

MEMORIAL DE INGENIEROS



MEMORIAL
DE
Ingenieros del Ejército

COLECCION DE MEMORIAS

QUINTA ÉPOCA.-TOMO L
(LXXXVIII DE LA PUBLICACIÓN)

AÑO 1933

MADRID
MEMORIAL DE INGENIEROS DEL EJÉRCITO.

1933



INDICE

de las obras sueltas que comprenden las entregas publicadas

POR EL

MEMORIAL DE INGENIEROS DEL EJÉRCITO

en el año de 1933

El motor "Diessel-Saurer".

Por el general de Brigada D. ALFREDO KINDELÁN Y DUANY.—
Con 22 páginas y 27 figuras.

Resolución de un tema con el concurso del Batallón de Zapadores número 1 y de los proyectores del Grupo de Alumbrado e Iluminación.

Por el comandante de Ingenieros D. CARLOS LÓPEZ OCHOA.—
Con 17 páginas, tres croquis y un superponible transparente.

Recepción de Herrera como académico de ciencias.

Con los discursos del teniente coronel de Ingenieros D. EMILIO HERRERA y del excelentísimo señor general D. JOSÉ MARVÁ.—Con 34 páginas.

Alineaciones curvas de las vías de comunicación y su trazado sobre el terreno por medio de ángulos tangenciales.

Por el teniente coronel de Ingenieros D. ARÍSTIDES FERNÁNDEZ.—Con 59 páginas y 24 figuras.

Seis semanas en las fábricas de los Estados Unidos de América.

Por el capitán de Ingenieros D. ANTONIO GUERENDIAIN.—Con 61 páginas.



ALFREDO KINDELÁN
GENERAL DE BRIGADA

El motor Diesel Saurer



PUBLICACIÓN DEL «MEMORIAL
DE INGENIEROS DEL EJÉRCITO»
:: :: MADRID 1933 :: ::

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
LIBRARY



The internal combustion engine is the greatest thing that has appeared since Adam lost a rib (1).

Tanto el motor del automóvil como el del aeroplano, han consumido hasta hoy: esencia de petróleo, alcohol y benzol (estos dos últimos de modo excepcional). Son estos combustibles de elaboración complicada, caros y de bajo punto de ebullición, que implica riesgo de incendio y limitación de compresión en los cilindros para evitar el autoencendido de la mezcla gaseosa.

A remediar estos defectos se han consagrado, en los últimos treinta años, los esfuerzos de inventores y técnicos, tratando de obtener un motor práctico, seguro y de gran rendimiento, que utilizara combustibles menos volátiles y más económicos que los hasta ahora empleados. Buscaron, unos, la solución del problema en la vaporización del petróleo bruto o aceite pesado, mediante el descubrimiento de un carburador especial; otros, y ésta ha sido la tendencia más generalizada, buscaron la inyección directa en el cilindro del combustible, sin previa carburación, bien sobre culatas al rojo (*motores de cabeza caliente*), bien en una atmósfera fuertemente comprimida (motores "Diesel").

La carburación de los aceites pesados, solución aceptable en teoría, presenta en la práctica serias dificultades, pues dichos combustibles están constituidos por varios hidrocarburos de distinta composición química y de puntos de ebullición muy diferentes, y como para vaporizar los menos volátiles es necesario alcanzar ele-

(1) El motor de combustión interna es lo más grande que ha acontecido desde que Adán perdió una costilla.

vadas temperaturas próximas a la del rojo oscuro, se inflamarían los más volátiles.

Si para evitar esto no se eleva tanto la temperatura, se producen depósitos que ensucian los cilindros, y el rendimiento disminuye. Los motores de *cabeza caliente* o incandescentes—llamados también con impropiedad semi Diesel—funcionan bien en ciertos casos, pero son inaplicables al Automovilismo y a la Aviación por su arranque lento y difícil y por las frecuentes averías que se producen en la cabeza del cilindro por trabajar al rojo. Además, su rendimiento es poco elevado y su consumo de combustible excesivo—300 gramos por HP—.

La turbina de combustión interna—excelente y elegante solución—se encuentra aún en terreno experimental.

El profesor Diesel, seducido por el ventajoso rendimiento del ciclo de Carnot, proyectó, en el año 1893, construir un motor de combustión interna funcionando con arreglo a dicho ciclo.

No se le ocultaron al profesor las dificultades de obtener en la práctica transformaciones isotérmicas, pues en la compresión es necesario robar calor durante la transformación, en proporción difícil de graduar en cada momento, y en la combustión, si se resta calor para evitar se eleve la temperatura, puede resultar poco estable la llama e inseguro el funcionamiento del motor.

Para obtener la isoterma en la compresión, inyectada en el cilindro agua fría pulverizada, llevando esta primera fase del ciclo hasta la presión de 2,8 atmósferas, siguiendo después la segunda fase de compresión adiabática—más fáciles de obtener, aproximadamente, en la práctica estas transformaciones—hasta la enorme presión de 250 atmósferas, lo que producía una elevación de la temperatura hasta 800° C. Entonces comenzaba la combustión del combustible—polvo de carbón en el primitivo proyecto—hasta reducir la presión a 90 atmósferas, y siguiendo, por último, desde este punto una expansión adiabática o sensiblemente tal.

Las características de este motor eran: carrera, 647 milímetros; calibre, 327 milímetros; velocidad, 300 revoluciones por minuto; potencia, 100 HP; y consumo de combustible, 112 gramos por HP-hora.

Este proyecto ideal se reputó irrealizable y fué sustituido por otro en el que se suprimió la inyección de agua, renunciando, en consecuencia de la compresión isotérmica y rebajando a 90 atmósferas la presión máxima necesaria.

Este motor seguía empleando el polvo de carbón como combustible (aunque previendo la sustitución por líquido) y carecía de re-

refrigeración por ser innecesaria, dada la temperatura media del ciclo no superior a 170°.

El proyecto y los ensayos de este motor duraron cuatro años—de 1893 a 1897—, separándose cada vez más del ciclo teórico adoptado, transformando la combustión isotérmica en isobara y empleando la refrigeración del cilindro. El rendimiento del motor realizado superaba al previsto en el proyecto, lo cual se explica porque una buena realización de la isotérmica de combustión deja abierto el ciclo, perdiéndose la energía correspondiente a la última parte de la transformación que se verifica en la atmósfera.

Pasando luego Diesel al motor de doble expansión, con objeto de aprovechar esta parte de la energía que se perdía por el escape, y fracasado el intento ante la pérdida considerable de rendimiento, debida a los frotamientos y resistencia de los gases, al pasar del cilindro de alta al de baja presión y a la caída térmica producida por la refrigeración indispensable de las válvulas, hubo de abandonar este sistema y volver a la simple expansión en sucesivos tipos de motores que con perfeccionamientos constructivos, pero con sujeción a los mismos básicos principios, han conducido a los actuales motores.

Hoy se designa por motores “Diesel” no sólo el clásico de combustión a presión constante, sino todo aquel en que la combustión de un combustible poco inflamable se verifica por autoencendido, debido a la elevación que alcanza el aire en el interior de los cilindros por una previa compresión.

Los motores “Diesel” se llaman de *inyección sólida*—nombre totalmente inadecuado—cuando la inyección del combustible se hace sin mezclarlo con aire comprimido, y de *pulverización* cuando el combustible se inyecta mezclado con aire a presión. Son varias y de diverso orden las ventajas que para su empleo en el Automovilismo y en la Aviación presenta el “Diesel”, sobre los demás motores: su mayor rendimiento por la mayor relación volumétrica a factor de compresión que permite, lo que lleva como consecuencia una seria economía de combustible.

La mayor seguridad de funcionamiento por la supresión del carburador, de la magneto, de las bujías y, en algunos casos, de las válvulas.

La posible supresión del radiador y de la refrigeración por agua por las menores temperaturas máxima y media en esta clase de motores. La eficaz realización del motor de dos tiempos con el consiguiente aumento de rendimiento y rapidez en cambiar de régimen.

Algunas de estas ventajas se acentúan en el motor de Aviación como el mayor radio de acción del aeroplano; la desaparición del peligro de incendio, hoy tan grave en los aviones; la necesidad de depósitos más pequeños para almacenar la misma energía.

Otras son comunes a ambos medios de locomoción: la posibilidad de consumir combustibles nacionales, la economía de éste y el rendimiento máximo para las potencias medias, regímenes los más usados en Aviación y Automovilismo. Este brillante activo sólo es contrabalanceado por el siguiente pasivo: mayor ruido (defecto de posible aminoración), mal olor de los gases que salen por el escape y un ligero aumento en el peso por caballo, sólo apreciable cuando se trate de aviones pequeños de corto radio de acción o de automóviles muy pequeños y ligeros; aumento que, por otra parte, se hace cada día más quequeño, hasta el punto de que los motores de Aviación "Diesel" existentes hoy tienen ya una potencia específica análoga a la de los similares de esencia; y en los automóviles la sustitución de un motor de esencia por un "Diesel" se hace sin reforzar una sola pieza del bastidor.

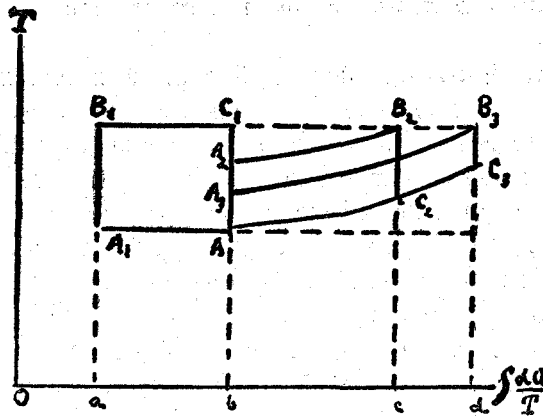
También ha querido achacarse al "Diesel" el defecto—que sería en efecto importante—de no permitir grandes velocidades de rotación; pero la imputación es completamente gratuita, pues como decía recientemente Ricardo—el célebre ingeniero inglés, verdadera autoridad en la materia—no pasará mucho tiempo sin que sea considerado como un axioma, en el mundo automovilista, que el motor "Diesel" desarrolle sus más ventajosas cualidades a las grandes velocidades de giros, mayores que las usuales hoy en los motores de automóviles.

La superioridad de rendimiento termodinámico de los motores "Diesel" sobre los de explosión no depende sólo de la posibilidad de alcanzar mayores temperaturas y compresiones mucho más elevadas, sino que deriva de una superioridad teórica de su ciclo, como se pone de manifiesto por la comparación de los *diagramas entrópicos* de uno y otro ciclo.

El de Carnot está representado por el rectángulo $A A_1 B_1 C_1$, el de combustión a presión, constante por $A A_2 B_2 C_2$ y el de explosión por $A A_3 B_3 C_3$.

Como el producto de la abscisa por la ordenada en un elemento diferencial del ciclo es:

$$T \times \frac{dQ}{T^1} = dQ$$



la superficie del diagrama comprendida bajo una curva de transformación será el valor de Q , correspondiente a dicha transformación, y los calores perdidos serán, respectivamente, las aéreas de las superficies

$$a A A_1 b < b A C_2 c < b A C_3 c.$$

En su consecuencia, como a menos calor perdido corresponde mayor rendimiento, estarán en éstos en el orden siguiente:

$$\text{Carnot} > \text{Diesel} > \text{Explosión.}$$

Los actuales "Diesel" ligeros carecen de compresor de aire, comprimiendo éste en el cilindro el movimiento del émbolo. Son de dos o de cuatro tiempos y por el sistema de inyección de combustible; pueden clasificarse en tres grupos: el de pulverización mecánica —atomización—, el de explosión previa en una cavidad comunicante con el cilindro—*antecámara*—y el de mezcla previa a presión en un colector anexo al cilindro—*acumulador*—. Los tres tipos de

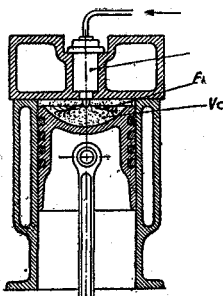


Fig. 1

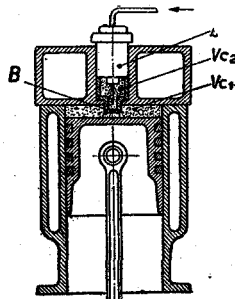


Fig. 2

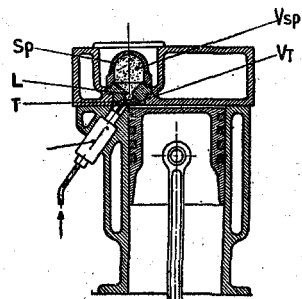


Fig. 3

inyección están representados, de manera esquemática, en las figuras 1, 2 y 3.

La primera figura se refiere al sistema de *inyección directa* o de *atomización*. La combustión se verifica totalmente dentro del cilindro; el combustible es inyectado a presión muy elevada—hasta 600 atmósferas—en la cámara de combustión, a través de aberturas de dos a seis décimas de milímetro, por un soplete o *inyector*, y se mezcla en ella con el aire previamente comprimido que existe en aquélla, por su energía cinética, favorecida por diversos artificios. El combustible se *atomiza* dentro del aire comprimido (1).

En el sistema de antecámara (figura 2), la cámara de explosión está dividida en dos V_{c1} y V_{c2} , comunicantes entre sí por una abertura, B . La primera es, como en el sistema anterior, la parte alta del cilindro, y la segunda o antecámara está situada, en general, en prolongación del cilindro y tiene un volumen aproximadamente igual a la cuarta parte del de la cámara de combustión, V_{c1} . La inyección se hace como en el caso anterior, pero es en la antecámara donde se verifica la mezcla, siendo la presión de inyección mucho menor: de 80 a 100 atmósferas.

El sistema de *acumulador de aire* está representado en la figura 3; la cámara de combustión V_{c1} del sistema que se acaba de describir ha desaparecido o poco menos, y, en cambio, la cámara anexa V'_c se ha agrandado y hecho más independiente del cilindro, constituyendo el acumulador, $S p$, en comunicación por un orificio de muy pequeño diámetro, L , con un embudo, T , cuya parte más ancha comunica con el cilindro por el inyector y entra en el acumulador el combustible a 80 ó 100 atmósferas, y en el interior de aquél se verifica la mezcla con el aire a presión y la combustión completa, reservándose al cilindro el período de trabajo o expansión.

(1) Hay aquí un inadecuado empleo de la palabra *átomo* que puede originar confusión e inducir en error al lector no científico. El lector técnico habrá comprendido que al decir que son los átomos de gas los que están rodeados de aire y los que se queman, es una licencia de lenguaje que envuelve un error científico de importancia. Se han hecho experiencias para medir las dimensiones de las gotas de aceite pulverizado en el cilindro, habiéndose comprobado que son esféricas y de un diámetro medio de una centésima de milímetro. Pues bien; tan reducido volumen es treinta y seis mil millones de veces el de la molécula de combustible, es decir, que si representamos ésta en un dibujo por un círculo de un milímetro, la gotita debe representarse en la misma escala por un círculo de 33 metros de diámetro o con una más vulgar comparación: la molécula se encuentra en la gota como una cabeza de alfiler en amplia casa de cuatro pisos.

Antes de pasar adelante hay que hacer una observación: los motores rápidos modernos de combustión tipo "Diesel" no son muy respetuosos con el dogma de la combustión a presión constante. Algunos se separan con exceso del ciclo "Diesel" clásico, como el motor de Aviación "Packard", que sólo tiene de "Diesel" el nombre y el emplear aceite pesado, pues es, en realidad, un motor de explosión de aceite pesado *sobrecomprimido*, que con una relación volumétrica de 1 : 16 y una presión de inyección de 40 atmósferas, desarrolla una presión máxima de combustión o, por mejor decir, de explosión de 85 atmósferas.

En algunos motores de antecámara que trabajan según el ciclo de Sabathe, una parte de combustible hace explosión en ella, mientras el resto se quema a presión constante.

Por último, en los motores de acumulador se comprueba examinando los diagramas que la combustión comienza a presión constante, produciéndose después explosiones parciales.

Estos diferentes modos de combustión están representados en las figuras 4, 5, 6 y 7, en las que: 7 representa el rendimiento térmico teórico del ciclo.

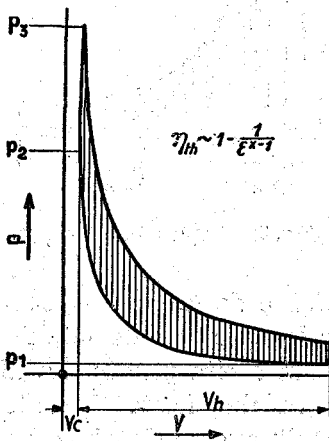


Fig. 4.—Combustión explosiva.

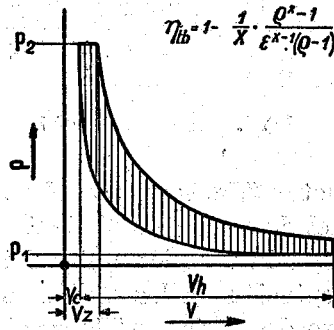


Fig. 5.—Combustión a presión constante.

P_1 , presión inicial.

P_2 , presión final del período de compresión.

P_3 , presión máxima durante la combustión.

V_c , volumen de la cámara de compresión.

V_h , volumen de la cilindrada.

V_z , volumen total correspondiente a la presión máxima.

K , exponente medio de la transformación polytrópica.

$\Sigma = \frac{V_c + V_h}{V_c}$, índice de compresión volumétrica.

$$\rho = \frac{V_z}{V_c}$$

$$\lambda = \frac{P_3}{P_2}$$

En general, estos distintos diagramas se presentan en diversos momentos de la marcha de un motor, pudiendo obtenerse en uno mismo diagramas correspondientes a las cuatro clases representadas.

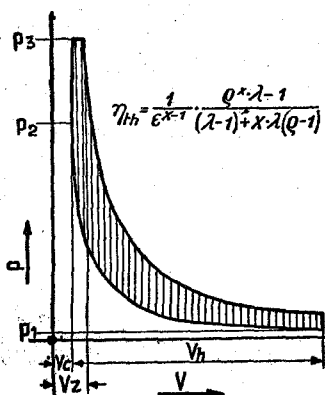


Fig. 6.—Explosión inicial.

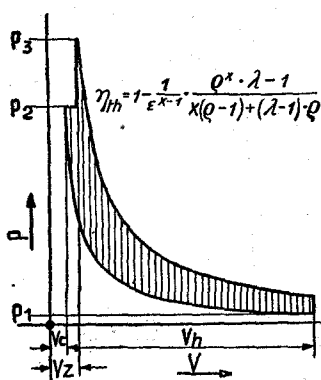


Fig. 7.—Explosión retardada.

El motor "Saurer", por el renombre de la Casa constructora y por ser el de mejor rendimiento de los que actualmente funcionan, aplicados a la tracción autom6vil, con aceite pesado, ha alcanzado gran aceptaci6n en los medios industriales, hasta el punto de que el n6mero de camiones "Saurer Diesel" que ruedan hoy d6a por las carreteras de Europa supera con mucho al del de las otras veinte o treinta marcas similares existentes, y explica que hayan adquirido la correspondiente licencia de fabricaci6n casas importantes de Francia, Inglaterra, Austria, Polonia y Espa6a.

El motor "Saurer Diesel", para camiones y autobuses, es de cuatro tiempos, del tipo llamado de *acumulador*, de inyecci6n s6lida y de enfriamiento por agua. El acumulador tiene cierta analog6a con el del tipo *Acro*, difiriendo, sin embargo, de 6ste en que forma cuer-

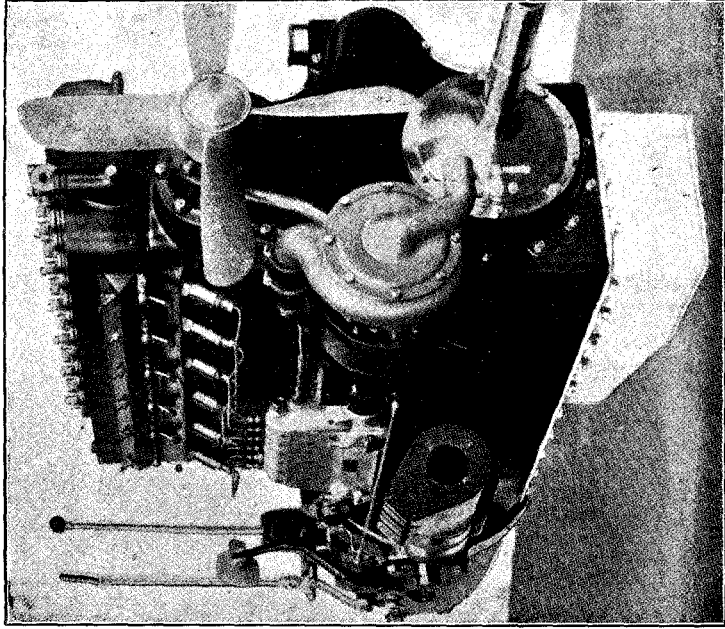


Fig. 10

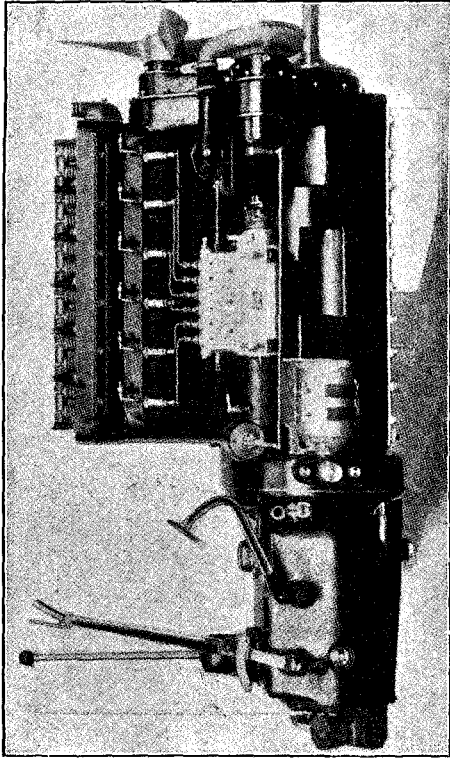


Fig. 8

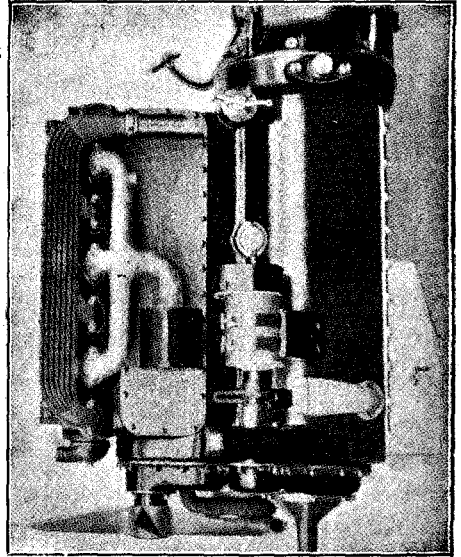


Fig. 9

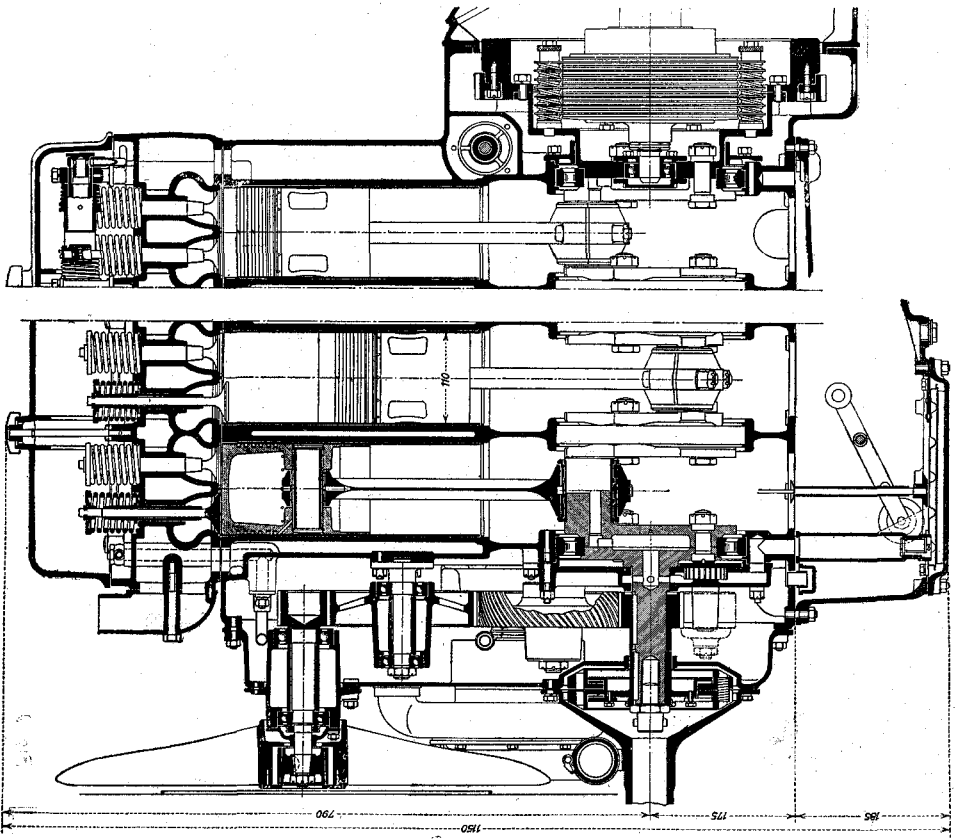


Fig. 12

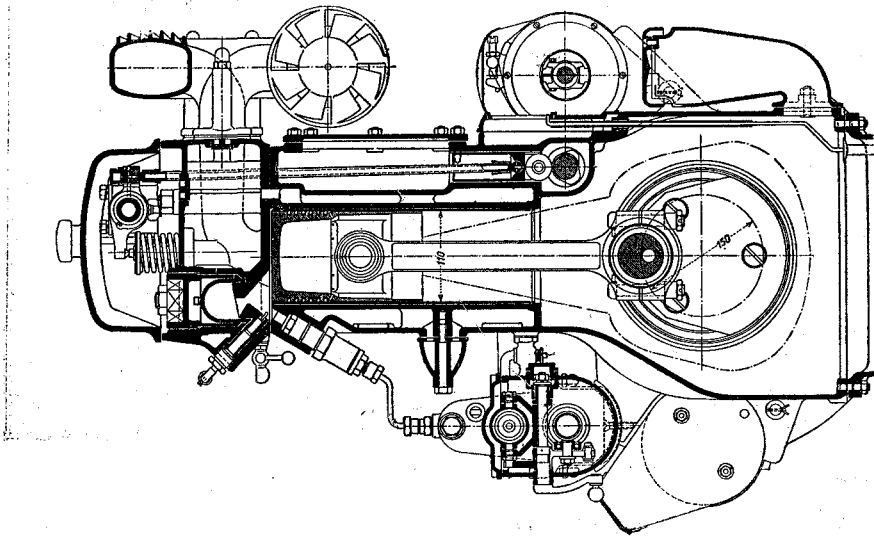


Fig. 11

po con la culata del cilindro y en que, debido a una larga serie de experimentos, se ha llegado a encontrar la posición *óptima* relativa de las entradas de aire y combustible con aumento notable del rendimiento.

La estructura general y la técnica constructiva del motor que describimos son semejantes a los del de esencia de la misma Casa, tipo "B. L.", sustituyéndose con ventaja desde el aspecto de la sencillez los sistemas de carburación y encendido por las bombas de inyección y acumuladores.

Las figuras 8, 9 y 10 representan diversas vistas de un motor "Saurer Diesel B. L. D.", de seis cilindros, de 110 milímetros de diámetro y 150 de carrera (1).

En la vista longitudinal por la derecha (figura 8) se ven, además del ventilador y la caja de velocidades, de tipos corrientes, la sextuplebomba de combustible tipo "Bosch", que más adelante describiremos, con las conducciones de distribución a los cilindros y los correspondientes inyectores y la palanca de reglado del avance a la inyección. También puede verse, a la izquierda de la figura, la puesta en marcha y el mando de la bomba centrífuga.

En la vista por la izquierda (figura 9) se ven: las conducciones de aspiración de aire, con su filtro, así como el escape con sus alas de refrigeración, el indicador de nivel de aceite y la dinamo, y en la vista de frente (figura 10) se distinguen con claridad: las válvulas de cabeza, el sistema de inyección de combustible, el ventilador, la bomba, las bujías de puesta en marcha y el sistema de arranque por acumuladores.

Como se ve en todas ellas, el doble bloque del motor con los órganos de distribución y mando, muy accesible, constituye un conjunto elegante, moderno y racionalmente construido.

Los cortes transversal (figura 11) y longitudinal (figura 12) de uno de los bloques de cilindros muestran que este motor, como antes dije, apenas difiere en su estructura general del motor de esencia de la misma Casa.

Las válvulas de cabeza están mandadas por un árbol de levas situado en el cárter por intermedio de varillas.

El cigüeñal está soportado por cinco juegos de rodillos en el motor cuatro cilindros, y por siete en el seis, lo que da al árbol una

(1) Existe otro tipo de menos potencia: el "A. D. D.", de cuatro cilindros, de 110 milímetros de diámetro y 180 de carrera, muy semejante al "B. L. D."

gran resistencia y reduce al mínimo los frotamientos en los cojinetes. Además, y aunque la amplitud de las vibraciones producidas por la irregularidad en los esfuerzos de torsión ha de ser muy pequeña, lleva el árbol en su extremidad anterior un amortiguador.

Los cilindros son de fundición y los émbolos de aluminio.

En la figura 11 se ve, a la izquierda, todo el sistema de inyección de combustible: bombas, canalización, inyectores, acumuladores; y a la derecha, el ventilador, la aspiración de aire y el escape.

El motor que describimos es de cuatro tiempos, y su funcionamiento es como sigue:

Primer tiempo: Admisión.

La única diferencia entre el motor "Diesel" y un motor de esencia de cuatro tiempos de los empleados en el automovilismo en el período de admisión consiste en que en vez de aspirar una mezcla de esencia y aire a través de un carburador se aspira en el motor que describimos tan sólo aire atmosférico. El émbolo al descender aspira el aire exterior, que comienza por atravesar un filtro donde se desprende del polvo e impurezas, entra en un colector visible en la parte superior derecha de la figura 11 y pasa a la parte superior del cilindro por la válvula de admisión (visible en la figura 12) cuando ésta se encuentra abierta, que es en este motor desde el preciso momento en que el émbolo se halla en el punto muerto superior hasta pasados 55° después del punto muerto inferior.

Segundo tiempo: Compresión.

El émbolo en su carrera ascendente—en los primeros 55° del recorrido angular de la manivela o codo del cigüeñal—comienza a comprimir parte del aire del cilindro y a rechazar otra parte a la atmósfera, a través de la válvula de admisión, aun abierta. Pasado di-

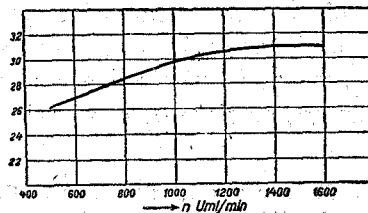


Fig. 13

cho recorrido de 55° comienza la compresión de todo el volumen de aire contenido en el cilindro, el cual va pasando a través del embudo que se ve en la parte superior izquierda del cilindro (figura 11) al acumulador, que también se ve en dicha figura, en donde se llega a alcanzar la presión de compresión de 26 a 33 atmósferas.

La figura 13 muestra la variación de esta presión en función de la velocidad angular de rotación en el motor "B. L. D.", siendo la relación volumétrica de compresión

$$\frac{V_c + V_h}{V_c} = 15,5$$

La inyección del combustible comienza poco antes de que el émbolo alcance su punto muerto superior; el momento de abrir el inyector, visible también a la izquierda del cilindro (figura 11), varía con la velocidad de rotación del motor entre 11° y 25° antes del *p m*, según está indicado en la figura 14, siendo, por tanto, preciso que sea regulable el funcionamiento de dicho inyector.

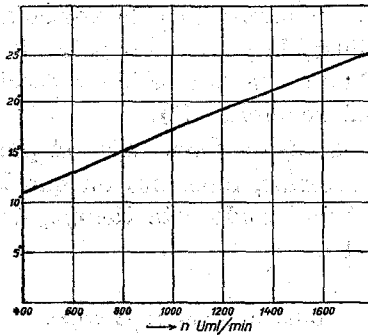


Fig. 14

La mezcla del aire y el combustible indicado, ambos moviéndose a gran velocidad, se verifica dentro del acumulador por efecto dinámico en condiciones sumamente favorables para que cada gota de combustible se encuentre rodeada totalmente de aire que pueda facilitarle el oxígeno necesario para la combustión completa, evitando su descomposición pirogenada.

Cuando el émbolo ha llegado al punto muerto superior se termina el segundo tiempo y han quedado la cara superior del émbolo y la cabeza o tapa del cilindro a menos de dos milímetros de distancia, lo que quiere decir que la compresión de la mezcla gaseosa se verifica casi totalmente en el acumulador, donde se verifica el co-

mienzo de la combustión una vez alcanzada la temperatura de inflamación.

Tercer tiempo: Expansión.

Al comenzar a descender el émbolo con las válvulas de aspiración y escape cerradas se produce una corriente de gases en combustión del acumulador al cilindro a través del embudo; como el inyector sigue dando entrada al combustible y éste encuentra en el aire que sale por el embudo el oxígeno y las condiciones de temperatura y presión necesarias, entra en combustión, y ésta entonces comienza a desarrollarse dentro del cilindro, ejerciendo presión sobre el émbolo y desarrollando trabajo motor. La presión durante la combustión se eleva a 36 ó 38 atmósferas.

Hay que hacer notar aquí una propiedad interesante del acumulador, que es el servir de regulador automático de la combustión en función de la velocidad del motor, dado que la velocidad de la corriente de gas que entra en el cilindro y, por tanto, la de la combustión, varían proporcionalmente a la velocidad lineal del émbolo. La cantidad de combustible para cada potencia desarrollada por el motor viene regulada por la bomba de inyección, que es del tipo "Bosch", de universal renombre (1).

Este período de expansión dura desde el punto muerto superior hasta 65° antes del inferior, momento en que la válvula de escape comienza a abrirse, terminando este tiempo, único útil de los cuatro, y comenzando el

Cuarto tiempo: Escape.

Durante los 65° que preceden al punto muerto inferior el émbolo sigue descendiendo y los gases se expansionan no sólo por ello, sino por estar abierta la válvula de escape por donde salen los gases quemados, hasta que la presión en el interior del cilindro se equilibra con la exterior atmosférica; entonces comienza el émbolo su movimiento ascendente, expulsando los gases quemados por el escape hasta alcanzar el punto muerto superior, permaneciendo aún abierta esta válvula hasta 20° después de pasado dicho punto muerto.

(1) Es digno de notarse este caso de adaptación industrial de una Casa especializada en la construcción de magnetos, que demuestra tener fe en el porvenir de los motores "Diesel".

La figura 15 representa el diagrama de trabajo del motor "Saurer Diesel", en el que los cuatro periodos están representados por

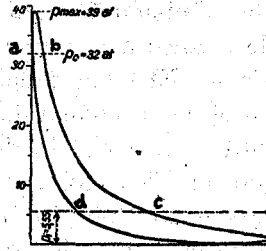


Fig. 15

los trozos de curvas *a b*, *b c*, *c d*, y en la figura 16 se ven varios diagramas tomados con un indicador "Mashak"; se ven en ellos varios

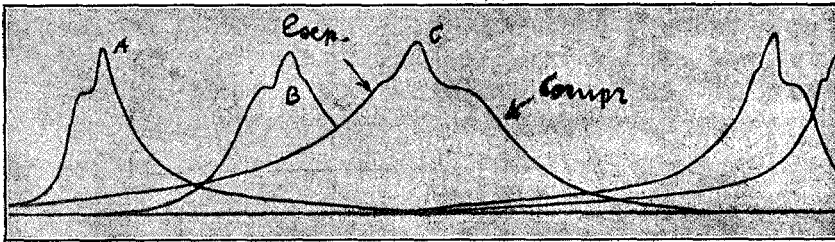


Fig. 16

tipos de ciclos: (A), Sabathe; (B), explosión retardada; (C), "Diesel", lo que demuestra que, en un motor, los sistemas de combustión y los ciclos varían de un momento a otro; pero como, en resumen,

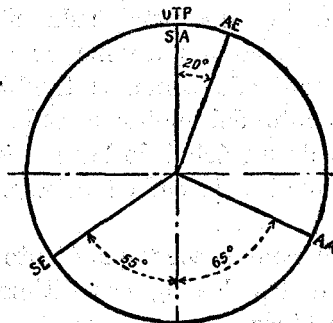


Fig. 17

se contrarrestan las irregularidades, resulta dulce la marcha del motor y grande el rendimiento, superior al del "Diesel" teórico.

El diagrama de distribución (figura 17) muestra el retardo al cierre del escape 20° , y la admisión 55° , así como el de apertura de ésta 65° , y la carencia de avance a la admisión.

Bomba de combustible. — El buen funcionamiento de un motor "Diesel" rápido reposa en el de su bomba de inyección, órgano esencial que merece, por tanto, una detenida descripción.

Como antes queda indicado, los motores "Saurer" utilizan bombas construídas por la Sociedad Roberto Bosch, de Stuttgart. Las figuras 18 y 19 dan idea de la disposición de estas bombas, que son

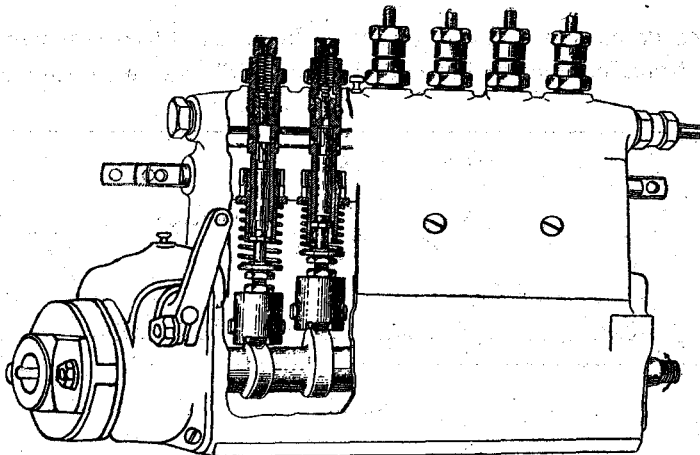


Fig. 18

del sistema llamado de émbolo. Varias bombas elementales, de funcionamiento independiente, una para cada cilindro del motor, se agrupan en un bastidor común para mayor robustez y simplificación de movimientos, teniendo comunes también los mandos y la trasmisión del movimiento del motor a cada una de las bombas elementales por medio de un árbol de levas, visible en la figura 18, que actúa sobre los émbolos de cada bomba por intermedio de un resorte.

Las seis levas de la bomba correspondiente al motor de seis cilindros que representan las dos figuras últimamente citadas están *decaladas* 60° unas de otras.

La cámara de compresión de cada cilindro está rodeada (figura

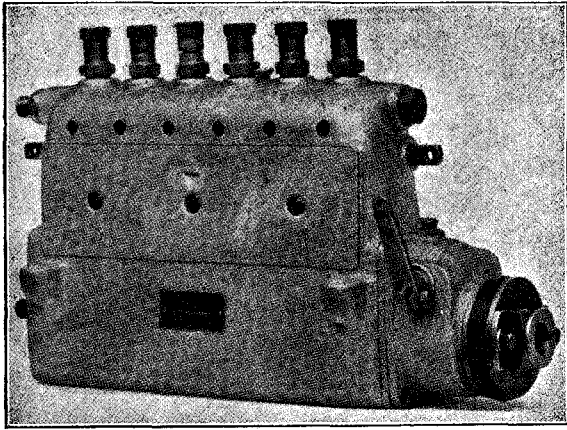


Fig. 19

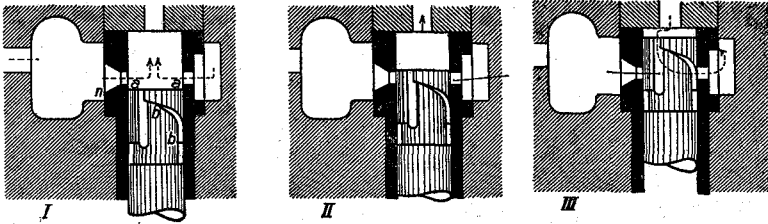


Fig. 20

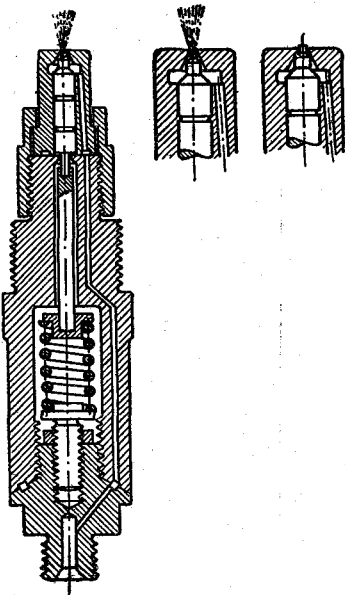


Fig. 21

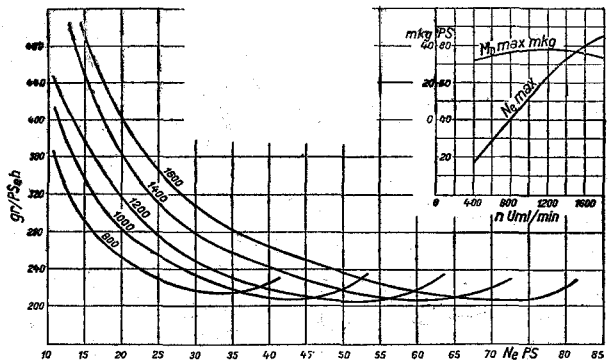


Fig. 22

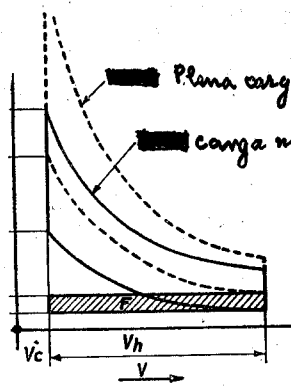


Fig. 23

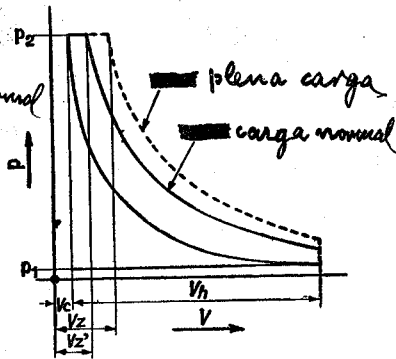


Fig. 24

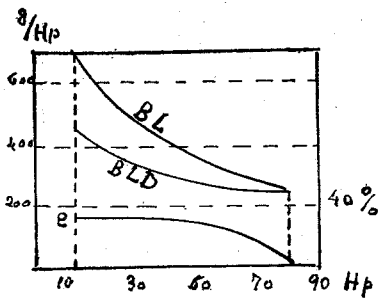


Fig. 25

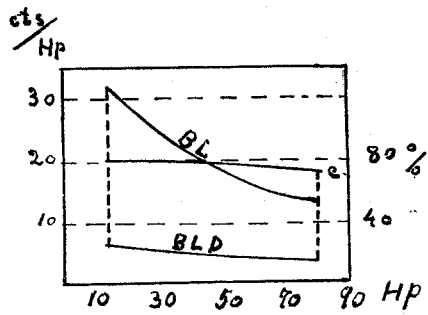


Fig. 26

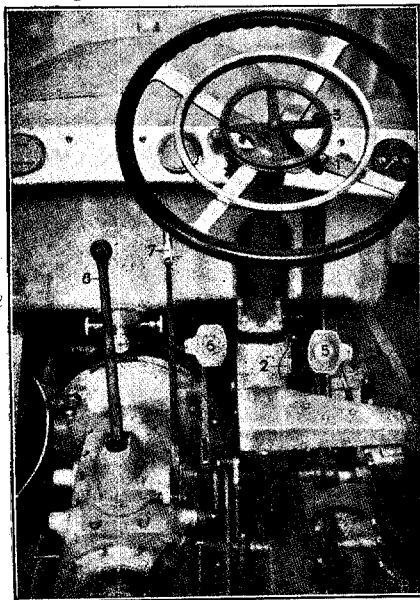


Fig. 27

20) por una cámara de aspiración, comunicando la una con la otra por pequeñas lumbreras que se ven en la figura.

La alimentación de combustible se hace desde el depósito al cilindro de la bomba, a través de un filtro, por una bomba electromagnética que lleva el aceite pesado hasta la cámara de aspiración. La distribución se hace de un modo ingenioso por la misma parte superior del émbolo que lleva unas ranuras, *a a* y *b b*, que corresponden, como se ve en la figura, al comienzo y fin de la inyección, respectivamente. Como la carrera del émbolo es invariable cualquiera que sea el gasto de combustible, es preciso graduar el fin de la distribución del combustible inyectado, lo que se verifica por un movimiento de rotación del émbolo provocado por una cremallera que engrana con un segmento dentado solidario del émbolo (figura 18). Esta cremallera acciona, al mismo tiempo, las ruedas dentadas de los seis émbolos y modifica uniformemente el gasto en todos los cilindros.

El funcionamiento de una bomba elemental es el siguiente: cuando el émbolo es levantado por el empuje de la leva, las dos cámaras de aspiración y compresión comunican por las lumbreras (I figura 20); el émbolo comienza a subir y llega un momento en que, cerrando dichas lumbreras, incomunica ambas cámaras, y desde este momento el combustible, progresivamente comprimido en la parte superior del cilindro, pasa al inyector, que lo proyecta a gran presión en el motor (II figura 20) hasta que la ranura oblicua, *b b*, comienza a descubrir la lumbrera de la derecha (III figura 20), y desde este momento el combustible pasa de la cámara de compresión a la de aspiración a través de la ranura longitudinal. Con este sistema el comienzo de la inyección no varía, pero el final puede reglarse por el movimiento del émbolo. Para ello la bomba se manda por intermedio de un manguito roscado de paso diferencial y múltiple; una palanca (figura 10), a la derecha de la bomba, accionada por una manecilla visible en 3 (figura 27), actúa sobre el pequeño árbol de levas de la bomba adelantándolo o retrasando con relación al cigüeñal. Este reglado es necesario en el motor seis cilindros, pero no en el de cuatro, que sólo gira a 1.200 vueltas por minuto como máximo, bastando en éste adoptar una posición media de las señaladas en la figura 14. En estos motores sólo se regla la inyección de combustible; el gasto de aire es constante.

El inyector se compone de una caja soporte y un inyector propiamente dicho, atornillado éste en la masa de aquélla y fijo por una tuerca; un resorte (figura 21), reglable por un tornillo, transmite

su presión por una varilla a la aguja del inyector, tendiendo a que se apoye en su asiento superior cerrando el agujero de cabeza. A abrir éste tiende, en cambio, la presión del combustible, que a través de la caja llega a un canal circular que rodea la punta de la aguja, actuando sobre ésta en sentido contrario al resorte.

Debajo de este canal la punta se transforma de cónica en cilíndrica, como se ve en la figura, y esta punta cilíndrica penetra y cierra una abertura ligeramente cónica. Cuando la presión del combustible, actuando en la canal circular, vence al resorte, la aguja abre la abertura de salida, y por el espacio anular más o menos grande que se descubre sale el combustible a presiones elevadísimas, variable con la cantidad de combustible inyectado y la duración de la inyección, es decir, proporcionalmente a la velocidad angular del motor. La forma del orificio de salida y de la punta están calculados de manera que para las diversas aberturas la presión de inyección permanezca constante, cualquiera que sean la potencia y velocidad del motor.

Son de admirar las condiciones de precisión que requiere el trabajo de estas bombas; basta considerar que en un motor de seis cilindros girando a 1.600 revoluciones por minuto reproducen *ochenta* inyecciones cada segundo, y que cada inyección actúa sobre una masa de combustible de peso comprendido entre *tres y seis centigramos*. Las presiones de salida del chorro de combustible son del orden de 100 atmósferas, por lo que la Casa recomienda tener cuidado de no recibir el chorro en una mano o en otra parte del cuerpo, pues perforaría la piel y los tejidos musculares.

De los órganos especiales del motor sólo quedan por describir los de arranque. En principio, no es necesario órgano alguno para poner en marcha un motor "Diesel", bastando la compresión del aire para producir la autocombustión del combustible; en la práctica, no sucede así: cuando el motor está frío la pérdida de calor por las paredes es mayor y al final del período de compresión no se alcanza la temperatura necesaria para el autoencendido hasta después de numerosas revoluciones en vacío del motor. Para conseguir un rápido arranque van en la cabeza del cilindro unas espirales que se ponen incandescentes al pasar por ellas la corriente de una batería de 12 voltios; encontrándose estas espirales en la proximidad del chorro de combustible se inflaman algunas gotitas y provocan la inflamación del resto del combustible. Este sistema no es necesario emplearlo cuando el motor no está completamente frío, por llevar muchas horas en reposo.

Terminada la descripción del motor y el estudio de su funcionamiento examinemos los resultados alcanzados. La figura 22 muestra las curvas características de: potencia, consumo y par motor de un "B. L. D." Abajo, y a la izquierda, las variaciones del consumo específico correspondientes a diverso número de revoluciones están representadas por cinco curvas, y en el ángulo superior derecho se ven las curvas de par motor y potencia. Esta aumenta, aproximadamente, como la velocidad de giro, hasta la de 1.600 revoluciones por minuto. Las curvas de consumo llegan a dar valores muy pequeños que demuestran el buen rendimiento de este motor, siendo característico el hecho de que los consumos mínimos no corresponden a las potencias máximas, sino a una carga un 15 por 100 inferior, y que este consumo no aumenta rápidamente cuando la carga disminuye, es decir, que en contra de lo que sucede en los motores de esencia, que acusan una disminución de rendimiento en las potencias intermedias, en el "Diesel" el rendimiento permanece casi constante, y aún se eleva en algunos casos para las cargas medias.

Las figuras 23 y 24 muestran esquemáticamente las razones de esta superioridad del "Diesel" sobre el motor provisto de carburador; en éste, como a consecuencia del estrechamiento de la corriente de aire la presión inicial p , igual a la atmosférica, desciende hasta p' , el trabajo de aspiración correspondiente al rectángulo F del diagrama debe ser efectuado por el motor a expensas de su potencia, mientras que en el motor "Diesel" no existe dicho rectángulo; por ello, y por las presiones más elevadas, en el "Diesel" el rendimiento térmico resulta aumentado, y, por tanto, disminuido el consumo de combustible. Además (figura 24), como el volumen v_z , correspondiente a la plena carga, es mayor que el v'_z correspondiente a una carga intermedia, el trabajo resulta mejorado en la proporción de los dos términos de la igualdad:

$$\frac{V_c + V_h}{V_z} > \frac{V_c + V_h}{V'_z}$$

En los diagramas de las figuras siguientes (figuras 25 y 26) se pone de manifiesto la economía de consumo por la comparación de los absolutos y específicos de un motor "B. L.", de esencia, y otro "B. L. D. Diesel". Es fácil ver en estos diagramas que la economía de combustible en el segundo (curva c) se acentúa marcadamente a medida que la carga decrece, alcanzando al 33 por 100 en peso para cargas inferiores al 40 por 100 de la normal. Esta propiedad es de una importancia singular para el automovilismo en general, y muy

especialmente para el urbano, en el que sólo excepcionalmente bajan los motores a plena carga, siendo lo normal en calles horizontales o poco inclinadas que ni aun la mitad de ésta se alcance.

Aún se acentúa más la economía de consumo si la comparación se hace no en relación al peso, sino al coste de combustible, como en los diagramas de la derecha (figura 26), es decir, haciendo intervenir los precios respectivos del aceite pesado y la esencia, que en pesetas-oro, al por mayor, pueden cifrarse en 15 céntimos para el primero y 50 céntimos para el segundo el kilogramo.

La relación entre el coste específico de combustible en una y otra clase de motor se designa con el nombre de "coeficiente de economía", y varía de 4 a 4,8, dato que ha confirmado la experiencia, pues ensayos cuidadosos de consumo realizados simultáneamente con dos camiones, uno con motor "B. L." y otro con "B. L. D.", han dado, respectivamente, consumos de combustible en los 100 kilómetros de 32 y de 24 kilogramos, cantidades que multiplicadas por los antes citados precios unitarios de 0,50 y 0,15 dan 16 y 3,60 pesetas-oro, respectivamente, resultando un "coeficiente de economía"

$$e = \frac{16}{3,6} = 4,50$$

Llevemos más adelante la comparación:

Aplicando este resultado a una explotación industrial servida por camiones o automóviles de los tipos que estamos estudiando, los gastos de explotación son de dos clases: fijos (sueldos, seguros, impuestos, cocheras, interés del capital, etc.) y dependientes de la distancia recorrida (consumo de combustible y lubricantes, cámaras y cubiertas, reparaciones, repasos, amortización del capital). Los gastos fijos pueden cifrarse por día en:

29 pesetas-oro para el automóvil ordinario.

29,60 pesetas-oro para el automóvil "Diesel".

Y los gastos variables por kilómetro en:

0,52 pesetas-oro para el automóvil ordinario.

0,39 pesetas-oro para el automóvil "Diesel".

Partiendo de estos datos, es bien fácil calcular la economía diaria y anual que se obtiene por automóvil en servicio, en función del recorrido empleando vehículos "Saurer Diesel" de cinco toneladas, con la consiguiente disminución en el coste de la tonelada-kilómetro transportada:

Recorrido diario Kilómetros	Recorrido anual 300 días Kilómetros	Economía diaria Pesetas-oro	Economía anual Pesetas-oro
50	15.000	5,87	1.761
80	24.000	9,77	2.931
100	30.000	12,38	3.711
150	45.000	18,85	5.661
200	60.000	25,40	7.620
250	75.000	31,90	9.570
300	100.000	38,40	11.520

Una Empresa de transporte que utilice diariamente cuatro ómnibus o camiones de cinco toneladas con un recorrido diario de 250 kilómetros obtendrá con el empleo de motores "Diesel" un beneficio anual de 38.280 pesetas-oro, equivalentes a unas 100.000 pesetas; economía que le permitiría, bien comprar un camión anual, bien repartir un 10 por 100 extraordinario de beneficios al capital social, supuesto de un millón de pesetas.

* * *

El montaje de un motor "Diesel" sobre cualquier bastidor es análogo al de un motor de esencia, por ser idénticos, como vimos, los bloques del motor y de la caja de velocidades. Es difícil distinguir por el aspecto exterior si el motor de un automóvil es de tipo "Diesel" o de esencia. Hay que fijarse para ello en la bomba e inyectores visibles por un lado del motor. La conducción de un automóvil con motor "Diesel" es tan fácil, si no más, que la de un vehículo con motor de esencia. En efecto, el examen del puesto de dirección (figura 27) no permite saber si se trata de una u otra clase de motores.

La manecilla, 1, puede servir para el mando de gases o para regular la inyección de aceite pesado, lo mismo que el pedal, 2, del acelerador; la palanca, 3, que regula el avance al encendido, sirve en el "Diesel" para adelantar o retrasar el momento de comenzar la inyección de combustible, y como los restantes mecanismos: embrague, cambio de velocidades, frenos, etc., son idénticos, se comprende perfectamente que todo conductor de vehículo provisto de motor de esencia se adapte sin necesidad de aprendizaje a estos nuevos tipos.

Por no recargar este ya largo trabajo, suprimo el diagrama de utilización del camión "Saurer Diesel", en el que se verían las pen-

dientes que se pueden subir y las zonas en las que no puede ser utilizada toda la potencia del motor a causa del necesariamente limitado número de velocidades o demultiplicaciones; son éstas:

- 1.^a v : 1 : 0,158.
- 2.^a v : 1 : 0,307.
- 3.^a v : 1 : 0,558.
- 4.^a v : 1 : 1.

