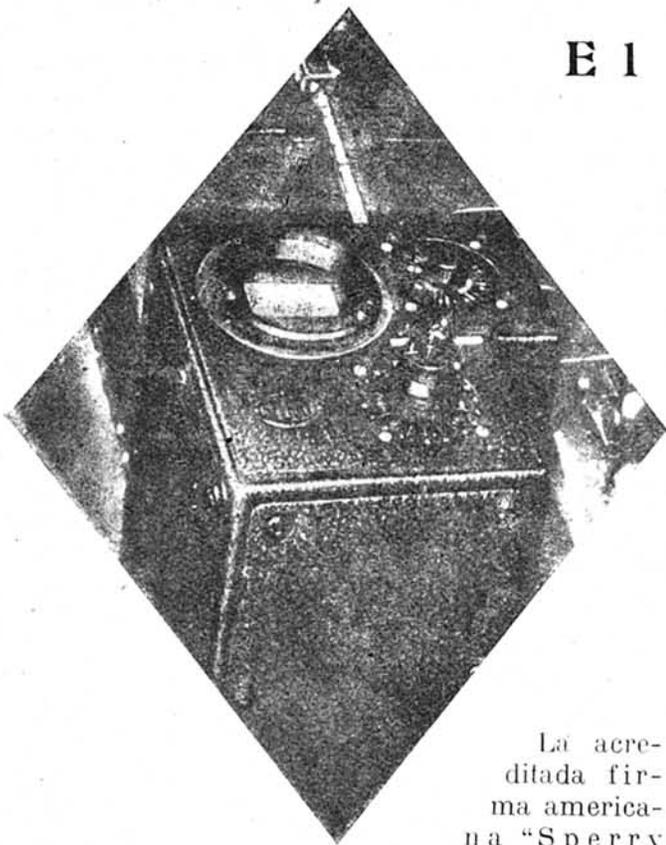


El analizador de motores

Por

MARIANO HERNANDEZ MOLINA

Ayudante de Ingeniero Aeronáutico.



La acreditada firma americana "Sperry Gyroscope Co."

ha aportado un nuevo instrumento al campo aeronáutico; tal vez el más completo instrumento de a bordo de que dispone la Aviación de nuestros días: el "Analizador de motores".

Este instrumento representa para nosotros lo que el aparato de Rayos X representa para los que se dedican al noble empeño de salvar vidas humanas, si se me permite la comparación. Con él podemos ver también el funcionamiento interior del motor con sólo saber interpretar las indicaciones que nos da la pantalla fluorescente de un tubo de rayos catódicos.

Salla a la vista su enorme importancia con sólo considerar que está provisto de los medios más adecuados para detectar y localizar la mayor parte de las averías que pueden ocurrir a un motor de aviación, tanto en vuelo como en las pruebas en tierra.

Efectivamente: Reduce el coste de las pruebas y ensayos de los motores en tierra porque éstas pueden efectuarse en vuelo, lo que, a su vez lleva consigo el incremento del tiempo de utilización de cada motor.

Aumenta la seguridad del avión por la facultad de anticipar el conocimiento de los fallos inminentes.

La labor del mecánico de tierra se simplifica enormemente por el conocimiento exacto de la naturaleza y lugar de la avería. Existen ciertas condiciones especiales de funcionamiento que sólo son observables a alturas de vuelo. En este caso, el mecánico de tierra dispone de la información del de vuelo, lo que le permitirá también ir directamente al punto preciso.

Permite simplificar las pruebas y verificaciones en el banco.

Este instrumento va provisto de un analizador visual que funciona continuamente, y sus indicaciones dan idea completa de la marcha del conjunto generador de potencia del avión durante el vuelo. El mecánico debe conocer los diagramas normales proporcionados por las vibraciones características del motor, los del sistema de encendido y los de sincronización entre magnetos y motores. Si en un momento determinado el diagrama que aparece en la pantalla se desvía de su correspondiente diagrama normal, hay avería o es inminente que se produzca. La posición en que hayamos puesto en este instante los interruptores de mando nos dará el número del cilindro, bujía o magneto relacionado con la avería; es decir, nos la localiza.

Con este conocimiento, verdaderamente útil, el mecánico puede valorar la importancia de la avería y ajustar sus motores correctamente para obtener el máximo rendimiento, a la vez que dar cuenta al piloto por si éste cree conveniente alterar sus planes de vuelo.

Los diagramas fundamentales de cada motor pueden referirse a cada uno de los cilindros o, simultáneamente, a todos.

