

El Efecto Coriolis en el tiro

La fuerza de Coriolis, también denominada efecto de Coriolis, descrita en 1835 por el científico francés Gaspard Gustave Coriolis, es una fuerza ficticia o aparente que hace que un objeto que se mueve sobre un radio de un disco en movimiento en dirección al eje de giro, abandone dicho radio acelerándose con respecto al disco en la dirección del giro. El motivo es que al reducirse la distancia al eje, siendo constante la masa, debe aumentar la velocidad angular para cumplir con el principio de conservación del momento angular, de forma análoga a como aumenta la velocidad de giro de una patinadora cuando cierra los brazos.

Hilando finito

Nuevamente puede aparecer la pregunta: ¿Qué tiene esto que ver con nosotros? Bien, sigamos leyendo y entenderemos el porque.

Si recuerdan, los que han visto la película “Tirador” (*Shooter*), existe un dialogo entre el protagonista y los que se suponen de la protección del presidente, donde le plantean al Sniper (ya retirado) sobre la posibilidad de poder hacer un tiro desde 2 o 3 km (si mal no recuerdo), y acertar, a lo que el tirador responde que es un tiro muy difícil, dado que a esa distancia y al tiempo de vuelo del proyectil “hay que tener en cuenta hasta la rotación de la tierra” con lo que el protagonista realiza un par de ensayos con su **CheyTac LRRS** (cheyenne tactical long range rifle system) calibre .408 cheytac comprobando que sí se puede realizar ese tiro, por lo menos en la ficción.

Varios de mis amigos y clientes que vieron la película, intrigados, me consultaron el porque de esta respuesta, ya que resulta en realidad, un tanto extraña, es por eso que decidí realizar esta nota. Mas hoy con el auge en Argentina sobre el Long Range, y la incorporación de este efecto como una variable importante en muchos programas de balística, considero que es un tema que no se debe dejar pasar. Vamos a ver si sale sencillito.

La rotación de la Tierra ejerce un efecto sobre los objetos que se mueven sobre su superficie que se denomina, “efecto Coriolis” (los huracanes, vientos, remolinos, tornados, etc, responden a este efecto) y dentro de esos objetos se encuentran, por supuesto los proyectiles, los cuales no son ajenos a este efecto o fuerza ficticia. En el Hemisferio Norte este efecto curva su dirección de movimiento hacia la derecha. Cuando un objeto inicia un movimiento apuntando en una dirección en el Hemisferio Norte, sea cual sea esa dirección, la trayectoria real resulta curvada hacia la derecha respecto a la dirección inicial. Análogamente, en el hemisferio Sur la trayectoria real resulta en una desviación hacia la izquierda. Esto es debido a que la tierra gira de Oeste a Este.

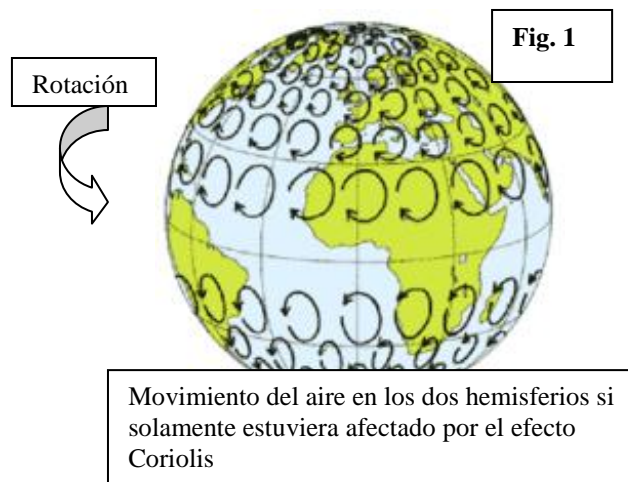
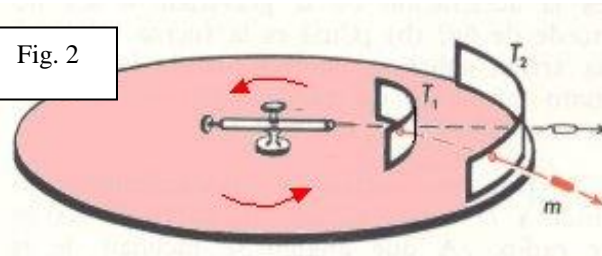