A las que corresponde, según el diagrama:

- 1.^a $v_1 = 6,3$ kms.-h.; pendientes de 15 a 30 por 100.
- 2.^a $v_2 = 12,3$ kms.-h.; pendientes de 7 a 15 por 100.
- 3.^a $v_3 = 23,8$ kms.-h.; pendientes de 2,5 a 7 por 100.
- 4.^a $v_4 = 40$ kms.-h.; pendientes de 0 a 2,5 por 100.

La elasticidad de marcha de este tipo de motor es tal que en el servicio urbano no hay que cambiar de velocidad, marchando en cuarta a menos de 10 kms. por hora, y que después de marchar mucho rato a pequeña velocidad con la inyección casi cerrada puede abrirse ésta al máximo cuando haga falta acelerar, maniobra a que no se presta el motor de esencia.

Comencé este artículo por una cita de un escritor inglés, y voy a terminarlo con la de una autoridad de la misma nacionalidad, el ministro de Transportes de Inglaterra, quien en una reunión de la Engineering Institution, de agosto del 31, dijo estas palabras: "By the invention and developement of the internal combustion engine, the fertil mind of the engineer had created a transport revolution with great social consequences" (1).

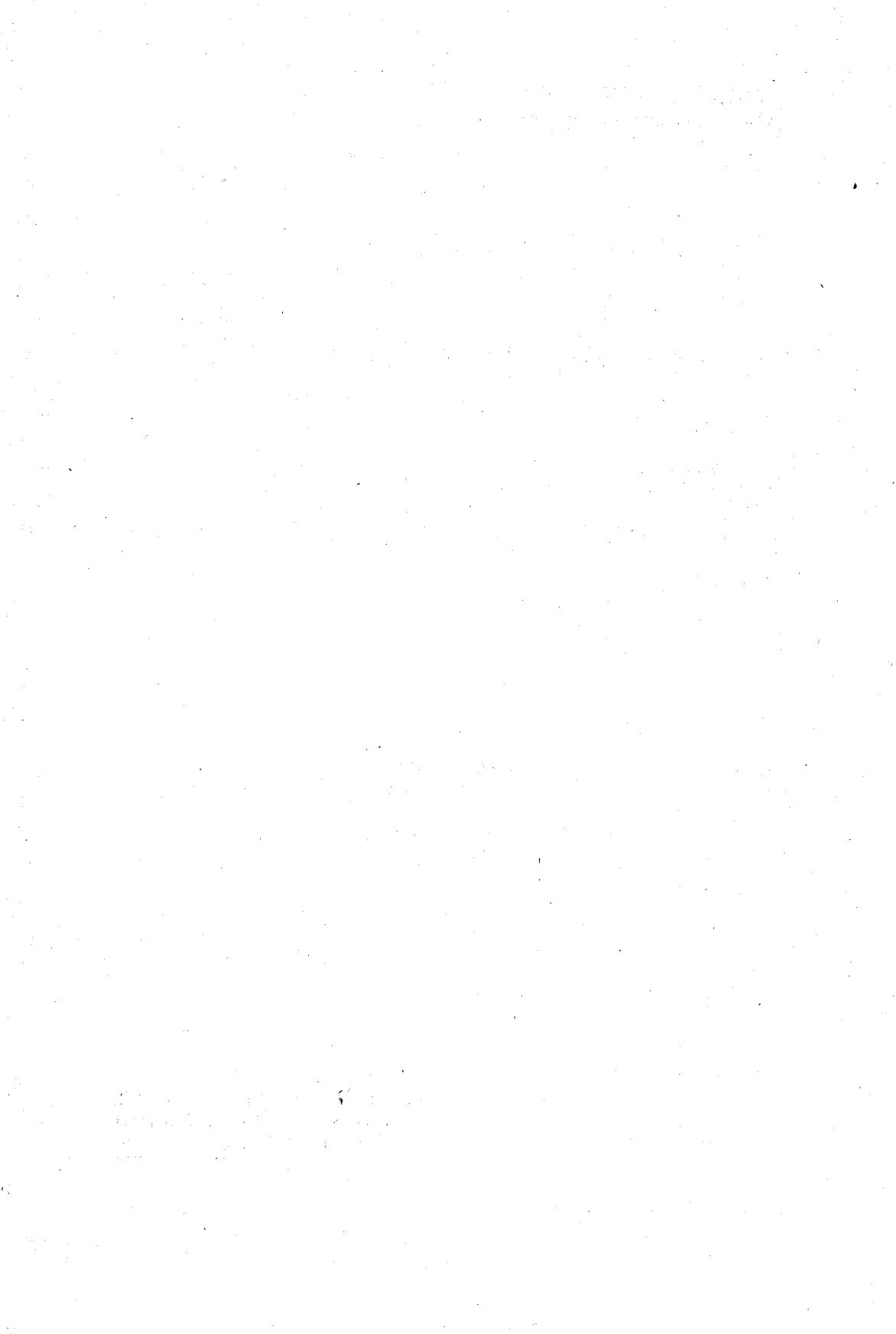
(1) Con la creación y desarrollo del motor de combustión interna la inteligencia fértil de los ingenieros ha producido una revolución en los transportes de gran trascendencia social.

CARLOS LOPEZ OCHOA
COMANDANTE DE INGENIEROS

**Resolución de un tema con el
concurso del Batallón de Za-
padores Minadores número 1
y de los proyectores del Grupo
de Alumbrado e Iluminación**



PUBLICACIÓN DEL «MEMORIAL
DE INGENIEROS DEL ÉJERCITO»
:: :: MADRID 1935 :: ::





El Centro de Transmisiones y Estudios Tácticos de Ingenieros, donde siguen el curso del año actual los coroneles de todas las Armas, incluyó en su programa la presentación del Grupo de Alumbrado e Iluminación en uno de sus ejercicios peculiares. Como el funcionamiento del mismo, aislado, sin cooperación de otras fuerzas, resulta poco lucido, se pensó, de acuerdo con el teniente coronel jefe de la Sección de Estudios Tácticos, desarrollar un tema en combinación con el Batallón de Zapadores núm. 1 (cuyos trabajos también debían ser vistos por los señores coroneles), y se propuso el siguiente, llevado a efecto sobre el terreno, el 1.º de marzo del año corriente.

El tema en sí es uno de los dados por la Inspección de Ingenieros como ejercicio a resolver sobre el plano por nosotros en los meses de mayo y junio del pasado año, y dice de esta manera:

ENUNCIADO

Dos Ejércitos, rojo y azul, después de una serie de combates, operan en las márgenes derecha (rojo) e izquierda (azul) del río Jarama, teniendo como eje de los mismos la carretera de Madrid a Francia, por La Junquera.

El Ejército azul, debidamente atrincherado, se propone pasar el río y caer sobre Madrid. Operación decisiva en la marcha de las operaciones.

A su vez, el Ejército rojo, con abundantes reservas en Madrid, se adelanta al propósito enemigo y proyecta pasar a viva fuerza el río, llevando el combate a la margen izquierda del Jarama.

Situación particular.

El Ejército rojo tiene uno de sus Cuerpos de Ejército con sus Divisiones acoladas (1.ª y 2.ª), ocupando un frente de 11 kilómetros;

la 1.^a División, cinco kilómetros aguas arriba del cruce de la carretera de Madrid a Francia con el río; y la 2.^a, seis kilómetros aguas abajo de dicho cruce.

La situación de los Cuarteles Generales y Parques es la siguiente:

Cuartel General de Ejército.—Madrid.

Cuartel General de C. de E.—Canillejas.

Cuartel General de la 1.^a División.—Barajas.

Cuartel General de la 2.^a División.—Coslada.

Parque de Ingenieros de Ejército (Escalón de acumulación).—Madrid.

Se tienen organizados dos escalones de contacto: uno, en el kilómetro 15 del ferrocarril; y otro, en el kilómetro 8 de la carretera de Francia. Los Parques Divisionarios y de C. de E. con los Cuarteles Generales.

Tropas afectas a Ingenieros.

A más de las tropas propias, podrá disponer el C. de I. de C. de E. de tres Batallones de trabajadores y dos Compañías de puentes desmontables.

Los puentes de la carretera y ferrocarril están destruidos.

Podrán hacerse hipótesis sobre el caudal de aguas del río, sobre la situación de las tropas de Ingenieros y sobre la constitución de los Parques.

CUESTIONARIO

1.^o Como comandante de Ingenieros de la 1.^a División (con sus tropas y un Batallón de trabajadores), informará al general de la misma sobre la posibilidad del paso y tiempo necesario para ello, utilizando el material reglamentario, teniendo únicamente por misión el paso de la Infantería de ataque.

2.^o Siendo posible el paso, y decidido el Mando a que éste se efectúe, detallará su actuación durante el desarrollo de la operación.

Como se deduce de los documentos anteriores, en realidad hemos de confeccionar nosotros el tema con el pie forzado del terreno elegido por la Dirección; tan ténues son los datos del problema. Pero precisamente aprovechando la libertad que nos dejan, podemos llegar al fin propuesto de presentar la intervención de los proyectores, como primordial en la operación de pasos de ríos, tan difícil cuando,

como en el caso actual, no caben los movimientos desorientando al adversario y ha de prescindirse de la sorpresa estratégica para ejecutar el paso a viva fuerza sin mediar más que la sorpresa táctica.

Amplíemos, por tanto, un poco el tema.

El Ejército rojo, que se ha batido con poco éxito desde los altos de Barahona, teniendo necesidad de ir cediendo terreno siguiendo la directriz del Henares hasta alcanzar la línea del Jarama, aun cuando sin derrota violenta, pero con retirada obligada por tener menores efectivos que el azul invasor, puede pensar en cambiar su acción defensiva, necesaria hasta el presente, por una ofensiva, tras la nivelación de fuerzas deducidas de *las abundantes reservas situadas en Madrid* y la disminución de efectivos propia del alargamiento en las líneas de operaciones del Ejército azul.

Esta disminución parece corroborarla la paralización momentánea de los atacantes, atrincherándose, aunque débilmente, en la margen izquierda del Jarama. El cambio de actuación de los rojos empieza a manifestarse por el Norte, donde las escabrosidades de Somosierra permiten la reacción de las Brigadas de montaña, seguidas por la 8.^a División, que empuja hacia Fuente el Saz. En el croquis número 1 se indica la situación inicial de los dos Ejércitos, estando constituidos:

Ejército rojo.—(De N. a S.). En primera línea: Brigadas de montaña 1.^a y 2.^a Divisiones 8.^a, 5.^a, 6.^a, 1.^a y 2.^a División de Caballería (Brigadas 1.^a, 2.^a y 3.^a) En segunda línea: División 7.^a (San Sebastián de los Reyes). 1.^a Brigada de Voluntarios (Vicálvaro). Reserva general. Divisiones 3.^a y 4.^a (Madrid).

Total, ocho Divisiones Orgánicas, una de Caballería y tres Brigadas.

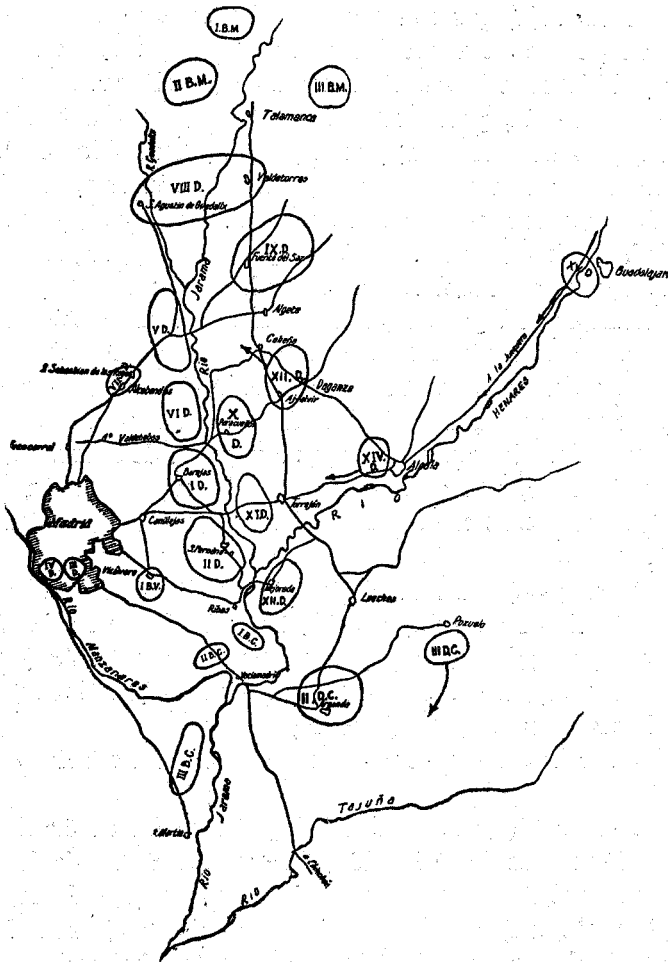
Ejército azul.—(De N. a S.). En primera línea: 3.^a Brigada de montaña. Divisiones 9.^a, 13.^a, 10.^a, 11.^a y 12.^a 3.^a División de Caballería, en marcha hacia la misma. 14.^a División (en Alcalá). 15.^a División (Guadalajara). 2.^a División de Caballería (desde Pozuelo, a prolongar el ala izquierda). 16.^a División (no indicada, camino de Guadalajara).

Total, ocho Divisiones Orgánicas, dos de Caballería y una Brigada.

En el croquis núm. 2 se señala la entrada en línea de las reservas rojas, el cambio de dirección de las Divisiones 14.^a y 15.^a azules, en vista de la ofensiva desencadenada por el Norte y la llegada de la 16.^a División a Guadalajara, que se mantiene a la expectativa.

Como se ve, el total de las fuerzas de los dos bandos está bastan-

te equilibrado; pero, de momento, existe supremacía de los rojos sobre los azules en las líneas del Jarama, y esta ventaja suponemos ser perfectamente conocida por el Mando del Ejército defensor de

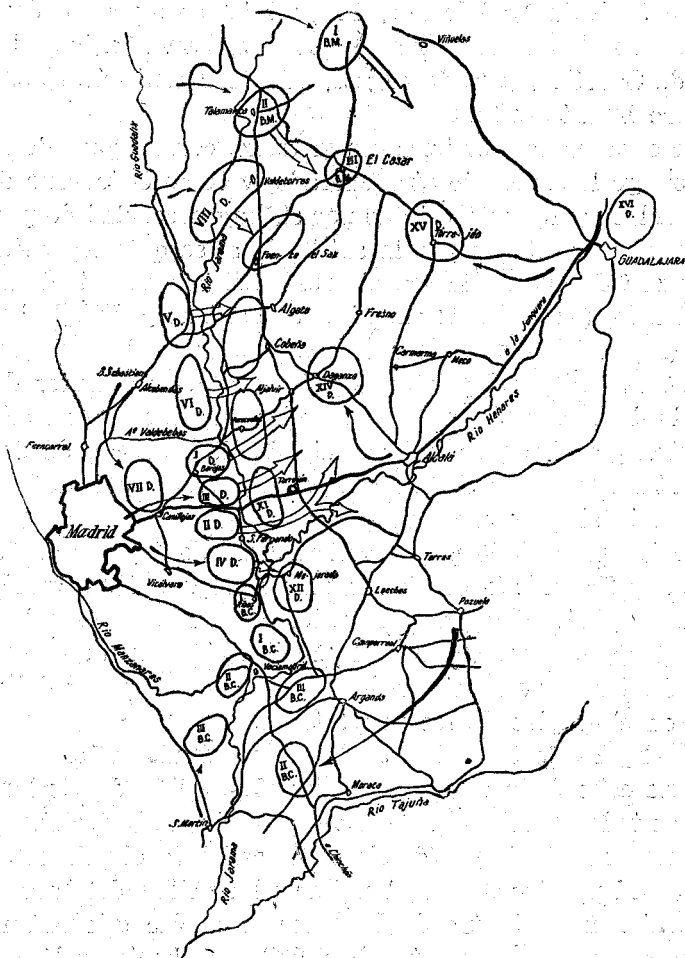


Croquis número. 1.— Situación inicial.

Madrid, cuya aviación, a semejanza de los elementos terrestres, también mantiene el equilibrio con la del adversario.

El Mando rojo decide, pues, continuar la ofensiva iniciada en el ala izquierda, rompiendo el frente enemigo precisamente por donde el terreno parece prestarse menos a ello (única sorpresa factible), lanzando al ataque las Divisiones 1.^a y 3.^a; esta acción, con el con-

siguiente paso del río, va a hacerse de noche sobre los dos sectores, que comprenden desde el arroyo Valdebebas hasta la carretera de Francia, por La Junquera, ocupando como primer objetivo la cresta que desde unos setecientos cincuenta metros al este de Paracue-



Croquis número 2. — Plan de conjunto.

llos, desciende casi paralela al río, por el vértice Guardias, hasta la casa de Garcini (croquis número 3 que se acompaña). Al continuar el avance en la dirección Paracuellos-Ajalvir, hacia el segundo objetivo que se señala en el superpuesto, la 2.ª División atacará a su vez con la directriz San Fernando-Torrejón, mien-

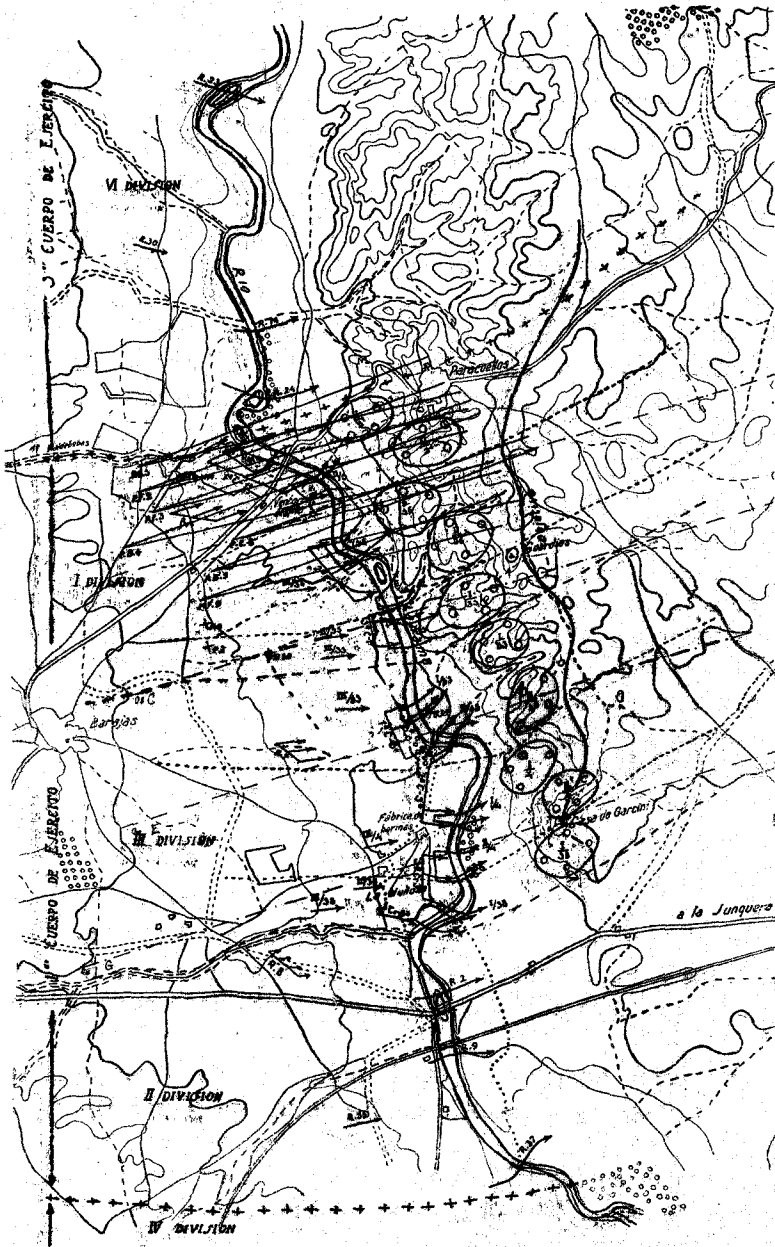
tras la 4.^a, combinada con la 1.^a Brigada de Voluntarios, presiona sobre las posiciones ocupadas por la 12.^a División azul en Mejorada y alrededores. La 2.^a División atenderá, una vez rebasado Torrejón, a ejecutar una finta de paso del Henares, amenazando cortar la retirada a las fuerzas azules situadas al sur de este río. También por el norte de la 1.^a División, la 6.^a y 5.^a se moverán después de haber pasado el Jarama, dirigiéndose, respectivamente, a la región del sur de Cobena y a la de Algete, mientras continúa la 8.^a su empuje sobre Fuente el Saz.

Estas operaciones comienzan, por tanto, con un paso de río frente al enemigo ligeramente atrincherado, y como el terreno donde se establecen los azules es fuerte de por sí, hay necesidad de proceder a una preparación intensa por la artillería si se quieren evitar bajas numerosas. Con ello no habrá, en realidad, sorpresa táctica tampoco, y, además, prevenido el enemigo, se hará muy difícil el paso del Jarama (supuesto invadeable) y, sobre todo, muy dado a un tropiezo serio, la coronación del primer objetivo por los elementos de infantería, sólo de infantería, a quienes se les encomiende esa misión, ya que existen grandes hoyas al sureste de Paracuellos, de donde podrán partir fuertes contraataques en cuanto la artillería roja de apoyo directo alargue el tiro.

El medio aconsejado por el comandante de Ingenieros del C. de E. (1.^a, 2.^a y 3.^a Divisiones, esta última agregada del segundo) para aminorar en parte tales inconvenientes y que se supone indicado por el comandante de Ingenieros de la 1.^a División con arreglo al cuestionario del tema y en vista de la configuración especial del terreno, consiste en el empleo de los proyectores.

En la ligera fortificación azul, si se estudia detenidamente el terreno, no cabe duda de que no existirá posición de vigilancia, reduciéndose todo el sistema defensivo a una línea de resistencia colocada aproximadamente por donde se ha señalado el primer objetivo, que destacará puestos de escuchas hacia las orillas del Jarama, pues los elementos importantes de las fuerzas azules quedarían en las márgenes del río con una retirada difícilísima hacia su línea principal de resistencia. De forma que las primeras armas de fuego de cierta importancia a encontrar, estarán situadas probablemente en la cresta militar de las lomas situadas en la orilla izquierda y no se establecerán en la ribera, salvo alguna excepción, cuya misión flanqueante del frente así lo exija.

La operación en noche sin luna, pues a partir del 24 de febrero coincide la salida de este astro y la del Sol (poco antes de las siete



Superpuesto al croquis número 3. — No se han señalado los haces más que en los proyectores que han de actuar y los asentamientos solamente en el sector de la 1.ª División.

horas) y, por tanto, los días sucesivos reina completa oscuridad antes de la alborada, consistirá en acercarse las columnas cuanto les sea posible al cauce del río hasta las huertas del caserío de La Muñozza, la fábrica de harinas, bosquecillo de la presa, ventorro de Nica, etcétera (croquis núm. 3), protegidos por las sombras de la noche y sin ruido. Para formar estas columnas se destinarán cinco Batallones por División, y como el frente de éstas es de unos dos y medio kilómetros, quedará cada Batallón cubriendo un frente de 500 metros, que es precisamente el normal en el combate ofensivo. En segunda línea irán otros cuatro Batallones, quedando un Regimiento por División como reserva suya o para constituir la del C. de E. Los cinco Batallones de vanguardia irán fraccionados, a su vez, en dos columnas, precedidas cada una de ellas por una sección de Zapadores del Batallón divisionario (las nueve de las tres Compañías de Zapadores y la sección de la Compañía de Parque que lleva el puente de vanguardia), cuyas fuerzas conducirán las pasaderas preparadas en vista del reconocimiento preliminar hecho por los oficiales de Ingenieros.

Tendidas estas pasaderas, por cada una pasarán dos Compañías de fusiles, y por cada dos la Compañía de ametralladoras y de máquinas, mientras los Batallones de segunda línea están en posición, para apoyar el paso o para recoger a la primera en caso de descalabro. Los Zapadores, a su vez, harán seguir con las columnas cinco secciones encargadas de habilitar el paso a través de las defensas accesorias, procediendo las otras cinco, con cada dos pasaderas, a reforzarlas o tender nuevos puentes para el paso del ganado de los Batallones empeñados en la otra orilla y para la artillería de apoyo directo posteriormente.

Al mismo tiempo, las Compañías de puentes desmontables procederán al tendido de ellos y a la reparación del de la carretera de Barajas a Paracuellos, en cuanto haya avanzado la 6.^a División, y el de la carretera a La Junquera, en cuanto haya efectuado lo propio la 4.^a

Todas estas operaciones, casi imposibles de hacer a la luz del Sol, y tan ocasionadas a un desastre de monta, aun después de una preparación eficaz, y que saliendo bien siempre producirán un desgaste excesivo en las tropas que inician el movimiento, con la consiguiente necesidad de un cambio de líneas en pleno combate, tan propicio a retardos y confusiones, se va a hacer aquí con el auxilio de los proyectores.

La dispersión del haz de los aparatos de 90 y 120 centímetros,

dotación de las secciones de C. de E., puede considerarse para el deslumbramiento de unas 140 milésimas para los "Berliet" y de 80 para los "Fiat"; luego, colocados los proyectores a dos o tres kilómetros de las líneas enemigas, cada uno cubrirá un frente de doscientos ochenta y doscientos cuarenta metros con la luz fija y hasta de trescientos o más con ligeras y rápidas oscilaciones, puesto que la acomodación de la vista necesita algún tiempo para verificarse y el deslumbramiento continúa hasta la realización completa de dicha acomodación.

De modo que, colocados por delante de Barajas y convenientemente distribuidos veinte aparatos, cubrirán los seis kilómetros de anchura, longitud algo mayor que la computada para el frente de ataque. Si en un momento determinado encienden y dan luz los veinte proyectores, haciendo pasar los haces a tres metros, aproximadamente, por encima del río, quedarán deslumbrados los puestos azules colocados en la ladera y el reflejo de la iluminación ayudará al movimiento de las tropas propias y a los trabajos de los tendidos de las pasaderas. Al propio tiempo, la iluminación divisionaria, avanzada cuanto más se pueda hacia el río, lanzará destellos de enmascaramiento o iluminará los elementos contrarios situados en plena ribera, para ser batidos por las ametralladoras de las fuerzas que no han de pasar en el primer momento.

La apertura de las persianas será, a su vez, orden de romper el fuego de preparación, permitiendo la luz de los proyectores hacer la corrección de él y anulando los aparatos enemigos batidos en contra batería.

Quiebra evidente de este modo optimista de ver las cosas será el desencadenamiento de la barrera de artillería sobre el río, ya que el deslumbramiento de los sirvientes infantes restará mucha eficacia al fuego directo de las ametralladoras, y los fusiles individuales o automáticos serán casi despreciables, por la misma razón.

Pero si el enemigo, con arreglo al enunciado del tema, preparaba su avance sobre Madrid, ¿no habrá avanzado la artillería divisionaria para evitar los cambios de asentamiento hasta conseguir un alejamiento del bando rojo suficiente para hacer el tendido de puentes necesarios? En este caso, por la configuración especial del terreno en todo el frente de la 1.ª División, la barrera tendrá lagunas apreciables, por precisar un ángulo de caída excesivamente grande, y todo ello irá en beneficio del atacante.

La sincronización entre los movimientos y trabajo de las fuerzas y la protección, si con relación a la artillería comprenderá va-

rios cambios de alza, con respecto a los proyectores será más sencilla y puede prepararse con señales ópticas mejor que con horario previsto. Si a pesar de todo se hiciera así habría de tenerse en cuenta el tiempo necesario para llegar al río desde la posición de espera; el preciso para el tendido de las pasaderas; el empleado en el paso; el indispensable para el despliegue y el imprescindible para avanzar unos centenares de metros, en cuyo momento los haces deben elevarse hasta iluminar en una segunda puntería.

Los aparatos necesarios saldrían de las cuatro secciones automóviles de C. de E. y de la Sección de la División de Caballería, cuyo desplazamiento es fácil por carreteras paralelas al frente, obteniéndose así los veinte proyectores precisos; pero si no se quisiera privar de elementos a las alas, puede hacerse uso de un par de secciones antiaéreas o incluso de aparatos divisionarios pertenecientes a las unidades empeñadas, aun cuando ello daría lugar a un aumento en el número total de los proyectores necesarios, por poder cubrir menos anchura de frente, al necesitar colocarse más cerca del enemigo, debido a su menor alcance.

Además, el perjuicio para las unidades extremas no sería grande, por cuanto hemos dicho al principio que la operación debe hacerse poco antes de amanecer, coincidiendo la luz del día con la coronación del primer objetivo, y hasta la noche siguiente no necesitarán volverse a encender los proyectores, teniendo todo el día para incorporarse a sus puestos.

Sería inútil descender a más detalles, puesto que el funcionamiento de los proyectores corresponde a la misión que presenta menos complicaciones.

En el ejercicio para el curso de los señores coroneles no se utilizaron sino seis de los veinte aparatos precisados como necesarios, por no tener este Grupo más en disponibilidad; así como tampoco el Batallón de Zapadores hizo todas las pasaderas que en la práctica se tenderían, por el gasto que ello supone. En cambio, presentó otros modelos de puentes e hizo algunas experiencias del empleo de explosivos. Los proyectores hipo-móviles pasaron a constituir los elementos enemigos en Paracuellos, para comprobar su anulación ante la ofensiva luminosa de los rojos, y destacó alguno como divisionarios a la derecha del Jarama, para la misión de flanqueo esbozada anteriormente.

En resumen, el ejercicio comprendió:

Primero. Actuación de los proyectores hipo-móviles divisionarios enemigos y amigos, situados en las inmediaciones de Paracue-

llos y delante de Barajas, respectivamente, en misión de vigilancia. Mientras tanto, las fuerzas de Zapadores y las de ataque supuestas ocuparían la posición de partida.

Segundo. A una señal convenida dieron luz todos los aparatos de 90 y 120 centímetros disponibles, y se supuso iniciado el tiro de preparación rojo. También supuesto el avance de las fuerzas hasta el Jarama y el tendido de las pasaderas.

Tercero. Debieron pasar las fuerzas, desplegando la infantería, como se indica en el superpuesto al croquis núm. 3, que acompañamos, iniciándose el ataque.

Cuarto. Cambiaron la puntería de los aparatos de la gran batería de proyectores, conforme cada Batallón hizo la señal de haber progresado unos trescientos metros. (Supuesto.)

Quinto. El Batallón de Zapadores debió establecer puentes rápidos para el paso de ganado y artillería ligera, continuando el de los Batallones de segunda línea.

Sexto. Las Compañías de puentes desmontables habilitaron el paso del Jarama para toda clase de cargas. (Igualmente supuesto.)

Verificándose el ejercicio hacia las diecinueve horas, en vez de hacerlo entre cinco y seis, como sería la realidad, estos dos últimos incisos fueron presentados a los señores coroneles en la tarde anterior. Tampoco se realizaron aquellos en que precisó la actuación de fuerzas no pertenecientes al Batallón de Zapadores ni al Grupo de Alumbrado e Iluminación, reduciéndose el paso del río al traslado de una Compañía de Zapadores a la orilla opuesta mediante una compuerta de embarque.

Presenciaron la operación los excelentísimos señores Generales, jefe del E. M. C., inspector de la 1.ª Inspección, comandante de la 1.ª División, comandante de la 1.ª Brigada de Infantería y de Ingenieros de la 1.ª Inspección; los señores coroneles del Curso; los alumnos de la Escuela de Guerra y los capitanes de Ingenieros que realizan el Curso de Aptitud para el ascenso en el Centro de Estudios Tácticos.

OBSERVACIONES CRÍTICAS

Realizándose este supuesto con cierto carácter experimental, ya que la carencia completa de presupuesto de instrucción desde la creación del Grupo ha impedido realizar las innúmeras experiencias que se precisan, hemos podido deducir datos muy interesantes.

Creemos positivamente alcanzada la consecuencia prevista de

ser suficiente el haz de un proyector para ocultar por completo los movimientos y trabajos que se suponían a realizar por las tropas rojas, pues a pesar de que los proyectores situados en M. (noroeste de Paracuellos) iluminaron una de las pasaderas lanzando sus haces por debajo de los de los aparatos rojos, no se vieron los puentes desde el observatorio N. (suroeste de Paracuellos), donde estaban situados alguno de los señores que presenciaron el ejercicio y desde cuyo sector debía ejecutarse el fuego principal de la defensa. *Misión de enmascaramiento realizada.*

El deslumbramiento visto desde N. también resultaba eficaz, y lo hubiera sido más de desplegar los proyectores rojos en otra forma. Desde luego, como los asentamientos de dichos aparatos formaban una recta paralela al frente, cabía tapar con un objeto situado horizontalmente el total de los focos luminosos y entonces se veían las laderas bastante, bien precisamente por la iluminación a que quedaban sometidas; pero si dificultades encontradas por estar los terrenos labrados y sembrados impidieron elegir convenientemente los asentamientos, en cuanto éstos, en la realidad de un combate, estuviesen colocados como se indica en el superpuesto al croquis número 3, sería más difícil su eliminación por los sirvientes de las ametralladoras y, desde luego, en ambos casos imposible para los fusiles individuales. En cuanto a la iluminación del terreno, ha de tenerse en cuenta que precisamente el iluminado no contendrá a ninguno de los asaltantes, puesto que él haz funcionará como barrera de acompañamiento, siempre por delante de las tropas y sin comprenderlas nunca.

Uno de los aparatos, sobre "Berliet", no pudo encender por haber tenido un recalentamiento en la marcha desde Barajas al emplazamiento (inconveniente de llevar un solo motor para transporte y luz), y su hueco dejó actuar con más libertad al proyector azul de Paracuellos, donde también hubo averías debidas a la respetable vejez del material. El proyector rojo más próximo al recalentado trató de cubrir la parte de sombra dejada por el aparato fuera de servicio, y de ahí las oscilaciones vistas desde los puntos M. y N. que, en realidad, si se hacen con rapidez, no son perjudiciales porque hay una sucesión de contrastes violentos de luz y sombra que fatigan extraordinariamente la retina. *Misión de deslumbramiento, pudiéndose conseguir en una acción de guerra.*

La luz, para favorecer la marcha de las columnas desde la posición de espera y para el tendido de las pasaderas o maniobra de las compuertas, fué francamente buena, según la observación hecha

desde el mismo río; al propio tiempo, desde la orilla derecha se veían perfectamente iluminadas las laderas, dando así una gran facilidad para el tiro de apoyo que proporcionarían los Batallones de segunda línea. *Misión de guía y auxilio de trabajos realizada también.*

Por último, la visibilidad de los proyectores desde el campo azul permite suponer pocas dificultades en su destrucción por el tiro artillero enemigo.

Tenemos a la vista el Tomo LXXI (octubre de 1932) de la *Revue du Genie Militaire*, donde el capitán De Solère publica unos recuerdos de su actuación con mando de proyectores en el frente francés durante la guerra mundial. En la página 404 dice haber instalado, en la región de Apremont, un aparato de sesenta centímetros para vigilar la linde sur del bosque de Gèrèchamp y el terreno comprendido hasta el Etang de Vargevaux. El asentamiento estaba hecho sobre una plataforma de seis metros de altura para dominar la copa de los árboles, enmascarado con ramaje; el grupo electrógeno, en un abrigo ligero. La instalación se hizo en agosto de 1915, y hasta fines de noviembre no fué puesto fuera de combate, a pesar de haber sido agujereado su espejo por un casco de granada a principios de este último mes, lo cual prueba que se tiraba sobre él y que, a pesar de la referencia, la localización no era fácil.

En la página 406 describe una operación interviniendo un proyector automóvil de 60 centímetros en misión de ayuda a la artillería que tira sobre Apremont. Dura ella unos tres cuartos de hora, estando el asentamiento entre la carretera a St. Agnant y el ferrocarril, y dejando el carruaje sobre la vía primeramente citada. La reacción enemiga con granadas ordinarias, a tiempos y a percusión, sólo produjo ligeros desperfectos en el vehículo.

Un par de páginas más adelante describe la actuación de dos aparatos de 60, también para ayudar en la corrección del tiro efectuado contra trabajos alemanes. Todos los impactos enemigos se produjeron a retaguardia y bastante lejos.

En la página 412 señala la actuación de tres proyectores prestando su concurso al ataque de un Cuerpo de Ejército, que continuaban en noches sucesivas "iluminando las trincheras enemigas, a pesar de haber sido exactamente localizados y averiados varias veces por las granadas contrarias".

Como puede verse por estos datos (referidos a proyectores cuyos asentamientos han de estar muy próximos al enemigo, debido a su pequeño calibre), la artillería ha de actuar sobre blancos que por

su propia constitución son bastante difíciles de localizar, y además, en este caso concreto, teniendo en cuenta la persistencia de iluminación de ellos, se hará casi imposible la corrección del tiro, pues las explosiones, aun vistas a través de los haces, se referirán penosamente al terreno.

Si los asentamientos se distribuyen colocándolos a distancias mutuas en anchura y profundidad lo más grandes que se pueda, seguramente el desencadenamiento de un tiro eficaz tardará en conseguirse mucho rato, y debe tenerse en cuenta la posibilidad de efectuar el paso del río en veinte o veinticinco minutos, en cuyo lapso de tiempo deben haberse destruído más de la mitad de los proyectores para anular su efecto, pues cada uno de ellos puede atender, haciéndole oscilar con rapidez, a una zona de doble anchura a la calculada.

Además, si la artillería azul abre la barrera sobre el río, será muy pequeña la cantidad de bocas de fuego disponibles para las acciones de contra-batería, objetivos fugaces, prohibición, etc..., si han de constituir otra barrera sobre la zona de asentamiento de los proyectores, y si actúa por concentración sobre cada uno de ellos, probablemente al terminar el paso de los Batallones de vanguardia no habrán quedado fuera de combate más de cuatro o cinco aparatos de los veinte formando la agrupación de proyectores.

En el tema propuesto, es difícil ejecutar trabajos para proteger a los elementos de iluminación que entrarán en sus posiciones de noche, pues no puede haber habido tiempo de ejecutarlas con anterioridad.

Deben buscar su invulnerabilidad por diseminación y basta con cambios de asentamiento de aquellos cuya maniobra es fácil, como sucede con los "Sautter-Harlé" sobre *châssis* "Berliet".

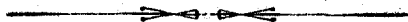
Indudablemente, convendría buscar alguna protección para los sirvientes y grupo electrógeno, a base de un nuevo modelo de montaje o llevando elementos con cuyo auxilio pudiera improvisarse aquélla rápidamente, ya que en la mayoría de los casos, y especialmente en guerra de movimiento, será muy difícil disponer de tiempo para la ejecución de obras de tierra.

Otra observación hecha es la de que entre el personal afecto a cada proyector deberían existir, al menos, un par de sirvientes (uno, electricista, y otro, motorista), cuya permanencia en filas fuera superior a la correspondiente al reemplazo ordinario, pues con el procedimiento de distribución empleado en las Cajas de Recluta no se incorporan en ningún llamamiento suficiente número de individuos

capacitados para imponerse rápidamente en el manejo de aparatos delicados y de cierta complicación.

Una última consideración se refiere al material de observación: se operó en el ejercicio con unos anteojos de batería que graciosa-mente fueron cedidos por el 1.º Ligerero de Artillería, por no tener este Grupo ni unos gemelos.

Actuando cada vez el oficial comandante de sección con variación en todos los elementos a sus órdenes, no es raro tropezar continuamente con defectos en la ejecución procedentes de tales causas, superiores a la mejor voluntad y al máximo entusiasmo; pero gracias a nuestro castizo "no importa" y al clásico "suplir con su celo" lo que no puede suplirse, continuaremos con terquedad aragonesa empeñados en obtener resultados prácticos y de utilidad con nuestros veteranos proyectores y sus bisoños sirvientes.



Recepción de Herrera

como

Académico de Ciencias



PUBLICACIÓN DEL «MEMORIAL
DE INGENIEROS DEL EJÉRCITO»
:-: :-: MADRID 1933 :-: :-:

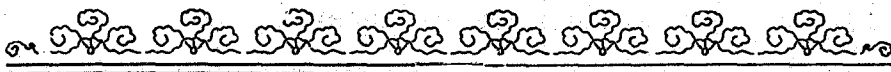
THE UNIVERSITY OF CHICAGO

1964

PHYSICS DEPARTMENT

PHYSICS 311

PHYSICS 311
LECTURE NOTES
BY
RICHARD P. FEYNMAN



Según anunciamos en el número de abril del pasado año de 1932, nuestro compañero el teniente coronel Herrera había sido elegido para ocupar en la Sección de Físicas de la Academia de Ciencias la vacante producida por fallecimiento del ilustre artillero general Aranaz. Expresábamos entonces la satisfacción que como oficiales de Cuerpo, en primer término, y más especialmente como redactores del MEMORIAL, nos producía este reconocimiento por una entidad de la más alta solvencia científica, de los merecimientos de Herrera.

Hoy hemos de dar cuenta del acto que consolida públicamente el nombramiento: la solemne recepción que se verificó el 19 del mes corriente. En ella leyó un trabajo, extraordinariamente original y de altos vuelos, titulado "Ciencia y Aeronáutica", siendo contestado en nombre de la Academia por el otro miembro de ella que lleva también las torres de plata, el respetable general Marvá, que recabó el honor de encargarse de este cometido, prescindiendo de turnos establecidos y normas corrientes, haciéndose así portavoz, como decano del Cuerpo, del sentir unánime de éste. Complejo sentir integrado por reconocimiento de circunstancias excepcionales y cualidades excelsas en Herrera, estimadas mundialmente a pesar de su capital defecto: una modestia rayana en la apatía; por satisfacción de ver honrado a uno de sus miembros, en época más bien de sinsabores que de alegrías colectivas; por algo de orgullo al considerar que el medio técnico del Cuerpo ha sido apto para que en él se desarrolle una mentalidad tan alta y por un poco de fe en que puedan servir los que se destacan para que no se pierdan del todo los preteritos prestigios, que han sido la armazón espiritual en que se ha apoyado hasta ahora el modo de ser colectivo.

Los dos discursos, el de Herrera y el de contestación del general Marvá, se publican íntegros en este número, y huelga, por tanto, todo comentario sobre los mismos. En el primero se ha contraído el nuevo académico a una zona de sus actividades, tal vez la más útil y por la que es más conocido; pero no la que muestra qué altura puede alcanzar su pensamiento.

El general, mostrando en alto grado en su respuesta que conserva todo su vigor mental y que profesa a Herrera el sincero afec-

to que ha puesto de manifiesto en toda la gestación seguida hasta verle promovido al sillón académico, evitó el empleo de desafortunados ditirambos, de que se suele abusar precisamente con los que no lo merecen, y eligió, entre su extensa, multiforme y original labor científica, como representativo de a dónde puede llegar lo atrevido de sus concepciones apoyadas en amplios y sólidos conocimientos, el trabajo "Relación de Hipergeometría con la mecánica celeste", que se publicó en estas páginas los años 1916 y 1917, que aunque por su carácter ha tenido difusión escasa, ha sido apreciado en el mundo científico como de extraordinario valor.

Al solemne acto asistieron en el estrado gran número de académicos, presididos por Torres Quevedo, entre los que recordamos a Torroja, Cabrera, Marín, Novo, Inglada, Vega, Hauser, Casares, Octavio de Toledo, conde de Gimeno, Bolívar, Sagasta, Azpeitia, García Mercet, F. Chicharro, Plans, González Quijano, del Campo, Palacios y Carrasco.

En el público había representación nutrida de las diversas zonas de actividad cultural en que han podido estimarse mejor las cualidades del nuevo académico: ingenieros aerotécnicos, aviadores, hombres de ciencia y letras y, por de contado, muchos ingenieros militares y compañeros de otras Armas del Ejército. A pique de olvidar nombres destacados, y con nota tomada muy a vuela pluma, consignaremos los de los generales Vives, Moreno y Gil de Borja, Alvarez Espejo, García Benítez (D. Juan y D. José), Arbex, Andrade, Sojo, Salas, Manella, Mayandía; director de Aeronáutica Civil, Sr. Buylla; aviadores Sartorius y Adaro; magistrado Ruiz de la Fuente; ex vicepresidente de la Federación Aeronáutica Internacional, Ruiz Ferry; y gran número de compañeros y amigos, que llenaban por completo el amplio Salón de la Academia.

Al felicitar nuevamente a Herrera, cuyos triunfos tiene que considerar esta Redacción, de la que es preclaro miembro, como propios, expresamos la esperanza de que su éxito tenga una repercusión para lo futuro: la de servir de estímulo al personal joven del Cuerpo, entre el cual hay elementos de gran valía, para que procuren con sus esfuerzos se conserve siempre una representación de esta Colectividad en la Academia de Ciencias, por la que desde su fundación han desfilado los nombres de los generales Zarco del Valle, Piélagos, Ibáñez y Marvá; coroneles García San Pedro, Sierra, Barraquer, Ugarte y Mier; D. Javier Los Arcos, que se retiró al ascender a jefe, alcanzando altos puestos administrativos y políticos; y ahora, el teniente coronel Herrera, habiendo tenido siempre varios sillones ocupados por ingenieros militares.



Discurso de D. Emilio Herrera y Linares

SEÑORES ACADEMICOS:

Se presenta para mí el momento, a la vez tan deseado y tan temido, de comparecer ante vosotros para recibir la más preciada, más elevada y más halagadora distinción que pueda soñar como plena satisfacción a sus más ambiciosas aspiraciones un hombre que, como yo, ha sentido siempre, y preponderando sobre todos los demás intereses de la vida, la obsesión de aprender dentro del terreno de lo ya conocido, y más aún, de investigar en la región misteriosa de lo ignoto, la maravillosa arquitectura que forman las propiedades de la Cantidad y de la Extensión absolutas; la suprema armonía de las reglas que rigen el Universo en la majestad de su conjunto inconcebido y quizá inconcebible por la inteligencia humana, reflejada en la grandeza infinita de lo infinitamente pequeño; las leyes, aspecto accesible a nuestra débil razón, de la Ley a que obedece esa manifestación material de la energía inmateral que se llama la Vida; todos los conocimientos, en fin, en cuya adquisición, vosotros, señores Académicos de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales, dotados de poderosos medios que os envidio y de que carezco, habéis tenido la dicha de progresar por el estudio y la investigación propia hasta conquistar el puesto que tan justamente ocupáis en la más alta representación de la Ciencia española.

Yo he seguido constantemente con atención—pudiera decir con devoción—vuestros trabajos científicos, admirando la labor que realizáis en esta Academia, como admiraría la de los privilegiados habitantes de un planeta superior, sin que nunca se me ocurriera, por absurda, la posibilidad de que alguna vez pudiera llegar a acompañarles.

Comprended mi impresión de sorpresa, de alegría, de confusión, al recibir la noticia del hecho nunca esperado de haber sido elegido por vosotros para compartir vuestros trabajos, y, al mismo tiempo, al considerar mi incapacidad para desempeñar dignamente la labor honrosa a que me habéis llamado, la preocupación, el temor invencible a que, primero en este acto, después en mi colaboración en la Academia, comprendáis que habéis sufrido error en la apreciación de mis méritos y que soy indigno de ostentar la Medalla de esta Corporación que me otorgáis.

Esta Medalla es la número 15, honrada por los nombres ilustres de tres cumbres de la ciencia: el Doctor González Valledor, el Ingeniero Echegaray y el General Aranzaz. ¿Qué altura habría de alcanzar mi labor académica para

no desmerecer con relación a sus anteriores poseedores? Ante esta pregunta me dejaría abatir por el desaliento de mi incapacidad, si no tuviera siempre por norma de mi vida el aceptar los hechos consumados sin lamentarlos, por difíciles que sean, aumentando mis energías para remediarlos, en razón a su misma dificultad. Estos, al menos, son los propósitos que ahora me animan, a los que quizá no responderán mis fuerzas, pero siempre me quedará la seguridad de que, si mis escasas dotes intelectuales y deficiente preparación científica me hacen indigno de la Medalla número 15, poseo, en cambio, la decisión firme de que mi trabajo y mi entusiasmo por la Ciencia no han de ser menores que los que la dedicaron los tres predecesores en la posesión de la gloriosa insignia con que vais a honrarme.

Me habéis designado para ocupar la vacante que ha producido en esta Academia la muerte del sabio general Aranaz, y yo, señores Académicos, podré reemplazarle en su puesto en el sillón que le correspondía, ostentar su Medalla, figurar en su lugar en la relación de los miembros de esta Corporación; lo que no podré nunca es sustituirle en su labor científica, llenar el vacío irreparable que su desaparición ha ocasionado en esta Academia, en la cultura española y en el mundo de la ciencia.

Hace treinta y siete años que cursaba yo, en la Academia de Ingenieros Militares, su célebre obra *Los mecanismos*, prodigio de claridad y de exactitud, que nunca ha podido borrarse de la memoria de quien la haya leído una sola vez. Figuran también entre sus primeras obras técnicas la *Guía del Oficial de Artillería* y *Los mecanismos hidráulicos*.

Su condición de oficial de Artillería le condujo a especializarse en la ciencia de los explosivos, en la que llegó a ser una autoridad mundial. Durante su actuación como director de la Fábrica de Pólvoras y Explosivos, de Granada, realizó importantísimos trabajos de investigación que han arrojado mucha luz en el misterioso proceso íntimo de la iniciación y propagación de la onda explosiva: algunos de los cuales han sido publicados en numerosos folletos sobre esta materia, de que era autor el general Aranaz, como el *Abaco de velocidades de la onda explosiva*, *Iniciación de las detonaciones*, *Los explosivos simétricos*, *Estudio de la postguerra*, *Los explosivos militares*, *Clases de pólvoras y su aplicación en la guerra*, *La industria militar de las pólvoras y explosivos modernos*.

Sus profundos conocimientos en esta ciencia y su claro ingenio le han permitido resolver problemas técnicos de aplicación artillera, ideando el tipo de granada rompedora, que lleva su nombre, de eficaz aplicación a nuestra defensa nacional.

Entre los numerosos cargos importantes que el general Aranaz fué llamado a desempeñar por sus relevantes condiciones, no sólo como hombre de ciencia, sino como espíritu organizador, figuran el de vocal del Consejo Supremo de Guerra y Marina, subsecretario del Ministerio de la Guerra, profesor de la Academia de Artillería, director de la Fábrica de Pólvoras y Explosivos de Granada, director de la Escuela de Tiro del Ejército, presidente de la Sociedad Española de Física y Química, y, finalmente, estaba encargado de la redacción del *Diccionario Tecnológico*, obra de gran trascendencia para la cultura hispanoamericana, en que la falta del general Aranaz, que dedicaba a ella su valiosísimo trabajo, ha de ser muy difícilmente reemplazable.

La fama de su saber se ha extendido por todo el mundo civilizado, no sólo

merced a su obra científica, sino por su participación en los Congresos Internacionales, especialmente en el de Química aplicada, celebrado en Roma en 1905, al que fué llamado desde Italia, y fué tal su interés en dominar la ciencia de su predilección que en varias ocasiones vistió la blusa del obrero para sorprender secretos de taller y practicar por sí mismo en los detalles técnicos de la ejecución.

Al reseñaros este brevísimo resumen de los méritos de mi antecesor en la Academia, que hago cumpliendo el homenaje debido a su imperecedera memoria y no porque sea necesario recordaros cualidades y merecimientos de quien hasta hace poco compartió vuestros trabajos y cuyo afecto nunca se borrará de nuestros corazones, me he de preguntar, poniendo en ello mi mayor sinceridad, cuáles han podido ser los motivos que os han inducido a elegirme como su sustituto, qué circunstancias habéis podido ver en mí para decidiros a incluirme en el más elevado rango de la ciencia española.

Desde luego, por mi labor científica no puede ser. Arrastrado por mi afición a todos los conocimientos, no he podido profundizar en ninguno; y esta falta de profundidad está, además, agravada por una especial circunstancia en la forma, mejor dicho, en la dirección, con que las ciencias ejercen su atracción sobre mí; y es que, así como en la generalidad de los casos el que siente afición o inclinación por una ciencia tiende a seguir el camino marcado por ella avanzando por el cauce que otros abrieron hasta llegar a su límite, y aun procurando prolongarlo haciéndole avanzar por el propio esfuerzo a través del terreno inexplorado; y en otros, por el contrario, la tendencia recibida se verifica en sentido inverso, o sea, remontándose hacia los orígenes de la ciencia predilecta para investigar los principios o los hechos fundamentales en que se basa y la génesis de su desarrollo, para mí la atracción se ejerce precisamente en un sentido transversal a la dirección en que la ciencia extiende su progreso.

Del mismo modo que un giróscopo sometido a un par, el viento atraído por una depresión atmosférica, o un campo magnético bajo el influjo de una corriente eléctrica, se desvían transversalmente a la dirección de la acción que los solicita, dando lugar a los efectos girostáticos, geostróficos y de inducción electromagnética respectivamente, parece como si mi preferencia ante la atracción que siento por la ciencia estuviera sometida igualmente a una acción giroscópica—que ha de ser, en resumen, el fundamento común de los tres fenómenos análogos que he citado—que la obliga a desviarse 90° de la dirección de la ciencia atractiva, quizá con arreglo a alguna incógnita ley de orden psíquico, análoga a las de Buys-Ballot y de Ampère.

Por esta razón, la Teoría de los Números, por ejemplo, ejercerá sobre las personas de preferencia científica directa una atracción que las induce a profundizar en el estudio e investigación analítica de las propiedades de los números y de la clasificación a que dan lugar, de las series que puedan formar, de los intersticios que dejan entre ellos, de la clase y potencia del continuo que pueden constituir, de las propiedades de los infinitamente grandes y de los infinitamente pequeños, de todo aquello, en fin, que conduzca al conocimiento cada vez más minucioso de la cadena formada por los números, estudiando eslabón por eslabón todos aquellos dotados de cualidades singulares y los conjuntos de los de propiedades análogas. En las personas de preferencia inversa, la misma Teoría de los Números les impulsará a estudiar sintéticamente sus

principios fundamentales, los axiomas de la cantidad y el postulado de Arquímedes, deduciendo de qué modo esta teoría tuvo nacimiento en el intelecto humano y cuáles fueron los orígenes de su desarrollo. En cambio, para las personas, como yo, de preferencia transversal, la atracción de la Teoría de los Números nos lleva a salirnos lateralmente de la cadena formada por ellos y a penetrar en el campo complejo para estudiar las propiedades de los números imaginarios.

Del mismo modo, la atracción de la Geometría induce a los directos a estudiar e investigar nuevos cuerpos geométricos dotados de propiedades especiales, a determinar las de las partes infinitamente alejadas en el plano y en el espacio; a fijar reglas que relacionen unas formas con otras, etc.; mientras que a los inversos los lleva a los orígenes de la Geometría, a las propiedades esenciales de la extensión, a los axiomas que a ella se refieren, a la discusión de los postulados de Euclides, etc.; y a los transversales nos saca de la extensión en que la Geometría clásica se considera comprendida, conduciéndonos a las geometrías no euclídeas, de cuatro o más dimensiones, de dimensiones fraccionarias, de dimensiones inconmensurables o de infinitas dimensiones.

La Mecánica, a su vez, atrae a los directos hacia la resolución de los problemas más difíciles que puedan presentarse en los diversos sistemas, estáticos o dinámicos, de fuerzas y de masas; en cambio, a los inversos los conduce a las disquisiciones filosóficas sobre los conceptos de espacio, tiempo, masa y movimiento, fundamentales en estas ciencias; y a los transversales nos hace salirnos fuera de la realidad tangible para inquirir las leyes que regirían los fenómenos mecánicos en espacio de más de tres dimensiones, o en tiempo de más de una, o en uno y otro de cualidades de extensión distintas de las euclídeas, o de extensión variable, etc.