Los diagramas del sistema de encendido muestran las características de las magnetos, bujías, cables, distribuidores, bobinas, disyuntores, distribución de la mezcla, fun-

cionamiento incorrecto del sistema de inyección, falta de combustión, rateo del motor, etc.

Los diagramas de vibración del motor nos muestran las características de la combustión, detonación, autoencendido, asientos de las válvulas de admisión y escape, asiento de las válvulas de inyección, falta de acoplamiento entre cilindros y pistones, golpes de pistón, fallos de los segmentos y bulones.

Los diagramas de sincronización muestran la sincronización de encendido entre magnetos de un motor o la velocidad de sincronización entre motores.

Conocidos estos diagramas, el manejo del instrumento es sencillísimo, ya que solamente son necesarios tres interruptores para proporcionar al mecánico identificación positiva y rápida de la avería hasta en el mayor de los polimotores.

Por otra parte, no necesita puesta a punto para el control de la longitud de la imagen (diagrama) que es constante e independiente de la velocidad del motor. Además, la sincronización se realiza automáticamente mediante el movimiento mecánico del motor y sin necesidad de ajuste.

El analizador está aislado eléctricamente del motor y, por tanto, no puede afectar en modo alguno al funcionamiento normal del mismo, incluso en el caso de un cortocircuito en las conexiones del instrumento.

El analizador consta de las siguientes partes: un indicador, tres interruptores de mando, amplificador, generador trifásico y los pickups de vibración. Como complemento, el proyecto del analizador incluye un equipo para el análisis de otros sistemas eléctricos e hidráulicos del avión.

El indicador.—Es la pieza fundamental del instrumento (fig. 1). Consiste en un tubo de rayos catódicos que proyecta diagramas



Fig. 1.

de las características exactas del funcionamiento del motor sobre la pantalla fluorescente. Esta pantalla tiene 7,62 centímetros de diámetro.

Interruptores de mando.— Los tres interruptores de mando son: el selector de condición, el selector cíclico y el selector de cilindros. Estos dos últimos suelen formar

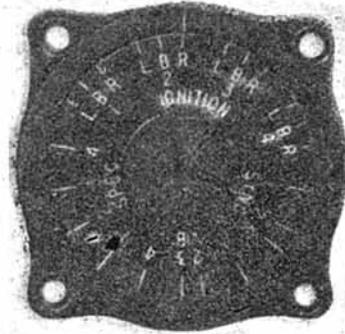


Fig. 2.

una sola unidad que llamaremos "Selector combinado cilindro-ciclo", aunque hay ciertos equipos que los llevan separados.

Mediante el selector de condición (fig. 2) elegimos el motor y magneto, y clase de diagrama (vibración, encendido, etc.) que hay que examinar.

El selector cíclico escoge la bujía individual y parte del ciclo completo del motor.

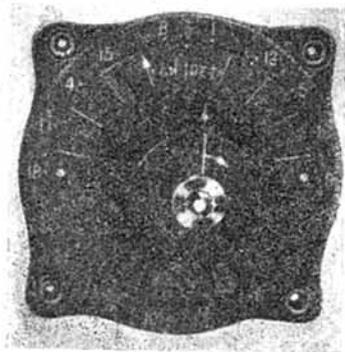


Fig. 2 bis.

Un pulsador en el centro del selector cíclico se usa para proyectar diagramas de todas las bujías de una hilera simultáneamente, empezando por un solo cilindro seleccionado por la rotación del interruptor.

La figura 2 bis muestra un selector combinado cilindro-ciclo. Los números de los discos graduados identifican cada bujía con los diagramas, permitiendo la localización positiva de cualquier avería del motor.

El interruptor selector del cilindro se usa solamente para análisis de vibración y conecta el pickup de vibración de cualquier cilindro con el indicador.

Amplificador.—Este elemento (fig. 3) es el "cerebro" del instrumento; consta de los

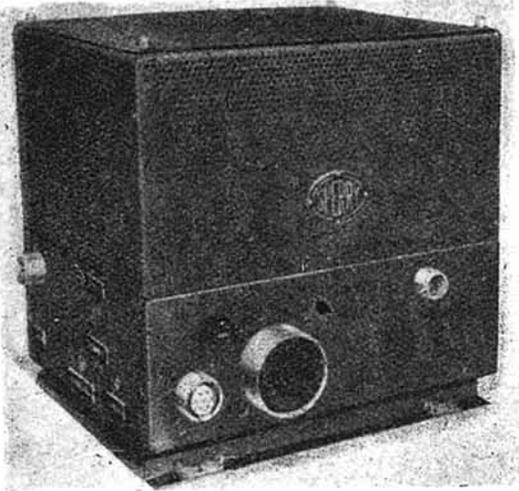


Fig. 3.

circuitos electrónicos que coordinan las funciones del analizador del motor. Contiene el generador de alto voltaje para el analizador, el generador electrónico de barrido para el indicador y el amplificador vertical de señales desde los pickups de vibración.