Fig. 2

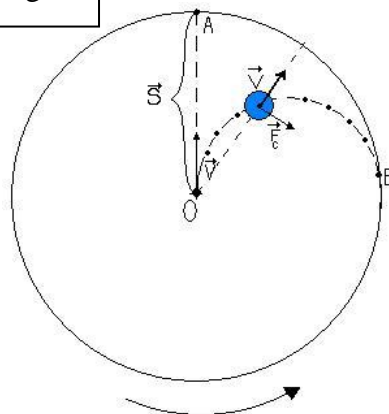


Modelo experimental para demostrar el efecto

Mentiras verdaderas

Dice el saber científico popular que la forma mas simple y casera de comprobar esto, es abriendo una canilla o llenando el lavatorio del baño con agua y sacar el tapón (si la succión no es abrupta) tanto en el agua que sale de la canilla (una canilla común y de ser posible sin el aireador) como en el “remolino” que efectúa el agua al irse por el desagote, podremos ver que la misma gira, aquí en el hemisferio sur hacia la izquierda. Esa pequeña prueba parece bastar para comprobar el efecto de esta fuerza. En realidad para poder observar este efecto, en esta forma, se requiere de un lavatorio de forma redonda de 1m de diámetro, realizar el orificio de descarga muy pequeño justo en su centro geométrico y dejar reposar el agua por lo menos una semana, para que las moléculas pierdan su movimiento natural, así y todo, cualquier vibración, en el aire como ser un colectivo que acelera a dos cuadas, hará que este efecto no se pueda apreciar. La razón de esto es que el efecto Coriolis necesita para manifestarse grandes distancias y tiempos también relativamente largos.

Fig. 3



Demostración grafica del efecto

En la fig. 3 podemos ver una demostración grafica de este efecto, la dirección de lanzamiento de la pelotita es OA por el sentido y la velocidad de rotación del disco su trayectoria real resulta en OB.

La explicación a la respuesta del *Shooter* es la siguiente: Cuando se dispara a largo alcance, en el momento de apuntar, hay que tener en cuenta este efecto. El punto de impacto se desviará con respecto a la dirección en que apuntamos, aun suponiendo ningún tipo de viento que desvíe la bala, (el tema viento en balística es bastante complejo) caerá unos cuantos metros a la derecha o izquierda (depende el hemisferio en que estemos) debido a la rotación de la Tierra. Esto era lo que notaron los franceses cuando disparaban sus cañones, se dieron cuenta que en un alcance de aproximadamente 4-5 km. los proyectiles caían a unos 150 metros del lugar adonde apuntaban.

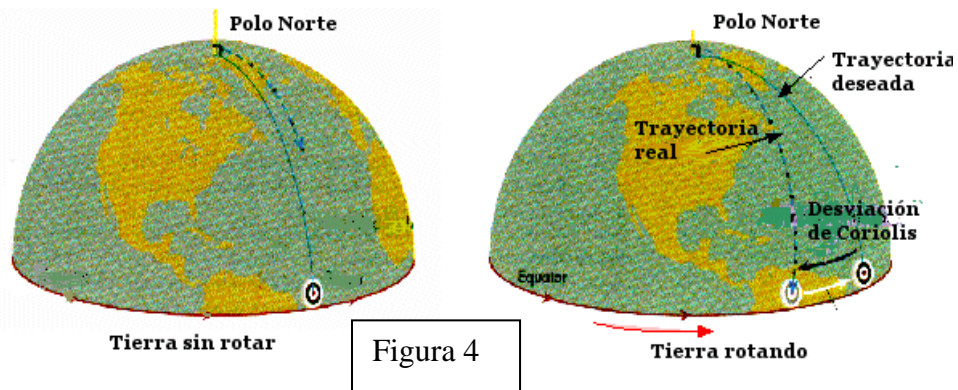


Figura 4

La figura 4 muestra (a la izquierda) como sería un tiro si la tierra no rotara, si todo está quieto, adonde apunto pego, (a la derecha) como es un tiro en la realidad, cuando se produce el disparo apuntamos a un blanco que está en una posición, dado que la bala tiene un tiempo de vuelo, cuando llega al blanco, éste no está más adonde estaba al iniciar la bala su vuelo, sino que la tierra ha girado desplazando al blanco de su posición inicial, por eso se dice que la fuerza es ficticia, en realidad tal fuerza no existe, es la tierra la que se mueve (aceleración de Coriolis).

En el Ecuador el valor de la componente de la aceleración de Coriolis, que desvía los movimientos en la superficie hacia la derecha o izquierda de su sentido de avance, es cero (para movimientos en el plano horizontal). Esto ocurre cualquiera que sea la dirección del movimiento.

