

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

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.

SOBRE UN SISTEMA DE NOTACIONES Y SÍMBOLOS

DESTINADOS A FACILITAR LA DESCRIPCIÓN DE LAS MÁQUINAS

POR

D. LEONARDO DE TORRES QUEVEDO

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos (1).

Compónense las máquinas, en general, de órganos diferentes enlazados entre sí de muy diversas maneras, y constituye una gran dificultad el describir estos órganos y estas conexiones de modo que pueda el lector entender la descripción sin un trabajo excesivo.

La Geometría descriptiva da medios adecuados de realizarla; pero después de trazar un cierto número de plantas, alzados y cortes, es muy difícil guiar al lector por aquel laberinto de líneas y figuras; resulta muy penoso, aun para lectores acostumbrados a esta clase de estudios, imaginarse la máquina tal como ella es; reconstituirla con el pensamiento, formando primero cada órgano con las diferentes representaciones que de él se den en los dibujos, y estableciendo luego entre ellos todas las conexiones mecánicas necesarias para que la máquina quede construida. Ocurre, como consecuencia de todas estas dificultades, que son pocas las descripciones de aparatos complicados, que se escriben, y muchas menos aún las que se leen.

Babbage y Reuleaux—y supongo que también otros, aunque yo no tengo noticia de ellos—han tratado, sin éxito ninguno, de poner remedio a este inconveniente; pero el que estos autores eminentes hayan fracasado, no ha de ser motivo suficiente para que se abandone empeño de tanta importancia; las construcciones mecánicas, que se complican más y más cada día, exigen, con apremio cada vez mayor, un medio adecuado de describirlas; creo haber ideado uno que ofrece indudables ventajas.

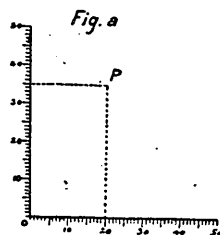
Mo se trata de suprimir ni aun de alterar esencialmente los procedimientos de representación gráfica que creo insustituibles. Con la solución aquí propuesta aspiro únicamente a simplificar los dibujos y el texto, y a dar más precisión a las descripciones, acudiendo a símbolos para representar los órganos y conexiones más usuales, y utilizando para las acotaciones el sistema de coordenadas cartesianas.

Cada símbolo representará un elemento de los que más repetidamente es necesario considerar en las máquinas: una figura, un órgano mecánico, una conexión ó una transmisión de movimientos de las más usuales; y como casi todos estos elementos tienen formas características que es fácil reproducir al dibujar los símbolos correspondientes, no habrá dificultad ninguna en

aprender la significación de estos últimos. Todos los que se dedican al estudio de las máquinas llegarán a conocerlos sin trabajo, lo mismo que han aprendido los electricistas, casi sin darse cuenta de ello, a conocer los símbolos que figuran en sus esquemas.

El empleo de las coordenadas cartesianas será provechoso, aun para las personas que no tienen noción ninguna de Geometría, en algunos casos muy sencillos; por ejemplo, cuando se utilicen solamente para facilitar la descripción de un dibujo complicado; lo mismo si representa una máquina que si representa otro objeto cualquiera.

Añadamos, en efecto, a un dibujo (fig. a) dos escalas $O X$,



$O Y$, que nos servirán de ejes cartesianos, y convengamos en designar un punto por sus dos coordenadas, poniendo siempre primero la x y luego la y , en esta forma $p(20 + 35)$. Con sólo esto, habremos facilitado, a veces extraordinariamente, el trabajo del lector, que pierde con frecuencia el tiempo y la vista, buscando, a bulto, en varios decímetros cuadrados de papel aquellos puntos ó letras á que se hace referencia en el texto. Esta fatiga innecesaria la evita siempre el que da explicaciones verbales acerca de una figura, valiéndose de un puntero ó de un lápiz para ir señalando los puntos que nombra. No se concibe que le ocurra á ningún conferenciante prescindir del puntero, ni encontraría, si tal hiciera, público que le escuchara. Pues lo mismo sucede con las descripciones escritas, y muchos que las abandonan, fatigados, á mitad de lectura, seguirían hasta el fin si les facilitaran su trabajo. El medio propuesto para ello no puede ser más sencillo, y su eficacia será evidente para quien se haya fijado, al manejar un atlas, en lo fácilmente que se encuentra un pueblo cuyas coordenadas geográficas son conocidas, á pesar de que allí las escalas no están tan bien dispuestas como las que acabo de proponer.

Cuando se trate de describir una máquina, se elegirán los tres ejes de coordenadas paralelos á las tres direcciones principales que casi siempre pueden considerarse en ella. Tomaremos, por ejemplo, los planos ZX y XY paralelos respectivamente á los planos de proyección que se adopten para la representación gráfica, y con esto, á más de simplificar la representación

(1) Conferencia explicada en el Instituto de Ingenieros civiles.

analítica de los diferentes mecanismos, estableceremos entre ambas representaciones una relación que permitirá al lector pasar fácilmente de la una á la otra, para que mutuamente se complementen.

