

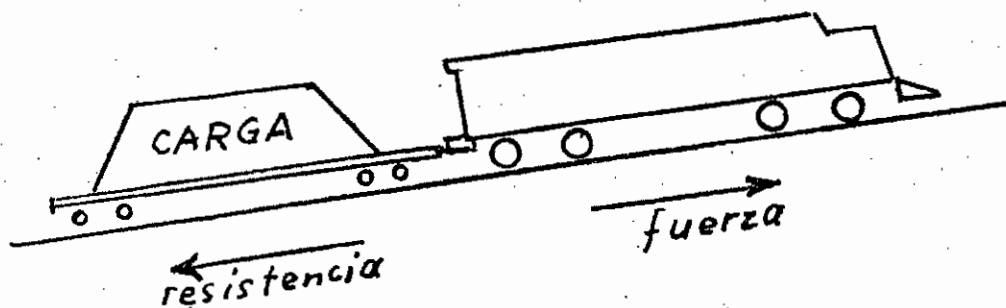
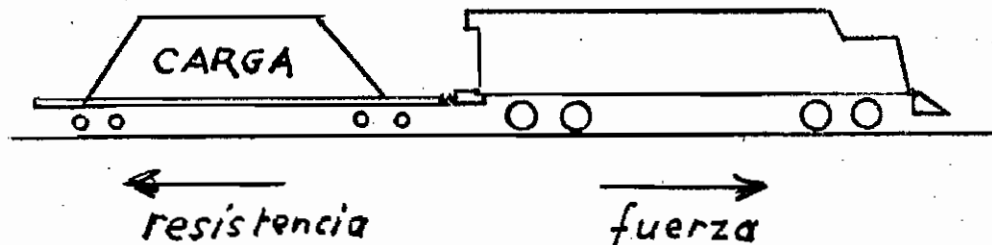
ELECTRO-MOTIVE DIVISION

GENERAL MOTORS CORPORATION

GUIA PARA LA APLICACION DE LOCOMOTORAS

RESISTENCIA: Cualesquiera fuerza que se opone o retarda el movimiento.

FUERZA: La causa de la aceleración del movimiento de los cuerpos físicos.



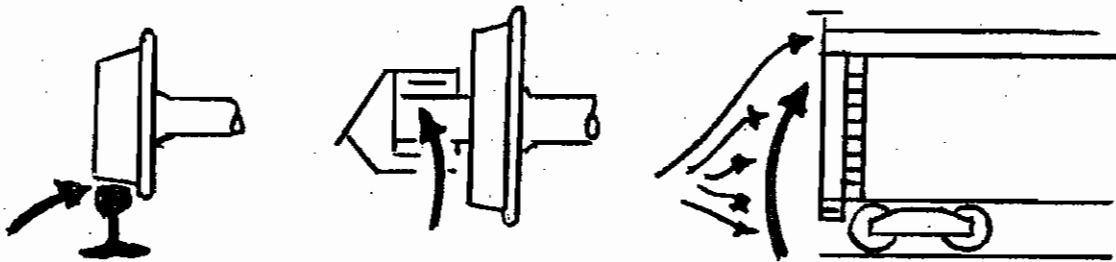
En todos los casos donde la fuerza excede a la resistencia, la carga se acelerará.

A medida que continúa la aceleración, es decir, a medida que la velocidad se incrementa, la fuerza disminuirá y la resistencia se incrementará hasta que ellas sean iguales. En este punto se obtiene un "equilibrio en la velocidad".

Todos los cálculos del comportamiento de una locomotora son, en efecto, nada más que un proceso de igualar la fuerza y la resistencia bajo un conjunto dado de condiciones.

RESISTENCIA AL RODADO

La resistencia al rodado de un tren puede ser determinada por medio de una fórmula, pero habitualmente se la toma de tablas o curvas basadas en la fórmula. La más comúnmente usada de estas fórmulas es la llamada de "Davis". La resistencia al rodado se expresa corrientemente en kilogramos por tonelada métrica (o en libras por tonelada corta).



$$\begin{array}{l} \text{Resistencia} \\ \text{de las} \\ \text{pestañas} \end{array} + \begin{array}{l} \text{Resistencia} \\ \text{de los} \\ \text{descansos} \end{array} + \begin{array}{l} \text{Resistencia} \\ \text{del aire} \end{array} =$$

RESISTENCIA al RODADO TOTAL

Manteniéndose constantes o iguales las condiciones, la resistencia al rodado total, expresada en kilogramos por tonelada métrica ...

1. ...Aumenta a medida que se incrementa la velocidad
2. ...Disminuye a medida que el peso del carro se incrementa

| RESISTENCIA AL RODADO (Kgs./Ton.Métric.) | | |
|---|---------------------------------|---------------------------------|
| <u>Velocidad</u> | <u>Carro de 18 ton. métric.</u> | <u>Carro de 90 ton. métric.</u> |
| 16 Km.p.hr. | 3,75 | 1,3 |
| 96 Km.p.hr. | 8,25 | 3,5 |

(Nótese, no obstante, que al expresar la resistencia en kilogramos totales, el carro de 90 ton.métric. ofrecerá naturalmente una mayor resistencia que el carro de 18 ton. métric.)

FORMULA DAVIS PARA LAS RESISTENCIAS AL RODADO:

La resistencia al rodado de las locomotoras y carros están afectadas por tan diversos factores variables (peso, velocidad, tamaño, tipo de descansos, configuración, viento, temperatura, etc.), que solamente puede ser determinada en forma precisa por medio de pruebas. Obviamente los cálculos del comportamiento deben basarse en algo más práctico. De las diversas fórmulas para el cálculo de la resistencia de un tren dado, la más ampliamente conocida y aceptada universalmente es la desarrollada por W.J. Davis.

$$R = 0,65 + \frac{13,15}{W} + 0,014 * V + \frac{0,00094 * AV^2}{Wn}$$

en la que:

R = resistencia en kgs/ton.métric. en vía en recta a nivel

W = peso por eje, en ton. métric.

n = número de ejes por carro

A = sección transversal del carro en metros cuadrados

V = velocidad en kilómetros por hora

*Estos factores son para carros de carga; para coches de pasajeros y locomotoras deben ser substituídos por otros valores.

En la fórmula, la expresión $0,65 + \frac{13,15}{W}$ representa la resistencia de los descansos; $0,014 V$ representa la resistencia de las pestañas; y $\frac{0,00094AV^2}{Wn}$ representa la resistencia del aire.

A manera de ejemplo, la resistencia al rodado (R) de un carro bodega de 45 tons. métricas (n = 4, W = 11,25) de 7,4 metros cuadrados de sección transversal (A = 7,4) a 15 kilómetros por hora (V = 15) sería:

$$R = 0,65 + \frac{13,15}{11,25} + (0,014 \times 15) + \frac{(0,00094 \times 7,4 \times 15^2)}{(11,25 \times 4)} = 2,06 \text{ Kgs/ton. métric.}$$

(La fórmula no es aplicable a la resistencia en la partida, es decir, a velocidades de 0 (cero) kilómetros por hora)

RESISTENCIA DE LA GRADIENTE

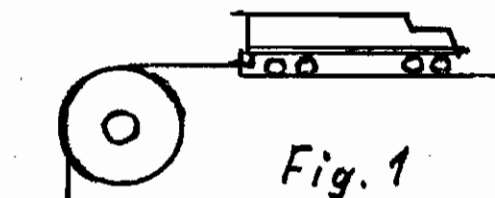


Fig. 1

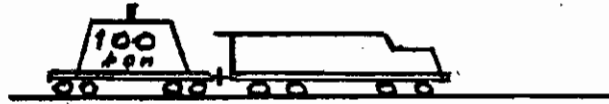


Fig. 2

Considerando únicamente la resistencia de la carga debida a la gravedad, en la Fig. 1, por cada metro que se avance, la carga también se eleva en un metro. La relación entre el desnivel o altura a que se eleva y la distancia recorrida, es aquí de 1:1, lo que quiere decir que ésta es una gradiente de 100 por ciento. En tal caso, la resistencia de la carga es claramente igual a su peso, y puede ser expresada ya sea como 100 ton. métricas o como 1000 kgs/ton. métrica.

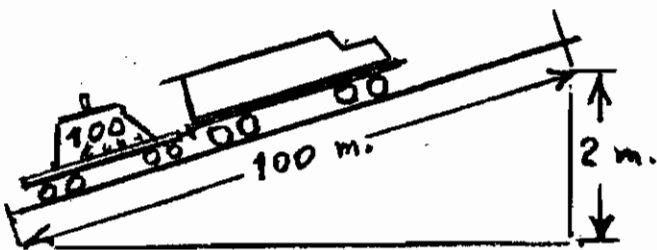


Fig. 3

En la Fig. 2, que representa la operación en línea a nivel, la relación entre la altura a que se eleva o desnivel y la distancia recorrida es de 0:1, de aquí que la gradiente sea 0 por ciento y la resistencia de la carga de-

bida a la gravedad sea 0 tons. métrica ó 0 kgs/ton. métrica.

