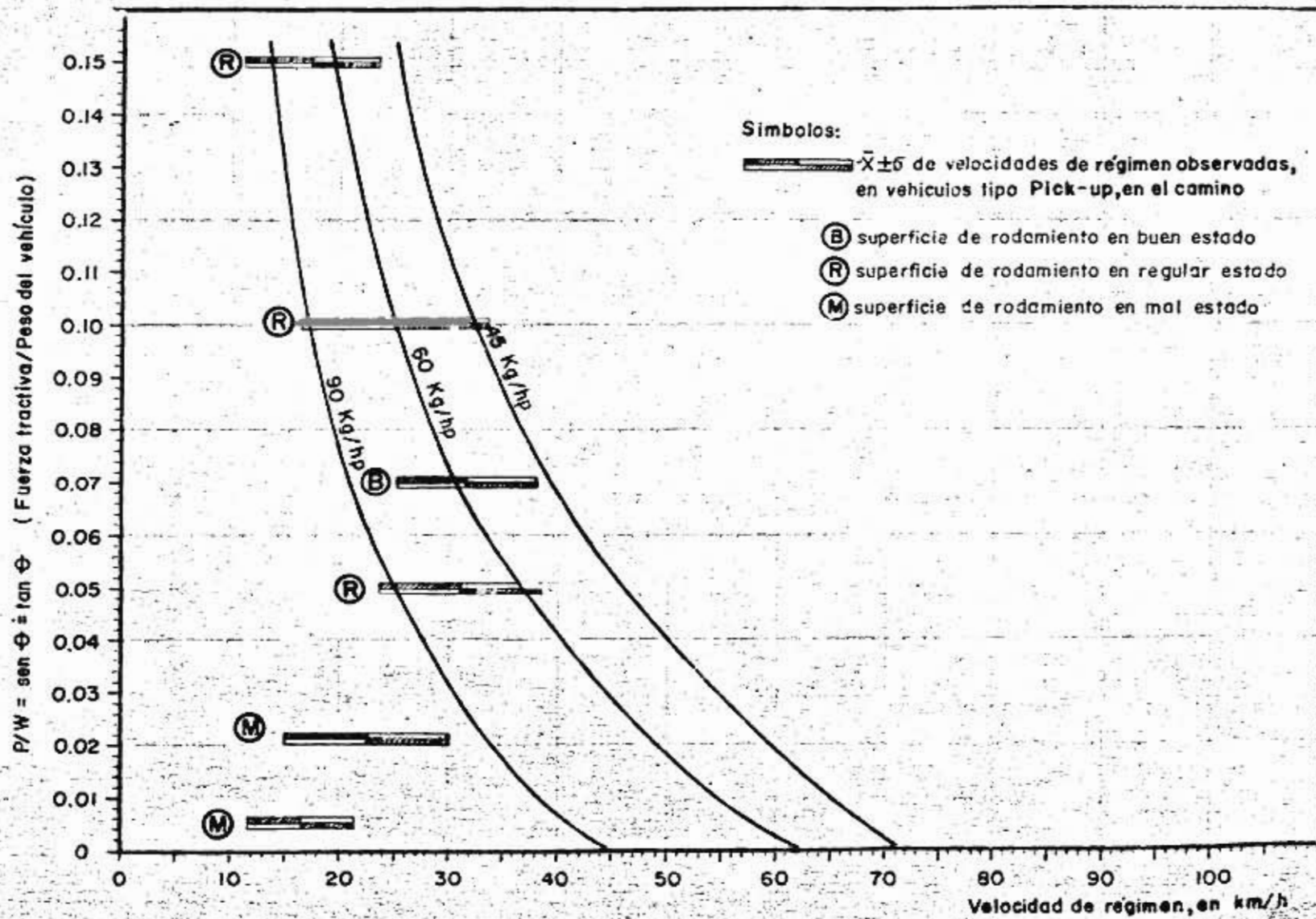


Fig 3 Relación entre velocidad de régimen y pendiente de la tangente vertical (kr=0.05)

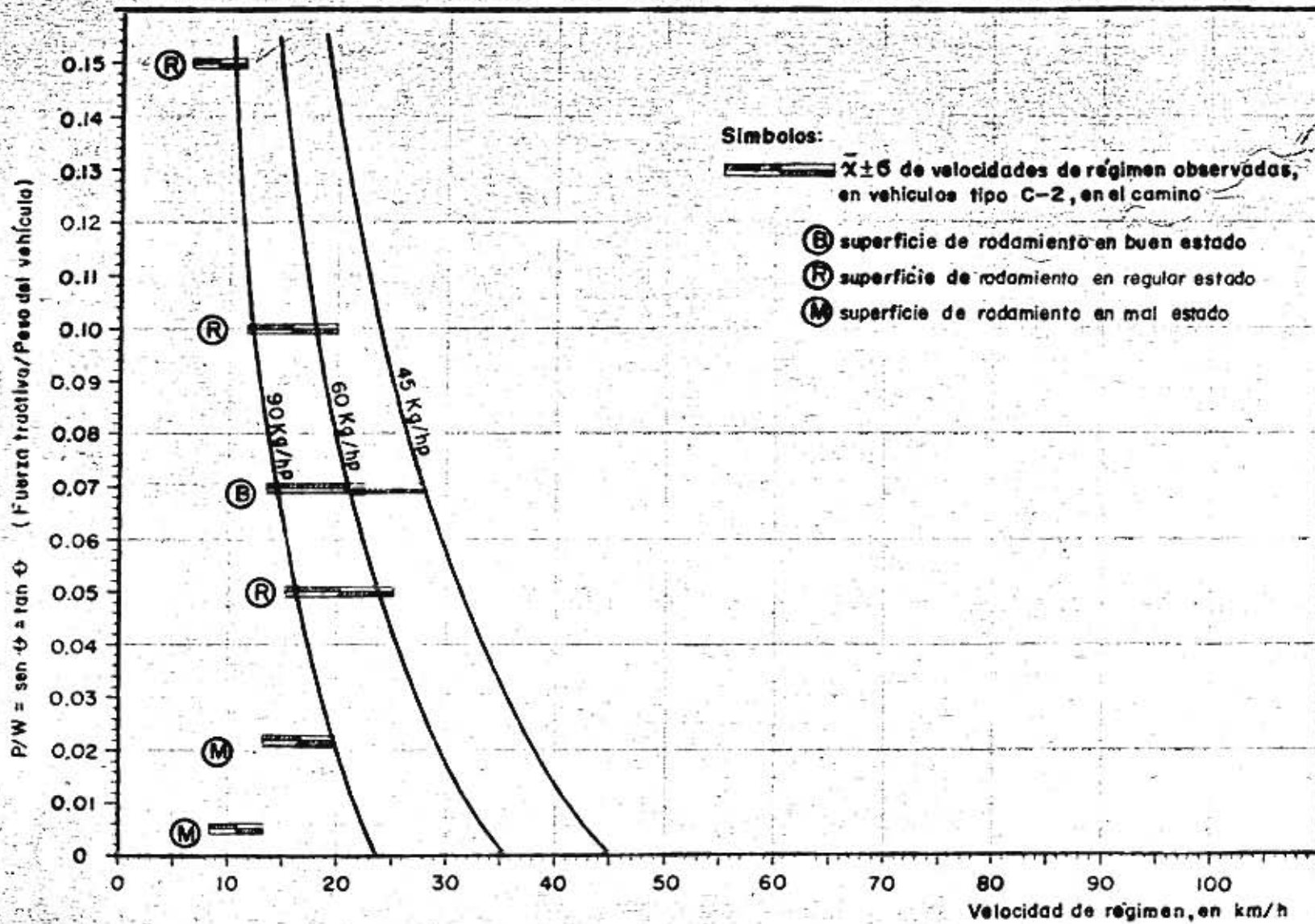


Fig. 4 - Relación entre velocidad de régimen y pendiente de la tangente vertical ( $k_r=0.10$ )

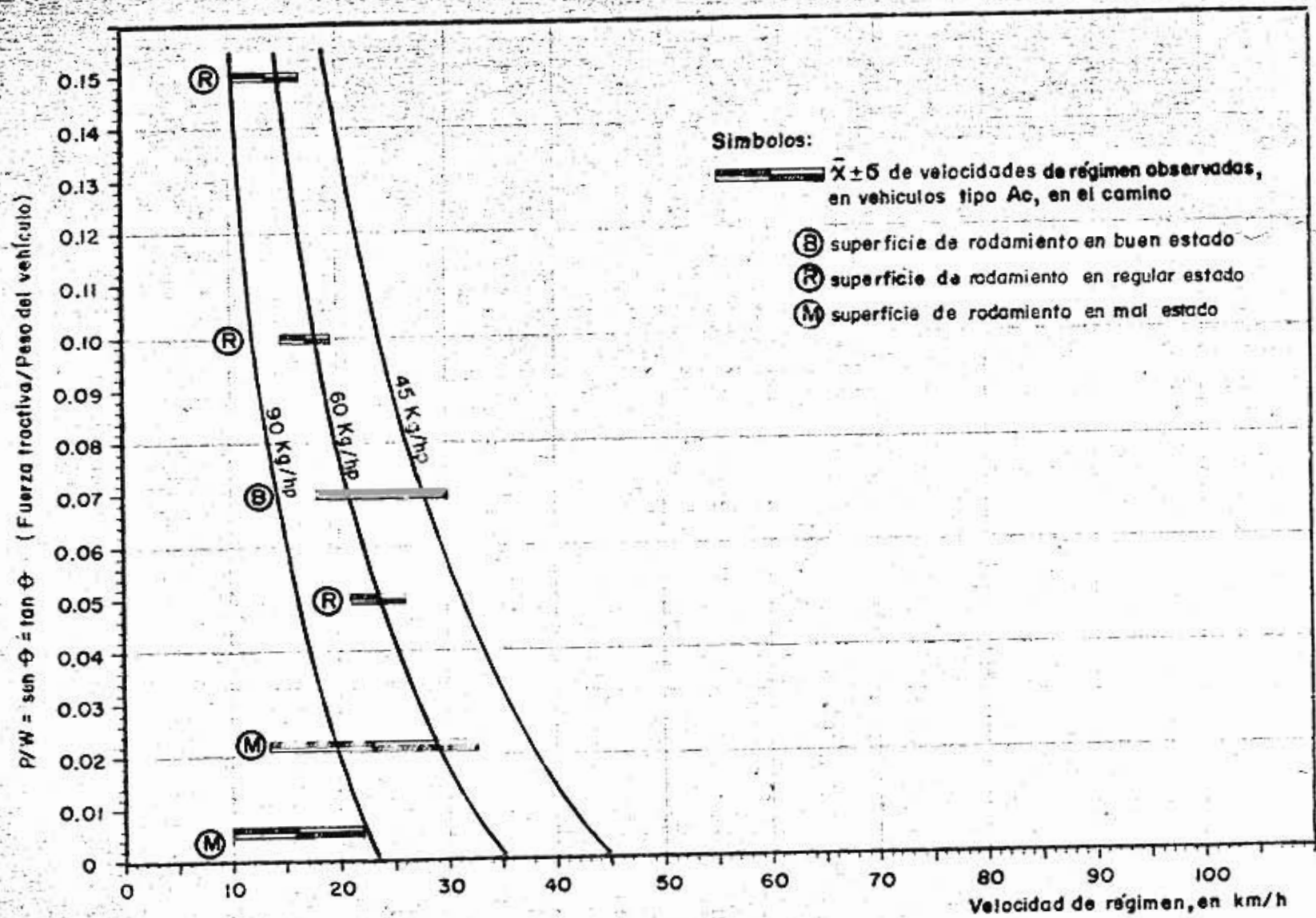


Fig 5 Relación entre velocidad de régimen y pendiente de la tangente vertical ( $kr=0.10$ )

