

Ensayo sobre una teoría general de los enclavamientos¹

VI

La realización de los enclavamientos ternarios en el sistema Saxby se consigue por medio de una barra auxiliar *M* (fig. 8.^a), que se enlaza binariamente con la palanca *C* por medio de su prisma oscilante (no figurado); la barra *M* tiene un taco articulado *T* y otro fijo *S*, y las barras *A* y *B* tienen dos muescas *P* y *Q* y dos dientes *H* y *J*.

Si los dientes *H* y *J* estuviesen a la derecha del taco *S*, el enclavamiento realizado sería uno de los dos:

$$(A^+ B^+ C^+) \quad (A^+ B^+ C^-)$$

y así, por la permutación de las palancas, pueden realizarse todos.

Otra disposición posible es la de la figura 9.^a, en

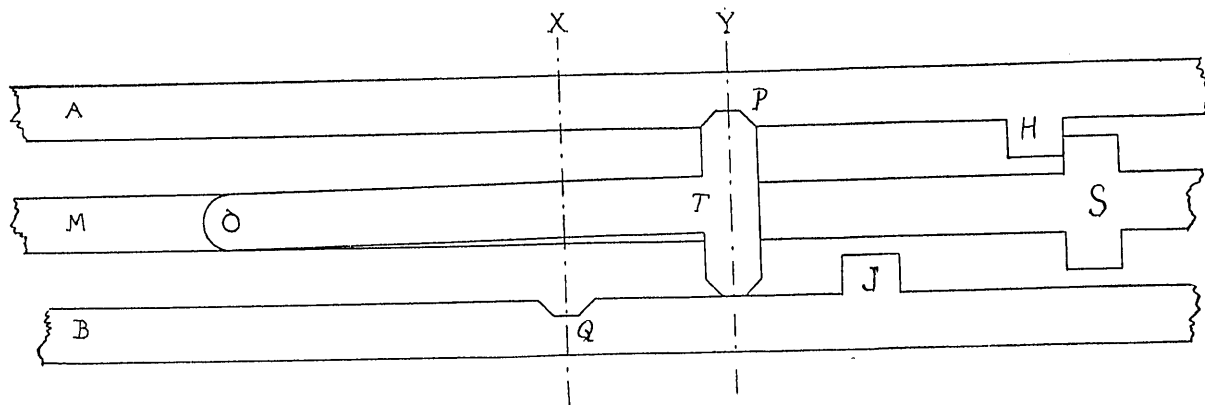


Figura 8.^a

En la posición normal las dos muescas *P* y *Q* están sobre la línea *Y*; los dientes *H* y *J* en contacto con *S* y el prisma oscilante de la palanca *C*, libre. Si se invierte *B* como en la figura, la barra *M* se hace solidaria de *A* por medio del taco *T* y se realiza un enclavamiento binario entre *A* y *C*; lo mismo sucede si es *A* la que se invierte. Si se invierten las dos, el taco *T* arrastra la barra *M* hacia la izquierda y *C* queda inmovilizada, librándose cuando se mueve alguna de las dos barras *A* o *B* por arrastrar los dien-

tales *H* o *J* a la barra *M* por medio del taco *S*. La figura representa la posición normal, en la que las muescas *P* y *Q* no se corresponden como en el caso anterior; al invertir las palancas, *Q* se mueve de *X* a *Y* y *P* de *Y* a *Z*.

Resulta así realizado, según la forma del prisma oscilante *C* (no figurado), uno de los dos enclavamientos:

$$(A^- B^+ C^+) \quad (A^- B^+ C^-)$$

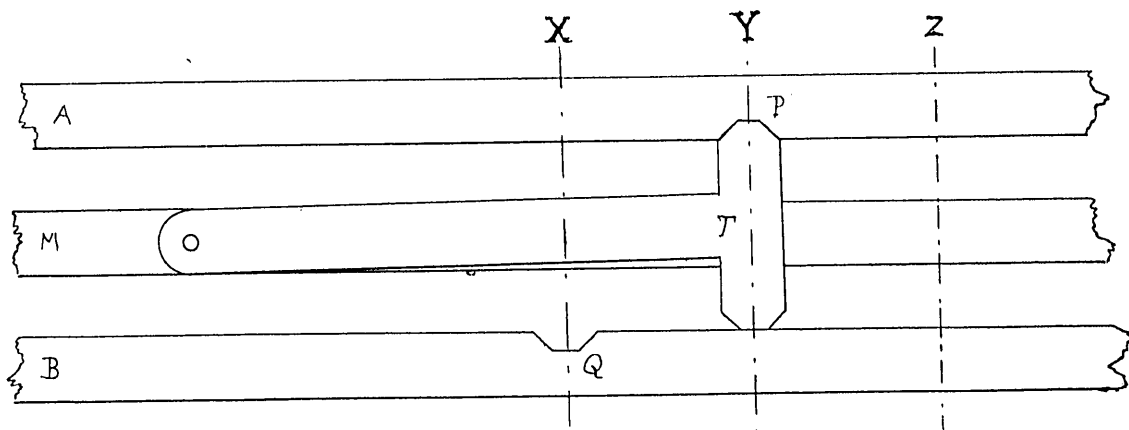


Figura 9.^a

tes *H* o *J* a la barra *M* por medio del taco *S*. Así se realiza, según la forma del prisma *C*, uno de los dos enclavamientos:

$$(A^- B^- C^-) \quad (A^- B^- C^+)$$

y por permutación todos menos los dos

$$(A^+ B^+ C^+) \quad (A^- B^- C^-)$$

En el caso de las barras únicas (fig. 10), el enclavamiento ternario se establece disponiendo en la barra central *B* una barra supletoria oscilante *M* y dos

¹ Véase el número anterior, página 277.

tacos independientes S y T , que son más estrechos que los de la figura 6.^a, siendo la diferencia igual a la mitad del suplemento P .

La figura representa la posición normal de las tres barras, que se invierten descendiendo de X a Y ; en esta posición

$$\frac{B^+ C^-}{A^+},$$

pero si se invierte C queda la A libre; invirtiendo luego A

$$\frac{A^- B^+}{C^-},$$

Si por el contrario, a partir de la posición de la figura invertimos sucesivamente B y A ,

$$\frac{A^- C^+}{B^-},$$

y en resumen vemos realizado el enclavamiento:

$$(A^- B^+ C^+).$$

La solución es general; variando la disposición de los suplementos pueden establecerse todos los enclavamientos ternarios, y dividiendo los tacos pueden enlazarse barras que no estén contiguas.

En teoría pueden realizarse también por el mismo procedimiento enclavamientos de cualquier or-

den, multiplicando las barras oscilantes y disminuyendo el ancho de los tacos, pero el funcionamiento se hace inseguro a medida que el orden se eleva, por exigir una precisión creciente en las dimensiones y los ajustes de las piezas.

VII

Las dificultades de ejecución aconsejan el estudio de la reducción de los enclavamientos de orden elevado.

La adición de palancas auxiliares permite la reducción hasta el tercer grado, puesto que, como sabemos,

$$(A^- B^+ C^+) + (M^+ N^- C^-) = (A^- B^+ M^+ N^-)$$

y por medio de la palanca C , que no mueve ningún aparato, podemos sustituir el enclavamiento cuaternario por dos ternarios.

De igual modo la ecuación:

$$(A^- B^+ C^- D^+ E^-) = (A^- B^+ X^+) + (X^- C^- Y^+) + (Y^- D^+ E^-)$$

nos demuestra cómo, con dos palancas auxiliares, podemos sustituir un enclavamiento de quinto orden por tres de tercero. En general, un enclavamiento de orden n , se puede sustituir por $n - 2$ enclavamientos ternarios por medio de $n - 3$ palancas auxiliares.

