

5/04/2026

COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UN BALÓN DE FÚTBOL AMERICANO EN ROTACIÓN

PARTICIPANTES:

ABRIL ITZAYANA LIRA FAJARDO
CHRISTOPHER MIRANDA HUAZO
HANNIA VERA GONZÁLEZ
CLAUDIA MELANIE GÓMEZ RICAÑO

MATRÍCULAS:

2530751
2534955
2534993
2534022

CARRERA: INGENIERÍA INDUSTRIAL

CATEDRÁTICO: CARLOS RUA GÓMEZ

INSTITUCIÓN: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE
TULANCINGO



INDICE

INTRODUCCIÓN.....	3,4
OBJETIVOS.....	5
HIPÓTESIS.....	6,7
MARCO TEÓRICO.....	8,9,10
RESULTADOS.....	11,12,13
CONCLUSIONES.....	14,15
REFERENCIAS.....	16

INTRODUCCION

El estudio del movimiento de los cuerpos en rotación constituye uno de los pilares fundamentales dentro de la mecánica clásica y la física en general. Este campo del conocimiento permite comprender fenómenos que van desde el comportamiento de objetos cotidianos hasta el análisis de sistemas complejos como la órbita de satélites, la rotación de planetas y la dinámica de vehículos espaciales. Comprender cómo interactúan la masa, la forma y la velocidad de giro es esencial para predecir la trayectoria y estabilidad de cualquier cuerpo rígido en movimiento. En este contexto, el análisis del vuelo de un balón de fútbol americano resulta particularmente interesante y educativo, no solo por su relevancia deportiva, sino debido a su geometría elipsoidal y a las complejas características dinámicas que presenta durante su trayectoria en el aire.

A diferencia de una esfera perfecta, donde la masa se distribuye uniformemente alrededor de cualquier eje central, el balón de fútbol americano posee una forma asimétrica y una distribución de masa desigual respecto a sus tres ejes principales de inercia. Esta particularidad geométrica provoca que su comportamiento rotacional sea intrínsecamente diferente y, en ciertas condiciones, altamente sensible a las condiciones iniciales del lanzamiento. Cuando este objeto es impulsado, puede observarse que, en ocasiones, su eje de rotación no se mantiene fijo, sino que experimenta cambios bruscos o periódicos en su orientación durante el vuelo. Este fenómeno, que a simple vista puede parecer errático o inestable, o que incluso parece "corregirse" automáticamente a medida que avanza, no es producto del azar, sino que está rigurosamente gobernado por principios físicos bien definidos.

Los conceptos fundamentales que explican este comportamiento están íntimamente relacionados con el momento angular, el momento de inercia y las leyes que rigen la estabilidad de los cuerpos rígidos. Uno de los teoremas más importantes para este análisis es el conocido como teorema del eje intermedio (o teorema de la rotación inestable). Este principio establece que, para un cuerpo rígido libre con tres momentos de inercia distintos, la rotación es estable únicamente alrededor de los ejes que poseen el momento de inercia máximo y mínimo; por el contrario, la rotación alrededor del eje intermedio es inherentemente inestable. Esto significa que cualquier pequeña perturbación o desviación inicial en el lanzamiento provocará que el balón cambie su orientación de forma dramática y oscilatoria.

Además de la dinámica interna del objeto, es indispensable considerar la interacción con el medio ambiente. Factores externos como la resistencia del aire y la fricción aerodinámica juegan un papel crucial en su comportamiento final. Estas fuerzas no solo frenan el avance del balón, sino que también contribuyen a disipar energía y a provocar que el eje de rotación se alinee progresivamente con la dirección de la trayectoria, generando lo que se conoce como estabilidad giroscópica. La combinación de la inercia rotacional, la geometría del objeto y las fuerzas aerodinámicas crea un sistema físico fascinante donde la estabilidad y el caos dinámico coexisten.

El presente reporte tiene como finalidad analizar, desde un enfoque teórico y práctico, las causas físicas que provocan el cambio de eje y la variación en la orientación de un balón de fútbol americano durante su vuelo. Se explicarán detalladamente los principios de la mecánica de rotación involucrados, se describirá por qué ocurren estas inestabilidades y se relacionarán estos conceptos abstractos con las observaciones experimentales y el comportamiento visible en el lanzamiento real.



OBJETIVOS

Analizar el comportamiento del balón de fútbol americano durante su rotación, identificando las causas físicas que provocan el cambio de eje y su relación con los principios de la dinámica rotacional.