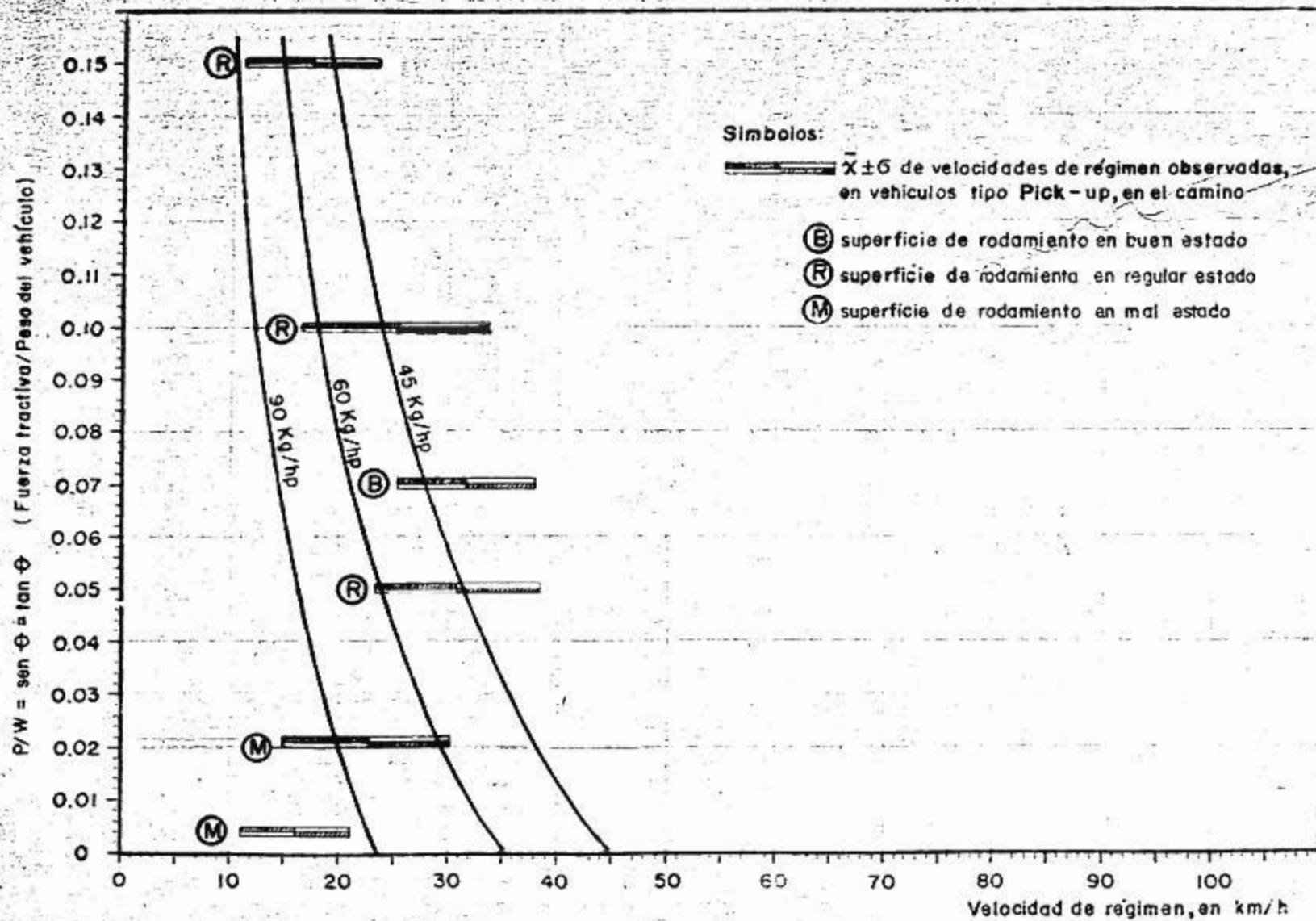


Fig 6 Relación entre velocidad de régimen y pendiente de la tangente vertical ( $k_r=0.10$ )

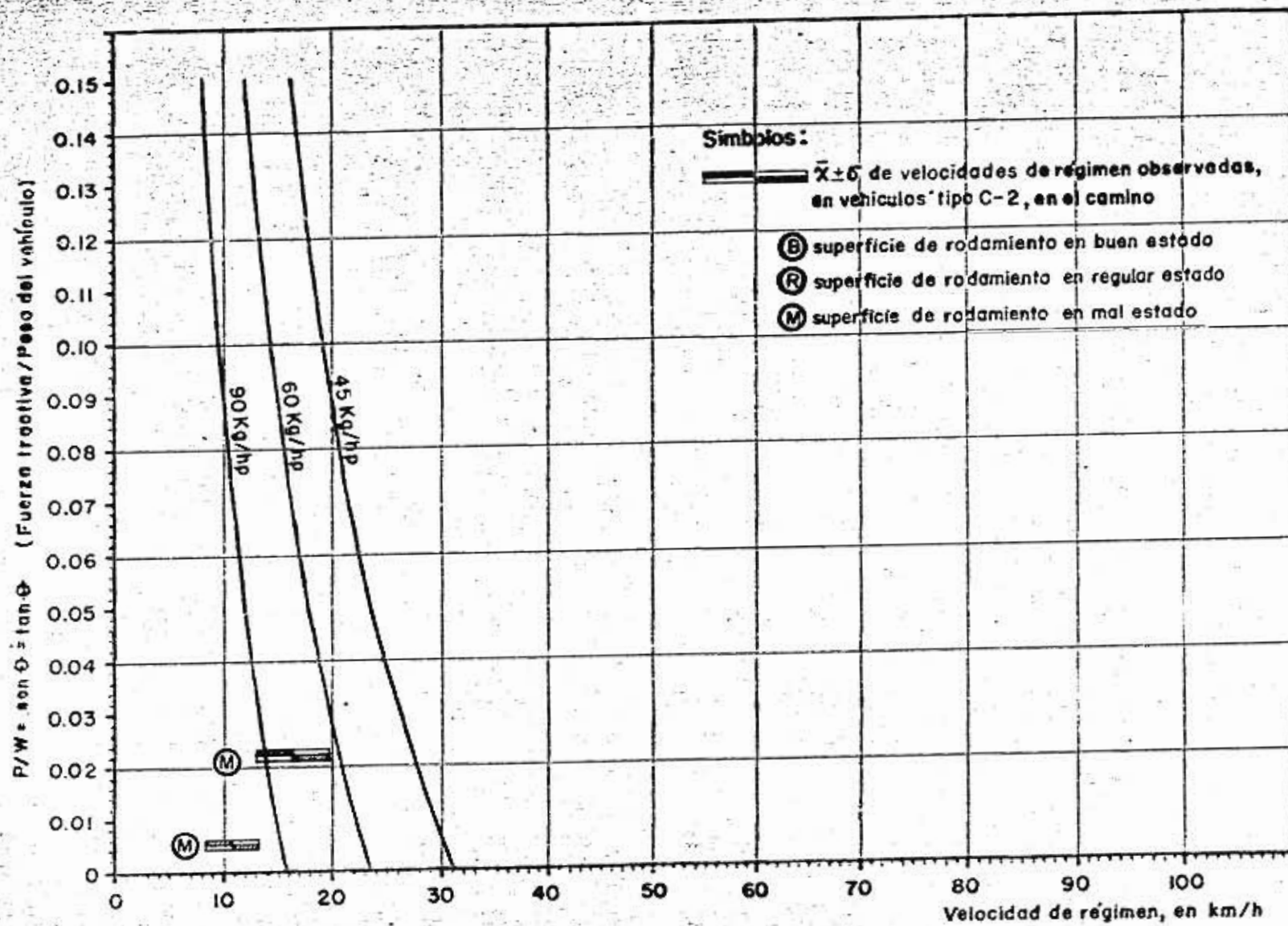


Fig 7 Relación entre velocidad de régimen y pendiente de la tangente vertical ( $k_r=0.15$ )

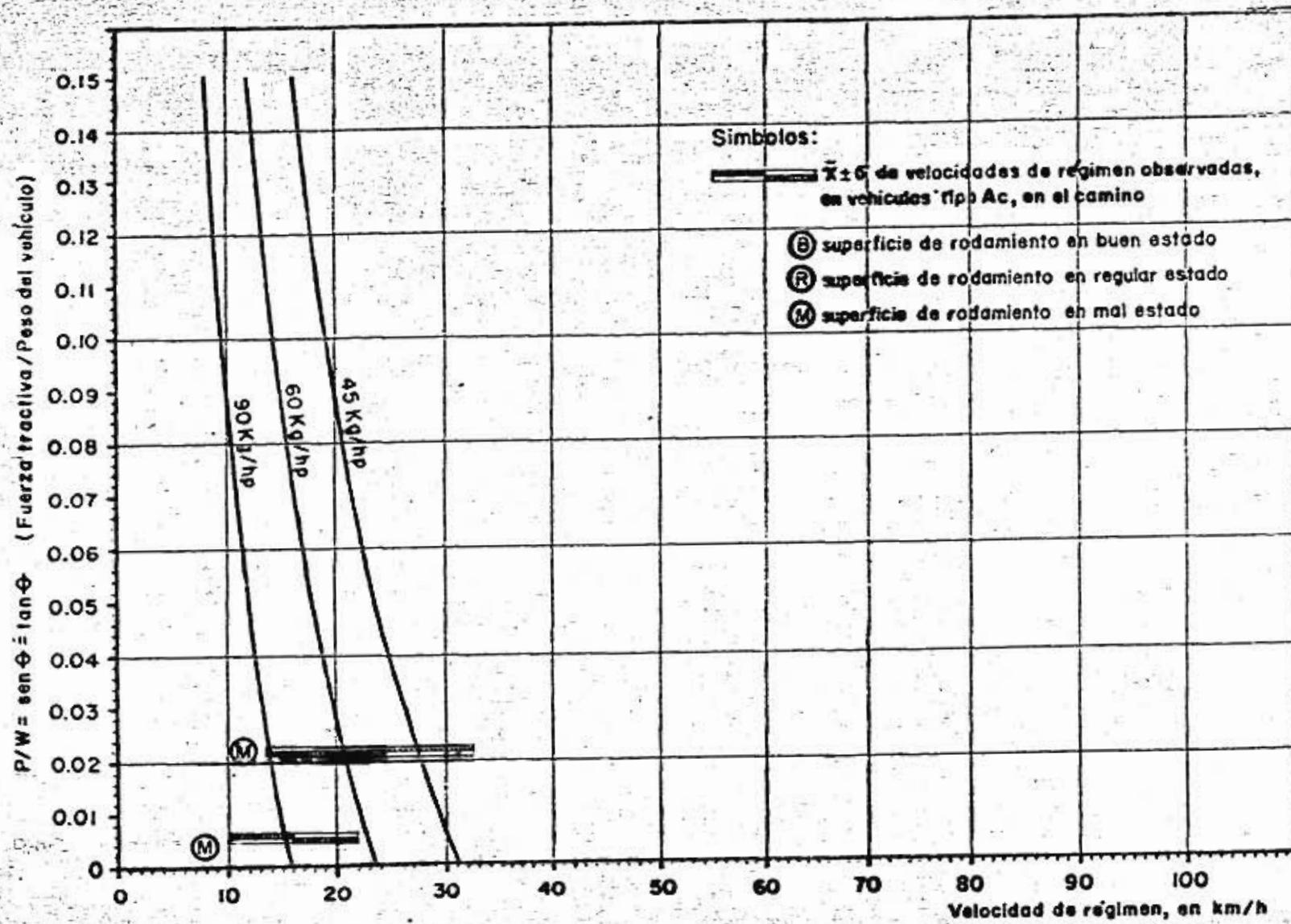


Fig 8 Relación entre velocidad de régimen y pendiente de la tangente vertical ( $k_r=0.15$ )

