

REVISTA DE OBRAS PUBLICAS

PUBLICACIÓN TÉCNICA DEL CUERPO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

DIRECTOR

D. MANUEL MALUQUER Y SALVADOR

COLABORADORES

LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

SE PUBLICA LOS JUEVES

Dirección y Administración: Plaza de Oriente, 6, primero derecha.

Cálculo de los cambios de vía

I.—Preliminares.

El aparato usual de cambio de vía (fig. 1.^a), consta esencialmente de dos contraagujas AB , CD y dos agujas MN , PQ , movibles estas dos alrededor de sus extremos N , Q y unidas entre sí por medio de tirantes.

Las dos líneas que proyectan los bordes interiores AB y MN de la aguja y de la contraaguja del mismo lado, cuando están en contacto, se encuentran en un punto M' , que generalmente no coincide con M , y que se llama punta matemática de la aguja; la distancia MN es la longitud real de la aguja, y la $M'N$ la longitud teórica que puede ser igual, mayor ó menor que la real.

La aguja del otro lado, supuesta aplicada á su contraaguja, daría también una punta matemática P' , pero si suponemos que el trozo de vía anterior al cambio está en prolongación de la vía $AM'B$, $CP'Q$, la contraaguja CD no es recta como la AB , sino que está quebrada en P' con el ángulo de desviación de las dos vías. Sin embargo, en la práctica las contraagujas se hacen rectas, lo cual introduce en AC un pequeño estrechamiento que no tiene importancia si $AM' = CP'$ no es muy grande.

Para el asiento del cambio, las líneas esenciales se reducen á las de los bordes interiores de las agujas y contraagujas AB , CD , MN , PQ . En lo sucesivo designaremos con la letra b la longitud teórica $M'N = P'Q$ de las agujas, que suele ser de 4 á 6 metros; con la letra a la distancia $AM' = CP'$, que no suele exceder de medio metro, y con la γ el ángulo de desviación $BM'N = QP'D$, cuya tangente oscila alrededor de 0,02. Los valores de b y γ no son independientes entre sí, pues al fijarlos, es preciso que en BN , QD quede espacio suficiente para el paso de las pestañas de las ruedas.

Las demás dimensiones dependen del modo de estar construido el aparato, y son ajenas al objeto de este estudio.

La figura 2.^a representa la parte esencial del aparato de cruce en su forma ordinaria; se compone de tres partes unidas entre sí; el corazón CBN y las dos patas de liebre MP , AD . Las líneas que proyectan los bordes interiores de los carriles AC , MN , interrumpidas entre las partes que

componen el aparato para dejar paso á la pestaña de las ruedas, se cruzan en un punto B' , que es la punta matemática del cruzamiento; la longitud real del corazón, BC , es aquí siempre menor que la teórica $B'C$. Designaremos en lo sucesivo con la letra f la longitud teórica $B'C = B'N$ del corazón, que suele ser de dos ó tres metros; la distancia de la punta matemática B' á los extremos A , M de las patas de liebre que designaremos con la letra c es más variable; desde el punto de vista de la construcción del aparato, podría éste terminar muy cerca del estrechamiento QE de las

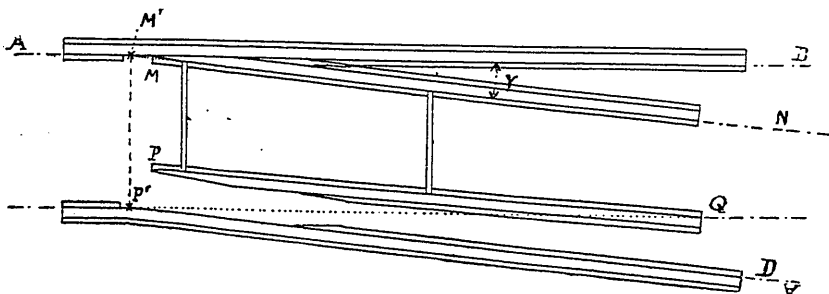


Fig. 1.^a

patas de liebre, pero para el buen funcionamiento del aparato, es muy conveniente que antes de la punta del corazón haya un trozo de vía recta, y esto se hace obligatorio si las ramas MQ y AE son largas; con frecuencia las distancias c , f son iguales.