Convendrá á veces elegir un sistema de coordenadas diferente del cartesiano, ó emplear diferentes sistemas de ejes para representar los diferentes grupos de mecanismos que componen una máquina y que no estarán quizá orientados todos de la misma manera. Se podrá, en fin, apelar á todos los recursos de la Geometría analítica; no hay medio de poner límites en esto, que ha de quedar á la discreción del autor, pero seguramente no convendrá acudir á fórmulas y artificios complicados, si no es en casos especiales y dirigiéndose á un público muy restringido.

No cabe dudar, á mi juicio, de las ventajas que ofrecería el lenguaje simbólico; permitiría, en general, simplificar los dibujos, dando noticia exacta al lector de algunos órganos que no se ven, ó se ven imperfectamente en las figuras principales, sin necesidad de acudir á perspectivas, cortes y figuras de detalle; indicaría con gran precisión, por medio de coordenadas, la posición y dimensiones de los mecanismos; abreviaría la escritura, representando por medio de símbolos, las formas, los órganos, las conexiones y las transmisiones de movimientos más usuales; y, por último, compartiría, con las fórmulas matemáticas,

con las fórmulas químicas, con los símbolos adoptados en electrotecnia y con algunos otros muy conocidos, la ventaja de ser entendido por todo el mundo, si se adoptan en todos los países los mismos signos convencionales.

No consiste la índole de esta nota exponer y discutir con amplitud las maneras de realizar las ideas que anteceden; me he limitado á dar un bosquejo del lenguaje simbólico, que contiene—en embrión—todos los elementos necesarios para que se pueda juzgar de su valor práctico: un cuadro de símbolos (lámina I); una colección de reglas para usarlos (que indicamos más abajo), y un ejemplo en que se aplican estas reglas.

No presento, pues, un estudio acabado; he formulado algunas reglas y he dibujado algunos símbolos de los más usuales, pero sería necesario un trabajo mucho más minucioso y detenido para completar la Gramática y el Diccionario de esta nueva lengua.

De todos modos, tal como aquí aparece, me ha servido para describir un aparato construido por mí hace años; y como le había descrito anteriormente en la *Revue de Mécanique* (Septiembre-Octubre, 1901), será muy fácil, comparando ambas descripciones, apreciar las ventajas é inconvenientes de la nueva.

Paréceme esta última más clara, más exacta y más completa, sin que por eso me haya exigido más trabajo de redacción. Al contrario, también desde este punto de vista resulta venta

LAMINA I.

Algunos símbolos de los más usuales.

| | | | | |
|-------------------|--------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| Organos mecánicos | | Montaje | | |
| 1 | 17 | 33 | <p>Representa el elemento descrito:</p> <p>1. Esfera.—2. Paralelepípedo rectangular recto (barra).—3. Paralelepípedo rectangular recto (placa).—4. Cilindro de base circular (eje, columna).—5. Tornillo.—6. Cilindro de base circular (disco).—7. Rueda dentada recta.—8. Disco excéntrico.—9. Polea de llanta convexa.—10. Polea de gargantas.—11. Rueda que engrana con un tornillo sin fin.—12. Cilindro de base anular (manguito).—13. Placa anular.—14. Corona dentada.—15. Rueda dentada cónica.—16 y 17. Barras de sección constante.—18 y 19. Barras de sección variable.—20. Manivela.—21. Barra articulada en sus dos extremos.—22. Biela.—23. Placa cuya forma se indica al dibujar el símbolo.—24. Placa cuya forma se dibuja exactamente en una figura aparte (fig. b).—25 y 26. Superficies de revolución.—27. Caja <i>M</i> labrada en <i>A</i>.—28. Plaza hueca <i>M</i>.—29 á 32. Resortes.</p> | |
| 2 | 18 | 34 | | |
| 3 | 19 | 35 | | |
| 4 | 20 | 36 | | |
| 5 | 21 | 37 | | |
| 6 | 22 | 38 | | |
| 7 | 23 | 39 | | |
| 8 | 24 (1) | 40 | | |
| 9 | 25 | 41 | | |
| 10 | 26 | Transmisiones | | |
| 11 | 27 | 42 | | |
| 12 | 28 | 43 | | |
| 13 | 29 | 44 | | |
| 14 | 30 | 45 | | |
| 15 | 31 | 46 | | |
| 16 | 32 | 47 | | |

SIGNIFICADO DE LOS SÍMBOLOS
Organos mecánicos.

Representa el elemento descrito:

1. Esfera.—2. Paralelepípedo rectangular recto (barra).—3. Paralelepípedo rectangular recto (placa).—4. Cilindro de base circular (eje, columna).—5. Tornillo.—6. Cilindro de base circular (disco).—7. Rueda dentada recta.—8. Disco excéntrico.—9. Polea de llanta convexa.—10. Polea de gargantas.—11. Rueda que engrana con un tornillo sin fin.—12. Cilindro de base anular (manguito).—13. Placa anular.—14. Corona dentada.—15. Rueda dentada cónica.—16 y 17. Barras de sección constante.—18 y 19. Barras de sección variable.—20. Manivela.—21. Barra articulada en sus dos extremos.—22. Biela.—23. Placa cuya forma se indica al dibujar el símbolo.—24. Placa cuya forma se dibuja exactamente en una figura aparte (fig. b).—25 y 26. Superficies de revolución.—27. Caja *M* labrada en *A*.—28. Plaza hueca *M*.—29 á 32. Resortes.