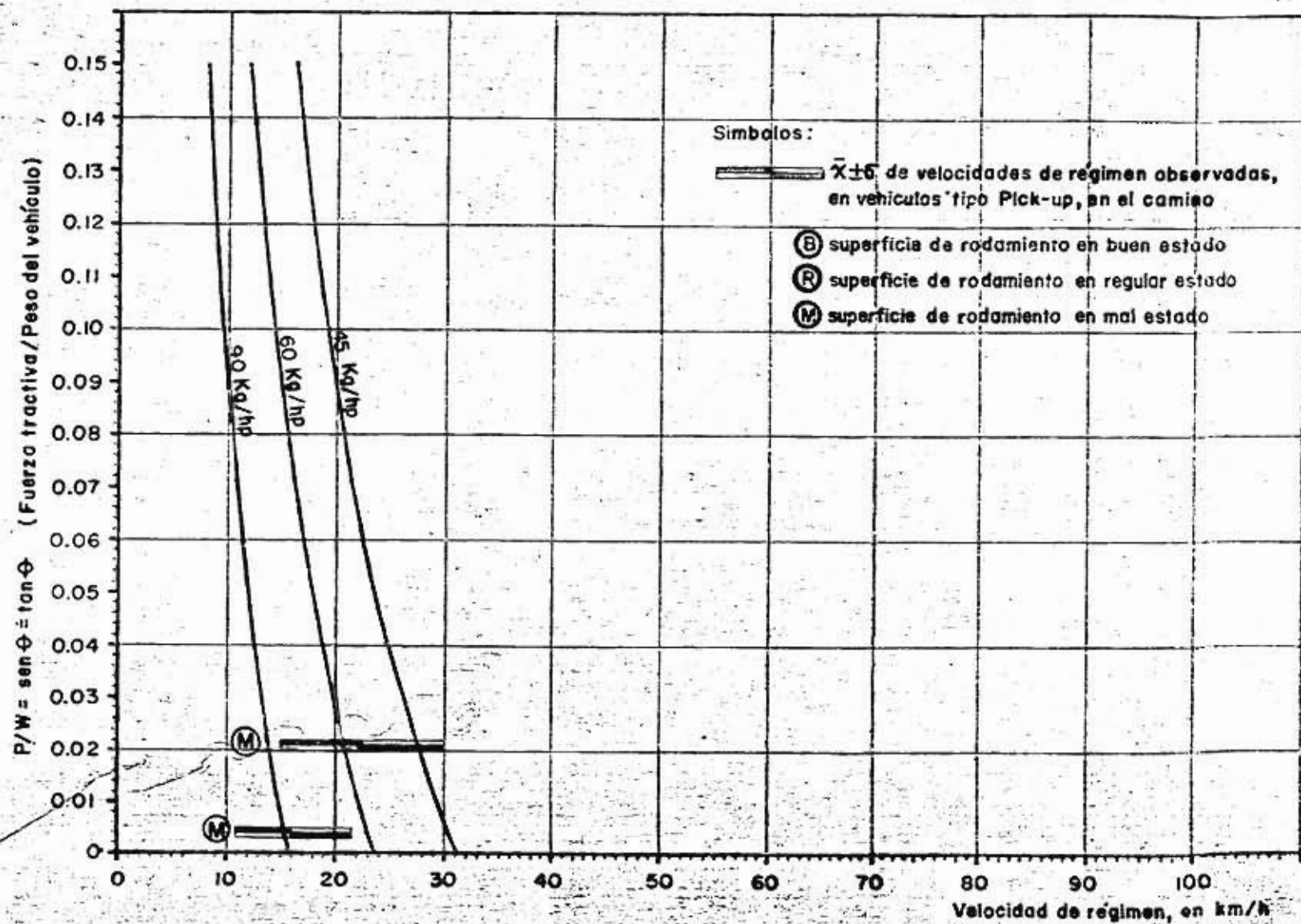
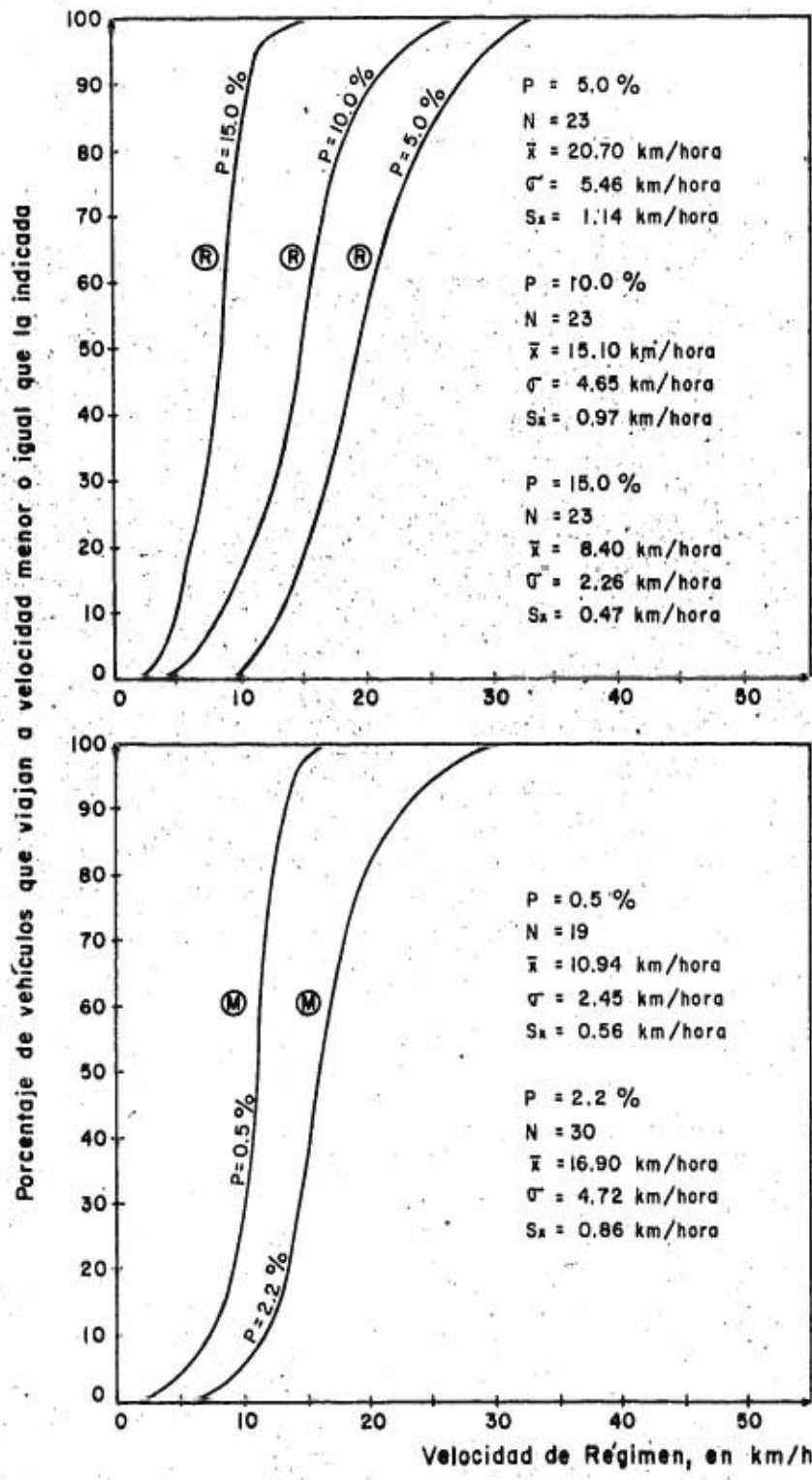


Fig 9 - Relación entre velocidad de régimen y pendiente de la tangente vertical ( $k_r=0.15$ )



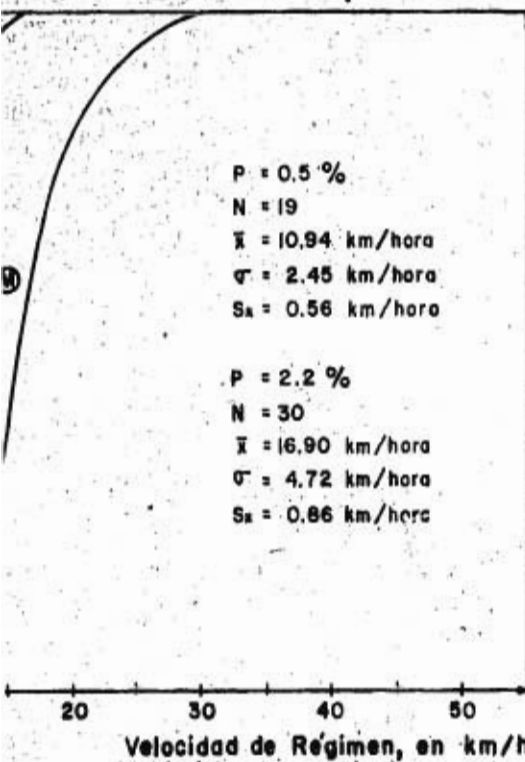
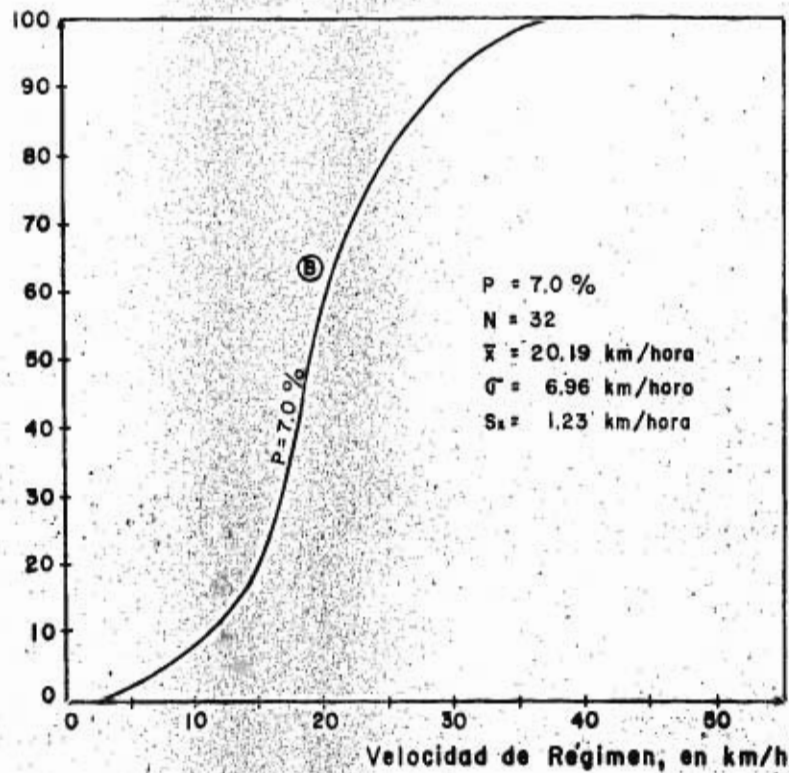
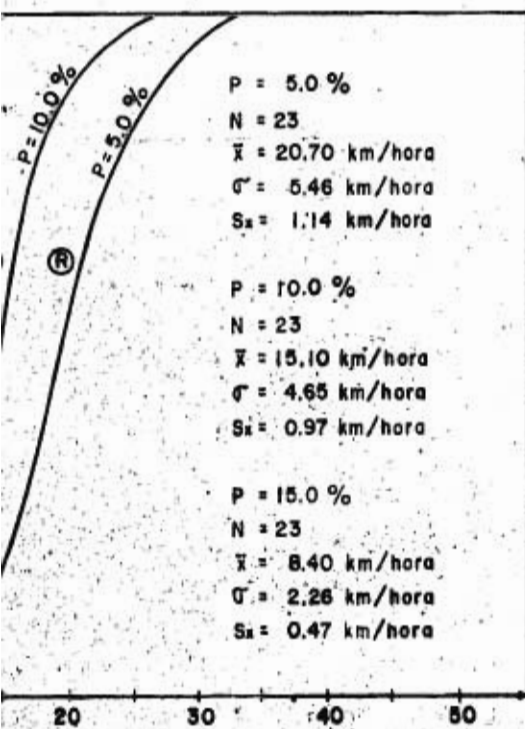


**VEHICULOS TIPO**

**SIMBOLOS**

- P = Pendiente del camino
- N = Número de vehículos
- $\bar{x}$  = Media en km/hora
- $\sigma$  = Desviación estándar en km/hora
- $S_x$  = Error de la media en km/hora
- Ⓟ = Superficie de rodamiento en b
- Ⓡ = Superficie de rodamiento en r
- Ⓜ = Superficie de rodamiento en m

Fig 10 Distribuciones de velocidades de régimen observadas en el camino

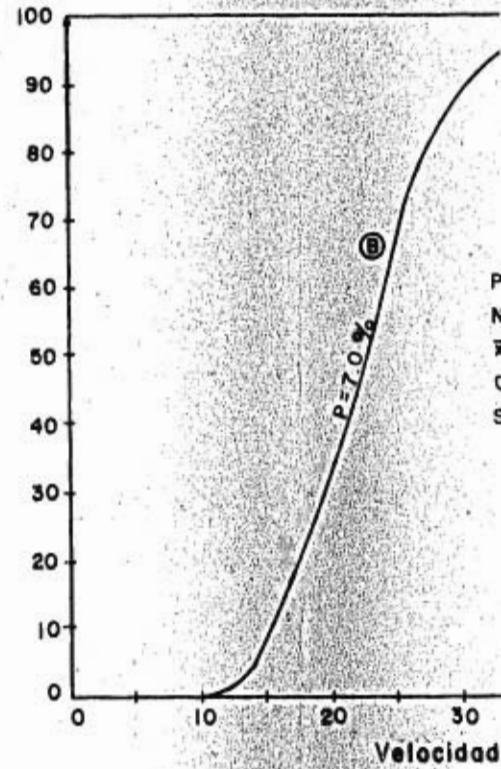
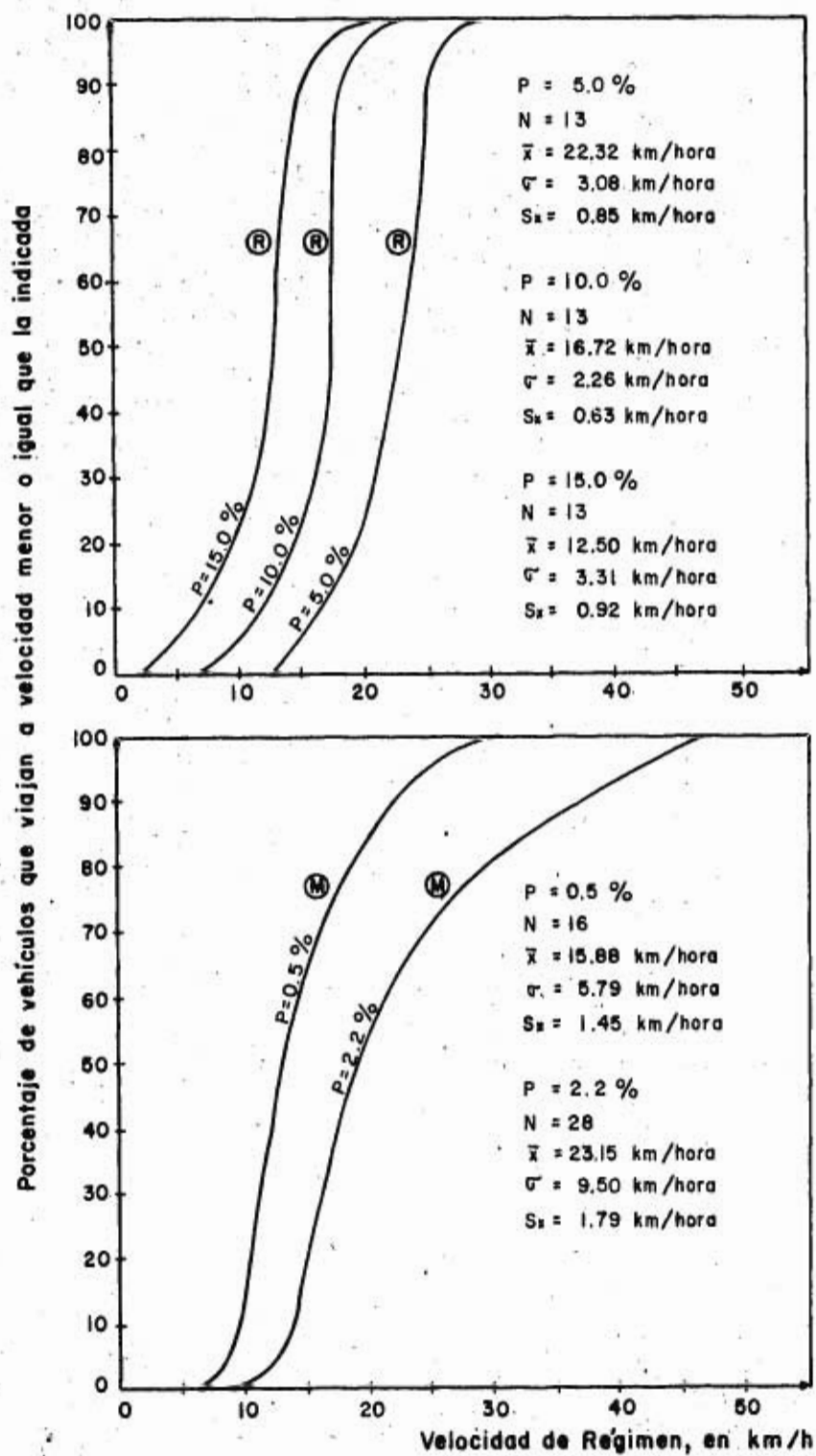