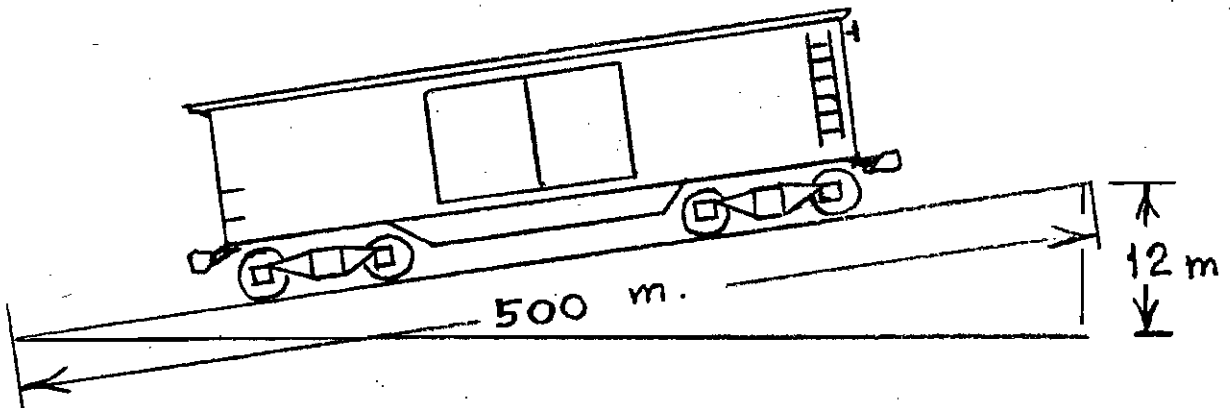
En la Fig. 3, la relación entre el desnivel o altura a que se sube y

la distancia recorrida es de 2:100, o sea 2 por ciento. La resistencia de la carga debida a la gravedad es de 2 por ciento de su peso o sea 2 tons. métricas (2000kgs). La resistencia expresada en kgs. por ton. métrica es igual a:

$$\frac{2000 \text{ kgs.}}{100 \text{ ton. métric.}} = \frac{20 \text{ kgs.}}{\text{ton. métric.}}$$

Expresada en una forma más conveniente, la resistencia es igual a: $\frac{\text{desnivel o altura} \times 100}{\text{distancia recorrida}} \times 10 \text{ kgs./ton.métrica}$, o sea, es igual a 10 kgs./ton. métrica por cada uno por ciento de gradiente.

La resistencia de la gradiente, expresada en kgs. por ton. métrica, es independiente de y no está en relación con la velocidad del tren. Es siempre igual a 10 kgs./ton. métrica por cada uno por ciento de gradiente.



En el croquis anterior, la resistencia por gradiente del carro es igual a 24 kgs/ton. métric., determinada como sigue:

$$\frac{\text{desnivel o altura a que se sube} \times 100}{\text{distancia recorrida}} \times 10 \text{ kgs/ton. métric.} =$$

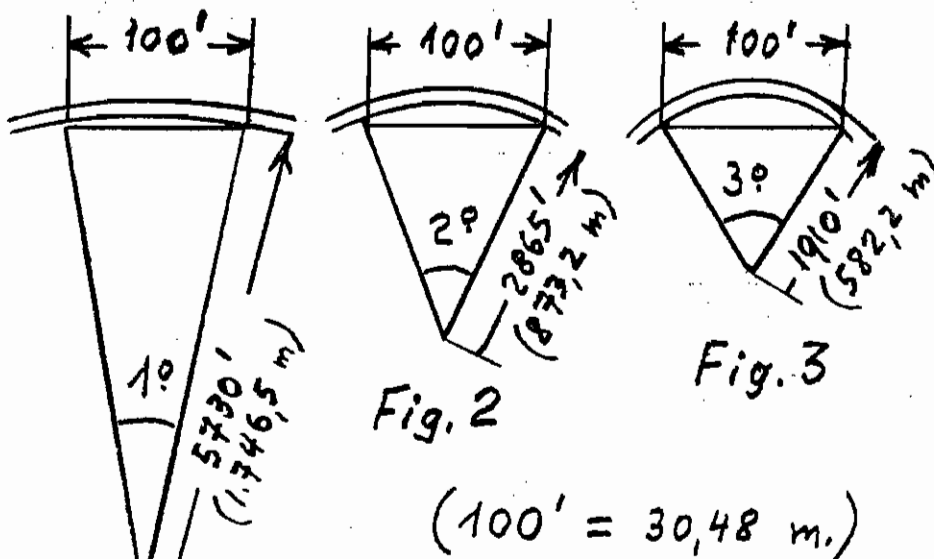
$$\frac{1200}{500} \times 10 \text{ kgs/ton. métric.} = 24 \text{ kgs/ton. métric.}$$

Sí la gradiente no es "compensada" (es decir, sí la gradiente física no es reducida para anular el efecto de la curvatura sobre ella), debe tomarse en cuenta la curvatura de la vía. Cada grado de curvatura agrega 1/2 kg. por ton. métrica a la resistencia por gradiente, o sea es el equivalente de un 0,05 por ciento de gradiente. Así, en el ejemplo anterior, sí existiere una curva de tres grados sobre todo el tramo de 500 metros, la cantidad por agregar, por efecto de la curvatura, a la gradiente básica de 2,4 por ciento sería:

$$3 \text{ grados} \times 0,05 \text{ por ciento} = 0,15 \text{ por ciento}$$

Y la resistencia por gradiente efectiva (total) sería: $(2,4\% + 0,15\%) \times 10 \text{ kgs/ton. métric.} = 2,55\% \times 10 \text{ kgs/ton. métric.} = 25,5 \text{ kgs/ton. métric.}$

RESISTENCIA DE LAS CURVAS



Debido a que las ruedas del material rodante ferroviario van fijadas a sus ejes, y por lo tanto giran junto con ellos, al pasar por una curva hay una tendencia de que la rueda que va por el riel interior patine o que la rueda exterior gire. Ya sea que una u otra cosa ocurra o que la tendencia sea superada por el movimiento lateral del eje en sus descansos, se crea fricción (resistencia). En la medida en que la curva sea más cerrada, será mayor esta resistencia.

Por definición, una curva tiene un (1°) grado de curvatura cuando una cuerda de 100 pies subtiende un ángulo al centro de un (1°) grado. (Ver Fig. 1) Sucede que dicha curva tiene un radio de 5730 pies (1746,5 metros). Dado el grado de curvatura, el radio puede ser determinado dividiendo 5730' (1746,5 m.) por el grado de curvatura. Así las curvas de dos y tres grados (ver Figs. 2 y 3) tienen respectivamente radios de:

$$\frac{5730'}{2} = 2865' = 873,25 \text{ m. y}$$

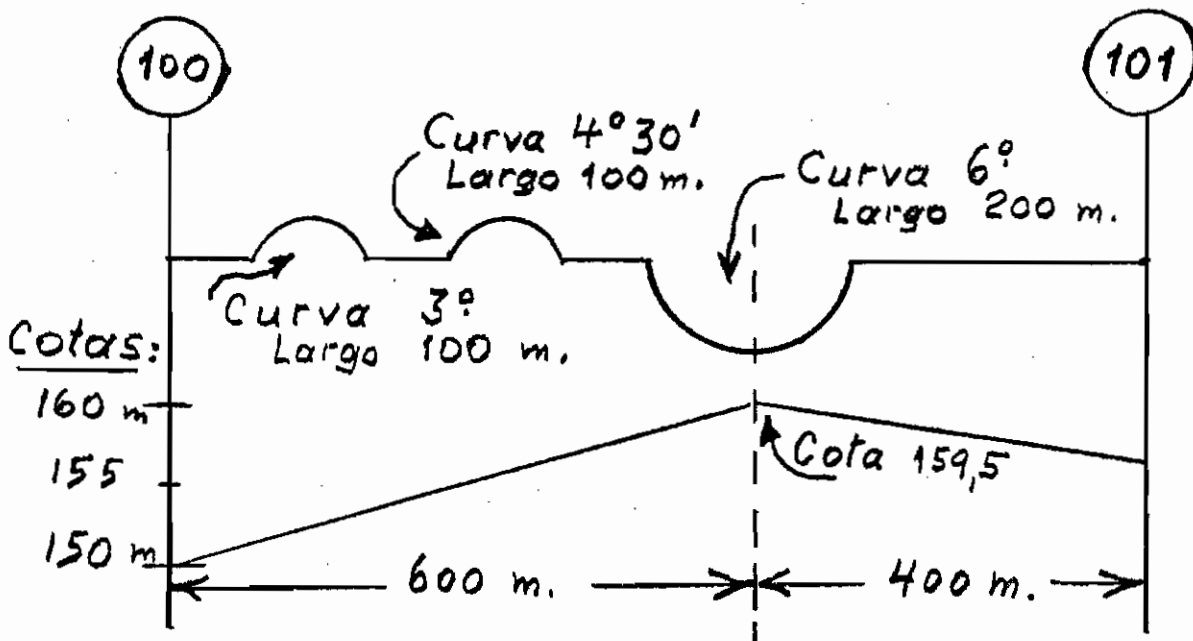
$$\frac{5730'}{3} = 1910' = 582,17 \text{ m.}$$

Por medio de ensayos o pruebas se ha encontrado que un grado de curvatura ofrece la misma resistencia al movimiento del tren que un 0,05% de gradiente, es decir, 1/2 kg/ton.métric. (0,05 x 10) por cada grado de curvatura.

COMPENSACION DE CURVAS

El ejemplo siguiente permite exponer el método de cálculo por seguir para tener en cuenta la resistencia agregada por la curvatura de la vía.

En el diagrama y perfil simplificado siguiente se ha representado un kilómetro de vía, ubicado entre los postes 100 y 101.