El vuelo de un balón de fútbol americano es una demostración fascinante de principios físicos complejos. A simple vista, su rotación puede parecer inestable o errática, especialmente cuando no se lanza con la máxima precisión. Sin embargo, este comportamiento no es aleatorio; es el resultado directo de las leyes de la dinámica rotacional. El momento angular ($L = I\omega$) es fundamental para la estabilidad del balón, donde su conservación, en ausencia de torques externos, ayuda a mantener la trayectoria y orientación. Un giro adecuado estabiliza el balón, aunque la forma del balón introduce complejidades. El momento de inercia (I) es la resistencia a cambiar el estado de rotación. El balón, al ser un esferoide prolato con costuras, tiene un momento de inercia no uniforme en sus ejes principales, lo cual es crucial para su dinámica rotacional. El teorema del eje intermedio explica la inestabilidad en la rotación de cuerpos asimétricos. La rotación alrededor del eje con el momento de inercia intermedio es inherentemente inestable, causando un "bamboleo" o cambio de eje. Si el balón es lanzado de tal manera que su rotación inicial se acerca a este eje intermedio, o si las fuerzas externas lo perturban hacia él, el balón exhibirá el característico movimiento de "bamboleo" o cambio de eje. La resistencia del aire, no uniforme debido a las costuras y la forma asimétrica, genera torques adicionales que interactúan con el momento angular, exacerbando la inestabilidad y el bamboleo. La combinación de estos principios explica el comportamiento del balón. Un lanzamiento ideal maximiza la estabilidad, pero las desviaciones excitan el eje intermedio, y la resistencia del aire amplifica el bamboleo. El movimiento del balón es una manifestación dinámica de la interacción entre su momento de inercia, su momento angular y las fuerzas aerodinámicas externas.



HIPOTESIS

Hipótesis Nula (H_0)

Se establece como postulado inicial que el balón de fútbol americano, desde el instante preciso en que es lanzado y adquiere su estado de movimiento cinético, mantiene de manera invariable, absoluta y rigurosamente constante la orientación espacial de su eje de rotación a lo largo de todo el recorrido que describe su trayectoria de vuelo. Bajo esta consideración teórica, se asume que dicha condición de estabilidad se mantiene inalterada y permanece inmóvil independientemente de cuál sea el eje específico en el espacio tridimensional alrededor del cual se le haya impartido el impulso giratorio inicial, ya sea que este corresponda a su eje longitudinal principal, a su eje transversal perpendicular o a cualquier otro eje intermedio o diagonal. Se parte de la base de que no existen dentro del sistema fuerzas internas, efectos dinámicos inherentes a su configuración geométrica ni variaciones en la distribución de su masa que sean capaces de inducir desviaciones, correcciones espontáneas o alteraciones significativas en su plano de giro, manteniéndose así su postura, alineación y dirección angular idénticas a las del momento del lanzamiento, sin experimentar ningún tipo de reajuste o cambio perceptible hasta el instante final de su trayectoria.

Hipótesis Alternativa (H_1)

Se plantea que el balón de fútbol americano experimenta modificaciones dinámicas sustanciales, transiciones complejas y alteraciones evidentes en la orientación de su eje de rotación durante el transcurso de su desplazamiento, fenómeno que se manifiesta de manera particularmente notable y acentuada cuando el objeto es impulsado de tal forma que inicia su movimiento girando sobre un eje distinto a su eje longitudinal natural. Esta variación en la orientación no ocurre de manera arbitraria o fortuita, sino que responde a leyes físicas precisas y se produce como consecuencia directa de la inestabilidad mecánica inherente al sistema, la cual es generada fundamentalmente por la forma alargada y asimétrica del cuerpo y por una distribución heterogénea de su masa que crea desequilibrios en sus propiedades inerciales. Debido a la compleja interacción que surge entre la resistencia al cambio de movimiento y el principio físico de conservación del momento angular, el sistema tiende naturalmente a buscar una configuración de equilibrio dinámico que resulte ser energéticamente más favorable y estable; por consiguiente, la rotación inicial evoluciona de forma progresiva,

reorientándose continuamente y abandonando paulatinamente el eje inestable para converger finalmente y estabilizarse de manera definitiva sobre aquel eje que presenta las condiciones físicas óptimas de resistencia y equilibrio.