VEHICULOS TIPO C-2 DE 90 Kg/H.P.

SIMBOLOS

- P = Pendiente del camino
- N = Número de vehículos
- $\bar{x}$  = Media en km/hora
- $\sigma$  = Desviación estándar en km/hora
- $S_x$  = Error de la media en km/hora
- ⓑ = Superficie de rodamiento en buen estado
- Ⓡ = Superficie de rodamiento en regular estado
- Ⓜ = Superficie de rodamiento en mal estado

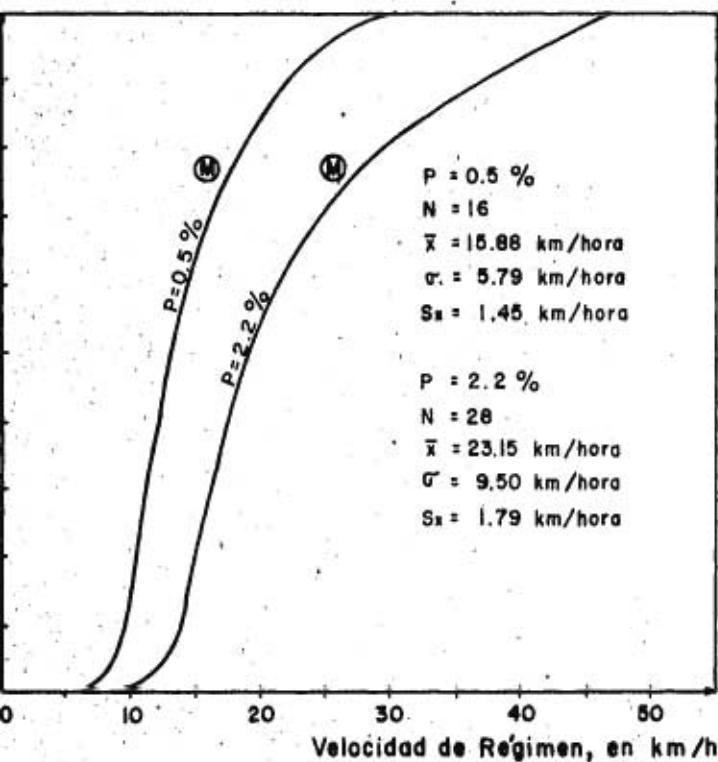
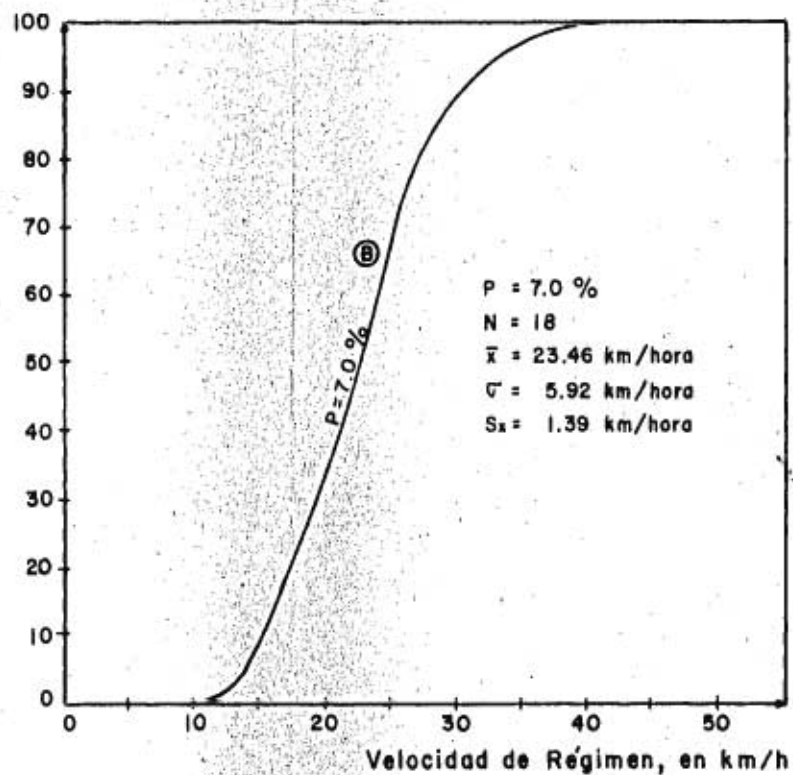
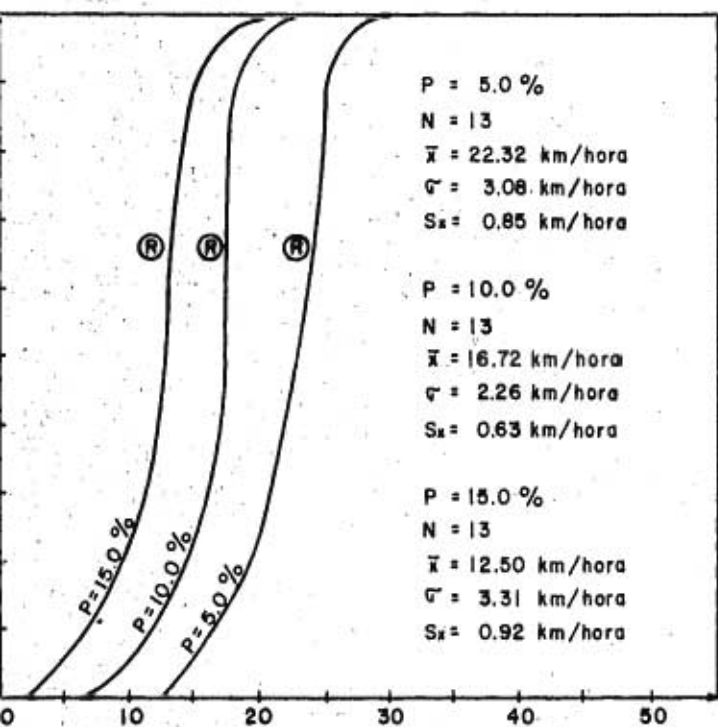
s de velocidades de régimen observadas en el camino



#### VEHICULOS TÍPICOS

- SIMBOLOS**
- $P$  = Pendiente del camino
  - $N$  = Número de vehículos
  - $\bar{x}$  = Media en km/hora
  - $\sigma$  = Desviación estándar en km/hora
  - $S_x$  = Error de la media en km/hora
  - $(B)$  = Superficie de rodamiento en...
  - $(R)$  = Superficie de rodamiento en...
  - $(M)$  = Superficie de rodamiento en...

Fig II Distribuciones de velocidades de régimen observadas en el camino

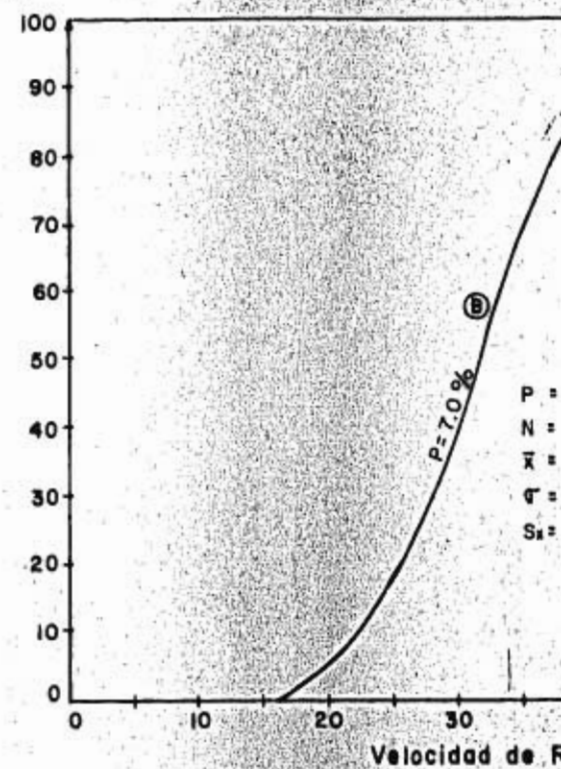
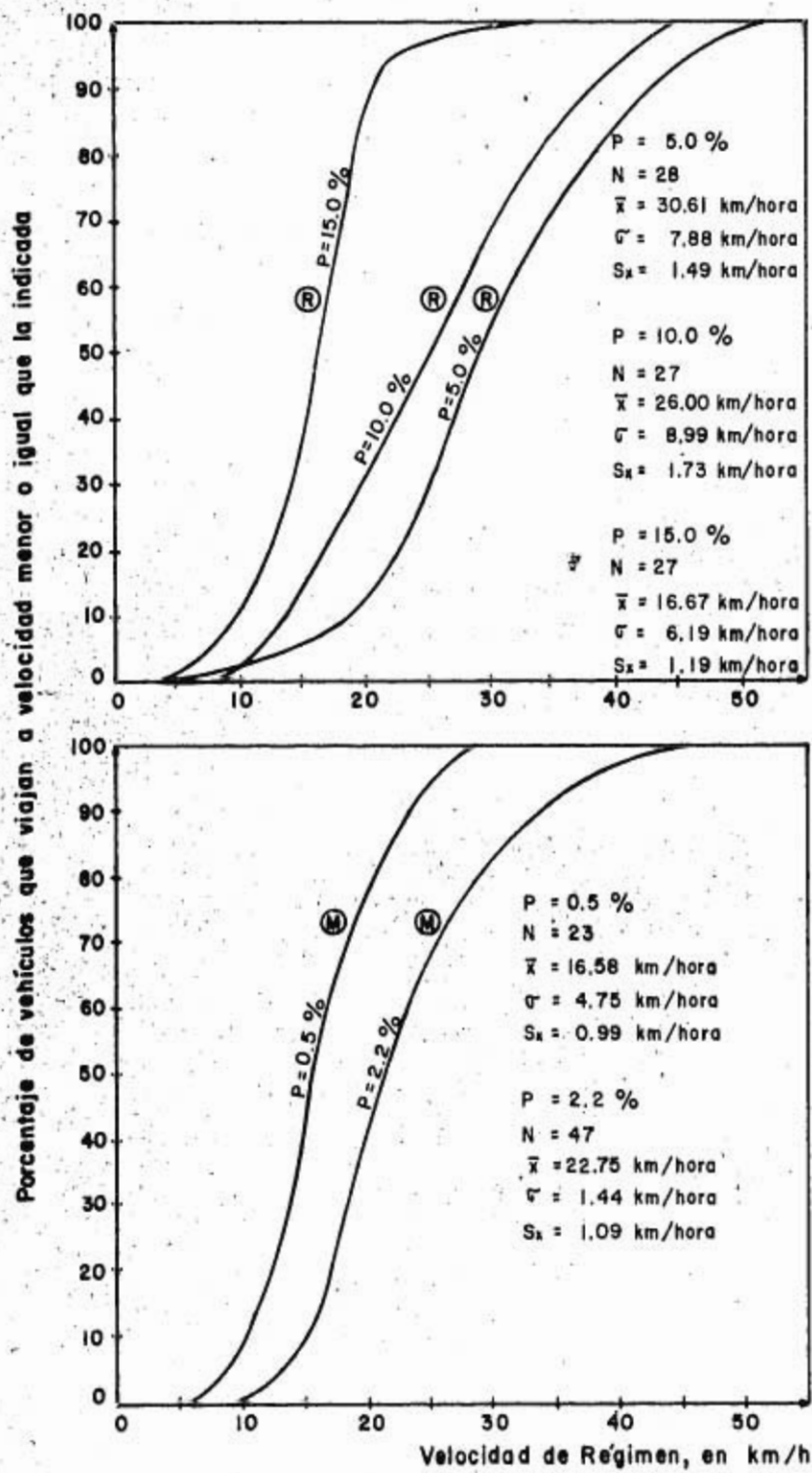


VEHICULOS TIPO Ac DE 60 Kg/H.P.