Montaje.

Expresa el movimiento que puede tener el elemento descrito con relación al que le sirve de soporte; este último se indica por la letra *A* en las fórmulas 33 y 41, que se leen así:

33. Fijo en *A*.—34. Gira libremente alrededor de *A*.—35. Resbala sobre *A*, siguiendo una trayectoria rectilínea (corredera).—36. Resbala sobre *A*, siguiendo una trayectoria helicoidal (tornillo y tuerca).—37. Gira al rededor de *A* sólo en un sentido.—38. Gira al rededor de *A*, oscilando entre dos posiciones extremas que limiten la amplitud de su movimiento.—39. Gira alrededor de *A* con rozamiento suave (suave porque el resorte está representado por una línea fina).—40. Resbala sobre *A* con rozamiento fuerte (fuerte porque el resorte está pintado con línea gruesa).—41. Encaja en *A*.

Transmisiones.

Indica la conexión mecánica que existe entre el elemento descrito y otro mecanismo representado por *A* en las fórmulas 42 á 48.—42. Engranaje cilíndrico.—43. Engranaje cónico.—44. Tren de ruedas dentadas.—45. Correa sin fin.—46. Transmisión que establece una relación de velocidades variables.—47. Rueda de roquetes y trinquetes.—48. Transmisión por medio de husillos cónicos.

Orientación.

Indica que la dimensión singular del elemento descrito es paralela al eje dibujado con línea gruesa ó al plano determinado por los dos ejes que se dibujan con trazo grueso.

Simetría.

Expresa el plano con relación al cual son simétricos los dos elementos *A A*.

(1)

Orientación

Simetría

$A|A; z = 6$

iosa, porque me ha permitido simplificar los dibujos, prescindiendo de la figura en perspectiva caballera.

Composición de las fórmulas.

La descripción simbólica de una máquina se realiza por medio de una serie de fórmulas numeradas análogas á las de la lámina III.

Cada una de ellas representa un elemento más ó menos complicado de la máquina. Este elemento será unas veces un mecanismo completo: rueda dentada, biela, polea, etc.; otras, una parte del mecanismo, porque en la representación simbólica podremos dividir idealmente un órgano de forma complicada en varias partes, como se hace habitualmente, por ejemplo, cuando se consideran por separado el núcleo, los radios y la llanta de una polea fundida. En ocasiones, el elemento descrito no será propiamente una parte de un órgano, será un espacio hueco, una caja labrada en alguna de las piezas descritas.

Será necesario referirse con frecuencia á las fórmulas que se designarán por su número de orden, y para evitar confusiones se pondrá siempre este número precedido de una F, en esta forma: F 13, F 27.

Al principio de cada fórmula va una letra que sirve para designar el elemento á que aquélla se refiere; de ordinario basta para esta designación la letra sola, como se ve en la lámina III (V, F 1; C', F 2; V' F 3); pero cuando se trata de una caja, se pone primero un círculo negro para indicar esta circunstancia, luego la letra correspondiente y después otra que indica la pieza en que se ha labrado la caja (F 4, caja α labrada en V'; F 7, caja β labrada en M).

Cada uno de los elementos puede ser fijo ó móvil y, en este último caso, tener uno ó varios grados de libertad de movimiento con relación á los ejes de coordenadas; esta circunstancia, cuyo conocimiento previo permite generalmente al lector comprender más fácilmente la descripción, se indica por el subíndice de la letra μ colocada inmediatamente después de la letra que se designa el elemento descrito (V, F 1 y C', F 2, son piezas fijas; M, F 6 y B, F 8, tienen un grado de libertad de movimiento; α , F 15 y J, F 16, tienen tres grados de libertad de movimiento).

Únicamente se suprime esta indicación en las fórmulas relativas á cajas (F 4, F 7, F 9, etc.), porque éstas tienen necesariamente los mismos grados de libertad que la pieza en que se han labrado.

Inmediatamente después de estas indicaciones van en casi todas las fórmulas—entre corchetes—dos figuras: la primera es el símbolo del elemento, y la segunda indica cuándo es posible su orientación.

Si nos fijamos en los símbolos relativos á los órganos de las máquinas, veremos que en casi todos ellos puede elegirse una *dirección singular* perfectamente definida; en las placas (figuras 3, 23 y 24), la de su espesor; en los cilindros pueden considerarse como tales todos los correspondientes á las figuras 4 á 14, en el cono (fig. 15), y en las superficies de revolución (figuras 25 y 26), la de su eje; en las barras (figs. 16 á 22), la de su longitud.