Con la letra α designaremos el ángulo del cruzamiento formado por las líneas AC , MN , cuya tangente varía de ordinario entre 0,05 y 0,13; los valores pequeños de α dan lugar á cruzamientos en los que las ruedas quedan sin guía

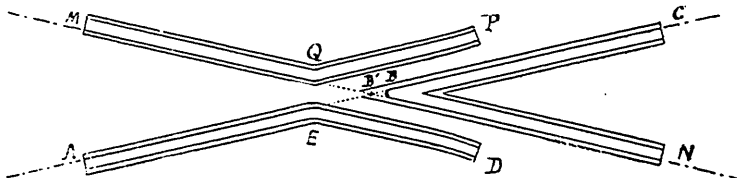


Fig. 2.^a

en una longitud muy grande, mientras que si α es muy grande, se produce una desviación brusca, incompatible con una velocidad que no sea muy pequeña.

La abertura del cruzamiento no siempre se designa con la tangente del ángulo α , y cada modo de designarla da

lugar á fórmulas diferentes; el presente estudio tiene por base de sus cálculos la tangente de α por ser el modo de designación más frecuente, sobre todo en España, y no puede aplicarse, por consiguiente, donde la designación usual sea otra.

II.—Trazado de un cambio recto.

Sea (fig. 3.^a) AE y $A'H$ los bordes interiores de los carriles de la vía directa; BH' y $B'K$ los de la vía desviada; hemos llamado α á la distancia entre la punta B de la aguja y la junta A de la contraaguja, b al largo de las agujas, γ al ángulo de la aguja con la contraaguja, c á la distancia entre la punta matemática G del cruzamiento y la junta anterior F del mismo aparato, f á la distancia entre G y la junta posterior H , y α al ángulo del cruzamiento.

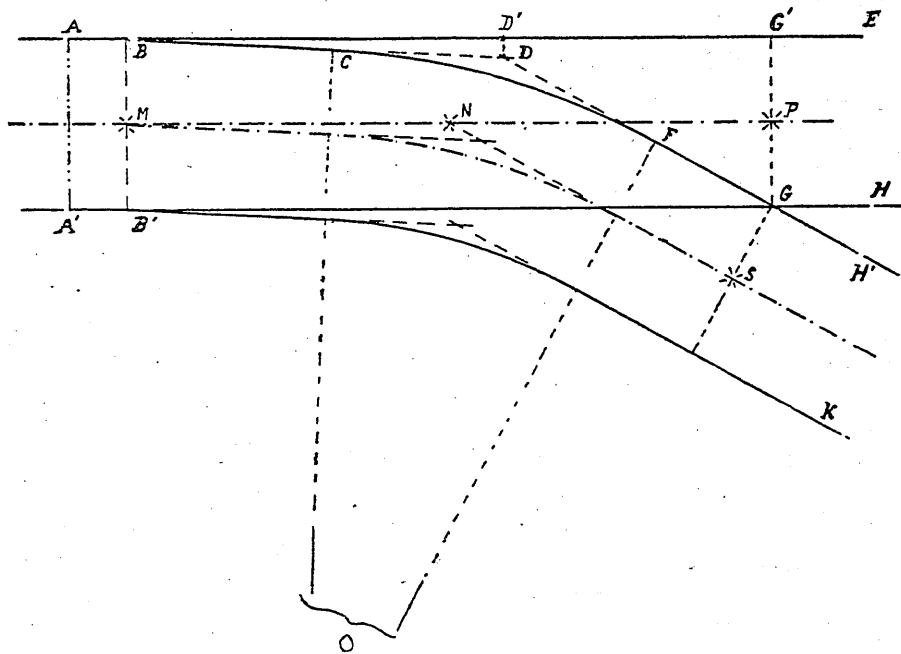


Fig. 3.^a

Llamemos l al ancho de vía (entre bordes interiores), m á la distancia BD , n á la DG y D al desarrollo del cambio, ó sea á la distancia entre la punta B' de la aguja y la G del cruzamiento.