SIMBOLOS

- P = Pendiente del camino
- N = Número de vehículos
- $\bar{x}$  = Media en km/hora
- $\sigma$  = Desviación estándar en km/hora
- $S_x$  = Error de la media en km/hora
- (B) = Superficie de rodamiento en buen estado
- (R) = Superficie de rodamiento en regular estado
- (M) = Superficie de rodamiento en mal estado

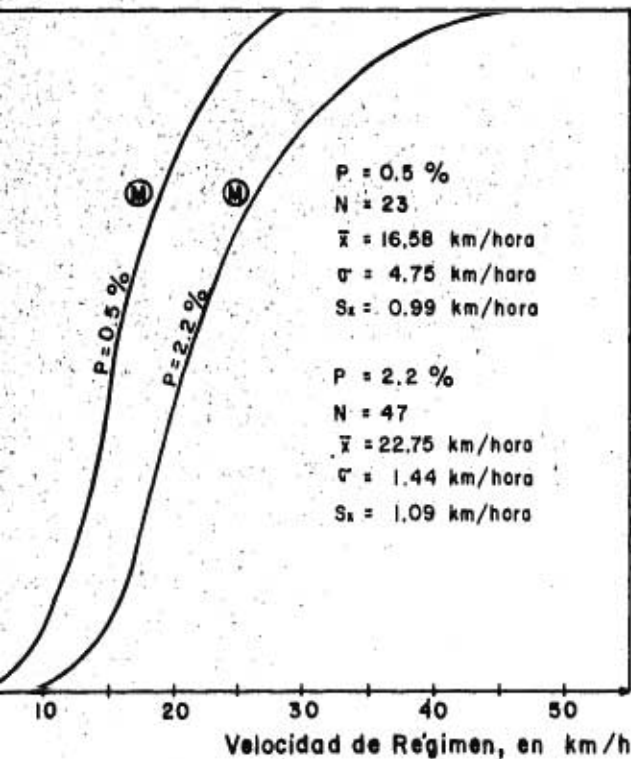
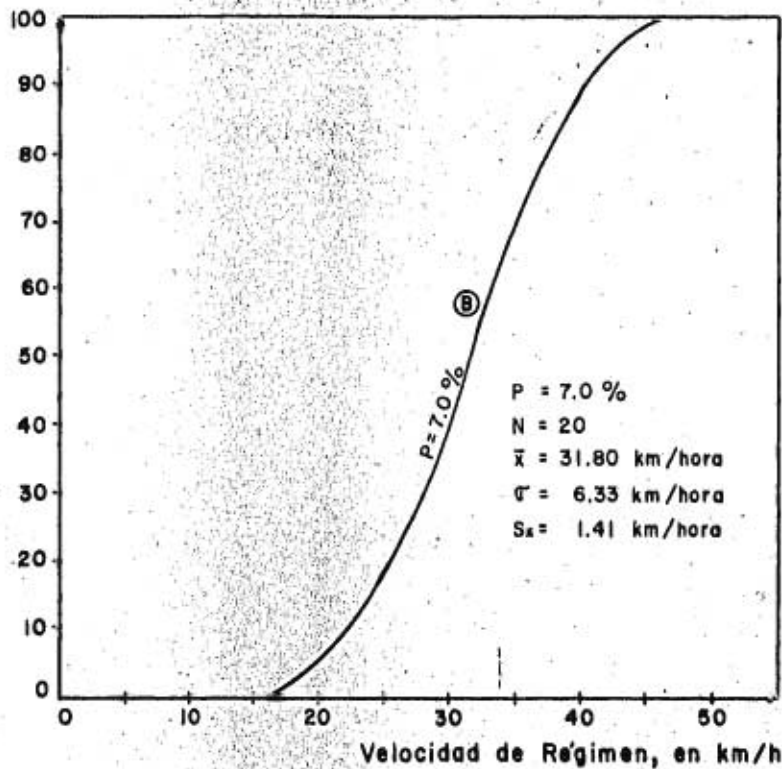
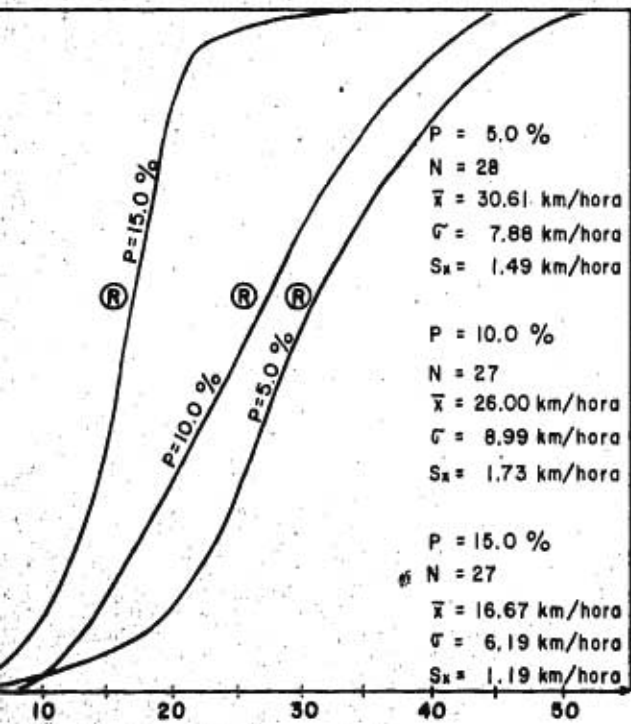
Distribuciones de velocidades de régimen observadas en el camino



**VEHICULOS TIPO PICK**

- SIMBOLOS**
- P = Pendiente del camino
  - N = Número de vehículos
  - $\bar{x}$  = Media en km/hora
  - $\sigma$  = Desviación estándar en km/hora
  - $S_x$  = Error de la media en km/hora
  - ⓑ = Superficie de rodamiento en buen
  - Ⓡ = Superficie de rodamiento en regul
  - Ⓜ = Superficie de rodamiento en mal

Fig 12 Distribuciones de velocidades de régimen observadas en el camino

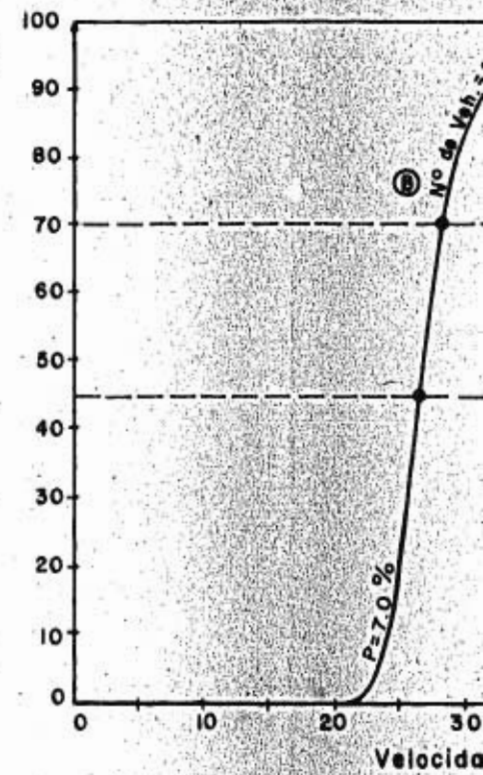
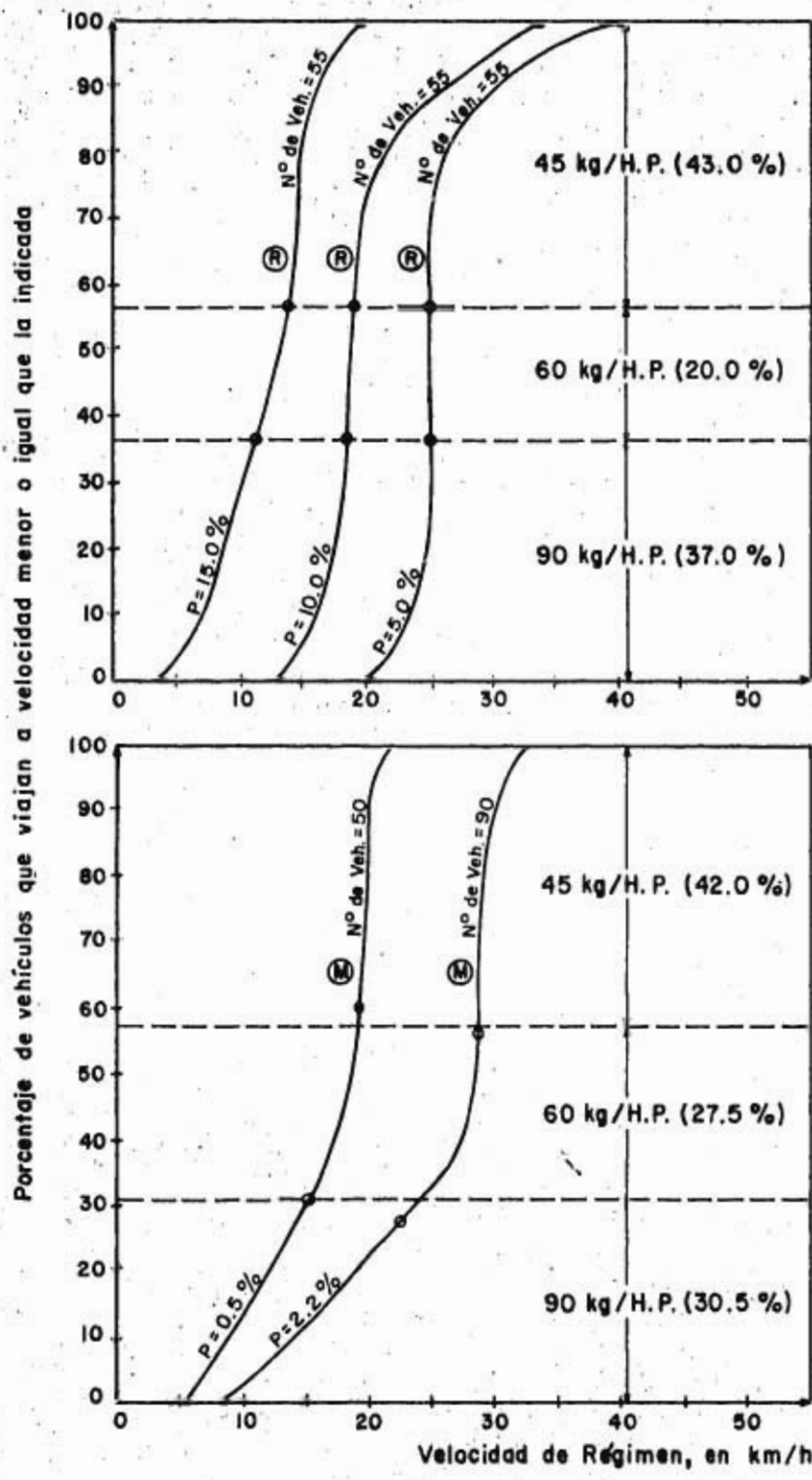


### VEHICULOS TIPO PICK-UP DE 45 Kg/H.P.

#### SIMBOLOS

- P = Pendiente del camino
- N = Número de vehículos
- $\bar{x}$  = Media en km/hora
- $\sigma$  = Desviación estándar en km/hora
- $S_x$  = Error de la media en km/hora
- ⓑ = Superficie de rodamiento en buen estado
- Ⓡ = Superficie de rodamiento en regular estado
- Ⓜ = Superficie de rodamiento en mal estado