La reducción a enclavamientos binarios no es posible más que en determinados casos. Si tenemos enclavada la palanca de una señal A con otros aparatos

$$(A^- B^+ C^- D^+)$$

podemos dotar a dicha señal de tres palancas A_1, A_2, A_3 capaces, cada una de ellas, de abrir la señal, aunque las otras dos se mantengan en posición normal; claro está que esto sólo puede hacerse en las señales, por el automatismo de su cierre, que hace que las transmisiones funcionen disimétricamente, pero no sería posible en las agujas, cuya maniobra es simétrica. En estas condiciones, el enclavamiento propuesto puede sustituirse por los tres binarios.

$$(A_1^- B^+) (A_2^- C^-) (A_3^- D^+)$$

puesto que la coincidencia de las posiciones B^+, C^-, D^+ imposibilita abrir la señal con ninguna de las palancas, mientras basta invertir una de las B, C o D para que la señal pueda abrirse con una de ellas. Así, pues, podremos escribir, en general:

$$(A^- B^+ C^- D^+ \dots) = (A_1^- B^+) + (A_2^- C^-) + (A_3^- D^+) + \dots$$

El número de palancas añadidas, en el caso de un enclavamiento de orden n , es de $n-2$.

Este procedimiento no es aplicable, en general, cuando la señal está ligada independientemente a varios grupos de aparatos; si tenemos los dos enclavamientos ternarios

$$(A^- B^+ C^-) (A^- D^- E^+)$$

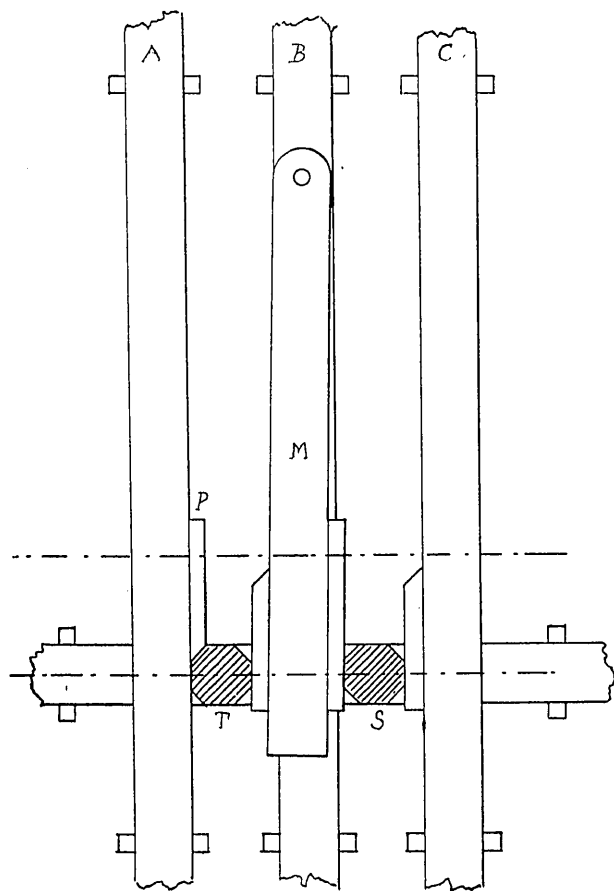


Figura 10.

enclavamiento ya establecido, con lo cual no se introduce ninguna nueva restricción.

Si dotamos a la señal A de cinco palancas y las ligamos binariamente a las $M \dots R$, tendremos sustituido el enclavamiento [5], según la ecuación:

$$(A^- M^+ N^+ P^+ Q^+ R^+) = (A_1^- M^+) + (A_2^- N^+) + (A_3^- P^+) + (A_4^- Q^+) + (A_5^- R^+)$$

Para poder sustituir a la vez a los del grupo [4], necesitamos disponer los binarios:

$$(A_1^- C^-), (A_2^- C^+), (A_3^- D^-), (A_4^- E^-), (A_5^- E^+).$$

Todos los enclavamientos del grupo [3] pueden sustituirse por medio de estos binarios, menos los dos primeros, que exigen para ello la formación de los cuatro siguientes:

$$(A_1^- B^-) (A_2^- B^-) (A_4^- D^+) (A_5^- D^+)$$

Por último, en los del grupo [2] sólo el primero necesitará los tres nuevos binarios:

$$(A_3^- B^+) (A_4^- B^+) (A_5^- B^+)$$

quedando así sustituidos también los primitivos [1], según las ecuaciones:

$$(A^- B^+ C^+ M^+) = (A_1^- M^+) + (A_2^- C^+) + (A_3^- B^+) + (A_4^- B^+) + (A_5^- B^+)$$

$$(A^- B^+ C^- N^+) = (A_1^- C^-) + (A_2^- N^+) + (A_3^- B^+) + (A_4^- B^+) + (A_5^- B^+)$$

$$(A^- B^- D^+ P^+) = (A_1^- B^-) + (A_2^- B^-) + (A_3^- P^+) + (A_4^- D^+) + (A_5^- D^+)$$

$$(A^- B^- D^- E^+ Q^+) = (A_1^- B^-) + (A_2^- B^-) + (A_3^- D^-) + (A_4^- Q^+) + (A_5^- E^+)$$

$$(A^- B^- D^- E^- R^+) = (A_1^- B^-) + (A_2^- B^-) + (A_3^- D^-) + (A_4^- E^-) + (A_5^- R^+)$$

Además se forman una serie de resultantes binarios de las formas:

$$(A_m^- A_n^-)$$

que hacen imposible abrir la señal con más de una palanca a la vez.

En resumen, hemos establecido los enclavamientos binarios:

$$\begin{array}{ccc} (A_1^- B^-) & (A_2^- B^-) & (A_3^- B^+) \\ (A_4^- B^+) & (A_5^- B^+) & \\ \\ (A_1^- C^-) & (A_2^- C^+) & (A_3^- D^-) \\ (A_4^- D^+) & (A_5^- D^+) & \\ \\ (A_1^- M^+) & (A_2^- N^+) & (A_3^- P^+) \\ (A_4^- E^-) & (A_5^- E^+) & \\ (A_4^- Q^+) & (A_5^- R^+) & \end{array} \quad [6]$$

cuyo conjunto equivale a los de orden superior que resultan de sumar las combinaciones de cinco de ellos que contengan las cinco palancas de A , con la excepción de las que contengan otras de las palancas en dos posiciones opuestas; entre estos enclavamientos están, no sólo los primitivos [1], sino sus resultantes [2], [3], [4] y [5].

Pero, además, no se pueden formar otros esencialmente distintos, porque los que se formen, serán iguales a uno de los 31 formulados, con adición de alguna palanca que no aumenta sus restricciones.

El sistema [6] de enclavamientos binarios es, pues, equivalente al [1] propuesto.

En ambos sistemas, cerrada la señal, quedan todos los cambios libres, puesto que en ningún enclavamiento entra A^+ ; la señal puede abrirse con una de sus palancas cuando quedan debidamente dispuestos todos los cambios que dan paso a la vía correspondiente, no siendo posible abrirla con más de una palanca a la vez.

El número de enclavamientos binarios que así se forman, depende de la distribución de las vías del haz.

En efecto, un haz *diagonal* A (fig. 12) de n vías (5 en la figura), tiene $(n-1)$ cambios, y los distintos itinerarios dan un número de combinaciones

$$1 + 2 + \dots + (n-1) + (n-1) = \frac{(n-1)n}{2} + (n-1) = \frac{(n-1)(n+2)}{2} = \frac{n^2 + n - 2}{2}.$$

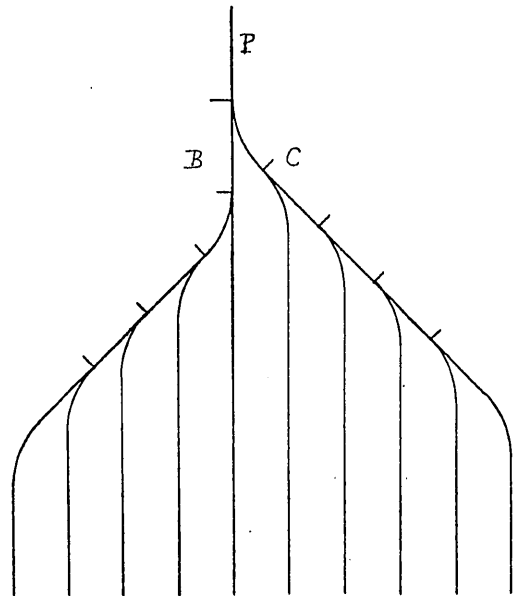
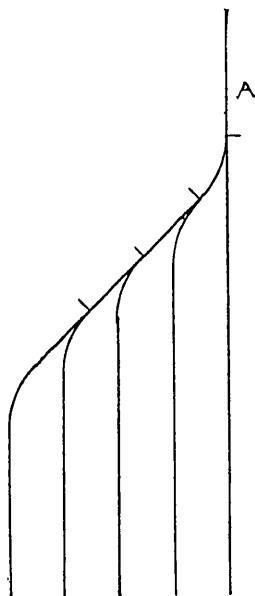