Hipótesis Fundamental (Explicativa)

El fenómeno físico que provoca el cambio, la reconfiguración y el reacomodo espontáneo del eje de rotación en un balón de fútbol americano encuentra su explicación más profunda y su fundamento teórico en la naturaleza geométrica del sólido, el cual posee una estructura elipsoidal que determina que sus propiedades de resistencia al cambio de movimiento, cuantificadas físicamente a través del momento de inercia, sean numéricamente distintas, desiguales y no equivalentes para cada uno de sus tres ejes principales de simetría. Esta disparidad en los valores de inercia es la condición indispensable para que se manifieste el principio conocido como el teorema del eje intermedio, el cual establece dentro de la mecánica de cuerpos rígidos que, mientras que la rotación alrededor del eje que posee el momento de inercia máximo y la rotación alrededor del eje que posee el momento de inercia mínimo son intrínsecamente estables y tienden a mantenerse por sí mismas, la rotación ejecutada sobre el eje con valor intermedio resulta ser dinámicamente inestable ante cualquier mínima perturbación o variación. En consecuencia, cuando el balón es puesto en movimiento girando sobre este eje de inestabilidad, el sistema no es capaz de sostener dicha configuración y entra inevitablemente en un proceso de evolución dinámica caracterizado por oscilaciones y cambios que terminan por reorientar todo el cuerpo hasta que la rotación converge y se fija de manera estable sobre uno de los ejes seguros, proceso durante el cual se respeta y conserva rigurosamente la magnitud y dirección del momento angular total del sistema.

Estas hipótesis permiten comprobar experimentalmente si el comportamiento del balón corresponde a las leyes de la dinámica rotacional.

MARCO TEORICO

El vuelo de un balón de fútbol americano es, sin duda, una de las imágenes más icónicas y dinámicas del deporte. Cuando un quarterback lanza el balón con precisión, este gira sobre su eje longitudinal en un movimiento fluido y casi hipnótico, conocido como un "espiral perfecto". Sin embargo, no todos los lanzamientos alcanzan esta perfección; a veces, el balón parece tambalearse o cambiar de eje de manera impredecible en el aire. Esta aparente inconsistencia, lejos de ser un misterio o un fallo aleatorio, es en realidad una fascinante demostración de principios físicos complejos que rigen la dinámica rotacional de objetos asimétricos. Mi objetivo es desentrañar estas causas físicas, conectando la teoría con la observación para comprender por qué un balón de fútbol se comporta como lo hace en el aire.

Para empezar a entender este fenómeno, debemos sumergirnos en el concepto de momento angular. Piensa en un trompo girando; su capacidad para mantenerse erguido y girar de manera estable se debe en gran medida a su momento angular. De manera similar, el momento angular (representado por la letra L) es una medida fundamental de la cantidad de rotación de un objeto. Se calcula multiplicando el momento de inercia del objeto (I) por su velocidad angular (ω), es decir, $L = I\omega$. Una de las propiedades más importantes del momento angular es su tendencia a conservarse. Esto significa que, en ausencia de fuerzas externas que intenten torcerlo (lo que llamamos torques), un objeto en rotación tenderá a mantener su eje de rotación y su velocidad angular. Cuando un quarterback lanza un balón, aplica un giro con la muñeca y los dedos, impartiendo así un momento angular inicial. Si este giro es rápido y se aplica principalmente alrededor del eje longitudinal del balón (el eje más largo), el momento angular resultante es considerable. Este gran momento angular actúa como un giroscopio, ayudando a estabilizar el balón y a mantener su trayectoria recta a través del aire, resistiendo las perturbaciones externas. Es esta conservación del momento angular la que nos permite ver esos hermosos espirales perfectos.

Sin embargo, la forma del balón de fútbol americano no es la de una esfera perfecta, lo que añade una capa de complejidad. Aquí es donde entra en juego el momento de inercia (I). Si el momento lineal depende de la masa, el momento de inercia depende de cómo esa masa está distribuida en relación con el eje de rotación. Imagina intentar girar un disco delgado y un cilindro hueco de la misma masa y diámetro; el cilindro será más difícil de girar porque su masa está más alejada del eje central

Un objeto con forma irregular, como un balón de fútbol, tiene diferentes momentos de inercia dependiendo del eje alrededor del cual intentes hacerlo girar. Los físicos describen esto hablando de los "ejes principales de inercia", que son tres ejes perpendiculares entre sí que atraviesan el centro de masa del objeto. Para un balón de fútbol, estos ejes estarían aproximadamente a lo largo de su longitud, a través de su ancho en el punto más grueso, y a través de su ancho en el punto más delgado (perpendicular a los otros dos). Debido a su forma alargada (un esferoide prolato), los momentos de inercia asociados a estos tres ejes no son iguales.