Esta dirección singular será con mucha frecuencia paralela á uno de los ejes de coordenadas, y eso lo expresaremos pintando los tres ejes en perspectiva caballera y dibujando con una línea gruesa el eje paralela á ella (F 1, placa horizontal; F 2, placa paralela al plano YZ; F 5, cilindro vertical; F 25, barra paralela al eje OX). Otras veces será paralela á uno de los planos principales, y esto se indicará pintando con líneas gruesas los dos ejes que se encuentran en él (F 16, barra paralela al plano ZX).

Las tres indicaciones á que se ha hecho referencia—los grados de libertad de movimiento, el símbolo y la orientación—van siempre en el orden indicado, á continuación de la letra que designe el elemento.

Después se añaden, cuando hace falta, y en el orden que

convenga á cada caso, otras indicaciones para expresar su situación y dimensiones, su montaje y sus conexiones con otros elementos de la máquina.

Cuando se trata de formas geoméricamente definidas, es posible indicar exactamente su posición y dimensiones acudiendo á los procedimientos ordinarios de la Geometría analítica; pero en algunos casos muy sencillos—y son los que casi siempre hemos de considerar—es fácil introducir algunas simplificaciones en la escritura.

Examinaré algunos casos particulares de los más sencillos.

Esfera.—Se darán las tres coordenadas del centro y el radio en esta forma: $(x = c_1; y = c_2; z = c_3; \rho = p_1)$.

Paralelepípedo rectangular recto cuyas caras son paralelas á los planos principales.—Se darán para cada ordenada los dos valores correspondientes á las dos caras perpendiculares á ella y separados por medio de un asterisco (F 1, F 2, F 12).

Formas que tienen un eje paralelo á uno de los ejes de coordenadas.—Se definirá primero la posición y longitud de este eje, dando los valores de las dos coordenadas perpendiculares á él y los dos valores de la tercera coordenada, correspondientes á los dos extremos del eje (F 5, F 24), y luego se definirá la sección perpendicular al eje (que puede ser constante ó variable á lo largo de éste) acudiendo á diferentes procedimientos, según los casos.

a) *Cilindros de base circular.* Se da el radio (F 5).

b) *Cilindro de base anular.* Se dan los dos radios: el interior y el exterior (F 6, F 21).

c) *Cono.*—Las indicaciones serán exactamente las mismas que en el caso anterior, á pesar de lo cual, no cabe confusión ninguna, porque el símbolo que va al principio de la fórmula indicará de cuál de los dos casos se trata. Tampoco habrá dudas acerca de la situación de los radios, porque éstos se escribirán en el mismo orden que las coordenadas correspondientes.

d) *Superficie de revolución.*—Se dará la forma aproximada del meridiano al dibujar el símbolo, y si esto no basta ó no conviene, se dará la forma con toda la exactitud necesaria por separado, representándola gráfica ó analíticamente, lo mismo que se da en la lámina I la forma de la placa figura 24.

e) *Prisma.*—La forma de la sección se dará por los mismos procedimientos que la del meridiano en el caso anterior.

f) *Árbol cuyo radio cambia bruscamente.*—Se darán los valores de la ordenada paralela al eje correspondientes á todos los puntos en que cambia el radio, y luego, por el mismo orden, los valores de éste correspondientes á los mismos trozos.

La expresión

$$(x = A_1 * A_2 * A_3 * A_4; y = B; z = e_1) (\rho = R_1 * R_2 * R_3)$$

representa un árbol cilíndrico, paralelo al eje OX, cuyo radio

$$\text{es } \left\{ \begin{array}{l} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \end{array} \right\} \text{ para los valores de } X \text{ comprendidos entre } \left\{ \begin{array}{l} A_1 \text{ y } A_2 \\ A_2 \text{ y } A_3 \\ A_3 \text{ y } A_4 \end{array} \right\}$$

g) *Barra de sección variable.*—Pueden darse varias secciones correspondientes á diferentes valores de la ordenada y también será posible en algunas ocasiones definir exactamente la forma de la barra, expresando analíticamente la ley de variación de su sección.

Placa paralela á uno de los planos principales.—Se definirá la posición de sus dos caras; dando los dos valores correspondientes de la ordenada perpendicular á ella, y se indicará su forma, según antes se ha dicho (lám. I, fig. 24), ó dibujándola al trazar el símbolo.

Ocurrirá con frecuencia que alguno de los datos numéricos contenidos en una fórmula no sea absolutamente exacto, bien porque la fórmula descrita no se confunda exactamente con la que se indica en el símbolo, bien porque se trate de valores que no pueden precisarse fácilmente, por ejemplo, los de las coordenadas del eje de una barra de sección irregular. Cuando conven-

ga advertir especialmente al lector de esta circunstancia, señalaremos con un acento las letras correspondientes á los valores que no son absolutamente exactos (F 13, F 25).