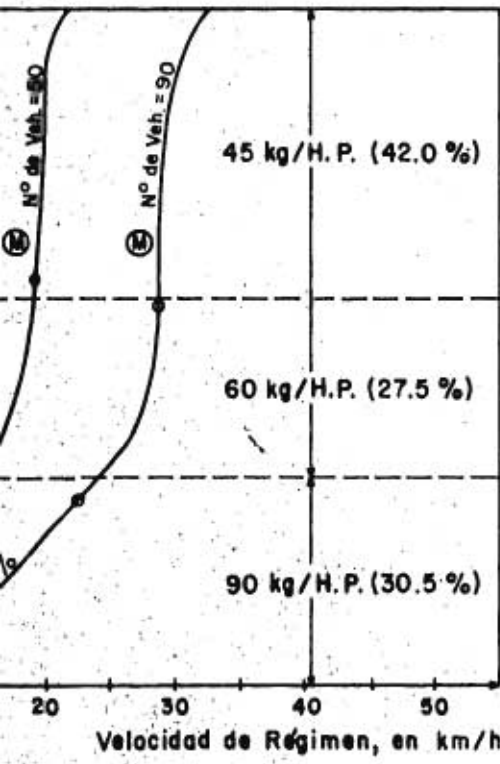
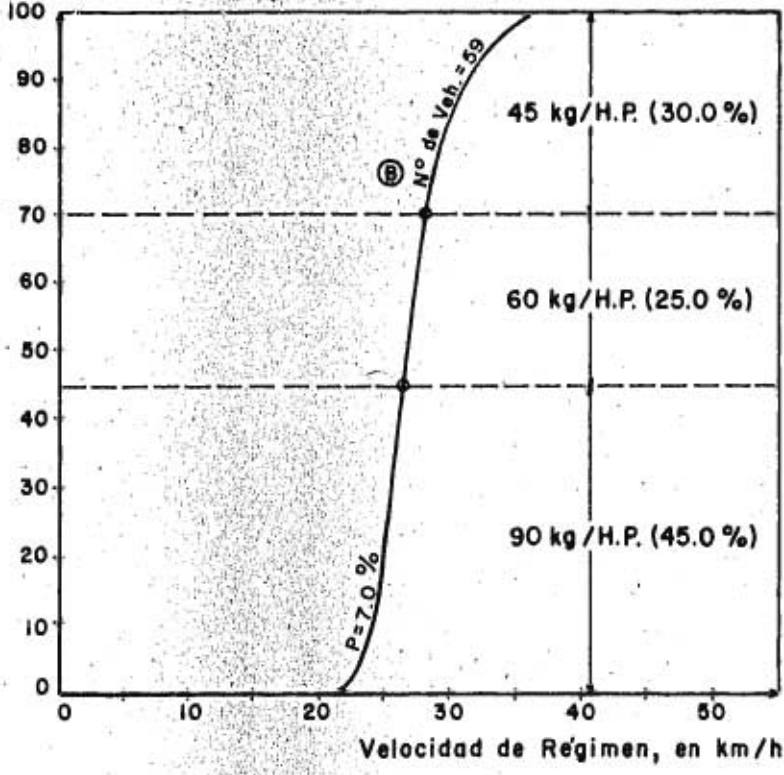
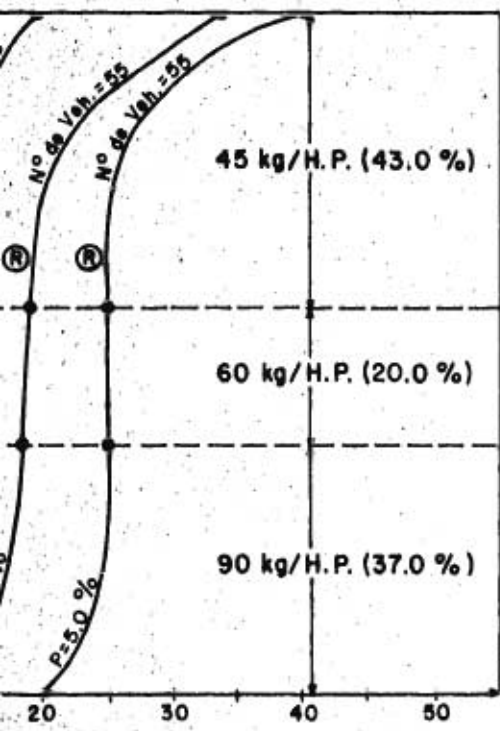
uciones de velocidades de régimen observadas en el camino



SIMBOLOS

- Ⓟ = Superficie de rodamiento
- Ⓡ = Superficie de rodamiento
- Ⓜ = Superficie de rodamiento

Fig 13 Distribuciones de velocidades de régimen observadas en el camino



SIMBOLOS  
 (B) = Superficie de rodamiento en buen estado  
 (R) = Superficie de rodamiento en regular estado  
 (M) = Superficie de rodamiento en mal estado

de velocidades de régimen observadas en el camino



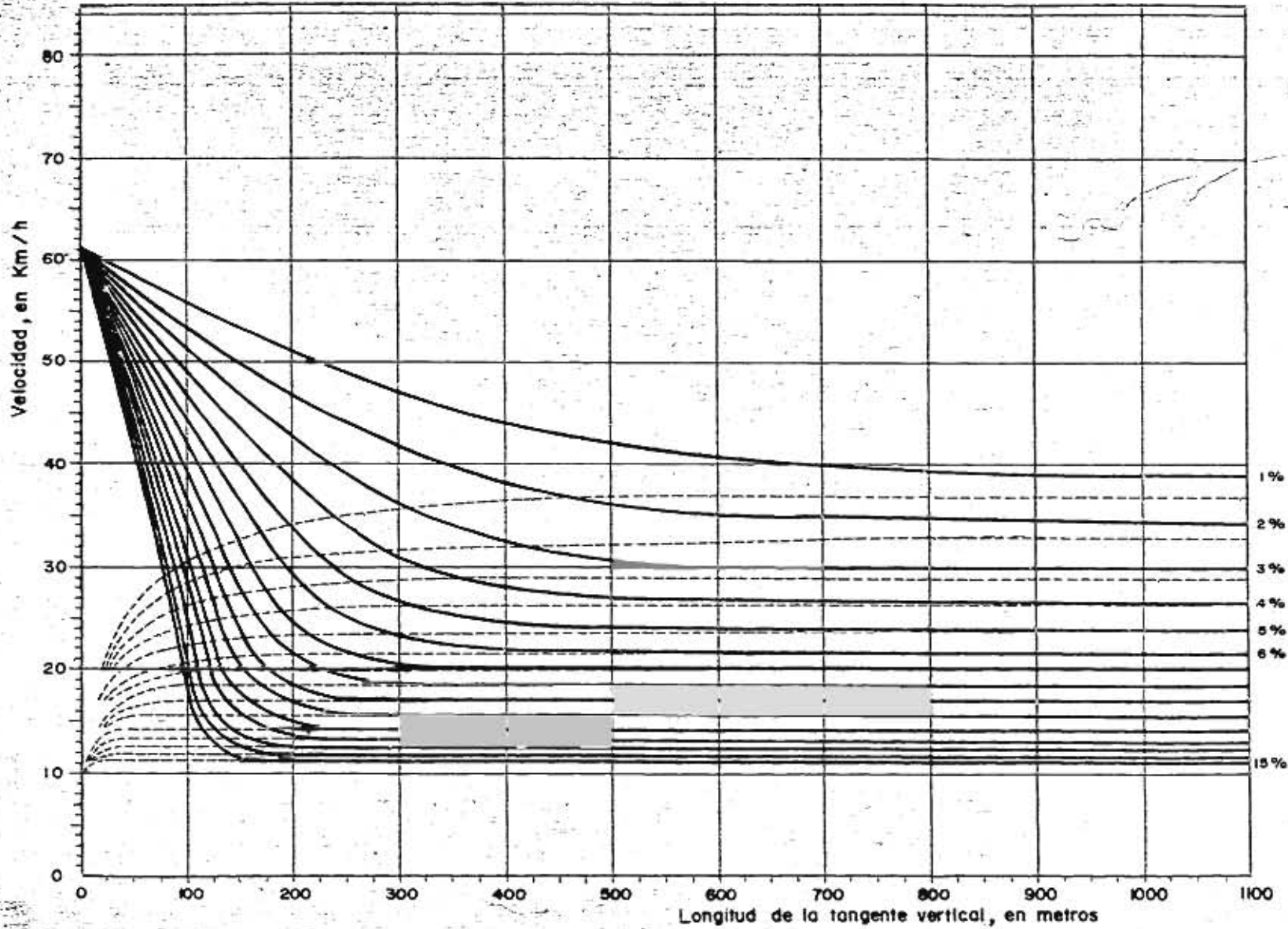


Fig 14 Curvas de aceleración-desceleración para vehículos de 90 Kg/hp (Kr = 0.05)

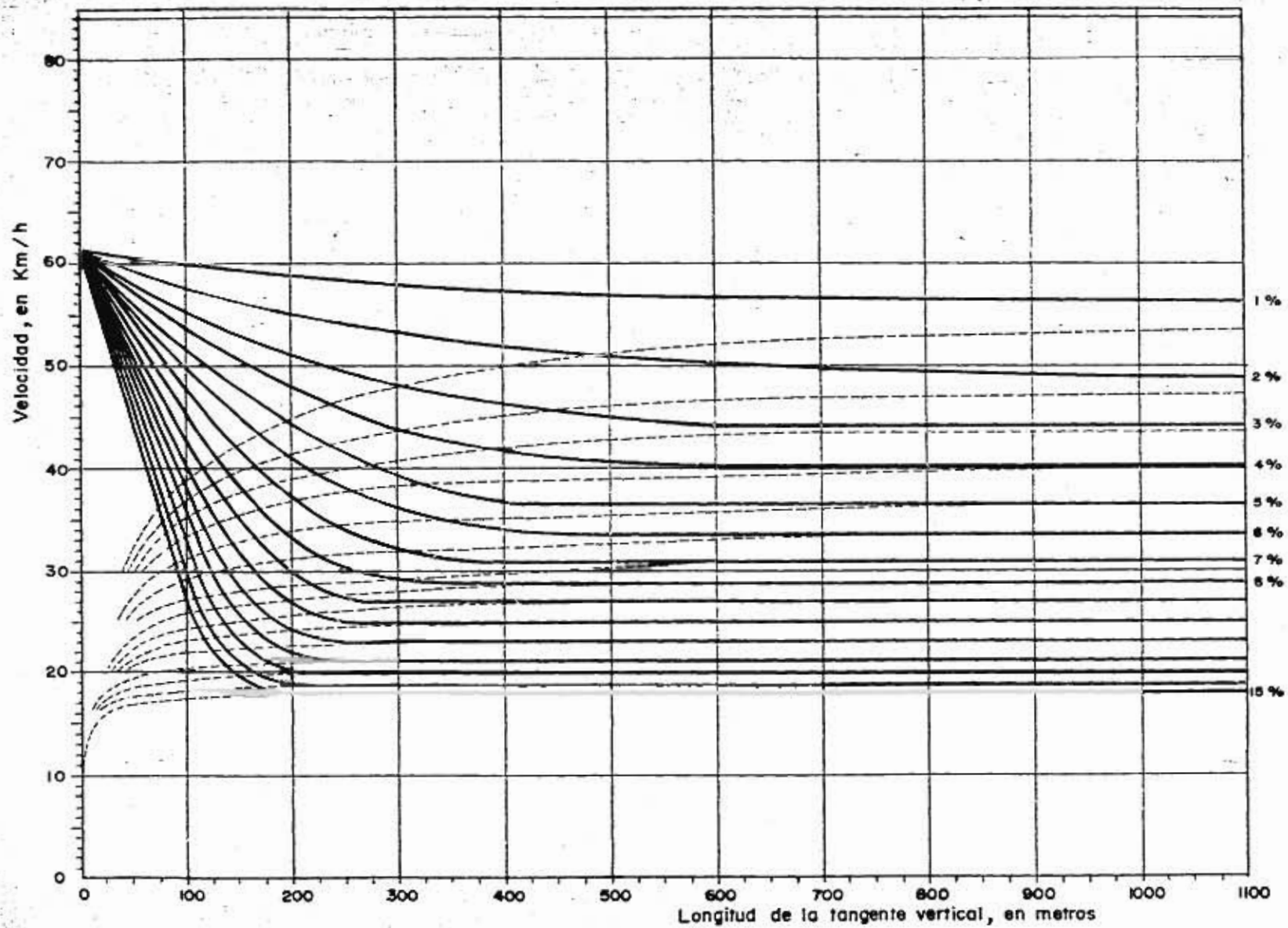


Fig 15 Curvas de aceleración-desaceleración para vehículos de 60 Kg/hp ( $K_r = 0.05$ )