1. Determinación de la gradiente (real)

Desde el poste 100 al punto 100,6:

$$\frac{(\text{altura ó desnivel}) \times 100}{\text{distancia}} = \frac{(159,5 - 150,0) \times 100}{600} =$$

$$\frac{9,5 \times 100}{600} = 1,58\%$$

2. Determinación de la curvatura media

Desde el poste 100 al punto 100,6:

$$\text{Curva media} = \frac{(3^\circ \times 100 \text{ m.}) + (4,5^\circ \times 100 \text{ m.}) + (6^\circ \times 100 \text{ m.})}{600 \text{ m.}} =$$

$$\frac{1350^\circ \text{ m}}{600 \text{ m}} = 2,25^\circ$$

3. Determinación de la gradiente equivalente a la curva de 2,25°

Gradiente equivalente = $2,25^\circ \times 0,05 = 0,1125\%$

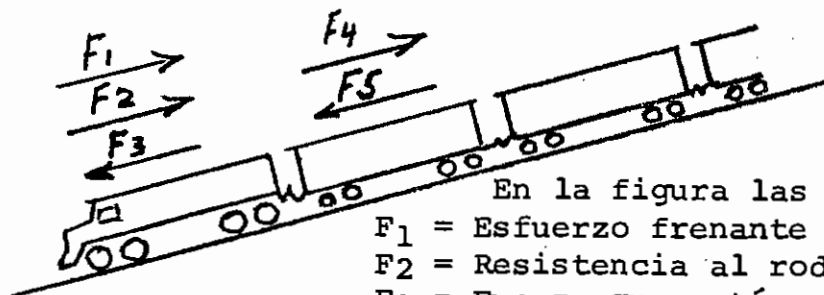
4. Determinación de la gradiente efectiva

Desde el poste 100 al punto 100,6:

Gradiente efectiva = Gradiente real + Gradiente equivalente =
 $1,58\% + 0,1125\% = 1,69\%$

(En bajada, la gradiente efectiva sería = $-1,58\% + 0,1125\% = -1,47\%$)

ESFUERZO FRENANTE



En la figura las letras representan:

- F₁ = Esfuerzo frenante de la locomotora.
- F₂ = Resistencia al rodado de la locomotora.
- F₃ = Fuerza que actúa en la locomotora por efecto de la gradiente.
- F₄ = Resistencia al rodado del tren.
- F₅ = Fuerza que actúa en el tren por efecto de la gradiente.

$$F_1 + F_2 + F_4 = F_3 + F_5 \quad \text{de donde} \quad F_1 = F_3 - F_2 + F_5 - F_4$$

Así el esfuerzo frenante requerido para mantener un tren dado a una velocidad dada en una gradiente dada puede ser calculado según la fórmula.


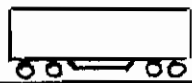
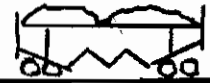
Por ejemplo, ¿qué esfuerzo frenante (F_1) se requiere para mantener un tren de 2000 ton. métricas y una locomotora de 130 ton. métric. a 24 km/hr en una gradiente de 2 por ciento?

$$\begin{aligned}
 F_2 \text{ (en kgs)} &= 230 \text{ (*)} \\
 F_3 \text{ (en kgs)} &= 130 \text{ t.m.} \times 10 \text{ kg/t.m./\%} \times 2\% = 2600 \\
 F_4 \text{ (en kgs)} &= 2000 \text{ t.m.} \times 2,15 \text{ kg/t.m. (*)} = 4300 \\
 F_5 \text{ (en kgs)} &= 2000 \text{ t.m.} \times 10 \text{ kg/t.m./\%} \times 2\% = 40000 \\
 F_1 \text{ (en kgs)} &= 2600 - 230 + 40000 - 4300 = 38070
 \end{aligned}$$

(*) valores obtenidos de las tablas de resistencia al rodado para locomotora de 130 t.m. y carro de 50 t.m.

De esta manera puede ser determinado el esfuerzo frenante requerido para satisfacer cualquier conjunto dado de condiciones de operación. Análogamente, desde luego, dada la capacidad de frenaje disponible, puede establecerse el tamaño de tren máximo. Se puede demostrar que se requeriría un esfuerzo frenante mayor para un tren de 2000 ton. métricas formado por carros más pesados. Estas relaciones no se ven afectadas por la presencia o ausencia de frenos dinámicos en la locomotora.

TONELAJES POR ARRASTRAR "AJUSTADOS"

| |  |  |  |
|-------------------------------------|---|---|---|
| Peso del carro (ton.métric.) | 18 | 45 | 80 |
| Resistencia-grad.1% 16 km/hr | 13,80kg/t.m. | 12,10 | 11,55 |
| (**) Peso tren por arrastrar (t.m.) | 1230 (R_1) | 1400 (R_2) | 1450 |
| Número de carros | 68 (N_1) | 31 (N_2) | 18 |

(**) Nota del Traductor: Se ha supuesto que se cuenta con una locomotora que dispone de 17000kgs. de esfuerzo en el enganche para el arrastre del tren.

Dados los datos de resistencia anteriores, los tonelajes de tren por arrastrar por una locomotora hipotética pueden calcularse como se indica. Obviamente, cuando los tamaños de los carros varían de un tren a otro o dentro de un tren individual, no puede usarse como base un único peso máximo de tren por arrastrar. Se ha ideado entonces un sistema (que está en uso en algunos ferrocarriles) que hace posible expresar los tonelajes por arrastrar sin considerar los tamaños de los diferentes carros que comprenden el tren. Dichos tonelajes son los llamados "ajustados" y están basados en la fórmula:

Tonelaje por arrastrar "ajustado" = Tonelaje real + (Factor Carro x N° de carros), en la que el "Factor Carro", a su vez, se define así:

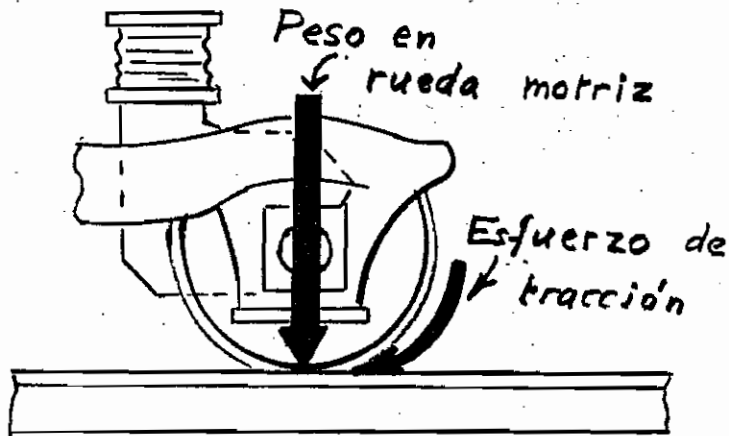
$$\text{Factor Carro} = \frac{R_2 - R_1}{N_1 - N_2} = \frac{1400 - 1230}{68 - 31} = 4,59$$

Entonces el tonelaje por arrastrar "ajustado" será: $1400 + (4,59 \times 31) = 1542$ ó también $1230 + (4,59 \times 68) = 1542$

Nótese, sin embargo, que el "ajuste" es solamente una aproximación. Para demostrarlo:

1. Usando los datos para carros de 18 t.m. y 80 t.m. (en vez de carros de 18 y 45 t.m.) en la fórmula del "Factor Carro" se llegaría a un "Factor Carro" diferente y por lo tanto a un diferente tonelaje por arrastrar "ajustado".
2. Aplicando el factor 4,59 a los carros de 80 t.m. da un tonelaje por arrastrar "ajustado" de 1533 t.m.

En la medida en que la gradiente sea más fuerte, el Factor Carro será más pequeño, puesto que la resistencia al rodado será una parte relativamente menos importante de la resistencia total.

ADHERENCIA

A menos que la relación de peso en las motrices a esfuerzo de tracción sea a lo menos 4:1, hay buenas probabilidades de que la rueda patinará.

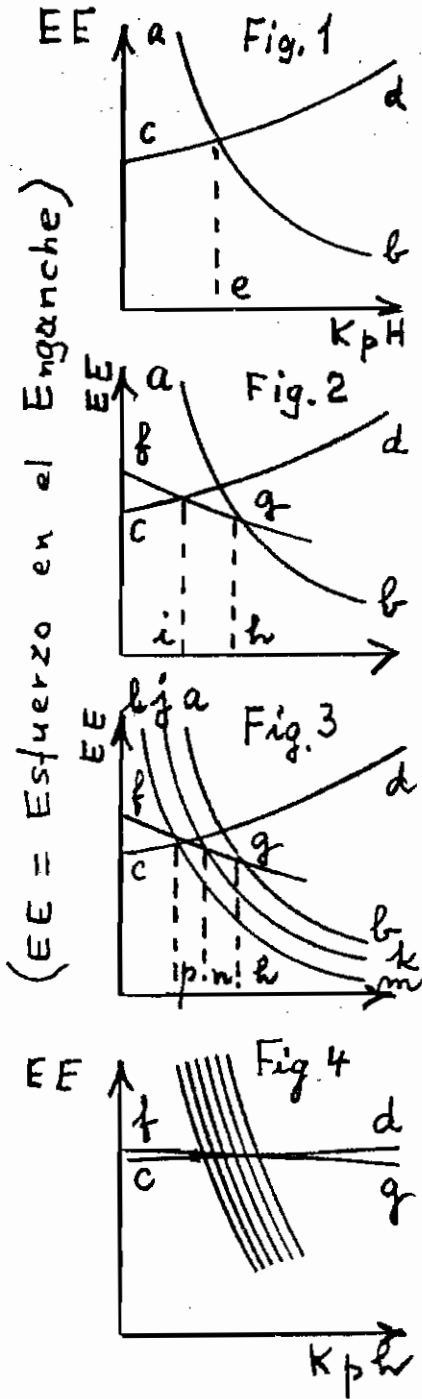
Dicho a la inversa, cuando la "adherencia" (o la relación de esfuerzo de tracción a peso en las motrices) excede 25%, hay buenas probabilidades de que la rueda patinará.

El monto de esfuerzo de tracción que puede ser desarrollado es totalmente independiente del peso de la locomotora.

Ni tampoco el peso de la locomotora por sí mismo afecta al porcentaje de "adherencia" que será alcanzado antes de que ocurra el patinaje. Este es únicamente una función del estado del riel.