Las ciencias físico-químicas también conducirían a sus aficionados directos, inversos y transversales, respectivamente, a la investigación de nuevas propiedades de los cuerpos, al estudio de la constitución fundamental de la materia—el *rock bottom* de la materia-energía que constituye los cuerpos—y su evolución en el ciclo materia-radiación divergente-radiación convergente-materia; y a la deducción de las leyes que regirían en un mundo físico en condiciones de temperatura, presión, dimensiones espaciales o temporales distintas de las que apreciamos en el que habitamos, o a las aplicaciones de algunas de éstas al mundo real, como el estudio hiperespacial de la estereoquímica del nitrógeno pentavalente.

La afición astronómica conduciría a los directos a la busca de nuevos astros, a la comprobación o investigación de sus movimientos o condiciones físico-químicas; a los inversos les llevaría a los estudios cosmogónicos, a la averiguación de cuándo, cómo y por qué se originó la primera impulsión que dió vida energética al Universo en el cero de entropía y a los de la arquitectura, evolución, movimiento, expansión, equilibrio y fin del conjunto del Universo, a la investigación de cuándo, cómo y por qué sobrevendrá su muerte energética, su "*Warmetod*" en el infinito de entropía; en cambio, a los transversales, mucho más que investigar lo que puede existir en los abismos insondables del espacio, nos atrae lo que pueda encontrarse a sólo un metro del espacio, pero saliéndonos de él en el sentido normal a su extensión.

Las ciencias naturales y biológicas también ejercerían su atracción sobre directos, inversos y transversales, induciéndolos, respectivamente, a profundi-

zar en el estudio analítico de los seres de la Naturaleza, a investigar en el origen de las especies y de la vida, y a deducir la forma en que la vida habría de desarrollarse en los universos distintos que pueden concebirse.

A primera vista, se nota que de las tres clases de aficionados a la Ciencia que hemos citado, los directos son los que realmente contribuyen a su desarrollo y progreso en mayor escala; los inversos, aumentan la solidez del fundamento de lo ya construído; mientras que los transversales, saliéndonos de la realidad, no podemos contribuir más que a poblar de seres y de teorías el dominio de la fantasía. Sin embargo, esto que constituye el caso general—he de reconocerlo, lamentándolo, por considerarme incluído entre los últimos—puede tener sus excepciones en el caso en que, desviándose en un sentido transversal de una ciencia u orden de conocimientos, se entre en otra rama de la ciencia de no menor interés, no sólo como especulación teórica, sino por sus aplicaciones prácticas.

Como ejemplos de estos casos de excepción pueden citarse el ya señalado del campo de los números complejos, en el que se entra al desviarse transversalmente de la teoría de los números reales, y que posee innumerables aplicaciones de orden práctico; la geometría del espacio, expansión transversal de la geometría plana, y, sobre todo, ese maravilloso edificio de la Mecánica relativista con que el genio de Einstein ha sustituído al de la Mecánica clásica, elevando su altura, profundizando sus fundamentos y ensanchándolo transversalmente con la aplicación a la realidad física, de teorías que, como la del continuo espacio-tiempo, las geometrías no euclídeas, el cálculo diferencial absoluto, etc., sólo podían ser antes consideradas como excrescencias transversales, carentes de toda aplicación real, de otras ciencias de la extensión y de la cantidad clásicamente consagradas.

Otra consecuencia del afán de conocer y de investigar que he tenido toda mi vida ha sido mi afición a viajar, y, naturalmente, por efecto del sentido transversal en que esa atracción había de ejercerse sobre mí, toda mi preferencia ha sido siempre por los viajes en dirección normal a la superficie terrestre, bien elevándome a las nubes, bien descendiendo a las entrañas de la tierra o bajo el agua de los mares, hasta el punto de que en los comienzos de mi profesión aeronáutica presentaba para mí muchos más atractivos un sencillo viaje vertical, de la extensión en que entonces era posible efectuarlos, que una expedición a los países más remotos, siguiendo las vías de comunicación habituales en la superficie de la tierra y de los mares.

Mi carrera de Ingeniero militar proporcionaba mayores facilidades a mi tendencia a separarme de la superficie terrestre en el sentido ascendente que en el descendente; al mismo tiempo, las grandes alturas del océano aéreo, por sus condiciones misteriosas en aquellos tiempos (hace más de treinta años) y por el punto de vista que presentan sobre la Tierra, ofrecían mayores atractivos a mis aficiones que la escasa extensión en que eran posibles entonces, y aun lo son hoy, los viajes descendentes en la tierra o en el mar; de aquí mi decisión por la profesión aeronáutica a que he dedicado mi vida, que al comenzar era poco más que una afición puramente especulativa, una nueva extrapolación—o más bien "hiperpolación"—transversal de los viajes terrestres, y que ahora ha entrado de lleno en el dominio de la práctica de la vida moderna.

Y he aquí otro nuevo caso en que la desviación transversal de una rama

de aplicación práctica de los conocimientos humanos conduce a otra de igual o mayor grado de utilización.

Desde entonces, obligado por el deber grato que me ha impuesto mi profesión, al mismo tiempo que me dejaba arrastrar por mi afición, he dedicado a la Aeronáutica todas mis actividades, practicándola y extendiéndola en todos sus aspectos y en toda la extensión que mis medios y mis facultades me lo han permitido, guiado desde mis primeros pasos aéreos por mi maestro el general Vives, creador de la Aeronáutica española en todos sus aspectos.

Y es posible que, falta de otra mejor, sea ésta la razón de que me hayáis conferido la honra de elegirme para este puesto que estoy muy lejos de merecer: la de considerar que una modalidad de la moderna actividad humana tan importante como es la Aeronáutica debía tener un miembro especializado en ella en esta Academia. En este caso, seguramente defraudaré también vuestras esperanzas, porque lo único que puedo ofrecer en materia aeronáutica es mi ya larga práctica proporcionada por los varios centenares de horas que he pasado en viajes aéreos de todas formas y condiciones, en cada una de las clases de vehículos aeronáuticos empleados hasta la fecha: globos libres, dirigibles y aviones; porque respecto a la ciencia aeronáutica mis escasos conocimientos no pueden, en modo alguno, justificar mi ingreso en esta Academia, donde su ilustre presidente es inventor del tipo de dirigibles que ha poseído durante mucho tiempo el *record* mundial de duración, y del sistema de postes de amarre universalmente empleado hoy día y que ha venido a resolver el problema del aterrizaje de esta clase de aeronaves; y en que otros insignes miembros dominan igualmente esta materia, como mi venerado maestro el general Marvá, autor de magistrales trabajos y conferencias de divulgación referentes a la ciencia aeronáutica y a sus aplicaciones civiles y militares; el Sr. Torroja, especializado en los procedimientos fotogramétricos desde el aire y en su aplicación a la exploración de las regiones polares en dirigible, cuya organización le ha sido encomendada; y el Sr. Terradas, que en la universalidad de sus conocimientos y de su actividad se dedica con entusiasmo a la teoría y a la práctica de la navegación aérea.

Además, la ciencia aeronáutica ha alcanzado un grado tal de desarrollo y de amplitud que para dominarla es necesario un conocimiento profundo de casi todas las demás ciencias, que yo no puedo soñar en llegar a poseer, pero cuya recopilación voy a tratar de exponer, abusando de vuestra atención al referiros materias que son de todos perfectamente conocidas, pero en cuya exposición daré el necesario, aunque quizá no suficiente, cumplimiento al precepto reglamentario que dispone que en este discurso se ha de desarrollar un tema científico de libre elección, tema que, dada la índole de esta Corporación y la especialización a que me he dedicado, será:

CIENCIA Y AERONAUTICA

*Per scientiam ad excelsa.**Per excelsa ad scientiam.*

En la primera impresión sintética que el mundo exterior produjo en la conciencia del hombre, al manifestarse a través de las brumas de su instinto animal los primeros destellos de su inteligencia, debió presentársele el espectáculo maravilloso del Universo como constituido por dos partes esencialmente distintas: una, firme, tangible, inmovible, de indudable realidad, formada por el suelo donde asentaba sus pies; la otra, ocupando el espacio que se extendía sobre su cabeza, inaccesible, etérea, plena de formas, luces y colores cambiantes e imprecisos.

Al volver la atención de su conciencia hacia el mundo interior de su espíritu, debió, asimismo, encontrar dos regiones opuestas: la de los conocimientos adquiridos que le aparecían también como una base firme e inmovible, de verdad y de certeza, y la región de lo inexplicado, de lo desconocido, de lo misterioso, hacia la cual le impulsaba su incipiente afán investigador.

Relacionando las impresiones emanadas del mundo exterior y del interior de su yo consciente, aquel hombre primeval debió considerar al suelo firme, situado al alcance de todos sus sentidos, como la representación de sus conocimientos indudables, mientras que la región inaccesible de las alturas correspondía a la de los enigmas y misterios que inquietaban su espíritu. De ahí la atracción que, desde los más remotos tiempos que ha registrado la Historia ha sentido el hombre hacia el espacio insondable que se extiende sobre su cabeza, intentando investigar sus misterios elevándose dentro de él, y, no siendo esto posible, explorándolo en alas de la fantasía que lo pobló de todo un mundo de seres superhumanos dotados de la facultad de volar libremente por él. Y tal era la obsesión que la Humanidad ha sentido por la exploración de las alturas, que no ha concebido nunca un sér superhumano sin dotarle de esta facultad que el hombre siempre ha anhelado poseer.

Medio millón de años ha transcurrido desde que el Universo fué, por primera vez, objeto de una apreciación consciente sobre la Tierra; el hombre ha modificado profundamente la síntesis de esta primitiva apreciación; el suelo ya no es la base conocida, firme y fundamental del mundo exterior, sólo constituye una ínfima parte de él, móvil e inconsistente, tan misteriosa como lo demás y sometida a todas las perturbaciones que la acción de los agentes exteriores e interiores ejercen sobre ella. En el mundo interior, el hombre encuentra ahora considerablemente reducido el fondo firme de sus conocimientos que antes consideraba como ciertos. A medida que su campo de exploración en el Universo va ensanchándose, se van derrumbando teorías y ciencias que aparecían inmovibles; parece como si en la meta de la humana sabiduría, a la que el hombre se esfuerza por llegar esperando encontrar en ella la verdad suprema que le ponga en la posesión cierta de la absoluta omnisciencia,

ha de hallar, por el contrario, la certeza de su absoluta ignorancia, y, tendiendo a acercarse al punto en que pueda decir: "todo lo sé", en realidad se va acercando asintóticamente a aquel en que tendrá que confesar: "sólo sé que no sé nada". La *docta ignorantia* socrática aparece como final de todos los esfuerzos del hombre hacia la sabiduría.

La Humanidad, realizando el mito de Icaro, trata de acercarse al sol de la verdad absoluta, de la suprema ciencia, ante cuyos rayos abrasadores las débiles alas de su inteligencia se muestran imposibilitadas para sostenerse, precipitándola en la negra realidad del convencimiento de su incapacidad. Siempre el mismo símil que coloca abajo la base firme de lo conocido y en las alturas la atracción fascinante de la verdad incógnita, perpetuándose a pesar de la diferente concepción que el hombre actual tiene formada acerca del macrocosmos dentro del cual habita y del microcosmos que habita dentro de él.

Sería difícil encontrar un orden de conocimientos humanos, una sola ciencia que el hombre no haya puesto a contribución para realizar su eterna tendencia a escalar las regiones del cielo, en su afán de investigar los misterios que encierran, y de adquirir, por el esfuerzo de su inteligencia, la facultad de desprenderse del suelo, que siempre ha envidiado, aun considerándose el rey de la Creación, a los animales, sus inferiores, que gozaban de ella.

Para poder sostenerse en el espacio sin caer por la acción de la gravedad y sin contacto con la superficie terrestre, ha necesitado el hombre buscar un punto de apoyo que no sea la reacción del suelo, y para ello ha debido estudiar las condiciones del medio de que se encontraría rodeada la aeronave, vehículo aéreo o sistema sustentador, al abandonar el contacto con la tierra o con el agua.

Este medio, en que habría de sostenerse y moverse la aeronave, está formado principalmente por un gas; el aire, dotado de peso, masa, energía cinética, térmica e interatómica y potencial eléctrico. El aire ocupa un espacio, a su vez asiento del campo magnético terrestre y atravesado por radiaciones procedentes de la misma Tierra, del Sol, de los demás astros visibles y de las profundidades del cosmos. Cada una de estas circunstancias del espacio que envuelve a la superficie terrestre puede servir, al menos teóricamente, como asiento en que apoyarse, a falta de la reacción del suelo firme, y aun suponiéndose el espacio vacío de toda materia o manifestación de energía, todavía puede buscarse el punto de apoyo en la masa de los cuerpos que puedan lanzarse desde la propia aeronave.

Podemos, pues, clasificar los procedimientos posibles para obtener un punto de apoyo fuera de la superficie terrestre, en: primero, los que lo obtienen del aire; segundo, los que utilizan el campo magnético terrestre; tercero, los que se apoyan en la radiación; y cuarto, los fundados en la proyección de masas.

El primer procedimiento, o sea, el de buscar el punto de apoyo en el aire, puede, a su vez, dividirse en otros tres: a), el que utiliza el peso del aire; b), el que emplea su masa inerte como punto de apoyo; y c), el que se funda en la carga eléctrica del aire.

En todos los procedimientos citados se trata de contrarrestar la acción de la gravedad sobre el hombre y los sistemas sustentadores de que se valga, o sea, su peso, que es una fuerza de dimensiones $L M T^{-2}$, por medio de otra fuerza obtenida del medio ambiente, pues aun en el cuarto procedimiento, las

masas, una vez proyectadas desde la aeronave, ya pertenecen al medio ambiente, al cual la aeronave dota de una suficiente densidad másica sustentadora.

Esta fuerza, equilibradora del peso, estará formada siempre por el producto de dos factores: uno, que dependerá de las cualidades del ambiente; y el otro, proporcionado por las de la aeronave. En los distintos procedimientos sustentadores, uno y otro factor varían de dimensiones, pero siempre el producto de ellos forma las generales de toda fuerza $L M T^{-2}$.

Ya, con esta simple exposición, aparece la íntima colaboración que ofrecen la mayor parte de las ciencias físicas al problema de la navegación sin contacto con la tierra ni con el agua, la que intentamos poner aún más de relieve en el ligero análisis que haremos, a continuación, de cada uno de estos procedimientos.

Comenzaremos por el 1-a de la anterior clasificación, o sea, el que busca el punto de apoyo en el peso del aire desalojado por la aeronave o su sistema sustentador. Este es el procedimiento *aerostático*, fundamento de los globos de todas clases, y el primero que ha permitido al hombre elevarse sobre el suelo mediante un apoyo obtenido fuera de él.

La ciencia cuyos principios tienen principal aplicación en este sistema de sustentación aérea es la Estática de los flúidos, conocida desde Arquímedes, aunque su primera aplicación práctica a la navegación aérea fué realizada, en Lisboa, por Bartholomeu Lorengo de Gusmao, el fraile *voador*, quien, según relata textualmente Leitao Ferreira, "*fez a experiencia em 8 d'agosto d'este anno de 1709 no pateo de Casa da India diante da sua magestade e muita fidalguia e gente com un globo que subiu suavemente á altura da salla das embaxadas, do mesmo modo desceu, elevado de certo material que ardia e a que applico o fogo ó mesmo inventor.*"

Esta primera experiencia aerostática, hecha setenta y cuatro años antes que las realizadas por los célebres hermanos Montgolfier, confirmó plenamente que el principio de Arquímedes era aplicable a toda clase de flúidos, tanto líquidos como gases, lo que ya se había asegurado por el monje alquimista inglés Roger Bacon, en su obra *Opus Majus*, escrita a mediados del siglo XIII.

El procedimiento aerostático produce como fuerza equilibradora del peso de la aeronave la resultante de las presiones del aire sobre el conjunto de ella. Esta resultante, que es vertical, no puede resolver el problema de la navegación aérea por sí sola, sino únicamente el de la sustentación. Su intensidad es, según es sabido, igual al peso del aire desalojado, o sea, al producto del volumen total de la aeronave por la densidad del aire. Vemos, pues, que los dos factores que constituyen la fuerza equilibradora son: uno, propio de la aeronave, que es su volumen de dimensiones L^3 ; y otro, propio del medio ambiente, que es la densidad del aire, de dimensiones $\frac{M g}{L^3} = \frac{M L T^{-2}}{L^3} = M L^{-2} T^{-2}$; teniendo el producto de ambos las dimensiones $M L T^{-2}$ de una fuerza.

De estos dos factores, el propio del medio ambiente tiene un valor límite, el correspondiente a la densidad del aire al nivel del mar que, a cero grados centígrados, es de 1.293 gramos por metro cúbico; en cambio, el volumen, que es el factor propio de la aeronave, puede ser fijado a voluntad del constructor, aunque, creciendo el peso de la envolvente con la cuarta potencia de sus dimensiones lineales, mientras la fuerza ascensional del globo sólo crece con la tercera, existe siempre un volumen máximo para el cual el peso de la envol-

vente llega a ser igual al de la fuerza ascensional total, haciéndose imposible el equilibrio aerostático para los globos de volumen mayor.

El procedimiento aerostático requiere, además de la Estática de los flúidos, el empleo de la Meteorología para el conocimiento de las leyes de distribución de la densidad del aire en las distintas capas atmosféricas, de la Termodinámica por la calefacción del gas en los movimientos verticales por efecto de las compresiones y expansiones adiabáticas, de la Química para los procedimientos de fabricación del gas ligero, hidrógeno o helio, empleado para la sustentación, de la Resistencia de materiales para el cálculo y construcción de la envolvente y de sus elementos, de la Electroestática para tener en cuenta los fenómenos eléctricos desarrollados en el globo en sus movimientos verticales; todas éstas y otras muchas ciencias son necesarias, aunque sólo se trate del problema de obtener puramente la sustentación aerostática, o sea, para el equilibrio vertical del globo sin propulsión, pues tratándose de un aeróstato dirigitible, solamente el problema de determinar la forma más conveniente de la envolvente y los esfuerzos que ha de soportar obliga al empleo de la Aerodinámica, del Cálculo de variaciones y del Cálculo de estructuras sometidas a esfuerzos dinámicos, además de todos los demás conocimientos relativos a los sistemas motopropulsores empleados.

El procedimiento 1-b obtiene como apoyo para la aeronave la inercia de una masa de aire que continuamente va rechazando hacia abajo. Es el primero que el hombre ha visto realizado en la Naturaleza por las aves y todos los animales dotados de la facultad de volar, y el que más ha anhelado poseer. Su ciencia fundamental ha sido la Aerodinámica, cuyas bases estableció Newton, aunque erróneamente, en su famosa "ley del seno cuadrado", error que probablemente ha costado a la Humanidad un considerable retraso en la resolución del problema de la Aviación, porque, según esa ley, tenida como cierta hasta principios de este siglo, ninguno de los aviones hoy día existentes podría sostenerse en el aire. Naturalmente por esto, el solo hecho de que una persona se dedicara al estudio del problema de la navegación aérea por medio del "más pesado que el aire" fué considerado, durante algunos siglos, como señal de incapacidad mental o de ignorancia, puesto que demostraba el desconocimiento de la ley newtoniana del "seno cuadrado", principio fundamental de la incipiente ciencia aerodinámica. Los datos obtenidos experimentalmente en los primeros ensayos de vuelos planeados y en los laboratorios aerodinámicos demostraron la falsedad de esta ley aplicada a un gas en las condiciones del aire ambiente, aunque está correctamente planteada para los gases en que puedan despreciarse las interacciones moleculares, como ocurre en el estado radiante, y el problema de la Aviación quedó abierto a la investigación de los hombres de ciencia una vez desaparecida la barrera que dificultaba su paso.

En el procedimiento aerodinámico, lo mismo en las aeronaves en que los órganos impulsores del aire hacia abajo están fijados a ella (aeroplanos), como en las que los tienen giratorios y libres (autogiros), o giratorios mandados (helicópteros), o de movimiento alternativo de alas batientes (ornitópteros), siempre la reacción de la masa inerte del aire rechazado origina la fuerza vertical equilibradora del peso del avión como consecuencia del teorema de Bernouilli al poseer mayor velocidad, y, por tanto, menor presión, el aire que actúa sobre la superficie superior del órgano sustentador (ala) que el situado por debajo de él.

La combinación de esta diferencia de velocidades, necesaria para que exista la fuerza sustentadora, con la velocidad de traslación horizontal del ala, da como resultado la formación de un torbellino de eje situado en el ala transversalmente a su movimiento. La sustentación aerodinámica lleva, pues, consigo la aparición de este torbellino combinado con el movimiento horizontal de traslación.

Para que el ala mantenga su movimiento de traslación simultáneamente con su torbellino transversal necesita la acción de una cierta fuerza propulsora igual y contraria a la resistencia al avance que el aire opone a su movimiento, y dicha fuerza, haciendo progresar al ala en el sentido de su dirección, representa una potencia motriz de la que la aeronave deberá disponer para sostenerse en el aire. Vemos, pues, que así como la sustentación aerostática era proporcionada *gratis* por la aeronave con sólo que su volumen fuera suficientemente grande y su peso suficientemente pequeño, la sustentación aerodinámica únicamente puede obtenerse a costa de una cierta potencia de la que el avión puede disponer.

La resistencia al avance que el órgano sustentador aerodinámico debe vencer para su traslación se compone de tres partes: la originada por la viscosidad del aire en su frotamiento con el cuerpo, la debida a la formación de remolinos al abrirse paso el ala a través de la masa de aire y la exigida por el mantenimiento del torbellino transversal que produce la sustentación, que es la "resistencia inducida" análoga a la fuerza que sufre un conductor por el que pasa una corriente eléctrica cuando está situado en un campo magnético.

Suponiendo, en un caso ideal, que el aire carece de viscosidad y que el régimen del fenómeno aerodinámico sea perfectamente laminar, sin turbulencia alguna, las dos primeras partes de la resistencia al avance, puramente perjudiciales, desaparecerán, pero no así la tercera, que es indispensable para que exista el efecto útil de la sustentación.

Si se logra la ley elíptica en la distribución de los hilos de torbellino en el sentido de la envergadura del ala, se obtiene la máxima fuerza sustentadora con una potencia dada, que, si llamamos Z a dicha fuerza, P a la potencia, y a la envergadura del ala, D a la densidad del aire ambiente, g a la aceleración de la gravedad y v a la velocidad de traslación, queda determinada por la fórmula:

$$Z = y \sqrt{v P} \sqrt{\frac{\pi D}{2g}}$$

en la que hemos separado los dos factores, el primero de dimensiones:

$$L (L T^{-1} M L^2 T^{-3})^{\frac{1}{2}} = L^{\frac{5}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-2}$$

correspondiente a la aeronave, puesto que en él intervienen la envergadura, la velocidad de traslación y la potencia del motor; y el segundo, de dimensiones:

$$(M L^{-3})^{\frac{1}{2}} = M^{\frac{1}{2}} L^{\frac{3}{2}}$$

correspondiente al medio ambiente, en que figuran la densidad del aire y la aceleración de la gravedad.

Podríamos suponer que la velocidad v , que tienen el ala y el medio ambiente entre sí, pertenece a uno y a otro factor, haciendo la siguiente distribución:

$$Z = y \sqrt{\frac{P}{v}} \sqrt{\frac{\pi D}{2g}}$$

y entonces el factor correspondiente a la aeronave tendrá como dimensiones:

$L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$, y el correspondiente al medio ambiente: $L^{-\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$, que son análogas a las de la sustentación electromagnética, según veremos después. En todos los casos, como es natural, el producto de ambos factores da las dimensiones de una fuerza $LM T^{-2}$.

En la práctica, hay que tener en cuenta las tres partes de la resistencia al avance, admitiéndose la ley cuadrática, según la cual tanto ésta como la sustentación crecen proporcionalmente al cuadrado de la velocidad. En esta hipótesis, que se ajusta suficientemente a la realidad, la fuerza sustentadora Z resulta, en función de la potencia P , de la superficie sustentadora s , del coeficiente de cualidad sustentadora del ala b y de la densidad másica del aire D/g , determinada por la siguiente fórmula:

$$Z = \sqrt[3]{b^2 s P^2} \sqrt[3]{\frac{D}{g}}$$

El primer radical representa el factor correspondiente a la aeronave, en que entran el coeficiente de cualidad sustentadora, que es un número dependiente de la forma del ala, la superficie y la potencia; y el segundo es el correspondiente al medio ambiente, en que sólo entra la densidad másica del aire.

Las dimensiones del primero son: $L^2 M^{\frac{2}{3}} T^{-2}$ y las del segundo: $L^{-1} M^{\frac{1}{3}}$.

El constructor puede variar independientemente, al menos en teoría, las cantidades que intervienen en el factor propio de la aeronave—aunque las razones constructivas también imponen una limitación—, excepto para el valor del coeficiente de cualidad sustentadora b , que no depende del tamaño sino de la perfección del perfil adoptado desde el punto de vista sustentador, siendo el mejor valor encontrado hasta ahora el de 15, que no es probable pueda ser sobrepasado en mucho.

El procedimiento aerodinámico presenta otra diferencia esencial con el aerostático, consistente en que así como en éste el peso de la aeronave sustituye en la atmósfera al del aire que desaloja sin que esta sustentación origine ninguna modificación en el régimen de equilibrio de las capas atmosféricas y en su presión sobre el suelo, en cambio, la sustentación aerodinámica transmite el peso de la aeronave a la masa de aire, y ésta, a su vez, al suelo, de modo que el avión, en realidad, se apoya en el suelo por intermedio del aire. Si nuestros sentidos para apreciar la presión del aire fueran suficientemente sensibles, podríamos notar el paso de un avión sobre nuestras cabezas, aunque volara a muchos miles de metros de altura, por la repartición de su peso sobre una extensión del terreno situado debajo, más o menos grande, según la altura; en

cambio, al paso de un dirigible no produciría ningún efecto de esta naturaleza.

La potencia necesaria para el sostenimiento en el aire del avión habrá que obtenerla de un depósito o acumulador de energía que se lleve a bordo, o bien del medio ambiente.

Cualquiera de los acumuladores de energía conocidos, elásticos, aire comprimido, caloríficos, cinéticos, eléctricos o químicos (explosivos), podría servir, en principio, para obtener a bordo la necesaria para la propulsión del órgano sustentador, creando la fuerza propulsora por procedimientos análogos a los empleados para crear la sustentación y, principalmente, por la reacción de la masa de aire rechazado en sentido contrario; pero estos acumuladores, aunque presentan la ventaja de ser independientes de las condiciones del medio ambiente, tienen el inconveniente de ser demasiado pesados con relación a la energía almacenada, pues aun los explosivos, que son los de mayor capacidad con relación a su peso, serían insuficientes para resolver el problema de la Aeronáutica. Únicamente la energía interatómica podría dar la solución si se conociera el procedimiento práctico para extraerla y utilizarla.

La obtención de la energía del medio ambiente también presenta dificultades prácticas insuperables en la mayor parte de los casos: en unos, como con la energía térmica del aire, por ser la fuente disponible excesivamente débil; en otros, como con la carga eléctrica, aunque muy abundante por la gran diferencia de potencial que existe habitualmente aun entre capas de aire próximas, o gradiente eléctrico, no es fácil de extraer con gasto suficiente a causa de la escasa conductibilidad eléctrica del aire; la energía cinética de las agitaciones internas de la masa de aire puede dar la solución en casos especiales y permite el "vuelo a vela" en aviones sin motor, pero tampoco puede ser considerada como la solución del problema general.

Queda como único procedimiento la utilización de una fuente de energía mixta, conducida en parte a bordo de la aeronave y en parte extraída de la atmósfera. Esto se consigue por medio de la combustión de un combustible llevado en la aeronave (gasolina, benzol, aceites pesados) en un carburante (oxígeno) proporcionado por el medio ambiente. De esta manera se obtiene, a igualdad de peso del depósito de energía conducido por la aeronave, una cantidad más de siete veces superior a la que se lograría con el empleo de un explosivo, que a su vez es el más enérgico, con relación a su peso, de los acumuladores utilizables de energía que hemos citado.

Para estudiar detenidamente cada una de las soluciones citadas para conseguir la sustentación aerodinámica y la potencia necesaria para ella, desechando las no utilizables y deduciendo el empleo más eficaz de las que presente probabilidades de utilización, rara es la ciencia exacta, o físico-química, que no deba ser puesta a contribución.

Además de todas las aplicaciones elementales del Análisis matemático y del Cálculo infinitesimal de uso corriente, haremos especial mención del empleo de los gráficos logarítmicos para la determinación de las características de vuelo (*performances*) de los aviones, de las Funciones logarítmicas y exponenciales para el cálculo de la sustentación a diferentes alturas por la variación de densidad y presión del aire; de las Funciones hiperbólicas para la determinación de velocidades de caída teniendo en cuenta la resistencia del aire; de las Funciones elípticas para los movimientos pendulares en el equilibrio dinámico de las aeronaves y para otros muchos problemas constructivos; de

las Funciones de variable compleja y Representación conforme para la determinación analítica de la sustentación aerodinámica de un perfil de ala; del Análisis armónico para los problemas de las vibraciones y resonancia mecánica, fundamentales en la ingeniería aeronáutica. La Geometría analítica presenta multitud de curvas, unas especiales que han aparecido para los diferentes problemas de técnica aérea, y otras, ya conocidas, pero que obtienen una insospechada aplicación a la Aeronáutica; por ejemplo, la "cicloide" aparece como la forma que ha de tener el tubo manométrico para medir la velocidad del viento en el túnel aerodinámico con sensibilidad constante para cualquier velocidad; esta misma curva, "acortada" o "alargada", para el viraje en viento; las curvas del "nadador" y del "perseguiamiento", o del "perro", de aplicación en el problema del vuelo con proa a punto fijo; el "caracol de Pascal", que aparece en el estudio del autogiro; la "espiral logarítmica" para el problema de la puntería aérea de lanzamiento de proyectiles; la "serpentina" o "anguínea" de Newton; y la "versiera" o "cúbica" de Agnesi, que miden, respectivamente, el número de pasajeros y de pasajeros-kilómetro del tráfico aéreo entre las poblaciones, según su distancia; la "envolvente del círculo" y la "cardioide" para el planeo en espiral; las "catenarias" ordinaria y de igual resistencia, de aplicación al cálculo de grandes cobertizos para dirigibles; la "astroide" para la maniobra en tierra de esta clase de aeronaves; las superficies tóricas para la resolución del problema de la pirámide en la fotografía aérea; etc.

El Cálculo de variaciones es indispensable para resolver muchos problemas de navegación aérea en que hay que determinar la trayectoria más conveniente dada la distribución de vientos; el Cálculo de probabilidades presenta numerosas aplicaciones para el estudio de los aviones multimotores y para la Aeronáutica comercial en la determinación de seguros de accidentes.

Todas las aplicaciones del Cálculo vectorial a la Mecánica racional y a la Mecánica de los flúidos son necesarios para el estudio de la Aerodinámica moderna, con sus teorías, fundamentales, de los torbellinos y de los manantiales y sumideros. Al mismo tiempo, la Aerodinámica también aprovecha la cooperación del Electromagnetismo por la similitud que existe entre la mayor parte de los problemas de una y otra ciencia.

El Cálculo de estructuras y la Resistencia de materiales tienen una aplicación especial a la Aviación por el carácter predominante que en ella se ha de dar a los fenómenos vibratorios, inherentes a la periodicidad de las fuerzas procedentes de las reacciones aerodinámicas y de las explosiones del motor, que obran constantemente sobre la aeronave, y por las condiciones extremas en que se verifica el trabajo de los materiales, sometidos al máximo esfuerzo compatible con su límite de elasticidad y dotados de cualidades especiales merced a su composición y tratamiento obtenido mediante el empleo de todos los recursos de la técnica metalúrgica y constructiva moderna.

Igualmente es necesaria la cooperación de la Termodinámica, de la Electricidad, de la Metalurgia y de la Química para el cálculo y la construcción de los motores, de la Meteorología, de la Geografía, de la Cosmografía, de la Física matemática en su parte de óptica, magnetismo, electricidad y radiocomunicación para la navegación aérea en las distintas capas atmosféricas, hasta la navegación en la estratosfera o "estratonáutica", y prescindimos, para no hacer interminable esta relación, de la serie de conocimientos científicos de todos los

órdenes necesarios para las demás modalidades de la Aeronáutica comercial, topográfica, forestal, etc. Basta decir que presenta con frecuencia problemas, sencillos en apariencia, que no han podido ser, no sólo resueltos, sino ni siquiera plantados en ecuaciones diferenciales, como por ejemplo, el siguiente caso, muy frecuente en la Aerostación libre—la modalidad más elemental de la Aeronáutica—, que es interesante de resolver porque suele originar accidentes sobre terrenos cruzados por líneas eléctricas: Un globo libre marcha horizontalmente llevando pendiente su cuerda freno, que no toca en el suelo, pero cuyo extremo está próximo a él. Durante este movimiento, la cuerda choca con un hilo horizontal, una línea de conducción eléctrica, por ejemplo, y, según la velocidad y la longitud de la cuerda desde el punto que toca hasta el extremo, unas veces oscila y pasa sobre el obstáculo y otras veces se enrolla al hilo deteniendo bruscamente la marcha del globo, que llega a veces a abatirse contra el suelo.

El problema de determinar cuáles son la velocidad y la longitud de cuerda para las que se produce el arrollamiento, aun admitiendo la simplificación de despreciar la resistencia del aire, la rigidez de la cuerda y el resbalamiento de ésta sobre el obstáculo, ha resistido hasta ahora todos los intentos que los matemáticos han hecho para resolverlo.

Los dos procedimientos de obtención de una fuerza sustentadora, que llevamos referidos, son los que constituyen actualmente las dos ramas de la Aeronáutica, la Aerostación y la Aviación, que han permitido al hombre la realización de su eterna aspiración de surcar los aires. Los demás procedimientos que se han citado no han salido aún del campo de la teoría, pero, de todos modos, han debido ser objeto de estudio, contribuyendo a ellos las demás ciencias, para saber las dificultades que presentan y qué probabilidades hay de que alguna vez puedan ser vencidas, pues aunque hasta ahora pertenecen exclusivamente al dominio de la fantasía de los inventores, no puede negarse que tienen un fundamento cualitativo y que es aventurado asegurar que la imposibilidad cuantitativa que actualmente se opone a su aplicación práctica ha de resistir eternamente al avance continuo del progreso en todos los órdenes de la técnica.

El procedimiento 1-c está fundado en la acción recíproca entre las cargas electrostáticas del aire y de la aeronave. Sabemos que el aire posee un potencial eléctrico, variable con el estado meteorológico, generalmente positivo, lo que representa una cierta carga eléctrica o cantidad de electricidad por metro cúbico de este gas; si la aeronave posee una superficie sustentadora horizontal, cuya cara inferior esté electrizada con el mismo signo que el aire ambiente y la cara superior con signo contrario, estando ambas separadas por una sustancia aisladora, se producirá una repulsión electrostática entre la capa inferior y la masa de aire situada por debajo, que será igual a la que ejercería sobre aquélla una carga eléctrica equivalente a la de un volumen c de base igual a la superficie sustentadora y de altura z de aire situada a una distancia l , y sobre la carga superior una repulsión que se calcularía análogamente. Al mismo tiempo, la cara superior ejercerá una atracción sobre la masa de aire situada por encima y una atracción sobre la situada por debajo, iguales y de signos contrarios a las anteriores.

Si llamamos V_s al potencial eléctrico de la superficie sustentadora, C_s a su capacidad de carga por metro cuadrado de superficie, e la separación entre ambas caras, que, para mayor simplificación, supondremos está ocupada por

aire cuya constante dieléctrica es igual a la unidad, s la extensión de la superficie, C_a la capacidad eléctrica del aire por unidad de volumen y V_a el potencial electrostático del aire, las dimensiones de cada una de estas cantidades serán:

$$V_s \text{ y } V_a = L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1} \quad C_s = \frac{1}{4\pi e} = L^{-1} \quad \text{y} \quad C_a = L^{-2}$$

La fuerza sustentadora obtenida como resultante de las acciones electrostáticas desarrolladas entre las masas de aire situadas por debajo y por encima de la superficie y las dos caras de ellas, es igual a:

$$Z = \frac{V_s s^2}{2\pi e} \frac{V_a C_a z}{l^2} \frac{2\frac{l}{e} + 1}{\left(\frac{l}{e} + 1\right)^2}$$

Este producto está compuesto de tres factores: el primero, correspondiente a la aeronave, de dimensiones $L^{\frac{7}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$; el segundo, correspondiente al medio ambiente, de dimensiones $L^{-\frac{5}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$; y el tercero, numérico, que varía entre cero y uno, según la relación entre el espesor del dieléctrico y la distancia a que actúa la carga eléctrica ficticia que se supone reemplazando el aire.

Las atracciones y repulsiones ejercidas por las caras de la superficie sustentadora sobre las moléculas del aire electrizado producirán en él una corriente descendente (viento eléctrico) cuya cantidad de movimiento por unidad de tiempo será equivalente a la fuerza sustentadora. Este cambio de moléculas en contacto con la superficie electrizada, unido a la ionización del aire por su estado eléctrico y por la acción de los rayos cósmicos, produciría una descarga continua del condensador constituido por la superficie sustentadora que habrá que reponer mediante una corriente entre ambas caras de intensidad igual a la pérdida de carga por unidad de tiempo y de potencia proporcional al cuadrado del voltaje. Esta consideración conduce a la sustitución de la expresión anterior de la fuerza sustentadora por la siguiente:

$$Z = \frac{\sqrt{s^3 P}}{2\pi e} \frac{V_a C_a z \sqrt{R}}{l^2} \frac{2\frac{l}{e} + 1}{\left(\frac{l}{e} + 1\right)^2}$$

en la que P es la potencia necesaria para la sustentación y R la resistencia del medio ambiente a la descarga por unidad de superficie y medida en unidades electrostáticas de dimensiones $L T$. De este modo, el factor correspondiente a la aeronave tiene las dimensiones $L^3 M^{\frac{1}{2}} T^{-\frac{3}{2}}$, y el del medio ambiente $L^{-2} M^{\frac{1}{2}} T^{-\frac{1}{2}}$.

Aparte del inconveniente de que el factor correspondiente al medio ambiente es muy variable y hasta cambia de signo en ocasiones, este procedimiento, de todos modos, no puede, en el estado actual de la técnica, ser puesto en práctica por el pequeñísimo valor absoluto que tiene este factor, lo que obligaría al empleo de superficies sustentadoras exageradamente extensas o de enormes potencias para obtener siempre una fuerza sustentadora que sería inferior al peso de la superficie o al del grupo electrógeno necesario.

Analizados los fundamentos de los procedimientos basados en la utilización del aire como medio sustentador, veremos ahora aquellos que tratan de resolver el mismo problema valiéndose de otros agentes sustentadores.

El procedimiento 2 de los que hemos citado se basa en la acción que produce un campo magnético sobre una corriente. Si la aeronave está dotada de un conductor recto horizontal, normal a la dirección del campo magnético terrestre, y por el cual pasa una corriente originada por una diferencia de potencial existente entre sus extremos, este conductor sufrirá una fuerza normal a él y al campo magnético terrestre, cuyo valor será:

$$Z = H I y = H \sqrt{\frac{s y}{R}} P$$

siendo H la intensidad del campo magnético, I la de la corriente, y la longitud del conductor, s su sección, R la resistividad del mismo y P la potencia desarrollada por la corriente eléctrica. Esta potencia no podría ser obtenida por un grupo electrógeno situado a bordo de la aeronave, porque esto exigiría un conductor de vuelta que originaría otra fuerza igual y contraria, y el resultado sería la formación de un par que tendería a colocar el plano del circuito normalmente al campo magnético, pero sin ninguna resultante sustentadora, de modo que hay que seguir el procedimiento de que la potencia P cree la diferencia de potencial entre los extremos del conductor sin cerrar el circuito, lo que se consigue por el movimiento del mismo conductor, normalmente al campo magnético, o a su componente horizontal, puesto que se trata de obtener una fuerza vertical, con lo cual la potencia será igual a vZ , siendo v la velocidad vertical del conductor.

La fuerza sustentadora obtenida será, pues, de valor:

$$Z = H \sqrt{\frac{s y}{R}} P \text{ o bien: } Z = H^2 \frac{s y}{R} v.$$

según que venga expresada en función de la potencia o en función de la velocidad; el primero, que es el que principalmente nos dará idea de la posibilidad de este procedimiento, está compuesto de los factores: H , correspon-

diente al medio ambiente, de dimensiones $L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$, y el radical, de dimensiones $L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{\frac{1}{2}}$, correspondiente a la aeronave.

El producto $s y$ representa el volumen del conductor, que puede ser sustituido por su peso, G , dividido por la densidad del material D , por lo que las expresiones anteriores pueden transformarse en:

$$Z = H \sqrt{\frac{G P}{D R}} \quad , \quad Z = H^2 \frac{G v}{D R}$$

El aluminio es la sustancia en que el producto DR es el mínimo, que en unidades $C. G. S.$ tiene un valor de $76 \cdot 10^5$, y dando a la componente horizontal del campo magnético terrestre H el valor 0,3, algo superior al que tiene en España, y expresando P en caballos, Z y G en kilos, y v en metros por segundo, resultan las expresiones:

$$Z = 0,01 \sqrt{GP} \quad , \quad Z = 1,17 \cdot 10^{-6} G v$$

es decir, que para que el conductor, al cortar las líneas de fuerza del campo magnético terrestre, cree una fuerza sustentadora capaz de sostener su propio peso, necesita una velocidad de 855 kilómetros por segundo, y para obtener un kilo de sustentación por caballo, el peso del conductor habría de ser 10.000 veces mayor que la sustentación obtenida. Es evidente que mucho habrá de avanzar la técnica para que la sustentación electromagnética pueda ser practicable.

El procedimiento 3 utilizaría como punto de apoyo la energía radiante que envuelve a la Tierra. De todas las radiaciones que atraviesan el espacio atmosférico, la más intensa es la que nos envía el Sol en forma de luz y calor, que equivale, en el límite de la atmósfera terrestre, a $4,67 \cdot 10^{-5}$ ergios por centímetro cúbico. Esta energía radiante ejercerá, sobre una superficie reflejante que se oponga normalmente a su paso, una presión, según la ley de Maxwell y Bartoli, igual al producto de la densidad de energía por uno más el coeficiente de poder reflector de la superficie, lo que nos da: $Z = Ws(1 + \rho)$, ρ siendo W la energía por unidad de volumen, s la superficie sustentadora y ρ su poder reflector.

Suponiendo que la superficie sea un espejo perfecto y que la radiación llegue normalmente a ella, se obtendría, aproximadamente, una dina por metro cuadrado, o sea, un kilo por kilómetro cuadrado. No podemos tampoco, por ahora, esperar grandes aplicaciones prácticas de la sustentación aeronáutica por medio de la energía radiante.

En este caso, el factor correspondiente al medio ambiente es su densidad de energía W , de dimensiones $L^{-1} M T^{-2}$, y el correspondiente a la aeronave es el producto de su superficie s por $(1 + \rho)$, cuyas dimensiones son L^2 .

Y nos queda por analizar el último procedimiento, el número 4, en el que se prescinde en absoluto del medio ambiente, creándose la aeronave con sus propios medios.

En éste, la fuerza sustentadora está originada por la proyección, fuera de la aeronave, de una masa continua con una cierta velocidad, y su valor es igual a la cantidad de movimiento de la masa m proyectada por unidad de tiempo:

$$Z = m v$$

La proyección de esta masa, con esta velocidad, representa un trabajo por unidad de tiempo, o sea, una potencia

$$P = \frac{1}{2} m v^2$$

lo que nos permite expresar la sustentación Z en función de la potencia y de la velocidad de proyección en la fórmula siguiente:

$$Z = 2 \frac{P}{v}$$

o en función de la masa proyectada por unidad de tiempo:

$$Z = \sqrt{2 m P}$$

Si el trabajo de proyección está obtenido de la energía química de la propia masa proyectada, y si llamamos j a la cantidad de energía almacenada por unidad de peso de esta masa y ρ la parte proporcional de ella que se aprovecha para la sustentación, se obtiene esta otra expresión:

$$Z = m g \sqrt{2 \rho \frac{j}{g}}$$

Cuando la sustentación por reacción se utiliza únicamente para sostener el peso de la aeronave, $m g = \frac{dZ}{dt}$, valor que, sustituido en la fórmula anterior e integrado, da:

$$t = \sqrt{2 \rho \frac{j}{g}} \log. nep. \frac{G_0}{G_1}$$

siendo G_0 y G_1 los pesos de la aeronave en el momento inicial y al cabo del tiempo, t .

j tiene un valor de 1.352 kilómetros para la mezcla oxhídrica líquida, y si suponemos que el peso de la aeronave vacía sea la milésima parte del total, el tiempo que podría mantenerse en el espacio sería, aproximadamente, de

$\sqrt{\rho}$ horas, o sea, de media hora para $\rho = \frac{1}{4}$. Utilizando el hidrógeno atómico, cuyo j es 20.604 kilómetros, el tiempo resultaría unas cuatro veces mayor.

Estas cantidades, y las condiciones necesarias para alcanzarlas, aún están lejos de permitir un empleo práctico para la navegación aérea de esta clase de propulsores; pero anuncian la posibilidad de que los progresos de la técnica lleguen algún día a dar la solución completa a la navegación aérea, y aun a la extraaérea, por medio de la propulsión de reacción. Así lo indican, también, los vuelos realizados por Opiel en avión impulsado por reacción, y la notable experiencia hecha recientemente por Tilling en el aeródromo de Tempelhof, en que un cohete ha alcanzado 800 metros de altura, hecho que se considera como "el primer paso hacia el infinito", y que seguramente pronto será seguido por otros de mayor importancia.

Únicamente, mediante un profundo dominio de la Química para determinar la constitución de los explosivos más aptos para esta clase de propulsores; de las Teorías molecular y atómica para tratar de aprovechar, hasta el límite, todas las fuentes de energía por recónditas que estén; de la Termodinámica para estudiar el mejor rendimiento en el aprovechamiento útil de la energía disponible y la forma del tubo Laval, eyector de los gases producto de la explosión; de la Metalurgia, para fijar las condiciones y tratamientos

de los metales que han de constituir el propulsor con las elevadísimas temperaturas desarrolladas en él; y de la multitud de las demás ciencias auxiliares, puede aspirarse a colaborar en el progreso de esta parte, la más prometedora y sugestiva, de la Aeronáutica.

Y si, merced al avance conseguido, se llegase, por una propulsión continuada hasta las regiones en que la resistencia del aire prácticamente desaparece, a alcanzar la velocidad de 11.178 metros por segundo de liberación de la acción de la gravedad, y aún más, la de 11.800 metros que, efectuándose la propulsión en el Ecuador con dirección Este y a media noche, bastan para lograr la liberación de la atracción solar; asombra pensar las perspectivas de fascinadora maravilla que se ofrecerán a la Aeronáutica, extrapolada hasta convertirse en Astronáutica, y los recursos que tendrían que proporcionarle las ciencias para resolver los múltiples problemas de la navegación extraterrestre, de orden físico, fisiológico y astronómico, entre ellos el famoso de los tres cuerpos, y, especialmente, el de su caso particular el problema llamado "del asteroide", análogo al ofrecido por el movimiento de la "astronave"—según el término habitualmente adoptado—sometida a la doble acción del Sol y del astro origen o término del viaje. Este problema, aun reducido a su mayor simplificación, que es el del punto sometido a dos centros de atracción, y utilizándose las coordenadas elípticas, presenta una complicación extraordinaria. Todavía nos podríamos dejar arrastrar por la seducción del "más allá" del campo de la Aeronáutica, y suponer el caso en que el hombre llegue al aprovechamiento de la energía interatómica, o quizá a la de desintegración de la materia, en que *¡* llega a valer cuatro billones y medio de kilómetros; entonces las velocidades alcanzadas serán próximas a la de la luz, la curvatura del continuo espacio-tiempo se haría sentir en todos los problemas físico químicos y fisiológicos de la navegación extraterrestre y ya los recursos de la Matemática y de la Mecánica clásicas serían insuficientes y habría que recurrir al auxilio del Cálculo tensorial, de las Geometrías no euclídeas, y de más de tres dimensiones, y de la Mecánica del espacio tiempo que rige en el conjunto del Cosmos...; y, perdonadme, señores Académicos, esta derivación transversal que me ha traído fuera del tema de la Aeronáutica, que a su vez lo es de la ciencia de la locomoción.

* * *

No sería justo limitarse en este trabajo a citar el auxilio que la Aeronáutica recibe de las Ciencias sin hacer mención de la valiosa ayuda que a las Ciencias devuelve la Aeronáutica.

La aplicación de la navegación aérea al progreso de la Meteorología, explorando las condiciones físicas del aire a las diferentes alturas que el observador podía alcanzar a bordo de su aeronave, es tan antigua como la propia Aeronáutica; pero hasta fines del pasado siglo no se organizó metódicamente esta cooperación de la Aeronáutica a la ciencia meteorológica con la aparición de la Comisión Internacional de Aerostación Científica, en cuyos trabajos tomaban parte aeronautas de casi todas las naciones, entre ellas España.

En toda Europa se efectuaban, a horas fijas en la primera semana de cada mes, sondeos aéreos por medio de globos tripulados, provistos de un completo instrumental meteorológico, que se elevaban hasta cinco o seis mil metros; globos-sondas dotados de meteorógrafos registradores que recogían los

datos aerológicos hasta alturas de 40 kilómetros, y de globos pilotos que, seguidos desde tierra con teodolitos, proporcionaban los datos anemométricos a diferentes alturas.

Los resultados de todas estas observaciones simultáneas eran reunidos en la oficina central, y del estudio de su conjunto ha nacido la moderna Meteorología dinámica.

La guerra destruyó en 1914 esta valiosa organización, que aún no ha sido reproducida, aunque en muchos países continúa aisladamente la cooperación estrecha entre la Aeronáutica y la Meteorología, utilizando para ello sondeos atmosféricos diarios efectuados en avión, además de los globos sondas y pilotos habituales en todos los observatorios meteorológicos, efectuados con tal profusión en algunas naciones que han permitido la publicación de los mapas aerológicos de las altas capas de la atmósfera en ciertas regiones, como las "Upper Air Pilots Charts", de los Estados Unidos.

Un defecto tenía la cooperación aeronáutica a la Meteorología, que era la dificultad de emplearla en las grandes perturbaciones atmosféricas, precisamente cuando más interesante era la exploración. Este defecto ha desaparecido con la Aviación sin motor por medio del vuelo a vela, que aprovecha para lanzarse al aire los momentos en que una depresión intensa, una tempestad, produce las más violentas corrientes ascendentes, que permiten a la débil navecilla aérea dejarse elevar por el viento, como una hoja seca, pero obedeciendo al mando de su piloto, que acompaña a la nube tormentosa, sumergido en su seno, durante el recorrido de la depresión. Esto ha permitido la obtención de datos preciosísimos recogidos dentro de los nimbus, desde su base hasta su penacho de falsos cirrus, acerca de los componentes vertical y horizontal del viento, temperatura y demás condiciones físicas que pueden ser obtenidas a bordo de estos livianos aviones veleros que prefieren y buscan el *storm-flight*, el vuelo de la tormenta, tan temido por las grandes aeronaves.

La contribución de la Aeronáutica a las Ciencias físicas es también importantísima y decisiva en algunos casos; cada aeronave, volando por la propulsión de su motor en unas condiciones atmosféricas que no son las habituales de la experimentación en tierra, puede ser considerada como un laboratorio de investigación en que se revelan constantemente propiedades físicas del medio ambiente, respecto a sus cualidades aerodinámicas, termodinámicas, como comburente, etc.; y estas observaciones serán tanto más interesantes cuanto a mayor altura sean hechas. El profesor Piccard, con sus dos ascensiones a 16 kilómetros de altura, o sea, a cinco kilómetros dentro de la estratósfera, ha podido contribuir poderosamente al progreso de la Física determinando la composición, temperatura, humedad, potencial eléctrico, conductibilidad y movimiento del aire en aquellas regiones en que su presión se ha reducido a la décima parte de la que soportamos en nuestra vida corriente. Al mismo tiempo, la medida de la conductibilidad del aire en las diferentes alturas, hasta la alcanzada en esas dos ascensiones, indica su grado de ionización producido por las radiaciones que penetren la atmósfera hasta llegar a la capa considerada, las telúricas, de abajo a arriba, y las cósmicas, de arriba a abajo, además de la solar. La ley de repartición encontrada demuestra la procedencia cósmica de la radiación ultrapenetrante de Millikan, confirmando las experiencias efectuadas a diversas profundidades dentro del agua, y da idea de la intensidad de esta radiación fuera de la atmósfera.

La Astronomía ha recibido también valiosas aportaciones por parte de la Aeronáutica, sobre todo en las observaciones de los eclipses de Sol verificadas a bordo de aeronaves en las capas elevadas de la atmósfera, y de ellas, creo que las más completas y fecundas en resultados fueron las verificadas en Burgos durante el eclipse total de Sol de 1905, a bordo de tres globos libres que se elevaron a alturas de cuatro o cinco mil metros. Se efectuaron observaciones espectroscópicas y espectrográficas de la corona solar y del *flash*; meteorológicas del aire, bajo la influencia de la sombra lunar, se pudo marcar la posición de ella en momentos determinados en el amplio horizonte que ofrecía el elevado observatorio de que disfrutábamos, se dibujó la figura de la corona solar a aquella altura, y se obtuvieron fotografías de ella, que correspondían exactamente a los dibujos y fotografías obtenidos en tierra, comprobándose que la atmósfera terrestre no influye para nada en el aspecto de la corona y se estudió el fenómeno de las sombras volantes sobre una pantalla blanca colgada de la barquilla del globo en que tomé parte de aquellas ascensiones. Las bandas de sombra aparecieron, a aquella altura en que la atmósfera interpuesta entre el Sol y el observador se reducía a la mitad, como franjas unas siete veces más estrechas que las observadas en tierra, pero conservando su orientación y sus movimientos, lo que demostró de un modo decisivo el origen atmosférico debido a interferencias en las capas de aire de distinto índice de refracción, que tiene este curioso fenómeno hasta entonces de naturaleza desconocida.

Al mismo tiempo, y aparte del interés científico de aquellas ascensiones, el cielo, que aparecía de un color azul oscuro, tachonado de estrellas, rodeando la deslumbradora corona solar que orlaba al disco negro de la luna, en el centro de la mancha suave de la luz zodiacal, y la inmensa extensión del horizonte visible, cubierto en parte por un mar de nubes, todo él iluminado por una macilenta luz violeta excepto los términos lejanos, situados fuera de la sombra lunar, en que brillaba la luz del día, todo ello ofrecía el espectáculo más maravilloso que pueda imaginarse y que nunca se borrará de la memoria de los que participamos en aquella primera aportación de la Aeronáutica a la Ciencia astronómica.