Por medio de uno de los símbolos (figs. 33 á 41) se indica el movimiento que puede tener el elemento descrito con relación á la pieza en que va montado (F 2, la placa *C* está invariablemente unida á la placa *V*; F 6, el manguito *M* gira alrededor del árbol *A*; F 22, la pieza *K* gira y resbala longitudinalmente sobre el manguito *M*). Algunas veces pueden emplearse también estos símbolos para indicar el movimiento de una pieza con relación á los ejes de las coordenadas (F 22, *K* se mueve paralelamente al eje *OZ*).

que el elemento repetido ha girado alrededor de un eje, y lo expresaremos poniendo las coordenadas del eje de giro y el ángulo de rotación. También se puede, cuando se trata de una rotación de 180°, indicar que la nueva posición es simétrica de la descrita, indicando además el plano de simetría, es decir, que indicaríamos la posición de *A'* en esta forma: *A' | A* ($x = 60$), que se emplea varias veces en la lámina III (F 16, F 25).

Otras variaciones más complejas de posición pudieran considerarse, pero no lo creo necesario; valdrá más, á mi entender, no complicar las notaciones y dar directamente en las fórmulas todas las indicaciones necesarias á cada una de las posiciones del elemento que se considere.

Construcción mecánica de la fórmula

$$\rho(\cos.\alpha + \sqrt{T} \text{sen}\alpha) = \rho(\cos.\alpha' + \sqrt{T} \text{sen}\alpha') \times \rho''(\cos.\alpha'' + \sqrt{T} \text{sen}\alpha'')$$

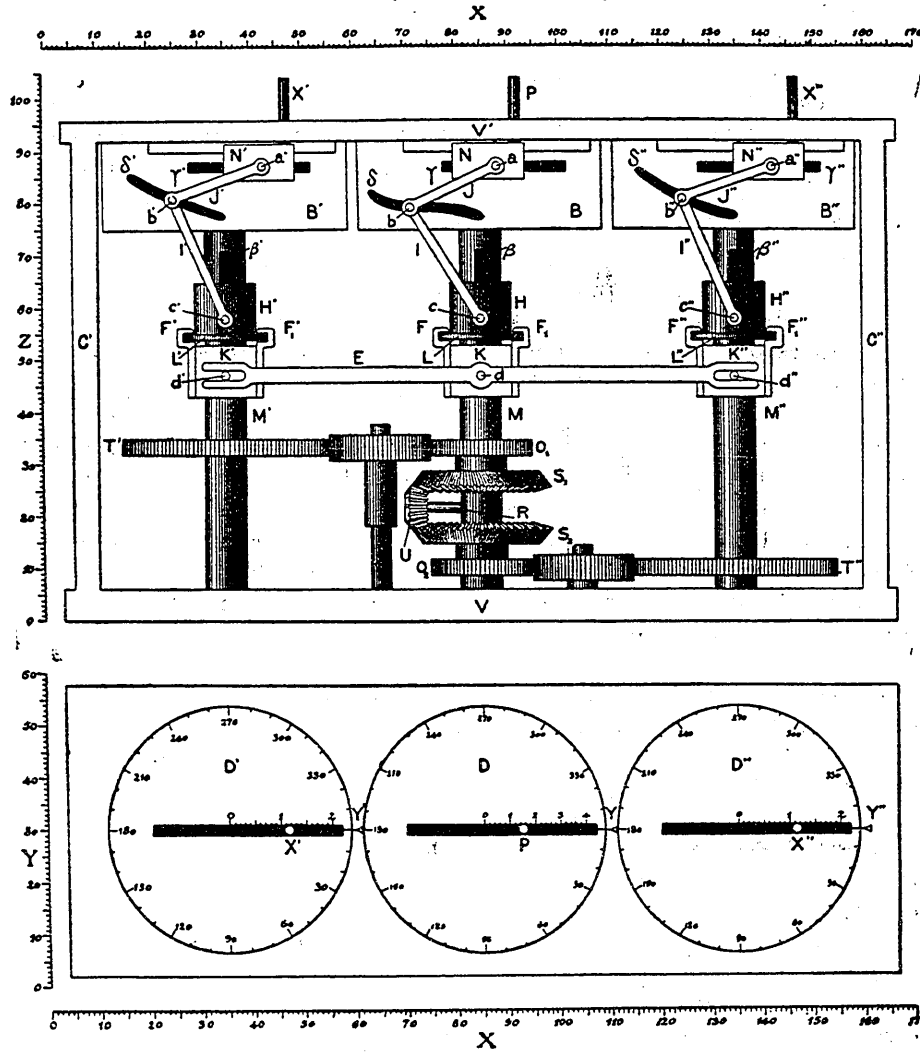


Lámina II.

Las conexiones ó transmisiones de movimiento se representan por medio de los símbolos, y además se indica, cuando conviene, la relación de velocidades, constante ó variable, establecida en cada caso (F 28, la velocidad de *O*, es doble de la velocidad *T'*).

Cuando un mismo elemento se repite varias veces en una máquina bastará con describirle en una sola de sus posiciones, dando luego, para cada una de las nuevas posiciones que se consideren, los valores de las coordenadas que hayan variado al pasar de una posición á otra. (F 5, *A'* *A''* son dos árboles exactamente iguales á *A*, pero la coordenada *x* del eje $\left\{ \begin{matrix} A' \\ A'' \end{matrix} \right\}$ es $\left\{ \begin{matrix} 35 \\ 135 \end{matrix} \right\}$).