Con un conjunto dado de condiciones o estados de riel que limiten la adherencia a, digamos, un 20%, cualquiera y todas las locomotoras -independientemente de sus pesos o potencias- patinarán todas las veces que su operación demande un esfuerzo de tracción que exceda al 20% de su peso en las motrices. Así bajo condiciones que harán que una locomotora de 4 ejes patine a un 20% de adherencia, una locomotora de 6 ejes patinará al mismo nivel de adherencia del 20%. El mayor peso de la unidad de 6 ejes incrementa el monto del esfuerzo de tracción utilizable bajo las condiciones dadas, pero no incrementa -o de ninguna manera afecta- la adherencia disponible. La unidad de 6 motores no es más apta que la unidad de 4 motores de adherencia 30 por ciento.

REDUCIENDO EL REGULADOR PARA CORREGIR UNA SITUACION DE PATINAJE DE RUEDA

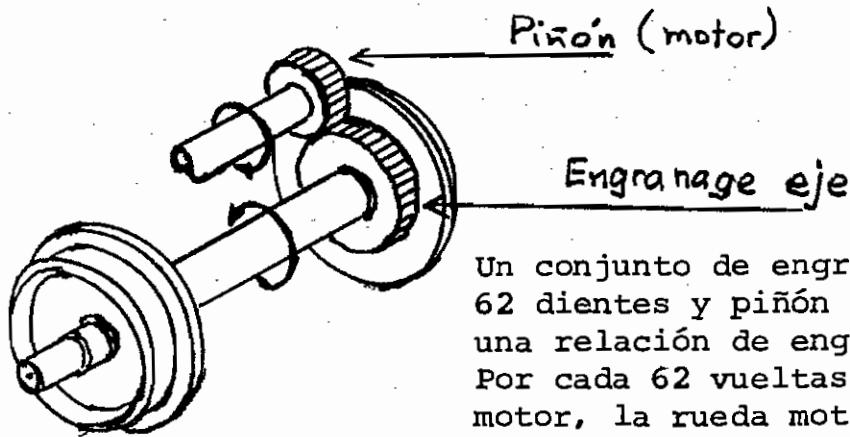


1. En la Fig. 1 la curva "ab" representa el esfuerzo disponible en el enganche, de una locomotora hipotética, con el regulador al máximo. La curva "cd" representa la resistencia total del tren. Sin considerar límite de adherencia se alcanzará una velocidad de equilibrio en "e" km.p.hora.
2. En la Fig. 2 supongamos que "fg" representa la curva límite de adherencia utilizable. Entonces la curva "fgb" vendrá a ser la curva práctica de esfuerzo disponible en el enganche de la locomotora. Para cualquier velocidad inferior a "h" km.p.hr., con el regulador al máximo, se patinará. Se podrá operar en forma mantenida únicamente a una velocidad en la que el esfuerzo de tracción disponible en el enganche no exceda al esfuerzo de tracción utilizable y en la que la resistencia del tren no exceda al esfuerzo en el enganche disponible. Obviamente, el funcionamiento con el regulador al máximo no satisface estas condiciones. También es claro que sería imposible satisfacer estas condiciones a cualquier velocidad superior a "i" km.p.hr.
3. En la Fig. 3 las curvas "jk" y "lm" representan los esfuerzos disponibles en el enganche para sucesivas operaciones a regulador reducido. La primera reducción del regulador (jk) todavía producirá patinaje, pero a un esfuerzo en el enganche más alto y menor velocidad (n km.p.hr. que con regulador al máximo). Una segunda reducción del regulador (lm) mantendrá una velocidad de equilibrio a "p" km.p.hr. puesto que a esa velocidad el esfuerzo en el enganche y la resistencia del tren son iguales y el esfuerzo disponible no excede al esfuerzo en el enganche utilizable.

4. Las curvas de resistencia del tren (cd) y límite de adherencia (fg) realísticamente serían casi horizontales, como en Fig. 4. Obvia-

mente pueden presentarse situaciones tales que ninguna cantidad de reducciones del regulador puedan corregir una situación de patinaje de rueda aún cuando a alguna velocidad el esfuerzo utilizable en el enganche exceda la resistencia del tren.

RELACION DE ENGRANAJES



Un conjunto de engranaje en el eje de 62 dientes y piñón de 15 dientes, forman una relación de engranajes de 62:15. Por cada 62 vueltas de la armadura del motor, la rueda motriz dará 15 vueltas.

Dada una potencia constante, la relación entre el engranaje motriz y el engranaje arrastrado no tiene efecto en el esfuerzo de tracción desarrollado a una velocidad dada. Así si una locomotora dada con una relación de engranajes 62:15 produce un esfuerzo de tracción de 10.000 kgs. a 30 km.p.hr., la misma locomotora con relaciones de 60:17 ó de 59:18 produciría los mismos 10.000 kgs. a 30 km/hr.

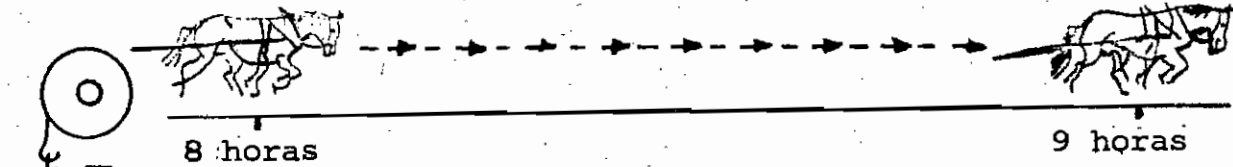
Y puesto que a plena carga, una corriente dada producirá una velocidad de armadura correspondiente, independientemente de la relación de engranaje, el efecto de cambiar las relaciones de engranaje es cambiar la velocidad del tren a la cual una corriente dada o velocidad de armadura se obtiene.

Por lo tanto:

1. Incrementando la relación de engranaje (es decir, pasando de 60:17 a 62:15) se reduce la velocidad mínima (de aquí que se incrementa el tonelaje) a la cual una locomotora dada puede operar sin que se produzca daño por calentamiento de sus motores.
2. Disminuyendo la relación se incrementa la velocidad máxima a la cual una locomotora puede operar sin que se produzca daños mecánicos a sus motores.

POTENCIA es el ritmo o tasa al que se realiza trabajo.

TRABAJO es el producto de una resistencia por la distancia a la cual se mueve.



Por definición 1 caballo (inglés-HP) = 550 pies-lb/seg = 375 lb-millas/hr = 0,1875 ton-millas/hr = 76,04 kg.m/seg = 1,0139 caballos (métricos-CV).

Así un caballo de 1HP de potencia podría levantar una carga de 1 ton (corta de 2000 lbs) a una altura de 0,1875 millas (990 pies) en una hora.

Pero arrastrar una ton. de carga, rodando sobre ruedas, a lo largo de una vía de ferrocarril y levantarla venciendo la gravedad son dos cosas diferentes.

Teóricamente, a medida que se vayan agregando más caballos a la labor de levantar, el ritmo o tasa al cual se efectúa el trabajo (es decir, los HP) se incrementarán proporcionalmente - suponiendo que la fricción de la polea y la resistencia del aire de la carga sean despreciables. A medida que el número de los caballos se aproxime al infinito, la resistencia por vencer por cada uno se irá acercando a cero, y la velocidad se acercará a la de un caballo sin carga.



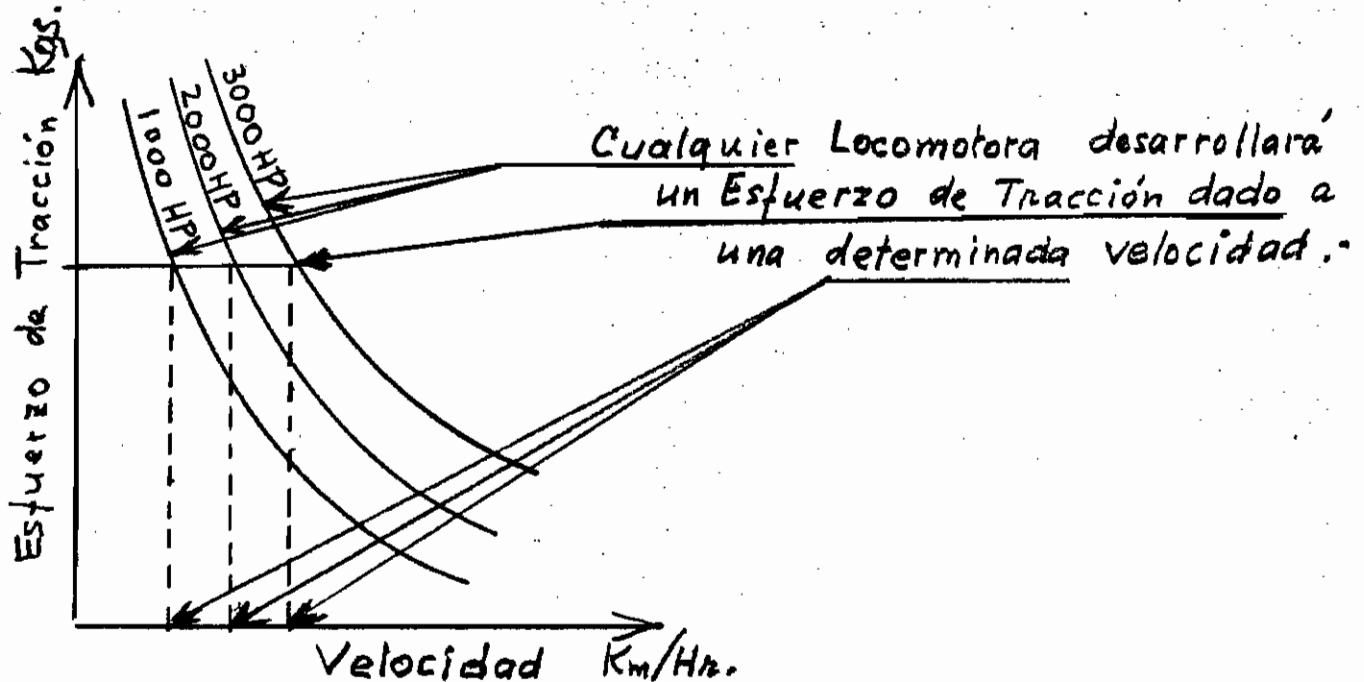
Desde un punto de vista práctico, a medida que se van agregando más caballos a la labor de arrastrar, el ritmo o tasa al cual se efectúa el trabajo (es decir, los HP) se incrementarán, pero menos que proporcionalmente.