Los datos del planeta Tierra son: Velocidad angular de rotación ω , una vuelta ($2 \cdot \pi$) cada 24 horas (86400 s). El radio de la Tierra es de $R=6370$ km. de acuerdo a estos datos, vamos a dar un ejemplo burdo y mentiroso: supongamos un blanco situado en algún punto sobre el Ecuador (donde el radio de la tierra es 6370 km.) y que desde otro punto perpendicular al anterior (es decir con dirección hacia los polos) se realiza un tiro cuyo proyectil tarda 24 hs. en llegar al blanco. Ahora; ese blanco y debido a la rotación de la tierra, volverá a estar en el mismo lugar dentro de 24 hs, es decir 86.400 segundos (24×3600 cuando la tierra complete una vuelta sobre su eje, o sea un día) planteadas estas condiciones, el proyectil tiene dos posibilidades de dar en el blanco: o bien la

tierra no se mueve (cosa que no es verdad) o bien tarda en llegar al blanco lo mismo que tarda la tierra en dar una vuelta.

Supongamos ahora que ese proyectil tarda 1 segundo en llegar al blanco, la velocidad lineal de la tierra en el Ecuador es de 1666 km/h o lo que es lo mismo 469,44 m/s (este dato sale de convertir la velocidad angular de la tierra que es $7,36 \times 10^{-5}$ rad/s a velocidad lineal) entonces ese punto elegido de la tierra se mueve en 1 seg. 462 metros por lo tanto si el proyectil se mueve en línea recta, y ninguna otra fuerza o aceleración modifica su trayectoria, esa es la distancia a la que pegará nuestro proyectil con respecto al blanco. El calculo en realidad no es así, (no estamos considerando que el proyectil también tiene una velocidad y una aceleración angular inducida por la rotación terrestre y otras yerbas mas) pero vale como ejemplo para que se entienda la idea. Pero entonces ¿Cómo es la verdad de la cosa?

La fórmula de la aceleración de Coriolis es

$$\mathbf{a}_c = -2\mathbf{w} \cdot \mathbf{v}$$

donde w es la velocidad angular de rotación del planeta, y v es la velocidad del cuerpo (en este caso el proyectil) medida por el observador no inercial. Pero hay que tener en cuenta el lugar del planeta (latitud) donde el tiro se realiza, dado que al alejarnos del eje de rotación terrestre, la w (velocidad angular) aumenta. Entonces, el vector velocidad angular w forma un ángulo igual a la latitud λ con la dirección Norte-Sur en el plano local, Consecuentemente la aceleración de Coriolis en el hemisferio Norte está dirigida hacia el Este y su módulo es

$$a_c = 2w v \cdot \sin(90+\lambda) = 2w v \cdot \cos \lambda$$

Por lo tanto, la formula final a aplicar es:

$$\mathbf{a}_c = 2w v \cdot \cos \lambda$$

Donde: a_c es la aceleración de Coriolis, w = velocidad angular de la tierra , V = a la velocidad lineal del proyectil y λ = a la latitud del lugar, (\cos = *coseno*)

Recordemos entonces: Cuando un objeto inicia un movimiento apuntando en una dirección en el Hemisferio Norte, sea cual sea esa dirección, la trayectoria real resulta curvada hacia la derecha respecto a la dirección inicial. Esto es debido a que la Tierra gira de Oeste a Este.

Cuando se dispara a largo alcance, en el momento de apuntar, hay que tener en cuenta este efecto La aceleración de Coriolis de un cuerpo que cae es máxima en el ecuador donde $\lambda = 0^\circ$ (coseno de $0=1$) y es nula en los polos donde $\lambda = 90^\circ$ (coseno de $90^\circ=0$) En el polo coinciden las direcciones de los vectores velocidad angular de rotación w , y la velocidad v del cuerpo que cae, el producto vectorial de ambos vectores es por tanto, cero.

Ejemplo:

Si estamos situados en el plano del ecuador $\lambda = 0$, y el cuerpo se deja caer (sin velocidad inicial) desde una altura de 100 m, tenemos una desviación $y = 2.2$ cm, que no se puede apreciar a simple vista. La desviación hacia el sur, de un cuerpo que cae desde

una altura de 100 m en un punto de latitud $\lambda = 45^\circ$ es $x = 17.2$ cm. muy pequeña para ser apreciada a simple vista. pero una distancia muy grande en tiro de precisión.

Entonces concluimos en que la rotación de la Tierra ejerce un efecto sobre los objetos que se mueven sobre su superficie que se llama "Efecto Coriolis". En el Hemisferio Norte este efecto curva su dirección de movimiento hacia la derecha, y hacia la izquierda en el hemisferio SUR. Este efecto se hace mas notable en el tiro a grandes distancias. La formula para calcular esta aceleración es: $a = 2w \cdot \cos \lambda$. Cuanto mas cerca del Ecuador estemos, mayor será la desviación del proyectil. Esto es algo que, al igual que cuando explicamos el tiro en ángulo, el cazador y tirador avezado corrige en sus tiros largos, aunque no sepa porque, lo corrige como "aguante de viento" a pesar que a veces tal viento no existe.

Que tengan uds. buenas observaciones y mejores tiros