Pickups de vibración.—Cada cilindro lleva fuertemente atornillada una de estas unidades (fig. 4) que son los elementos sensibles del instrumento encargados de transformar las vibraciones físicas o sonidos del cilindro en voltaje eléctrico, el cual conve-

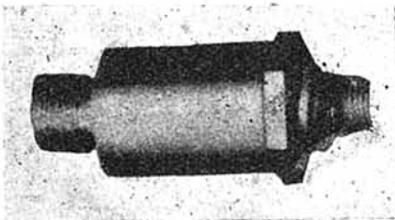


Fig. 4.

nientemente multiplicado por el amplificador, produce las desviaciones verticales de los electrones en el tubo de rayos catódicos, la combinación de estas desviaciones verticales con las horizontales, producidas por el generador electrónico de barrido, nos produce las curvas que observamos en la pantalla del indicador, o sea los diagramas de vibración.

Generador trifásico.—Cada motor lleva un generador trifásico acoplado a la transmisión de un tacómetro auxiliar, y gira a la mitad de revoluciones que el cigüeñal, conservando con él un sincronismo físico exacto. Su objeto es controlar el barrido del generador electrónico para conservar acorde los diagramas con el giro del motor.

Funcionamiento.

La figura 5 muestra las conexiones de los principales elementos del instrumento, suponiéndolo instalado en un tetramotor.

El indicador ya dijimos que era un osciloscopio de rayos catódicos diseñado para mostrar la forma de las curvas de voltaje o diagramas, que presentan detalles seleccionados del funcionamiento del motor en el momento preciso en que ocurre cada acontecimiento.

Los diagramas están trazados, por tanto, por un chorro de electrones que inciden sobre la pantalla fluorescente con un movimiento vertical combinado con otro horizontal o de barrido.

El movimiento vertical del rayo de electrones es originado por los voltajes tomados desde el circuito primario del sistema de encendido, desde los pickups de vibración o desde cualquier otro detector de voltaje.

El movimiento horizontal o de barrido se controla, como vimos; por el generador electrónico de la unidad amplificadora. El chorro de electrones se mueve de izquierda a derecha, con velocidad constante; al llegar al final de su recorrido salta hacia atrás hasta el principio de su carrera, en cuya situación permanece en posición inoperante—pero con su movimiento vertical—hasta que termina su ciclo el cilindro bajo observación.

El tiempo que tarda el rayo de electrones en recorrer la pantalla se ajusta automáticamente, con independencia de la velocidad del motor, para cubrir la apertura y cierre de los platinos de la magneto para el encendido de dos cilindros consecutivos del motor, lo que representa unos 80° de ángulo de cigüeñal en un Wright Cyclone de 18 cilindros, o sea unos 64 mm. sobre la pantalla.

El ajuste normal del barrido permite proyectar los diagramas de encendido de dos cilindros consecutivos, o los diagramas de vibración de un cilindro sobre el ángulo de cigüeñal equivalente. Oprimiendo el botón

central del selector cíclico aumenta el tiempo de recorrido del rayo de electrones para cubrir un ciclo completo del motor.

El voltaje del generador trifásico inicia una línea que se usa como punto de parti-

Diagramas de encendido.

Los cilindros que funcionan correctamente producen un diagrama característico que llamamos *diagrama normal*. Las desviaciones