Otras muchas contribuciones científicas de la Aeronáutica podrían citarse, por ejemplo, a las ciencias naturales, haciendo progresar la geografía por la exploración efectuada en las eficaces condiciones que ofrece la observación desde una aeronave, lo que ha permitido rectificar errores de cartografía y de orografía por el dirigible *Graf Zeppelin* en sus extensos viajes por terrenos no bien conocidos aún, como la tundra siberiana, la Cordillera de Kubel, en el Extremo Oriente, las Islas de Nueva Zembla y Francisco José, en el Artico, y tantos otros; la observación aeronáutica ha permitido también determinar fácilmente la configuración geológica del suelo por la distribución de las diferentes capas, distinguiéndose claramente cuáles son accidentes orográficos debidos a la Naturaleza y cuáles son los debidos a la mano del hombre, aunque procedan de épocas remotísimas, lo que es imposible o muy difícil de efectuar desde el mismo suelo; asimismo, la Aeronáutica proporciona el medio rápido de determinar, como cooperación a las ciencias biológicas, la distribución de las zonas de vegetación y su vigilancia para impedir la propagación de los incendios forestales, la presencia de gérmenes orgánicos a las diferentes alturas de la atmósfera y sobre las distintas regiones, los efectos fisiológicos de las condiciones físicas de las altas regiones del aire en el cuerpo humano y en los ani-

males, o los producidos por las aceleraciones verticales prolongadas; y, finalmente, hasta a las Matemáticas devuelve la Aeronáutica la ayuda que para su progreso recibe de ellas, proporcionando medios para la resolución de algunos problemas cuyo planteamiento puede ser facilitado por una experimentación previa.

Como ejemplo de este caso citaré una ascensión en globo libre efectuada por tres ilustres miembros de la Sociedad Matemática Española, uno de ellos el Sr. Terradas, que también lo es de esta Academia, a los que me correspondió el honor de acompañar como piloto; ascensión que tuvo por objeto estudiar prácticamente la oscilación de una cuerda de gran longitud para deducir consecuencias que facilitarían la resolución matemática del problema del péndulo continuo, cuyo planteamiento analítico en su caso general ofrece dificultades que parecen insuperables.

* * *

Y termino, señores Académicos, creyendo haber demostrado que si mi preparación científica es a todas luces insuficiente para corresponder al honor que me habéis conferido, aun limitándola a la de un especialista en Aeronáutica, que supongo es lo que habéis visto en mí al designarme como colaborador vuestro, no es únicamente culpa de mi incapacidad: es también debido a que no hay conocimiento humano que no esté relacionado con la navegación aérea, y pretender que una persona sepa Aeronáutica es equivalente a exigirle que domine todas las ciencias.

Por esto, ya que no puedo ofrecerles ningún bagaje científico, ni siquiera en Aeronáutica, que pueda seros de utilidad, únicamente pongo a vuestra disposición el fruto que pueda haber recogido en treinta largos años de práctica aérea, y una voluntad, a un elevadísimo voltaje, para dedicar, en la cooperación a vuestros trabajos, la totalidad de los escasísimos *culombios* de carga científica almacenados en los aún más escasos *microfaradios* de mi capacidad intelectual, al estudio y a la experiencia de los fenómenos físicos en los que la teoría y la práctica de la Navegación aérea se basan, según el lema de la Academia de Ciencias francesa: *Naturæ investigandæ et perficiendis artibus*, valiéndome de los medios que tan precisa y concisamente expone en el suyo la Academia de Ciencias española: OBSERVACION Y CALCULO.

HE DICHO.

The first of these is the fact that the ...

The second of these is the fact that the ...

The third of these is the fact that the ...

The fourth of these is the fact that the ...



Discurso de contestación del Excmo. Sr. D. José Marvá y Mayer

SEÑORES ACADÉMICOS:

Cúmpleme el grato honor de ostentar vuestra representación para dar la bienvenida al nuevo compañero cuya recepción hoy celebramos. Viene llamado por nosotros para ocupar la vacante que en esta Academia ha dejado nuestro inolvidable colega el general Aranaz, el químico ilustre que con su ciencia, con su trabajo de investigación, con su ingenio poderoso, supo enriquecer el campo de los conocimientos humanos escudriñando en su mesa de trabajo y en el laboratorio los secretos de la energía que, almacenada en inestables edificios moleculares, se derrumba desbordándose en oleadas de luz, calor y movimiento, arrolladoras de todo cuanto se oponga a su paso; ya sembrando la muerte cuando van dirigidas por el odio del que ataca o por la necesidad del que se defiende en las luchas de que los hombres aún no han alcanzado la perfección que les redima, ya destruyendo obstáculos para abrir nuevos caminos por donde se establezcan lazos de amistad y de progreso.

Dura es la tarea que se presenta ante Herrera, como él mismo reconoce en la disertación que os acaba de exponer, para ocupar dignamente el puesto de su predecesor en esta casa; su voluntad, según nos ha manifestado, está dispuesta a ello y debemos esperar que su labor en esta Academia corresponderá a sus esfuerzos. En esta confianza le hemos elegido.

También es Herrera hombre de estudio y de laboratorio, aunque su trabajo de investigación no se ha orientado hacia la violencia de los desquiciamientos intermoleculares sino, principalmente, hacia el suave fluir de las corrientes en que esas moléculas se ven arrastradas, rodeando y acariciando los obstáculos que encuentran, sin destruirlos, en armónicos vórtices engendradores de fuerzas que el hombre utiliza para salvar montañas y océanos y escalar los cielos.

Nos ha hablado Herrera de su irresistible tendencia a salirse del camino trillado que le ofrecen las ciencias, para extraviarse en la exploración de los alrededores. Evidentemente, esto es un grave defecto, sobre todo en estos modernos tiempos en que impera el utilitarismo. Un buen conductor, lo mismo cuando guía su vehículo sobre ruedas por una carretera, que al orientar su actividad por el camino de la vida, debe llevar puesta siempre su atención al frente sin distraerse con lo que haya o pueda haber a los costados. Transver-

salmente a la carretera se presentarán vistas agradables, hasta panoramas maravillosos, pero la finalidad práctica y útil del viaje está allá delante, sobre la misma carretera, y allí conviene llegar cuanto antes. Toda desviación de la atención representa, por lo menos, una pérdida de tiempo y puede acarrear el fracaso de la excursión.

Los que, como Herrera, sienten la tentación transversal de los alrededores y se dejan arrastrar por ella no podrán ser nunca buenos "conductores", sino solamente "exploradores", y en este sentido pueden dar a veces resultados utilizables. Herrera, dejándose llevar por esta tentación, concibió en 1915 una hipótesis tetradimensional de constitución del Universo que publicó en el MEMORIAL DE INGENIEROS DEL EJÉRCITO y presentó a esta Academia. En ella se contenían y se deducían principios y consecuencias atrevidísimas que la ciencia de entonces no podía considerar seriamente, como la aplicación de la geometría de cuatro dimensiones a la mecánica y a la física, la curvatura general del espacio y la de los campos gravitatorios, de lo que se deducía la desviación del rayo luminoso al atravesarlos; la limitación del volumen total del Universo, la inexactitud de la ley de gravitación de Newton, la inexistencia de las fuerzas, que quedaban reducidas a un efecto de la inercia al obligar a los cuerpos a seguir líneas geodésicas dentro del espacio curvo, y otras ideas todas ellas heréticas dignas de figurar en el índice de la ciencia clásica. No obstante esto, la Academia le otorgó un laudatorio informe, reconociendo la base científica de su trabajo.

Un año después, Einstein, basándose en consideraciones totalmente distintas de las de Herrera, llegaba a las mismas conclusiones en su teoría de la relatividad generalizada que, en 1919, lograron brillante comprobación experimental al apreciarse la desviación del rayo luminoso por el campo gravitatorio solar, y hoy son universalmente admitidas.

* * *

También, por efecto de la misma tendencia a desviarse del camino habitual seguido por cada orden de conocimientos, Herrera comenzó en 1917 a preconizar, no sólo la posibilidad, sino el rendimiento práctico del empleo de los grandes dirigibles para líneas de comunicaciones entre Europa y América, idea considerada como fantasía irrealizable hasta que el *Graf Zeppelin*, catorce años después, le ha dado confirmación plena con sus viajes regulares y a fecha fija entre Alemania y el Brasil.

Y dentro ya del campo de la Aeronáutica, especialidad a la que Herrera ha dedicado su vida desde sus primeros pasos en la Ingeniería militar, ha realizado obras, no desviándose del camino señalado, sino avanzando por él para contribuir a su progreso; y así ha proyectado y construido el primer y único laboratorio aerodinámico que existe en España, cuyo túnel, en el año 1921 en que quedó terminado, era el mayor del Mundo, con sus tres metros de diámetro, 700 caballos de potencia y 195 kilómetros por hora de velocidad de viento; es autor también de una obra sobre Aerotécnica, de texto en las Escuelas de Aviación militar y de Ingeniería aeronáutica de España y en algunas Repúblicas de América, como Méjico y Perú; patentó en 1920 el sistema telescópico de postes de anclajes para globos dirigibles que ahora se emplea en los aeropuertos norteamericanos y, en el año que transcurre, una regla de cálculo para avio-

nes, mediante la cual cualquier persona puede, con la mayor sencillez, resolver problemas relativos a la determinación de la velocidad, peso, potencia, superficie, alas, techo, etc., de un avión, que sin ella sólo estarían al alcance de los muy versados en ingeniería aeronáutica.

* * *

En su discurso nos ha expuesto nuestro nuevo compañero, bajo el lema "Ciencia y Aeronáutica", una rápida visión de cómo por la ciencia puede llegarse a las alturas, y cómo desde las alturas puede auxiliarse a la ciencia, pasando revista a todos los procedimientos que puede imaginarse el hombre para encontrar una fuerza en qué apoyarse en el espacio. Unos, como el aerostático y el aerodinámico, ya en pleno período de aplicaciones prácticas que han permitido la realización de esas naves asombrosas que surcan el océano aéreo transportando centenares de toneladas de peso en una sola de ellas; que recorren de un vuelo la cuarta parte de la circunferencia terrestre; que como un mundo aparte permanecen navegando por el espacio durante semanas enteras sin contacto con nuestro planeta; que penetran en las profundidades del cielo a alturas mucho más allá de las fronteras del imperio de las nubes; que surcan la atmósfera como cuerpos meteóricos con velocidades que ya rivalizan con la de la onda sonora. Y estos hechos admirables no constituyen el límite de las posibilidades; muy por el contrario, la técnica aeronáutica actual, sin necesidad de nuevos progresos, posee recursos suficientes para superarlas hasta términos que se pierden en el horizonte de la previsión, y a cuya realización solamente se oponen las dificultades de orden económico, las eternas trabas que atan al prosaico suelo las alas de las aspiraciones humanas en su afán de superación. Lord Byron ha dicho: "*Ready money is Aladin's lamp.*" ¡Qué maravillas crearía la ciencia aeronáutica actual si contara con el auxilio de la mágica luz de esta lámpara!

Los demás procedimientos analizados por Herrera en su discurso aún no han dado ningún fruto utilizable por la Humanidad. La técnica es, hoy día, absolutamente incapaz, aunque pudiera valerse de la áurea lámpara citada por el poeta inglés, de crear aeronaves que se sostengan apoyadas en el campo magnético terrestre, en la carga eléctrica del aire o en la energía radiante que atraviesa la atmósfera; existe, sí, en todos estos procedimientos un germen de rendimiento; pero está tan remota su fructificación para ser aprovechada, que no merecen más estudio que como meras curiosidades fisiomatemáticas.

* * *

Sin embargo, entre estos procedimientos de navegación aérea, aun no utilizados, existe uno de excepcional importancia en el cual converge la atención de los técnicos aeronáuticos en la actualidad. Este es el de la propulsión por reacción. Sus principios fundamentales son conocidos y experimentados desde muchos años antes de la Era Cristiana en la "eolípila" ideada por Herón de Alejandría y en los cohetes incendiarios, impulsados por sustancias explosivas utilizadas por los chinos. Este procedimiento también produjo el corto vuelo del caballo Clavileño, que en la imaginación de su tripulante Sancho

alcanzó caracteres astronáuticos, y en él tienen puestas sus esperanzas los técnicos soñadores de hoy, cuya imaginación se desborda de los límites del planeta en que habitamos e intentan escalar las rutas del infinito por medio del cálculo y la experimentación —*per aspera ad astra*—, siguiendo las palabras que también Virgilio pone en boca de Apolo en el libro IX de su “Eneida”: *Sic itur ad astra*.

Pero existe otra aplicación del procedimiento basado en la propulsión por reacción, no tan sugestiva ni fascinadora como la “astronáutica”, pero más inmediata y, probablemente, más útil a la Humanidad, que es la “estratonáutica”, la navegación aérea en la región estratosférica de la atmósfera, libre de las perturbaciones de convección originadas por el calor terrestre y dentro de un medio ambiente diez o más veces menos denso que el aire que respiramos. En estas condiciones, el transporte aéreo desde un punto a otro de la Tierra exigiría, aproximadamente, el mismo trabajo total, la misma cantidad de energía empleada, que si se hiciera al nivel del mar, puesto que siendo análogo el rendimiento aerodinámico del avión a cualquier altura de vuelo, por depender solamente de su forma geométrica y no del medio ambiente, a igualdad de peso corresponderá igual esfuerzo de propulsión, lo mismo al nivel del mar que en la estratosfera, y a igualdad de propulsión y de camino recorrido resultarán cantidades de trabajo iguales, pero con la inmensa ventaja de que las velocidades alcanzadas serán inversamente proporcionales a las raíces cuadradas de las densidades del medio ambiente en que se efectúe la navegación, por lo cual es de esperar obtener en el vuelo estratosférico una rapidez de transporte de tres a cuatro veces superior a la habitual en las líneas aéreas actuales, sin que el máximo radio de acción, que ya llega a los 10.000 kilómetros, disminuya sensiblemente. Así, viajes de Madrid a Buenos Aires en doce horas, o de París a Nueva York en seis, pueden ser una realidad en cuanto el problema de la propulsión en la estratonáutica esté resuelto, y, desde luego, el procedimiento más indicado parece ser el propulsor de reacción.

* * *

Asombra pensar la transformación que en la vida de la Humanidad ha de operarse el día en que la Tierra quede cubierta de una red de líneas aéreas cuyas aeronaves transporten pasajeros, correos y carga a velocidades del orden de los 1.000 kilómetros por hora, lo que permitirá viajar indefinidamente siguiendo el paralelo de Berlín con detención del tiempo solar, realizando, con el auxilio de la Ciencia y de la Aeronáutica, el prodigio sobrenatural que dió la victoria a Josué ante los muros de Gabaón. A latitudes mayores, los pasajeros de la estratonave retrocederían en la hora solar durante su navegación, invirtiéndose para ellos el movimiento de la bóveda celeste.

La Tierra, por las distancias que separan, unos de otros, a sus habitantes, se habría reducido a la cuarta parte con relación a la época actual; y a la centésima parte con respecto a las comunicaciones de hace un siglo, las barreras naturales que interceptan las comunicaciones entre los pueblos desaparecidos en absoluto. ¿Cómo podrían entonces subsistir las barreras artificiales, las fronteras que los hombres han establecido, dificultando el desenvolvimiento y la armonía en la gran familia humana?

Se puede afirmar que la resolución del problema de la navegación estratos-

férica será la cumbre de la obra de la Aeronáutica, que proporcionará a la Humanidad la plenitud de los beneficios que esta rama de la ciencia pueda ofrecerle. Quizá para esta época las dimensiones de la Tierra resultarán tan excesivamente reducidas con relación a las posibilidades y capacidad de los conocimientos del hombre, que deba pensar entonces en el "más allá" de la Aeronáutica, en la navegación extraterrestre; pero ésta, que entonces será una extrapolación inmediata y, por tanto, razonable, constituye ahora una extrapolación remota y, como tal, aventurada y más perteneciente al dominio de la fantasía que al de la ciencia.

Tales son los beneficios que la ciencia, por intermedio de la Aeronáutica, puede proporcionar a la Humanidad, fuente, a su vez, de la ciencia; pero este ciclo es reversible, como nos expone Herrera, en su discurso, y al mismo tiempo que del ser humano nace la corriente de energía psíquica en forma de conocimientos científicos, que, aplicados a la navegación aérea, redundan en medidas de progreso físico para provecho del propio hombre que los creó, también el hombre, valiéndose de los medios de actividad física que le permite la Aeronáutica, perfecciona la corriente de energía psíquica que viene a enriquecer el caudal de conocimientos científicos que atesora en su cerebro.

La Aeronáutica, pues, actúa como un acumulador reversible que recibe ciencia y produce navegación aérea, y al mismo tiempo, partiendo de la navegación aérea, produce ciencia. ¿Qué caudal de ciencia necesita la Aeronáutica para producir su rendimiento en navegación aérea? Ya nos lo ha indicado Herrera: la Aeronáutica exige el empleo de todas las ciencias, desde la más en contacto con la prosa de la aplicación material hasta la más elevada en la poesía de la idea pura; de cada una de ellas va libando el polen que ha de germinar después de esas maravillas mecánicas que surcan el cielo.

* * *

¿A qué ciencias resultan aplicables las posibilidades que ofrece la navegación aérea para su desarrollo? También, según nos manifiesta Herrera, sería difícil encontrar un orden de los conocimientos humanos que no tenga nada que esperar de la cooperación proteica que pueda ofrecer la Aeronáutica. La navegación aérea no puede ser tachada de absorbente; por el contrario, si unas veces exige para desarrollarse una cooperación intensísima de la ciencia, en otros casos, en cambio, puede decirse de ella que devuelve ciento por uno.

Herrera ofrece sus conocimientos y su práctica en Aeronáutica para aprovecharlos en la labor científica de esta Academia; y del mismo modo nuestro nuevo compañero podrá adquirir en sus trabajos en ella nueva base científica aplicable a la práctica de la navegación aérea, cerrando de este modo el ciclo reversible como tesis de su discurso y que conduce de la Ciencia a la Aeronáutica y de la Aeronáutica a la Ciencia.

* * *

La navegación aérea es conocida, más que por otras aplicaciones, por las militares, como terrible arma de destrucción. Los pueblos ya no se pueden creer seguros por sus líneas de fortificación, por las defensas naturales de abruptas cordilleras o de mares limítrofes. Hoy están amenazados por los

terribles bólicos que la industria humana puede lanzar desde las regiones donde se forja el rayo. Pero, si bien es cierto que la ciencia aeronáutica es utilizable en aplicaciones guerreras, de destrucción, justo es consignar que ha prestado y puede prestar eminentes servicios a la ciencia en general y a las fructuosas artes de la paz para bien del progreso humano.

La Aeronáutica ha sido, desde sus primeros pasos, excelente auxiliar de la meteorología, ya que mediante su concurso las observaciones atmosféricas, limitadas antes a las capas inferiores, han podido extenderse a las más elevadas e inaccesibles regiones. Así han podido realizarse importantes estudios de las corrientes aéreas, de temperaturas en función de la altura, de la existencia de una capa isotérmica, y obtener preciosos datos acerca del estado higrométrico, magnetismo, electricidad y composición del aire, forma de las nubes, auroras boreales y lo que podría llamarse la fisiología de las altitudes. Sin olvidar que la navegación aérea es un importante instrumento de transporte que ha de poner los diversos puntos del planeta en comunicación directa, sin sujetarse a los sinuosos trazados de carreteras y ferrocarriles, impuestos por montes y ríos; sin someterse a horarios e itinerarios; sin subordinar su ruta, como los barcos, por las costas, estrechos y canales; alcanzando, en fin, la independencia en tiempo y la libertad en movimiento sin trabas de aduanas y fronteras.

Vindiquemos, pues, a la ciencia aeronáutica de lo que pudiera ser espectro de la muerte y miremos tan sólo lo que puede ser, en cuanto a la más elevada expresión de la vida: el hada milagrosa que nos inunda con el raudal de todos los bienes. Porque así como el curso de la vida se encauza entre contrastes de luz y sombra, de salud y enfermedad, de primavera y de rigores invernales, así la ciencia, pródiga y fecunda, camina entre cortejos de llantos y alegrías, y entrega el instrumento de acero sin ser responsable de que se esgrima como bisturí que cura o como puñal que mata.

La locomoción aérea proporcionará fecundo auxilio a la Geografía, a la Física del Globo, a la Astronomía y a la Fisiología; causará honda transformación en las costumbres, en las condiciones de la existencia. Y cuando la Humanidad llegue al más alto grado de sorprendente civilización y se remonte y se sublime hacia las alturas de donde viene la luz, aproximándose a Dios y contemplando más de cerca la Obra pasmosa de la Creación, podrá gozar de la armonía de los seres en la armonía del Mundo, y acaso abomine de los rencores que nos ensangrientan, y acaso encuentre la clave de la confraternidad universal en el inagotable y libérrimo disfrute del espacio, obtenido por resueltos avances hacia la definitiva y redentora conquista del aire.

¿Se alcanzará este bello ideal?

En materia de progresos de la ciencia, es prudente admitir en principio toda posibilidad, guardarse de toda negación, porque lo que parece imposible pudiera llegar a ser realizable. En todos los órdenes de las conquistas del entendimiento, la utopía de hoy suele ser la realidad de mañana.

HE DICHO.

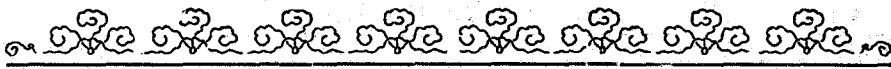
ARÍSTIDES FERNÁNDEZ
TETE. CORONEL DE INGENIEROS

Alineaciones curvas de las vías de comunicación y su trazado sobre el terreno por medio de los ángulos tangenciales



PUBLICACIÓN DEL «MEMORIAL
DE INGENIEROS DEL EJÉRCITO»
:: :: MADRID 1953 :: ::





Curvas circulares.

La curva más sencilla que puede emplearse para enlazar entre sí dos alineaciones rectas consecutivas de una vía de comunicación cualquiera es la curva circular formada por uno o más arcos. Si las dos alineaciones rectas AT y TD (fig. 1) forman parte del tra-

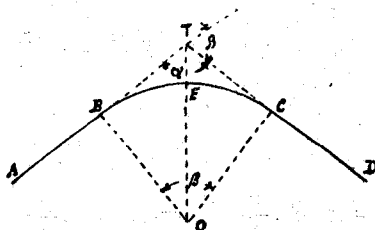


Fig. 1

zado de una carretera, su enlace puede obtenerse, como se acaba de decir, por medio del arco circular BC de radio $OB = R$. Los puntos B y C en que empieza y termina la curva se llaman *puntos de tangencia*, y también *origen* y *fin de la curva*, respectivamente; los segmentos de recta TB y TC , comprendidos entre el punto de intersección de las dos alineaciones rectas y los puntos de tangencia, se designan con el nombre de *tangentes*; el ángulo α es el formado por las tangentes, y el ángulo β es el ángulo en el centro que determina la amplitud o desarrollo de la curva, verificándose siempre que $\alpha + \beta = 180^\circ$ o $\alpha + \beta = 200^\circ$, según que se emplee la división sexagesimal o la centesimal de la circunferencia. La recta TO , que une el punto de intersección de las tangentes con el centro de la curva, se llama *bisectriz de la curva*, o simplemente *bisectriz*, y corta a dicha curva en su punto medio E , llamado por algunos *vértice*

de la curva. Otros aplican este nombre al punto T de intersección de las tangentes.

La dirección general del trazado da a conocer el valor del ángulo α y, por tanto, el del ángulo en el centro β . Con este dato y con el valor que se elija para la longitud del radio R , longitud que depende de las condiciones del terreno y de la clase de tráfico a que haya de estar sometida la vía de comunicación, se puede determinar fácilmente la situación de cada uno de los puntos de tangencia y del punto medio o vértice de la curva. Para determinar la situación de los puntos de tangencia basta calcular la longitud de las tangentes que, por tratarse de una curva circular, son iguales. Llamando T la longitud de las tangentes en cualquiera de los dos triángulos rectángulos OBT y OCT , se tiene:

$$T = R \operatorname{tg.} \frac{\beta}{2} = R \operatorname{cotg.} \frac{\alpha}{2}$$

Para determinar la posición del punto medio de la curva, observaremos que $TE = V = TO - OE = TO - R$, y que

$$TO = \frac{R}{\cos. \frac{\beta}{2}} = R \sec. \frac{\beta}{2}$$

luego

$$V = R \sec. \frac{\beta}{2} - R = R \left(\sec. \frac{\beta}{2} - 1 \right)$$

La determinación de la posición del punto E no es necesaria para el trazado de la curva, pero siempre es conveniente hacerla para que sirva de comprobación.

Conocidos el radio y el ángulo en el centro, fácil es calcular la longitud, o sea, el desarrollo de la curva, puesto que sabemos que

$$L = \frac{\pi R \beta}{180} = 0,01745 R \beta$$

Para determinar la situación de los diferentes puntos de la curva sobre el terreno pueden seguirse varios procedimientos. Uno de ellos consiste en referir la curva a dos ejes coordenados rectangulares y calcular las ordenadas correspondientes a los valores de las abscisas que se elijan como más convenientes. Generalmente, se toma como eje de las abscisas la prolongación de una de las alineaciones rectas, y como eje de las ordenadas la perpendicular a dicha alineación.

ción en el punto de tangencia, de modo que la curva tiene su origen en el origen de coordenadas. Si $O A$ (fig. 2) es una curva circular

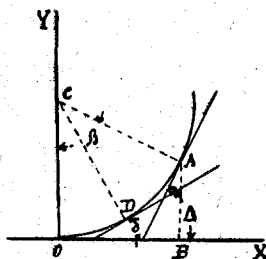


Fig. 2

de enlace entre dos alineaciones rectas, el eje $O X$ de las abscisas es la prolongación de una de dichas alineaciones, y el eje $O Y$ de las ordenadas es la perpendicular al anterior en el punto de tangencia O . La ecuación de la curva referida a estos dos ejes es

$$x^2 + y^2 - 2 R y = 0$$

o, puesta en forma explícita,

$$y = R \pm \sqrt{k^2 - x^2}$$

Dando valores a x en esta ecuación, se obtendrán los correspondientes de y , y, por tanto, todos los puntos que se desee de la curva.

Si llamamos δ el ángulo que la tangente en un punto cualquiera de la curva forma con el eje de las abscisas, sabemos que $\operatorname{tg} \delta = \frac{d y}{d x} = \frac{x}{R - y}$, de donde $x = (R - y) \operatorname{tg} \delta$. Sustituyendo este valor de x en la ecuación del valor de y , resulta

$$y = R \pm \sqrt{R \left(1 - \frac{\operatorname{tg}^2 \delta}{1 + \operatorname{tg}^2 \delta} \right)}$$

El valor de δ , correspondiente a un punto de la curva que esté situado a la distancia l del origen, se obtiene por medio de la fórmula

$\delta = 57,3 \times \frac{l}{R}$. Conocido el valor de δ en función de l , se pueden

determinar las coordenadas de un punto de la curva que esté situado a una distancia dada l del origen de la curva. Este procedimiento resulta muy conveniente si, como es lo general, los piquetes del trazado han de hincarse con una separación constante de 10, 20, 30 ó un número cualquiera de metros. Supongamos, por ejemplo, que se quiere determinar las coordenadas de un punto de una curva cir-

cular de 100 metros de radio, que diste 50 metros del origen de la curva. En este caso, el valor del ángulo que forma la tangente a la curva en dicho punto con el eje de las abscisas es $\delta = 57,3 \times \frac{50}{100} = 28,65^\circ$, o sea, $28^\circ 39'$, y $\text{tg. } \delta = 0,54635$. Sustituyendo valores en la fórmula del valor de y , resulta:

$$y = 100 - \sqrt{100 \left(1 - \frac{0,54635^2}{1 - 0,54635^2} \right)} = 12,24 \text{ m.}$$

Sustituyendo este valor de la ordenada en la ecuación de la curva y despejando el valor de x , tendremos:

$$x = \sqrt{2 \times 100 \times 12,24 - 12,24^2} = 47,94 \text{ m.}$$

También pueden deducirse los valores de x e y en función de l de la siguiente manera: Sabemos que, siendo δ el ángulo que la tangente a una curva forma con el eje de las abscisas $d\delta = \frac{dl}{R}$, o sea, en este caso de la curva circular, $\delta = \frac{l}{R}$, y que $\text{sen. } \delta = \frac{dy}{dl}$ y $\text{cos. } \delta = \frac{dx}{dl}$, de las que $dy = \text{sen. } \delta dl$ y $dx = \text{cos. } \delta dl$. Sustituyendo δ por su valor, desarrollando en serie $\text{sen. } \delta$ y $\text{cos. } \delta$, y tomando solamente los dos primeros términos de cada serie, resulta:

$$dy = dl \text{sen. } \frac{l}{R} = dl \left(\frac{l}{R} - \frac{l^3}{6R^3} \right) = \frac{l dl}{R} - \frac{l^3 dl}{6R^3}$$

$$dx = dl \text{cos. } \frac{l}{R} = dl \left(1 - \frac{l^2}{2R^2} \right) = dl - \frac{l^2 dl}{2R^2}$$

que integradas dan:

$$y = \frac{l^2}{2R} - \frac{l^4}{24R^3} \quad y \quad x = l - \frac{l^3}{6R^2}$$

Aplicando estas fórmulas al ejemplo anterior se obtienen los resultados siguientes:

$$y = \frac{50^2}{2 \times 100} - \frac{50^4}{24 \times 100^3} = 12,50 - 0,26 = 12,24 \text{ m. y}$$

$$x = 50 - \frac{50^3}{6 \times 100^2} = 50 - 2,08 = 47,92 \text{ m.}$$

Si se hubiera tomado un término más del desarrollo en serie de $\cos. \delta$, el valor de x hubiera resultado igual que el que se halló antes.

Aplicando una u otra de las fórmulas dadas a curvas de diferentes radios, pueden formarse tablas que contengan las coordenadas de los puntos necesarios para el trazado sobre el terreno.

Otro procedimiento de fácil aplicación, y cuyo uso está muy generalizado, consiste en la determinación de los puntos de la curva por medio de los ángulos tangenciales que corresponden a cuerdas de longitud determinada. Sea OD , figura 3, una curva circular tangente en O a la recta OA . Los ángulos $\theta, \theta', \theta'',$ etc., que las cuerdas $OB, OC, OD,$ etc., forman con la tangente OA a la curva en su

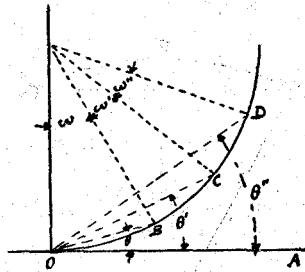


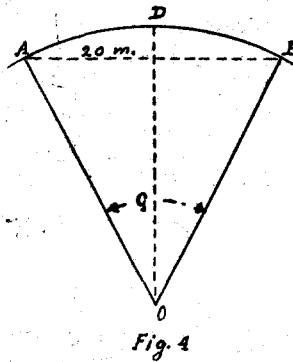
Fig. 3

origen son los ángulos tangenciales que sabemos tienen por valor la mitad del correspondiente a cada uno de los ángulos $\omega, \omega + \omega', \omega + \omega' + \omega'',$ etc., que se forman en el centro. Si las longitudes $OB, BC, CD,$ etc., son iguales, los ángulos $\omega, \omega', \omega''$ también lo serán, y los $\theta, \theta', \theta''$ tendrán los valores $\theta = \frac{\omega}{2}, \theta' = \frac{2\omega}{2}, \theta'' = \frac{3\omega}{2},$ y así sucesivamente; es decir, que para obtener el ángulo tangencial correspondiente a un punto cualquiera de la curva circular no hay más que dividir por dos el valor del ángulo en el centro correspondiente a dicho punto, y que si los puntos que se van a determinar en la curva están equidistantes, basta multiplicar la mitad del valor del ángulo en el centro correspondiente al primer punto por el número de orden que corresponda al punto de que se trate.

Ya hemos dicho que en el replanteo del eje de una vía de comunicación conviene colocar piquetes equidistantes, porque basta numerarlos para saber la distancia a que se encuentra cada uno de ellos del origen. Además de estos piquetes, que llamaremos principales, habrá que hincar otros en los puntos especiales del trazado, como son todos aquellos en que haya de construirse una obra de fá-

brica, los puntos de tangencia de las curvas, etc. Estos piquetes se marcan con el número del piquete principal que le precede y la distancia que le separa de él. No se puede dar una regla para fijar la equidistancia de los piquetes principales; pero es evidente que conviene que ésta sea un factor de 100, porque de esta manera quedarán determinadas las posiciones de los postes hectométricos y kilométricos. En otro trabajo que hicimos hace años sobre este asunto fijamos la equidistancia en 25 metros; pero la práctica nos ha demostrado que es más conveniente reducirla a 20 metros por facilitarse con esta longitud todas las operaciones, y muy especialmente las que al replanteo de las curvas se refieren.

Consideremos una curva circular cualquiera de radio R , figura



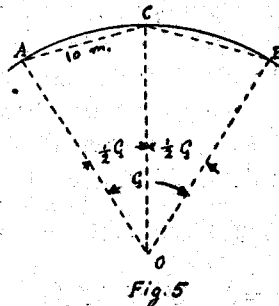
4, y en ella un arco AB de 20 metros de longitud. El ángulo en el centro correspondiente a este arco será $G = \frac{3600}{\pi R} = \frac{1145,9152}{R}$, si se emplea la división sexagesimal de la circunferencia, y $G = \frac{4000}{\pi R} = \frac{1273,2427}{R}$, si se emplea la centesimal. A este ángulo en el centro G , que determina en la circunferencia un arco de 20 metros de longitud o desarrollo; le llamaremos *grado de curvatura*, o simplemente *grado* de la curva, que, como se ve en las fórmulas anteriores, es proporcional a la curvatura de la misma.

Si trazamos OD , perpendicular a la cuerda AB en su punto medio, en el triángulo OEA , tenemos que $AE = R \operatorname{sen.} \frac{G}{2}$, y como AE es igual a la mitad de la cuerda AB , llamando C a ésta, su longitud será $C = 2R \operatorname{sen.} \frac{G}{2}$. Para que en el trazado de la curva so-

bre el terreno se pueda sustituir el arco por la cuerda, el valor de C tiene que aproximarse mucho a 20 metros. La aproximación necesaria depende, en gran parte, del desarrollo de la curva, porque el error total que se cometa en el trazado completo de ésta será igual al error cometido en una medición multiplicado por el número de éstas. Si en la igualdad $2R \text{ sen. } \frac{G}{2} = 20$ sustituimos G por su valor

en función de R y desarrollamos en serie el valor de $\text{sen. } \frac{G}{2}$, podremos hallar el valor más conveniente para R con una aproximación, que dependerá del número de términos que tomemos de la serie. La resolución del problema por este procedimiento lleva consigo la de ecuaciones de grados superiores al sexto, si la aproximación que se obtenga ha de ser eficaz. Resulta preferible formar una tabla con los valores de R de las curvas que haya en el trazado y los errores que se cometen en cada medición con el empleo de cuerdas de 20 metros.

Si la diferencia entre el arco de 20 metros de desarrollo y su cuerda es demasiado grande para que pueda hacerse la sustitución sin cometer un gran error, habrá que emplear una cuerda menor. La más conveniente es la cuerda de 10 metros. Si el arco de 20 me-



tros se divide en dos partes iguales, el ángulo en el centro correspondiente a cada una de ellas será, figura 5, $\frac{G}{2}$, y la longitud de su

cuerda se determinará por la fórmula $C' = 2R \text{ sen. } \frac{G}{4}$. Generalmente, no será necesario emplear en el replanteo de las curvas de las vías de comunicación cuerdas menores de 10 metros; pero si así sucediese, se hará el replanteo con cuerdas de 5 metros, en cuyo

caso, figura 6, la longitud de la cuerda se determinará por medio de la fórmula $C'' = 2R \text{ sen. } \frac{G}{8}$.

Como el replanteo de las curvas por medio de los ángulos tangenciales tiene que hacerse empleando un teodolito o un taquíme-

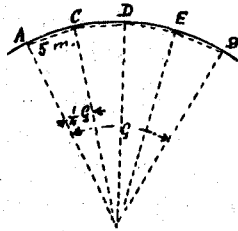


Fig-5

tro, es preferible definir las curvas por su grado en vez de hacerlo por su radio. Los teodolitos corrientes con división sexagesimal suelen apreciar hasta veinte segundos, y los teodolitos micrométricos hasta diez segundos, y por aproximación, hasta un segundo. Los aparatos con división centesimal aprecian los ángulos con una aproximación parecida. Si la curva se define por su radio, el grado resultará generalmente con segundos y fracciones de segundo; la mitad del grado, o sea, el ángulo tangencial resultará con fracciones aún menores, que al no poder apreciarse con el aparato de que se disponga serán causa de que se cometan errores, que se van acumulando en las diferentes operaciones. Si se va a trazar por este procedimiento una curva de 1.000 metros de radio, su grado de curvatura en el sistema sexagesimal es $G = \frac{1145,9152}{1000} = 1,1459152^\circ$

$= 1^\circ 8' 45,29472''$ y $\frac{G}{2} = 0^\circ 34' 22,64736''$. En vez de la curva de 1.000 metros de radio podemos emplear en este caso una curva de $G = 1^\circ 8' 40''$, que tiene por radio $R = \frac{1145,9152}{1,144} = 1001,324$ metros, con lo que se facilitan las operaciones puesto que el ángulo tangencial correspondiente a la cuerda de 20 metros es $\frac{G}{2} = 0^\circ 34' 20''$.

Con el auxilio de una tabla de senos resulta fácil determinar la longitud de la cuerda correspondiente a un arco dado y, por tanto, el error que se comete en cada medición al tomar la cuerda por el

arco. De esta manera se puede formar una tabla como la siguiente, que se refiere a la división sexagesimal:

G	R m.	Error en mm. que se comete en cada medición con cuerdas de			Dº m.	Error total que se comete en el trazado de una semicircunferencia con cuerdas de		
		20 m. mm.	10 m. mm.	5 m. mm.		20 m. mm.	10 m. mm.	5 m. mm.
1º	1145,915	0,258	0,035	0,006	3600,00	46,44	12,60	4,32
1º30'	764,943	0,581	0,077	0,010	2400,00	69,72	18,48	4,80
2º	572,958	1,023	0,128	0,017	1800,00	92,07	23,14	6,12
2º30'	458,366	1,591	0,200	0,026	1440,00	114,77	28,80	7,49
3º	381,972	2,290	0,291	0,038	1200,00	137,40	34,80	9,12
4º	286,479	4,165	0,509	0,061	900,00	182,93	45,81	11,52
5º	229,183	6,300	0,798	0,100	720,00	228,60	57,46	14,40
6º	19,986	9,143	1,147	0,145	600,00	274,29	68,62	17,40
7º	163,702	13,438	1,556	0,195	514,29	345,36	79,98	20,15
8º	143,239	16,249	2,033	0,255	450,00	365,60	91,49	22,95
9º	127,324	20,560	2,572	0,322	400,00	411,20	102,88	26,56
10º	114,92	25,381	3,174	0,399	360,00	456,80	114,26	28,73
15º	76,391	57,078	7,142	0,804	240,00	684,91	171,41	42,91
20º	57,296	101,393	12,691	1,588	180,00	912,54	101,53	57,17
30º	38,197	227,691	28,536	3,571	120,00	1366,15	342,43	85,70
40º	28,648	433,694	50,696	6,345	90,00	1816,62	456,26	114,21

Conocida la amplitud de una curva por el ángulo en el centro o por su desarrollo en metros, resulta fácil determinar, por medio de una tabla como la anterior, la cuerda más conveniente para su trazado o el error que se cometerá en dicho trazado empleando una cuerda determinada. Supongamos que hay que trazar una curva de 500 metros de radio, que tiene 60º de amplitud. En la tabla se encuentra que para una curva de 458,366 metros de radio, si el trazado se hace con cuerdas de 20 metros, el error que se comete en el trazado de una semicircunferencia, o sea, en una amplitud de 180º, es igual a 114,77 mm.; luego en el trazado de un arco de 60º se cometerá un error de $114,77 : 3 = 38,26$ mm. En el trazado de una curva de 572,958 metros de radio en las mismas condiciones que la anterior, se cometerá un error de $92,07 : 3 = 30,69$ mm. Para una diferencia de 114,592 metros en los radios, el error disminuye 7,57 milímetros; luego para una diferencia de 41,634 metros, el error disminuirá, aproximadamente, $\frac{41,634 \times 7,57}{114,592} = 2,75$ mm., y el error aproximado que se cometerá trazando con cuerdas de 20 metros una curva de 500 metros de radio y 60º de amplitud será $38,26 - 2,75 = 35,51$ mm. Teniendo en cuenta que los puntos de tangencia se fijan independientemente del trazado de la curva, este error

dé 35,51 mm. puede despreciarse y hacerse el trazado con cuerdas de 20 metros. Sin embargo, si se desea una exactitud mayor, puede hacerse el trazado con cuerdas de 10 metros y hasta de 5 metros; en el primer caso se cometerá, aproximadamente, un error de 9 milímetros, y en el segundo de 2,33 mm.

Hasta ahora hemos supuesto que el origen y el fin de la curva coinciden con puntos correspondientes a piquetes principales; pero lo más probable es que ninguno de dichos puntos coincidan con tales piquetes y que, por tanto, las cuerdas primera y última tengan que ser más cortas que la cuerda normal que se está empleando para

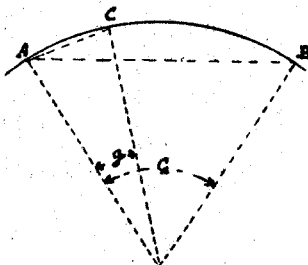


Fig. 7

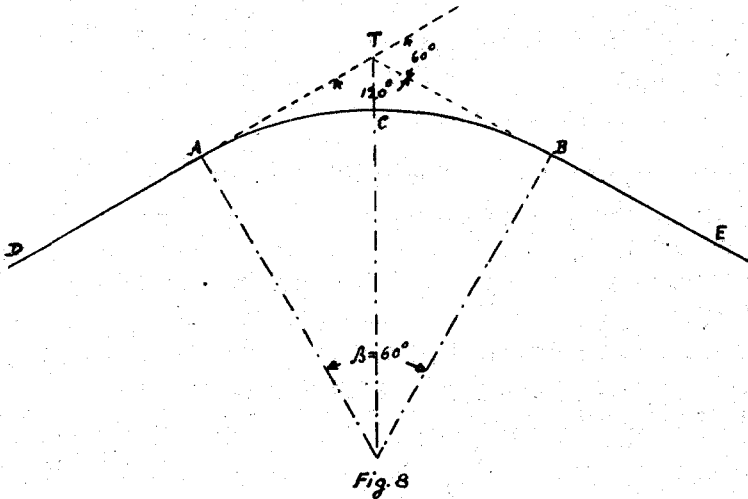
el trazado. Para determinar el ángulo tangencial que hay que formar para obtener la dirección de una cuerda cualquiera $AC = c$

(figura 7), tenemos que $c = 2R \operatorname{sen.} \frac{g}{2}$ y, como $R = \frac{C}{2 \operatorname{sen.} \frac{g}{2}}$, $c =$

$2 \times \frac{C}{2 \operatorname{sen.} \frac{g}{2}} \times \operatorname{sen.} \frac{g}{2}$, de donde $\operatorname{sen.} \frac{g}{2} = \frac{c}{C} \operatorname{sen.} \frac{G}{2}$. Para que

la cuerda C , de 20 m., pueda sustituir al arco, el ángulo G en el centro, o grado de la curva, tiene que ser pequeño, así que podremos sustituir $\operatorname{sen.} \frac{G}{2}$ por $\frac{G}{2}$ y, con mucha más razón, $\operatorname{sen.} \frac{g}{2}$ por $\frac{g}{2}$, con lo que la igualdad anterior se convertirá en $\frac{g}{2} = \frac{c}{20} \times \frac{G}{2}$. Si en vez de hacerse el trazado con cuerdas de 20 m. se hace con cuerdas de 10 m. (fig. 5), la igualdad anterior tendrá la forma $\frac{g}{2} = \frac{c}{10} \times$

$\times \frac{G}{4} = \frac{c}{20} \times \frac{G}{2}$, y si el trazado se hace con cuerdas de 5 m. (fig. 6),
 $\frac{g}{2} = \frac{c}{5} \times \frac{G}{8} = \frac{c}{20} \times \frac{G}{2}$. Para que el seno de un ángulo pueda considerarse igual al arco, el ángulo tiene que ser menor que 5° ; así que para que puedan emplearse las fórmulas anteriores el valor de G tendrá que ser inferior a 10° , si la subcuerda está comprendida entre 10 y 20 metros; a 20° , si la subcuerda está comprendida entre 5 y 10 metros; y a 40° , si la subcuerda es menor que cinco metros.



Sean dos alineaciones rectas DT y TE (fig. 8), que forman entre sí un ángulo de 120° , que se quieren enlazar por medio de una curva circular de 2° . El radio de la curva será igual a $\frac{1145,9152}{2} = 572,958$ m., el ángulo en el centro tendrá $180 - 120 = 60^\circ$, y la longitud de las tangentes será $T = 572,958 \times \text{tg. } 30^\circ = 330,80$ metros. Si suponemos que el punto T de intersección de las dos alineaciones está a 2.564 m. del origen del trazado, el primer punto de tangencia, u origen A de la curva, estará a $2.564,00 - 330,80 =$ metros 2.233,20 del mismo origen. Si el trazado se está marcando con piquetes equidistantes 20 m., el piquete anterior al punto de tangencia tendrá el número 111, y el que se coloque en dicho punto de tangencia se marcará $111 + 13,20$ m. Como la curva es de 2° y el ángulo en el centro es de 60° , su desarrollo será $L = 20 \times \frac{60}{2} = 600$

metros. Según la tabla, el error que se comete en la medición de una semicircunferencia de 2° de curvatura con cuerdas de 20 metros es igual a 92,07 mm.; así que el error total aproximado que se cometerá en el trazado de la curva con cuerdas de dicha longitud será $\frac{1}{3} \times 92,07 = 30,69$ mm., que es lo suficientemente pequeño para que pueda hacerse el trazado de la manera propuesta. Como el piquete del primer punto de tangencia está a 13,20 m. del piquete principal núm. 111, el piquete principal núm. 112 tendrá que situarse a $20,00 - 13,20 = 6,80$ m. de dicho punto de tangencia, y habrá que formar en éste un ángulo tangencial de $\frac{6,8}{20} \times 1 = 0,34^\circ = 0^\circ 20' 24''$. Este ángulo y una cuerda de 6,80 m. fijarán la posición del piquete núm. 112. Para determinar los piquetes números 113 y siguientes habrá que sumar sucesivamente a este ángulo el $\frac{G}{2} = 1^\circ$ y medir desde cada piquete 20 m., hasta que se haya colocado el piquete núm. 141, que estará a 586,80 m. del primer punto de tangencia de la curva y a 2.820 m. del origen del trazado. El segundo punto de tangencia *B*, o fin de la curvatura, estará a $600 - 586,80 = 13,20$ metros del piquete principal núm. 141, y, por tanto, su piquete se marcará $141 + 13,20$ m. Como comprobación del trazado se calcula el ángulo tangencial correspondiente a esta cuerda de 13,20 m., y se encuentra que es $\theta = \frac{13,2}{20} \times 1 = 0,66^\circ = 0^\circ 39' 36''$. El ángulo tangencial total que resulte al final de la operación debe ser igual a la mitad del ángulo en el centro, o sea, en este caso, a 30° . En efecto, la suma de todos los ángulos tangenciales será, en el ejemplo anterior, $0^\circ 20' 24'' + 29 \times 1^\circ + 0^\circ 39' 36'' = 30^\circ$.

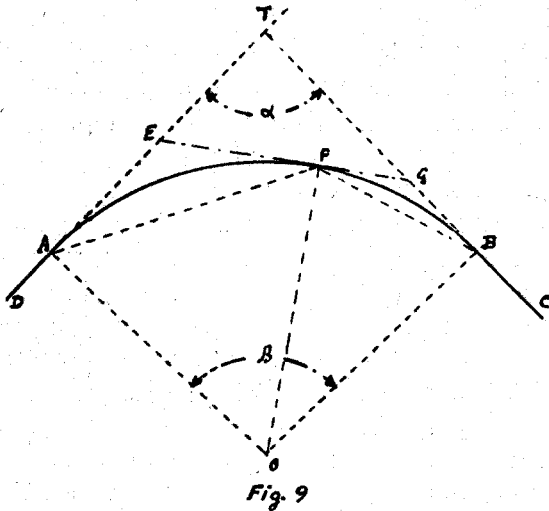
Al trazar la curva sobre el terreno pueden presentarse varios casos. El punto de intersección *T* de las alineaciones puede ser accesible o inaccesible. En cualquiera de los dos casos, la posición de los puntos de tangencia, o principio y fin de la curva, se determina por los procedimientos conocidos. Una vez determinados sobre el terreno los puntos de tangencia, se puede hallar la posición del punto medio de la curva. En la determinación de los puntos intermedios por el procedimiento de los ángulos tangenciales hay que distinguir dos casos: que desde uno de los puntos de tangencia puedan verse todos los demás puntos de la curva; y que desde cada uno de los puntos de tangencia no puedan verse más que algunos otros puntos. En el primer caso no hay más que hacer estación con el aparato en

el punto de tangencia origen de la curva y dirigir la visual según la tangente o prolongación de la alineación recta. Al ángulo que se lea en el limbo horizontal del aparato, si no se han ajustado los nonios a cero, se le suma el ángulo tangencial que se haya calculado para determinar la dirección de la primera cuerda. Se hace girar el aparato hasta que se lea en el limbo horizontal esta suma, y midiendo en esta dirección la longitud de la primera cuerda se tendrá un punto de la curva en el que se hincará un piquete. Para determinar el segundo punto, se suma al ángulo que marca el aparato la mitad del grado de la curva y se hace girar el aparato hasta obtener en él la lectura correspondiente a este ángulo. Se coloca el cero de la cinta en el piquete que se ha hincado anteriormente y se mueve el extremo correspondiente a los 20 m., hasta que dicho extremo se encuentre en la visual, lo que nos dará el segundo punto que buscamos. Si el trazado se está haciendo con cuerdas de 10 a 5 metros, al ángulo tangencial formado primeramente se le sumará la cuarta o la octava parte del grado de la curva, respectivamente. La situación de los demás puntos se determina de la misma manera, hasta llegar al segundo punto de tangencia o fin de la curva.

Como la determinación de cada punto depende de la posición que tenga el punto anterior, se comprende la necesidad que hay de hacer todas las operaciones descritas con la mayor exactitud posible, nivelando bien el aparato, haciendo el ajuste de las lecturas de los ángulos con la mayor precisión y comprobando la posición de cada piquete antes de proceder a la colocación del siguiente. Aun con todas estas precauciones, es notable la rapidez con que se puede replantear una curva por este procedimiento.

Cuando no puedan verse todos los puntos desde uno u otro punto de tangencia, se determinan primero las posiciones de todos aquellos puntos que puedan verse desde el origen de la curva siguiendo el procedimiento que se acaba de explicar. Hecho esto, se traslada el aparato al último punto que se haya determinado y se procede a fijar las posiciones de los demás puntos desde éste. Supongamos que F (fig. 9) es el último punto cuya posición se ha podido determinar desde el origen A de la curva. Se traslada el aparato a F , que estará señalado por un piquete que tenga un clavillo o tachuela en su cabeza, y después de situarlo en estación, se hace que el nonio del limbo horizontal marque *hacia la izquierda* un ángulo igual al $T A F$, que es el ángulo tangencial que se formó en A para determinar la posición de F . Se fijan los platillos en esta posición y se dirige una visual al punto A y se aprieta el tornillo del movi-

miento general del aparato. Se afloja entonces el tornillo del platillo de los nonios y se hace girar el anteojo hasta que los nonios den la lectura 0° . El eje óptico del anteojo estará entonces en la direc-

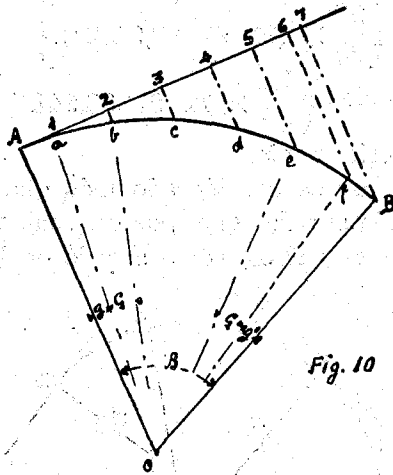


ción de la recta EG , tangente a la curva circular en el punto F , puesto que los ángulos EAF y EFA son iguales. Invertiendo el anteojo, la visual quedará dirigida hacia G , y ya no hay más que formar el ángulo tangencial que corresponda a cada uno de los puntos de la curva para determinar sus posiciones. Esta operación de trasladar el aparato de una estación a otra puede repetirse todas las veces que sea necesario.

En vez de dirigir la visual de F a A con el limbo horizontal dispuesto de manera que la lectura del ángulo sea igual a la correspondiente al último ángulo tangencial formado en A y luego llevar los nonios a 0° para que el eje óptico del aparato quede en la dirección de la tangente a la curva en el punto F , se puede proceder de un modo inverso y dirigir la visual de F a A con los nonios marcando 0° y formar después con esta dirección un ángulo igual al último ángulo tangencial formado en A para determinar el punto F , con lo que también se tendrá la dirección de la tangente a la curva en este último punto.

Cuando se está aplicando el procedimiento de los ángulos tangenciales al replanteo de una curva, puede ser conveniente determinar la posición de alguno o algunos de sus puntos por medio de las coordenadas rectangulares. Conocido el grado de una curva, es fácil de-

terminar en función de él estas coordenadas. Sea AB (fig. 10) una curva de grado G , y sean a, b, c , etc., los puntos en que hay que hincar los piquetes principales, y para mayor generalidad supondremos



que las cuerdas Aa y fB son menores que 20 m. Calcularemos los valores de g y g' correspondientes a estas dos cuerdas. Si tomamos por eje de las abscisas la tangente a la curva en A y por eje de las ordenadas el radio en el mismo punto, los valores de las abscisas son:

$$A 1 = R \operatorname{sen.} g.$$

$$A 2 = R \operatorname{sen.} (g + G).$$

$$A 3 = R \operatorname{sen.} (g + 2G).$$

$$A 7 = R \operatorname{sen.} (g + 5G + g') = R \operatorname{sen.} \beta,$$

siendo β el ángulo en el centro que determina la amplitud de la curva.

Los valores de las ordenadas son:

$$1 a = R (1 - \cos. g).$$

$$2 b = R [1 - \cos. (g + G)].$$

$$3 c = R [1 - \cos. (g + 2G)].$$

$$7 B = R [1 - \cos. (g + 5G + g')] = R (1 - \cos. \beta).$$

Para un punto cualquiera situado a la distancia l del origen de la curva se tiene que

$$x = R \operatorname{sen.} \frac{lG}{20}$$

$$y = R \left(1 - \cos. \frac{lG}{20} \right)$$

Aplicando estas fórmulas a la determinación de las coordenadas de un punto situado a 50 m. del origen de una curva circular de 100 metros de radio, y teniendo en cuenta que $G = 11,459152^\circ = 11^\circ 27' 32,9472''$, resulta

$$x = 100 \times \text{sen.} \left[\frac{50}{20} \times (11^\circ 27' 32,9472'') \right] = 47,94 \text{ m.}$$

$$y = 100 \times \left[1 - \text{cos.} \left(\frac{50}{20} \times 11^\circ 27' 32,9472'' \right) \right] = 12,24 \text{ m.}$$

como se obtuvo anteriormente.

Hasta ahora no hemos considerado más que una curva de un solo radio, pero puede suceder que, por conveniencia del trazado, la curva tenga dos o más radios, como sucede en la de la figura 11,

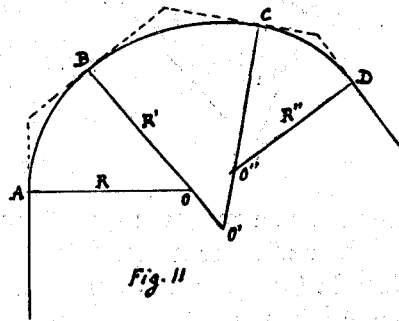


Fig. 11

que tiene tres radios, R , R' y R'' , y, por consiguiente, tres grados de curvatura, G , G' y G'' .

