

Fuerzas físicas, tecnología y azar en juego

El fútbol, desde sus orígenes, es un deporte cuyo resultado depende exclusivamente del número de aciertos en el intento de introducir un balón dentro de un arco. El gol es la estrella y el grito *de gol* desde las tribunas es el objetivo de todos los sentimientos que nuclea este juego.

¿Sabrán todos los espectadores y los actores en el escenario de una cancha que este éxito depende esencialmente de las leyes de la física? ¿Sabrán que el conjunto jugador-pelota-escenario implica una habilidad donde el jugador controla por un instante (el del gol) gran parte del universo físico que lo rodea? ¿Sabrán que en ese instante el jugador logra la concurrencia apropiada y simultánea de fuerzas tales como el peso de Isaac Newton, la resistencia de George Stokes, el empuje de Arquímedes, la sustentación de Daniel Bernoulli y el arrastre termodinámico de Robert Boyle, que logran la maravilla? En este artículo nos proponemos desentrañar estos hechos significativos.

El Tiro Libre

Una de las mayores chances de gol es cuando se ejecuta un tiro libre; por lo menos es lo que ciencia nos dice. ¡La tribuna también lo sabe! ¿Por qué y de qué depende que en un tiro “de pelota quieta” haya más chance de convertir un gol? ¿qué explicación pueden aportar la ciencias físicas? ¿qué incidencia tiene la tecnología aplicada a la confección de las nuevas pelotas?

Para intentar explicarlo pongamos a la física en juego. Lo primero a tener en cuenta es que la pelota por sí sola no entra al arco; es el jugador quien debe ponerla en movimiento. La física nos dice que cuando dos objetos interactúan entre sí generan una relación de causa-efecto, así que la habilidad del jugador en su interacción con la pelota es clave.

En segundo lugar, la física también nos dice que sobre un objeto quieto (la pelota) el dominio, el control de la acción que se ejerce sobre él, es mucho mayor. El azar no juega un papel tan preponderante. En el tiro “de pelota quieta” el jugador puede decidir cómo apoyar la pelota (que no quede hundida en el pasto, por ejemplo); puede elegir el lugar para darle el puntapié (el cuadrante y la altura del

contacto con el zapato); puede regular la fuerza que la impulse, y puede decidir cómo colocar su pie para dar el golpee (con cara externa o cara interna del pie, de punta, de empeine o de taquito). Por eso aumenta muchísimo la probabilidad de acertar un gol.

Muy distinto es lo que puede decidir el jugador cuando la pelota no está quieta, cuando viene en vuelo, por ejemplo. En ese caso, ella misma ya trae una velocidad, viene con *spin* (con efecto), está en caída o en subida. Con todas esas variables en juego, controlar su movimiento se convierte en una tarea muy compleja y el azar tiene un alto porcentaje de incidencia. Así vemos que buenos jugadores producen tiros que uno no se explica cómo pueden haber sido. En esos casos, el azar juega un papel importante.

Otro aspecto importante a tener en cuenta es la tecnología. Las nuevas tecnologías aplicadas al diseño de las pelotas han comenzado a jugar un rol cada vez más importante. De hecho en el Campeonato del Mundo de Sudáfrica de 2010, la *Jabulani* fue el elemento sorprendente y sorprendente, muy lejos de comportarse como las vejigas infladas o las pelotas de trapo que se usaron en los comienzos del fútbol.