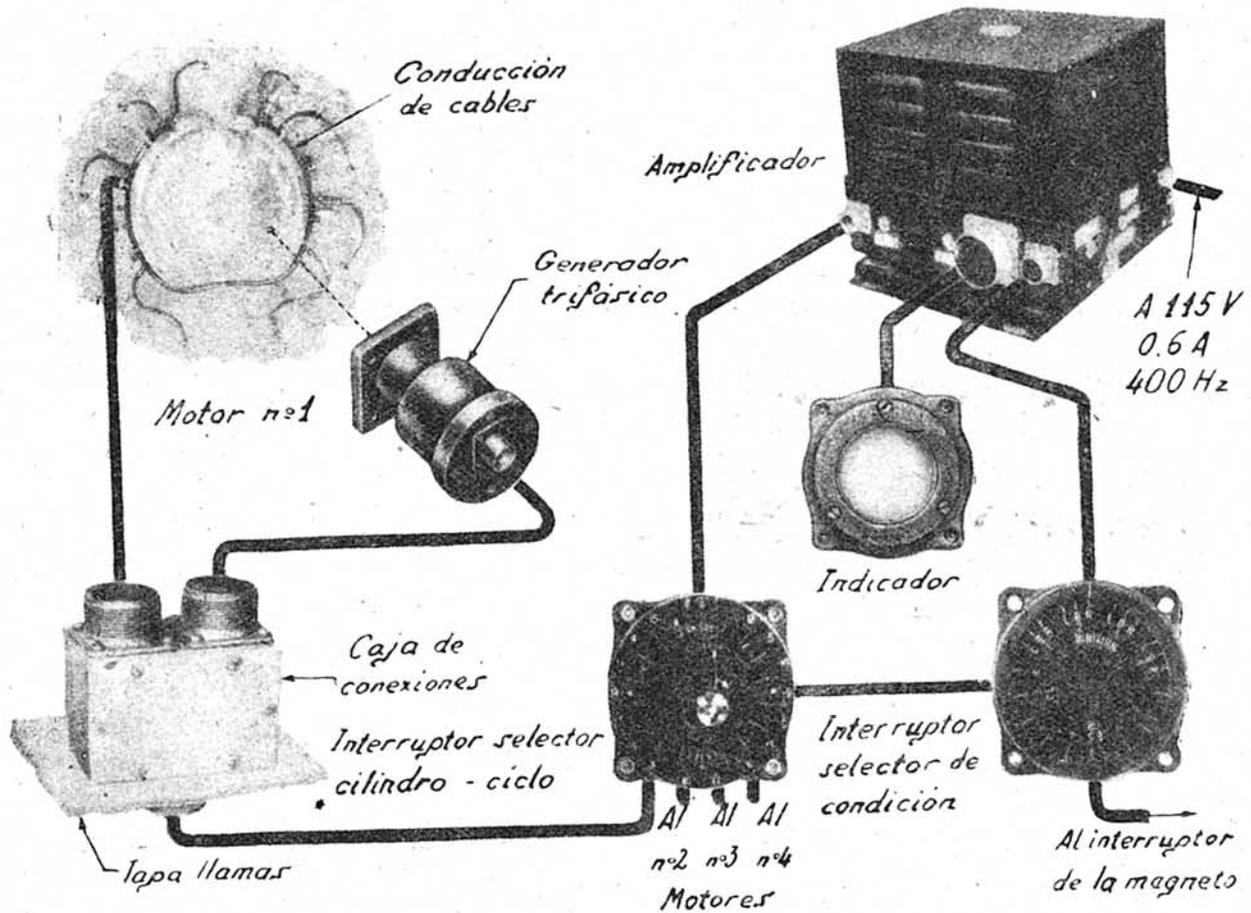


Fig. 5.

da del barrido al empezar su movimiento a través de la pantalla, el cual puede iniciarse con toda precisión un momento antes de la ignición en el cilindro que se desee, escogiéndose éste por el interruptor selector de cilindros.

Para mostrar los diagramas de encendido el conmutador de la magneto aplica directamente la variación del voltaje del circuito primario al circuito de deflexión vertical del indicador. Esta conexión se hace por medio de una resistencia que aísla el analizador, imposibilitando que tenga influencia sobre el sistema de encendido.

En cuanto a los diagramas de vibración, ya vimos eran originados por los cambios de voltaje detectados por los pickups de vibración.

perceptibles de él implican avería relacionada con el cilindro o bujía bajo observación.

Cada tipo de avería produce un cambio particular del diagrama, que es el que caracteriza su naturaleza, como veremos seguidamente.

Las fotografías están tomadas operando con Wright Cyclone de 18 cilindros. Con otro tipo de motor en que variasen los circuitos eléctricos de sus magnetos nos proporcionaríamos familias de diagramas distintos, pero las desviaciones de sus normales nos identificarían la índole de la avería con análoga facilidad.

Diagramas normales.—El diagrama normal (fig. 6) aparece como dos series de oscilaciones de alt frecuencia superpuestas a una de baja frecuencia.

El diagrama empieza al abrirse los plati-

nos de la magneto con un estallido repentino de oscilación de alta frecuencia que decrece en amplitud hacia el punto de transición, donde una segunda oscilación—menos abrupta—de alta frecuencia empieza; ésta aumenta hacia un máximo y en seguida decrece, cortándose bruscamente por el cierre de los platinos.

