

## Un sistema de dirección automática de proyectiles para el final de su trayectoria

Por CARLOS FRANCO GONZALEZ-LLANOS  
Comandante de Artillería.  
Diplomado de la Escuela Politécnica.

Uno de los problemas más importantes que se presentan en el tiro contra aviones es el determinar la tercera coordenada, que nos define el tiempo de duración de la trayectoria correspondiente a la posición del avión futuro, con el fin de que la explosión se produzca en un punto lo más cerca posible del blanco, para que los efectos de la misma sean de la mayor eficacia.

No cabe duda que si dotamos al proyectil o bomba de un dispositivo tal que cuando el proyectil se encuentra en las proximidades del blanco automáticamente actúa sobre sus órganos de gobierno para que su movimiento se dirija hacia el mismo, la eficacia del tiro se habrá multiplicado de una manera considerable.

A continuación vamos a exponer el fundamento de un dispositivo de autodirección para final de trayectoria, tomado de un artículo publicado en el *Memorial de l'Artillerie Française* por el Capitán de Corbeta Oudin; este sistema está fundado en la captación por una célula fotoeléctrica de las radiaciones infrarrojas emitidas por el escape de los motores de los aviones.

La fotocélula es un dispositivo sensible a la luz; la célula más antigua es la célula fotorresistente de selenio, y en realidad este elemento no constituye en esencia un dispositivo electrónico, pues a pesar de que su forma de funcionamiento es el trabajar en el interior de recintos en los que se ha hecho el vacío, no aprovechan para su funcio-

namiento las propiedades de la conducción de las cargas eléctricas a través de un gas o del vacío, que es lo que caracteriza a todo aparato electrónico. Estos dispositivos están fundados en la propiedad que poseen algunas sustancias de presentar una resistencia óhmica variable, según se las someta más o menos intensamente a la acción de las radiaciones luminosas. De estas sustancias, la más ampliamente usada es el selenio; este cuerpo presenta unas características de conductividad eléctrica intermedia entre los cuerpos conductores y los dieléctricos; cuando sufre una iluminación más o menos intensa, la resistencia óhmica disminuye, y la corriente que atraviesa la célula, para una tensión fija aplicada a la misma, aumenta.

La célula va colocada en el foco de un objetivo, con el fin de recibir el flujo luminoso concentrado. En una posición intermedia entre la célula y el objetivo va dispuesto un semidisco de forma circular, dotado de un movimiento de rotación, y cuya finalidad es regular la entrada del flujo luminoso de acuerdo con la posición que tiene el proyectil con relación a la fuente de radiación, o sea el avión. La disposición del conjunto se indica en la figura 1.

Vamos a estudiar ahora la cantidad de flujo luminoso recibido por la célula en un giro completo del semidisco de acuerdo con la posición que ocupa el avión con relación al proyectil.

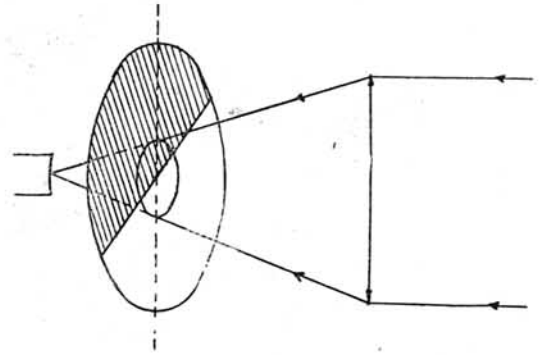


Figura 1.

Consideremos primeramente el caso de que el avión se encuentra en el mismo plano vertical que el proyectil; por tanto, no existe desvío lateral, sino que únicamente hay una desviación en altura. En la figura 2 está representado el semidisco obturador y el contorno aparente del flujo en el plano del disco. Consideremos como posición ini-