Para las restantes cosas manteniéndose iguales, el agregar

potencia (HP) tiene el efecto de...

1. Incrementar proporcionalmente la carga que puede ser arrastrada a una velocidad dada.
2. Incrementar, pero menos que proporcionalmente, la velocidad a la cual una carga dada puede ser arrastrada.

POTENCIA Y TONELAJE



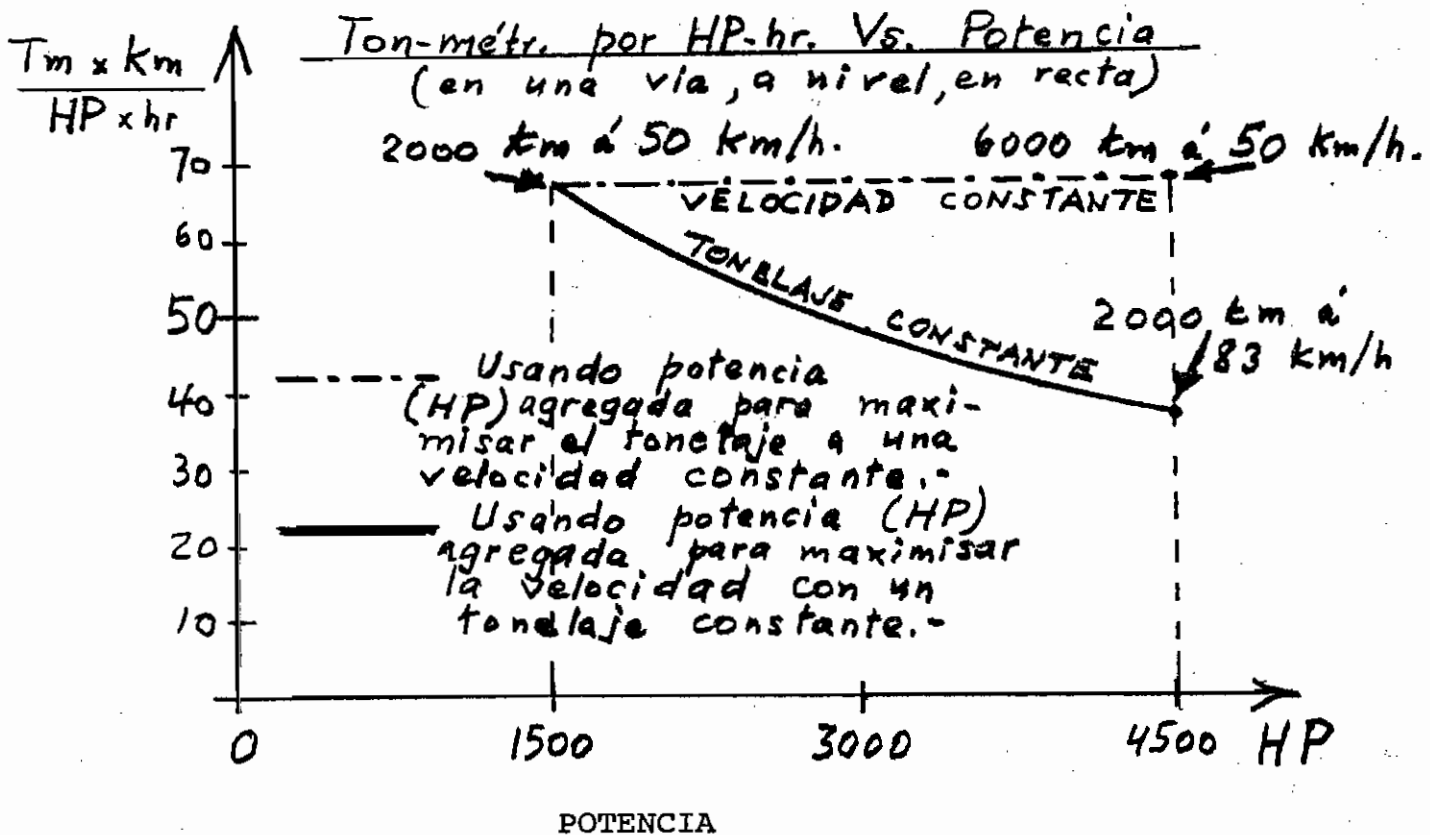
Si la locomotora de 1000 HP patina al esfuerzo de tracción indicado, también lo harán las unidades de 2000 y 3000 HP -siempre que las tres tengan el mismo peso en las motrices.

Y puesto que el esfuerzo de tracción (después de descontar la resistencia de la locomotora) es la fuerza que realmente arrastra el tren, la unidad de 1000 HP puede arrastrar tanto tonelaje como las unidades más grandes, aunque a una velocidad menor.

Análogamente, idénticas locomotoras con excepción de su potencia de salida alcanzarán los regímenes máximos de sus motores al mismo esfuerzo de tracción, pero a diferentes velocidades.

El sólo incremento de la potencia (HP) no puede incrementar el máximo de tonelaje de tren por arrastrar por una locomotora.

INCREMENTO DE LA POTENCIA, su efecto en la velocidad y en el tonelaje.



1. Una locomotora de 1500 HP puede arrastrar 2000 ton. métric. a 50 km/hr en línea recta, a nivel.

2. Tres de dichas locomotoras (4500 HP) pueden ya sea:
 - a) arrastrar 6000 ton. métric. -tres veces más- a la misma velocidad de 50 km/hr, o
 - b) arrastrar las mismas 2000 ton. métric. a 83 km/hr -lo que equivale a un incremento de la velocidad del 66 por ciento -como retribución al incremento de la potencia (HP) de un 200 por ciento.
3. Se requerirían 13500 HP para arrastrar el tren de 6000 ton. métric. a 83 km/hr.

Para una inversión en potencia (HP) dada, el tonelaje ofrece una mejor retribución (medida en comportamiento) que la de los kilómetros por hora.

POTENCIA Y ESFUERZO DE TRACCION de una locomotora diesel están relacionadas como se expresa en la siguiente fórmula:

$$\text{Potencia (HP)} = \frac{\text{Esfuerzo de Tracción (lbs)} \times \text{Velocidad (millas/hr)}}{308^*}$$

$$\text{Esfuerzo de Tracción} = \frac{\text{Potencia} \times 308^*}{\text{Velocidad}}$$

*Derivada de 375 lb-millas por hora (1 HP) x 82% rendimiento de la transmisión.

En unidades métricas las fórmulas anteriores equivalen a las siguientes.

$$\text{Potencia (CV)} = \frac{\text{Esfuerzo de Tracción (kgs)} \times \text{Velocidad (km/hr)}}{270 \times 0,82}$$

$$\text{Esfuerzo de Tracción (kgs)} = \frac{\text{Potencia (CV)} \times 221}{\text{Velocidad (km/hr)}}$$

Puesto que las resistencias del tren no varían significativamente con la velocidad en el rango entre 13 y 24 kilómetros por hora, las fórmulas anteriores pueden usarse como base para la determinación aproximada del comportamiento dentro de ese rango. Esas aproximaciones

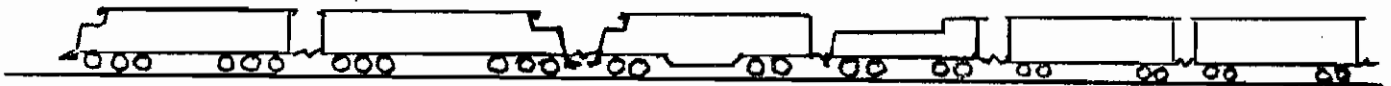
suponen que independientemente de la velocidad la resistencia al rodado de un carro bodega de 36 a 54 ton. métric. es del orden de 2 kgs. por ton. métric.

Ejemplo: Determinar la potencia requerida para hacer subir un tren de 1700 ton. métric. (incluyendo el peso de la locomotora) en una gradiente de 2,0% a 18 km. por hora.

1. Esfuerzo de Tracción = Resistencia tren (incluyendo locomotora), y, por lo tanto,
2. Esfuerzo de Tracción = 1700 ton. métric. (2 kg/t. + 10 kg/t/ por ciento x 2%*)
= 1700 t.m. x 22 kg/t. = 37400 kgs.
3. Potencia (CV) = $\frac{37400 \times 18}{270 \times 0,82} = 3041 \text{ CV}$
Potencia = 3000 HP.

*Resistencia de la gradiente = 10 kgs/t.métric. por cada uno por ciento de gradiente.

OPERACIONES CON LOCOMOTORAS DE DIFERENTES TAMAÑOS



La operación con locomotoras de diferentes tamaños en un solo conjunto bajo control común, usualmente no crea ningún problema especial excepto en los extremos de velocidad superior e inferior. Cada conjunto de locomotoras tendrá su "unidad débil" y los tonelajes y velocidades del conjunto deberán determinarse a la medida para proteger esa unidad.