Figura 12

Si reunimos dos haces diagonales de m y n vías B y C con un cambio P , haciendo un haz de $n + m$ vías, el número de cambios será de

$$(n - 1) + (m - 1) + 1 = (m + n - 1)$$

y el de combinaciones binarias:

$$N_1 = \left(\frac{n^2 + m - 2}{2} + m \right) + \left(\frac{n^2 + n - 2}{2} + n \right) = \frac{m^2 + n^2 + 3(m + n) - 4}{2}$$

Pero en un haz diagonal del mismo número de vías $m + n$, el número de combinaciones será de:

$$N_2 = \frac{(m + n)^2 + (m + n) - 2}{2}$$

y la diferencia

$$N_2 - N_1 = mn - (m + n) + 1 = (m - 1)(n - 1)$$

es siempre positiva, y por consiguiente

$$N_2 > N_1.$$

De aquí se deduce que siempre se economizan combinaciones binarias dividiendo un haz y, por consiguiente, el haz *dicolómico*, en el que cada vía se divide sucesivamente en dos, es el más económico de enclavamientos.

En esta clase de haces, si su forma es regular, es decir, si hay que atravesar el mismo número de cambios para llegar a cada una de las vías, el número de cambios es de $n = 2^p$, siendo p el número de bifurcaciones sucesivas; el número de combinaciones binarias es de p para cualquiera de las vías, y el total, por consiguiente, de

$$N_3 = pn = n \frac{\log n}{\log 2},$$

que sólo nos dará un resultado entero cuando n sea una potencia de 2.

Para $n = 8$, $p = 3$, $N_3 = 24$ y $N_2 = 35$, y dividiendo el haz en dos diagonales de 4 vías, $N_1 = 26$.

IX

Si no existiera la prohibición de circular por las vías muertas, los enclavamientos serían inútiles, puesto que cualquiera que fuese la posición de los cambios de enlace B , C , D , E (fig. 11), siempre habría un camino posible y siempre debería poder abrirse la señal, que vendría a quedar libre. Las palancas M , $\dots$, R son, pues, necesarias para la seguridad de la circulación, aunque no existan las vías muertas; representan en este caso un obstáculo posible, que puede no ser material, sino la simple voluntad de no permitir la circulación por una vía determinada. Estas palancas, que no mueven aparato, se llaman entonces palancas *directoras*.

La nueva función de estas palancas exige una modificación en los enclavamientos: el primitivo es entonces el

$$(A^- M^+ N^+ P^+ Q^+ R^+) \quad [5]$$

que representa la prohibición de abrir la señal mientras todas las palancas directoras permanezcan cerradas.

A este enclavamiento añadiremos los binarios:

$$\begin{array}{ccccc} (A^- B^-) & (N^- B^-) & (P^- B^+) & (Q^- B^+) & (R^- B^+) \\ (A^- C^-) & (N^- C^+) & (P^- D^-) & (Q^- D^+) & (R^- D^+) \\ & & & (Q^- E^-) & (R^- E^+) \end{array}$$

que, combinados con el [5], reproducen los [1], [2], [3] y [4].