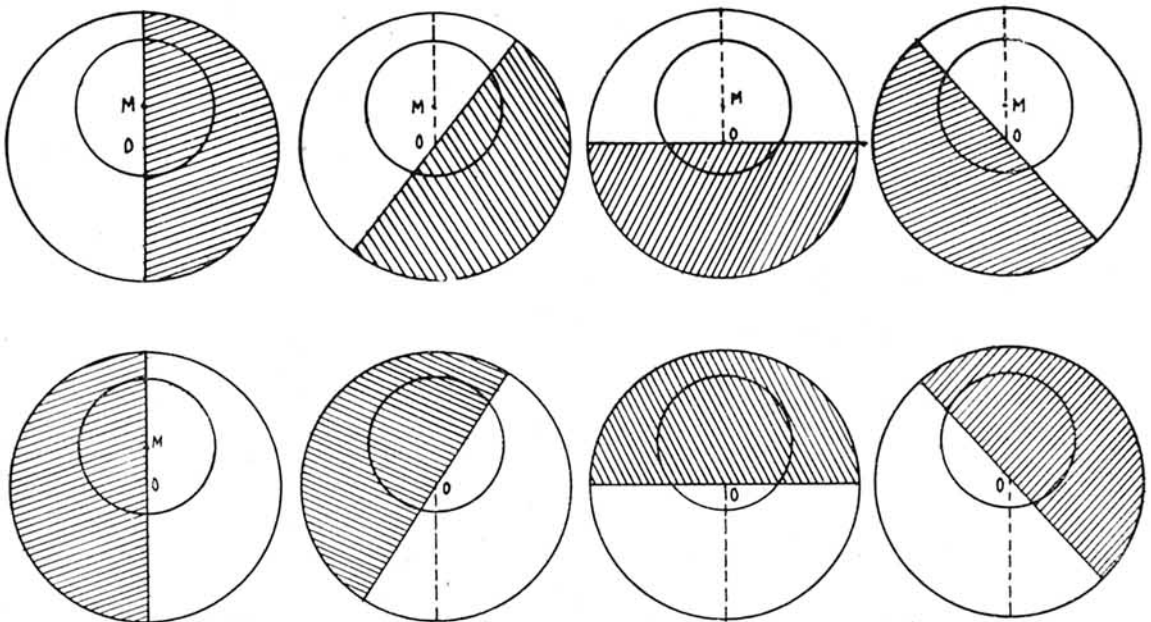


Figura 2.

cial cuando el disco está con su diámetro colocado verticalmente. El flujo que recibe será un valor medio  $F$ , cuyo valor es proporcional a la mitad de la superficie del círculo luminoso interceptado por el disco, suponiendo que éste fuese completo.

Si admitimos que el disco gira en sentido de las agujas de un reloj, en el movimiento desde la posición 1 hasta la 3, el flujo recibido aumenta en magnitud, y su valor es igual al valor medio antes citado  $F$  más una magnitud, que depende de la distancia que separa el centro del círculo del contorno aparente del diámetro del semidisco obturador. En la posición 3 el flujo es máximo, y su valor lo representamos por  $F + K \cdot OM$ . A partir de esta posición el

Si esta función  $F + K \cdot OM \text{ sen } \beta$  la representamos gráficamente sobre un sistema de ejes coordenados, tomando sobre el eje de las  $x$  el valor angular del giro del semidisco y sobre el eje vertical las magnitudes del flujo recibido por la célula, se tendrá una curva, cuya representación se indica en la figura 3, la cual presenta unos valores máximos y mínimos en las posiciones 3 y 7.

La magnitud de este máximo o del mínimo, tomada con relación al valor medio  $F$ , es una magnitud proporcional al desvío angular del avión con relación al proyectil.

La cosa sucedería de una manera análoga cuando el avión se encontrase en el plano de situación del proyectil, y en este caso el desvío en altura sería nula y existiría

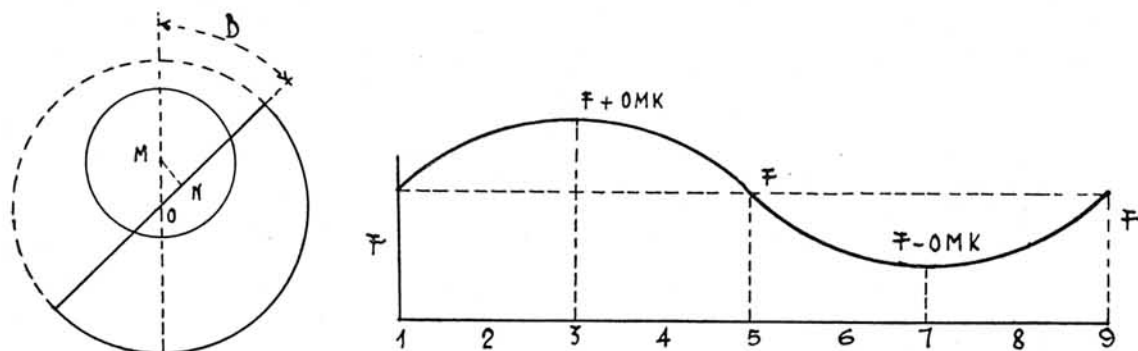


Figura 3.

flujo disminuye: en la posición 4 tiene un valor igual que en la 2, y en la 5 le corresponde el valor medio  $F$ . Si el movimiento sigue, los valores que toma ahora son menores que el valor medio  $F$ , correspondiendo a la posición 7 un mínimo de valor igual a  $F - K \cdot OM$ , y así hasta llegar de nuevo a una posición análoga a la 1, repitiéndose de nuevo el ciclo.