El diagrama completo aparece solamente mientras los platinos están abiertos. El lapso de tiempo en que los platinos permanecen cerrados sólo aparece una línea recta, llamada "línea cero", que es la que conecta diagramas consecutivos.

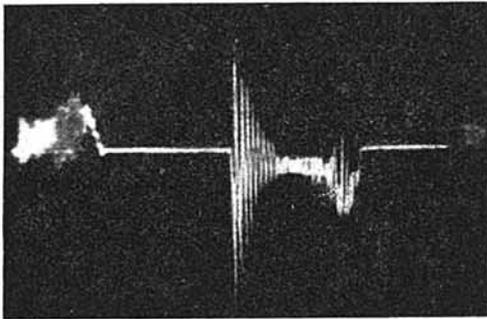


Fig. 6.

La porción de baja frecuencia (fig. 7) del diagrama es el valor medio o línea central de las oscilaciones de alta frecuencia. Es un voltaje que coloca los diagramas de cilindros consecutivos alternativamente encima o debajo de la línea cero, porque el voltaje de la magneto alterna de más o menos en encendidos consecutivos debido a la influencia de secundario sobre el primario.

La primera oscilación de alta frecuencia corresponde al salto de la chispa entre los electrodos de la bujía. La duración del salto es pequeñísima, más no despreciable, y mientras éste ocurre el núcleo de la magneto sigue girando y engendrando una corriente primaria, la cual induce otra en el secundario que, por encontrarse cerrado en aquel momento, puede circular reforzando y prolongando la chispa en la bujía. A medida que el voltaje disminuye hasta casi anularse, la oscilación de alta hace lo mismo, llegando al punto de transición, después del cual, como el gas está ya ionizado, permite que la bujía efectúe una segunda descarga a un voltaje mucho más bajo. El analizador registra este fenómeno por medio de la segunda oscilación de alta frecuencia.

Estudiado ya el diagrama normal de en-

cendido pasemos una ligera revista a los diagramas que caracterizan las averías más corrientes.

Secundario en corto.—Un cortocircuito en el secundario es fácilmente visible en el diagrama.

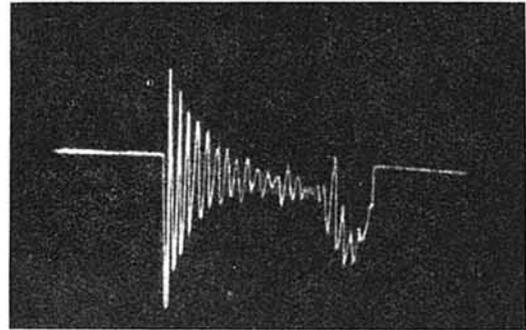


Fig. 7.

La descarga entre el conductor de alta tensión de la bujía y masa reduce la energía de la chispa, por lo que la primera oscilación de alta frecuencia tiene una amplitud menor y decrece más rápidamente. Además, la segunda oscilación de alta frecuencia es casi imperceptible, como puede apreciarse en la figura 8.

Holgura pequeña.— Cuando la distancia entre los electrodos de la bujía es más pequeña que la normal, se produce un diagrama

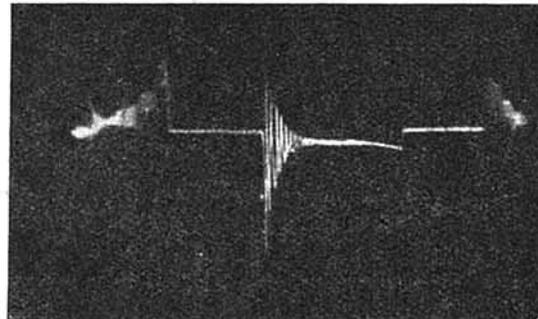


Fig. 8.

ma (fig. 9) caracterizado por la reducida amplitud de la segunda oscilación de alta frecuencia. Si aumenta el número de revoluciones del motor, esta segunda oscilación tiende a desaparecer, como en el caso del cortocircuito visto anteriormente.

Bujía sucia.— Esta avería tan corriente produce diagramas parecidos al caso del secundario en corto. Su característica más notable (fig. 10) es que aparecen en la pantalla como "diagramas danzantes", cuya for-

ma varía desde uno casi normal hasta la desaparición absoluta de la deflexión vertical.

El diagrama representa un cortocircuito de resistividad variable debido a la suciedad en el hueco de la bujía.