Proyectando la línea BDG sobre BB' y $B'G$ obtenemos las dos ecuaciones

$$\begin{aligned} m \operatorname{sen} \gamma + n \operatorname{sen} \alpha &= l \\ m \cos \gamma + n \cos \alpha &= D \quad (*) \end{aligned} \quad (1)$$

Si llamamos h á la diferencia $b - c$ y suponemos que la curva de enlace de las alineaciones BD y DG alcanza precisamente á los puntos C y F , como CD y DF son iguales tendremos:

$$m - n = b - c = h \quad (2)$$

esta ecuación corresponde al mayor valor del radio de la curva de enlace, pues la simple inspección de la figura hace comprender que cualquier variación en la distancia D hace disminuir alguna de las DC , DF .

(*) Suponemos implícitamente que B y B' están en una perpendicular á la vía directa, lo cual no es exacto; el segundo miembro de esta ecuación debería ser $D - l \operatorname{tang} \frac{\gamma}{2}$, pero no hay inconveniente en suprimir el segundo término que es muy pequeño.

Eliminando m , n entre las ecuaciones (1) y (2) obtenemos

$$D_0 \operatorname{sen} \frac{\alpha + \gamma}{2} = l \cos \frac{\alpha + \gamma}{2} + h \operatorname{sen} \frac{\alpha - \gamma}{2}$$

de donde:

$$D_0 = \frac{l \cos \frac{\alpha + \gamma}{2} + h \operatorname{sen} \frac{\alpha - \gamma}{2}}{\operatorname{sen} \frac{\alpha + \gamma}{2}} \quad (3)$$

este valor D_0 se llamará desarrollo normal, ó desarrollo medio, del cambio.

Proyectando la línea $BCOFG$ sobre BB' y $B'G$ obtenemos las expresiones del radio máximo:

$$r_0 = \frac{D_0 - b \cos \gamma - \cos \alpha}{\operatorname{sen} \alpha - \operatorname{sen} \gamma} = \frac{c l - b \operatorname{sen} \gamma - c \operatorname{sen} \alpha}{\cos \gamma - \cos \alpha} \quad (4)$$

Si adoptamos un radio de unión r menor que r_0 , el valor de D oscilará entre un mínimo D_1 correspondiente á

$$m = b + r \operatorname{tang} \frac{\alpha - \gamma}{2}$$

y un máximo D_2 correspondiente á

$$n = c + r \operatorname{tang} \frac{\alpha - \gamma}{2}$$

cuyos valores serán:

$$D_1 = \frac{l \cos \alpha + b \operatorname{sen} (\alpha - \gamma) + r (1 - \cos (\alpha - \gamma))}{\operatorname{sen} \alpha}$$

$$D_2 = \frac{l \cos \gamma - c \operatorname{sen} (\alpha - \gamma) - r (1 - \cos (\alpha - \gamma))}{\operatorname{sen} \gamma} \quad (5)$$

de donde

$$(D_0 - D_1) \operatorname{sen} \alpha = (D_2 - D_0) \operatorname{sen} \gamma = (r_0 - r) (1 - \cos (\alpha - \gamma))$$

ecuaciones que ligan los incrementos de D_1 , D_2 y r .