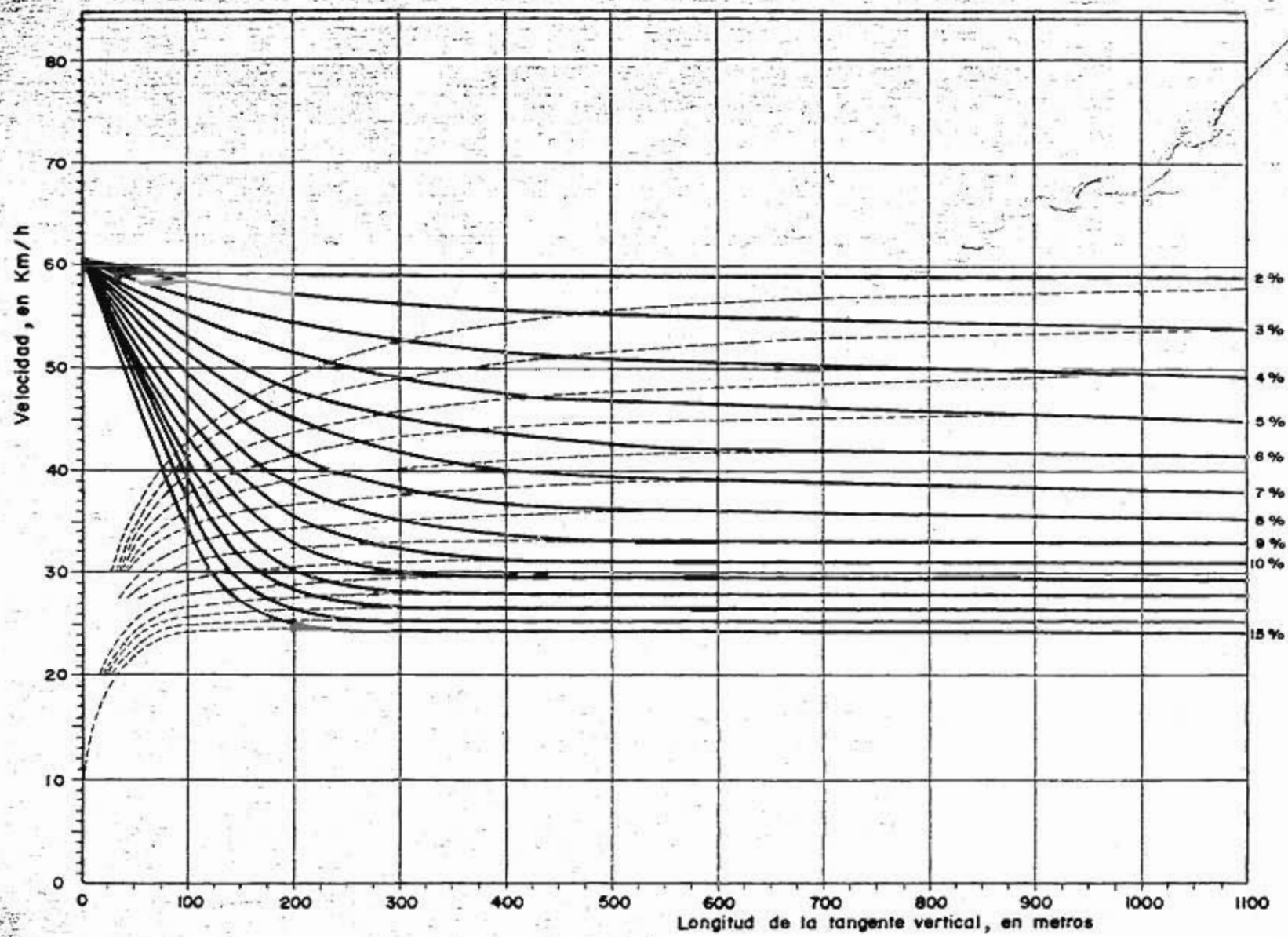


Fig 16 Curvas de aceleración-desceleración para vehículos de 45 Kg/hp ( $K_r = 0.05$ )

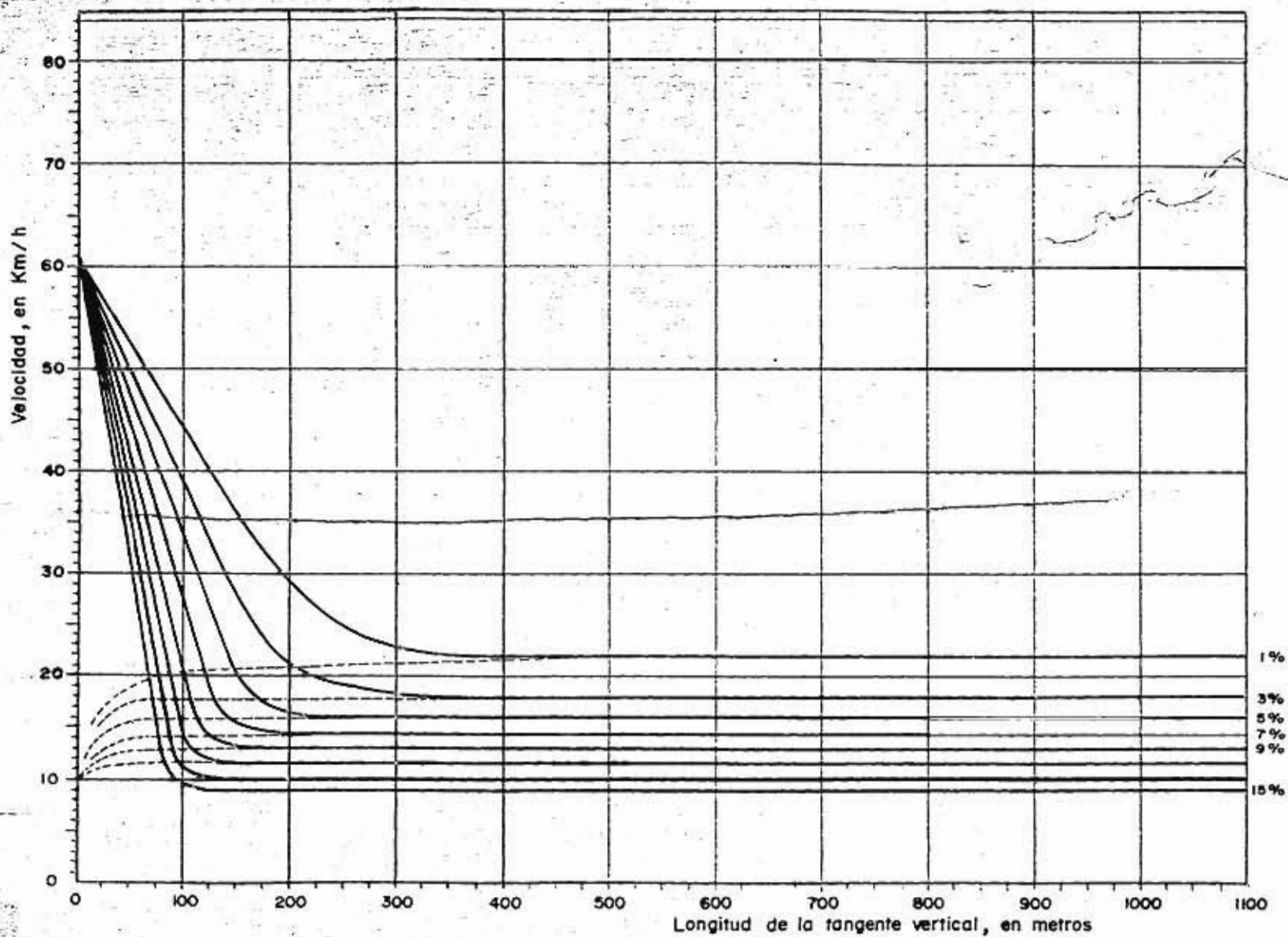


Fig 17 Curvas de aceleración-desceleración para vehículos de 90 Kg/hp ( Kr = 0.10)

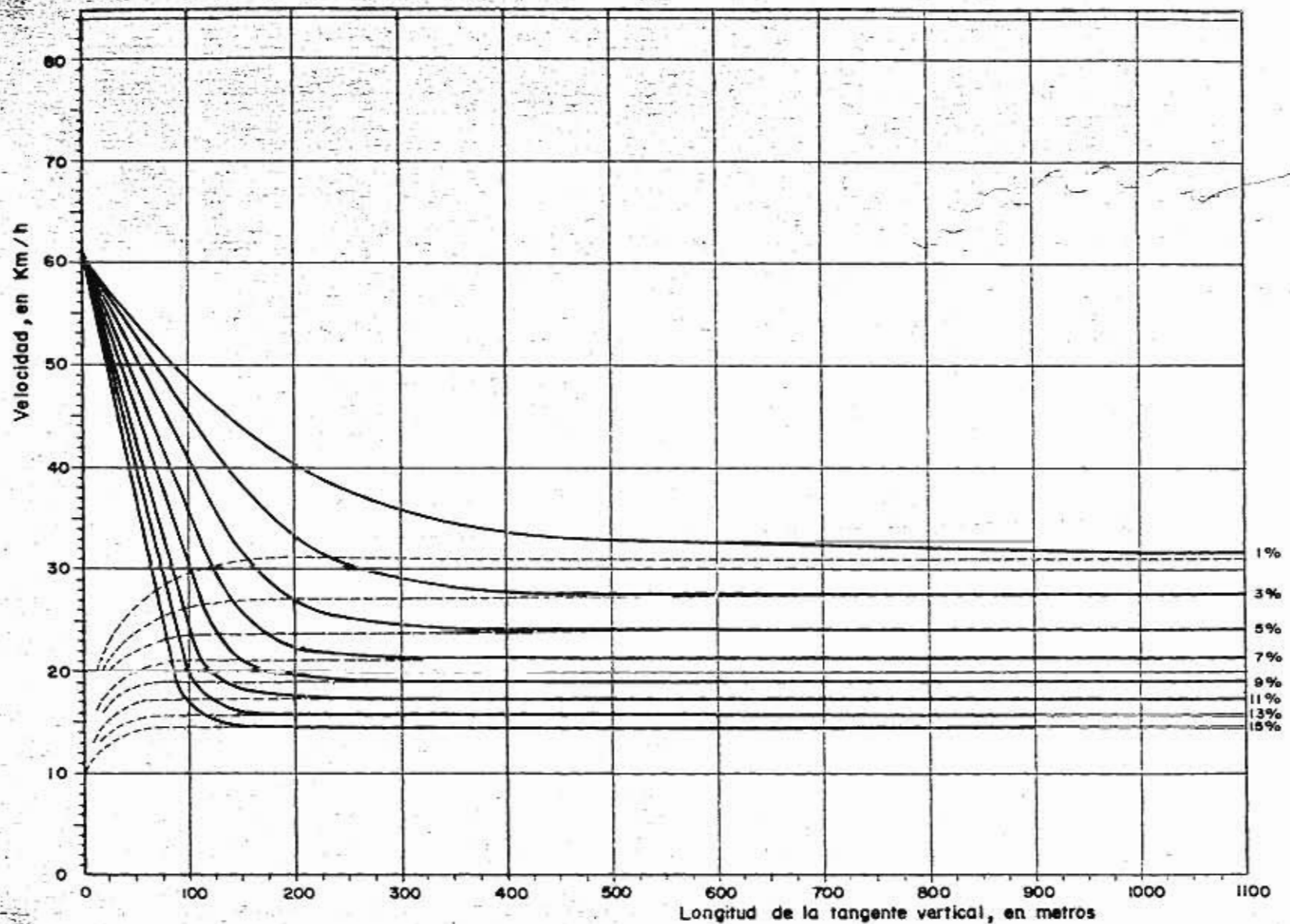


Fig 18 Curvas de aceleración-desceleración para vehículos de 60 Kg/hp ( $K_r = 0.10$ )

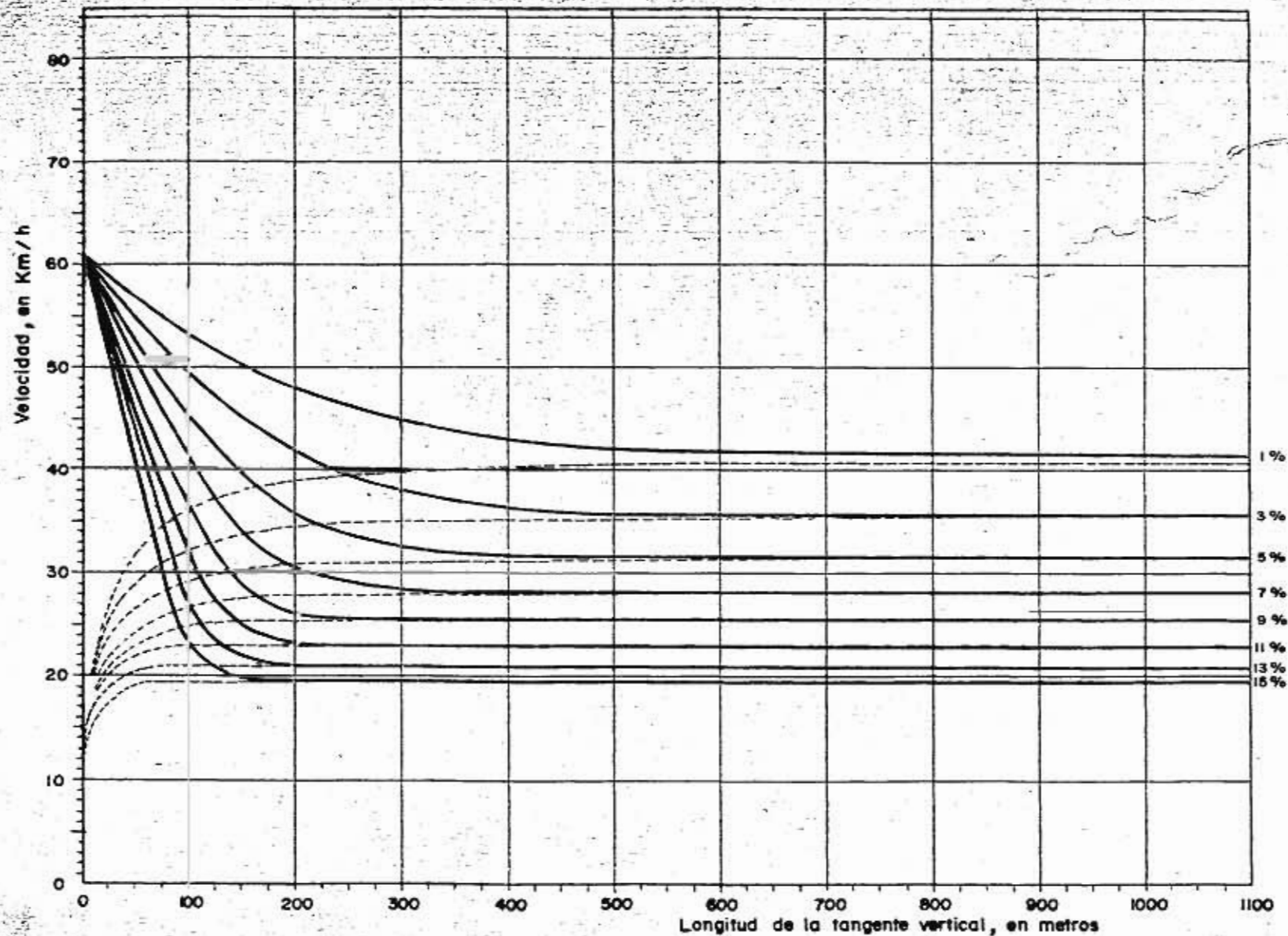


Fig 19 Curvas de aceleración-desceleración para vehículos de 45 Kg/hp ( $K_r = 0.10$ )