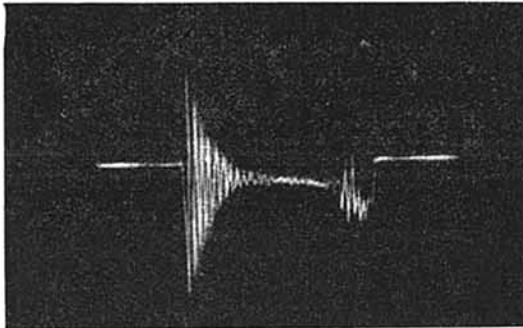


Fig. 9.

Los cambios irregulares de suciedad son causa de las oscilaciones.

Secundario abierto.— Cuando el circuito secundario se halla interrumpido por rotura de algún conductor, sea en la bobina o en los de las bujías, el alto voltaje no puede llegar a los electrodos de la bujía.

Esto lo acusa el indicador proporcionando un diagrama totalmente diferente de to-

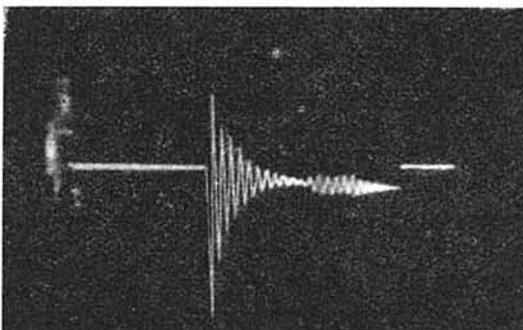


Fig. 10.

dos los demás (fig. 11). Su característica prominente es la gran altura que alcanza el pico de la oscilación de baja frecuencia a la cual se superpone una ligera oscilación de alta frecuencia, produciendo espigas y rizos.

Si el diagrama se observa en todas las bujías encendidas por la misma magneto, la rotura queda localizada antes de llegar al distribuidor. Si sólo se observa en algunos cilindros, entonces hay que sacarla desde el distribuidor a la bujía.

Holgura excesiva.— Si la distancia entre electrodos de la bujía es mayor que la normal, se produce un diagrama que tiende a

aproximarse a la condición de circuito abierto, tanto más cuanto más aumente esa distancia entre electrodos y cuanto mayor sea el número de revoluciones del motor. La fotografía 12 está tomada a 1.600 r. p. m., y la 13 a 2.200; la semejanza de esta última con la número 11 es bastante pronunciada.

La principal característica es un incremento de la joroba de la segunda oscilación de alta frecuencia, debido a la dificultad que encuentra el secundario en descargar el voltaje inducido.

Cuando la bujía no llega a encenderse se proyectan diagramas intermitentes de circuito abierto.

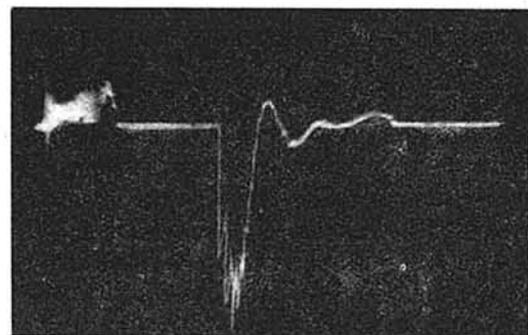


Fig. 11.

Chisporroteo de los platinos.— Cuando saltan los platinos, cerrando el circuito primario, se producen una variedad de puntos que aparecen después de la terminación normal de los diagramas de encendido (fig. 14). El número de puntos que aparecen es equivalente al número de veces que saltan los platinos cerrando el circuito.

Magneto defasada.— Dos métodos podemos seguir para conocer el defasaje de una magneto.

El primero consiste en proyectar los diagramas de ambas magnetos superpuestas. Si una de las magnetos está defasada, las

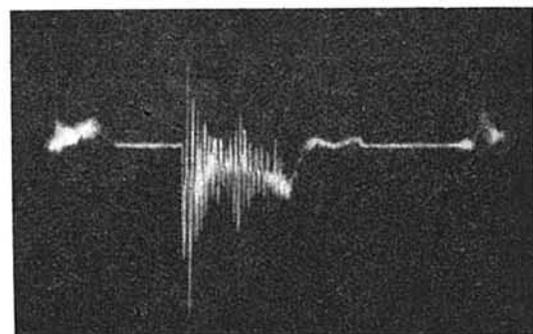


Fig. 12.

bujías de un mismo cilindro no encenderán la mezcla al mismo tiempo y sus diagramas aparecerán defasados también. El diagrama de la magneto avanzada aparecerá a la izquierda del de la magneto retardada.