Para el replanteo de estas curvas se seguirá el primer procedimiento que se ha explicado para cuando no son visibles todos los puntos desde el origen de una curva. Para esto se calcularán primero los ángulos tangenciales necesarios para el trazado de la porción AB . La última cuerda tendrá una longitud igual o menor que la de la cuerda normal que se emplee para el trazado. Después se calcularán los ángulos tangenciales que hay que formar con la tangente común en B a los arcos AB y BC para trazar esta segunda porción de la curva, y lo mismo se hará para las porciones siguientes. Después de determinadas las posiciones de los piquetes de la curva AB se lleva el aparato a B y haciendo que el nonio del limbo horizontal marque hacia la izquierda el ángulo tangencial que se formó en A para determinar B , se dirige una visual a A y se fija el tornillo del movimiento general del aparato. Se hace girar después el anteojo hasta que la lectura en el limbo horizontal sea 0° , con lo que el eje óptico del anteojo quedará en la dirección de la tangente en B . Se

invierte el anteojo y se procede a fijar las posiciones de los puntos del arco BC por medio de los ángulos tangenciales que se han calculado. Terminado el trazado de BC , se lleva el aparato a C , donde se repiten las operaciones para trazar CD .

Las coordenadas de la curva se pueden determinar con relación al sistema de ejes formado por la prolongación de la primera alineación recta, o sea, la tangente a la curva en su origen, y la perpendicular a ella en dicho punto. Sea (fig. 12) una curva AC for-

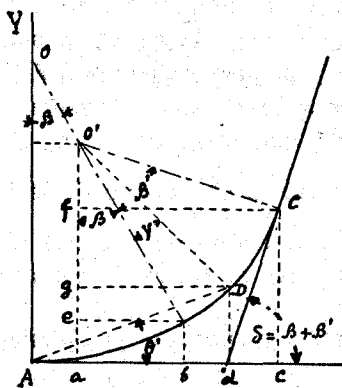


Fig. 12

mada por otras dos AB y BC de radios R y R' respectivamente, y llamemos β el ángulo en el centro correspondiente a la primera porción. Las coordenadas de ésta se determinarán por las fórmulas que se han dado anteriormente, y las del punto B de unión de las dos porciones serán:

$$X = R \operatorname{sen.} \beta \text{ e } Y = R (1 - \operatorname{cos.} \beta)$$

Las coordenadas de un punto cualquiera D de la segunda curva serán:

$$x' = Ad = Ab + bd = X + bd \text{ e } y' = Dd = ae + eg = Y + eg.$$

Si llamamos γ el ángulo que determina la amplitud del arco BD , tendremos $bd = ad - ab = R' \operatorname{sen.} (\beta + \gamma) - R \operatorname{sen.} \beta$, y como $X = R \operatorname{sen.} \beta$, $x' = R \operatorname{sen.} \beta - R' \operatorname{sen.} \beta + R' \operatorname{sen.} (\beta + \gamma) = (R - R') \operatorname{sen.} \beta + R' \operatorname{sen.} (\beta + \gamma)$.

Por otra parte, $eg = O'e - O'g = R' \operatorname{cos.} \beta - R' \operatorname{cos.} (\beta + \gamma)$, y como $Y = R (1 - \operatorname{cos.} \beta)$, $y' = R - R \operatorname{cos.} \beta + R' \operatorname{cos.} \beta - R' \operatorname{cos.} (\beta + \gamma) = R - (R - R') \operatorname{cos.} \beta - R' \operatorname{cos.} (\beta + \gamma)$.

La ecuación de la primera porción de la curva sabemos que es:

$$x^2 + y^2 - 2Ry = 0$$

y la de la segunda

$$(x' - a)^2 + (y' - b)^2 - R^2 = 0$$

en la que $a = X - R' \text{ sen. } \beta$ y $b = Y + R' \text{ cos. } \beta$, o $a = R \text{ sen. } \beta - R' \text{ sen. } \beta = (R - R') \text{ sen. } \beta$ y $b = R - R \text{ cos. } \beta + R' \text{ cos. } \beta = R - (R - R') \text{ cos. } \beta$, son las coordenadas del centro O' .

En general, estas ecuaciones resultan muy complicadas, y es preferible referir cada porción de la curva al sistema formado por la tangente en su origen y la perpendicular a ésta en el mismo punto.

Conocidos los valores de x' e y' , se pueden determinar los de los ángulos tangenciales θ' , que forman las visuales a los puntos de la segunda porción de la curva por medio de la relación $\text{tg. } \theta = \frac{y'}{x'}$, pero resulta preferible trasladar al aparato al punto B y hacer el replanteo de la manera que se ha explicado antes.

Curvas parabólicas y espirales.

Mientras que la circulación por una vía de comunicación se haga a una velocidad moderada, la sección transversal de la vía en curva no tiene que modificarse y puede seguir siendo la misma que tiene en las alineaciones rectas; pero desde el momento en que la velocidad aumenta, no hay más remedio que modificar la sección transversal en las curvas con el fin de combatir los efectos de la fuerza centrífuga y demás fuerzas horizontales aplicadas a los vehículos. Esto se consigue, como bien se sabe, por medio del peralte, o sea, dando una inclinación al perfil transversal de la carretera, de manera que la parte de ésta más alejada del centro de la curva resulte más elevada que la que está más próxima a dicho centro. Cualquiera que sea la fórmula que se adopte para calcular el peralte, que debe tener una curva, dicho peralte es siempre inversamente proporcional al radio o directamente proporcional a la curvatura. Como en una curva circular el radio es constante, resulta que el peralte en toda ella ha de ser uniforme y el que convenga, no solamente al radio, sino también a la velocidad máxima de los vehículos que hayan de utilizar la vía de comunicación. Se ve, por tanto, que al pasar de una alineación recta a una alineación curva, el perfil transversal del camino tiene que pasar de ser horizontal a tener una inclinación dada, y no puede enlazarse directamente la recta con la

curva circular sin que se produzca un resalto, cuya altura depende del valor que tenga el peralte y de la manera de obtener éste, pudiendo variar entre $\frac{1}{2} p$ en cada extremo del perfil transversal y p en uno de los extremos, siendo p el valor que se haya calculado para el peralte. En cuanto el peralte adquiere un valor de alguna importancia, ya no es posible enlazar directamente la alineación recta con la curva circular, y no hay más remedio que intercalar entre las dos otra curva que permita obtener la elevación de la parte exterior de la curva de una manera gradual y uniforme, de manera que pase desde un valor igual a cero, en el arranque de la curva, hasta un valor igual a p en el punto de unión con la curva circular. Siendo el peralte inversamente proporcional al radio de la curva, la proyección horizontal de la alineación que sirve para enlazar la parte en recta con la curva circular tiene que ser, teóricamente, una curva cuyo radio de curvatura vaya decreciendo desde un valor infinito en el origen, o punto de unión con la alineación recta, hasta un valor igual al del radio de la curva circular en su punto de unión con ésta. Además, para que la desviación se obtenga de una manera suave, que haga que los choques se reduzcan a un mínimo, especialmente en las vías férreas, la curva de que se trata debe ser tangente a la recta en su origen y a la curva circular en su final. Estas curvas, que sirven para unir las alineaciones rectas con las curvas circulares, se llaman *curvas de transición*.

Mientras que la circulación por las carreteras estaba limitada a los vehículos de tracción animal, estas curvas de transición se aplicaban exclusivamente a los ferrocarriles, puesto que las velocidades de aquellos vehículos eran tan limitadas que las curvas circulares, aun las de radios pequeños, respondían perfectamente a todas las necesidades. Con la introducción de la tracción mecánica, las velocidades en las carreteras se han desarrollado en tal forma que en muchos casos sobrepasan a las de los trenes, y han hecho necesario modificar las curvas, dándolas el peralte necesario para evitar accidentes fatales. Un coche automóvil tiene una libertad de movimientos de que carece un coche de ferrocarril, que va constantemente guiado por los carriles y, por tanto, la curva de transición correspondiente a una carretera no tiene que trazarse con la exactitud que exige el trazado de una de vía férrea; pero si se tiene en cuenta que en las pistas especiales para automóviles, o autovías, suele haber pistas diferentes para coches rápidos o ligeros y coches lentos o pesados, y de ida y regreso, con lo que se limita mucho el ancho que

corresponde a cada clase, y si se considera que la introducción de las curvas de transición no representará más aumento de gasto que el que resulta del tiempo que se invierte en el gabinete en estudiarlas y calcular sus elementos, puesto que su replanteo sobre el terreno, como se verá más adelante, se hace con la misma facilidad que el de una circular, no se ve qué razón puede haber para no aplicar estas curvas a las vías de comunicación ordinarias, de la misma manera que se hace para las vías férreas bien construídas.

Si llamamos R el radio de la curva circular que hay que enlazar con una alineación recta, L la longitud total de la curva de transición que se va a intercalar entre las alineaciones recta y curva, y ρ_1 el radio de curvatura de esta curva en un punto situado a la unidad de distancia del origen o punto de tangencia con la alineación recta, como, según la definición, los radios de curvatura son inversamente proporcionales a las distancias al origen o punto de tangencia con la alineación recta, tiene que verificarse que $\frac{R}{\rho_1} = \frac{1}{L}$, de donde $\rho_1 = R L$, es decir, que *el radio de curvatura de una curva de transición en el punto situado a la unidad de distancia del punto de tangencia con la alineación recta es igual al producto del radio de la curva circular por la longitud total de la curva de transición*. A este radio de curvatura le llamaremos *radio de curvatura unidad*, o simplemente *radio unidad* de la curva de transición.

Para otro punto cualquiera situado a la distancia l del origen en que el radio de curvatura es ρ_l , tendremos que $\frac{\rho_l}{\rho_1} = \frac{1}{l}$, de donde $\rho_l = \frac{\rho_1}{l}$, es decir, que *el radio de curvatura de una curva de transición en un punto situado a la distancia l del origen es igual al radio unidad de la curva dividido por la distancia que hay entre el punto que se considera y el origen de la curva, medida según ésta*.

Sea OA (fig. 13) una curva de transición que enlaza la alineación recta OX' con la curva circular AB de radio $CA = R$. El ángulo δ , que la tangente en un punto cualquiera D de la curva forma con el eje de las abscisas, sabemos que es igual a la suma de los ángulos que forman entre sí los radios de curvatura consecutivos desde el origen hasta el punto considerado. Si designamos por dl la longitud de un elemento de curva, y por $d\delta$ el incremento del ángulo que forma la tangente, sabemos que el valor del radio de curvatura en un punto cualquiera tiene por expresión $\rho_l = \frac{dl}{d\delta}$,

de donde $d\delta = \frac{dl}{\rho_l}$. Sustituyendo en vez de ρ_l su valor en función del radio unidad, se tiene que $d\delta = \frac{l dl}{\rho_1}$, que integrada da para

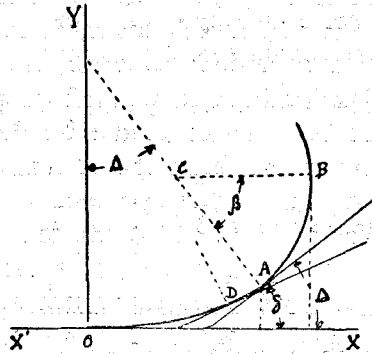


Fig. 13

el ángulo que la tangente en un punto situado a la distancia l del origen forma con el eje de las abscisas el valor $\delta = \frac{l^2}{2\rho_1}$. Si queremos que el valor de δ esté expresado en grados sexagesimales, habrá que multiplicar la expresión anterior por la relación $\frac{180}{\pi} = 57,3$, y si se quiere expresarlo en grados centesimales se multiplicará por la relación $\frac{200}{\pi} = 63,66$, con lo que se tendrá $\delta = 28,65 \frac{l^2}{\rho_1}$ en grados sexagesimales y $\delta = 31,83 \frac{l^2}{\rho_1}$ en grados centesimales. El valor del ángulo Δ que forma la tangente común a las curvas de transición y circular con el eje de las abscisas, que es igual al ángulo formado por el radio en el punto de contacto de las dos curvas con el eje de las ordenadas, tiene por expresión general $\Delta = \frac{L^2}{2\rho_1}$ y $\Delta = 28,65 \frac{L^2}{\rho_1}$ en grados sexagesimales y $\Delta = 31,83 \frac{L^2}{\rho_1}$ en grados centesimales. Este ángulo es el que mide la desviación total que se obtiene con la curva de transición.

Para determinar las coordenadas de la curva de que se trata, referidas a dos ejes rectangulares que, como en el caso de las curvas

circulares, son la prolongación de la alineación recta, o sea, la tangente a la curva en su origen, para las abscisas, y la normal en dicho punto para las ordenadas, tenemos (fig. 13) que $\frac{dy}{dl} = \text{sen. } \delta$ y $\frac{dx}{dl} = \text{cos. } \delta$, de donde $dy = dl \text{ sen. } \delta$ y $dx = dl \text{ cos. } \delta$.

Desarrollando en serie en estas dos expresiones por la fórmula de Mac Laurin los valores de $\text{sen. } \delta$ y de $\text{cos. } \delta$, y sustituyendo en vez de δ su valor hallado anteriormente, $\frac{l^2}{2 \rho_1}$, se tienen las dos expresiones siguientes:

$$\begin{aligned} dy &= dl \text{ sen. } \delta = dl \left(\delta - \frac{\delta^3}{3} + \frac{\delta^5}{5} - \dots \right) = \\ &= dl \left(\frac{l^2}{2 \rho_1} - \frac{l^6}{3 \times 8 \times \rho_1^3} + \frac{l^{10}}{5 \times 32 \times \rho_1^5} - \dots \right) \\ dx &= dl \text{ cos. } \delta = dl \left(1 - \frac{\delta^2}{2} + \frac{\delta^4}{4} - \dots \right) = \\ &= dl \left(1 - \frac{l^4}{2 \times 4 \times \rho_1^2} + \frac{l^8}{4 \times 16 \times \rho_1^4} - \dots \right) \end{aligned}$$

Si consideramos solamente los dos primeros términos de estas series y efectuamos las operaciones indicadas, resulta:

$$dy = \frac{l^2 dl}{2 \rho_1} - \frac{l^6 dl}{48 \rho_1^3} \quad \text{y} \quad dx = dl - \frac{l^4 dl}{8 \rho_1^2}$$

que integradas dan:

$$\begin{aligned} y &= \frac{l^3}{6 \rho_1} - \frac{l^7}{336 \rho_1^3} = 0,167 \frac{l^3}{\rho_1} - 0,003 \frac{l^7}{\rho_1^3} \\ x &= l - \frac{l^5}{40 \rho_1^2} = l - 0,025 \frac{l^5}{\rho_1^2} \end{aligned}$$

Si nos limitamos a considerar los primeros términos de los segundos miembros de estos valores de y y x , se obtiene la ecuación de una parábola cúbica, análoga a la empleada para la curva de transición según el método de Nordling; pero dicha parábola tiene el inconveniente de que se supone $x = l$, lo que, si bien no es un inconveniente cuando la curva de enlace es de pequeña longitud, lo es grande cuando, como es más frecuente que suceda, hay que emplear curvas de bastante desarrollo.

De los valores hallados anteriormente para x e y podría hallarse la ecuación de la curva $y = f(x)$, despejando el valor de l en la fórmula de la abscisa y sustituyendo el valor así obtenido en la de la ordenada; pero esto no es necesario, porque para el trazado de la curva por coordenadas en el terreno resulta más conveniente conocer los valores de dichas coordenadas para puntos determinados de la curva.

Si planteáramos la ecuación de la curva, podríamos deducir de ella las coordenadas del centro de la curva circular, pero también se pueden deducir por las consideraciones siguientes:

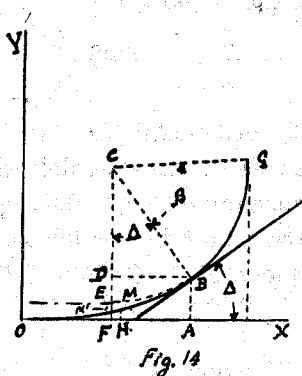


Fig. 14

Sea BG (fig. 14) una curva circular que se enlaza con una alineación recta por medio de una curva de transición OB , de longitud L . El ángulo que la tangente común a las dos curvas forma con el eje de las abscisas, sabemos que es $\Delta = \frac{L^2}{2\rho_1}$, siendo $\rho_1 = RL$ el radio de curvatura unidad de la curva OB , por lo que $R = \frac{\rho_1}{L}$. La ordenada del centro C de la curva circular es $CF = CD + DF = R \cos. \Delta + y = \frac{\rho_1}{L} \cos. \Delta + y$. Desarrollando en serie el valor de $\cos. \Delta$ se tiene que el término

$$\frac{\rho_1}{L} \cos. \Delta = \frac{\rho_1}{L} \left(1 - \frac{L^4}{8\rho_1} \right) = \frac{\rho_1}{L} - \frac{L^3}{8\rho_1} = \frac{\rho_1}{L} - 0,125 \frac{L^3}{\rho_1}$$

En este caso, $y = 0,167 \frac{L^3}{\rho_1} - 0,003 \frac{L}{\rho_1^3}$ luego $CF = b = \frac{\rho_1}{L} -$

$$-0,125 \frac{L^3}{\rho_1} + 0,167 \frac{L^3}{\rho_1} - 0,003 \frac{L^7}{\rho_1^3} = \frac{\rho_1}{L} + 0,042 \frac{L^3}{\rho_1^3} - 0,003 \frac{L^7}{\rho_1^3}$$

La abscisa $OF = a$ del centro C (fig. 14), es $a = OA - FA = x - R \operatorname{sen.} \Delta = x - \frac{\rho_1}{L} \operatorname{sen.} \Delta$. En esta ecuación tenemos que $x = L - 0,025 \frac{L^5}{\rho_1^2}$ y

$$\frac{\rho_1}{L} \operatorname{sen.} \Delta = \frac{\rho_1}{L} \left(\frac{L^2}{2 \rho_1} - \frac{L^6}{48 \rho_1^3} \right) = \frac{L}{2} - \frac{L^5}{48 \rho_1^2}, \text{ luego}$$

$$a = L - 0,025 \frac{L^5}{\rho_1^2} - \frac{L}{2} + 0,0208 \frac{L^5}{\rho_1^2} = \frac{L}{2} - 0,0042 \frac{L^5}{\rho_1^2}$$

Para determinar la ordenada $EF = D$ del punto en que la curva circular es tangente a una paralela a la alineación recta, y que representa el desplazamiento que hay que dar a la alineación recta, o a la curva, para poder intercalar la curva de transición, se observa en la figura que $EF = CF - CE = b - R$, y sustituyendo valores

$$D = \frac{\rho_1}{L} + 0,042 \frac{L^3}{\rho_1} - 0,003 \frac{L^7}{\rho_1^3} - \frac{\rho_1}{L} = 0,042 \frac{L^3}{\rho_1} - 0,003 \frac{L^7}{\rho_1^3}$$

y teniendo en cuenta que por ser ρ_1 muy grande, el segundo término es muy pequeño, se puede considerar que $D = 0,042 \frac{L^3}{\rho_1}$

Si M es el punto medio de la curva de transición, es decir, si $OM = \frac{1}{2} L$, la diferencia entre OM y $OF = a$, o sea, la cantidad que hay que restar de la mitad de la longitud de la curva de transición para obtener la abscisa del centro de la curva circular y del punto de tangencia de ésta con la alineación recta primitiva o con una paralela a la misma, según el caso, es

$$r = \frac{1}{2} L - \frac{1}{2} L + 0,0042 \frac{L^5}{\rho_1^2} = 0,0042 \frac{L^5}{\rho_1^2}$$

Por lo anteriormente expuesto se ve cuán fácil es calcular los elementos necesarios para replantear sobre el terreno una curva de transición por medio de sus coordenadas rectangulares; pero si queremos seguir para dicho replanteo un procedimiento parecido

al de los ángulos tangenciales que se ha explicado para las curvas circulares, conviene modificar estas fórmulas para que los valores de los elementos necesarios para el replanteo resulten en función del grado de curvatura en vez de estarlo en función del radio de curvatura.

Sea G el grado de curvatura de la curva circular que hay que enlazar con una alineación recta por medio de una curva de transición de longitud L . Ya sabemos que el grado G es el ángulo en el centro que determina en la curva circular un arco de 20 m. de desarrollo y que, conocido el radio, se puede calcular por medio de la fórmula $G = \frac{1145,9152}{R}$, en el sistema sexagesimal. Todo lo

que digamos respecto a este sistema es aplicable al centesimal, introduciendo las modificaciones necesarias en las cifras. En vez de considerar como unidad de longitud el metro, consideraremos que dicha unidad de longitud es igual a 20 metros, y llamaremos a esta unidad *estación*. Si la longitud total de la curva de transición es igual a L metros, su longitud en estaciones será $E = L : 20$. Como, según la definición de la curva de transición, la curvatura es proporcional a la distancia al origen, y esta curvatura varía de cero

a $\frac{1}{R}$, se tiene que verificar que $\frac{G}{g_1} = \frac{1}{E}$, de donde $G = g_1 E$ y

$g_1 = \frac{G}{E}$, siendo G el grado de la curva circular, g_1 el grado de la

curva de transición en un punto situado a la distancia de una estación, o sea, 20 metros del origen de la curva, y E la longitud total de dicha curva, expresada en estaciones. En un punto cualquiera de la curva de transición que esté a una distancia igual a e estaciones del origen, el grado de curvatura será $g_e = g_1 e$. Al grado de curvatura de la curva de transición en el punto situado a 20 metros del origen de la curva le llamaremos *grado unidad*, y su valor se halla dividiendo el grado de la curva circular por la longitud de la curva de transición, expresada en estaciones. Para hallar el grado de curvatura de la curva de transición en un punto cualquiera no hay más que multiplicar el valor del grado unidad por la distancia entre el punto dado y el origen, expresada en estaciones. Sustituyendo en la fórmula del grado unidad el grado de la

curva circular por su valor $\frac{1145,9152}{R}$, se tendrá $g_1 = \frac{1145,9152}{ER}$

y como $ER = \rho_1$, llamando ahora ρ_1 el radio de curvatura en el

punto en que el grado de curvatura es g_1 , se tiene $g_1 = \frac{1145,9152}{\rho_1}$

y $\rho_1 = \frac{1145,9152}{g_1}$. Por lo expuesto anteriormente sabemos que

$\rho_e = \frac{\rho_1}{e}$, puesto que ahora tomamos como unidad de longitud la distancia entre dos estaciones consecutivas, y si sustituimos ρ_1 por su valor en función de g_1 , resulta $\rho_e = \frac{1145,9152}{g_1 e}$. Sabemos que

la expresión general del radio de curvatura de una curva es $\frac{de}{d\delta}$,

luego $\frac{de}{d\delta} = \frac{1145,9152}{g_1 e^2}$, de donde $d\delta = \frac{g_1 e de}{1145,9152}$, e integran-

do $\delta = \frac{g_1 e^2}{2 \times 1145,9152} = \frac{g_1 e^2}{3291,8304}$. Para obtener el valor de δ en

grados sexagesimales habrá que multiplicar la expresión anterior por la relación $\frac{180 \times 20}{\pi} = 1145,9152$, con lo que $\delta = \frac{1}{2} g_1 e^2$.

Haciendo las mismas consideraciones cuando el grado de curvatura se expresa en grados centesimales, se llega a una fórmula idéntica que la anterior en la que g_1 estará expresado en grados de ese sistema. El valor del ángulo formado por la tangente común a las curvas circular y de transición en su punto de unión, o sea, el ángulo que determina la desviación total de la curva de transición,

será $\Delta = \frac{1}{2} g_1 E^2$

Si en las expresiones $dy = de \operatorname{sen.} \delta = de \left(\delta - \frac{\delta^3}{3} \right)$ y $dx = de \cos. \delta = de \left(1 - \frac{\delta^2}{2} \right)$ sustituimos δ por su valor $\delta = \frac{1}{2} g_1 e^2$ multiplicado por $\frac{\pi}{180} = 0,017453$, con el fin de que g_1 esté expresado en unidades lineales en vez de estarlo en grados, se obtendrán las dos ecuaciones:

$$dy = de \left(0,0087265 g_1 e^2 - \frac{0,0087265^3 g_1^3 e^6}{3} \right) =$$

$$= 0,0087265 g_1 e^2 de - \frac{0,0087265^3 g_1^3 e^6}{6} de$$

$$y \quad dx = de \left(1 - \frac{0,0087265^2 g_1^2 e^4}{2} \right) = de - \frac{0,0087265^2 g_1^2 e^4}{2} de,$$

que integradas dan:

$$y = \frac{0,0087265 g_1 e^3}{3} - \frac{0,0087265^3 g_1^3 e^7}{7 \times 6} =$$

$$= 0,00291 g_1 e^3 - \frac{0,0087265^3 g_1^3 e^7}{42}$$

$$x = e - \frac{0,0087265^2 g_1^2 e^5}{10} = e - 0,00007625 g_1^2 e^5$$

Como estas dos fórmulas dan los valores de x e y expresados en estaciones, y cada estación tiene 20 m. de longitud, los valores de dichas coordenadas, expresados en metros, serán:

$$y = 0,0582 g_1 e^3 - g_1^3 K \quad y \quad x = l - 0,0001525 g_1^2 e^5$$

en las que

$$K = \frac{0,0087265^3 e^7}{2,1} \quad y \quad l = 20 e.$$

A continuación se da una tabla de los valores de K para diferentes valores de e , pudiendo interpolarse en dicha tabla para hallar valores intermedios:

e	K	e	K	e	K
3,0	0,0006919	5,5	0,048166	8,0	0,66349
3,5	0,0020355	6,0	0,088565	8,5	1,01422
4,0	0,0051835	6,5	0,15509	9,0	1,5132
4,5	0,011821	7,0	0,26054	9,5	2,2093
5,0	0,024717	7,5	0,42231	10,0	3,1638

Por medio de los mismos razonamientos que se han hecho anteriormente para hallar las coordenadas del centro de la curva circular cuando las coordenadas de la curva se dan en función del radio de curvatura, se demuestra fácilmente, cuando dichas coordenadas se dan en función del grado unidad que

$$D = 0,0145418 g_1 E^3$$

y

$$r = 0,0000254 g_1^2 E^5$$

en las que D y r están expresados en metros.

Con esto se tienen todos los elementos necesarios para replantear una curva de transición por medio de sus coordenadas rectangulares referidas a la tangente y a la normal en el origen de la curva. Para el replanteo por medio de los ángulos tangenciales es necesario conocer el ángulo θ , que la visual dirigida desde el origen a cada punto forma con la tangente en el origen.

En la figura 15 se ve que $\text{tg. } \theta = \frac{BA}{OA} = \frac{y}{x}$, por tanto, $\theta = \arcsin \left(\text{tg. } = \frac{y}{x} \right)$. Para obtener el valor de la tangente trigonométrica del ángulo no hay más que dividir cualquiera de los valores

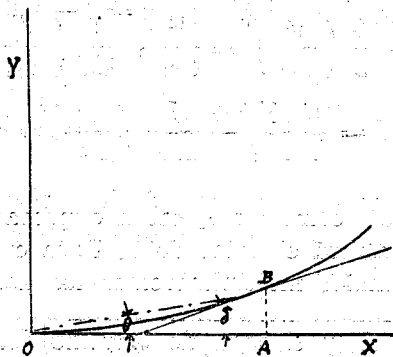


Fig. 15

que se han obtenido para y por el correspondiente de x . Consideremos el valor $y = \frac{l^3}{6 \rho_1} - \frac{l^7}{336 \rho_1^3}$ y el correspondiente $x = l - \frac{l^5}{40 \rho_1^2}$. Efectuando la división y despreciando los términos en que ρ_1 entre en el dominador con un exponente superior a 3, se obtiene para la tangente el siguiente valor:

$$\text{tg. } \theta = \frac{\frac{l^3}{6 \rho_1} - \frac{l^7}{336 \rho_1^3}}{l - \frac{l^5}{40 \rho_1^2}} = \frac{l^2}{6 \rho_1} + \frac{l^6}{840 \rho_1^3}$$

La expresión $\theta = \arcsin \left(\text{tg. } = \frac{y}{x} \right)$ desarrollada en serie por la fórmula de Mac Laurin adquiere la forma

$$\theta = \frac{y}{x} - \frac{1}{3} \left(\frac{y}{x} \right)^3 + \frac{1}{5} \left(\frac{y}{x} \right)^5 - \frac{1}{7} \left(\frac{y}{x} \right)^7 + \dots$$

de la cual no tomaremos más que los dos primeros términos, porque los demás contendrán en el denominador el valor de ρ_1 elevado a una potencia superior a la tercera. Sustituyendo el valor hallado para $\frac{y}{x}$, se tiene:

$$\theta = \left(\frac{l^2}{6\rho_1} + \frac{l^6}{840\rho_1^3} \right) - \frac{1}{3} \left(\frac{l^2}{6\rho_1} + \frac{l^6}{840\rho_1^3} \right)^3$$

y suprimiendo los términos en que entra ρ_1 en el denominador con un exponente superior a 3, queda reducida esta igualdad a la siguiente:

$$\begin{aligned} \theta &= \frac{l^2}{6\rho_1} + \frac{l^6}{840\rho_1^3} - \frac{1}{3} \left(\frac{l^2}{6\rho_1} \right)^3 = \frac{l^2}{6\rho_1} + \frac{1}{105} \left(\frac{l^2}{2\rho_1} \right)^3 - \frac{1}{81} \left(\frac{l^2}{2\rho_1} \right)^3 = \\ &= \frac{1}{3} \frac{l^2}{2\rho_1} - \frac{8}{2835} \left(\frac{l^2}{2\rho_1} \right)^3 \end{aligned}$$

En esta expresión, como l y ρ_1 están expresados en unidades lineales, también lo estará el valor de θ . Para expresar este ángulo en grados sexagesimales multiplicaremos los dos miembros por la relación $\frac{180}{\pi} = 57,3$, y el segundo término del segundo miembro lo multiplicaremos y dividiremos por $57,3^3$, con lo que dicha igualdad adquirirá la siguiente forma:

$$\theta = \frac{1}{3} \times 28,65 \times \frac{l^2}{\rho_1} - \frac{8}{2835 \times 57,3^3} \left(28,65 \times \frac{l^2}{\rho_1} \right)^3$$

y, como $28,65 \times \frac{l^2}{\rho_1} = \delta$, se tiene en definitiva que

$$\theta = \frac{1}{3} \delta - 0,000000859 \delta^3$$

Cuando δ es inferior a 9° , el segundo término del segundo miembro es muy pequeño, y para todos los fines prácticos puede considerarse que el ángulo tangencial que hay que formar en el origen de la curva para determinar la posición de un punto es igual a la tercera parte del ángulo que la tangente en dicho punto forma con el eje de las abscisas, o, lo que es igual, a la tercera parte del ángulo de desviación de la curva en este punto. Cuando el valor de δ es superior a 9° , el valor de θ se puede calcular directamente por

medio de la fórmula o con el auxilio de la siguiente tabla por interpolación:

$\frac{1}{3} \delta$	Angulo que hay que deducir para obtener θ	$\frac{1}{3} \delta$	Angulo que hay que deducir para obtener θ
3°	0' 2"	8°	0' 43"
4°	0' 5"	9°	1' 0"
5°	0' 10"	10°	1' 24"
6°	0' 18"	11°	1' 51"
7°	0' 29"	12°	2' 24"

El primer problema que se presenta al tratar de enlazar una alineación recta con una curva circular por medio de una curva de transición es determinar la longitud más conveniente para dicha curva de transición. No puede darse una regla general para esto, pero sí parece que la longitud más conveniente en cada caso es aquella para la cual el tiempo invertido por las ruedas exteriores de los vehículos, que circulen por la vía a una velocidad dada, en alcanzar la altura máxima correspondiente al peralte, sea el mismo que en las demás curvas del trazado; esto es, que la altura alcanzada por las ruedas exteriores en la unidad de tiempo sea constante para todas las curvas de transición del trazado. Si T es el tiempo en horas que un vehículo tarda en recorrer toda la curva de transición, su valor se puede determinar por medio de la fórmula

$$T = \frac{L}{1000 V} = \frac{E}{50 V}$$

en la que L es la longitud de la curva de transición en metros, E la misma longitud en estaciones y V la velocidad de los vehículos o de los trenes en kilómetros por hora. Este tiempo T es el que tardan las ruedas exteriores en alcanzar la altura total del peralte p , luego la altura que alcanzarán dichas ruedas en la unidad de tiempo será

$h = \frac{p}{T}$. La expresión general del peralte es $p = N \frac{V^2}{R}$, siendo N una constante y R el radio de la curva circular. Si en esta fórmula sustituimos R por su valor $\frac{e_1}{L}$, cuando la curva de transición se

define por su radio de curvatura unidad y la longitud se da en metros, o por $\frac{1145,9152}{E g_1}$, cuando se la define por su grado de curvatura unidad y la longitud se expresa en estaciones, se obtienen para p los valores $p = N \frac{V^2 L}{\rho_1}$ y $p = N' g_1 E V^2$. Sustituyendo estos valores de p en la expresión que da la altura que adquieren las ruedas en la unidad de tiempo, se obtienen las dos siguientes:

$$h = N \frac{V^2 L}{\rho_1} : \frac{L}{1000 V} = 1000 N \frac{V^3}{\rho_1}$$

$$h = N' g_1 E V^2 : \frac{E}{50 V} = 50 N' g_1 V^3$$

Para que esta altura alcanzada en la unidad de tiempo sea constante, es preciso que $V^3 : \rho_1$ o $g_1 V^3$ sean constantes. La práctica ha demostrado que cuando $V = 90$ kilómetros por hora, la mejor curva de transición es aquella para la cual el grado unidad es $g_1 = 0,215^\circ$, que equivale, aproximadamente, a un radio de curvatura unidad $\rho_1 = 106.600$ metros. Para el grado unidad $g_1 = 0,215^\circ$ y la velocidad $V = 90$ kms., el valor constante es $C = 0,215 \times 90^3$. Para una velocidad cualquiera, V , el grado unidad más conveniente será $g_1 = 0,215 \times \left(\frac{90}{V}\right)^3$. Si se sustituye este valor del grado de curvatura en la fórmula $E = G : g_1$, se obtendrá la longitud más conveniente para la curva de transición en estaciones, y multiplicando este valor por 20, se tendrá la longitud en metros. De la misma manera se obtendría el valor más conveniente de $\rho_1 = 106.600 \times \left(\frac{V}{90}\right)^3$, que sustituido en la fórmula $L = \rho_1 : R$, dará la longitud más conveniente para la curva de transición en metros.

La longitud así determinada puede modificarse por conveniencia del trazado. Para facilitar la elección de la longitud mínima que debe tener la curva de transición, Talbot ha dado la siguiente tabla, en la que figura el grado unidad máximo de la curva para diferentes velocidades de los vehículos. La longitud que puede darse a la curva de transición depende del grado que tenga la curva circular, y se determina por la fórmula $E = G : g_1$. La longitud puede ser mayor que la que se obtiene por medio de esta tabla; pero en

ningún caso debe ser menor, a no ser que las condiciones del terreno lo impongan:

Velocidad máxima Km. por hora	Grado unidad máximo de la curva de transición
120	12,9'
90	12,9'
75	25,8'
60	51,6'
45	1° 25,9'
40	2° 9,0'
30	4° 18,0'

Al intercalar una curva de transición entre la alineación recta y la curva circular, no se puede determinar la longitud de las tangentes a la curva por el procedimiento explicado anteriormente, puesto que ahora la curva total está formada por tres partes: una curva de transición, una curva circular y otra curva de transición. Puede suceder, y esto es lo más corriente, que las dos curvas de transición sean iguales, en cuyo caso las longitudes de las dos

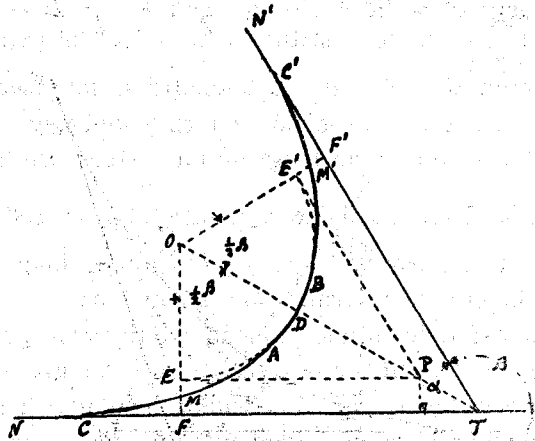
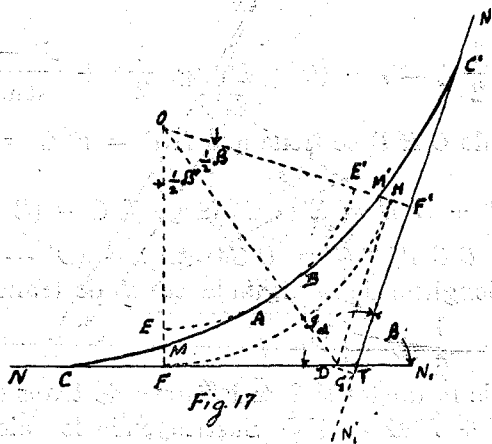


Fig. 16

tangentes serán también iguales, o que las dos curvas de transición sean desiguales, y entonces también lo serán las tangentes.

Sean $N-T$ y $N'-T'$ (fig. 16) dos alineaciones rectas que se cortan

en T , formando entre sí un ángulo α , y $CD C'$ la curva que une estas dos alineaciones formada por dos curvas de transición CA y $C'B$ y una curva circular AB . Para fijar las posiciones de los puntos C y C' en los que la curva es tangente a las rectas, es necesario conocer las longitudes TC y TC' , que por ser iguales las dos curvas de transición, también son iguales. Sea O el centro del arco circular AB . Trácese por él las perpendiculares OF y OF' a las alineaciones rectas y prolongúese el arco AB hasta que corte en E y E' a dichas perpendiculares. Unase O con T y obtendremos dos triángulos rectángulos iguales OFT y $OF'T$, en los que $OF = OF' = R + D$ y el ángulo $TOF = TOF' = \frac{1}{2} \beta$, llamando β el ángulo en el centro de la curva circular completa. En dichos triángulos se tiene que $TF = TF' = OF \operatorname{tg.} \frac{1}{2} \beta = (R + D) \operatorname{tg.} \frac{1}{2} \beta$. La longitud total de una cualquiera de las tangentes es $TF + FC$, y como FC es la abscisa del centro de la curva circular, que hemos designado por a , resulta que la longitud de la tangente es $CT = C'T = (R + D) \operatorname{tg.} \frac{1}{2} \beta + a$. Si llamamos L la longitud total de cada una de las curvas de transición, sabemos que $a = \frac{1}{2} L - r$, luego $T = (R + D) \operatorname{tg.} \frac{1}{2} \beta + \frac{1}{2} L - r$.



Cuando las curvas de transición son desiguales, hay que calcular separadamente las longitudes de sus tangentes. Sean (fig. 17) dos

alineaciones rectas NN_1 y $N'N'_1$ que se cortan el punto T y que se enlazan por medio de una curva formada por una curva de transición CA , una curva circular AB y otra curva de transición BC' diferente de la CA . Tracemos, como antes, las dos perpendiculares OF y OF' a las alineaciones rectas desde el centro O de la curva circular y prolonguemos ésta hasta que corte a dichas perpendiculares en los puntos E y E' . Con O como centro, tracemos el arco $F'H$ tangente a la alineación recta menos alejada del centro O y por el punto H en que el arco así trazado corta a la perpendicular a la otra alineación, tracemos una paralela HD a ésta. Unamos O con D , y en el triángulo OFD se tiene que $FD = OF \operatorname{tg.} \frac{1}{2} \beta = (R + D) \operatorname{tg.} \frac{1}{2} \beta$.

Si por el punto D se traza una perpendicular DG a la tangente $C'T$, se tiene que $DG = HF' = E'F' - E'H = E'F' - EF$. $E'F'$ es el desplazamiento de la segunda curva de transición, que llamaremos D' , y EF es el desplazamiento de la primera curva de transición, que llamaremos D , así que $DG = D' - D$. En el triángulo DGT , el ángulo $DTG = \beta$, luego $DT = \frac{DG}{\operatorname{sen.} DTG} = \frac{D' - D}{\operatorname{sen.} \beta}$.

La longitud de la tangente CT a la curva de transición más corta es $T = CF + FD + DT$. Pero

$$CF = a = \frac{1}{2} L - r, \quad FD = (R + D) \operatorname{tg.} \frac{1}{2} \beta, \quad \text{y} \quad DT = \frac{D' - D}{\operatorname{sen.} \beta},$$

luego

$$T = \frac{1}{2} L - r + (R + D) \operatorname{tg.} \frac{1}{2} \beta + \frac{D' - D}{\operatorname{sen.} \beta}.$$

En el triángulo OHD se tiene que $HD = F'G = OH \operatorname{tg.} \frac{1}{2} \beta$, pero $OH = OE' + E'H = R + D$, luego $F'G = (R + D) \operatorname{tg.} \frac{1}{2} \beta$. En el triángulo DGT , $TG = DG \operatorname{cot.} \beta = (D' - D) \operatorname{cot.} \beta$. Si llamamos L' la longitud de la segunda curva de transición, se tiene que $C'F' = a' = \frac{1}{2} L' - r'$.

La longitud de la tangente T' a la curva de transición más larga es $C'T' = C'F' + F'G - TG$. Sustituyendo lo valores de los sumandos, se tiene $T' = \frac{1}{2} L' - r' + (R + D) \operatorname{tg.} \frac{1}{2} \beta - (D' - D) \operatorname{cot.} \beta$.

Con la determinación de las longitudes de las tangentes a la curva se tienen todos los elementos necesarios para su replanteo sobre el terreno. Cuando dicho replanteo se hace por medio de los ángulos tangenciales, hay que distinguir dos casos, lo mismo que cuando se trata del replanteo de una curva circular: que desde el origen de la curva de transición que se va a trazar se vean todos los puntos de la misma, y que desde dicho origen no se vean todos los puntos. En el primer caso se pueden seguir dos procedimientos: El primero consiste en trazar primeramente una de las curvas de transición; a continuación se traza el arco circular y, por último, la segunda curva de transición. El segundo procedimiento consiste en trazar primeramente la curva circular y determinar sobre ella los puntos de tangencia con las curvas de transición, procediendo después a trazar estas curvas desde cualquiera de sus extremos. El primer procedimiento es el más sencillo y que se aplica generalmente; sin embargo, hay casos en los que resulta más conveniente emplear el segundo.

Para trazar una curva de enlace por el primer procedimiento, lo primero que hay que hacer, una vez calculados todos sus elementos, es fijar sobre el terreno las posiciones de los puntos C y C' (figura 18), bien midiendo directamente las distancias TC y TC' ,

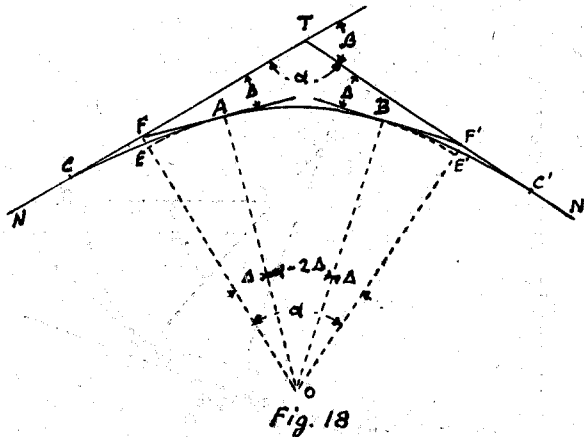


Fig. 18

bien midiendo las distancias que los separan de los puntos principales más inmediatos de las alineaciones rectas. Fijada la posición del punto C se hace estación en él con el aparato y se dirige la visual al punto T con los nonios del limbo horizontal puestos a cero. Se forma con esta visual el ángulo tangencial que se haya calculado

para determinar el primer punto de la curva y midiendo en esta dirección la longitud de la primera cuerda se hincará en dicho punto un piqueta. Se forma después con la tangente el ángulo que corresponde al segundo punto de la curva y se mide la distancia igual a la longitud de la segunda cuerda, que será una cuerda normal, desde el punto determinado anteriormente hasta que la división de la cinta que corresponde a la longitud de la cuerda esté en la visual del anteojo, hincándose otro piqueta en dicha intersección. De la misma manera se procede hasta fijar la posición del piqueta del punto A, en donde termina la curva de transición y empieza la curva circular. Se traslada el aparato a este punto y se dirige la visual al punto C, origen de la curva, haciendo antes que el nonio del mismo marque hacia la izquierda un ángulo igual a $\Delta - \theta$ siendo Δ el ángulo total de desviación de la curva de transición y θ el último ángulo tangencial formado para determinar el punto A desde C. Haciendo girar el aparato hasta que el nonio del platillo horizontal marque cero, la visual quedará dirigida según la tangente $A F$ en el punto A. Efectivamente, el ángulo $E D P = \delta$ (figu-

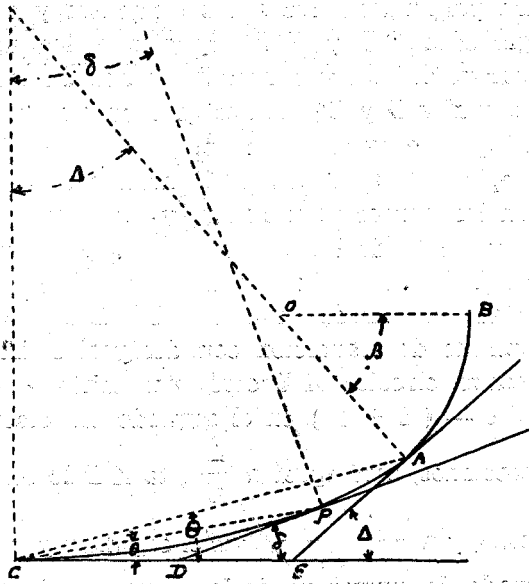


Fig. 19

ra 19), externo del triángulo $D C P$, es igual a la suma de los ángulos $D C P = \theta$ y $D P C =$ ángulo que la visual o cuerda dirigida desde C a P forma con la tangente en el punto P, luego este ángulo

será igual a la diferencia entre el ángulo de desviación en el punto P y el ángulo tangencial formado en C para determinar P , o sea, $DPC = \delta - \theta$. De la misma manera el ángulo CAE que la tangente a la curva en el punto A forma con la visual CA es $CAE = \Delta - \Theta$. Una vez determinada la dirección de la tangente en el punto A (fig. 18), se traza la curva circular AB como se ha explicado al tratar de esta clase de curvas. Cuando se haya situado el punto B , se lleva el aparato al punto C' y, después de orientarlo en la dirección $C'T$, se traza la segunda curva de transición de la misma manera que se ha explicado para la primera. En vez de llevar el aparato a C' , se le puede llevar a B y orientar el anteojo según la tangente BF' ; pero para esto es necesario que los ángulos tangenciales se hayan calculado respecto a esta tangente, como se explica más adelante.

El segundo procedimiento consiste, como se ha dicho antes, en trazar primero la curva circular. Para esto, después de fijados los puntos C y C' , se toman sobre las tangentes las longitudes CF y $C'F'$, iguales, respectivamente, a las abscisas a y a' del centro de la curva circular, según dichas tangentes. En los puntos F y F' se levantan las perpendiculares a las tangentes y se toman sobre ellas las magnitudes FE y $F'E'$, iguales a los desplazamientos D y D' de la curva. Si las dos curvas de transición son iguales, también lo serán a y a' y D y D' . Con estas operaciones se obtienen los puntos E y E' que pertenecen a la curva circular. Haciendo estación en E se replantea la curva EE' , hincando piquetes en los puntos A y B y en los puntos intermedios que sea necesario. Para determinar las posiciones de los puntos A y B debe tenerse presente que $EOA = E'OB = \Delta$, ángulo total de desviación de cada una de las curvas de transición si éstas son iguales, y $EOA = \Delta$ y $E'OB = \Delta'$ si las curvas de transición son desiguales. El ángulo en el centro de la curva circular AB será, por tanto, $\alpha - 2\Delta$ en el primer caso, y $\alpha - (\Delta + \Delta')$ en el segundo. La distancia EA , expresada en estaciones, será igual a $\frac{\Delta}{G}$, la AB lo será a $\frac{\alpha - 2\Delta}{G}$ en el primer caso, y a $\frac{\alpha - (\Delta + \Delta')}{G}$ en el segundo, y la $E'B$ a $\frac{\Delta'}{G}$, siendo G el grado de curvatura de la curva circular. Una vez trazada la curva circular se hace el replanteo de cada una de las curvas de transición, partiendo de los puntos C y C' , como se ha explicado antes.

Cuando desde el origen de la curva de transición no pueden

verse todos los puntos de ésta comprendidos entre dicho origen y el final de la curva y principio de la curva circular, no hay más remedio que trasladar el aparato a uno o varios puntos intermedios. Sea $C P A$ (fig. 20) una curva de transición que tiene que tra-

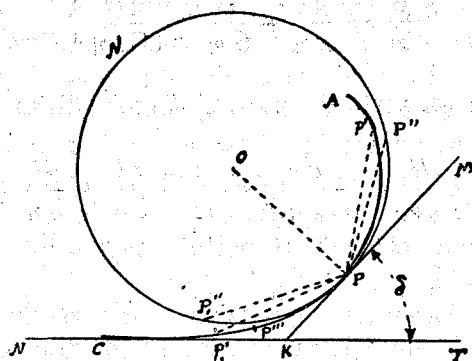


Fig. 20

zarse en un terreno cuya configuración impide que desde C puedan verse los puntos situados entre P y A , o que pudiendo verse P desde C no puede, en cambio, verse desde C , pero sí desde P , un punto intermedio P' , que se quiere determinar. Una vez que se haya fijado la posición del punto P se lleva el aparato a él y formando con la dirección PC un ángulo igual a $\delta - \theta$, siendo δ el ángulo MKT y θ el KCP . Para determinar la situación del punto P' , que se encuentra a la distancia l del P , hay que hallar el valor del ángulo $MP'P'$. Tracemos el círculo osculador en el punto P con un radio

$\rho_p = \frac{\rho_1}{s}$, siendo $s = CP$. El radio de curvatura en el punto P'

será $\rho_{p'} = \frac{\rho_1}{l + s}$ y si designamos por φ el ángulo que la tangente a la curva en el punto P' forma con el eje PM , se tendrá que

$d\varphi = \frac{(a+l) dl}{\rho_1} = \frac{a dl}{\rho_1} + \frac{l dl}{\rho_1}$, que integrada da $\varphi = \frac{s l}{\rho_1} + \frac{l^2}{2\rho_1}$.

Por el mismo procedimiento que se siguió para hallar los valores de las coordenadas de la curva, según los ejes que pasan por su origen, se encuentra que las coordenadas respecto a los ejes PO , de ordenadas, y PM , de abscisas, son:

$$y = \frac{s l^2}{2\rho_1} + \frac{l^3}{6\rho_1} - \frac{l^4}{336\rho_1^3} - \frac{1}{\rho_1^3} \left(\frac{s^3 l^4}{24} + \frac{s^2 l^5}{20} + \frac{s l^6}{48} \right)$$

$$x = l - \frac{15}{40 \rho_1^2} - \frac{1}{\rho_1^2} \left(\frac{s^2 l^3}{6} + \frac{s l^4}{8} \right)$$

La tangente del ángulo $M P P'$ es en este caso:

$$\frac{y}{x} = \frac{s l}{2 \rho_1} + \frac{l^2}{6 \rho_1} + \frac{l^6}{840 \rho_1^3}$$

que desarrollada en serie da para el ángulo dicho el valor

$$\begin{aligned} M P P' &= \frac{s l}{2 \rho_1} + \frac{l^2}{6 \rho_1} + \frac{l^6}{840 \rho_1^3} - \frac{1}{3} \left(\frac{s l}{2 \rho_1} + \frac{l^2}{6 \rho_1} + \frac{l^6}{840 \rho_1^3} \right)^3 = \\ &= \frac{s l}{2 \rho_1} + \left[\frac{l^2}{6 \rho_1} - \frac{8}{2835} \left(\frac{l^2}{2 \rho_1} \right)^3 \right] \end{aligned}$$

El primer término del segundo miembro de esta igualdad es la mitad del ángulo en el centro correspondiente a un arco $P P'$ de longitud l del círculo osculador en P , luego es igual al ángulo tangencial $M P P$, y los dos términos siguientes son la expresión del valor del ángulo tangencial que hay que formar en el punto C , origen de la curva, para determinar la posición de un punto P'' situado a la distancia l del C . Como el ángulo $M P P' = M P P'' +$

$$+ P'' P P', \text{ y } M P P'' = \frac{s l}{2 \rho_1}, \text{ se tiene que } P'' P P' = \frac{1}{3} \cdot \frac{l^2}{2 \rho_1} -$$

$-\frac{8}{2835} \left(\frac{l^2}{2 \rho_1} \right)^3 = \theta$ siendo θ el ángulo tangencial que hay que formar en C para determinar la posición de un punto que diste de él una magnitud igual a la distancia entre P y P' . Vemos, por tanto, que para determinar el ángulo que hay que formar con la tangente a la curva de transición en un punto cualquiera P para hallar otro punto P' , se suma al ángulo tangencial que hay que formar en el punto P para fijar la posición de un punto P'' de la circunferencia osculatriz en P , tal que $P P'' = P P'$, el ángulo tangencial que hay que formar en el origen C de la curva de transición para hallar un punto P''' situado sobre ella a la distancia $C P''' = P P'$.

Si el punto que hay que determinar es el P'_1 , situado entre C y P , entonces el ángulo tangencial $K P P'_1 = K P P''_1 - P'_1 P P''_1$, así que en este caso hay que hallar la diferencia entre los dos ángulos citados anteriormente en vez de su suma.

Para el replanteo de la curva en el caso en que no puedan verse todos los puntos desde su origen, resulta preferible trazar prime-

ramente la curva circular de la manera que se ha explicado y situar después las dos curvas de transición que la enlazan con las alineaciones rectas.

Como resumen de lo anteriormente expuesto, vamos a hacer aplicación de todo ello a un caso particular.

En el trazado de una vía de comunicación, dos alineaciones rectas, AT y BT (fig. 21), se cortan formando un ángulo $\alpha = 110^\circ$.

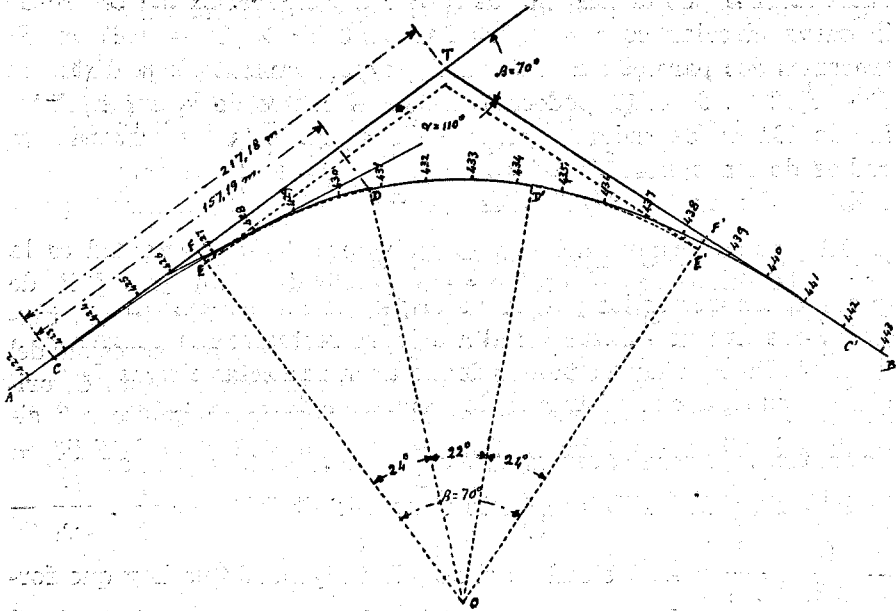


Fig 21

El punto T se encuentra a 8.670 metros del origen del trazado, y la velocidad normal de los vehículos que han de circular por el camino es de 60 kilómetros por hora.