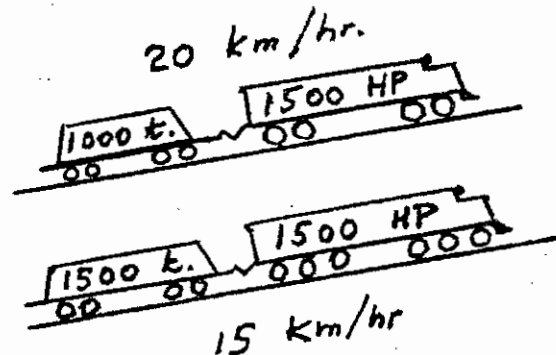
1. En servicio de remolque, la "unidad débil" es aquella cuya adherencia o límite térmico se alcanza a la velocidad más alta. Puesto que por lo tanto la velocidad mínima de cada unidad del conjunto viene a ser la de la "unidad débil", el tonelaje máximo asignable a cada unidad viene a ser aquel que puede arrastrar a esa velocidad, no aquel que puede arrastrar a su propia velocidad mínima. (Es muy posible para un conjunto de tres unidades de seis motores cada una tener una capacidad de tonelaje más alta que la de un conjunto constituido por las mismas tres unidades más una cuarta locomotora de 4 motores, puesto que en efecto todas las unidades vienen a ser unidades de cuatro motores).

En operaciones de empuje, donde los dos conjuntos de locomotoras están bajo control separado, estas generalizaciones no son necesariamente aplicables.

2. En servicio de alta velocidad, la "unidad débil" es aquella que tenga su velocidad máxima admisible más baja, y la velocidad máxima admisible del conjunto viene a ser la de la "unidad débil". La potencia (HP) ganada al agregar una unidad de "baja velocidad" a un conjunto de "alta velocidad" es útil solamente a velocidades bajo su propio máximo.

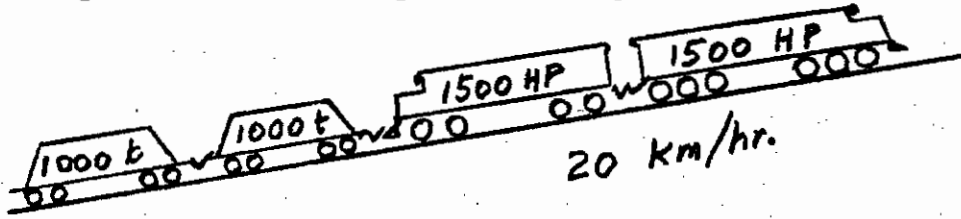
LOCOMOTORAS EMPUJANDO

Comparemos la situación de dos locomotoras de igual potencia pero diferente número de motores, que suponemos alcanzan los siguientes regímenes de adherencia en una gradiente dada:



1. Unidad de 4 motores 1500 HP: arrastre 1000 ton. a 20 km/hr
2. Unidad de 6 motores 1500 HP: arrastre 1500 ton. a 15 km/hr

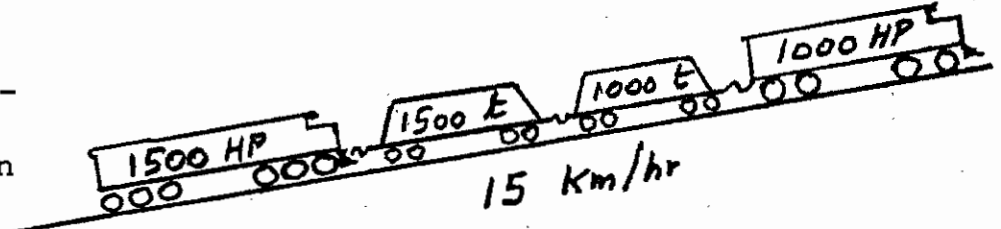
Al trabajar en múltiple y mantener una velocidad de 20 km/hr, las dos unidades tendrían un arrastre combinado de 2000 ton. -es decir, la unidad de 6 motores pierde su ventaja cuando pasa a combinarse en un conjunto con una unidad de 4 motores. Tampoco se mejora la capacidad útil de la locomotora al colocar una de las unidades a la cola, empujando. La ventaja de trabajar empujando radica únicamente en reducir



la probabilidad de roturas de enganches en un tren dado, y en la facilidad con la cual puede ser separada del tren cuando ya no la necesita

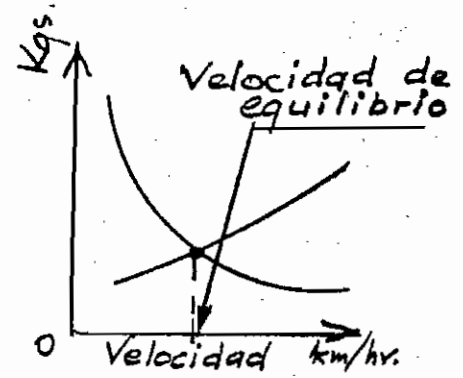
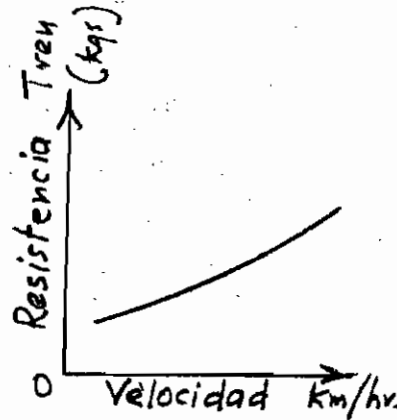
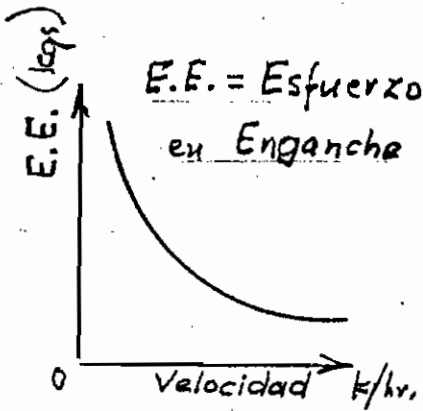
Al separar el control de las dos unidades, sin embargo, llega a ser posible para cada una tomar su tonelaje de régimen en un tren simple. Aún cuando no es posible para la unidad de 4 motores de dar la potencia de 1500 HP a 15 km/hr sin patinaje de ruedas, puede tomar sus 1000 ton. de régimen a esa velocidad siempre que su potencia de salida se reduzca. Al mismo tiempo, manteniendo su plena potencia, la unidad de 6 motores conservará su tonelaje de régimen de 1500 ton. a 15 km/hr.

El efecto es de distribuir el peso total del tren entre las dos unidades en proporción a sus respectivas potencias de salida. Esto es posible debido a que el control es separado y no se debe a la ubicación de las unidades en el tren. Nótese que el precio de



esta técnica de maximizar tonelaje es la velocidad del tren reducida.

VELOCIDAD DE EQUILIBRIO



1. Puesto que el esfuerzo disponible en el enganche de una locomotora disminuye a medida que su velocidad aumenta y

2.puesto que las resistencias del tren aumentan a medida que su velocidad se incrementa,

3.la velocidad a la cual una locomotora dada puede arrastrar un tren dado en una gradiente dada, es decir, velocidad de equilibrio

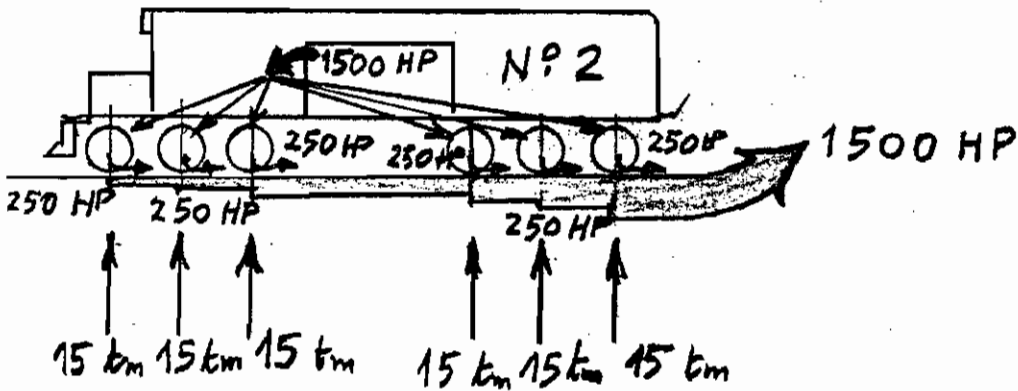
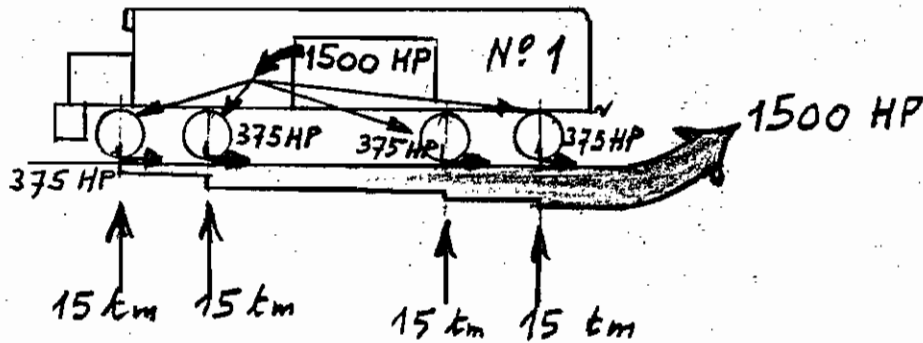
.....es la velocidad a la cual el esfuerzo en el enganche de la locomotora es igual a la resistencia total del tren.

La velocidad de equilibrio no puede ser calculada por medios algebraicos simples. La solución más práctica involucra la utilización de un gráfico en el cual se lleven las curvas de esfuerzo disponible en el enganche y las resistencias para una combinación dada de gradiente-tren-locomotora, utilizándose coordenadas comunes.