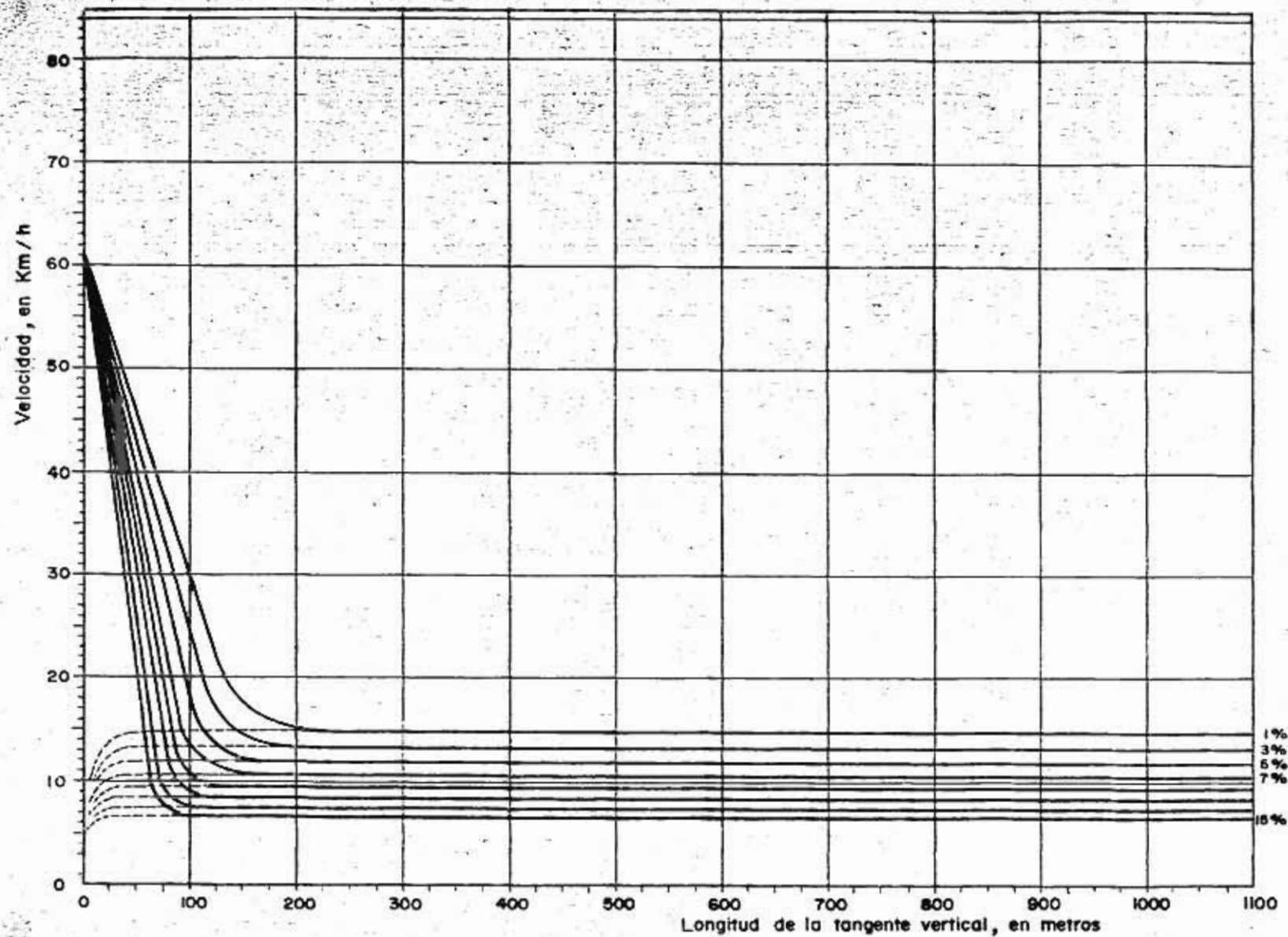


Fig 20 Curvas de aceleración-desceleración para vehículos de 90 Kg/hp ( $K_r = 0.15$ )

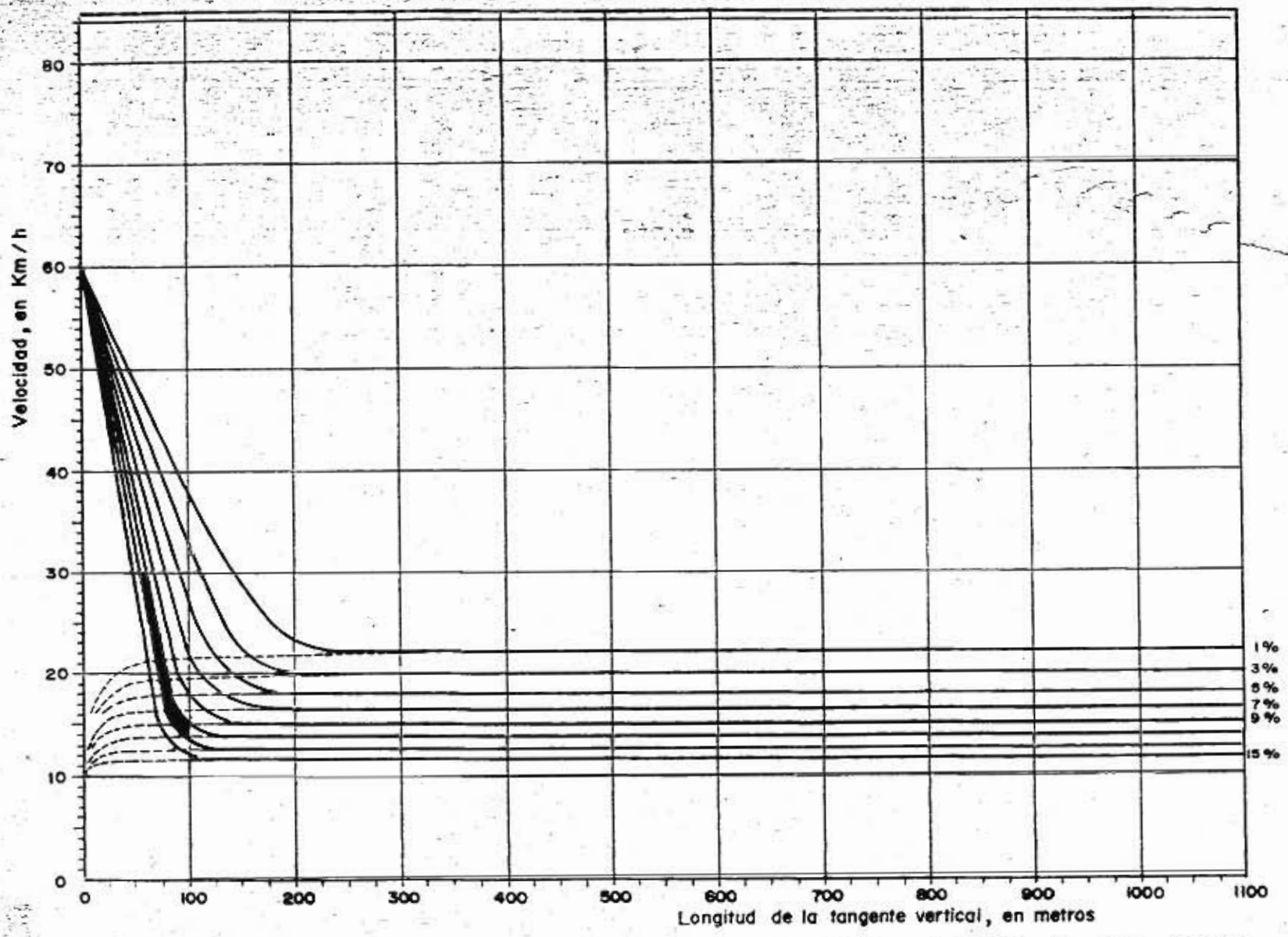


Fig 21 Curvas de aceleración-desceleración para vehículos de 60 Kg/hp (Kr = 0.15)



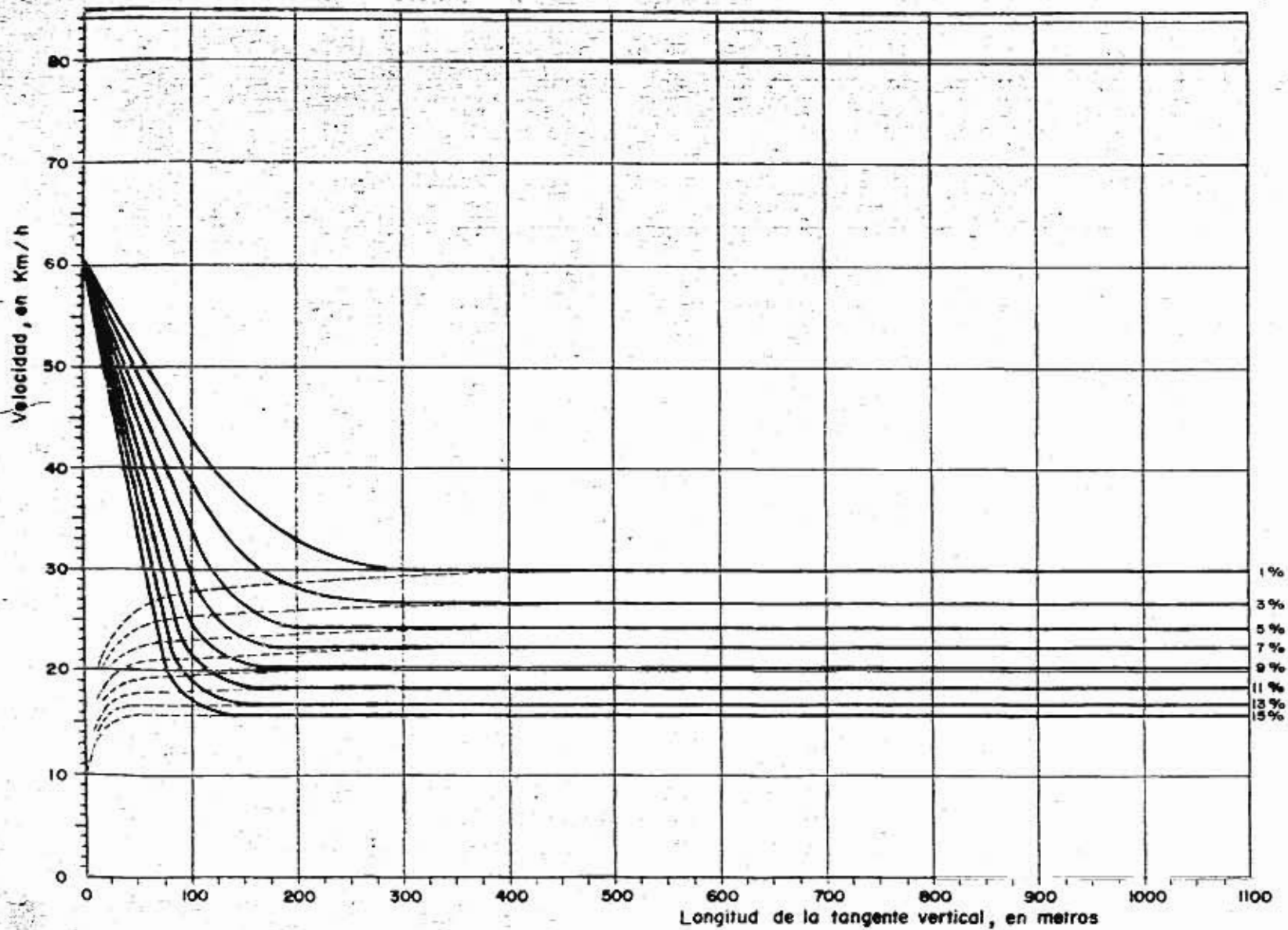


Fig 22 Curvas de aceleración-desceleración para vehículos de 45 Kg/hp ( $K_r = 0.15$ )