Lo primero que tenemos que hacer es fijar el radio de la curva circular o su grado de curvatura con arreglo a las condiciones del terreno y a las limitaciones que imponen los reglamentos. Elijamos una curva de 191 metros de radio, cuyo grado de curvatura es $G' =$

$= \frac{1145,9152}{191} = 6^\circ$. El grado de curvatura más conveniente para

una velocidad de 60 kilómetros por hora es $g_1 = 0,215 \times \left(\frac{90}{60}\right)^2 =$
 $= 0,726^\circ$, y la longitud de la curva de transición será $E = \frac{6}{0,726} =$

= 8,264 estaciones, que equivalen a $8,264 \times 20 = 165,28$ metros. Para facilidad en las operaciones emplearemos una curva de transición de 160 metros, equivalente a $160 : 20 = 8$ estaciones, y que tiene por grado de curvatura unidad $g_1 = \frac{6}{8} = 0,75^\circ = 0^\circ 45' 0''$.

El desplazamiento de una curva de transición de estas características es $D = 0,0145418 \times 0,75 \times 8^3 = 5,58$ m., y la diferencia entre la mitad de la longitud de la curva y la abscisa del centro de la curva circular es $r = 0,000245 \times 0,75^2 \times 8^5 = 0,47$ m. Si trazamos dos paralelas a AT y BT , respectivamente, a la distancia $D = 5,58$ m. de ellas, podremos hallar el centro de la curva circular de 191 m. de radio tangente a dichas paralelas, y trazando los radios de los puntos de tangencia OE y OE' , determinaremos en el dibujo los puntos F y F' . Desde dichos puntos tomaremos las distancias FC y $F'C'$, iguales a $\frac{1}{2} \times 160 - 0,47 = 79,53$ m., con lo que obtendremos los puntos de origen de las dos curvas de transición que han de enlazar las alineaciones rectas con la curva circular EE' . Para hallar los puntos donde terminan estas curvas de transición, tenemos que el ángulo de desviación total de cada curva de

transición es, según sabemos, $\Delta = \frac{1}{2} \times 0,75 \times 8^2 = 24^\circ$, así que si trazamos los radios OD y OD' que formen con los OE y OE' este ángulo se obtendrán los puntos D y D' en que terminan dichas curvas. También se podrían determinar estos puntos calculando los valores de $x = 160 - 0,0001525 \times 0,75^2 \times 8^5 = 157,19$ m. e $y = 0,0582 \times 0,75 \times 8^3 - 0,75^3 \times K = 22,07$ m., tomando para K el valor 0,66349 que se encuentra en la tabla que se ha dado antes.

Para el replanteo sobre el terreno necesitamos conocer las longitudes TC y TC' de las tangentes, que en este caso, por ser iguales las dos curvas de transición, también lo serán ellas. Esta longitud es:

$$T = (191 + 5,58) \operatorname{tg} 35^\circ + \frac{1}{2} \times 160 - 0,47 = 217,18 \text{ m.}$$

El punto T , según los datos, se encuentra a 8.670 metros del origen del trazado, luego el punto C estará a $8.670 - 217,18 = 8.452,82$ metros de dicho origen y a 12,82 metros del piquete número 422.

La primera curva de transición tiene 160 metros de desarrollo; la curva circular abarca un ángulo de $70 - 2 \times 24 = 22^\circ$, así que

su desarrollo será igual a $\frac{3,1416 \times 22}{180} = 73,34$ metros, y la segunda curva de transición tiene la misma longitud que la primera. El desarrollo total de la curva será igual a $2 \times 160 + 73,34 = 393,34$ metros, y el punto C' estará a 406,16 metros del piquete número 422. El piquete anterior a este punto C' será el núm. 442, del que distará 6,16 metros, y el siguiente el núm. 443, situado a 13,84 metros. El punto D , final de la primera curva de transición y principio de la curva circular, está a 12,82 metros del piquete número 430, y el punto D' final de la curva circular y de la segunda curva de transición, está a 6,16 metros después del piquete número 434 y a 13,84 metros antes del núm. 435.

El desarrollo del arco ED y el de su igual el arco $E'D'$ es $\frac{3,1416 \times 24}{180} = 80$ metros, así que su trazado se puede hacer por medio de cuatro arcos normales de 20 metros, con lo que se obtendrá el punto D . El primer arco después de D ha de tener 7,18 metros para fijar la posición del piquete núm. 431; luego siguen tres arcos de 20 metros, que corresponden a los piquetes núms. 432, 433 y 434, y, por último, un arco de 6,16 metros para situar el punto D' . No es indispensable el trazado de $D'E'$ sobre el terreno, pero siempre es conveniente hacerlo para obtener puntos de referencia o comprobación. En este caso puede hacerse como el de ED , por medio de cuatro arcos de 20 metros de desarrollo.

La primera curva de transición CD se puede trazar con un arco de 7,18 metros para fijar la posición del piquete núm. 423, siete arcos de 20 metros, que corresponden a los piquetes núms. 424 a 430, ambos inclusive, y un arco de 12,82 metros, que servirá para comprobar la posición del punto D .

La segunda curva de transición $C'D'$ se replanteará desde el punto C' por medio de un arco de 6,16 metros y siete de 20 metros, que corresponden a los piquetes núms. 435 a 442, ambos inclusive, en orden inverso. Un arco de 13,84 metros, desde el piquete número 435, dará la posición del punto D' , que quedará así comprobada.

Antes de efectuar sobre el terreno las operaciones del replanteo, hay que calcular los ángulos tangenciales que se tienen que formar en los puntos en donde se haga estación con el aparato para determinar las posiciones de los piquetes, y, para mayor generalidad, supondremos que desde el punto C pueden verse los correspondientes a los piquetes 423 a 428, pero no los de los núms. 429 y 430, que,

en cambio, pueden verse desde el 428. En la curva circular y en la segunda curva de transición supondremos que pueden verse todos los puntos desde el origen respectivo.

Si pudieran verse desde C todos los puntos de la primera curva de transición se empezaría el replanteo haciendo estación con el aparato en dicho punto y trazando desde él toda la curva CD . Se trasladaría después el aparato al punto D , y desde él se trazaría la curva circular DD' , y, por último, se llevaría el aparato a C' para hacer el trazado de la segunda curva de transición $C'D'$. Como en el caso que estamos estudiando no puede verse el punto D desde C , lo primero que tiene que hacerse es situar el punto E sobre el terreno, para lo cual se trazará en F una perpendicular a CT , y se tomará sobre ella una longitud de 5,58 metros. Una vez situado el punto E se puede trazar la curva circular EE' , fijando sobre ella las posiciones de los puntos D y D' de tangencia con las curvas de transición. Cuando se haya terminado de trazar la curva circular se lleva el aparato a C y se determinan los puntos de la curva de transición hasta llegar al piquete núm. 428, que es el último que puede verse desde C . Se traslada el aparato a este piquete y desde él se sitúan los puntos 429 y 430, y, como comprobación, el punto D , que debe coincidir con el determinado en la curva circular. Para trazar la segunda curva de transición se lleva el aparato a C' , y desde él se fijan las posiciones de los piquetes de dicha curva, y, por último, el punto D' , que debe coincidir con el de la curva circular si el trazado está bien hecho.

Los ángulos tangenciales que hay que formar en cada una de las estaciones que se hagan con el aparato son los siguientes:

Estación en el punto C.—Ángulos que hay que formar con la tangente CT :

Piquete núm. 423. Cuerda de 7,18 m.

$$\delta = \frac{1}{2} \times 0,75 \times 0,359^2 = 0,04833^\circ$$

$$\theta = 0,01611^\circ = 0^\circ 0' 58''$$

Piquete núm. 424. Cuerda de 20,00 m.

$$\delta = \frac{1}{2} \times 0,75 \times 1,359^2 = 0,69258^\circ$$

$$\theta = 0,23086^\circ = 0^\circ 13' 51''$$

Piquete núm. 425. Cuerda de 20,00 m.

$$\delta = \frac{1}{2} \times 0,75 \times 2,359^2 = 2,08678^\circ$$

$$\theta = 0,6959^\circ = 0^\circ 41' 44''$$

Piquete núm. 426. Cuerda de 20,00 m.

$$\delta = \frac{1}{2} \times 0,75 \times 3,359^2 = 4,23108^\circ$$

$$\theta = 1,41306^\circ = 1^\circ 24' 27''$$

Piquete núm. 427. Cuerda de 20,00 m.

$$\delta = \frac{1}{2} \times 0,75 \times 4,359^2 = 7,12533^\circ$$

$$\theta = 2,37511^\circ = 2^\circ 22' 30''$$

Piquete núm. 428. Cuerda de 20,00 m.

$$\delta = \frac{1}{2} \times 0,75 \times 5,359^2 = 10,76958^\circ$$

$$\theta = 3,58986 - x = 3^\circ 35' 23'' - 4'' = 3^\circ 35' 19''$$

Estación en el piquete núm. 428.—Angulo que hay que formar con la visual 428-C para determinar la dirección de la tangente a la curva en el punto 428, $10^\circ 46' 10'' - 3^\circ 35' 19'' = 7^\circ 10' 51''$. Grado de la curva de transición en el punto 428, $g = 0,75 \times 5,359 = 4,01925^\circ = 4^\circ 1' 9''$.

Angulos que hay que formar con la tangente en el punto 428.

Piquete núm. 429. Cuerda de 20,00 m.

Angulo con la tangente a la curva circular

$$\frac{1}{2} \times 1 \times (4^\circ 1' 9'') = 2^\circ 0' 35''$$

Angulo con la tangente a la curva de transición en el origen

$$\frac{1}{6} \times 0,75 \times 1^3 = 0,125 = \frac{0^\circ 7' 30''}{\theta = 2^\circ 8' 5''}$$

Piquete núm. 430. Cuerda de 20,00 m.

Angulo con la tangente a la curva circular

$$\frac{1}{2} \times 2 \times (4^\circ 1' 9'') = 4^\circ 1' 9''$$

Angulo con la tangente a la curva

de transición en el origen

$$\frac{1}{6} \times 0,75 \times 2^2 = 0,500 = \frac{0^\circ 30' 0''}{\theta = 4^\circ 31' 9''}$$

Piquete núm. 430. Cuerda de 12,82 m. (D).

Angulo con la tangente a la curva circular

$$\frac{1}{2} \times 2,641 \times (4^\circ 1' 9'') = 5^\circ 18' 26''$$

Angulo con la tangente a la curva
de transición en el origen

$$\frac{1}{6} \times 0,75 \times 2,641^2 = 0,87186 = \frac{0^\circ 52' 19''}{\theta = 6^\circ 10' 45''}$$

Estación en el punto E.—Trazado de la curva circular. Angulos que hay que formar con la tangente en *E*:

Piquete núm. 1. Cuerda de 20,00 m.

$$\theta = \frac{1}{2} 6^\circ = 3^\circ 0' 0''$$

Piquete núm. 2. Cuerda de 20,00 m.

$$\theta = \frac{1}{2} 6^\circ + 3^\circ 0' 0'' = 6^\circ 0' 0''$$

Piquete núm. 3. Cuerda de 20,00 m.

$$\theta = \frac{1}{2} 6^\circ + 6^\circ 0' 0'' = 9^\circ 0' 0''$$

Piquete núm. 4. Cuerda de 20,00 m.

$$\theta = \frac{1}{2} 6^\circ + 9^\circ 0' 0'' = 12^\circ 0' 0''$$

Piquete núm. 431. Cuerda de 7,18 m.

$$\theta = 12^\circ 0' 0'' + \frac{7,18}{20} \times 3 = 13^\circ 4' 37''$$

Piquete núm. 432. Cuerda de 20,00 m.

$$\theta = \frac{1}{2} 6^\circ + 13^\circ 4' 37'' = 16^\circ 4' 37''$$

Piquete núm. 433. Cuerda de 20,00 m.

$$\theta = \frac{1}{2} 6^\circ + 16^\circ 4' 37'' = 19^\circ 4' 37''$$

Piquete núm. 434. Cuerda de 20,00 m.

$$\theta = \frac{1}{2} 6^\circ + 19^\circ 4' 37'' = 22^\circ 4' 37''$$

Piquete D' Cuerda de 6,16 m.

$$\theta = 22^\circ 4' 37'' + \frac{6,16}{20} \times 3 = 23^\circ 0' 3''$$

Piquete núm. 5. Cuerda de 20,00 m.

$$\theta = \frac{1}{2} 6^\circ + 23^\circ 0' 3'' = 26^\circ 0' 3''$$

Piquete núm. 6. Cuerda de 20,00 m.

$$\theta = \frac{1}{2} 6^\circ + 26^\circ 0' 3'' = 29^\circ 0' 3''$$

Piquete núm. 7. Cuerda de 20,00 m.

$$\theta = \frac{1}{2} 6^\circ + 29^\circ 0' 3'' = 32^\circ 0' 3''$$

Piquete núm. 8. Cuerda de 20,00 m.

$$\theta = \frac{1}{2} 6^\circ + 32^\circ 0' 3'' = 35^\circ 0' 3''$$

Este último ángulo debería ser exactamente igual a 35° , mitad del ángulo en el centro que tiene 70° . Los 3 segundos de diferencia son debidos a que hemos considerado que los arcos ED y $E'D'$ tienen 80,00 metros de desarrollo, cuando en realidad tienen 80,006 metros.

Estación en el punto C' .—Ángulos que hay que formar con la tangente $C'T'$:

Piquete núm. 442. Cuerda de 6,16 m.

$$\delta = \frac{1}{2} \times 0,75 \times 0,308^2 = 0,03557^\circ$$

$$\theta = 0,01186^\circ = 0^\circ 0' 42''$$

Piquete núm. 441. Cuerda de 20,00 m.

$$\delta = \frac{1}{2} \times 0,75 \times 1,308^2 = 0,64157^\circ$$

$$\theta = 0,21386^\circ = 0^\circ 12' 49''$$

Piquete núm. 440. Cuerda de 20,00 m.

$$\delta = \frac{1}{2} \times 0,75 \times 2,308^2 = 1,99757^\circ$$

$$\theta = 0,66586^\circ = 0^\circ 39' 57''$$

Piquete núm. 439. Cuerda de 20,00 m.

$$\delta = \frac{1}{2} \times 0,75 \times 3,308^2 = 4,10357^\circ$$

$$\theta = 1,36786^\circ = 1^\circ 22' 4''$$

Piquete núm. 438. Cuerda de 20,00 m.

$$\delta = \frac{1}{2} \times 0,75 \times 4,308^2 = 6,95957^\circ$$

$$\theta = 2,31986^\circ = 2^\circ 19' 11''$$

Piquete núm. 437. Cuerda de 20,00 m.

$$\delta = \frac{1}{2} \times 0,75 \times 5,308^2 = 10,56557^\circ$$

$$\theta = 3,52186 - x = 3^\circ 31' 19'' - 4'' = 3^\circ 31' 15''$$

Piquete núm. 436. Cuerda de 20,00 m.

$$\delta = \frac{1}{2} \times 0,75 \times 6,308^2 = 14,92158^\circ$$

$$\theta = 4,97386 - x = 4^\circ 58' 26'' - 10'' = 4^\circ 58' 16''$$

Piquete núm. 435. Cuerda de 20,00 m.

$$\delta = \frac{1}{2} \times 0,75 \times 7,308^2 = 20,02757^\circ$$

$$\theta = 6,67586 - x = 6^\circ 40' 33'' - 25'' = 6^\circ 40' 8''$$

Piquete *D'* Cuerda de 13,84 m.

$$\delta = \frac{1}{2} \times 0,75 \times 8^2 = 24^\circ$$

$$\theta = 8^\circ 0' 0'' - 43'' = 7^\circ 59' 17''$$

Cuando las curvas de transición tienen, como sucede en el caso que se estudia, una longitud múltiplo de 20, resulta más fácil trazar

la curva prescindiendo de los piquetes principales del trazado general y hacerlo desde el origen por medio de cuerdas de 20 metros. Los piquetes principales pueden colocarse después fácilmente. Suponiendo las mismas condiciones del ejemplo anterior, los ángulos para el trazado de las curvas de transición serían los siguientes:

Estación en el punto C.—Ángulos que hay que formar con la tangente *CT*:

Piquete núm. 1.

$$\delta = \frac{1}{2} \times 0,75 \times 1^2 = 0,375^\circ$$

$$\theta = 0,125^\circ = 0^\circ 7' 30''$$

Piquete núm. 2.

$$\delta = \frac{1}{2} \times 0,75 \times 2^2 = 1,500^\circ$$

$$\theta = 0,5000^\circ = 0^\circ 30' 0''$$

Piquete núm. 3.

$$\delta = \frac{1}{2} \times 0,75 \times 3^2 = 3,375^\circ$$

$$\theta = 1,125^\circ = 1^\circ 7' 30''$$

Piquete núm. 4.

$$\delta = \frac{1}{2} \times 0,75 \times 4^2 = 6,000^\circ$$

$$\theta = 2,000^\circ = 2^\circ 0' 0''$$

Piquete núm. 5.

$$\delta = \frac{1}{2} \times 0,75 \times 5^2 = 9,375^\circ$$

$$\theta = 3,125^\circ = x = 3^\circ 7' 30'' - 2'' = 3^\circ 7' 28''$$

Estación en el piquete núm. 5.—Ángulo que hay que formar con la visual 5-C para determinar la dirección de la tangente a la curva en el punto 5, $9^\circ 22' 30'' - 3^\circ 7' 28'' = 6^\circ 15' 2''$. Grado de la curva de transición en el punto 5, $g = 0,75 \times 5 = 3,75^\circ = 3^\circ 45' 0''$.

Ángulos que hay que formar con la tangente en el punto 5:

Piquete núm. 6.

Ángulo con la tangente a la curva circular

$$\frac{1}{2} \times 1 \times (3^\circ 45' 0'') = 1^\circ 52' 30''$$

Angulo con la tangente a la curva
de transición en el origen.

$$\frac{1}{6} \times 0,75 \times 1^2 = 0,125^\circ = \frac{0^\circ 7' 30''}{\theta = 2 \quad 0' \quad 0''}$$

Piquete núm. 7.

Angulo con la tangente a la curva circular

$$\frac{1}{2} \times 2 \times (3 - 45' 0'') = 3^\circ 45' 0''$$

Angulo con la tangente a la curva
de transición en el origen

$$\frac{1}{6} \times 0,75 \times 2^2 = 0,500^\circ = \frac{0^\circ 30' 0''}{\theta = 4^\circ - 15' 0''}$$

Piquete núm. 8.

Angulo con la tangente a la curva circular

$$\frac{1}{2} \times 3 \times (3^\circ 45' 0'') = 5^\circ 37' 30''$$

Angulo con la tangente a la curva
de transición en el origen

$$\frac{1}{6} \times 0,75 \times 3^2 = 1,125^\circ = \frac{1^\circ 7' 30''}{\theta = 6^\circ 45' 0''}$$

*Estación en el punto C'.—*Angulos que hay que formar con la tangente $C' T'$. Para los piquetes núms. 1, 2, 3, 4 y 5 los mismos ángulos que se han dado para el punto C .

Piquete núm. 6.

$$\delta = \frac{1}{2} \times 0,75 \times 6^2 = 13,500^\circ$$

$$\theta = 4,500^\circ - x = 4^\circ 30' 0'' - 8'' = 4^\circ 29' 52''$$

Piquete núm. 7.

$$\delta = \frac{1}{2} \times 0,75 \times 7^2 = 18,375^\circ$$

$$\theta = 6,125^\circ - x = 6^\circ 7' 30'' - 19'' = 6^\circ 7' 11''$$

Piquete núm. 8.

$$\delta = \frac{1}{2} \times 0,75 \times 8^2 = 24,000^\circ$$

$$\theta = 8^\circ 0' 0'' - 43'' = 7^\circ 59' 17''$$

Los radios de curvatura en los puntos correspondientes a los piquetes se determinan con mucha facilidad. El radio de curvatura

unidad de la curva de transición sabemos que es $\rho_1 = 191 \times 160 = 30.560$ metros, y los radios de curvatura en los diferentes puntos serán:

Piquete	<i>C.</i>	$\rho = 30560 : 0,00 = \infty$
Piquete núm. 423.		$\rho = 30560 : 7,18 = 4256,27$ m.
Piquete núm. 224.		$\rho = 30560 : 27,18 = 1124,35$ m.
Piquete núm. 425.		$\rho = 30560 : 47,18 = 647,73$ m.
Piquete núm. 426.		$\rho = 30560 : 67,18 = 454,90$ m.
Piquete núm. 427.		$\rho = 30560 : 87,18 = 350,54$ m.
Piquete núm. 428.		$\rho = 30560 : 107,18 = 285,31$ m.
Piquete núm. 429.		$\rho = 30560 : 127,18 = 240,29$ m.
Piquete núm. 430.		$\rho = 30560 : 147,18 = 207,64$ m.
Piquete	<i>D.</i>	$\rho = 30560 : 160,00 = 191,00$ m.

para la primera curva, y

Piquete	<i>D'.</i>	$\rho = 30560 : 160,00 = 191,00$ m.
Piquete núm. 435.		$\rho = 30560 : 146,16 = 209,09$ m.
Piquete núm. 436.		$\rho = 30560 : 126,16 = 242,07$ m.
Piquete núm. 437.		$\rho = 30560 : 106,16 = 287,87$ m.
Piquete núm. 438.		$\rho = 30560 : 86,16 = 347,73$ m.
Piquete núm. 439.		$\rho = 30560 : 66,16 = 461,91$ m.
Piquete núm. 440.		$\rho = 30560 : 46,16 = 662,05$ m.
Piquete núm. 441.		$\rho = 30560 : 26,16 = 1168,20$ m.
Piquete núm. 442.		$\rho = 30560 : 6,16 = 4961,04$ m.

para la segunda.

Si el replanteo se hace por medio de cuerdas de 20 metros desde el origen, los radios de curvatura de las dos curvas de transición, empezando la numeración de los piquetes desde *C* y *C'*, respectivamente, serán:

Piquete núm. 1.	$\rho = 30560 : 20 = 1528,00$ m.
Piquete núm. 2.	$\rho = 30560 : 40 = 764,00$ m.
Piquete núm. 3.	$\rho = 30560 : 60 = 509,33$ m.
Piquete núm. 4.	$\rho = 30560 : 80 = 382,00$ m.
Piquete núm. 5.	$\rho = 30560 : 100 = 305,60$ m.
Piquete núm. 6.	$\rho = 30560 : 120 = 254,67$ m.
Piquete núm. 7.	$\rho = 30560 : 140 = 218,29$ m.
Piquete núm. 8.	$\rho = 30560 : 160 = 191,00$ m.

El cálculo de los radios de curvatura se ha hecho tomando como

base el radio de curvatura en el punto situado a la unidad de distancia del origen de la curva de transición; pero podría haberse tomado el radio de curvatura en el punto de grado unidad, o sea, en el situado a 20 metros del origen, que es igual a 1.528 metros, y entonces los demás radios de curvatura se obtienen dividiendo el valor de este radio, no por la distancia en metros, sino por la distancia expresada en cuerdas de 20 metros. Así, el radio de curvatura en el piquete núm. 427 de la curva CD será $1528 : 4,359 = 350,53$ metros, y el radio de curvatura en el piquete 4 de cualquiera de las curvas CD o $C'D'$ sería $1528 : 4 = 382,00$ m., porque en el primer caso la distancia entre el origen y el punto que se considera es igual a 4,359 cuerdas de 20 metros, y en el segundo a 4.

Conocidos los radios de curvatura se calculan los peraltes que corresponden por medio de cualquiera de las fórmulas conocidas, con lo que se tendrán todos los datos necesarios para la construcción de las curvas.

Si la vía de comunicación es una carretera o una vía férrea, será suficiente calcular la curva del eje de la vía, como se hace corrientemente. Si se trata de una autovía o autopista en la que haya zonas separadas para los coches ligeros y pesados, y se desea que las curvas se adapten a las diferentes velocidades normales de esta clase de vehículos, habrá que calcular separadamente la curva de cada zona, pero teniendo presente la relación que tiene que existir entre todas ellas.

Puede darse el caso de que sea necesario modificar una curva existente en una vía de comunicación, intercalando una curva de transición tanto a la entrada como a la salida de ella.

Supongamos que $NF_1M_1F'_1N$, (fig. 22) sea el eje de una vía de comunicación en el que las dos alineaciones rectas NF_1 y $N'F'_1$ están enlazadas por la curva circular $F_1M_1F'_1$ y que, por tener que dar un cierto peralte a esta curva, hay que sustituirla por otra formada por dos curvas de transición y una curva circular. La sustitución puede hacerse corriendo toda la curva de manera que no se aumente su grado de curvatura, o aumentando el grado de curvatura de la parte circular para que quede el espacio suficiente para intercalar las curvas de transición. En todos los casos, las tangentes ET' y $E'T'$ a la nueva curva circular tienen que ser paralelas a las tangentes primitivas CT y $C'T$.

Si el grado de la nueva curva circular $EABE'$ (fig. 22) es igual al grado de la curva circular existente $F_1M_1F'_1$, el efecto será como si se hubiera corrido esta curva paralelamente a sí misma hasta re-

sultar tangente a las rectas $E'T'$ y $E'T''$ en los puntos E y E' . Mientras que la distancia que hay que correr la curva circular es pequeña, este procedimiento no presenta ningún inconveniente, porque los trabajos de explanación que hay que ejecutar son de poca importancia.

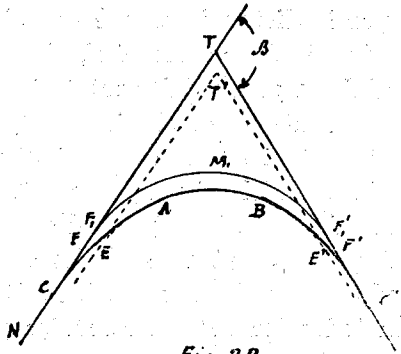


Fig. 22

Si la curva es larga, para obtener un buen enlace por medio de curvas de transición habrá que correrla mucho si se conserva la misma curvatura, y esto puede presentar graves inconvenientes, por lo que, en la mayor parte de los casos, será preferible hacer la curva circular más rápida, esto es, sustituir la existente por otra de menor grado de curvatura.

Las operaciones que hay que efectuar para intercalar curvas de transición en un trazado existente son las que a continuación se expresan:

- 1.^a Determinación del grado de curvatura de la curva circular que se trata de modificar o determinación del radio de la curva, si no se conoce.
- 2.^a Elección de las curvas de transición que se van a intercalar y del grado de la curva circular, si no se va a conservar el grado de la curva existente. Cálculo de los valores de D , r y de las longitudes de las tangentes TC y $T'C'$.
- 3.^a Cálculo de los ángulos tangenciales necesarios para hacer el trazado de la nueva curva.

Cuando no se impone ninguna condición especial para la modificación de la curva, el problema es el mismo que el del trazado de una curva que se ha explicado en las páginas anteriores, ya se vaya a conservar el grado de la curva circular, ya se vaya a modificar éste. Pero a veces se imponen condiciones especiales al trazado, siendo las más comunes las siguientes: primera, que no se varíe la

posición del punto medio de la curva existente; segunda, que la nueva curva ocupe la posición más próxima que se pueda a la que ocupa la antigua. Para el estudio del nuevo trazado de manera que cumpla con alguna de estas dos condiciones es necesario conocer las distancias PD y TD (fig. 16), llamadas la *externa* de la curva circular y de la curva total de enlace, respectivamente.

Si designamos por R el radio de la curva circular y por S la externa, se tiene que $PD = S = OP - OD =$

$$= \frac{R}{\cos. \frac{1}{2} I} - R = R \left(\frac{1 - \cos. \frac{1}{2} I}{\cos. \frac{1}{2} I} \right) = \frac{2 R \operatorname{sen}^2 \frac{1}{4} I}{\cos. \frac{1}{2} I},$$

forma a la que es de fácil aplicación el cálculo logarítmico.

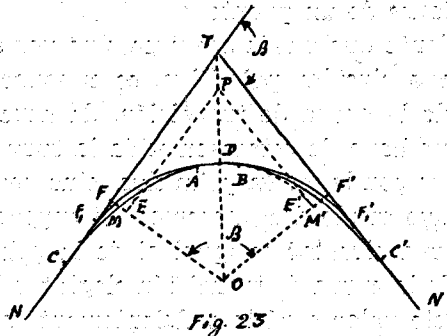
Si designamos por S_1 la externa de la curva total de enlace, en la misma figura 16, tenemos que

$$S_1 = PD + PT = S + \frac{PH}{\cos. HPT} = S + \frac{EF}{\cos. \frac{1}{2} I} = S + \frac{D}{\cos. \frac{1}{2} I}$$

Sustituyendo en esta igualdad S por su valor, se tiene

$$S_1 = \frac{R}{\cos. \frac{1}{2} I} - R + \frac{D}{\cos. \frac{1}{2} I} = \frac{R + D}{\cos. \frac{1}{2} I} - R$$

Sea ahora (fig. 23) una curva circular $F_1 D F'_1$, que tiene que sus-



tituirse por otra con la condición de que la nueva curva pase por el punto D .

Sean $S = TD =$ la externa de la curva circular existente;

$S' = PD$ = la externa de la nueva curva circular;

S'_1 = la externa de la nueva curva total.

Como el punto D no tiene que moverse, resulta que $S'_1 = S$.

Según acabamos de ver, $S'_1 = S = S' + \frac{D}{\cos. \frac{1}{2} I}$, de donde

$$S' = S - \frac{D}{\cos. \frac{1}{2} I}$$

La externa de la curva circular primitiva se calcula por la fórmula dada antes para la externa de una curva circular. Para determinar el valor de S' hay que dar un valor a D , y, una vez hecho esto, se calcula el radio de la nueva curva circular por la fórmula $R' =$

$$= \frac{S' \cos. \frac{1}{2} I}{1 - \cos. \frac{1}{2} I} = \frac{S' \cos. \frac{1}{2} I}{2 \text{ sen.}^2 \frac{1}{4} I}$$

Conocido el radio de la nueva curva circular y el valor de D que se ha elegido anteriormente, se pueden determinar la longitud de las curvas de transición y los demás elementos necesarios para su replanteo.

En el procedimiento que se acaba de explicar, el valor de D se ha elegido arbitrariamente. Sucede a veces que la magnitud que puede admitirse para este desplazamiento D está impuesta por ciertas condiciones del terreno o del trazado, como sucede en una vía férrea cuando la curva está dentro de un túnel que no puede ensancharse o en las inmediaciones de un puente.

Otro procedimiento que puede seguirse, una vez que sea conocido el grado de la curva circular primitiva, es suponer un cierto valor para la longitud de la curva de transición, de acuerdo con la clase de circulación a que haya de estar sometida la curva. Esta curva de transición no enlaza con la curva primitiva, sino con la nueva curva circular $E D E'$, cuyo grado desconocemos. Si suponemos que el grado de la nueva curva circular es igual al de la primitiva, se podrá calcular el grado de la curva de transición elegida y la magnitud que resulta para D . Este valor será lo suficientemente aproximado para poder juzgar si es o no demasiado grande el desplazamiento que ha de resultar en definitiva. Si la distancia FM entre la curva primitiva y la nueva resulta mayor de lo que puede admitirse, se modificará la longitud de la curva de transición disminuyéndola hasta que se ob-

tenga un valor admisible para FM . Con este valor de L y el valor aproximado de D se calcula el grado de curvatura de la curva de transición y el de la nueva curva circular, como ya se ha explicado.

Si en vez de imponer como condición que no se mueva el punto medio D de la curva circular se pide que la distancia entre la nueva curva y la antigua sea la menor posible, el nuevo trazado debe pasar a una distancia del punto D que sea igual a lo que se corra el origen

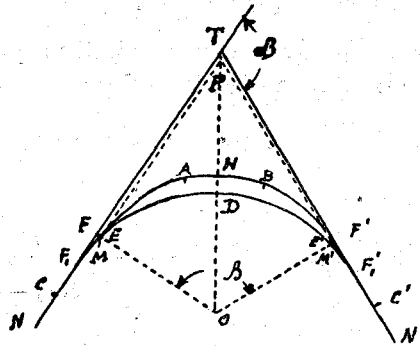


Fig. 24

de la curva. Esto es, la distancia HD (fig. 24) debe hacerse igual a $\frac{D}{2}$, siendo D la distancia EF .

Si llamamos S la externa PH de la nueva curva circular, se tendrá que $S' = PD - HD = PD - \frac{D}{2}$. En la figura se ve que

$$PD = TD - TP = S - \frac{D}{\cos. \frac{1}{2} I}$$

luego.

$$S' = S - \frac{D}{\cos. \frac{1}{2} I} - \frac{D}{2}$$

El procedimiento que se sigue en este caso es fijar el valor máximo que puede admitirse para FM y calcular la externa S de la curva primitiva, con lo que ya se podrá calcular el radio y el grado de la nueva curva, la longitud de la curva de transición y el grado unidad de ésta.

Otra condición que puede imponerse es que la longitud de la cur-

va de transición y el grado de la nueva curva circular sean tales que el eje de la vía existente se corra una cierta distancia en el origen de la nueva curva circular y que el punto medio de ésta se corra también una distancia dada, en uno u otro sentido.

Sea FM (fig. 24) la distancia que puede correrse el eje de la vía existente en el origen de la nueva circular y $d = HD$ la distancia que puede correrse el punto medio de la curva circular.

Desde luego, se tiene que $FM = \frac{D}{2}$.

Si S es la externa TD de la curva primitiva y S' la externa PH de la nueva curva circular, se tendrá que

$$S' = PD - HD = PD - d,$$

y como

$$PD = TD - TP = S - \frac{D}{\cos. \frac{1}{2} I}$$

resulta

$$S' = S - \frac{D}{\cos. \frac{1}{2} I} - d$$


Si el punto medio de la curva circular ha de correrse hacia el interior de la curva primitiva, se ve fácilmente que

$$S' = S = \frac{D}{\cos. I} + d$$

Se ve, por tanto, que si se calcula S y se dan valores determinados a D y d , se puede calcular el valor de la externa S' de la nueva curva y los elementos necesarios para su replanteo.

Cuando se tenga que redactar un proyecto de importancia en una vía de comunicación en el que haya muchas curvas de diferentes radios, resulta muy conveniente calcular de antemano tablas para las curvas de transición de diferentes grados de curvatura. Cada tabla se encabezará con el grado unidad de curvatura, o sea, con el grado de curvatura correspondiente al punto de la curva situado a 20 metros del origen, y contendrá, por lo menos, ocho columnas. En la primera columna se anotarán las distancias al origen en metros o en estaciones, llamando estación a la distancia de 20 metros que hay entre dos piquetes principales. Estas distancias serán de cinco en

cinco metros, de dos en dos metros, o las que sean más convenientes, debiendo tenerse presente que cuanto mayor sea el grado de curvatura unidad de la curva de transición, tanto menor debe ser la distancia entre los puntos. En la segunda columna se anotará el grado de curvatura de la curva de transición en el punto que figura en la primera columna. En la tercera columna figurarán los ángulos de desviación, o sea, los ángulos que las tangentes en los diferentes puntos forman con la tangente en el origen, y en la cuarta columna los ángulos que hay que formar en el origen con la tangente para determinar la situación de los puntos. En la quinta columna se anotarán los valores del desplazamiento de la curva, o sea, de D . En la sexta columna se darán los valores de las ordenadas y , y en la séptima los de las cantidades que hay que restar de la mitad de la longitud de la curva de transición hasta cada punto para obtener el valor de las abscisas x . La octava columna se destinará a los valores de r , o sea, de las cantidades que hay que restar de la mitad de la longitud de la curva de transición en cada punto para obtener el valor de la abscisa del centro del círculo osculador. Se pueden agregar otras columnas con los grados de curvatura, longitudes de las tangentes, etcétera, etc. No cabe la menor duda de que estas tablas economizan tiempo y trabajo.





ANTONIO GUERENDIAIN

::: CAPITAN DE INGENIEROS :::

Seis semanas en las fábricas

DE LOS

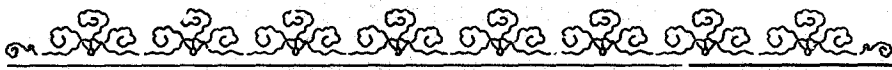
Estados Unidos de América

**Impresiones de mi visita durante los
meses de septiembre y octubre de 1929**



**PUBLICACIÓN DEL «MEMORIAL
DE INGENIEROS DEL EJÉRCITO»**

::: ::: MADRID 1933 ::: :::



A manera de prólogo

Comisionado por la Fábrica española de motores de Aviación, Elizalde S. A., realicé en los meses de septiembre y octubre de 1929 un viaje de estudio por las principales ciudades de los Estados Unidos de América dedicadas a la industria metalúrgica.

El objeto principal de mi viaje era visitar la grandiosa Exposición de maquinaria que, organizada por los principales fabricantes americanos de máquinas-herramientas, había de tener lugar en Cleveland en los últimos días de septiembre de aquel año, con objeto de formar juicio del progreso alcanzado en la fabricación de maquinaria americana, que sirviera de orientación para la adquisición de máquinas con destino a nuestra fábrica de Barcelona. Al mismo tiempo tenía por objeto mi viaje estudiar el desarrollo adquirido en Norteamérica por la industria de motores de aviación, así como los métodos de trabajo empleados, y tipos principales de fabricación.

Pretendía asimismo visitar todo lo detenida y completamente que me fuera posible las principales fábricas de máquinas-herramientas, y estudiar su organización y métodos de trabajo, toda vez que por la índole de su fabricación y el volumen de sus "series" son las más comparables a nuestra fábrica y de las que, por tanto, más enseñanzas pueden obtenerse.

No podía faltar una visita, siquiera fuera rápida, a la industria del automóvil, la más poderosa de cuantas existen en aquel país.

Diversas circunstancias derivadas de mi cotidiano trabajo han retrasado la tarea de ordenar y poner en limpio estas notas, y creyendo que pudieran tal vez presentar cierto interés para algunos de mis compañeros de Cuerpo, las envío hoy al MEMORIAL, advir-

tiendo, sin embargo, al lector, que no busque en ellas otra cosa que la rápida sucesión de impresiones que me ha sido posible anotar durante mis visitas, que no han podido ser todo lo detenidas que hubiera sido necesario para llevar a cabo una completa labor informativa bien documentada.

La época de mi visita coincide con el malestar económico que determinó la baja de valores en la Bolsa de Nueva York; todavía no había llegado a producirse el formidable pánico que tantos estragos causó, pero en muchas de las principales fábricas se notaban ya los síntomas de la depresión originada por el febril y desenfrenado aumento de la producción en los años anteriores, que ha puesto en peligro toda la organización industrial de los Estados Unidos.

Es de desear que, aprovechando la dura lección, se oriente en el porvenir la economía mundial por más seguros derroteros, buscando sin cesar el perfeccionamiento y mejora de los métodos de trabajo que permitan abaratar el producto, pero siempre de manera que la producción no exceda de la capacidad de absorción del mercado, y, sobre todo, no intentando por ningún concepto ninguna reforma que lleve como consecuencia una disminución de mano de obra, si esta mano de obra sobrante no puede ser inmediatamente empleada en otra actividad productora necesitada de brazos.

No debemos nunca olvidar que la Humanidad no logrará dar un paso decisivo hacia el progreso material, auxiliar indispensable del progreso moral, hasta que todos y cada uno de los hombres puedan, mediante su concertado trabajo, proporcionarse no sólo los medios indispensables para su subsistencia, sino también, y en proporción a la intensidad y eficacia de su esfuerzo individual, todos aquellos elementos que el esfuerzo colectivo de la civilización ha conquistado para satisfacer las aspiraciones en las que se basa el bienestar.

CAPITULO PRIMERO

Exposición de Cleveland

La Exposición de Cleveland es una grandiosa manifestación del poderío y desarrollo de la fabricación de máquinas-herramientas en los Estados Unidos, pudiendo decirse que están representados en ella la totalidad de los fabricantes.

Todas las máquinas presentadas, que son las muestras de los más perfeccionados modelos de cada firma, se presentan montadas y equi-

padas para trabajar diversas piezas, principalmente de aplicación para la industria de fabricación de automóviles, y algunas asimismo para la fabricación de motores de aviación.

Casi la totalidad del tiempo que permanece abierta la Exposición, cada día las máquinas trabajan a la vista del público, que puede apreciar las condiciones prácticas de funcionamiento y rendimiento de cada modelo expuesto.

Aparte de la gran nave llena de máquinas de todas clases, existe otra nave dedicada exclusivamente a maquinas auxiliares y herramientas, en la que hay igualmente gran cantidad de modelos.

La organización es buena; la afluencia de gente, grande, lo que demuestra que ha despertado vivo interés en el mundo industrial. Se ven muchos europeos, principalmente alemanes y franceses.

Las características principales de las máquinas expuestas pueden resumirse de la manera siguiente:

1.º *Rapidez en los movimientos y maniobra de las máquinas; ahorro de tiempo.* Empleo de mandos mecánicos automáticos, eléctricos o hidráulicos muy rápidos para todos los movimientos de las máquinas, con velocidades rápidas para los movimientos muertos y paso automático a la velocidad más lenta de trabajo.

2.º *Presentación y acabado perfecto de las máquinas expuestas,* construídas con verdadero lujo mecánico y empleo muy racional de materiales y formas. Algunas máquinas llegan a realizaciones difíciles de superar.

3.º *Tendencia marcada hacia las grandes velocidades de corte* por el empleo de aceros extrarrápidos de reciente descubrimiento y herramientas de carburo de tungsteno (Carboloy).

4.º *Preocupación bien marcada por la esmerada ejecución del trabajo* y logro de piezas verdaderamente exactas e intercambiables de precisión. Empleo abundante en las máquinas de topes de final de carrera de trabajo provistos de comparadores de esfera graduada, de fácil lectura y gran precisión. Máquinas dedicadas especialmente al acabado perfecto de las piezas; "Lapping" de engranajes y ejes de émbolo; "Honnig-Machine" para rectificar cilindros; máquinas de rectificar de precisión.

5.º Empleo de garras, platos y pinzas de fijación de mando neumático, eléctrico o hidráulico de acción rápida y máxima eficacia.

6.º *Producción elevada a toda costa;* empleo de máquinas formidables y maravillosas de producción sorprendente y funcionamiento segurísimo y perfecto, para la ejecución de toda clase de piezas, principalmente con destino a la industria automóvil, bien por

fases u operaciones elementales, bien atacando la pieza en bruto, de forja, para terminarla completamente, por complicada que sea. Hoy puede decirse que hay una máquina especial automática para fabricar cualquier pieza de mecánica siempre que la producción que pueda absorber el mercado permita el estudio, adquisición y mantenimiento de las máquinas complicadísimas y maravillosas, cuyo seguro e intensivo funcionamiento causa asombro y pavor al imaginar a dónde podrá llegar, en un porvenir muy próximo, la industria mecánica con el empleo de medios tan formidables.

* * *

Entre todas las instalaciones descuella por su presentación CINCINNATI con una serie de máquinas automáticas y fresadoras de precisión maravillosa.

Se destacan a continuación PRAT & WHITNEY, BROWN & SHARPE, GISHOLT, FELLOWS, NORTON, como instalaciones de conjunto, y una multitud de fabricantes de máquinas de todas clases, de entre los cuales he entresacado los más interesantes, a mi modo de ver, y que se detallan en la relación que sigue:

The Avey Drilling Machine C.º—Taladros pequeños y medianos, sencillos y dobles, para taladrar y roscar, con dispositivos automáticos. Sierra de cinta continua muy interesante para cortar barras.

W. F. & Jonh Barnes C.º Barnes Drill C.º—Taladros múltiples. Modernas máquinas de taladrar, fuertes, sencillas y dobles, equipadas con mesas giratorias automáticas. Máquinas de rectificar cilindros, sencillas y múltiples.

The Blachard Machine C.º—Máquina grande para planear, con muela de eje vertical, pequeñas piezas, en montaje giratorio automático.

Brown & Sharpe Mfg. C.º—Máquinas de rectificar. Fresadoras modernas con comparadores. Tornos automáticos para tornillería.

Bryan Chucking Grinder.—Máquinas para rectificar taladros de pequeño diámetro. Idem para rectificar cilindros.

The Bullard Company.—Tornos revólver verticales.

Grupo Cincinnati.—Máquinas de rectificar, tornos, máquinas de fresar, máquinas "Centerless".

De Vilieg Machine Tool C.º—Fresadora rígida.

Diamond Machine C.º—Máquinas de planear con muela.

Fellows Gear Shaper C.º—Máquinas modernas para tallar engranajes. Máquinas para verificar ruedas dentadas.

Foster Machine C.—Tornos revólver y platos rápidos para tornos.

Gisholt Machine C.—Tornos revólver de movimiento rápido.

The Heald Machine C.—Máquinas de rectificar interiores perfeccionadas y máquinas especiales para rectificar cilindros.

The Ingersoll Milling C.—Máquinas de afilar cabezales-fresas.

Jones & Lamson Machine. C.—Tornos revólver y semiautomáticos. Aparatos para comprobar roscas y perfiles de fresas de forma.

Landis Tool C.—Máquinas de rectificar de todas clases y especiales para rectificar ejes de levas y cigüeñales.

R. K. Le Blond Machine Tool.—Tornos semiautomáticos.

Norton Company.—Máquinas de rectificar.

Pratt & Whitney C.—Tornos cilíndricos. Máquinas de planear con muela. Taladro pequeño para roscar automático. Máquina automática de roscar tuercas.

Reed Prentice Corpn.—Fresador vertical de cabezal universal de gran rendimiento.

Rockford Drilling Mch. C.—Máquinas de mandrinar múltiples.

Wm. Sellers & C.—Máquinas de afilar herramientas. Idem de afilar brocas.

Sundstrand Mach. Tool C.—Fresas rígidas y tornos semiautomáticos.

CAPITULO II

Fábricas de maquinaria.

The American Tool Works C. (Cincinnati).—Fábrica que ocupa 800 operarios, dedicada a la fabricación de tornos, taladros radiales y limadoras, establecida en un vasto local de tres cuerpos de edificio. La anchura excesiva que se ha dado a las naves, unido a la poca altura de techos, hace mal efecto y produce una falta grande de iluminación aun en pleno día, cosa que obliga a trabajar con luz artificial en muchas secciones.

La maquinaria empleada es bastante moderna, pero no es de los tipos de máquinas especiales automáticas y ultramodernas que he visto en la Exposición de Cleveland; naturalmente que la producción, no excesivamente elevada, de esta fábrica no justificaría su empleo, pero se nota marcadamente una manera de trabajar que pudiéramos llamar "clásica" ó tradicionalista. Mucho trabajo de

ajuste a mano, muchas operaciones confiadas a la iniciativa y modo de hacer peculiar de cada operario. Las máquinas aparecen abarrotadas de trabajo en sus inmediaciones; gran cantidad de piezas en bruto, principalmente de piezas grandes de fundición por todas partes, aparte de que, según nos aseguran, existe otro espacioso local en las inmediaciones donde las piezas fundidas procedentes de la fundición, que trabaja para varias fábricas, "envejecen" durante varios meses antes de entrar en las operaciones de mecanización.

Entre la maquinaria se destaca como característica principal el empleo de grandes cepilladoras de planear con mesas de doce o quince metros de largo donde se trabajan las bancadas de los tornos y limadoras por grupos de seis u ocho, dando como resultado un trabajo lentísimo.

Aparte de esto existen excelentes máquinas de rectificar, así como de cortar engranajes, y buenos tornos de su propia fabricación. La instalación de tratamiento térmico, así como el chorro de arena y lavado de piezas, son de concepción más moderna y alto rendimiento.

El "acabado" de la maquinaria se hace por medio de pintura al "Duco", que se lleva a cabo en una sección muy bien instalada, con cámaras cerradas hechas de chapa y provistas de aspiradores de aire para producir una suficiente aireación indispensable en este procedimiento.

Aparte de esta sección de pintura, por donde pasan todas las piezas una vez terminadas, y antes de ir a montaje las piezas de fundición, reciben en el almacén, al llegar de la fundición, una primera imprimación de minio, y posteriormente, en las primeras fases de mecanización, una mano de apresto. Los defectos o deterioros que puedan producirse en el montaje se reparan por medio de otra ligera mano de "Duco", que se da una vez terminado el montaje de la máquina.

En general, la técnica y la calidad del producto son buenas, pero podría producirse seguramente con más economía, en tiempo sobre todo.

Existe un bien montado laboratorio industrial con una sala anexa para el ensayo de nuevos tipos de máquinas.

Los servicios de Estudios o Proyectos, así como las oficinas administrativas, se hallan instaladas con gran lujo y amplitud en la planta principal de uno de los edificios, observándose gran cantidad de máquinas calculadoras y el empleo universal e intenso del "dictáfono" para todos los trabajos de mecanografía.

Los productos de esta fábrica gozan indudablemente de muy buena reputación en los Estados Unidos, pues en todas las fábricas que he visitado los he visto empleados en profusión, sobre todo los taladros radiales, que son, sin disputa, los más empleados entre todas las marcas, y, a mi juicio, con justo motivo.

* * *

The Avey Drilling Machine C.º (Cincinnati).—Fábrica que ocupa 5500 operarios, dedicada a la fabricación de máquinas de taladrar, sencillas y múltiples, de pequeña potencia, pero de buena calidad y precisión. Destaca sobre todo la máquina doble para taladrar y roscar con retroceso automático y motor directamente acoplado en la parte alta de la máquina.

El edificio que ocupa es de cuatro pisos muy espaciosos y bien iluminados por la circunstancia de ser los techos más altos y las naves más estrechas que en la fábrica de la American.

La maquinaria es moderna y muy bien cuidada, el utilaje estudiado con mucho interés y perfectamente entretenido. Hay muchos tornos especialmente dedicados y equipados para llevar a cabo determinadas operaciones. Empleo de cabezales de cambio rápido McCrosky en las operaciones de taladrado. Un material que llama la atención es el constituido por una serie muy bien estudiada de bandejas metálicas para el transporte de piezas que permite apilarse unas sobre otras y todas sobre plataformas que son trasladadas por medio de carretillas eléctricas.

La técnica de fabricación es buena, dando como resultado una buena calidad de producto. Las series de fabricación son de unas 20 máquinas de un tipo.

No he visto laboratorio. La sección de tratamientos térmicos, que está bastante bien instalada, consta de una batería de hornos de gas con pirómetros registradores.

Aparte de los tipos de taladro normal, esta Casa produce pequeñas unidades de taladro de tipo horizontal con motor eléctrico directamente acoplado y mando automático de retroceso. Combinadas varias unidades de éstas sobre una bancada de fundición se obtienen diversas máquinas especiales para la producción automática de piezas con varios taladros orientados en cualquier sentido, obteniéndose una producción elevada por la ejecución simultánea de varias operaciones. El proyecto y construcción de estas máquinas, que se hace sobre pedido especial, se atiende en una sección dedica-

da exclusivamente a este objeto. Esta parte de la fábrica, que, como es natural, trabaja con series muy reducidas, deja bastante que desear en concepto de organización y método de trabajo.

* * *

R. K. Le Blond Machine Co. (Cincinnati).—Hermosa fábrica, aunque no muy grande (850 operarios), instalada en un magnífico local. El cuerpo principal, donde están instalados todos los servicios administrativos y técnicos, es un bonito edificio de ladrillo con grandes ventanales que proporcionan una abundante iluminación en todas las dependencias. Consta de cuatro pisos. Adosado a él se extiende el conjunto de naves de fabricación, formadas por un hermoso entramado metálico dispuesto para realizar la conocida cubierta en "diente de sierra", pero de unas proporciones de altura y amplitud poco comunes que causan un efecto muy bueno, proporcionando anchurosas y bien iluminadas y aireadas naves de fabricación, en cada una de las cuales, aprovechando la altura de que antes he hecho mención, corren puentes-grúas con mandos eléctricos rapidísimos que realizan todo el transporte de las gruesas piezas de fundición que forman la mayor parte de la fabricación, dedicada a la construcción de tornos del tipo revólver y semiautomático, así como máquinas especiales automáticas para torneear. Otra sección de la fábrica se dedica a la construcción de motores pequeños de aviación, de tipo utilitario, refrigerados por aire, en estrella, de cinco y siete cilindros, de dimensiones muy reducidas.

En toda la fábrica se advierte un gran espíritu de amplitud que se refleja en la abundancia de medios de todas clases. Gran cantidad de máquinas, aunque aparecen inactivas una gran porción de ellas; grandes espacios libres dispuestos para instalar, cuando sea preciso, nuevas secciones de fabricación; todos los locales y máquinas perfectamente entretenidos y limpios, y por si fuera poca la amplitud que se nota en el interior de los locales, existe, lindante con la parte edificada, un extenso terreno destinado a futuras posibles ampliaciones, todo ello sin contar un hermosísimo y perfectamente atendido parque-jardín con frondoso arbolado y bien cuidadas avenidas entre macizos de variadas flores, que contribuye a dar a la fábrica un aspecto señorial, descartando por completo la idea de *sucio y feo* que parece que ha de ser la característica de una gran industria tal como se ha entendido hasta hace poco en Europa.

Todos los servicios interiores están instalados con lujo y ampli-

tud, y en las naves de fabricación destaca, desde luego, la instalación completa de aire comprimido, calefacción, ventilación y protección contra incendios. Todos los locales y máquinas se encuentran cuidadosamente pintados.

La maquinaria es bastante buena y moderna. La fábrica lleva diez años de vida, y la maquinaria, en su mayoría, no parece tener más de cuatro o cinco años.

La técnica de fabricación es buena, aunque no ofrece nada nuevo, como no sea un abundante empleo de medios rápidos de sujeción o montajes para el trabajo de las piezas de las máquinas, que parecen de muy buena calidad y muy bien fabricadas y entretenidas.

La "serie" es pequeña. El movimiento en el taller, aunque las naves son, como digo, muy grandes, no da la sensación de ser muy intenso. Hay muchos elementos que evidentemente no rinden todo lo que pudieran rendir.

Hay enormes cantidades de piezas pesadas de fundición que, aunque no causan impresión de agobio porque están colocadas en locales muy amplios, demuestran la existencia de un capital fabuloso que duerme entre las máquinas.

El movimiento de las piezas y la sucesión de operaciones en su mayoría parecen ir bastante "por las buenas".

No me causa la impresión de que exista un "taylorismo" muy desarrollado y floreciente, sin que esto quiera decir que no haya una correcta distribución de trabajo regulada desde unos puestos de mando donde, empleados con ficheros y cuadros, llevan la marcha de las operaciones.

Las fabricaciones son según pedidos, que unas veces son especiales para una máquina y otras para surtir el almacén o las agencias de venta.

La calidad de trabajo es buena. La inspección de las piezas se realiza en departamentos colocados entre las secciones.

No he visto laboratorio ni sección de tratamientos térmicos, aunque es de presumir que existan instalados a tono con el resto de la instalación.

En conjunto, como técnica de fabricación, no tenemos nada que envidiarles.

Nos aventajan, en cambio, en elementos de todas clases: maquinaria, amplitud y capital.

Nuestro operario es más rápido y, seguramente, más hábil, pues si ellos tuvieran que trabajar con nuestras máquinas no acertarían a dar un paso, acostumbrados como están a manejar máquinas semi-

automáticas y en las que la precisión es obra exclusiva de la máquina, sin atención directa del obrero.

* * *

The Cincinnati Milling Machine C.º (Cincinnati).—Hermosísima fábrica que da trabajo a 2.500 operarios, dedicada a la fabricación de máquinas fresadoras de todos tipos, principalmente máquinas especiales, automáticas y semiautomáticas, provistas en los últimos modelos de mando "hidráulico" por aceite a presión para todos los movimientos de la mesa.