El vector de traslación podrá no ser paralelo á ninguno de los ejes, y entonces habrá que alterar los valores de las tres coordenadas ó los dos de entre ellas. A veces consideraremos

También ocurre á menudo que las diferencias entre unas posiciones y otras están claramente expresadas en el dibujo, ó se desprenden de la descripción, y entonces basta con indicar en las fórmulas que el elemento descrito ha de repetirse (F 8, F 9, F 11).

La descripción que se haga de una máquina, y la de cada uno de sus elementos, podrá ser más ó menos detallada. En el lenguaje simbólico, lo mismo que en el ordinario, la mayor habilidad del autor consistirá en saber lo que debe decir y lo que debe callar. También tendrá verdadera importancia el orden en que se escriban las fórmulas; no puede darse, acerca de esto, ninguna regla fija; pero será conveniente atender, siempre que se pueda, á dos principios que encontrarán aplicación muy á menudo:

- a) Dividir la máquina en varios grupos de mecanismos que se describen separadamente.

b) Describir primero las piezas fijas, luego las que se montan en ellas, después las que van montadas en estas últimas y así siempre, en el mismo orden en que se montarían al armar la máquina.

Llamaremos

$\left\{ \begin{matrix} p \\ p' \\ p'' \end{matrix} \right\}$ al módulo y $\left\{ \begin{matrix} \alpha \\ \alpha' \\ \alpha'' \end{matrix} \right\}$ al argumento de $\left\{ \begin{matrix} p \\ x' \\ x'' \end{matrix} \right\}$

Descripción simbólica del aparato

- I. $\left. \begin{array}{l} 1 \ V_{\mu} \left[\square \perp \right] (x=3 \cdot 167, y=2 \cdot 58, z=0 \cdot 6) \\ 2 \ C_{\mu} \left[\square \perp \right] (x=5 \cdot 10, y=2 \cdot 58, z=6 \cdot 92) \{ \ominus V \} C=C'' (xC=xC'-155) \\ 3 \ V_{\mu} \left[\square \perp \right] (x=3 \cdot 167, y=2 \cdot 58, z=92 \cdot 96) \{ \ominus C, C' \} \\ 4 \ \bullet \alpha V \left[\circ \perp \right] (x=85, y=30, z=92 \cdot 96) (\rho=24) \alpha'=\alpha (x=35) \alpha''=\alpha (x=135) \\ 5 \ A_{\mu} \left[\square \perp \right] (x=85, y=30, z=6 \cdot 50) (\rho=5) \{ \ominus V \} A=A' (x=35) A=A'' (x=135) \\ 6 \ M_{\mu} \left[\square \perp \right] \{ \ominus A \} (\rho=34) (z=6 \cdot 75) M=M'=M'' \\ 7 \ \bullet \beta M \left[\square \perp \right] (x=84 \cdot 86, y=26 \cdot 34, z=50 \cdot 70) \beta=\beta'=\beta'' \\ 8 \ B_{\mu} \left[\square \perp \right] \{ \ominus M \} (x=61 \cdot 109, y=28,5 \cdot 31,5, z=75 \cdot 92) B=B'=B'' \\ 9 \ \bullet \gamma B \left[\square \perp \right] (x=78 \cdot 102, y=28,5 \cdot 31,5, z=86 \cdot 88) \gamma=\gamma'=\gamma'' \\ 10 \ \bullet \delta B \left[\square \perp \right] \delta=\delta'=\delta'' \\ 11 \ D_{\mu} \left[\circ \perp \right] (x=85, y=30, z=92 \cdot 96) \{ \ominus B \} \{ \ominus \alpha \bullet V \} \{ \ominus A \} D=D'=D'' \\ 12 \ \bullet \epsilon D \left[\square \perp \right] (x=70 \cdot 107, y=29 \cdot 91, z=92 \cdot 96) \epsilon=\epsilon'=\epsilon'' \\ 13 \ N_{\mu} \left[\square \perp \right] (x=80 \cdot 94, y=30, z=88) \{ \ominus B \} N=N'=N'' \\ 14 \ P_{\mu} \left[\square \perp \right] \{ \ominus N \} \{ \ominus \bullet \epsilon \} (x=92, y=30, z=91,5 \cdot 104) P=X=X'' \\ 15 \ a_{\mu} \left[\square \perp \right] \{ \ominus N \} \{ \ominus \bullet \gamma \} (y=22 \cdot 38, z=87) a=a'=a'' \\ 16 \ J_{\mu} \left[\square \perp \right] \{ \ominus a \} \{ \ominus b \} (\lambda=19) (y=22 \cdot 24) (J, J' \cdot y=30) J=J'=J''; J_1=J'_1=J''_1 \\ 17 \ b_{\mu} \left[\square \perp \right] \{ \ominus I, I' \} \{ \ominus \bullet \delta \} b=b'=b'' \\ 18 \ I_{\mu} \left[\square \perp \right] \{ \ominus c \} (y=24 \cdot 26) (\lambda=25) (I, I' \cdot y=30) I=I'=I''; I_1=I'_1=I''_1 \\ 19 \ H_{\mu} \left[\square \perp \right] \{ \ominus M \} (z=55 \cdot 65) (\rho=4 \cdot 6) H=H'=H'' \\ 20 \ c_{\mu} \left[\square \perp \right] \{ \ominus H \} \{ \ominus \bullet \beta \} c=c'=c'' \\ 21 \ L_{\mu} \left[\circ \perp \right] \{ \ominus H \} (x=85, y=30, z=54 \cdot 55) (\rho=4 \cdot 8) L=L'=L'' \\ 22 \ K_{\mu} \left[\square \perp \right] \{ \ominus M \} \{ \ominus Z \} (x=79 \cdot 91, y=24 \cdot 36, z=43 \cdot 55) K=K'=K'' \\ 23 \ F_{\mu} \left[\square \perp \right] \{ \ominus K \} \{ \ominus L \} (F, F' \cdot x=85) F=F'=F''; F_1=F'_1=F''_1 \\ 24 \ d_{\mu} \left[\square \perp \right] \{ \ominus K \} (x=85, y=22 \cdot 24, z=47) (d, d' \cdot y=30) d=d'=d''; d_1=d'_1=d''_1 \\ 25 \ E_{\mu} \left[\square \perp \right] \{ \ominus d \} (x=30 \cdot 140, y=22 \cdot 24, z=45,5 \cdot 48,5) \{ \ominus \bullet d', d'' \} (E, E' \cdot y=30) \\ 26 \ G_{\mu} \left[\square \perp \right] \{ \ominus E, E' \} (x=43 \cdot 75, y=24 \cdot 36, z=45,5 \cdot 48,5) (G, G' \cdot x=85) \\ 27 \ T_{\mu} \left[\oplus \perp \right] \{ \ominus M \} (z=32 \cdot 35) (\rho=20) T=T' \{ \ominus M \} \\ 28 \ O_{\mu} \left[\oplus \perp \right] \{ \ominus M \} (z=32 \cdot 35) (\rho=10) \{ \oplus \oplus \oplus T' \} (vO_1=2vT) O_1=O_2 (vO_2=2vT) \\ 29 \ S_{\mu} \left[\oplus \perp \right] \{ \ominus M \} \{ \ominus O_1 \} (z=25 \cdot 29) (S_1 | S_2 \cdot z=22) \{ \ominus O_2 \} \\ 30 \ R_{\mu} \left[\square \perp \right] \{ \ominus M \} (x=70 \cdot 82, y=30, z=22) (\rho=1) \{ \ominus A \} \\ 31 \ U_{\mu} \left[\oplus \perp \right] \{ \ominus R \} (x=70 \cdot 74) \{ \ominus S, S' \} \end{array} \right.$