Sigamos con las ciencias. Para poner el balón en movimiento el pie del jugador deberá hacer contacto aplicando una fuerza impulsora, que posteriormente no acompañará al balón en su trayectoria. En ese contacto, casi instantáneo, la fuerza impulsora será la responsable de transferir energía al balón, esencialmente energía cinética que depende de la velocidad. Como plantean Courty y Kierlik en su libro *El Fundibulo del Futbolista*, la pierna del jugador desarrolla un movimiento de “péndulo doble” similar al de las catapultas-fundíbulos usadas en la Edad Media como armas de lanzamiento. En la patada el muslo del jugador, llevado por el fémur, rota respecto de la cadera; mientras que los músculos de la pantorrilla, llevados

por la tibia, rotan respecto de la rodilla. El momento preciso del impacto del pie con el balón debe ser cuando fémur y tibia estén alineados y la pierna completamente estirada. En este momento la velocidad de la rotación de la pierna en la punta del pie será de aproximadamente 5,5 revoluciones por segundo, lo que equivale a una velocidad lineal de unos 60 km/h. Debido a la gran diferencia de masas de los objetos que interactúan (pierna y balón), el balón saldrá despedido a mayor velocidad: unos 100 km/h. Los jugadores más habilidosos logran velocidades del balón de 120 a 130 km/h.

Esta destreza biomecánica requiere de mucho entrenamiento. Es un entrenamiento que consiste en tensar los músculos motores del muslo y la pantorrilla, aprovechar las articulaciones de la pierna para generar una doble rotación y concentrar toda la velocidad en el punto de contacto pie-balón. Para un jugador habilidoso, este proceso consistirá en imaginar que es su propio pie lo que está lanzando.

La velocidad transferida y el ángulo de disparo serán las dos variables que el jugador deberá controlar para superar una barrera defensiva (altura) y desafiar al golero (alcance).

Una vez que el balón se encuentra en movimiento luego de un tiro libre de cancha, un penal o un corner, actuarán fuerzas físicas sobre él que las podemos identificar como: el peso (porque en la Tierra todo objeto por tener masa, pesa); el empuje que es una fuerza que descubrió Arquímedes (“Eureka!!!”) y es la responsable de que los cuerpos inmersos total o parcialmente en un fluido floten; la resistencia o fuerza de arrastre que ejerce el aire sobre un objeto en movimiento y la sustentación, que es la fuerza que hace el aire sobre las aves y los aviones (lo que les permite volar o planear).

Tanto la fuerza de arrastre como la sustentación dependen de la velocidad relativa del balón respecto de la del aire que lo rodea; el arrastre tiende a frenarlo porque actúa en sentido contrario al del desplazamiento, y la sustentación tiende a elevarlo porque actúa en dirección perpendicular a su desplazamiento. De la composición de estas cuatro fuerzas resultará el recorrido que hará el balón.

Pero sin la habilidad del jugador estas fuerzas son inútiles. Cuando decimos que un jugador es habilidoso nos referimos a su capacidad de “intuir” cómo se comportarán estas fuerzas en ese momento, basado en su experiencia y constante entrenamiento. Esta habilidad no la adquirió por resolver ejercicios de física todas las noches en su casa, luego de los entrenamientos. La mayor parte de los deportes que implican una actividad física están directamente vinculados con fenómenos estudiados por la física. Esto no implica que quien los practica deba hacer un curso y plantearse fórmulas. Por el contrario, un gran número de acciones son realizadas de manera totalmente intuitiva, pero no por ello menos eficaz.

Volvamos a las fuerzas. El peso, que depende de la masa y de la aceleración de la gravedad (que varía según el lugar

en que se encuentre). La masa de una pelota oficial FIFA debe estar entre 420 y 445 g.

El arrastre, que es proporcional a la velocidad de la pelota: a mayor velocidad, mayor resistencia ofrece el aire.

El empuje, que está determinado por el volumen y la densidad del aire. A un balón FIFA que tiene un perímetro de 69,0 cm le corresponde un empuje casi despreciable de 1,40 newtons.