El establecimiento de un cambio está ligado á una serie de consideraciones prácticas que obligan á fijar el valor de su desarrollo D dentro de los límites D_1 y D_2 , que corres-

ponden al radio que se adopte; en este caso las ecuaciones (1) nos dan

$$\begin{aligned} BD' &= m \cos \gamma = D \frac{D \tan \alpha - l}{\tan \alpha - \tan \gamma} \\ D'G' &= n \cos \alpha = \frac{l - D \tan \gamma}{\tan \alpha - \tan \gamma} \end{aligned} \quad (6)$$

y el espacio disponible para los aparatos de cambio y cruzamiento será:

$$m - r \tan \frac{\alpha - \gamma}{2} \quad n - r \tan \frac{\alpha - \gamma}{2} \quad (7)$$

Un ejemplo nos servirá para aclarar el procedimiento de cálculo.

Supongamos un cambio en el cual

$$\begin{aligned} \tan \alpha &= 0,09 & c &= 3,030 \\ \tan r &= 0,02 & f &= 3,030 \\ a &= 0,300 & l &= 1,670 \\ b &= 6,000 \end{aligned}$$

las ecuaciones (3) y (4) nos dan

$$D_0 = 32,290 \quad r_0 = 333$$

adoptando para la curva de unión el radio de 300 metros, y teniendo en cuenta que r es el radio de la fila exterior, tendremos $r = 300,835$, de donde (5)

$$D_1 = 31,389 \quad D_2 = 47,263$$

Para fijar definitivamente el desarrollo del cambio, se pueden tener en cuenta principalmente dos consideraciones: ó bien el espacio comprendido entre los aparatos de cambio y cruce $D-b-c$ ha de ocuparse con carriles enteros ó con cupones de longitud determinada, ó por el contrario el espacio ocupado por el cambio completo $D + a + f$ ha de sustituir á un número de carriles enteros. Supongamos que se trata de este último caso y que los carriles tienen 9 metros de longitud, el espacio comprendido entre cuatro carriles, contando con las juntas de dilatación, puede estimarse en 36,015, y como $a + f = 3,33$

$$D = 36,015 - 3,330 = 32,685,$$

número comprendido entre los valores de D_1 y D_2 , y que permite, por consiguiente, la curva de enlace de 300 metros.

Las ecuaciones (6) nos dan en seguida

$$BD' = 18,166 \quad D'G' = 14,519 \quad DD' = 0,363$$

y por último,

$$m = 18,169 \quad n = 14,578,$$

y como la tangente de la curva es de

$$300,835 \times \tan \frac{\alpha - \gamma}{2} = 10,498,$$

el espacio disponible para el aparato de cambio es de

$$18,169 - 10,498 = 7,671$$

$$14,578 - 10,498 = 4,080$$

mayores respectivamente que b y c .

El desarrollo del carril curvo entre los dos aparatos se compone de un trozo recto de $7,671 - 6,000 = 1,671$ del desarrollo de la curva igual á 20,988, y de otro trozo recto de $4,080 - 3,03 = 1,050$, ó sea en total 23,709, mientras el carril recto tiene una longitud de $32,685 - 9,030 = 23,655$.

La diferencia es de 0,054, y se salva ordinariamente con un carril corto: así podremos componer el carril curvo con dos carriles de 9 metros y un cupón de 5,69, dejando 19 milímetros para juntas, y entonces el carril recto se compondrá de un carril de 9 metros, otro de 8,95 y otro cupón de 5,69, quedando 15 milímetros para juntas.

III.—Fórmulas simplificadas.

Las fórmulas empleadas pueden simplificarse ó sustituirse por otras que, sin ser exactas, nos den una aproximación suficiente, y en las que el ángulo del cruzamiento venga siempre expresado por su tangente.

La fórmula (3) que nos da el desarrollo medio puede sustituirse por la aproximada:

$$D_0 = \frac{2l + h(\tan \alpha - \tan \gamma)}{\tan \alpha + \tan \gamma} \quad (8)$$

cuyo error no pasa de algunos centímetros.