Lámina III.

Ejemplo de descripción simbólica.

La lámina II representa un aparato de demostración, en el cual se obtiene mecánicamente el producto p , de dos cantidades complejas x' , x'' .

Cada una de estas variables está representada por el desplazamiento de uno de los vástagos P , X' , X'' (fig. 14). El módulo ρ se determina por la posición del vástago P con relación a la escala rectilínea, trazada según el radio del disco D (lám. II), y el argumento α igual al ángulo que gira el vástago P , arrastran-

do al disco D , se mide por la posición del índice Y , relativamente a la graduación circular. De un modo análogo están representados los factores x' , x'' , y los enlaces de la máquina han de ser tales que pueda disponerse arbitrariamente de la posición de dos de los vástagos P , X' , X'' , y que el tercero se coloque automáticamente en la posición que le corresponda, de tal manera que siempre los valores simultáneos que leamos en las seis escalas satisfagan a la ecuación

$$p = x' \cdot x'',$$

ó dicho en otros términos, que satisfagan á las dos ecuaciones

$$p = p' \cdot p'' \quad \alpha = \alpha' + \alpha''.$$

La descripción de este aparato (lám. III) se hace por medio de fórmulas divididas en cinco grupos.

En el primero se indica la estructura de las partes fijas del armazón, que se compone de cuatro placas V , V' , C' , C'' , las cuales forman una especie de caja abierta por los dos costados y de tres árboles verticales A , A' , A'' , fijos en la placa V , que no se ven en el dibujo, porque cada uno de ellos lleva un manguito que le oculta; pero cuya posición y dimensiones quedan claramente indicadas (F 5).

Las fórmulas del segundo grupo indican la manera de montar en cada uno de los árboles A , A' , A'' uno de los vástagos P , X' , X'' , de suerte que tenga los dos movimientos, necesarios para representar una variable compleja y que sólo pueda tener esos dos movimientos.

Los mecanismos descritos en el tercer grupo establecen una cierta relación entre el valor

$$\text{de } \left\{ \begin{array}{l} p \\ p' \\ p'' \end{array} \right\} \text{ y el desplazamiento vertical del manguito } \left\{ \begin{array}{l} H \\ H' \\ H'' \end{array} \right\}$$

esta relación puede determinarse arbitrariamente al trazar las ranuras δ , δ' , δ'' , y en este caso las hemos trazado de manera que se tenga $\text{desp } H = \log p$; $\text{desp } H' = \log p'$; $\text{desp } H'' = \log p''$; pero ha de tenerse en cuenta que la unidad de longitud empleada para medir el desplazamiento de H ha de ser la mitad de la que se emplea para medir los desplazamientos de H' y H'' , cosa que también ocurre, como puede verse en la figura, con las unidades de las tres escalas radiales, que dan los valores p , p' , p'' .