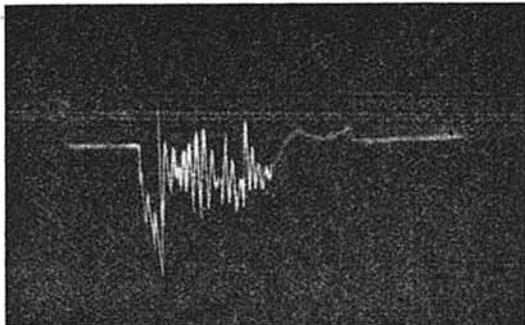


Fig. 13.

El segundo método se basa en la influencia que ejerce la bujía adelantada sobre la atrasada. En efecto, al proyectar el diagrama de la bujía retardada observamos una pequeña oscilación antes de empezar la primera de alta frecuencia, debido a la inducción que produce el salto de chispa en la bujía adelantada (fig. 15). La distancia entre la iniciación de la pequeña oscilación y el comienzo de la primera oscilación de alta frecuencia es equivalente al número de grados del defasaje de la magneto.

Sabido es que la chispa que salta en las bujías situadas cerca de la válvula de escape lo debe hacer con un cierto adelanto res-

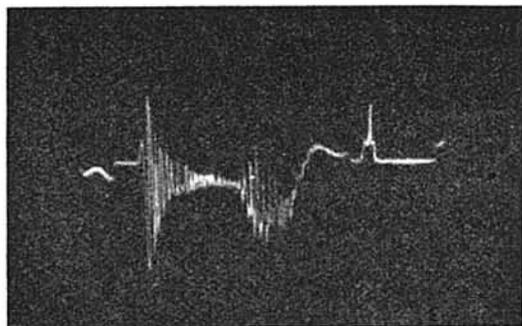


Fig. 14.

pecto a las otras del mismo cilindro, debido a la presencia en aquella zona de gases quemados que obstaculizan la propagación de la llama. Esta circunstancia se debe tener presente al tratar de averiguar el defasaje de una magneto.

Falta de explosión.—La falta de explosión es fácilmente visible en el analizador, ya

que origina un diagrama (fig. 16) en el que la primera oscilación de alta frecuencia es bastante irregular y de amplitud mucho más reducida; además, se observa que falta la segunda oscilación de alta frecuencia, ya que la escasa ionización en el interior del cilindro impide el encendido de la bujía en la segunda oleada de energía.

En lugar de dicha oscilación de alta aparece un apéndice bien marcado, que es el pico de la oscilación de baja frecuencia.

Si la velocidad del motor aumenta este

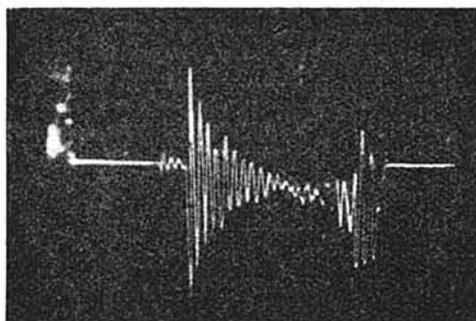


Fig. 15.

diagrama, tiende a confundirse con el producido en el caso de interrupción en el circuito secundario; su distinción es obvia, ya que en el caso presente todas las bujías de un mismo cilindro deben producir un diagrama de falta de explosión, mientras que en el caso de "secundario abierto" sólo presentarán diagrama de tal naturaleza las bujías relacionadas con el circuito secundario averiado, presentándolo normal las otras.

Rateo del motor.—Cuando la velocidad del motor no es uniforme, encendidos consecutivos en el mismo cilindro no ocurren a intervalos iguales, lo que origina desplazamientos horizontales del diagrama de encendido hacia atrás o hacia adelante. La sensibilidad del instrumento es tal, que detecta

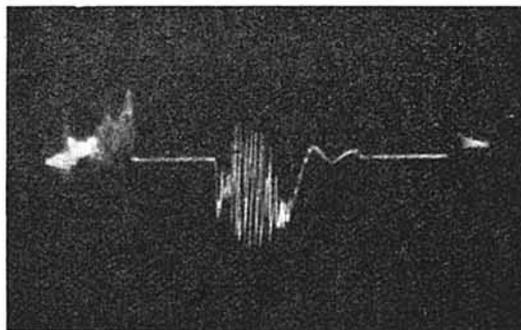


Fig. 16.

ligeros rateos antes de que lleguen a notarse las vibraciones que los caracteriza.

Diagramas de vibración.