El valor del radio máximo puede calcularse por la fórmula

$$r_0 = \frac{D_0 - b - c}{\tan \alpha - \tan \gamma} \quad (9)$$

que aunque poco aproximada es suficiente para los tanteos.

Las fórmulas (5) pueden transformarse en

$$\begin{aligned} D_1 &= \frac{l + \cos \gamma [b(\tan \alpha - r) + \gamma \left(\frac{1}{\cos \alpha \cos \gamma} - 1 - \tan \alpha \tan \gamma \right)]}{\tan \alpha} \\ D_2 &= \frac{l - \cos \alpha [c(\tan \alpha - \tan \gamma) + r \left(\frac{1}{\cos \alpha \cos \gamma} - 1 - \tan \alpha \tan \gamma \right)]}{\tan \gamma} \end{aligned}$$

y haciendo con gran aproximación dada la pequeñez de los ángulos

$$\frac{1}{\cos} = 1 + \frac{1}{2} \tan^2; \quad \cos = 1 - \frac{1}{2} \tan^2 \quad (*)$$

$$\begin{aligned} (*) \quad \frac{1}{\cos} &= \sqrt{1 + \tan^2} \text{ y aproximadamente } \frac{1}{\cos} \\ &= \sqrt{1 + \tan^2 + \frac{1}{4} \tan^4} = 1 + \frac{1}{2} \tan^2 \cos = \frac{1}{1 + \frac{1}{2} \tan^2} \end{aligned}$$

$$= \frac{1 - \frac{1}{2} \tan^2}{1 + \frac{1}{2} \tan^2} = \frac{1 - \frac{1}{2} \tan^2}{1 - \frac{1}{4} \tan^4} \text{ y aproximadamente}$$

$$\cos = 1 - \frac{1}{2} \tan^2.$$

tendremos por fin

$$D_1 = \frac{l + (1 - \frac{1}{2} \tan^2 \gamma) (\tan \alpha - \tan \gamma) [b + \frac{1}{2} r]}{\tan x} \quad (10)$$

$$D_2 = \frac{l - (1 - \frac{1}{2} \tan^2 \alpha) (\tan \alpha - \tan \gamma) [c + \frac{1}{2} r]}{\tan \gamma}$$

fórmulas de empleo más cómodo y muy aproximadas.

En las fórmulas (6) pueden sustituirse $\frac{1}{\cos \gamma}$ y $\frac{1}{\cos \alpha}$ por sus valores aproximados $1 + \frac{1}{2} \tan^2 \alpha$; $1 + \frac{1}{2} \tan^2 \gamma$, obteniéndose

$$m = (1 + \frac{1}{2} \tan^2 \gamma) \frac{D \tan \alpha - l}{\tan \alpha - \tan \gamma};$$

$$n = (1 + \frac{1}{2} \tan^2 \alpha) \frac{l - D \tan \gamma}{\tan \alpha - \tan \gamma} \quad (11)$$

y, por último, el valor $\tan \frac{\alpha - \gamma}{2}$ de las fórmulas (7), pue-

de sustituirse también con mucha aproximación por

$$\frac{2 (\tan \alpha - \tan \gamma)}{4 + (\tan \alpha + \tan \gamma)^2} \quad (*) \quad (12)$$

ANTONIO PRIETO Y VIVES.

(Continuará.)

FERROCARRILES

(CONTINUACIÓN)

Con cargas pesadas y á velocidades elevadas es cuando el recalentado se hace más ventajoso, porque á medida que la velocidad aumenta, el trabajo absorbido por los rozamientos del mecanismo y la resistencia del aire aumentan también, y estas resistencias son notablemente menores en la máquina de vapor recalentado del tipo de simple expansión.