El edificio ocupado es de grandiosas proporciones. En el cuerpo principal, magnífica y lujosa instalación de oficinas de Estudios y Proyectos, de servicio comercial y administrativo y de personal. Botiquín y clínica montados con todo lujo; *restaurant* para el personal administrativo de la Casa; y otro más modesto, estilo "bar", para los operarios, que encuentran en el establecimiento por módico precio no sólo comida sana y bien condimentada, sino diversos y variadísimos artículos de consumo corriente.

El maquinismo burocrático llega a un extremo que no he visto sobrepasado en ningún otro establecimiento. Asombra la cantidad de máquinas de escribir, calcular, imprimir y dictar que se ven por todas partes. Derroche de empleados de oficina en despachos "americanos" llenos de luz y montados con un *confort* del que resulta difícil formarse una idea desde un punto de vista "europeo".

Las instalaciones sanitarias, de aseo y guardarropas son modelos de una perfección difícil de superar. Antes de visitar las naves de maquinaria ni de ver la perfección del trabajo que en ellas se lleva a cabo se siente uno poseído de la impresión de estar en una Casa que marcha a la cabeza de la industria americana de maquinaria, y en la prosperidad en que vive y en la abundancia de medios con que se desarrolla, no escatima nada para tener montados todos los servicios en el mayor grado de perfección.

La seriedad, rapidez, concisión y eficacia con que se llevan a cabo las pequeñas formalidades y atenciones con relación a los visitantes dan la sensación de una fábrica en que hasta los más pequeños detalles están estudiados y organizados minuciosa y concienzudamente.

Si brillante es la impresión que produce la visita a las dependencias administrativas, resulta inmediatamente pálida si se compara con la grandiosa impresión que produce la entrada en las naves de maquinaria.

Magnífica agrupación de naves gigantescas llenas de luz y de una construcción sólida y elegante de entramado de hierro pintado completamente, así como los techos y toda clase de accesorios, de pintura blanca de aluminio, que causa la impresión más deslumbradora de que se pueda tener idea, y mantenido todo en un estado de policía, limpieza, orden y acabado de pintura tal que corrobora la impresión de que se encuentra uno frente a una organización modelo a la que nada se escapa. Si dejamos aparte a Ford, de la que más adelante me ocuparé, es ésta la fábrica mejor presentada de todas las que he visitado en mi viaje.

Las máquinas son modernísimas, de producción elevada, sin llegar al automatismo, pero sí a un semiautomatismo, que permite al operario atender tres o cuatro máquinas.

Elevada técnica de fabricación; inspección del trabajo escrupulosa; "ficha" de trabajo con instrucciones detalladas y tiempos elementales; trabajo a prima; centralización del afilado y fabricación de herramientas; magnífico utilaje y admirables montajes fabricados por la misma Casa y mantenidos en un estado de limpieza de inconcebible realización; en una palabra: se encuentra en esta fábrica, llevado a la práctica y en un grado de perfección inverosímil, cuanto puede hallarse preconizado en los mejores tratados especialistas de organización industrial, y a fe que se siente uno animado a seguirles e imitarles, pues los resultados no pueden ser más halagüeños. Al recorrer la fábrica de Cincinnati se halla la explicación clara y terminante del rotundo éxito alcanzado en la Exposición de Cleveland. La técnica y organización perfectísimas de esta Casa tenían forzosamente que dar soberbios frutos.

Aunque por no ser esta fábrica de nuestra especialidad, sus métodos y procedimientos no pueden aplicarse íntegramente a nosotros por la radical diferencia entre la fabricación de maquinaria con grandes piezas de fundición y nuestra fabricación de motores, creo que tenemos en ella mucho que aprender e imitar, pues el volumen de sus "series", muy comparable al de las nuestras, y la calidad del trabajo ejecutado, la colocan, por otra parte, en un plano muy próximo a aquel en que nosotros hemos de movernos. La fábrica estaba en estado de gran transformación, pasando de la organización en grupos homogéneos de máquinas a la constitución de "talleres" especiales para la ejecución de determinadas piezas, y comenzaban ya a verse grupos de máquinas que trabajan en cadena con transportadores especiales automáticos adaptados a la naturaleza de la pieza para realizar el transporte continuo de unas máquinas a otras.

La instalación térmica para el tratamiento de los aceros es completísima, con magníficos hornos de gas y eléctricos, provistos todos de aparatos de medida, de temperatura, registradores automáticos. Al pie de hornos se reconocen las piezas por medio de máquinas "Brinell", de lectura directa en cuadrante.

El laboratorio de ensayos metalográficos es muy completo, y existe en él una sección muy curiosa dedicada al estudio de las virutas y limaduras arancadas por las máquinas que fabrica la Casa con objeto de mejorar las condiciones de trabajo de dichas máquinas, y puede en dicha sección verse una interesante colección de fotografías y microfotografías de las que han hecho un detenido estudio que permite deducir y poner de manifiesto las vibraciones y demás factores anormales, que procedentes del mal estado de ajustes o rigidez de la máquina o del defectuoso afilado de la herramienta perjudican a la buena calidad y rendimiento del trabajo mecánico.

Existe una instalación completísima para el ensayo de las máquinas prototipos, desde el punto de vista de la rigidez de todas sus piezas, que puede medirse *en trabajo* mediante aparatos registradores y de lectura directa en cuadrantes que acusan cualquier deformación sufrida por las distintas piezas de la máquina a las que van aplicados. Al mismo tiempo, se aprecia el esfuerzo del trabajo útil y el esfuerzo motor correspondiente por medio de dinamómetros automáticos registradores que imprimen el diagrama de trabajo de la máquina.

Asimismo existe una instalación para el estudio y medida del ruido de los distintos mecanismos por medio de un amplificador de válvulas de tres electrodos. Tienen, igualmente, un aparato estroboscópico para el estudio de las piezas animadas de movimientos rápidos, valiéndose de lámparas eléctricas especiales de luz intermitente de alta frecuencia.

Por último, pude ver una gran sala de exposición de los últimos modelos y tipos de máquinas, y lindando con ella, y dependiente del servicio comercial, una especie de salón-anfiteatro donde se reúnen periódicamente los agentes de ventas para instruirse por medio de las conferencias de demostración que a la vista de los nuevos modelos de máquinas les dan los ingenieros de la Casa, auxiliándose por medio de proyecciones.

Tal es, a grandes rasgos, la fábrica de la Cincinnati Milling, modelo de fábricas de máquinas-herramientas.

Cincinnati Grinders Incorporated (Cincinnati).—Esta fábrica, filial de la anterior y agrupada con ella comercialmente, fabrica independientemente las máquinas de rectificar de todas clases, principalmente las famosas *centerless*, automáticas y semiautomáticas, y las modernas máquinas de rectificar *hidromatic*, de mandos “hidráulicos” por aceite a presión.

Es una fábrica mucho más pequeña que su asociada, pues emplea 500 operarios solamente, y está establecida en un hermoso edificio rodeado de un bonito parque-jardín, muy parecido al de Le-Blond, pero de menores proporciones. Siendo, como hemos dicho, esta fábrica una asociada a la fábrica de fresadoras, se respira en ella el mismo ambiente de orden, limpieza y presentación.

La instalación es modernísima, así como toda la maquinaria; ocupa un gran edificio de entramado de hierro que deja los muros constituidos casi en su totalidad por grandes vidrieras que proporcionan una abundantísima luz. En el centro existe una hermosísima nave de montaje de máquinas en la planta baja, con tres órdenes de galerías laterales abiertas que no quitan luz a la nave central y proporcionan un buen aprovechamiento del terreno y forman un bloque compacto.

De estas galerías, las de un costado están ocupadas, la primera por máquinas pesadas y las dos superiores por máquinas ligeras; las del costado opuesto son: la primera de oficinas administrativas y de personal; la segunda, oficinas técnicas, aunque de poca importancia, porque el “grueso” que pudiéramos llamar de este servicio está en la fábrica de fresadoras; y en la tercera, el estudio y fabricación de utilaje. Existe una oficina especial para el estudio de máquinas especiales para satisfacer demandas de los clientes y dibujo de los oportunos proyectos.

La fundición de piezas de hierro procede de la fábrica de fresadoras, donde se terminan igualmente varias piezas de las máquinas de rectificar, como, por ejemplo, los engranajes.

La importancia reducida de las series que trabajan les ha llevado a la solución de tener gran cantidad de trabajo acumulado pendiente alrededor de las máquinas sin que se note obstrucción, sin embargo, en ningún caso, gracias a las proporciones de amplitud con que están instaladas las máquinas.

Como instalaciones especiales dignas de señalarse en esta fábrica pueden indicarse una instalación central de aspiración de polvo de las máquinas de la sección de afilado de herramientas; la instalación de pintura al “Duco” con pistola en cámaras de ventilación

forzada por medio de tabiques de plancha de acero perforada y la completísima instalación de aire comprimido para la limpieza de piezas y montaje al pie de cada máquina.

* * *

J. D. Wallace & C.° (Chicago).—Pequeña fabriquita que ocupa 75 operarios únicamente, instalada en la planta baja de un edificio en plena población. Se dedica a la construcción de pequeñas máquinas para trabajar la madera, especialmente con destino a modelistería. A pesar de lo reducido de la importancia de esta fábrica, su organización es tan perfecta que puede ponerse de modelo.

Tiene establecido un completo sistema de documentación de taller con su "ficha" y "boletín" de instrucciones, con tiempos elementales y pago de "primas" perfectamente estudiado.

Causa asombro que en una explotación tan pequeña pueda contemplarse una sección de montaje de las pequeñas máquinas que fabrican con estudio tan perfecto de los tiempos y operaciones diversas que trabaja en cadena tan bien como pudiera hacerlo la más renombrada fábrica de automóviles. Su propietario, director, ingeniero y alma de la explotación, todo en una pieza, recibió complacido mi felicitación por el brillante estado de su pequeña industria.

Un detalle que acaba de poner de relieve la eficacia de esta organización es que para los 75 operarios existen ¡50 *mecanógrafas y empleados de oficina!*, con una organización comercial que le permite vender sus productos en el Mundo entero.

* * *

Barnes Drill Company (Rockford).—Fábrica bien montada, en la que trabajan 850 operarios, dedicada a la fabricación de máquinas de taladrar de columna y las "Honing Machines", para el rectificado interior de cilindros por el método de "bruñido".

Está instalada en amplios locales con buena maquinaria; la técnica de fabricación es bastante elevada y se observa, como en todas las demás fábricas, el empleo de muy buen utilaje y montajes especiales. En esta fábrica, sin embargo, y por lo reducido de las series que produce, se llevan a cabo muchas operaciones a mano, y cada máquina es ajustada y puesta a punto por operarios especialistas; la mayoría de las máquinas producidas, como quiera que son destinadas a fábricas de gran producción, salen ya de la fábrica montadas y probadas con el utilaje especial que han de emplear posteriormente en trabajo.

Para el proyecto, tanto de nuevos tipos de máquinas como de los montajes especiales, existe una bien montada oficina de estudios.

Sundstrand Machine Tool Co. (Rockford). — Es una hermosa fábrica que da ocupación a 1.500 operarios. Magníficamente instalada, hubiera causado en mí una impresión mucho más favorable seguramente si no hubiera estado ya impresionado por la instalación de Cincinnati, imposible de superar; no obstante, hay que reconocer que la Sundstrand es una fábrica de primera categoría, tanto por el volumen y calidad de la producción como por el buen orden, organización y técnica de la fabricación.

Si en líneas generales, como digo, no puede decirse que exista en esta fábrica nada verdaderamente extraordinario en cuanto a organización ni instalaciones, a pesar de que cuenta con abundantísima maquinaria de primer orden, en cambio es verdaderamente interesante el producto elaborado.

Fabrica esta Casa dos tipos principales de máquinas: el torno "Stub" y la fresadora "Rigidmill", y después de recorrer las fábricas que he visitado durante todo mi viaje, puedo decir que no he visto máquinas más francamente aceptadas en todas partes, llegando a centenares las máquinas que he visto en trabajo, de cada uno de los tipos, en algunas Empresas.

Se trata de dos máquinas que representan dos verdaderos aciertos, de una eficacia insustituible por hoy en la gran serie y de una utilidad grandísima igualmente en la serie mediana.

El acierto en la concepción de la fresadora "Rigidmill" lo prueba el hecho de que en cuatro años de vida ha llenado las fábricas americanas, reemplazando en el trabajo a marcas antiguas que gozaban de fama mundial.

El torno "Stub", que es un torno del tipo "multi-herramienta", marca asimismo una orientación que rápidamente adoptan todas las fábricas de esta clase de máquinas, y hoy día no se concibe una fábrica americana, dedicada a la grande y mediana serie, que no cuente con una gran cantidad de tornos de esta clase, que van sustituyendo rápidamente a los tornos cilíndricos antiguos.

Siendo, tanto la fresadora "Rigidmill" como el torno "Stub", dos máquinas que necesitan un completo equipo de utilaje y montajes especiales para dar el máximo rendimiento, la Casa Sundstrand ha atendido esta necesidad montando un completísimo servicio de estudio y proyecto de utilaje para todas las demandas de sus clientes, de modo que puede decirse que no sale una máquina de la fábrica sin su montaje especial para el trabajo que ha de ejecutar, y estos montajes son probados en la misma Casa Sundstrand, en un taller especial donde pueden verse las máquinas recién termina-

das y equipadas, trabajando y poniéndose a punto sobre las piezas en bruto o medio mecanizadas que les proporcionan los clientes, para llevar a cabo la prueba en las condiciones exactas en que van a trabajar posteriormente.

Sólo he de añadir que la calidad de los productos de esta Casa puede ponerse sin disputa a la altura de los mejores del ramo.

* * *

Rockford Machine Tool Co. (Rockford).—Esta fábrica, de mucha menos importancia (300 operarios), se dedica a la fabricación de máquinas de taladrar múltiples, especiales para determinados trabajos, que produce en cantidades pequeñas y fuera de serie, siendo la mayoría de las veces un solo ejemplar de máquina, que fabrica, naturalmente, sobre pedido.

Aunque la calidad de esta fabricación no deje nada que desear, por estar en manos de operarios especialistas muy hábiles, el conjunto de la explotación no produce buena impresión, siendo mediocre la maquinaria empleada y no viéndose por ninguna parte nada que indique una cuidadosa y sistemática organización.

Se comprende que es una fábrica que tiene su única razón de existir en la demanda reducida, pero constante, de máquinas especiales, que no pueden fabricarse en serie por escasez de consumo.

Más que como fábrica independiente podría considerársela como "taller de fuera de serie" de otra fábrica mayor.

* * *

Barber Colman Company (Rockford).—Esta fábrica, muy grande en volumen, aunque no mucho en número de operarios, que no suman más que 800, ocupa una serie de locales de todos tipos, edificados, al parecer, sin un plan preconcebido, debido seguramente a cambios en el rumbo u objetivo perseguido por la Empresa.

Por esta razón causa una penosa impresión en el ánimo del visitante, que viene influenciado por la visita de otras fábricas bien organizadas.

A dos ramas de fabricación se dedica principalmente esta Casa, debido, por lo que yo he podido deducir, a las aficiones o aptitudes de dos de sus propietarios, a la vez directores de la Empresa.

Una de las secciones produce maquinaria textil, mientras la otra fabrica máquinas de tallar engranajes y tornillos sinfín por medio de fresa-madre.

La primera sección no la he visto más que accidentalmente, por haber sido presentado al director de la misma, un señor bastante "chiflado" a mi entender, que, "quieras o no", me llevó a su laboratorio o taller particular donde se dedica a inventar y ensayar máquinas y accesorios para la industria textil, y me mostró una serie de modelos de pequeños aparatos e inventos de máquinas verdaderamente curiosas, pero ejecutadas de manera primitiva o como si fueran obra de una técnica de *amateur*. Los efectos de esta inteligencia algo perturbada son los que indudablemente se dejan sentir en la desorientación y falta de plan y armonía que, como antes he dicho, se nota en la instalación general de la Casa.

A pesar de ello, la sección de fabricación de máquinas-herramientas está bastante bien instalada, contando con muy buena maquinaria y una soberbia instalación de tratamientos térmicos para el tratamiento de las fresas, que produce la fábrica juntamente con las máquinas.

El grado de acabado de las piezas fabricadas es muy bueno, y también es buena la calida de las máquinas terminadas; pero sigue encontrándose por todas partes en esta fábrica cosas que desconciertan, pues al lado, por ejemplo, de una preciosa instalación de chorro de arena, para dar un acabado de primer orden a las herramientas fabricadas, existe una sección donde veinte operarias se dedican a grabar a mano, con letras muy cuidadosas, las inscripciones que indican la medida y demás características de las herramientas fabricadas, y parece mentira que no se haya ocurrido emplear una máquina de marcar.

La sección de estudios de nuevos tipos de máquinas está muy bien montada, con todo el lujo con que acostumbran a estar instaladas las secciones de dibujo de las fábricas americanas, dotadas, desde luego, de muy buen material de oficina, con abundantes máquinas de calcular y tableros perfeccionados de dibujo, provistos de reglas equilibradas que permiten trabajar con rapidez y seguridad cualquiera que sea la inclinación dada a la mesa.

* * *

Moline Tool Company (Moline).—Fábrica pequeña, de 400 operarios, dedicada a la construcción de máquinas de taladrar múltiples de varios husillos, ajustables a las varias necesidades que se pueden presentar en una fabricación variada, o bien especiales para una fase determinada de la fabricación en gran serie de piezas de

automóvil generalmente. La instalación es un edificio de una sola planta, donde están instalados los talleres a continuación de las oficinas, sin más separación que una valla de madera; es la fábrica más modesta en su instalación que he visitado en todo el viaje; hay que tener en cuenta que también es la fábrica situada más al occidente de todas las que he visitado, y he podido observar que, a medida que se va uno alejando hacia el Oeste, a partir de Cincinnati y Detroit, van siendo las fábricas más modestas, más pueblerinas, si vale la palabra, porque el núcleo más importante de la industria metalúrgica de Estados Unidos se agrupa en las inmediaciones de aquellas ciudades de las cuales parte indudablemente la corriente de progreso y modernización de la industria.

Aunque la instalación, como digo, no tiene nada de particular, la calidad de las máquinas elaboradas no es mala y la fabricación es por completo fuera de serie, pues las máquinas se hacen una por una, o a lo sumo por grupos de dos o tres, con mucho trabajo de ajuste y repaso de piezas a mano en el montaje.

A pesar de las reducidas dimensiones de la fábrica y de lo escaso de su producción tiene instalado un laboratorio metalográfico muy bien montado y, desde luego, muy superior al de otras fábricas de más importancia. Es una fábrica en que se nota mucho la influencia personal de sus elementos directores, por contraposición a otras fábricas en que solamente se ve flotar un plan o sistema preconcebido, como resultado de una colaboración de las clases directivas, en la que se difumina por completo la influencia propia personal de cada jefe.

* * *

Gisholt Machine Company (Madison).—Fábrica muy bien instalada en edificio muy amplio y dotada de muy buena maquinaria, pero sin alcanzar la perfección de instalación que se observa en las fábricas del grupo de Cincinnati. Tiene empleados 1.300 operarios entre las secciones dedicadas a la fabricación de máquinas-herramientas y las dedicadas a motores de Aviación, de la que me ocupo más adelante.

La larga experiencia de esta fábrica en la construcción de tornos revólver y semiautomáticos la coloca, sin disputa, a la cabeza de las fábricas americanas de esta especialidad, y, en mi opinión, es el torno "Gisholt" el mejor torno revólver que hoy se fabrica en los Estados Unidos.

Recorro la fábrica muy amable y competentemente guiado por un ingeniero muy simpático y enterado, que me pone al corriente de toda la organización de la Casa.

Es, con ligeras variantes, la misma que la de Cincinnati y de todas las fábricas que se preocupan seriamente de conseguir una organización eficaz.

La agrupación de máquinas es mixta, pues existen pequeños "talleres" de máquinas agrupadas especialmente para la fabricación de determinadas piezas, y subsisten, por otra parte, las agrupaciones de máquinas homogéneas para la fabricación de piezas que no justifican la constitución de talleres especiales independientes.

La preparación del trabajo es completa y minuciosa; existe un documento, muy parecido a nuestra "ficha", en el que se dan completas instrucciones detalladas y se conceden tiempos elementales para la ejecución del trabajo.

La verificación es escrupulosa, y se lleva a cabo en departamentos instalados entre las secciones de maquinaria. La calidad de la fabricación es inmejorable.

Otra especialidad interesante de esta fábrica es la construcción de máquinas de equilibrar estática y dinámicamente, reconocidas universalmente como lo más perfecto que existe en el ramo.

* * *

Q-C Engineering & Tool Sales Inc. (Detroit).—Con motivo de haber visto en la Exposición de Cleveland los cerrojos "Quick-Clamp" que esta Casa fabrica para la sujeción rápida de piezas en los montajes y haber decidido la adquisición de algunos ejemplares de muestra para la adopción en nuestro taller, hice la visita a la oficina técnica de esta Casa, donde pude apreciar las distintas aplicaciones de estos cerrojos y su aprovechamiento para distintas formas de sujeción de piezas en varias operaciones. Estos cerrojos son de empleo universal en las fábricas que trabajan en grandes y medianas series, y por su empleo se ahorra un considerable número de operaciones en la fijación de las piezas por comparación a los métodos de sujeción por tuercas, tornillos, bridas, etc., lo que proporciona gran ahorro de tiempo de fabricación.

La oficina está bastante bien instalada, aunque es de pequeñas proporciones, y en ella pude ver varios estudios de montajes especiales, pues esta Casa, en combinación con las fábricas de maquinaria, proporciona a estas últimas los elementos necesarios para la

completa puesta a punto de las máquinas solicitadas por los clientes, siguiendo la política industrial americana de especialización y colaboración, de la que tan buenos frutos obtienen, y que es, por un lado, consecuencia del desarrollo tan formidable de aquella industria, y, por otro, un potente propulsor para aumentar cada día más dicho desarrollo.

CAPITULO III

Fábricas de motores de Aviación.

Como he indicado en otro lugar, uno de los principales objetivos de mi viaje era, naturalmente, la visita de las principales fábricas de motores de Aviación; pero fueron muchas las dificultades con que tropecé para poder llevar a cabo mi deseo, y me fué imposible visitar algunas de las más importantes fábricas.

La razón de esto fué que, estando en aquella época muchas de ellas trabajando exclusivamente para el Ejército y la Armada americanos, estaban bajo el directo "control" del Estado y había prohibición absoluta de que fueran visitadas por nadie.

Esto no obstante, y gracias a mis relaciones, pude visitar las que cito a continuación:

Le Blond (Cincinnati).—Sin dificultad logré entrar en esta fábrica que, como ya he adelantado al hablar de la fabricación de maquinaria, tiene una sección especial dedicada a la fabricación de motores de Aviación. El tipo fabricado es radial, enfriado por aire, cinco y siete cilindros, 60 y 90 caballos.

Es un motor muy compacto y reducido de dimensiones, muy sencillo, y presenta la característica de haberse buscado en todas las piezas la máxima sencillez de fabricación, sacrificando en algunas el peso y en otras el grado de acabado para obtener el producto más barato posible, con vistas evidentemente al mercado particular, pero todo ello sin dejar de presentar un producto correctamente fabricado y de la calidad que exige un motor de Aviación. Así, las partes de las piezas que no es indispensable sean trabajadas aparecen en bruto de forja, aunque ésta es de mucha precisión y exactitud. Los cilindros son fundidos de una pieza, con sus aletas en acero al níquel, y los dejan en bruto de fundición, que asimismo es de muy buena calidad, presentando las aletas perfectamente moldeadas en espesores de unos cinco milímetros. Es un cilindro evidentemente pesado, pero muy económico con relación al cilindro tra-

bajado. Sin embargo, en un nuevo tipo que estaba en experimentación se emplea culata de aluminio con cilindro de acero, haciéndose la unión por medio de espárragos.

El acabado y precisión de las partes que trabajan no dejan nada que desear. Emplean perfectísimas máquinas de rectificar y de pulir, después de rectificar por el procedimiento que llaman *lapping*, que se lleva a cabo en máquinas especiales con muelas de grano muy fino. El acabado de los cilindros en su parte interior se ejecuta por medio de una "Honning Machine", que produce un acabado perfecto, como ya había tenido ocasión de observar en la Exposición de Cleveland.

Los émbolos son muy bien fundidos en molde metálico con aletas interiores y paredes muy delgadas. Es émbolo largo, aunque no mucho.

Cigüeñal de una pieza asombrosamente pequeño y de reducido peso. Perfectamente acabado y pulido, con dos rodamientos de bolas, uno de los cuales (el delantero), de garganta profunda, es el que aguanta el empuje. Contrapeso de bronce para reducir espacio ocupado. El hueco interior del cigüeñal va casi completamente ocupado por una pieza de aluminio con conductos y cavidades especiales para el engrase, que se efectúa a presión por bomba de engranajes.

La biela es partida, de fabricación sencilla y muy ligera; los tornillos que sirven para cerrar y apretar la tapeta hacen al mismo tiempo la sujeción de todos los pasadores de biela auxiliar, tanto en el tipo cinco como en el siete cilindros. Lleva antifricción directamente sobre el acero de la biela mediante una superficie estriada con un paso de rosca de unos dos milímetros.

Sujeción de válvula por cubeta y cono partido. Este último se fabrica en una preciosa máquina especial de la Casa Brown & Sharpe, que trabaja automáticamente y deja directamente terminados los medios conos partiendo de la barra, con lo cual resultan piezas perfectamente intercambiables, pero de categoría y acabado de tornillería.

El balancín es acodado y atraviesa la caja del cilindro por un cojinete de bronce. En el nuevo tipo lleva dos cojinetes de bolas. Pulsador remachado al balancín; varillas de mando reglables con contratuerca.

El motor va equipado con un soporte de chapa de hierro esmaltada, muy bien estudiado y ligero, que sirve no solamente para el manejo y sujeción del motor durante las operaciones de montaje,

sino también para soporte del mismo en el banco de pruebas y para ulterior montaje del motor en el avión.

La prueba de motores se lleva a cabo en un departamento montado al aire libre, empleando una hélice de cuatro palas muy pequeña. Una nave donde existía un banco-balanza se había incendiado hacía un mes cuando yo hice la visita y no pude ver más que los escombros.

A pesar de que es una fabricación que lleva muy poco tiempo en marcha, actualmente producen, según me informaron, de dos a tres motores diarios.

Otro detalle interesante de este motor es el empleo de un solo plato de levas para la admisión y el escape, mandado por una reducción de engranajes rectos desde un piñón montado en el cigüeñal; el reglaje se lleva a cabo por medio de una de las ruedas de esta reducción, que lleva una corona postiza, y en ella una serie de taladros que se presentan frente a otros taladros que en número distinto lleva el cubo de la rueda.

Toda la fabricación del motor se lleva a cabo por las mismas normas que la fabricación de maquinaria de esta casa, de la que ya hemos hablado, y muchas de las piezas, como las ruedas dentadas y los ejes torneados, se fabrican en las mismas naves y con las mismas máquinas dedicadas a la fabricación de maquinaria.

* * *

Gisholt Machine Company (Madison).—Tampoco me costó trabajo entrar en la sección de fabricación de motores de Aviación de esta Casa, y pude recorrer las nuevas naves dedicadas a la fabricación del motor de Aviación, en cuyas naves me pareció estar recorriendo nuestra fábrica de Elizalde, pues el parecido con nuestra nueva nave de máquinas es completo, y la circunstancia de verme por todas partes rodeado de piezas completamente semejantes a las de nuestros motores de refrigeración por aire, acababa de acentuar el parecido; aunque llevando más a fondo la observación pronto se echa de ver que todavía nos queda mucho que andar para llegar donde ellos están en cuestión de calidad de maquinaria empleada, que por ser toda ella de reciente adquisición presenta un conjunto difícil de superar.

En organización y marcha de la fabricación no tenemos en cambio nada que aprender ni que envidiar; debe tenerse en cuenta que la decisión de fabricar motores de Aviación es recientísima en la

Casa Gisholt, y que, por tanto, no pueden todavía tener nada perfectamente puesto a punto; pero, a juzgar por la orientación y la amplitud de miras y de recursos con que empiezan, y teniendo en cuenta la experiencia adquirida en la fabricación de muy buena maquinaria, no puede dudarse de que en plazo muy corto será ésta una de las mejores Casas productoras de motores.

Aunque, como he dicho, no tuve dificultad para entrar en la fábrica, la circunstancia de no ser el ingeniero que me acompañaba perteneciente a la sección de motores, y algo también del recelo que existe en esta clase de industria, hicieron que no pudiera hacer la visita con todo el detenimiento que en Le Blond, ni observar tantos detalles del motor fabricado como en aquella Casa; esto no obstante, pude verlo todo lo suficientemente bien para darme una perfecta cuenta de su estado y funcionamiento.

El motor fabricado, que lleva el nombre de "Comet", es un radial, enfriado por aire, de siete cilindros. Está homologado como 130 caballos, pero desarrolla 150 en el freno.

La producción es todavía muy reducida. Estaban cuando mi visita puede decirse que en los comienzos. Había una media docena de motores terminados en el taller y estaban en fabricación otros 60 ó 100 motores más.

La mayor parte del trabajo mecánico de las piezas del motor que no son especiales, tales como engranajes, ejes, etc., se hace en los talleres dedicados a fabricación de maquinaria, y las piezas características del motor, tales como *carters*, bielas, cilindros, culatas, etc., se lleva a cabo en una de las naves que más arriba he citado. El montaje se ejecuta en la segunda nave, donde existen una serie de bancos muy parecidos a los que hemos previsto nosotros para nuestros motores y dispuestos de manera que el montaje se lleva a cabo en una "semicadena" proporcionada a la cuantía de la serie en trabajo.

Entre ambas naves está la sección de verificación de piezas, dotada de un verdadero arsenal de pequeños montajes y elementos especiales para la comprobación de las piezas, casi siempre por medio de comparadores dotados de discos graduados de tolerancia.

Se da mucha importancia a la calidad del trabajo y perfecta presentación de las piezas, que pueden considerarse como modelos de ejecución cuidadosa y de verificación de precisión.

El utilaje empleado es estudiado, cuidado y entretenido de manera maravillosa, siendo el elemento principal de la fabricación; pues, como he podido observar en otras fábricas, también en ésta

la maquinaria, con ser de excelente calidad, queda relegada a un segundo término ante la preponderancia marcada e indiscutible del utillaje.

A pesar de la serie reducida que por ahora está en trabajo emplean el torno semiautomático "multi-herramienta", parecido al torno "Stub", pero fabricado por la misma Gisholt para la fabricación del cilindro y otras piezas de los motores. Igualmente emplean la "Honning Machine" de Barnes para rectificado de los cilindros, y hacen un profuso empleo de las herramientas de cambio rápido "McCrosky" para todos los trabajos de máquinas de taladrar. Las piezas de aluminio las trabajan con grandes cabezales portacuchillas y evitan el empleo de fresas de forma aun a costa de emplear en muchas ocasiones en las máquinas fresadoras, copiadores o reproductores de forma apropiada que les permiten trabajar con fresas de forma corriente de tres o dos cortes de tipo *standard*.

Como detalles característicos del motor pueden indicarse los siguientes:

El cilindro es de acero con las aletas trabajadas y culata de aluminio dispuesta de manera que las válvulas tienen una orientación en el plano que pasa por el eje del motor para conseguir el mejor enfriamiento de la válvula de escape que queda de esta manera en la parte anterior.

La válvula es hueca y lleva roscado el extremo, en el que hace de tuerca la cubeta de retenida del muelle, que, a su vez, va fijada únicamente por una contratuerca. Este sistema, que sirve al mismo tiempo de reglaje del juego de válvula, no me parece muy seguro, pero al manifestar mi desconfianza en el mismo me aseguraron que nunca han tenido todavía ningún contratiempo por esta causa.

El balancín que manda las válvulas es único; está articulado por su centro en la parte alta de la culata y manda las válvulas por los extremos, por uno de los cuales, a su vez, va mandado por la varilla que termina en el "tucho" accionado por el plato de levas.

El plato de levas lleva una corona en la periferia con dos series de levas, unas exteriores que mandan las válvulas de admisión por compresión de la varilla y otras anteriores que mandan por tracción de la misma varilla las válvulas de escape. Para ello la varilla lleva en su extremo el "tucho" que, con un par de rodillos, abraza la corona del disco de levas.

El cigüeñal es partido y se une a la prensa mediante un enchufe

cilíndrico asegurado por un sencillo pasador solidario de una de las mitades y que entra en una escotadura abierta en la otra mitad.

Lleva bomba de engranaje y magnetos "Scintilla". El núcleo portahélice es especial para hélice de palas metálicas; carburador colocado en la parte inferior posterior que alimenta los cilindros por intermedio de una turbina colocada en el cigüeñal.

La prueba del motor se lleva a cabo en un banco-balanza muy bien instalado para la comodidad de mando de los diversos aparatos. El motor está al aire libre, y detrás de la hélice lleva montado una especie de cuadrilado con mallas de unos diez o doce centímetros formadas con cintas de chapa de acero de ocho o diez centímetros de ancho, con lo cual queda formado una especie de casillero que se interpone entre la hélice y el motor para guiar los filetes de aire de la corriente creada por la hélice y evitar en lo posible que su acción falsee las lecturas del dinamómetro.

Existe una batería de cuatro frenos iguales, y en la parte superior una cámara única donde van los aparatos de mando y de medida de todos los bancos.

Como último detalle de esta fábrica citaré la instalación de pintura, muy bien dispuesta para pintar los *carters* y demás piezas de aluminio previamente pasadas al chorro de arena, y empleando pistolas de gran rendimiento con instalación especial de evacuación de aire.

* * *

Packard.—El interés que yo tenía por visitar esta fábrica era, como puede suponerse, muy grande por la circunstancia de estar en aquella fecha, según nuestras referencias, en plena fabricación ya el nuevo tipo de motor "Diesel" de Aviación; pero precisamente por eso la consigna de no enseñar la fábrica a ningún extraño era más severa. No me fué posible visitarla, a pesar de haber agotado todos los recursos que estaban en mi mano, movilizándolos todas mis relaciones y aun recurriendo a nuestro agregado militar en la Embajada española de Washington, quien me hizo ver que la orden de no enseñar la fábrica a nadie era absoluta y que no podía, aun lamentándolo mucho, hacer nada por mí.

Esta decepción nubló bastante la satisfacción que en Detroit me proporcionó la visita a las fábricas de automóviles de que hablaré más adelante.

* * *

Curtiss (Buffalo).—El fracaso de mi intento en Packard, si bien me decepcionó profundamente, aumentó aún en mí el deseo de visitar todas las fábricas que fuera posible, en las que una severidad menos exigente dejara una rendija por donde yo pudiera introducirme en el interior para formar una idea exacta o, por lo menos, aproximada, del estado de una industria que tan celosamente defendía sus secretos.

Valiéndome de las relaciones de amistad iniciadas en Cleveland, y principalmente de la influencia de Mr. Andress, presidente de la "Barnes C.", de Rockford, logré la promesa de la autorización para visitar la fábrica de Curtiss, pero una indiscreción de uno de los señores amigos de Mr. Andress, que había de servirme de introductor, y que imprudentemente dejó entrever que yo me dedicaba en Europa a la fabricación de motores de Aviación, hizo que me fuera anulada la autorización, con el consiguiente disgusto por mi parte ante el nuevo fracaso.

* * *

Pratt Whitney Company (Hartford).—Este nuevo fracaso sirvió para que mis amigos, redoblando el interés de sus gestiones, procuraran la realización de mis deseos, y, presentando a uno de los ingenieros de la Casa Pratt-Whitney, conseguí la autorización para visitar todas las naves de maquinaria, pero no las de experimentación, ni pruebas, ni las dependencias técnicas de Laboratorio y Estudios.

La fábrica, en el momento en que yo la vi, ocupaba una serie de naves adosadas a la fábrica antigua de maquinaria, de la que venían a ser como una ampliación, pero tenían ya terminada y a punto de echar a andar una nueva fábrica totalmente construída *ad hoc*, donde iba a empezar a fabricarse una gran serie de motores de los tipos "Wasp" y "Hornet" con destino a las fuerzas aéreas del Ejército y la Marina norteamericanos, y a razón de 300 motores por mes. La fábrica antigua no tenía más que una producción de 100 motores mensuales, y, como sucede siempre en América en todos los órdenes de la vida, la nueva instalación se ha proyectado con una gran amplitud de miras, acometiendo el problema de frente y con una cantidad de medios y de dinero que asusta y hace temblar por el porvenir de nuestra industria en Europa el día en que los americanos se decidan a invadir nuestro mercado, pues seguramente, si no nos damos prisa en montarnos y organizarnos con

miras a un futuro que puede estar mucho más próximo de lo que hasta ahora hemos supuesto, será imposible de todo punto luchar contra la aplastante fuerza del capital americano, que si se lo propone invadirá el Mundo con sus motores de Aviación, como ha invadido ya con el automóvil, la máquina de escribir, el material "radio", el "cine" y cuanto hasta ahora se le ha antojado, si antes no viene una poderosa reacción de Europa que se decida eficazmente a no dejarse esclavizar por los Estados Unidos, pero cuya reacción no veo que por ahora lleve trazas de ser un hecho.

La dilatada experiencia de la Casa Pratt Whitney en la fabricación de muy buena maquinaria de precisión y utilaje la ha colocado en inmejorables condiciones para dedicarse a la fabricación de motores de Aviación, en la que ha alcanzado un grado de perfección tal que me parece difícil que haya en el Mundo nadie que los fabrique con mayor perfección.

Un signo curioso y digno de tenerse en cuenta es el hecho de que sean ya varias las fábricas de máquinas-herramientas de los Estados Unidos que se han dedicado modernamente a la fabricación de motores de Aviación, y, al hacer yo presente esta observación a mis acompañantes, me dieron la explicación de que es una cosa corrientemente admitida en América que una gran parte, por no decir la totalidad, del éxito de producción y calidad logrado por la industria del automóvil ha sido debido a la industria de fabricación de máquinas y utilajes, que han hecho posible la realización de los audaces programas de fabricación estilo "Ford". No contentas las Casas fabricantes de maquinaria, al parecer, con el reparto de beneficios que este estado de cosas ha producido, y vislumbrando en la industria de motores de Aviación un porvenir brillante, no quieren, de ningún modo, que se les vaya de las manos la nueva industria, aprovechando para ello la excelente situación en que su experiencia como fabricantes de mecánica de precisión les coloca.

Como detalles más curiosos de la manera de llevar a cabo la fabricación de sus motores en la Casa Pratt Whitney haré notar la ausencia casi absoluta de máquinas horizontales (tornos, máquinas de mandrinar); el torno cilíndrico puede decirse que no existe; todas las piezas pequeñas se tornean en tornos revólver o en tornos "multi-herramientas" del tipo del torno "Stub"; las piezas mayores (*carters*, nariz, culata, tapa trasera) se tornean en tornos revólver verticales "Bullard". Todo el trabajo de mandrinado se lleva a cabo, igualmente, en máquinas verticales "Barnes", empleando portacuchillas múltiples y aparatos de cambio rápido "McCrosky". El

rectificado de ejes de émbolo y otras piezas parecidas lo ejecutan en máquinas "Centerless", haciendo luego una operación de *lapping* en máquina "Norton", con lo cual el acabado es perfectísimo. Siguiendo esta norma de buscar la máxima perfección del acabado en todas las piezas, al mismo tiempo que la mayor precisión, llevan igualmente a cabo la operación de acabado de cilindros interiormente por el método de "Honning". Para todo el trabajo de traladrado de *carbers*, roscado y colocación de espárragos emplean máquinas rápidas de taladrar radiales "American", provistas de aparatos de cambio rápido "McCrosky".

Toda la maquinaria es de calidad inmejorable y mantenida en perfectísimo estado de entretenimiento y pintura, según es norma en todas las fábricas americanas de importancia y bien organizadas.

Las instalaciones generales de la fábrica, aunque en perfecto estado y muy completas, no pueden compararse a las de otras fábricas que anteriormente he señalado como modelo (Cincinnati, por ejemplo); se nota que la fábrica actual va a ser abandonada y trasladada la fabricación a la nueva fábrica en construcción, y por eso no tienen interés en mejorar excesivamente las actuales instalaciones.

La organización de la marcha de la fabricación es perfecta, y es ésta la fábrica en que he visto menos cantidad de piezas y materiales inmovilizados entre las máquinas y una marcha de trabajo en serie mejor organizada de todas las fábricas que he visitado, a excepción, naturalmente, de las fábricas de gran serie de que hablo más adelante.

Completando el ciclo de fabricación de gran precisión y alto grado de acabado es digna de mencionarse y de imitarse la instalación para la verificación de las diferentes piezas del motor, que se lleva a cabo por mujeres jóvenes provistas de un arsenal de innumerables aparatos de comprobación, que hacen la verificación casi automática por medio de comparadores de disco graduado, con tolerancias marcadas en el mismo disco.

Como resumen puede decirse que esta fábrica es hoy el prototipo y el mejor modelo que puede tomarse para la organización y marcha de una fábrica de motores de Aviación, lo que está, desde luego, en perfecta concordancia con la alta calidad de los productos que fabrica.

* * *

Wright C.º (Paterson).—Valiéndome del mismo procedimiento que me sirvió para introducirme en la fábrica de Pratt Whitney logré igualmente visitar la fábrica de Wright, aunque mi visita se redujo a un rápido paso por las naves de máquinas.

Así como fué magnífica la impresión que me produjo Pratt Whitney, me decepcionó Wright.

La mayor parte de las máquinas aparecían paradas y las naves tenían el aspecto de una marcada paralización de trabajo. Al preguntar al ingeniero que me acompañaba, manifestando la extrañeza que me producía aquella paralización, me contestó que la mayoría del personal tenía una semana de licencia, por ser aquella semana la semana de inventario general de la fábrica; puede que fuera verdad, pero a mí me hizo la impresión de que se trataba de una evasiva.

A mi modo de ver, la fábrica de Wright, que durante los años de la guerra europea ha debido tener mucho trabajo, a juzgar por las enormes dimensiones de las naves donde está instalada una numerosa maquinaria ya vieja y gastada, en la actualidad ha tenido que reducir su actividad ante la decreciente demanda de sus motores. Es toda ella una fábrica vieja, con aires de factoría militar, instalada en su día "deprisa y corriendo" para producir, fuera como fuera, la cantidad grande de motores que necesitaba la gran guerra, y actualmente se encuentra con un lastre demasiado pesado para evolucionar con la rapidez que fuera necesario para ponerse a la altura de sus competidoras mejor orientadas.

A pesar de cuanto queda dicho, no deja de ser una fábrica buena que trabaja con una técnica bien orientada y produce un trabajo de buena calidad. Los procedimientos de trabajo son muy parecidos a los de Pratt, aunque llevados a cabo con máquinas mucho más viejas y alguna ya anticuada. En algunas secciones, sin embargo, como en la de máquinas de rectificar, se nota una reacción en favor de las máquinas modernas de gran rendimiento y precisión, y en ellas he podido ver trabajando a plena satisfacción dos máquinas de rectificar cilindros "Barnes", que han sustituido a seis máquinas "Heald", llevando a cabo el trabajo de rectificado interior del cilindro con precisión y limpieza notables, confirmando la impresión que ya había yo formado en la Exposición de Cleveland de que se trata de una máquina hoy día indispensable si quiere obtenerse un irreprochable acabado interior de los cilindros.

La oficina técnica, que he visto de pasada, me ha dado la impresión de bien montada, y organizada a estilo "americano".

CAPITULO IV

Industria del automóvil y motores de explosión.

Mechanics Universal C.º (Rockford).—Esta fábrica, verdaderamente formidable, se dedica exclusivamente a la fabricación de accesorios para las grandes fábricas de automóviles, y consta de tres secciones que producen, respectivamente, cambios de marchas, embragues y transmisiones cardán, teniendo en fabricación dos o tres tipos de cada uno de estos elementos, con los que abastece a varias fábricas de coches. Esta especialización les permite una técnica y organización imposibles de superar, y con la cual pueden producir, sin esfuerzo aparente, de cinco a diez mil piezas de cada uno de los artículos por día.

Emplea en la fabricación 2.500 operarios, distribuidos en las diversas dependencias y talleres, que forman un vasto conjunto de edificios. La proporción entre el número de operarios y el de máquinas es muy reducida, pues cada operario lleva de dos a diez máquinas, que son, en su casi totalidad, automáticas y de elevadísimo rendimiento, que causa asombro al compararlas con las ordinarias máquinas que estamos acostumbrados a ver en Europa. Una gran mayoría de estas máquinas están manejadas por mujeres, que también llevan a cabo, en su casi totalidad, las operaciones de verificación, valiéndose, desde luego, de aparatos especiales.

Para dar una idea de hasta dónde llega la especialización en esta fábrica y lo habituados que están los operarios al trabajo, que realizan de una manera completamente maquinal, he de decir que en la sección de ajuste, para quitar rebabas a las piezas, en una de las naves de la fábrica existe un equipo, formado por dos operarios ciegos, que, provistos el uno de una lima y el otro de una rasqueta, van quitando las rebabas de las piezas, trabajando los dos "en cadena" y realizando la operación con un movimiento maquinal y sistemático, valiéndose únicamente del tacto.

De las tres secciones de que he dicho se componía la fábrica, yo no visité más que las de transmisiones y cambios de velocidades.

La sección de transmisiones cuenta con una cantidad fabulosa de tornos "Stub" y máquinas especiales completamente automáticas para hacer las crucetas, los dados y los extremos del eje de transmisión. Las ranuras de los ejes estriados se fabrican con máquinas que emplean fresa-madre; existe, asimismo, gran cantidad de máquinas "Lapointe" para hacer los estriados interiores.

Toda la maquinaria está organizada y distribuída en pequeñas cadenas, con alimentación automática o semiautomática entre ellas.

Los tornos "Stub" están montados dos a dos, invertidos el uno con respecto al otro, y un solo operario, colocado en medio de ellos, atiende simultáneamente a ambos, mientras el transporte de piezas se lleva a cabo por medio de transportadores de rodillos, por los que se deslizan las cajas cargadas de piezas.

Hay gran cantidad de máquinas especiales, completamente automáticas, que realizan las operaciones de las diferentes piezas del acoplamiento cardán por fases elementales, y sin más cuidado que la alimentación de las piezas, que llevan a cabo mujeres. Todos los montajes de sujeción de las piezas son de cierre rápido y muchos de mando neumático; existen otras soluciones ingeniosísimas para sujetar la pieza en trabajo, de manera que sea rápida y sencilla, al mismo tiempo, la operación de montar y desmontar.

Existen máquinas especiales automáticas para rectificar los machos de cruceta.

El lavado de piezas se lleva a cabo en máquinas especiales de alimentación continua, en que entran las piezas por un lado, por medio de una cadena o correa sinfín, y sufren la acción de una ducha de agua caliente con lejía a gran presión, saliendo por el otro extremo perfectamente limpias y desengrasadas.

La soldadura de los ejes tubulares de la transmisión con las piezas del cardán se ejecuta en máquinas automáticas especiales, que hacen la soldadura eléctrica continua.

La impresión que produce contemplar de cerca una producción tan elevada es de vértigo, pues es muy difícil hacerse de primera intención a la idea de que todo aquel mundo de miles y miles de piezas puedan producirse y colocarse diariamente, y así un día y otro día.

En el almacén de primeras materias y piezas terminadas existe toda una complicadísima y digna de verse instalación para el transporte, almacenaje y manutención de toda clase de piezas de las formas más variadas, con un orden y una sencillez de la que no puede darse una idea sin verlo.

En la nave de montaje, todas las operaciones de acoplamiento de las piezas se llevan a cabo ayudándose de aparatos y transportadores especiales, que llevan al operario las piezas en el momento oportuno para que él no tenga que hacer otra cosa que el ligero esfuerzo necesario para ponerlas en su sitio. No hay que decir que no se aprieta una tuerca sin emplear para ello atornilladores eléc-

tricos o neumáticos, y hay algunas operaciones en que emplean unas máquinas que desde una tolva proporcionan la tuerca necesaria automáticamente y, sin intervención del operario, la aprietan a fondo en el espárrago.

En la sección de cambios de marchas se fabrican dos o tres tipos únicamente de cambios, en cantidades asombrosamente elevadas.

El *carter* o caja del cambio se mandrina automáticamente en una máquina múltiple que trabaja al mismo tiempo todos los taladros, y que no necesita ninguna intervención del operario sino para cambiar la pieza cada tres o cuatro minutos; y lo más interesante es que durante ese tiempo aprovecha el operario para terminar, mediante unos escariadores de precisión provistos de guías, en montaje especial junto a la máquina y valiéndose de un motor eléctrico portátil suspendido del techo, todos los taladros que acaba de mandar en desbaste la máquina en la pieza anterior.

Para el tallado de los piñones del cambio de marcha existe una colosal sección de máquinas "Fellows" del nuevo modelo, de gran producción, que funcionan casi completamente solas, pues un operario atiende diez máquinas. A continuación del dentado se hace el *lapping* de los dientes en máquinas especiales, y luego pasan los piñones a sufrir la comprobación en máquinas especiales para reconocer el perfil de dientes.

El interior de los taladros de los piñones se ejecuta en máquinas "Heald".

Después del montaje total, los cambios de marchas pasan a la sala de pruebas, donde son ensayados individualmente mediante frenos hidráulicos accionados por motores eléctricos.

Es interesantísima la instalación de tratamientos térmicos, dotada de unos hermosísimos hornos automáticos caldeados por gas. Unos son rotativos y otros llevan una cadena-plataforma sinfin para el transporte de piezas, que se introducen por un extremo y salen por el opuesto ya calientes, y caen automáticamente en el baño de temple, del que asimismo son extraídas automáticamente y puestas en las carretillas de transporte.

La regulación de la temperatura también es automática, y se registra en un gráfico diario mandado eléctricamente.

Toda la instalación está perfectamente limpia, y tanto los hornos como los demás accesorios en un estado de entretenimiento de pintura que hace que parezcan sin estrenar y que no haya jamás sufrido la acción del calor.

Existe un laboratorio muy bien montado donde sistemáticamente son ensayadas probetas de los distintos materiales y piezas en curso de fabricación, aparte de que en la sección de tratamientos existe una batería de máquinas "Brinell" para ensayo a pie de horno.

* * *

Fairbanks Morse C.º — Esta fábrica, que emplea 3.000 operarios, presenta el curioso aspecto de una fabricación variadísima, pues abarca desde magnetos hasta motores "Diesel" de 2.000 caballos, pasando por pequeños motores fijos de gasolina de todas potencias, en una surtidísima serie, y motores eléctricos de corriente continua y alterna. Es la demostración palpable de que en un mismo establecimiento industrial puede llevarse a cabo la ejecución de los más variados trabajos, siempre que exista una verdaderamente formidable organización, unida a una especialización extremada del personal, pues no hay que decir que desde el personal directivo hasta el último operario son completamente independientes los de las diversas secciones, aunque enlazados todos con una oficina central, donde están reunidos los servicios administrativos junto con la dirección superior de la Empresa.

Así, de hecho, resulta ser como una serie de industrias separadas que funcionan autónomas, pero federadas entre sí; y no debe funcionar mal el sistema, pues se observa por todas partes en esta Empresa un adelanto y una prosperidad muy notables.

Ocupa una extensión muy grande de terreno, donde se extiende una serie de edificios de varios tipos.

El estado de policía y presentación de la fábrica es bueno, sin llegar a ser lo extremado de otras entidades de que anteriormente he dado cuenta. La maquinaria es bastante moderna y abundante.

De las secciones de la Empresa he visitado la dedicada a la fabricación de magnetos, la de motores eléctricos de corriente alterna de poca potencia, la de pequeños motores de explosión, la de grandes motores "Diesel" y la gran sección de forja pesada, aparte de las dependencias generales.

En la sección de magnetos, que en razón a lo menudo de las piezas elaboradas y a lo poco voluminoso de la producción (que, a mi modo de ver, debe reducirse a las necesidades de sus propias fabricaciones de motores), es la sección que ocupa menos espacio, vi por primera vez una curiosa organización de fabricación que practica esta Casa en todas sus secciones de mecanización.

Las máquinas están montadas de modo que se encuentran instaladas aproximadamente en la misma sucesión de las operaciones que han de sufrir las piezas, para aprovechar las ventajas de la fabricación en gran serie; pero esto no es cierto en absoluto, pues como son varios los tipos de magneto que se fabrican al mismo tiempo, y completamente entremezcladas las piezas de unos con las de otros (y este es el carácter más sorprendente de la organización), no siempre se presentan las máquinas en la colocación óptima para llevar a cabo el trabajo.

Otro punto esencial de esta organización es el hecho de que ninguna pieza ni ningún material ni herramienta es transportado por ninguno de los sistemas corrientes a mano o por carretilla y transportadores que obligan al desplazamiento de operarios. Todo el movimiento de toda clase de materiales en esta fábrica se lleva a cabo por medio de una cadena que continuamente está en movimiento, arrastrada eléctricamente por medio de unas poleas colocadas horizontalmente cerca del techo y del cual penden una serie de ganchos, cadenas, soportes y bandejas de toda clase de formas extrañas y adaptadas para el transporte de toda clase de piezas corrientes en la fabricación. Esta cadena pasa por las inmediaciones del puesto de trabajo de todos los operarios (que en esta sección son casi todos mujeres), y de ella van tomando todos las piezas y elementos de todas clases que necesitan para su trabajo, y en ella van depositando, en los diversos soportes de que antes hemos hablado, las piezas que van terminando o las herramientas que necesitan reposición.

Causa verdadera sorpresa y extrañeza ver aquella cadena, de la que penden en diversos soportes las piezas y elementos más heterogéneos y variados. Imanes de magneto colgados de unos ganchos al lado de una bandeja, dividida en varios compartimientos, que contienen tornillería de todas clases, herramientas afiladas junto a inducidos bobinados, todo el variado conjunto de piezas que forman una magneto. Cada operario deposita en la cadena todo aquello que tiene necesidad de enviar a otra dependencia de la fábrica, y recoge, en cambio, de la cadena todo lo que puede necesitar para su trabajo. Un observador profano creería, a primera vista, que cada cual tomaba y dejaba en la cadena a capricho las piezas y elementos como si fuera cosa de juego. Está graduada la velocidad de la cadena de manera que su marcha asegure el aprovisionamiento regular en la forma e intensidad necesarias para conseguir la producción normal de la sección. Las máquinas y operarios están, naturalmente, calculados en forma que el número de ellos, para realizar una determi-

nada operación, está en razón directa del tiempo de duración de ésta; pero esta relación no es absolutamente exacta y rígida, como sucede en las fabricaciones en muy gran serie que no producen más que un artículo bien determinado. En esta fábrica, aunque las fabricaciones en cada sección son muy parecidas siempre, se producen, como he dicho antes, tipos variados dentro de cada especialidad, y a veces simultáneamente en el mismo local. Por ello, la cadena no puede ser absolutamente rígida; sucede muchas veces que un operario termina su trabajo antes de que haya llegado la pieza siguiente, o al revés, que llega una pieza antes de que haya terminado la anterior; en el primer caso, naturalmente, el operario ha de interrumpir su trabajo, y, si esta interrupción es larga, aprovecha para limpiar y poner en orden su máquina y sus herramientas; pero generalmente esta interrupción es del orden de segundos, pues en el momento en que ha terminado una pieza y la ha colocado en la cadena ya aparece la pieza siguiente en las inmediaciones, y no tiene que hacer más que alargar un poco el brazo para alcanzarla. En el caso en que la pieza llegue antes del tiempo debido, como el operario está atento, por hábito, a la marcha de la cadena, aprovecha un momento en que su trabajo no exige su atención completa y retira la pieza de la cadena, dejándola en una bandeja en espera. Aun en el caso de que un operario, por descuido o por otra causa, dejara de retirar a tiempo la pieza correspondiente, no se produce, en general, ningún irreparable perjuicio, pues la cadena pasa por diversas estaciones de verificación, que, al mismo tiempo, son de seccionamiento y distribución de cadenas parciales, en donde los operarios dedicados a la verificación hacen retornar por la cadena correspondiente toda pieza que haya llegado sin haber sufrido alguna operación, y hacen caminar por cadenas apropiadas las piezas útiles hacia las dependencias encargadas de continuar su fabricación y las inútiles al almacén. Todas las piezas terminadas son encaminadas al almacén destinado a este efecto, que organiza a su vez las cadenas destinadas a surtir el taller de montaje, que recibe, en unas bandejas suspendidas de la consabida cadena, todo el lote de piezas necesarias para llevarlo a cabo con las previsiones y repuestos que la práctica les ha indicado como convenientes.