A cualquier velocidad dada, la capacidad de arrastre de régimen en toneladas de la locomotora puede ser calculada por la fórmula:

$$\text{Capacidad de arrastre de régimen (ton. métric.)} = \frac{\text{Esfuerzo en el enganche (kgs)}}{\text{Resistencia tren (kgs/ton.métric.)}}$$

¿4 MOTORES, 6 MOTORES?



Supongamos dos locomotoras hipotéticas que se comparan como sigue:

| NO. | HP | MOTORES | PESO (KGS) |
|-----|------|---------|------------|
| 1 | 1500 | 4 | 60.000 |
| 2 | 1500 | 6 | 90.000 |

Entonces:

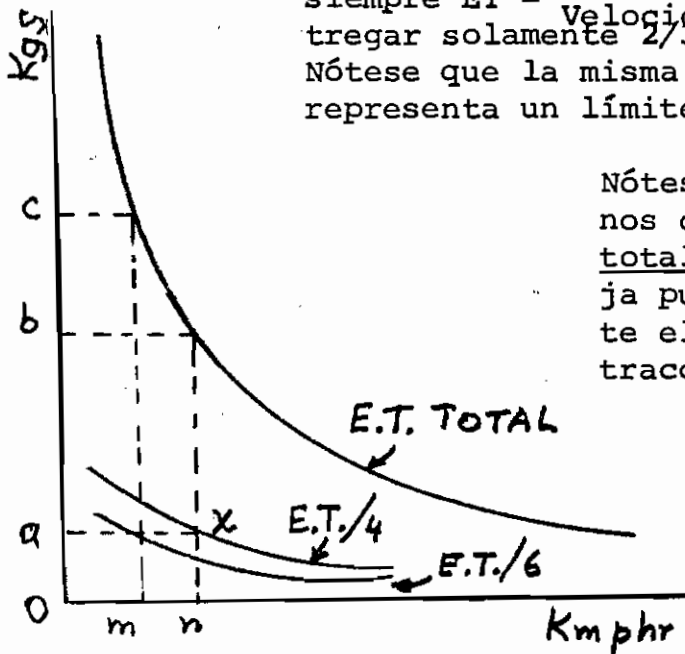
| NO. | HP/MOTOR | PESO/EJE (KGS) |
|-----|----------|----------------|
| 1 | 375 | 15.000 |
| 2 | 250 | 15.000 |

Ahora puesto que ambas unidades son de 1500 HP, y puesto que

$E.T. = \frac{HP \times 308}{Velocidad}$, las curvas de Esfuerzo de Tracción/Velocidad de las dos unidades pueden ser consideradas idénticas y pueden ser representadas por la curva de Esfuerzo Tracción TOTAL a la izquierda. Las curvas de Esfuerzo Tracción - Velocidad para cada motor de las unidades No. 1 y No. 2 se muestran como ET/4 y ET/6 respectivamente.

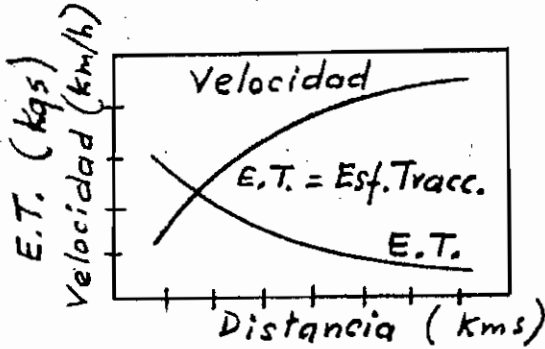
Entonces, si la adherencia está limitada, digamos, a 20%, cada eje puede dar 3000 kgs. de ET antes de que se induzca patinaje. Es claro que la unidad No. 1 alcanza este límite a una velocidad 1 1/2 veces mayor que la unidad No. 2. Y, por lo tanto, puesto que como

siempre $ET = \frac{HP \times 308}{Velocidad}$, la unidad No. 1 puede entregar solamente $\frac{2}{3}$ del ET TOTAL sin patinaje. Nótese que la misma comparación sería válida si "ax" representa un límite térmico de 3000 kgs. por motor.

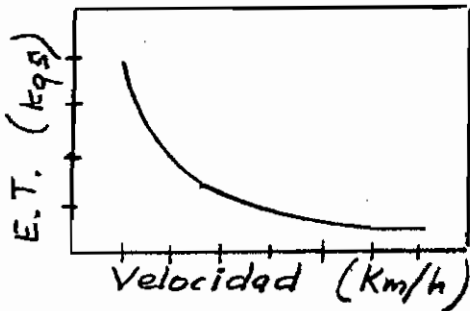


Nótese también que sí se requieren menos de "b" kgs. de esfuerzo de tracción total, la unidad No. 2 no tiene ventaja puesto que a la velocidad resultante el requerimiento de esfuerzo de tracción por eje sería menor que el límite "ax" en ambos casos, y que por encima de "c" kgs, ninguna unidad puede ser operada. Es solamente en el margen de velocidad entre "m" y "n" que la unidad de seis motores tiene alguna ventaja.

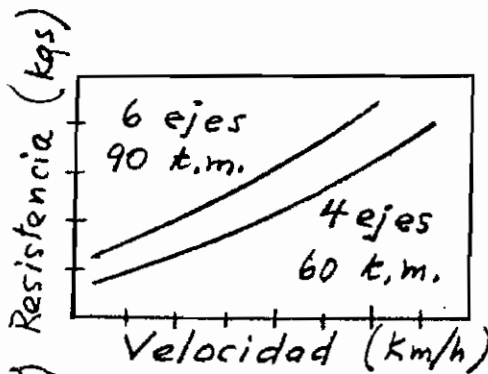
CURVAS DE COMPORTAMIENTO



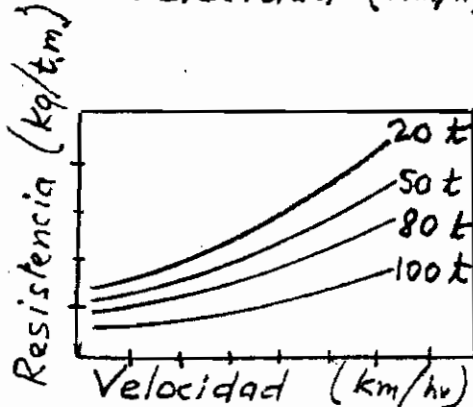
1. ET DISPONIBLE vs DISTANCIA. Basadas en los regímenes de los motores de tracción para tiempos cortos. Muestran el ET máximo utilizable y la velocidad correspondiente para una locomotora dada en gradientes de varias longitudes.



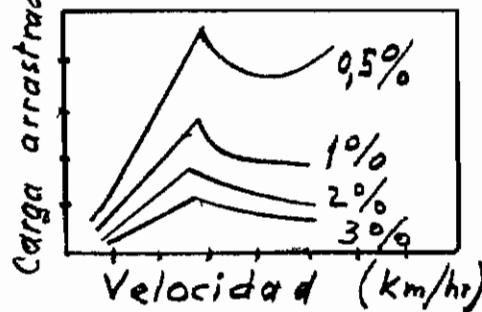
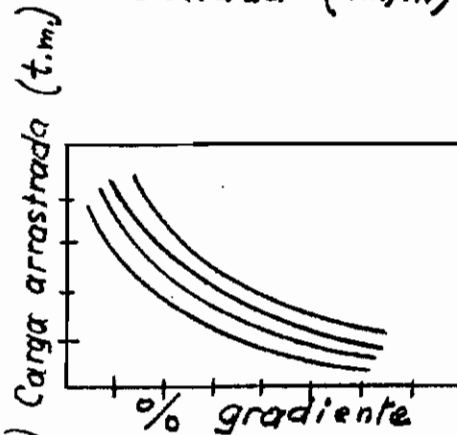
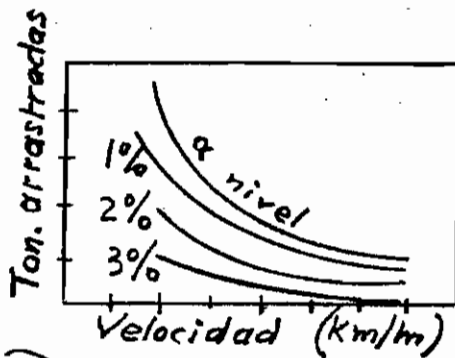
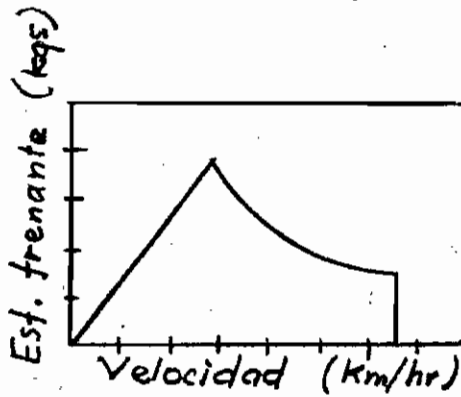
2. VELOCIDAD vs ET. Muestra el ET disponible total para una locomotora dada a velocidades diversas. El esfuerzo en el enganche se determina restando del ET indicado la gradiente de locomotora y resistencia al rodado.



3. RESISTENCIA AL RODADO DE LA LOCOMOTORA. Muestra, en kgs (más bien que en kgs/ton), la resistencia al rodado de una o más locomotoras especificadas (de peso dado) a velocidades diversas. Los valores mostrados no son afectados por la gradiente. Los mismos datos se preparan a menudo en forma tabular.



4. RESISTENCIA AL RODADO DEL TREN. Corresponde a la curva de resistencia de la locomotora, excepto en que los valores se dan en kgs/ton. métric. Las diversas curvas representan pesos de carros diferentes. Los valores se basan en las fórmulas de la resistencia al rodado. Se pueden tabular.