Cuando la pelota de fútbol gira en torno de su centro existe una fuerza perpendicular a la velocidad que es la fuerza clave que imprime “efecto” a la pelota. Entonces cuando se encuentra en vuelo, además de la trayectoria naturalmente curva de subida y caída que describirá (como el tiro de un cañón), también hará una curva lateral, de derecha a izquierda. La consecuencia será un doble efecto: arriba-abajo y derecha-izquierda. Este “efecto” se conoce con el nombre de efecto Magnus en homenaje al físico alemán Heinrich Magnus que lo describió en 1852, antes de que se inventara la pelota de fútbol moderna. (Aunque haciendo justicia con la verdad, el propio Isaac Newton ya lo había notado en el siglo XVII observando jugar al tenis en Inglaterra). Según Magnus, todo objeto esférico que se desplaza a través de un fluido –como un balón a través del aire– y que gira sobre su propio eje, genera una pequeña turbulencia a su alrededor que lo empuja en la dirección perpendicular a su trayectoria, de modo que lo desvía.

Así que, según dónde sea el contacto y el puntapié, será el recorrido que haga la pelota, superando la altura de la barrera o pasando por su costado, para que resulte de la manera más sorpresiva para el golero. Si además el puntapié del jugador genera desde el mismo inicio un movimiento de *spin*, mejor aún.

¿Cómo lograrlo?

Para entenderlo debes imaginar la pelota de frente como un círculo plano que se puede dividir en cuatro cuadrantes. Para que la pelota se eleve siempre habrá que patearla de la línea de su ecuador hacia abajo. Cuanto más abajo se golpea, más se elevará; pero también más giro antihorario respecto a su eje horizontal adquirirá, con lo cual caerá más rápido. Si además el jugador tiene el arte de golpearla con su pie derecho en el cuadrante inferior derecho de la pelota, ella adquirirá *spin* o efecto (girá sobre sí misma respecto de su eje vertical, igual que gira la Tierra respecto del eje nort-sur) y describirá una segunda curva que se combinará con la curva de subida y bajada y producirá una trayectoria hacia la izquierda, en subida y bajada (“comba” hacia la izquierda). Si el golpe de pie derecho es sobre el cuadrante izquierdo inferior, la trayectoria será con “comba” hacia la derecha.

La velocidad de giro respecto de su eje vertical (*spin* o efecto) dependerá de la posición del pie en el momento de

contacto: si fue “de punta”, o con la cara interna o externa del pie. En cuanto a la distancia de caída (alcance), ésta quedará determinada por la fuerza impulsora del golpe.

Otro protagonista: el balón

A medida que han progresado los materiales y la tecnología de fabricación, FIFA ha ajustado más y más los diseños de balón. El perímetro de la pelota oficial es de 69,0 cm y su masa es de 437 g. Para la pelota mojada, el aumento de masa por absorción de agua permitido por FIFA es de 10 %. Además durante las pruebas, un robot estándar debe patear la pelota no menos de 3500 veces para luego medir la deformación y el cambio de presión del aire interior.

La *Jabulani*, para la Copa Mundial de Sudáfrica, fue diseñada con materiales y texturas tales que resultó una máquina de volar con la destreza de las aves más especializadas. La maravilla de una pelota con vida, aunque jugadores y goleros protestaron por ello diciendo que se parecía a una pelota de playa.

Esta pelota se deformaba muchísimo en los cabezazos y en las patadas, se hundía (esto no ocurría con las anteriores que eran más rígidas) pero al tener dos capas internas elásticas (una, la goma de la cámara y otra, un material elastómero, es decir un tipo de fibra elástica intermedia de casi 5 mm), hicieron que estos materiales por su naturaleza física capturaran mucha energía en la deformación, que no la devolvían instantáneamente.

Esto es fácil de comprender para nuestros lectores si piensan en cuando se estira un resorte (que es un elástico) con un objeto colgando de él. El resorte se deforma y oscila hasta que, después de un cierto tiempo, se detiene; cuando ya ha entregado la máxima energía que le es posible.