Diagramas normales.—La figura 17 presenta un diagrama normal de vibración, cuyo barrido se inicia en el punto muerto inferior.

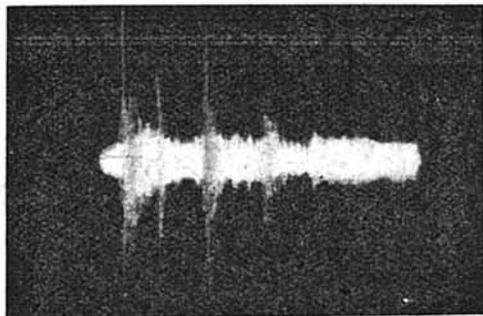


Fig. 17.

En él se distinguen, de izquierda a derecha, cuatro hechos destacados del ciclo del motor: Cierre de escape, ruido producido por la inyección, cierre de admisión y explosión de la mezcla.

Cualquier ruido extraño originado en el cilindro produciría en el diagrama oscilaciones verticales distintas de las señaladas, y sus amplitudes indicarían la intensidad del mismo. La posición de estas oscilaciones a

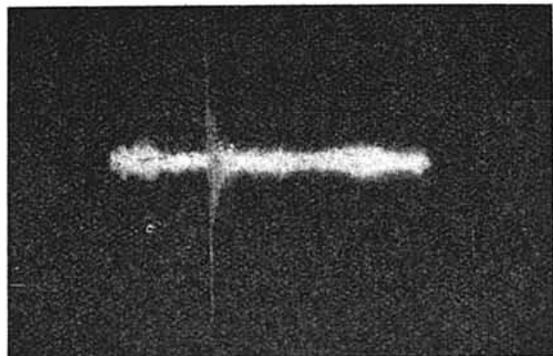


Fig. 18.

lo largo del diagrama nos dice el tiempo del motor en el cual ocurre el hecho. Por ejemplo, la detonación haría que la oscilación extraña apareciese en las proximidades de la zona de explosión y el preencendido obligaría dicha zona a trasladarse hacia la izquierda del diagrama.

Pasemos, para terminar, una ligera revista a los diagramas de vibración que caracterizan las averías más corrientes.

Válvulas deficientemente asentadas.— Cuando las válvulas se asientan deficientemente sus zonas correspondientes quedan reducidas en amplitud, haciéndose a veces imperceptibles. Si la válvula se incrusta, la oscilación es visible, pero si se asienta lentamente, no. En el caso de que la válvula esté mal sincronizada, la zona se mueve a lo largo del diagrama desde su posición normal. Finalmente, si el asiento defectuoso es debido a averías de la leva, la zona de asiento aparece intermitentemente.

La figura 18 distingue un mal asiento de la válvula de escape, ausencia de inyección y explosión con una admisión normal de aire.

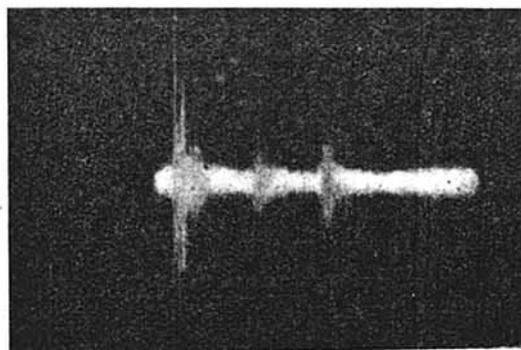


Fig. 19.

La figura 19 indica que la válvula de escape ha rebotado al cerrar, la inyección ha sido algo defectuosa, la válvula de admisión está estropeada y la explosión ha sido normal.

Falta de explosión.— Como es lógico, la falta de explosión implica ausencia de la cuarta zona del diagrama normal. La figu-

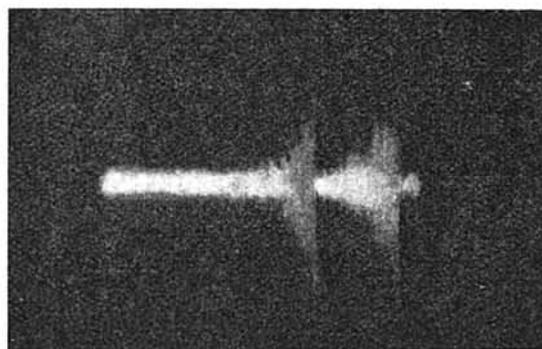


Fig. 20.

ra 20 nos presenta un diagrama en el que se nota tal contingencia; además, se puede observar en él la deficiente inyección responsable de la ausencia de explosión.