Por medio de los mecanismos del cuarto grupo, se imponen entre los valores simultáneos de las ordenadas verticales de los tres manguitos H , H' , H'' la relación

$$Z_H = \frac{1}{2} (Z_{H'} + Z_{H''}),$$

ó sea, teniendo en cuenta el valor de las unidades adoptadas para medir los desplazamientos

$$\text{desp } H = \text{desp } H' + \text{desp } H'';$$

y, por consiguiente,

$$\log p = \log p' + \log p''$$

y

$$p = p' \cdot p''.$$

Todas estas relaciones entre los desplazamientos se han establecido sin entorpecer para nada el giro de los tres manguitos M , M' , M'' ni el de los discos D , D' , D'' , que van unidos á ellos. Los mecanismos del quinto grupo tienen por objeto establecer entre estos tres movimientos de rotación la condición

$$\alpha = \alpha' + \alpha''.$$

UNIFICACIÓN DE LAS CIENCIAS⁽¹⁾

PLAN DE LA CIENCIA UNICA

SUMARIO.—Analizada la estructura de cualquier ciencia se observan en ella dos entidades: *definiciones y propiedades*; unas y otras son *combinaciones* de unas cuantas nociones indefinibles y propiedades indemostrables, que figuran al principio de cada ciencia. Las *combinaciones* son proporcionadas por la Matemática.—En la Ciencia única esas nociones elementales son las variables extensivas é intensivas; las definiciones complejas lo son de los cuerpos ó sistemas naturales; las propiedades son los fenómenos.—Aparecen unos y otros perfectamente clasificados y se descomponen la ecuación representativa del fenómeno, en las que definen el *sujeto*, el *medio ambiente* y la *ley de adaptación*.—La clasificación de los fenómenos puede descomponerse en la de sujetos y la de medios ambientes.—Tratar de la *ley de adaptación* (principio del trabajo virtual) y de los sistemas de dichas dos clasificaciones será objeto del artículo siguiente.

I

Estructura de una ciencia cualquiera.

Coged cualquier ciencia y extendedla sobre la mesa de disección. ¿Qué se presenta á vuestra vista? Una trama de verdades, teoremas, leyes, descripciones de fenómenos, perfectamente organizada en distribución sinóptica; podemos descender desde la ley más general, que se refiere á todos los fenómenos ó entes que comprende esa ciencia, hasta las leyes más concretas que atañen sólo á *tal* fenómeno particular, como si se bajara desde un tronco por su ramificación radicular hasta la esponjuela de cualquiera de sus raicillas.

Avanzando en el análisis de esa *materia* intelectual orgánica, que constituye la ciencia, distinguimos en ella dos clases de entidades: *definiciones y propiedades* de lo definido, enlazadas entre sí por hilos de ideas (demostraciones) proporcionados por la Lógica clásica ó por su extensión moderna (Matemática pura).

Cada *definición* es una igualdad entre un concepto, un símbolo, una entidad (*lo definido*) y un complejo ó función (*lo defnente*) de otros conceptos más elementales; por ejemplo, el concepto *trabajo* en función de la fuerza y el camino recorrido. Combinaciones de conceptos más y más complejas, que nos permiten ir sintetizando grandes conjuntos ó grupos de propiedades.

Apliquemos el bisturí á todas las definiciones y conceptos en que se fundan, hasta llegar á los conceptos más elementales, á los que no podamos ya descomponer ni definir, como la Química llega á los infranqueables cuerpos simples, como el lenguaje llegó desde las voces onomatopéyicas hasta las letras del alfabeto; y quedan sólo en nuestras manos unos cuantos conceptos elementales, pocos, que cada ciencia consigna al empezar, como únicos materiales de que va á disponer al elevar el edificio.

Analizando del mismo modo las *propiedades*, quedan al final, en el crisol, invulnerables á todo reactivo y agente, unos cuantos principios ó axiomas (*propiedades simples*) en cada ciencia, que son *relaciones* primordiales entre los conceptos simples; un conciso sistema de ecuaciones entre éstos que les da cierto significado relativo; por ejemplo, las tres leyes de Newton en Dinámica, los axiomas de Euclides en Geometría.

Unos cuantos *conceptos* indefinibles y unas cuantas *propiedades* indemostrables; los cuerpos simples y las energías simples de la ciencia; he aquí á ésta reducida á polvo, que á otra cosa no puede conducir el análisis; empecemos ahora á *construir* la ciencia.

Dice Benot en su hermoso tratado sobre la *Arquitectura de las lenguas*, que sería imposible hablar si cada palabra hubiera de ser el signo de un objeto diferente, de un estado especial ó de

(1) El artículo anterior se publicó en el número 1.623.