únicamente un desvío en dirección. De la misma manera que antes, los valores máximos y mínimos del flujo serían proporcionales al desvío.

En el caso que el avión ocupe una posición cualquiera en el espacio con relación

Vemos en definitiva que el flujo medio  $F$  es modulado de acuerdo con una función que depende de la distancia que separa el centro del círculo del contorno aparente del diámetro del semicírculo obturador, o sea:  $K \cdot ON = K \cdot OM \text{ sen } \beta$ , en la que  $\beta$  representa la magnitud del ángulo girado por el semidisco, contado a partir de la posición inicial, que es la que corresponde a la posición del diámetro sobre el centro del objetivo.

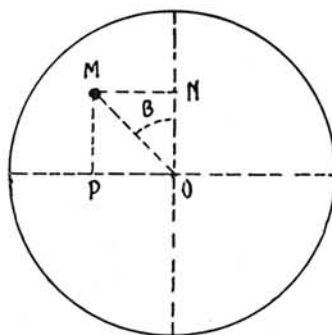


Figura 4.

al proyectil, se presenta el problema de descomponer el desvío angular del blanco en sus dos componentes, tanto en altura como en dirección.

Consideremos un blanco en la posición indicada en la figura 4. El punto  $O$ , que es el centro del círculo aparente que intercepta el plano del disco, representa la posición del avión; por tanto, el desvío con relación al proyectil es una magnitud proporcional a  $OM$ , y sus componentes son:

Desvío en altura =  $OM \cdot K \cdot \cos B$ .

Desvío en dirección =  $OM \cdot K \cdot \sen B$ .

Representemos lo mismo que antes las diferentes posiciones del semidisco obturador en un giro completo (fig. 5) y determine-

como origen la posición vertical del diámetro del semidisco.

El problema que nos queda por resolver es obtener unas magnitudes eléctricas cuyos valores sean proporcionales a los desvíos del blanco con relación al proyectil, los cuales se harán actuar sobre los órganos de gobierno del proyectil o bomba para que el movimiento del mismo se dirija hacia el blanco.

Para conseguir esto, el semidisco, en su movimiento de giro, hace funcionar un conmutador giratorio de forma que en cada semiperíodo cambia la polaridad que se aplica a los bornes de la célula, es decir, que este cambio se efectúa cuando el diámetro del semidisco toma la posición vertical.

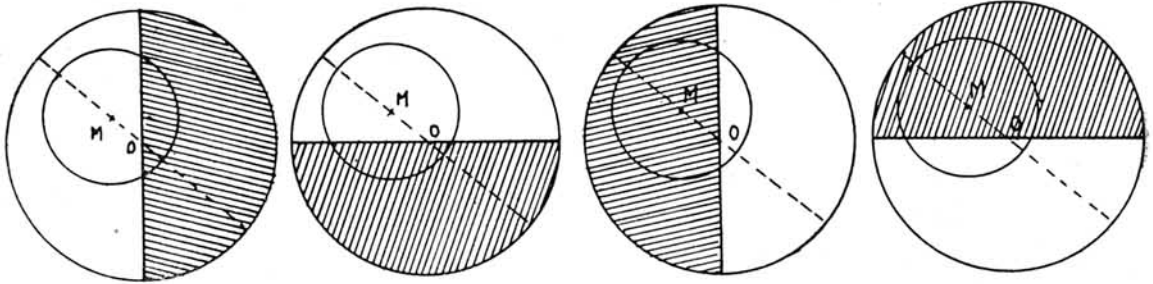


Figura 5.

mos los valores del flujo recibido por la célula. La representación gráfica de la variación del flujo es la misma que la que se obtuvo en un principio, con la única diferencia de que existe un desfase entre ambas curvas, cuya magnitud es igual al ángulo  $B$  que forma el plano que pasa por el objetivo y el plano vertical. Se ha tomado

acuerdo con esto, la señal que se tiene en el circuito de la célula será proporcional al flujo total recibido, teniendo en cuenta el signo correspondiente cuando se cambia la polaridad.

El flujo recibido es la suma algebraica de las áreas rayadas (fig. 6), cuyos signos se indican sobre la misma de acuerdo con la posición del conmutador.