El aumento considerable de potencia, debido al recalentado, que se ha observado en todos los ensayos efectuados hasta la fecha, tiene mucha más importancia para el servicio de tracción que las mayores economías de carbón y de

agua y debería mirarse por encima de todas las demás consideraciones, tanto más cuanto que la economía uniforme obtenida con las más pequeñas y las mayores potencias permitiría reducir el número de tipos de máquinas, en uso para los diversos servicios.

Á los ojos del práctico, la mejor solución del problema de la mayor potencia de tracción de la locomotora de vapor recalentado resultará siempre de ensayos comparativos hechos en condiciones constantemente similares. Estos ensayos han sido hechos con todas las locomotoras de vapor recalentado de los ferrocarriles del Estado prusiano, y no dejan lugar á ninguna duda en cuanto á su superioridad sobre las locomotoras Compound de cuatro cilindros más pesadas.

Tipos de recalentadores.

Los recalentadores para calderas de locomotoras pueden clasificarse como sigue, según su modo de funcionamiento:

a.—Los que no utilizan sino una parte de los gases vivos de la combustión. Esta categoría comprende el tipo Schmidt y los variantes que de él se derivan: Cole, Vaughan y Notkin.

b.—Aquellos en que todos los gases calientes atraviesan el recalentador. Esta categoría comprende los tipos Pielock, Slucki y Clench.

c.—Aquellos en que el caldeo se hace utilizando el calor perdido de los gases de la combustión.

d.—Aquellos en que el calor necesario lo suministra un foco calorífico independiente.

El trayecto de la corriente de los gases calientes y de la corriente del vapor que se trata de recalentar, es de una importancia capital para la determinación del rendimiento de los recalentadores. En lo que concierne al primero, es preciso tener cuidado de proteger los tubos contra la acción directa de la llama; para el segundo, es esencial aplicar el principio de las contracorrientes, que permiten conducir el vapor menos caliente hasta ponerlo en contacto con la parte más caliente de los tubos. El problema de saber si los tubos deben disponerse transversalmente ó paralelamente á la corriente de los gases de la combustión, no puede considerarse como definitivamente resuelto; sin embargo, la experiencia adquirida con calderas fijas parece demostrar que la circulación de los gases en plano paralelo es más favorable para la regularidad del caldeo.

Es absolutamente indispensable el poder regular la evacuación de los gases á través del recalentado, de modo que la intensidad de la corriente caliente pueda moderarse según las circunstancias, y hasta cortarse por completo durante las detenciones de la máquina, con el fin de evitar que los tubos se pongan al rojo, cuando el vapor cesa de circular. Esta condición se impone particularmente con los recalentadores de la segunda categoría, en que los tubos ordinarios de la caldera sirven como recalentadores. Sólo en los sistemas en que el recalentador está á una distancia notable del hogar, puede prescindirse de válvulas que cierren el acceso al recalentador; pero con este tipo no puede obtenerse un grado eficaz de recalentado.

Es preciso que el sistema de recalentador comprenda el mayor número posible de tubos gruesos, de pequeño diámetro, á fin de que haya repetidas mezclas de corrientes; no obstante, se atenderá á que el vapor que haya sido ya recalentado no vuelva á ponerse en contacto con el vapor húmedo ó saturado, como ocurre con el recalentador Pielock, donde la corriente de vapor recalentado es conducida á través de

$$(*) \quad \tan \frac{\alpha - \gamma}{2} = \frac{\sin (\alpha - \gamma)}{1 + \cos (\alpha - \gamma)}$$

$$= \frac{\tan \alpha - \tan \gamma}{1 + \tan \alpha \tan \gamma + \frac{\cos \alpha \cos \gamma}{1}}$$

y haciendo $\frac{1}{\cos} = 1 + \frac{1}{2} \tan^2$

$$\tan \frac{\alpha - \gamma}{2} = \frac{2 (\tan \alpha - \tan \gamma)}{4 + (\tan \alpha + \tan \gamma)^2}$$

La aproximación de esta fórmula, alcanza para los valores usuales á la 5.^a cifra decimal.