La seguridad es, pues, equivalente, pero el sistema es más restrictivo, aunque sólo para las palancas directoras, pues mientras éstas permanecen en posición normal, los cambios de enlace quedan libres; en cambio, las directoras no pueden moverse sin que los cambios de las correspondientes vías estén en posición correcta, siendo sus enlaces los mismos que antes tenían las palancas de la señal. Esta situación, que no estorba nada a la libertad de las maniobras, tiene la ventaja de desligar la señal, que puede cerrarse en cualquier momento sin librar los cambios de vía, que quedan sujetos por las palancas directoras. El enclavamiento [5] puede reducirse a binarios dotando a la señal de cinco palancas, según la ecuación:

$$\begin{aligned} (A^- M^+ N^+ P^+ Q^+ R^+) &= \\ &= (A_1^- M^+) + (A_2^- N^+) + \\ &+ (A_3^- P^+) + (A_4^- Q^+) + \\ &+ (A_5^- R^+) \end{aligned}$$

Los mismos enclavamientos pueden servir en caso de circulación en sentido contrario, disponiendo señales H , cuyas palancas tendrán las mismas relaciones que las de A ; habrá que establecer después la incompatibilidad entre las señales H y A , lo que puede eludirse usando palancas de tres posiciones, que en su posición central cierran las señales y en cada una de las extremas abren la A ó una de las H .

Las señales H pueden abrirse todas con una sola palanca, siempre que se disponga de un mecanismo *selector* que abra en cada caso la que corresponda.

Si la circulación ha de atravesar un haz entero (figura 13), tendremos que establecer a la entrada, a partir de la señal A , para una de las vías, la 3.^a; por ejemplo, los enclavamientos:

$$(A_3^- M^+) (M^- B^+) (M^- C^-) (M^- D^+)$$

siendo M la palanca directora correspondiente a dicha vía. A la salida, la señal X y la directora N estarán ligadas por los enclavamientos:

$$(X^- N^+) (N^- E^+) (N^- F^-) (N^- G^-) (N^- H^-) (N^- S^+)$$

pero, para no exponernos a entrar en el haz cuando la salida está interceptada, necesitaremos añadir a éstos otro enclavamiento llamado de *continuidad*:

$$(A_3^- X^+)$$

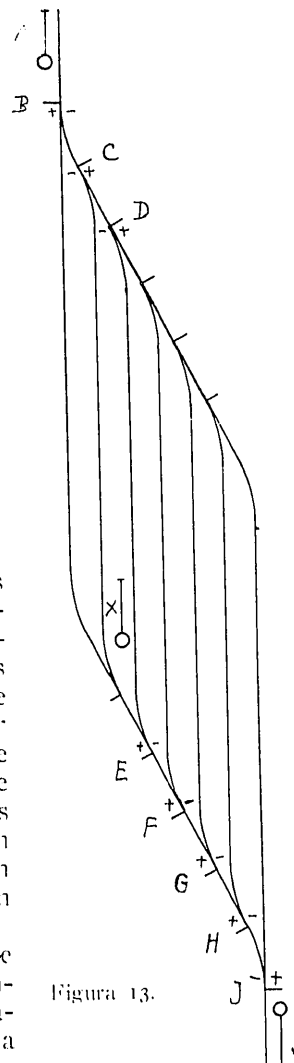


Figura 13.

que imposibilita la inversión de A cuando X está cerrada; este enclavamiento, compuesto con el $(X^- N^+)$, da como resultante:

$$(A_3^- N^+)$$

que impide abrir A antes de invertir N .

Las palancas M y N realizan, pues, igual función, una para los cambios de entrada y otra para los de salida, en relación con la señal A ; la X , puede, pues suprimirse refundiendo en una las M y N . Los enclavamientos serán entonces:

$$(A_3^- M^+) (A_1^- B^+) (A_1^- C^-) (A_1^- D^+) (A_1^- E^-) \\ (A_1^- F^-) (A_1^- G^-) (M^- H^-) (M^- J^-)$$

La palanca M recibe entonces el nombre de *palanca al itinerario*.