Como consecuencia de ello, la expresión que nos da el flujo es:

Flujo = área [abmo] - área [bcdnm] + área [depn];

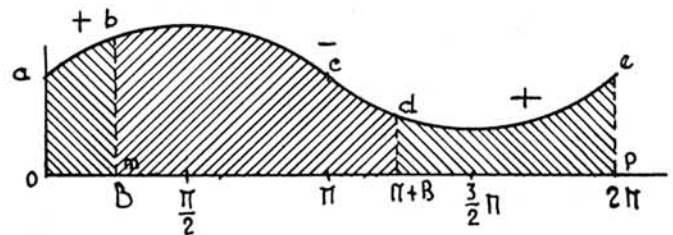
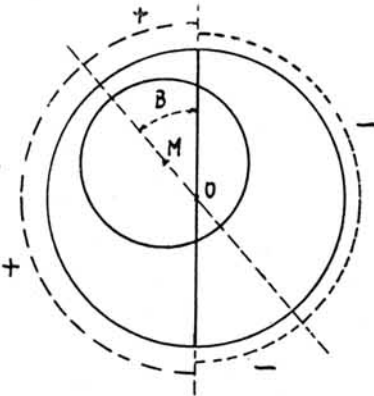


Figura 6.

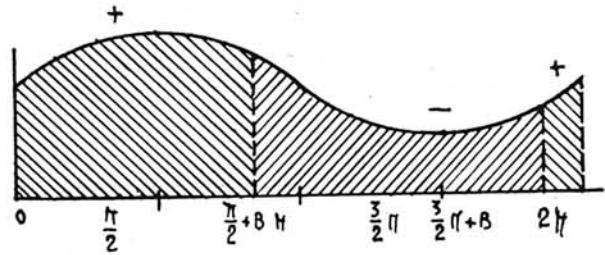
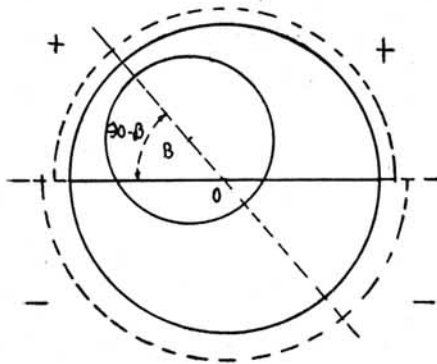


Figura 7.

en donde las respectivas áreas tienen por valor las integrales definidas que se indican a continuación:

$$\text{Area [abmo]} = \int_0^B [F + K \cdot OM \text{ sen } \beta] d\beta,$$

$$\text{Area [bcdnm]} = \int_B^{\pi+B} [F + K \cdot OM \text{ sen } \beta] d\beta,$$

$$\text{Area [depn]} = \int_{\pi+B}^{2\pi} [F + K \cdot OM \text{ sen } \beta] d\beta,$$

puesto que la ecuación de la curva es:  $y = F + K \cdot OM \text{ sen } \beta$ .

$$\begin{aligned} \text{Flujo} &= \int_0^B [F + K \cdot OM \text{ sen } \beta] d\beta - \\ &- \int_B^{\pi+B} [F + K \cdot OM \text{ sen } \beta] d\beta + \\ &+ \int_{\pi+B}^{2\pi} [F + K \cdot OM \text{ sen } \beta] d\beta = \\ &= [F - K \cdot OM \text{ cos } \beta]_0^B - \\ &- [F - K \cdot OM \text{ cos } \beta]_B^{\pi+B} + \\ &+ [F - K \cdot OM \text{ cos } \beta]_{\pi+B}^{2\pi} = \\ &= -4K \cdot OM \text{ cos } B; \end{aligned}$$

magnitud que, como vemos, es proporcional al desvío en altura del avión con relación a la bomba o proyectil.

Si ahora disponemos un conmutador defasado con relación al anterior 90°, se obten-

drá una magnitud eléctrica proporcional a la componente lateral.

En efecto, el flujo recibido es la suma algebraica de las porciones rayadas indicadas en la figura 7, cuyos signos están indicados sobre la misma. El valor total del flujo recibido será:

$$\begin{aligned} \text{Flujo} &= \int_0^{\frac{\pi}{2}+B} [F + K \cdot OM \text{ sen } \beta] d\beta - \\ &- \int_{\frac{3}{2}\pi+B}^{\frac{\pi}{2}+B} [F + K \cdot OM \text{ sen } \beta] d\beta + \\ &+ \int_{\frac{3}{2}\pi+B}^{2\pi} [F + K \cdot OM \text{ sen } \beta] d\beta = \\ &= [F - OM \cdot K \text{ cos } \beta]_0^{\frac{\pi}{2}+B} - \\ &- [F - OM \cdot K \text{ cos } \beta]_{\frac{3}{2}\pi+B}^{\frac{\pi}{2}+B} + \\ &+ [F - OM \cdot K \text{ cos } \beta]_{\frac{3}{2}\pi+B}^{2\pi} = \\ &= 4OM \cdot K \text{ sen } B, \end{aligned}$$

el cual es proporcional a la componente lateral.

Estas magnitudes eléctricas se hacen actuar sobre los órganos de gobierno en el sentido de corregir los desvíos del proyectil o bomba, haciendo que ésta se dirija hacia el blanco.