Todo el éxito del sistema está, como se comprende, supeditado a la perfección con que se haya hecho el estudio preliminar de coordinación de las diferentes operaciones y de la frecuencia con que necesitan ser repuestas todas las herramientas; pero como hemos hecho observar que la cadena goza de cierta elasticidad, las previsiones

nes están hechas con un cierto margen de amplitud, que compensa los inevitables errores e imprevistos.

Según manifestaciones del ingeniero que me acompañaba en mi visita, el éxito del sistema (que no lleva en funcionamiento más que dos años) ha sido tan franco y ha aumentado en tal forma el rendimiento de las máquinas y operarios que ha permitido reducir casi a la mitad el espacio ocupado por las máquinas, disminuyendo, al mismo tiempo, su número; y por la reducción de los espacios muertos dedicados a pasillos y almacenamiento de piezas y la desaparición de los operarios dedicados anteriormente al transporte, obtener un mejor rendimiento del terreno ocupado y una gran reducción de salarios.

La calidad de la producción obtenida es al parecer muy buena y la verificación de las piezas es muy escrupulosa, valiéndose para llevarla a cabo de aparatos especiales con indicadores de cuadrante, como los que ya he indicado anteriormente que emplean otras Casas que también trabajan en serie.

De la sección dedicada a la fabricación de motores eléctricos, y aparte de un rápido vistazo por una nave de mecanización (que funciona por el mismo sistema de cadena que he descrito para la sección de magnetos), sólo he visitado la parte dedicada a la fabricación de inducidos para pequeños motores en jaula de ardilla. Este inducido es del tipo análogo al que fabrica la "General Electric", o sea de cuerpo de rotor formado por un paquete de hojas de acero en la forma acostumbrada y barras de aluminio directamente fundidas en la misma masa del rotor, y cuyos extremos, prolongados por ambos lados, forman las palas del ventilador. Esta fundición la llevan a cabo por el método de fundición inyectada a gran presión, para lo cual tienen una batería de hornos especiales y todo un arsenal de moldes, pues en esa sección no solamente funden los inducidos de motores, sino una multitud de piezas para diversos usos.

En la sección dedicada a la fabricación de motores pequeños de explosión había en fabricación varios tipos de motores, desde tres a doce caballos, de tipos diferentes, desde el monocilíndrico horizontal hasta el vertical de cuatro cilindros. Son motores muy industriales fabricados con miras a obtener un producto barato, pero de un rendimiento y calidad de trabajo que les asegure un abundante mercado, que procuran fomentar con un muy bien estudiado programa de adaptación de los citados motores a las necesidades de la agricultura y de la pequeña industria; y así pueden verse toda clase de grupos formados de motor-bomba, motor-dinamo, motor-ventilador,

etcétera, y motores fijos con varias clases de bancadas dispuestas para aplicaciones industriales, estudiadas de modo que muchas piezas "estandarizadas" son comunes a varios tipos de motores.

Toda la mecanización de estos diversos motores se lleva a cabo por el mismo método que ya he descrito para la sección de magnetos; y vuelve a causarme asombro la cadena, de la que penden, en anárquico desorden al parecer, las piezas más diversas de todos los tipos de motores en fabricación. La maquinaria empleada es muy buena y muy moderna, lo que me confirma en la noticia que ya tenía de que por todas partes, en la industria americana que produce en series un poco grandes, la maquinaria se amortiza muy rápidamente para sustituirla por máquinas más recientes de producción más elevada. En Estados Unidos, una máquina es vieja a los cinco años, y en algunas especialidades es tan rápido el progreso de la maquinaria que apenas salida una serie ya resulta anticuada en comparación con la que en ese mismo momento se prepara para fabricar.

Lo más interesante de esta sección de motores de explosión es la forma y disposición de llevar a cabo la prueba.

Al final de las cadenas de montaje, donde se lleva a cabo el de dos o tres tipos al mismo tiempo, da comienzo la cadena de pruebas, que consiste en un banco como de unos cincuenta metros de largo formado de dos viguetas paralelas; apoyada en carretones que ruedan sobre esas viguetas corre una cinta o plataforma metálica articulada en forma de cadena sinfín, cuya rama de retorno pasa por debajo del pavimento. Cada elemento o eslabón de esta cadena-plataforma está provisto de taladros y ranuras especiales para sujetar, por medio de bridas, tornillos y dispositivos de utilaje de los diferentes tipos de motores. De este modo se van agrupando los motores a medida que van estando listos de montaje y sin obstáculo, para que a continuación de un cuatro cilindros 10 caballos se monte en la cadena de pruebas un 3 caballos monocilíndrico.

La cadena avanza con una velocidad tal que el recorrido total tarda unos tres cuartos de hora. En este tiempo, obreros especializados que trabajan a los dos lados de la cadena en marcha van terminando los detalles de puesta a punto y fijando el motor a la bancada móvil; por otra cadena aérea, que circula en sentido contrario del de la cadena de pruebas, al alcance de la mano de los operarios, van éstos recibiendo toda clase de accesorios especiales para los tipos de motores que se han de probar: pequeños depósitos de gasolina para aquellos motores que no lo llevan fijo en su bancada

propia, tuberías, manguitos de goma, bridas, tornillos, etc., y en dos largas mesas, que se extienden a los dos lados de la nave paralelamente a la cadena de montaje, tienen a su disposición toda clase de material pequeño, tal como tuercas, arandelas, clavijas, bujías, surtidores de carburador, etc. La cadena superior les provee, al mismo tiempo, de utilajes especiales, que forman una especie de pequeños frenos de "Prony" que ajustan al volante de los motores, sujetándolo a la misma bancada móvil; al llegar próximamente al primer tercio de la cadena existe un depósito de gasolina, del cual se surten con un tubo flexible para llenar los depósitos de los motores que sucesivamente van llegando, e inmediatamente éstos son puestos en movimiento y regulado el número de revoluciones por medio del pequeño freno "Prony" de que antes he hablado; durante un corto trecho el operario sigue acompañando al motor hasta que la puesta a punto es perfecta, cosa que por la práctica adquirida y por la sencillez e identidad de los mecanismos entre sí se logra en muy pocos minutos, y desde este punto los motores continúan su prueba completamente solos todo el tiempo que dura el recorrido de la cadena, y durante este tiempo son sencillamente vigilados por unos operarios encargados de controlar la temperatura, el número de revoluciones y cualquier anomalía que pudiera producirse. Para la refrigeración de los motores mientras dura esta prueba existe a todo lo largo del banco móvil, a la altura del pavimento, una canalización de agua corriente, de la que, por medio de un tubo flexible, van tomando agua los motores mientras van avanzando y la devuelven de la misma forma a otra canalización de desagüe.

El conjunto de esta cadena es verdaderamente sorprendente por la diversidad de tipos de motores que se ven caminar juntos en la misma cadena, todos funcionando y trepidando bajo la vigilancia de los operarios y sin cesar de avanzar, arrastrados por el lento movimiento de avance de la cadena que los transporta.

Al final del recorrido de la cadena, los motores que han terminado la prueba sin que se hayan presentado anomalías en su funcionamiento, que son naturalmente la mayoría, son desmontados por otros operarios, separándolos del banco y encaminados por la consabida cadena hacia el departamento de pintura y los locales dedicados a embalaje y expedición. Al propio tiempo, por la cadena alta de que he hablado varias veces son devueltos nuevamente todos los accesorios de tuberías, manguitos, frenos y utilajes de todas clases al origen del banco de pruebas, para volver a emplearse en los sucesivos motores. Los motores que han presentado alguna ano-

malía en el funcionamiento son enviados por otra cadena a un departamento especial, donde son repasados y puestos a punto antes de volver a repetir la prueba.

En la sección de pintura, y como quiera que ya he dicho que se trata de motores baratos industriales y que naturalmente van todos pintados de un solo y uniforme color, los motores, tal como van colgados en la cadena, pasan por una serie de operarios que rápidamente, y valiéndose para ello de cintas de papel engomado, cinta aislante de la usada corrientemente en instalaciones eléctricas, y protecciones especiales de papel o cartulina, cubren las partes que no deben ser pintadas, e inmediatamente entran los motores, sin dejar la cadena, en una especie de túnel de chapa de hierro, dentro del cual sufren el efecto de una serie de pulverizadores de pintura que los cubren por completo, y rápidamente van saliendo por el extremo opuesto del túnel pintados, secos y dispuestos para el empaque una vez que son desprovistos de los papeles que sirvieron para proteger de la acción de los pulverizadores las partes que no debían ir pintadas.

En la sección dedicada a la fabricación de grandes motores "Diesel" no hay cosas especialmente dignas de mención. Se trata de una fabricación en series mucho más reducidas y, por tanto, los métodos, sobre todo teniendo en cuenta el peso de muchas de las piezas que hay que manejar, no difieren esencialmente de los empleados en otras fábricas de maquinaria de que he hablado anteriormente, aunque siempre con tendencia al empleo de la cadena en todas las operaciones en que esto es posible.

Está bastante bien instalada, aunque sin lujo, y el núcleo principal lo forma un edificio en cuyo centro se halla la sección de montaje, que se lleva a cabo en series de unos seis u ocho motores de cada tipo.

La sección de gran forja está organizada dentro de las normas clásicas o heroicas, tal como pudiera ser la mitológica fragua de Vulcano. Es un cuadro dantesco que se desarrolla a los ojos del visitante, dentro de un vastísimo local, no muy abundante de luz, en el que se encuentran, entremezclados por el suelo, ocupando casi todo el espacio disponible, gran cantidad de ejes, cigüeñales y gruesas piezas, frías y polvorientas unas, y recién forjadas y al rojo todavía otras, despidiendo un calor irresistible, y entre las que se mueven los operarios como una legión de condenados, completamente tiznados, negros y sudorosos, cubiertos apenas por un corto calzón y un mandil de cuero. A ambos lados de la nave existe una in-

terminable serie de martillos-pilones neumáticos, de todas potencias y formas, que golpean incesantemente con ruido ensordecedor toda clase de piezas grandes y pequeñas, haciendo insoportable la vida dentro de aquel antro donde reinan el calor y el ruido.

Por encima de este cuadro horripilante corren, allí en la penumbra de la parte alta de la nave, los puentes-grúas, transportando sin cesar gruesas piezas desde los hornos hasta los martillos-pilones.

Todo uno de los frentes lo ocupan los hornos de grandes dimensiones calentados por gas; en el frente opuesto se encuentra la sección especial de hornos y forja para grandes cigüeñales de motores pesados. Existen en esta sección dos hornos colosales, donde se calientan los cigüeñales, y de donde son extraídos por medio de un aparejo especial transportado en una plataforma que circula sobre carriles. Este aparejo, que tiene la apariencia de un monstruo antediluviano, con su formidable boca, armada de poderosas mandíbulas, se apodera del cigüeñal, lo extrae del horno mediante un movimiento de retroceso y lo transporta transversalmente hasta colocarlo debajo del gran martillo-pilón; en este movimiento, el cigüeñal va cogido, por un extremo, en la boca del aparejo y, por el otro, apoyado en una cadena que pende de un puente-grúa; de este modo la pieza es manejada, pese a sus ocho o diez toneladas de peso, con la misma facilidad que si se tratara de una pieza de diez kilogramos.

Un contraamaestre, colocado en un puesto de mando estratégicamente emplazado, dirige la maniobra de la forja, por medio de signos ejecutados por los brazos a manera de semáforo, con los cuales regula la frecuencia e intensidad de los golpes del martillo, así como los movimientos de inversión y avance que ha de sufrir la pieza bajo la maza, con una precisión y una rapidez que causa asombro si se considera el peso de la pieza y la dificultad de esta clase de forja.

El conjunto de la instalación deja una imborrable y penosa impresión de ruido, calor, actividad y *primitivismo*, desarrollado dentro de un ambiente en que impera, sin embargo, un alarde de *colosalismo* mecánico.

Todos los problemas de la forja y transporte de las pesadísimas piezas se han resuelto ampliamente, sin parar en los medios para ello y a fuerza de toneladas de acero en carriles, grúas, puentes, vigas, cables y cadenas, y, a pesar de ello, se siente la impresión de encontrarse ante una primitiva forja de los prehistóricos tiempos de los comienzos de la Edad del Hierro, que, al conjuro de un poderoso ge-

nio, hubiera adquirido unas proporciones absurdamente colosales, hasta llegar a lo inverosímil.

* * *

En la sección de dependencias generales es donde se encuentra la solución de que, en una misma Empresa, pueda acometerse con éxito la fabricación de artículos tan distintos. Efectivamente, en ella puede verse una gran nave dedicada a oficinas, instaladas con los métodos y lujo característicos de las fábricas americanas, dividida en varios departamentos; la Dirección y los servicios administrativos y comerciales son comunes para toda la fábrica, pero los servicios técnicos son absolutamente independientes para cada una de las especialidades a que se dedica la Empresa, con sus ingenieros y salas de dibujo y de proyectos, completamente separadas unas de otras para que cada una no ejerza influencia sobre las demás, con perjuicio para todas, que es el defecto que puede presentarse, y que seguramente se presenta en la práctica indefectiblemente, en cuanto no exista esta separación absoluta entre el personal técnico que ha de dirigir la fabricación de artículos que pueden considerarse como incompatibles en cuanto a sus procedimientos de fabricación y de funcionamiento.

De esta manera, y siguiendo las corrientes de organización "práctica", muy "made in U. S. A.", se consigue la máxima eficacia del conjunto, pues cada especialista funciona, en cuanto a técnica se refiere, como si se tratara de fábricas independientes, y, en cambio, se aprovechan de la unión para lograr una gran economía, al par que alcanzar una potencia comercial mucho más elevada al encontrarse reunidas las actividades financieras y comerciales en una sola mano.

Responde así esta Empresa a los principios inmutables de organización racional, a los que no puede dejar de someterse cualquier entidad que desee trabajar con éxito: *Unidad* en la acción, *Especialización* en la ejecución y *Colaboración* a la obra común.

En este y otros muchos sentidos entiendo que tenemos bastante que aprovechar de las enseñanzas que nos puede proporcionar la organización de esta Empresa.

* * *

De las fábricas de automóviles, en la imposibilidad de visitar, no ya las existentes en todo el territorio, sino simplemente las esta-

blecidas en la ciudad de Detroit, decidí la visita a la fábrica de un coche de categoría, uno más popular y, por último, y como no podía menos de ser, la Casa "Ford".

La magnitud y el carácter de estas fabricaciones me hacen renunciar, desde luego, a hacer su reseña detallada, que a ser posible no cabría, por otra parte, en los límites del presente trabajo. Hablaré, pues, de ellas en conjunto señalando solamente alguna particularidad de cada una, dedicando, sin embargo, un espacio independiente a Ford, que por todos conceptos se lo merece, pues es esta firma algo excepcional y grandioso, que está muy por encima del nivel al que pueden soñar alcanzar las demás fábricas de automóviles.

Las dos fábricas visitadas, además de Ford, fueron *Cadillac-Lasalle* y *Hudson-Essex*.

Nada nuevo puedo decir en estas notas acerca de la fabricación de automóviles que no haya sido repetido hasta la saciedad en todas las revistas, tratados y artículos de vulgarización, que de cerca o de lejos se han dedicado al estudio de la cuestión, pero sí creo interesante hacer constar mi opinión de que por mucho que se escriba y se lea sobre este asunto no se conseguirá jamás hacer sentir la exacta sensación que se experimenta al contemplar la fabricación en la realidad.

La aplicación integral de los métodos preconizados para la fabricación en grandes series; "cadena" rígida para todas las operaciones no sólo de mecanización, sino de montaje; especialización de la mano de obra hasta el punto de que cada operario realiza siempre las mismas operaciones en un ciclo en que están previstos hasta los más pequeños movimientos que ha de realizar forzosamente con la precisión matemática de una máquina; estudio y coordinación de los tiempos elementales necesarios para realizar cualquier operación, para que nada escape a las previsiones del organizador de la marcha continua de la cadena desde los primeros pasos de las materias brutas hasta las últimas operaciones del montaje. Todo está previsto con minuciosidad extremada; nada puede fallar; existen operarios de reserva que no hacen sino esperar por si algún operario sufre alguna indisposición o accidente; un contraamaestre especial tiene a su cargo cada seis o siete máquinas y es responsable de que se encuentren constantemente en perfecto estado de funcionamiento; si una máquina presenta cualquier defecto que puede comprometer la marcha del trabajo y no puede arreglarse este defecto en las horas en que no funciona la cadena por el equipo especial de-

dicado a esta clase de reparaciones, la máquina entera es sustituida por otra en perfecto estado durante las horas de descanso, pasando la máquina averiada al taller de reparaciones. Asusta pensar el derroche de material de todas clases que se encuentra por doquier y la suma fabulosa de millones que es preciso desembolsar para llevar a cabo una instalación de esta clase con el complicado sistema de mecanismos transportadores de piezas de todas clases. La maquinaria es de lo más nuevo que puede encontrarse en el mercado, pues la lucha constante y la competencia de los precios obliga a cada marca a tener siempre en trabajo las máquinas de construcción más reciente que permitan una producción más elevada y siempre en busca de una mayor simplificación de movimientos y aumento de precisión y automaticidad en el trabajo, llegando a verse máquinas verdaderamente maravillosas que realizan absolutamente todas las operaciones de una pieza sin que intervenga para nada el operario, como no sea para atender a la alimentación de piezas en bruto y a la vigilancia del funcionamiento de las diversas herramientas, que por otra parte ya tienen prefijado el tiempo de duración y, por tanto, el número exacto de piezas que pueden mecanizar con toda seguridad para que no se interrumpa por esta causa la marcha del trabajo. En esta materia se ve claramente el rumbo marcado hacia el empleo de herramientas cada vez más duras, sin regatear ningún sacrificio de coste o de dificultades de afilado para lograr las herramientas más duras y de mayor rendimiento.

Los procedimientos de trabajo en los talleres de mecanización y de montaje (únicos departamentos que nos fué dado visitar) son idénticos en las fábricas de Cadillac y de Hudson, pero por razón de las series más reducidas en que trabaja la primera, permite una atención más cuidadosa por parte de los operarios, tanto en las fases de fabricación de las diferentes piezas como en las operaciones de montaje, acercándose algo al modo de fabricar que pudiéramos llamar "europeo", lo que da como resultado una mejor calidad del producto, lograda, naturalmente, a costa del precio. No hemos de olvidar que la idea de "calidad" lleva siempre consigo algo de "excepcional", reñido con las ultragrandes series. Sobre todo en Cadillac, el montaje, la prueba de motores y la puesta a punto y acabado de todos los detalles del coche son muy superiores como ejecución a los de Hudson, como corresponde, naturalmente, a un coche de "categoría" más elevada.

Tanto en una como en la otra fábrica, aun funcionando como antes he indicado, con una gran producción, se notaba como una cier-

ta paralización, que daba al visitante la impresión de que la fábrica no trabajaba con toda la intensidad de que era capaz; muchas máquinas permanecían inactivas y otras completamente desmontadas; varias cadenas de montaje paradas... Preguntando a los funcionarios de las fábricas, se trataba de un hecho natural y obligado por la necesidad de la competencia que lleva al cambio de tipos y modernización de detalles en los coches año tras año, lo que trae como consecuencia paralización y transformación, algunas veces radical, en la organización y disposición de la maquinaria y de las cadenas parciales de montaje para adaptarse a las nuevas necesidades. Inquiriendo por otra parte entre las relaciones y conocimientos que la casualidad puso en nuestro camino, se nos habló de *superproducción*, de *saturación del mercado*, que obligaba a reducir la producción ante la demanda decreciente. ¿Quién tenía razón? Yo acepté como buena la segunda opinión, aunque reconozco que lo hice sin pararme a meditar y sin tener, por otra parte, elementos suficientes de juicio, sencillamente *coaccionado* y abrumado bajo el peso de aquella actividad y aquella colosal producción; a un europeo no habituado a la fabricación en grandes series ha de parecerle sencillamente imposible la colocación y venta de aquella fabulosa cantidad de automóviles que incansablemente vienen arrojando al mercado año tras año las numerosas fábricas de automóviles establecidas en aquel país.

Porque es tan formidable la actividad desplegada, tal el ritmo del trabajo, tan grande la cantidad de maquinaria y de elementos de todas clases, y tan sobrehumana, puede decirse, la precisión y automatización con que se desenvuelve la fabricación en aquel desenfreno del ruido y del movimiento, que al pobre visitante le es completamente inútil el cuaderno de notas en la imposibilidad de fijar una sola idea entre el caos de impresiones que giran en torbellino atropellándose unas a otras.

A la salida de la primera fábrica yo sólo pude poner en mi cuaderno el siguiente resumen:

CADILLAC "la locura".

La misma impresión de agobio que en Cadillac se siente en Hudson, con una agravante: el trabajo en esta fábrica se desarrolla en una serie interminable de naves, sin más iluminación que la que procede de innumerables aparatos de alumbrado por tubo de vapor enrarecido. El color de esta luz da a la fisonomía una colo-

ración verde que acentúa los rasgos producidos por la fatiga en los operarios, que parecen moverse como condenados en un antro digno de ser descrito por la pluma de Dante. Es verdaderamente poco envidiable la vida de uno de estos operarios, obligados a ganarse el sustento en un ambiente donde no llega la luz del día y donde el implacable y acelerado ritmo del trabajo, constantemente aguijoneado por la Producción—esa diosa insaciable en cuyas aras se sacrifican estúpidamente muchos miles de hombres—, no les deja un minuto de reposo, manteniéndolos como amarrados por invisibles cadenas al banco de tortura de las trepidantes máquinas, con un rictus de dolor y de cansancio sólo comparable al que podría encontrarse en los antiguos galeotes.

El buen yanqui se apresurará a decirnos que los jornales son enormemente más altos que en la caduca Europa; que estos obreros, bien alimentados, son sanos y robustos y que practican alegremente el deporte en los alrededores de las ciudades, en pleno campo, todos los “fin de semana”; que en la democrática y abierta organización de los Estados de la todopoderosa *Amerrica* es muy fácil, a cualquiera de estos operarios, destacarse y escalar rápidamente los altos puestos, no sólo de la Dirección de la Empresa, sino del Gobierno del Estado... es en vano; el europeo habrá de ser forzosamente de opinión de que el más desgraciado de los obreros europeos dedicados a los trabajos más rudos, es incomparablemente más dichoso que la masa anónima de esta legión de condenados, sujetos a la dura esclavitud de la tirana *Producción*, de cuyas garras no les será dado escapar jamás.

Una sencilla línea define igualmente en mi cuaderno mis impresiones en esta visita:

HUDSON “el infierno”.

* * *

Muy diferente de esta horripilante impresión es la que se siente en las dependencias de la sección comercial de ventas, tanto en Cadillac como en Hudson. Evidentemente, los encargados de la organización y dirección de esta sección no pertenecen a la masa doliente de la “legión de condenados”, aunque conocen muy bien su existencia; son espíritus cultos y refinados, con ribetes de buenos psicólogos, y saben perfectamente que el buen público se abstendría de comprar seguramente en gran escala si pudiera contemplar las pe-

nas y fatigas que para producir un automóvil, que muchas veces no es más que un artículo de lujo, tienen que sufrir unos cuantos miles de hombres desgraciados.

Por ello, en esta sección todo es placidez y *confort*; grandes ventanales dejan entrar a raudales la luz tamizada por visillos de suaves tonalidades; gruesos tapices amortiguan el ruido de las pisadas y suntuosos sillones permiten contemplar cómodamente los diversos modelos de coches pulidos y relucientes que se exhiben en el centro del salón, montados muchas veces en plataformas giratorias, que permiten apreciar, desde todos los puntos de vista, los últimos adelantos de la técnica y las más recientes modificaciones de la línea que constante e insensiblemente va evolucionando hacia formas de un más depurado gusto, admitiendo cada vez más complicaciones y refinamientos en el menaje interior y en los detalles de la carrocería, a la vez que se van simplificando las operaciones de puesta en marcha, manejo y entretenimiento del carruaje, Todo parece fácil y sencillo en los vastos salones de la sección de ventas; todo: hasta la adquisición de todos aquellos numerosos, relucientes y tentadores modelos de flamantes coches, y, efectivamente, es facilísimo realizar tal adquisición, pues basta para ello firmar con displicente gesto un cheque por el importe de un puñado de dólares; muy poca cosa para un ciudadano de los Estados donde impera S. M. el dólar, vecino de cualquiera de las maravillosas ciudades por cuyas calles circula un río de oro que amenaza ahogar a todos sus habitantes antes de que hayan tenido tiempo de adquirir con él cuanto existe sobre la superficie de la tierra.

La fábrica de Ford, como antes he dicho, merece un capítulo aparte, como modelo y prototipo de todas las fábricas del Mundo, que tendrán forzosamente que inspirarse en su organización si desean acercarse a la perfección en la fabricación en gran serie.

Es, evidentemente, una fábrica de automóviles, pero no es una fábrica más: es, por el contrario, la única, la mejor entre las mejores, no sólo porque es la mayor y la que ocupa más operarios, sino por ser la de organización más perfecta. Puede decirse sin titubear que en el estado actual de la capacidad de la inteligencia humana y del progreso material alcanzado por todas las ciencias, no puede concebirse una organización superior a la que representa Ford; puede admitirse el establecimiento de una fábrica diez, veinte veces mayor, que pudiera dar trabajo a un millón o dos de operarios con una producción cuya cifra fantástica llegara hasta lo inverosímil...;

pero no sería posible superar a Ford en su organización, en el maravilloso engranaje de sus servicios, que aseguran una continuada y armónica regularidad de funcionamiento, sin la posibilidad de un imprevisto que pudiera entorpecer la producción, y con una precisión matemática de movimiento que para superarla sería preciso pensar en la suprema precisión con que los astros se mueven en el Universo. Y no es esto todo, porque Ford no sólo es una fábrica que hace automóviles, sino que, al mismo tiempo, es el más floreciente y fructífero de los ensayos de organización social y mejoramiento del nivel moral e intelectual del obrero por el aumento de su bienestar material y de su cultura.

Ford no es solamente una serie interminable de edificios industriales que cobijan sus talleres ocupando muchos millones de metros cuadrados; no sólo es un capital fabuloso, siempre en actividad, que moviliza incesantemente muchos cientos de trenes y de barcos que constantemente llegan y salen de nuevo transportando desde apartadas regiones y hasta los últimos confines del Mundo las primeras materias necesarias para la fabricación y los millones de automóviles que han invadido la Tierra; no sólo es la organización comercial más fuerte y poderosa que puede imaginarse establecida en eslabonamiento "vertical" desde las minas de carbón y hierro y las plantaciones de caucho y de maderas hasta las últimas ramificaciones del servicio de ventas; todo esto, con ser mucho, es puramente material, y en Ford hay, además, un espíritu, y ese espíritu es el que ha hecho surgir, junto a los talleres, una serie de escuelas, museos, bibliotecas, hospitales, teatros, gimnasios y campos de deportes, aparte de las magníficas barriadas de confortables viviendas para los 110.000 obreros que forman la numerosa familia Ford, unida toda ella en un solo espíritu con dos aspiraciones concretas y definidas: hacer el coche más barato y perfecto que sea humanamente posible y llegar por la colaboración y trabajo de todos a reducir cada vez más el esfuerzo necesario para producirlo, hasta lograr, si posible fuera, redimir al hombre de la inexorable maldición que le condena a trabajar para ganar el pan con el sudor de su frente. Y en ambas aspiraciones ha logrado espléndidos frutos el inquieto y genial espíritu de Ford, pues justo es reconocer que bien poco puede hacerse para mejorar el coche Ford dentro de su categoría de coche, el más barato del Mundo; y con respecto a la segunda aspiración, ahí están la semana de cinco días y la reciente proposición del "año industrial de diez meses".

Dejando estas consideraciones, que se salen de los límites de

esta serie de notas, me concretaré a describir las secciones que en la fábrica Ford me ha cabido la suerte de visitar.

Ocupa la fábrica Ford en Detroit, y aparte de las instalaciones existentes en el Canadá y en otros lugares del territorio de los Estados Unidos y de las minas y factorías de primeras materias, una extensión de terreno cuya cuantía en metros cuadrados ignoro, pero cuya magnitud se sale del concepto que pudiéramos llamar de "término municipal", acercándose más al concepto de "provincia". En esta enorme extensión de terreno existen vías férreas con numerosas estaciones y canales navegables para barcos de vapor que sirven para la manutención y abastecimiento de extensísimos *docks*, donde se acumulan toda clase de primeras materias en enormes cantidades, sólo comparables a las que necesitaría un formidable ejército en operaciones o una nación entera. Estas fabulosas existencias no permanecen apenas almacenadas, pues una red de ferrocarriles secundarios las transportan sin cesar a las diferentes instalaciones de las varias fábricas que dentro del vasto recinto elaboran diversos artículos accesorios indispensables para la fabricación del coche que lleva a cabo la fábrica principal.

Esta fábrica principal ocupa una interminable serie de cuerpos de edificio de una sola planta, la mayor parte de ellos constituyendo un verdadero pueblo, con hermosas y bien urbanizadas avenidas y calles por las que circulan los trenes que hacen el abastecimiento de primeras materias y el transporte de los coches terminados, así como un enjambre de automóviles del personal de la fábrica, que se ve precisado a desplazarse de una sección a otra, y los autobuses que hacen el servicio interior, público y gratuito, de los visitantes de la fábrica.

En una posición central con relación a las edificaciones de los talleres se encuentra el magnífico, a la par que sencillo, edificio de las dependencias generales y servicio comercial, que presenta su fachada a lo largo de una espléndida avenida que a través de un hermoso parque pone en comunicación con la carretera que conduce a Detroit.

Ante la puerta principal de este edificio, y después de haber atravesado una extensísima porción de terreno dedicada a parque o depósito de los miles de automóviles utilizados por los obreros y empleados para acudir diariamente a su trabajo, me llevó, en unión de mis amigos, el taxi que nos conducía desde Detroit, y no sin emoción traspasé el umbral de la "Meca" de la Industria Automóvil.

Desde el primer momento cautiva la sobriedad, sencillez y ame-

ricano *confort* con que están instalados los servicios de la planta baja, dedicada al servicio del público: grandes salas para los visitantes, salón de exposición de modelos para la venta, oficinas de informaciones, servicio de catálogos y folletos descriptivos del coche, de la fábrica y de la obra entera de Henry Ford, y oficina de inscripción de solicitudes para la visita pública de la fábrica.

En esta oficina, y previa la presentación de mi tarjeta, me proporcionaron de un *ticket* extendido a mi nombre y que me daba derecho a ocupar un asiento en uno de los autobuses que, como antes he dicho, se dedican a este servicio, y a realizar, bajo la dirección de uno de los "guías" especiales que existen a este efecto, la visita de las dependencias que habitualmente recorre este servicio de *turismo interior* de la fábrica.

La primera dependencia visitada fué una de las centrales productoras de vapor con destino a la producción de fuerza eléctrica y diversos aprovechamientos en las fábricas auxiliares de que antes he hablado. De estas centrales de vapor existen varias en los vastos dominios de Ford, y aseguran el suministro ininterrumpido de fluido eléctrico en las diversas fábricas y talleres, controlado constantemente por un servicio especial.

Esta central posee una batería de ocho o diez potentes calderas con hogares dispuestos para quemar carbón con alimentación automática de combustible; el vapor producido alimenta una serie de turbinas que accionan directamente los alternadores; una sección de distribución colocada a continuación asegura el acoplamiento y separación de las diversas unidades, enviando la energía a la sección de transformadores elevadores para su transporte a las diversas fábricas y subcentrales de distribución.

Así descrita esta central, no tiene nada de particular, y no es ni más ni menos que cualquiera de las innumerables centrales modernas de producción de fuerza eléctrica que existen en el Mundo, pero hay algo que la distingue de todas haciéndola, a mi juicio, modelo insuperable dentro de su especie, y es la pulcritud, esmero y buen orden con que está llevada a cabo la instalación, y el esmeradísimo e inverosímil estado de limpieza y presentación con que se mantiene en funcionamiento.

El montaje y trazado de todos los aparatos, órganos y tuberías está llevado a cabo con la misma escrupulosa exactitud y minuciosidad con que pudiera presentarse en el más detallado y cuidado de los dibujos teóricos industriales más perfectos que pudieran imaginarse, o en el más acabado de los modelos de exposición que pudiera

exhibirse en un gabinete o museo, y todo el conjunto de máquinas, aparatos y tuberías, pintados de varios colores relucientes al "esmalte", se mantienen en un estado de entretenimiento y limpieza tal que cuesta trabajo creer que se encuentra uno ante una central en pleno funcionamiento, porque todos los herrajes desnudos relucen como si estuvieran niquelados, la pintura de todos los órganos muestra por todas partes su barniz intacto, el techo y las paredes relucen, esmaltados en gris claro, y hasta el suelo aparece esmaltado en gris oscuro, presentando, para colmo, los ángulos de los rincones esmaltados en purísimo blanco para demostrar, en un alarde de pulcritud, que no existe traza de suciedad en parte alguna. La sensación que se experimenta dista mucho de la impresión que causa la visita de un establecimiento industrial cualquiera, no hallando nada que pueda parecerse o acercarse a esta insuperable presentación, porque para encontrar una sensación parecida habríamos de imaginar que nos encontrábamos en el más pulcro y lujoso de los cuartos de baño de un palacio o en la sala de operaciones quirúrgicas de un excelente hospital.

Cierto que para producir buen vapor no es imprescindible todo este lujo de limpieza, que un tacaño patrono calificará seguramente de derroche, pero no lo entiende así Henry Ford, pues esta sistemática exageración de la limpieza no nos abandonará ya durante la visita de la fábrica, que aparece igualmente pulcra y reluciente en todas las secciones y dependencias como si tuviera interés decidido en que el visitante se llevara esta impresión dominante de la visita. Y hay que tener en cuenta que el día que yo la visité caía una abundante lluvia, cuya inevitable consecuencia era que nuestros pies dejaran manchas de barro al entrar desde la calle en los diferentes pabellones, pero el previsor servicio de limpieza había tenido en cuenta esta circunstancia, y en cada nave existía una pareja de hombres cuya única misión consistía en borrar, provistos de útiles adecuados, las huellas que dejaban los visitantes sobre el reluciente pavimento para mantener impecable su extremada limpieza.

Pocas cosas me han impresionado tanto en América como esta exagerada limpieza, que tiene indudablemente, a mi juicio, una importancia capital. En primer lugar, esta limpieza es y representa la disciplina más rígida e inflexible que pudiera imaginarse, de igual manera que en un bien organizado ejército la perfecta disciplina se muestra al exterior en nimios detalles, que carecen de importancia a los ojos de un profano.

En segundo lugar, este *confort* y limpieza, llevados a un extre-

mo como no es fácil hacerse idea, influyen poderosamente en el ánimo del obrero, que se encuentra evidentemente más satisfecho y desarrolla su trabajo en mucho mejores condiciones de rendimiento al habituarse a este medio de orden y pulcritud. Es éste uno de los detalles que hacen ver inmediatamente aquel "espíritu" que más arriba he dicho que existe en la fábrica Ford. ¡Qué distantes se encuentran estos talleres de Ford, llenos de luz y limpieza, donde se siente la sana alegría del trabajo, de aquellos horrorosos talleres de Hudson, donde trabaja la legión de condenados! En estos talleres de Ford, la alegría y limpieza de los locales y la abundantísima luz clara de que están dotados influyen evidentemente en el ánimo de los operarios, que presentan rostros sanos y alegres en su inmensa mayoría, reveladores de una salud perfecta y espejo de unos espíritus contentos y satisfechos.

Después de la visita de la central de fuerza, y previo un corto viaje en autobús por las calles de la fábrica, visité el taller de bloques de cilindros.

No hay que decir que la especialización de la maquinaria llega, en la fábrica de Ford, al límite de lo humanamente posible; no sólo los talleres son dedicados a la construcción de una sola pieza, sino que, a su vez, las diversas máquinas que los forman son especializadas para una determinada operación, llegando a haber algunas de ellas que no tienen más que una sola velocidad de trabajo, imposible de variar y estudiada de manera de realizar en las condiciones óptimas el trabajo encomendado.

Todas las máquinas, montajes, herramientas, grúas, cadenas, transportadores y elementos de todas clases se presentan en el mismo maravilloso estado de limpieza de que antes he hablado, y los suelos y paredes ostentan la misma pintura de uniforme y esmaltado gris, ahondando en el ánimo del visitante la grandiosa impresión de limpieza y pulcritud, factor común de toda la instalación de Ford.

En el taller de bloques abundan las fresadoras especiales múltiples, que realizan simultáneamente varias operaciones de fresado de los bloques, que, combinadas con mandrinadoras y taladradoras múltiples, realizan todo el trabajo de un bloque en tres o cuatro estaciones de la pieza; estos equipos elementales de máquinas, multiplicados hasta dar una suma fabulosa de máquinas que llenan una larga serie de naves, forman el taller de donde salen terminados y dispuestos para su montaje todos los bloques de los nueve mil coches que cada día producía la fábrica en la época en que la visité.

Un detalle característico de la disposición de las máquinas de Ford es la proximidad a que están montadas unas de otras. Como quiera que el movimiento de piezas se lleva a cabo de una manera absolutamente automática, y, por tanto, no es necesario disponer en las proximidades de la máquina de ningún espacio dedicado al almacenamiento de piezas en trabajo, las máquinas están montadas casi a tope, sin dejar entre ellas más espacio que el necesario para el paso de la banda transportadora, cadena o plano inclinado de rodillos que mueven las piezas de una máquina a otra. Este plano general del taller se desarrolla a la altura de las mesas de trabajo de las máquinas, dando una especie de piso elevado, que, formando una extensa red de cuadrículas (entre las máquinas, deja a éstas emplazadas en una especie de pozos, ocupado cada uno por la máquina y su operario. Como quiera que en cada equipo elemental de máquinas el tiempo de las diversas operaciones está matemáticamente calculado, con una aproximación que hace casi absolutamente nulo el error, compensándose estos errores, por otra parte, a lo largo de la jornada, la producción es absolutamente constante, sin atasco ni retraso ninguno, y los operarios no han de hacer más que vigilar la marcha de la máquina y el corte de las herramientas, bastándoles, al final de la operación, dar a la pieza un ligero impulso para que, entrando en la banda transportadora, sea arrastrada automáticamente hasta la máquina que ha de hacer el trabajo siguiente, a donde llegará, con un error de muy pocos segundos, en el preciso momento en que el operario correspondiente habrá terminado la operación de la pieza anterior y tendrá de nuevo dispuesto el montaje para recibir la pieza y realizar en ella la operación siguiente. En los primeros momentos de estar contemplando el movimiento de un taller de estos hace el efecto de que se trata de una demostración preparada para asombrar al visitante, y que allí no hay trabajo ninguno realizado por las máquinas, sino que las piezas se las pasan los operarios de unas máquinas a otras como jugando o en broma; hay que fijarse más despacio para comprobar que aquellas máquinas cortan a una velocidad fantástica, arrancando montones de viruta que otra banda transportadora se encarga de alejar de las máquinas hacia los colectores, desde donde son extraídas y transportadas al exterior. Todo está previsto con un método y un orden asombroso y no es posible concebir una perfección mayor.

Del taller de bloques pasé al de volantes. Aquí son una interminable serie de tornos especiales los que se encargan de dejar terminado el volante en una sola operación. Es una nave menos vistosa

que la de bloques, porque no existe el intercambio de piezas de una máquina a otra. Una cadena se encarga de alimentar por un lado cada fila de tornos, transportando los volantes en bruto a la altura de las cabezas de los operarios, y otra cadena se lleva los volantes terminados hacia la sala de montaje parcial correspondiente. Estas cadenas de piezas terminadas se desarrollan por todas partes, en general por la región alta de las naves de los talleres, a la altura de las vigas que soportan la armadura del techo, y conducen las piezas muchas veces a talleres muy distantes de aquél en que han sido producidas, aunque siempre, naturalmente, dentro de la sección de talleres que produce el conjunto de piezas que constituye un montaje parcial determinado, llegando, después de pasar por la verificación correspondiente, a las cadenas que alimentan de las diversas piezas necesarias a los obreros encargados de llevar a cabo el montaje, que realizan valiéndose de llaves y atornilladores mecánicos y utilajes especiales adaptados sabiamente a cada una de las operaciones elementales a realizar, por sencillas o insignificantes que sean.

De estos talleres de montaje parcial visité el de cambios de velocidades y otro más elemental que sólo hacía el acloplamiento de un eje de levas con la rueda que lo acciona.

En el primero, la serie de cadenas de transporte y bandas de rodillos para el traslado de los cambios ya montados es tan complicada e intrincada que el paso preparado para la circulación de los turistas por el interior del taller es una pasarela elevada por encima de los operarios y de los bancos de montaje; y ya que de este paso hablo, he de decir que está previsto y destinado a este efecto de las visitas en todos los talleres y dependencias de la fábrica: ancho y cómodo hasta permitir en muchos locales recorrerlo en automóvil, desarrollándose a través de todas las dependencias sin estorbar el trabajo de los operarios, gracias a una pequeña valla que lo separa de las máquinas en los talleres en que puede hacerse la visita al mismo nivel del suelo, o valiéndose, como acabo de indicar más arriba, de pasarelas que permiten el paso por encima de las máquinas.

Todas las piezas de que se compone el montaje llegan conducidas por cadenas y transportadores, y de igual manera salen los cambios montados con dirección a la cadena general de montaje final, no sin pasar antes por una sección donde son probados desde el punto de vista de funcionamiento suave y silencioso.

Desde los talleres de montajes parciales son conducidos los ele-

mentos al taller de montaje final. Este no es, en realidad, un solo taller, sino una serie de talleres, en cada uno de los cuales funciona una de las tantas veces descritas y comentadas en todos los tratados y revistas profesionales cadenas de montaje.

La cadena de montaje se desarrolla a lo largo de una extensísima nave, y paralelamente a ella el camino o paso destinado a los visitantes, que pueden seguir con todo detalle y comodidad las diferentes fases del montaje que ha hecho célebre en el Mundo el nombre de Ford.

Una serie de cadenas transversales alimenta la cadena principal, conduciendo todos y cada uno de los elementos al punto preciso en que deben ser montados.

En esta cadena de montaje es donde llega al colmo y límite la especialización de la mano de obra. El montaje total está descompuesto en una serie larga de fases u operaciones, cada una de las cuales la realiza un equipo de operarios que trabajan a los dos lados de la cadena que transporta el bastidor del coche, andando a la misma velocidad que ella hasta que terminan la operación, en cuyo momento retroceden para comenzar de nuevo su trabajo en el coche que viene a continuación. Las diferentes fases elementales del montaje de un coche están estudiadas de manera que puedan realizarlas los obreros sin estorbarse unos a otros y en el tiempo en que tarda en desplazarse la cadena unos tres o cuatro metros, que es la longitud que tiene lo que podemos llamar el eslabón de esa cadena y que corresponde, naturalmente, a la longitud de un coche, contando con los espacios muertos necesarios entre coche y coche.

A la altura de cada eslabón desemboca una de las cadenas auxiliares, que, como he dicho, están establecidas transversalmente a la cadena principal, y cada una de ellas transporta todos los elementos que han de montarse en el eslabón correspondiente. Cuando estos elementos son voluminosos o pesados (motor, puente trasero, carrocería, etc.), en la extremidad de la cadena auxiliar existe una grúa rápida, mandada por aire comprimido, manejada por uno o dos operarios que no tienen más misión que coger con la grúa uno de los elementos que transporta la cadena auxiliar y depositarlo en la cadena principal, auxiliados por los operarios que trabajan en el eslabón correspondiente, causando asombro la habilidad adquirida con la práctica, que les permite, por ejemplo, en muy pocos segundos, y sin ningún tropiezo ni titubeo, descolgar un motor entero de la cadena auxiliar y dejarlo caer matemáticamente en el bastidor pre-

cisamente en el sitio correspondiente, de tal manera, que los operarios de la cadena principal no tengan que hacer otra cosa que colocar los tornillos y apretar las tuercas, valiéndose de los atornilladores eléctricos, que penden en número considerable a lo largo de toda la cadena de montaje, de manera que un operario siempre tenga dos o tres dispuestos y al alcance de su mano.

Las tuercas, tornillos, arandelas, clavijas y demás elementos pequeños auxiliares para llevar a cabo el montaje de los elementos de cada eslabón son conducidos por otras cadenas secundarias, dispuestos en cajones apropiados y en número ligeramente mayor al teóricamente necesario.

Cada operario realiza constantemente la misma operación durante la jornada, tal como apretar una determinada tuerca o colocar una determinada clavija. Si durante la operación sufriera el accidente de que la tuerca o tornillo correspondiente se le cayera de las manos, no se preocupa de recogerlo, sino que toma un nuevo tornillo o tuerca de la cadena auxiliar que tiene siempre al alcance de su mano; otros operarios, especialmente dedicados a ello, se encargan de recoger todo lo que se haya caído de las manos de los operarios que realizan el montaje, y que no pueden distraer su atención ni un segundo en nada que no sea la especialísima operación que les está encomendada.

Los operarios de un mismo equipo o eslabón turnan por semanas en la ejecución de las operaciones elementales que constituyen dicho eslabón, con el doble objeto de romper, en lo posible, la obligada monotonía del trabajo, que acabaría por ser absolutamente insostenible, y poder ser relevados unos por otros en caso de enfermedad o accidente. De este modo cada operario de los que trabajan en el mismo eslabón es "intercambiable" con sus compañeros, existiendo, además, operarios de reserva que tienen por misión relevar al que por cualquier necesidad, enfermedad o accidente haya de separarse de su puesto de trabajo, y ayudar en cualquier contingencia que pudiera accidentalmente presentarse en un determinado momento en el montaje del eslabón (pieza que presenta una anormal resistencia a emplazarse y que exige una ayuda accidental, esfuerzo supletorio para apretar una tuerca que no ha quedado suficientemente apretada), así como suplir las deficiencias de los operarios que ocasionalmente estén realizando el aprendizaje o adaptación al eslabón correspondiente.

Recorriendo esta larguísima cadena desde sus primeros eslabo-

nes, en que aparece el bastidor desnudo, hasta el último, en que el coche terminado sale andando por sus medios, pasando por toda la interminable serie de operaciones en que van montándose ballestas, ejes delanteros, puente trasero, motor, dirección, cambio, batería, instalación eléctrica, estribos, guardabarros, radiador, carrocería y ruedas, con sus correspondientes operaciones elementales, sin que se aprecie retraso alguno ni modificación del ritmo que siguen las sacudidas intermitentes que hacen avanzar la cadena, pudiera uno muy bien creerse ante la milagrosa realización de un fantástico cuento de hadas. Yo sé decir que en más de una ocasión he sentido la tentación de pellizcarme los brazos para convencerme de que no estaba soñando.

Diez cadenas semejantes funcionaban al mismo tiempo en la época en que yo hice la visita; la producción total de la fábrica era de 9.000 coches diarios; en estas condiciones, y contando con la jornada de ocho horas, un sencillo cálculo nos dice que cada cadena suministra un coche terminado cada medio minuto, aproximadamente. Y así era efectivamente, pues durante el rato que yo estuve contemplando su avance venía a tardar por término medio cuarenta segundos la operación de montaje de un eslabón. Este ritmo, naturalmente, no puede ser rigurosamente mantenido con precisión matemática; existen ligeras oscilaciones, y en muchas ocasiones los operarios que realizan una operación se solapan durante unos segundos con los que hacen la operación siguiente; pero como todo está perfectamente previsto y las operaciones a ejecutar son exactamente las mismas siempre, a lo largo de la jornada se compensan los errores, y toda la fábrica, desde la última operación de la cadena final de montaje (que es, naturalmente, la que en definitiva marca el ritmo forzosamente) hasta las primeras operaciones de las piezas elementales, avanzan con la velocidad exactamente prevista y calculada al hacer el proyecto de fabricación. Nada ni nadie (prácticamente hablando, se entiende) puede hacer que el ritmo se acelere o se retarde, sino la *voluntad colectiva* de los operarios. Estos trabajan estimulados por una prima general colectiva que a cada uno alcanza en función de la producción lograda, y, sobre todo y principalmente, por ese espíritu que anteriormente he subrayado como existente en la organización Ford, que permite que cada operario colabore con toda su alma y con todas sus fuerzas a mantener y, si posible fuera, acelerar el ritmo de la producción, bien seguro de que cuanto mayor sea la cifra de coches producida por día

mayor será su jornal y menor, a la larga, el número de horas de trabajo que se le exigirán al año (semana Ford de cinco días).

Una sola observación me queda que hacer sobre el particular: Toda la organización de Ford descansa en el principio (que hasta ahora hay que reconocer que no ha fallado) de que cuanto mayor y más barata sea la producción de un artículo más se irá extendiendo su mercado, que absorberá cada vez cantidades mayores del producto hasta un límite prácticamente inaccesible. Asusta pensar en los desastrosos resultados a que puede conducir una organización tan formidablemente colosal cuando este límite juzgado inaccesible se alcance, y las palabras sobreproducción y saturación se pronuncien como expresión de una realidad amenazadoramente próxima (1).

Como final de la visita a los establecimientos Ford visité una de las fábricas auxiliares que, como al principio he dicho, producen los diversos elementos accesorios que necesita para la fabricación del coche la fábrica principal.

Esta fábrica es la fábrica de lunas de cristal para los parabrisas y ventanas.

Concebida, montada y puesta en funcionamiento mucho después que la fábrica de coches ante la imperiosa necesidad de incluir en el vasto plan de fabricación absolutamente todo cuanto puede necesitar la fabricación del automóvil, y habiéndose aprovechado en su concepción y proyecto de la experiencia adquirida durante muchos años en el desarrollo de los métodos Ford, esta fábrica de cristales es en su especialidad mucho más revolucionaria que puede ser la fábrica de automóviles en la industria mecánica.

Comencé la visita por el departamento de hornos, que funcionan de una manera completamente automática, recibiendo por un extremo las primeras materias, que entran en la composición del vidrio perfectamente pulverizadas y dosificadas, procedentes de una serie de tolvas reguladas automáticamente; a medida que la fusión de la masa va produciéndose, camina en estado pastoso hacia la parte posterior y más baja del horno, por donde sale al exterior vertiendo en forma de ancha lámina sobre una serie sucesiva de cilindros calientes animados de un movimiento de rotación que hace avanzar

(1) Estas palabras, como todo el trabajo, están escritas a fines del año 1930. No he querido variar el texto para que conserve el valor exacto de la impresión que saqué de mi visita. En nuestros días estamos viendo, por desgracia, que las mejores organizaciones fracasan cuando no asientan sobre bases sólidas. N. del A.

a la lámina de vidrio fundido de la misma manera que avanza la hoja de papel en una máquina "continua".

En este movimiento de traslación sufre la masa del vidrio una laminación, y posteriormente, sobre una larga mesa, un planeado al mismo tiempo, que por lento enfriamiento va solidificándose.

Inmediatamente la cinta continua de vidrio es cortada mecánicamente en hojas que continúan su movimiento sobre unas mesas de su misma extensión que se desplazan una detrás de otra por unos largos carriles que ocupan el centro de la nave.

Esta sucesión de mesas transportando cada una su hoja encima, va pasando por un serie interminable de máquinas que mediante grandes discos giratorios alimentados de una papilla formada de "rojo inglés" pulverizado finamente y mezclado con agua, van haciendo el pulido de una cara primeramente y de la otra después, previa una inversión de las hojas en una máquina especial, y al final de la cadena, operarios provistos de diamantes accionados mecánicamente van dividiendo las hojas de vidrio en otras de menor tamaño, salvando y separando los desperdicios que por roturas accidentales se producen en los bordes y principalmente en las puntas durante las operaciones de pulido. Luego ya no queda sino embalar las hojas así cortadas y enviarlas al taller encargado de cortarlas a la forma y medida definitivas y hacer el pulido y chaflanado de los bordes.

Esta es, en líneas generales, la marcha de la fabricación; pero en cada una de las fases existe tal derroche de afortunadas soluciones ingeniosísimas para salvar los inconvenientes y dificultades del procedimiento, que causaron en su día asombro a los técnicos de la industria del vidrio establecidos con anterioridad en el país, que se habían burlado de Ford (según nos informó nuestro "guía") cuando éste les propuso la idea de montar la fábrica según su concepción, augurándole un fracaso. No se arredró Ford ante la opinión contraria de los técnicos del vidrio y encargó a técnicos de su fábrica, formados en el espíritu de sus métodos propios, el estudio del problema con miras a una solución satisfactoria. Estos estudios, proseguidos arduosamente durante cinco años con todos los elementos que pudo movilizar un Empresa tan poderosa como Ford, tuvieron pleno éxito, dando como resultado la fábrica actual y demostrando, ante los asombrados ojos de los técnicos de todos los ramos, la posibilidad de lograr brillantísimos resultados en cualquier

sector de la industria siempre que se sigan los estudios de una manera metódica y racional.

* * *

Conclusión general.—Y con esto doy por terminada la descripción de las fábricas que pude visitar en la floreciente industria americana. En ellas, como puede deducirse de la lectura de este trabajo, hay mucho bueno que imitar y bastante malo que evitar. Hay cosas verdaderamente sorprendentes y maravillosas que nos colocan en un plano de inferioridad si consideramos nuestros medios y métodos europeos; pero no por ello vayamos a creer que nuestra industria haya de ser forzosa y perpetuamente inferior a la americana.

Todo o casi todo lo que hacen los americanos podemos hacerlo los europeos, y algunas cosas mucho mejor que ellos, siempre que procuremos imitarles en sus métodos de estudio, laboriosidad y tenacidad, pero será un grave error pretender copiar al pie de la letra para aplicarlos a nuestra industria los métodos americanos, que no pueden escapar a la ley de relación que fatalmente ha de ligarlos con las demás manifestaciones de la vida humana.

Las diversas formas de las actividades del hombre desde todos los puntos de vista, sufren al atravesar el Atlántico una peregrina transformación; las necesidades, los vicios, las virtudes, los prejuicios sociales, los principios todos que rigen las actividades del hombre y sus relaciones sociales y comerciales, así como la vida íntima del estado, de la familia y del individuo, y hasta la moral colectiva e individual, sufren un arbitrario y desconcertante "cambio de escala"; lo que pudiéramos llamar la "unidad de medida", que sirve de término de comparación para juzgar los hechos humanos en Europa, se agranda o se achica en América de una manera impensada y según sea la forma de actividad humana a que dicha unidad deba aplicarse, lo cual produce una distorsión de los hechos humanos que proporciona una visión deformada de la vida, comparable a la que se obtiene en un plano topográfico en relieve cuando se multiplican las abscisas o las ordenadas por un factor arbitrario.

Por tanto, todo lo que de América deseemos copiar o importar es imprescindible que lo hagamos pasar antes por un escrupuloso trabajo de "traducción" o adaptación a nuestro mundo y a nuestras necesidades; es ineludible hacer la oportuna "corrección de escala" si no queremos vernos conducidos a un estrepitoso fracaso.