Si la circulación ha de atravesar varios haces, protegidos por una sola señal de entrada A , con $m, n, p, \dots$ vías, respectivamente, el número de itinerarios posibles será de $m \times n \times p \times \dots$

Pero si conservamos la independencia de los haces, protegiendo a cada uno con su señal, el número de palancas de itinerario sólo será de $m + n + p \dots$ con los enclavamientos:

$$(A^- M_1^+ M_2^+ \dots M_m^+) \\ (B^- N_1^+ N_2^+ \dots N_n^+) \\ (C^- P_1^+ P_2^+ \dots P_p^+) \\ \dots \dots \dots$$

Si quisiéramos relacionar entre sí las señales $A, B, C \dots$ añadiremos los binarios:

$$(A^- B^+) (A^- C^+) \dots$$

lo que equivale a establecer directamente:

$$(A^- M_1^+ M_2^+ \dots M_m^+) \\ (A^- N_1^+ N_2^+ \dots N_n^+) \\ (A^- P_1^+ P_2^+ \dots P_p^+) \\ \dots \dots \dots$$

suprimiendo las señales B, C , etc., la señal única A sólo podrá entonces abrirse cuando se haya invertido una palanca de itinerario en cada uno de los haces.

En este caso no es posible hacer la reducción binaria; se formarían enclavamientos no previstos que inutilizarían algunos de los itinerarios disponibles.

X

Un enclavamiento binario consiste, en resumen, en una relación entre dos conjuntos *palanca-transmisión-aparato*; hemos supuesto hasta ahora que esta relación sólo se establecía entre las palancas, pero nada se opone a que se establezca entre las transmisiones o los aparatos mismos, y hay casos en que con ello se produce indudable ventaja.

Si hacemos depender la continuidad de una transmisión de la posición de otro aparato, de modo que no pueda, por ejemplo, llegarse a la posición A^- sin

haber realizado antes B^- , tendremos una relación que pueda expresarse por el símbolo:

$$B^+/A^+$$

que no representa por sí solo un enclavamiento como

su análogo $\frac{B^+}{A^+}$, puesto que a partir de la posición $A^+ B^+$ pueden obtenerse sucesivamente las $A^+ B^-$, $A^- B^-$ y $A^- B^+$, y sólo habremos conseguido fijar un orden a la maniobra. Para producir el enclavamiento es preciso realizar separadamente B^+/A^+ y A^-/B^- y entonces:

$$A^-/B^- + B^+/A^+ = (A^- B^+)$$

diferenciándose este nuevo sistema de enclavamientos del de palancas en que los dos recíprocos son in-

dependientes en vez de ser, como los $\frac{A^-}{B^-}$ y $\frac{B^+}{A^+}$,

consecuencias cinemáticas uno del otro.

Si el aparato A es una señal automática que se cierra sola cuando falta la continuidad de su transmisión, bastará, para asegurar el enclavamiento, establecer B^+/A^+ ; en efecto, partiendo de la posición $A^+ B^+$ obtendremos sin dificultad $A^+ B^-$ y $A^- B^-$, pero al tratar de invertir B cortaremos la continuidad de la transmisión de A y la señal se cerrará automáticamente, no pudiendo realizarse la posición $A^- B^+$.

En este caso particular tendremos, pues:

$$[B^+/A^+] = (A^- B^+)$$

añadiendo el paréntesis [] para distinguirlo del caso anterior.

Si se trata de un enclavamiento de orden más elevado, como el:

$$(A^- M^+ N^+ P^+)$$

será preciso dotar a A de tres transmisiones que pueden moverse con una palanca única, estableciendo las relaciones:

$$\frac{A^{-(1)}}{M^+/A^{+(1)}} \quad \frac{A^{-(2)}}{N^+/A^{+(2)}} \quad \frac{A^{-(3)}}{P^+/A^{+(3)}}$$

en las que los índices entre paréntesis no representan las palancas, sino las transmisiones; la equivalencia puede expresarse por la ecuación simbólica:

$$A^{-(1,2,3)}/(M^- N^- P^-) + (M^+ N^+ P^+)/A^{+(1,2,3)} = \\ = (A^- M^+ N^+ P^+)$$

Para enlazar con esta clase de enclavamientos las palancas directoras o de itinerario, es preciso dotarlas de transmisiones que alcancen al lugar donde las relaciones hayan de establecerse.

Si A fuese una señal automática, bastaría que las transmisiones de M, N y P interviniesen a A para realizar el enclavamiento, lo que se expresaría por la ecuación:

$$(A^- M^+ N^+ P^+) = [(M^+ N^+ P^+)/A^{+(1,2,3)}]$$

Antonio PRIETO,

Profesor de la Escuela de Caminos.