El nuevo diseño y los nuevos materiales usados en la construcción de Jabulani actuaban de esta manera y lo mismo que pasa en el resorte ocurría en la pelota. Cuando el jugador golpeaba el balón, un 60 % de la energía quedaba almacenada en la vibración del material elástico que no la perdía enseguida (igual que el resorte del ejemplo). El balón volaba temblando y vibrando. Su naturaleza muy aerodinámica debido a su superficie lisa hacía que el roce con el aire fuera mínimo y por lo tanto perdía muy poco de la energía que traía. Esta característica de gran sustentabilidad daba la sensación de ser una pelota más liviana. Pero cuando picaba en el piso, al quedar momentáneamente estática, toda la energía de vibración interna se convertía en energía cinética y la pelota salía con mayor velocidad, sorprendiendo a goleros y defensas, vulnerándolos con mucha más facilidad, o exigiendo a los atacantes desplazarse a mayor velocidad para llegar a un pase profundo. A esto se le llamó “pelota viva” porque llevaba vida dentro de ella, llevaba energía que se manifestaba cuando el balón picaba en el suelo. En Sudáfrica la tecnología aportó un juego diferente, vivo, rápido, exigente.

Brazuca, para la Copa Mundial de Brasil, fue diseñada por Adidas y se logró una conformación casi perfectamente esférica, lisa y elástica, capaz de acumular la energía de la patada del jugador. La principal novedad fue la técnica de seis paneles con forma de hélice que constituyen la capa superficial del balón. Esta nueva tecnología otorga mayor consistencia, estabilidad y agarre, y soluciona la mayor parte de los problemas de la *Jabulani*. En comparación con la elaborada para el Mundial de 2010, *Brazuca* presenta dos paneles menos, lo que otorga también mejor aerodinámica, permitiendo que se traslade más en línea recta, sin vacilaciones y sin ser más rápida en su trayectoria. A su vez, la presencia de una superficie sintética muy unida entre sus partes permite evitar la humedad y posibilita que no exista peso añadido en el cuerpo del balón cuando el terreno está mojado.

Pero a esta altura del análisis de un balón en vuelo, la física vuelve a introducir un nuevo elemento: la termodinámica del aire. Debemos combinar ahora el vuelo con la termodinámica. Las corrientes isotérmicas presentes dentro de un estadio de juego (generadas por el vapor que se desprende verticalmente desde el suelo del campo por el calor desprendido por las personas presentes en las tribunas de un estadio lleno y, de noche, por el calor transportados por los focos de luz de la iluminación artificial) comienzan a incidir por encima de los 3 metros de altura del piso. El calor ambiental colabora también a conseguir un mejor efecto Magnus, porque modifica la densidad del aire: el aire más caliente sube porque es menos denso, y el aire más frío baja porque es más denso. Cuanto más gire la pelota y cuanto mayor sea la densidad del aire, mayor será el “efecto”. Esta es la razón por la que resulta más fácil patear con “efecto” una pelota en invierno que en verano, porque, como dijimos, el aire frío tiene mayor densidad que el aire caliente. Sucede lo mismo cuando se juega un partido en la altura (por ejemplo en La Paz) donde el aire es menos denso y por lo tanto es más difícil darle “efecto”.

Cuando la pelota alcanza los 3 metros de altura los efectos termodinámicos se asocian a las demás fuerzas que actúan sobre la pelota y ella modifica su trayectoria, haciendo figuras, trazando un recorrido inesperado, sorprendente y finalmente traspasa la línea del gol, dejando sin chance la acción del golero.

Si a toda esta física le agregas mucha movilidad de los jugadores, inteligencia colectiva y factor sorpresa seguramente tu equipo haya gritado “¡¡¡Goool, qué no ni nooooo!!!”

CARLOS VERA (URUGUAY)

Fotos página 47: Diego Forlán, goleador de la selección de Uruguay, es un claro ejemplo de la destreza biomecánica y dominio en los tiros de pelota quieta que se logran con horas de entrenamiento. Foto obtenida durante el partido Uruguay-Eslovenia en el Estadio Centenario, previo al inicio del Mundial 2014 @ Nicolás Pagliaro (Uruguay), Fondo Da Vinci @ Silvana Demicheli.

Fondo páginas 48-49: Fondo Da Vinci @ Silvana Demicheli