5. VELOCIDAD vs ESFUERZO FRENANTE.

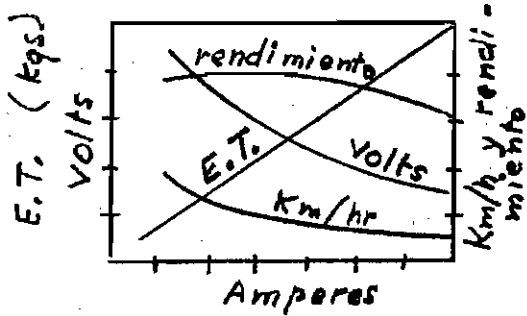
Muestra, para un freno dinámico dado, la fuerza retardante total desarrollada por los motores (generadores) a velocidades indicadas. Los valores son independientes de las variaciones en gradiente. Pueden aplicarse a más de un modelo de locomotora.

6. VELOCIDAD DE EQUILIBRIO vs TONELADAS

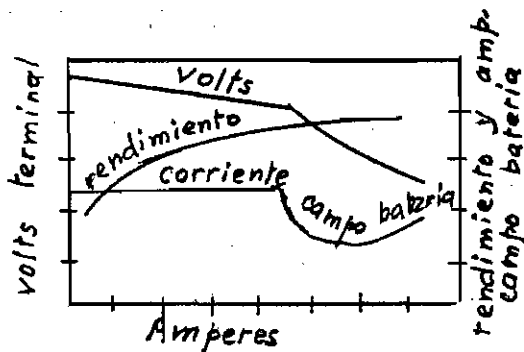
ARRASTRADAS. Para una locomotora dada se llevan los datos de tonelajes de régimen calculados para gradientes diversas a las velocidades indicadas. Para gradientes intermedias la interpolación provee valores aproximados. Más útil en forma tabular.

7. TONELAJES DE REGIMEN. Las diversas curvas representan los tonelajes a los cuales una locomotora dada puede arrastrar en la gradiente indicada bajo condiciones de carga diferentes. Las curvas en el croquis pueden representar regímenes de (de arriba hacia abajo) 1/4 hora, 1/2 hora, 1 hora y continuo o permanente -en cuyo caso las longitudes de gradiente máxima serían mostradas en la leyenda.

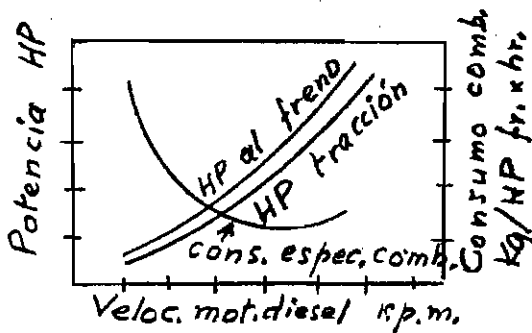
8. TONELAJE DEL FRENO DINAMICO. Contrapartida de la Curva de Velocidad de Equilibrio. Muestra, para una locomotora dada, el tamaño del tren que puede ser controlado a las velocidades indicadas en gradientes diversas por el freno dinámico solo.



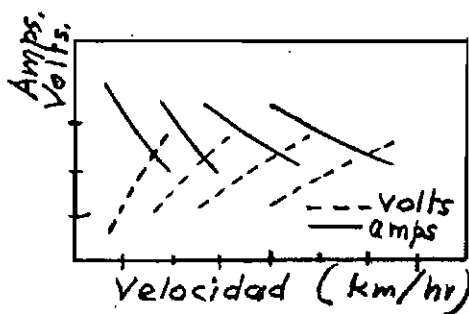
9. CARACTERISTICAS MOTOR DE TRACCION. Muestra, como una función de la corriente (amp.) de motor individual, el voltaje de motor correspondiente y el esfuerzo de tracción de salida por motor, y el rendimiento total del motor y velocidad de la locomotora. Se muestra también el E.T. y los km.p.hr. para varias etapas o posiciones de shuntaje (no representadas en el croquis).



10. CARACTERISTICAS GENERADOR. Muestra, como una función de corriente del generador, el voltaje correspondiente y la corriente de campo de la batería así como el rendimiento mecánico del generador. No se han representado en el croquis las variaciones de voltaje asociadas con la transición.



11. COMPORTAMIENTO DEL MOTOR DIESEL. Muestra para un motor dado la potencia al freno y potencia de tracción como una función de la velocidad del motor o posición del regulador. También muestra los consumos unitarios de combustible para diversas posiciones del regulador, ya sea en kgs/caballo al freno, hora o en litros por hora.

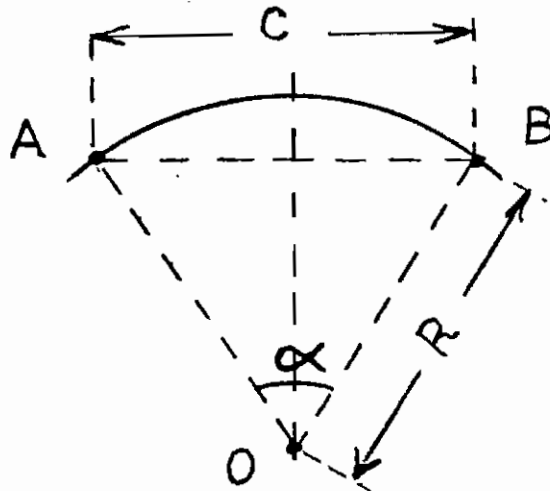


12. TRANSMISION. Muestra las velocidades a las que ocurren diversas etapas de transición adelante y atrás y los shuntajes correspondientes, y valores de la corriente y voltaje del generador a estas velocidades e intermedias.

MEMORANDUM

EQUIVALENCIA ENTRE RADIOS DE CURVAS Y GRADOS

Una curva puede ser designada ya sea por su radio (R) o por el ángulo (α) subtendido por una cuerda (C) de longitud unitaria (100 piés según la práctica norteamericana).



El valor de " α ", expresado en grados sexagesimales indicará entonces los "grados" de la curva.

En la figura vemos que se tienen las siguientes relaciones :

AO = R AB = C = 100 piés

$$\text{sen } \frac{\alpha}{2} = \frac{1/2 C}{R} \quad (I)$$

$$R = \frac{1/2 C}{\text{sen } \frac{\alpha}{2}} \quad (II)$$

$$R = \frac{50}{\text{sen } \frac{\alpha}{2}}$$

(R en piés) (III)

De esta fórmula (III), que es exacta, puede deducirse una expresión aproximada, más sencilla, como sigue.-

Si consideramos que corrientemente los valores de " α " son pequeños, puede entonces reemplazarse el $(\text{sen } \frac{\alpha}{2})$ por el $(\text{arc. } \frac{\alpha}{2})$ (expresado en radianes). De este modo la fórmula (III) quedaría :

$$R \approx \frac{50}{\text{arc } \frac{\alpha}{2}} = \frac{50}{\frac{1}{2} \alpha^{\circ}} \cdot \frac{360^{\circ}}{2\pi}$$

de donde :

$$R \approx \frac{5729,58}{\alpha^{\circ}} \quad (R \text{ en pies}) \quad (IV)$$

La expresión anterior (IV), como queda dicho, es aproximada y dá resultados suficientemente exactos para ángulo pequeños.

En las fórmulas anteriores los valores de los radios (R) están expresados en piés. - Para convertirlos a metros, basta multiplicar por 0,3048. -

Ejemplo: Determinar el radio R de una curva de 12° .-

Según la fórmula (III), exacta, tendremos :

$$R = \frac{50}{\text{sen } \frac{12^{\circ}}{2}} = \frac{50}{0,1045285} = 478,37 \text{ pies}$$

$$\underline{R = 145,8 \text{ metros}}$$

REPREIN

REPRESENTACIONES E INGENIERIA LTDA.

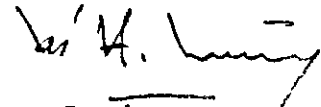
CASILLA (P. O. BOX) 10344

SANTIAGO - CHILE

La fórmula (IV), aproximada, nos daría lo siguiente :

$$R \approx \frac{5729,58}{12^\circ} = 477,46 \text{ pies}$$

$$\underline{R \approx 145,5 \text{ metros}}$$



Ing. José H. Muñoz V.

JHM/

REPREIN

REPRESENTACIONES E INGENIERIA LTDA.

CASILLA (P. O. BOX) 10344

SANTIAGO - CHILE

TABLA DE EQUIVALENCIA ENTRE GRADOS Y RADIOS

| GRADOS | RADIOS | |
|--------|---------|---------|
| | PIES | METROS |
| 1° | 5729,65 | 1.746,4 |
| 2° | 2864,93 | 873,2 |
| 3° | 1910,08 | 582,2 |
| 4° | 1432,69 | 436,7 |
| 5° | 1146,28 | 349,4 |
| 6° | 955,37 | 291,2 |
| 7° | 819,02 | 249,6 |
| 8° | 716,78 | 218,5 |
| 9° | 637,27 | 194,2 |
| 10° | 573,69 | 174,9 |
| 11° | 521,67 | 159,0 |
| 12° | 478,34 | 145,8 |
| 13° | 441,68 | 134,6 |
| 14° | 410,28 | 125,1 |
| 15° | 383,06 | 116,8 |
| 16° | 359,26 | 109,5 |
| 17° | 338,27 | 103,1 |
| 18° | 319,62 | 97,4 |
| 19° | 302,94 | 92,3 |
| 20° | 287,94 | 87,8 |
| 21° | 274,37 | 83,6 |
| 22° | 262,04 | 79,9 |
| 23° | 250,79 | 76,4 |
| 24° | 240,49 | 73,3 |
| 25° | 231,01 | 70,4 |
| 26° | 222,27 | 67,7 |
| 27° | 214,18 | 65,3 |
| 28° | 206,68 | 63,0 |
| 29° | 199,70 | 60,9 |
| 30° | 193,19 | 58,9 |