La verdadera magia, y a veces la inestabilidad, surge de la interacción entre estos diferentes momentos de inercia, un fenómeno descrito por el teorema del eje intermedio. Este teorema, a menudo ilustrado con el ejemplo de una raqueta de tenis o un libro, establece que la rotación alrededor del eje que tiene el momento de inercia intermedio (ni el mayor ni el menor) es intrínsecamente inestable. Si intentas hacer girar un objeto perfectamente alrededor de este eje intermedio, cualquier pequeña perturbación, por mínima que sea, hará que el objeto comience a tambalearse o a "tumbarse". Piensa en lanzar un libro plano por el aire: si lo lanzas girando perfectamente alrededor de su eje más delgado, es estable. Pero si lo lanzas girando alrededor de su eje intermedio (el que va de lado a lado a través de la portada), incluso un ligero empujón hará que empiece a voltearse y a girar de forma caótica. En el caso del balón de fútbol, el eje más largo (el que se alinea con el espiral) suele tener el momento de inercia más pequeño, y el eje más corto (a través del ancho) el mayor. El tercer eje, perpendicular a los otros dos, es el que posee el momento de inercia intermedio. Si el balón es lanzado de tal manera que su rotación inicial se acerca a este eje intermedio, o si las fuerzas externas lo perturban hacia él, el balón comenzará a exhibir el característico movimiento de "bamboleo" o cambio de eje.

Además de estas dinámicas internas, las fuerzas aerodinámicas juegan un papel crucial en el comportamiento del balón. La resistencia del aire, o arrastre, es la fuerza que se opone al movimiento del balón a través de la atmósfera. Sin embargo, en un balón de fútbol, esta resistencia no es uniforme. Las costuras prominentes y la forma asimétrica del balón hacen que la presión del aire no se distribuya de manera equitativa sobre su superficie. Cuando el balón comienza a tambalearse (debido a la inestabilidad del eje intermedio), su orientación respecto al flujo de aire cambia constantemente.

Esto puede generar fuerzas de arrastre desiguales que, a su vez, crean torques (fuerzas de torsión) que actúan sobre el balón. Estos torques externos interactúan con el momento angular del balón

En lugar de simplemente oponerse al movimiento, pueden amplificar la inestabilidad existente, haciendo que el bamboleo sea más pronunciado y errático. Las costuras, diseñadas para mejorar el agarre, también pueden actuar como pequeñas "velas" que, en ciertas orientaciones, generan torques que exacerban el movimiento de bamboleo.

La conexión entre estos conceptos teóricos y la observación real del vuelo del balón es lo que nos permite comprender completamente el fenómeno. Un lanzamiento ideal, realizado por un quarterback experto, se enfoca en impartir la máxima velocidad angular alrededor del eje longitudinal. Esto maximiza el momento angular estabilizador y minimiza cualquier tendencia a excitar el eje intermedio. El resultado es el espiral perfecto, donde el balón vuela recto y predeciblemente. Sin embargo, en la práctica, lograr este lanzamiento perfecto es difícil. Cualquier pequeña imprecisión en el agarre, en el movimiento de la muñeca o en el ángulo de liberación puede resultar en un momento angular inicial menor o, peor aún, en una rotación que no está perfectamente alineada con el eje longitudinal. Si el balón es lanzado con una ligera inclinación o si su rotación inicial se acerca al eje intermedio, la inestabilidad inherente entra en juego. Una vez que el bamboleo comienza, las fuerzas aerodinámicas, actuando de manera desigual sobre las costuras y la forma del balón, pueden amplificar este movimiento haciendo que el balón parezca "flutter" o "wobble" de manera impredecible en su trayectoria.

En conclusión, el movimiento del balón de fútbol americano en el aire no es un acto de magia ni un capricho del destino, sino una intrincada coreografía dictada por las leyes de la física. La interacción entre el momento angular conservado, que busca estabilizar el movimiento; el momento de inercia, que varía según el eje de rotación debido a la forma asimétrica del balón; el teorema del eje intermedio, que predice la inestabilidad inherente al girar alrededor de un eje particular.



RESULTADOS

Tras la realización de los lanzamientos experimentales y el análisis detallado del comportamiento del balón en vuelo, se obtuvieron resultados concluyentes que permiten caracterizar la dinámica rotacional de este cuerpo rígido. Durante la observación, se identificaron patrones de movimiento claramente diferenciados, los cuales dependen directamente de las condiciones iniciales del lanzamiento y del eje alrededor del cual se impone la rotación. A continuación, se describen detalladamente los fenómenos observados y sus características principales.

Lanzamiento con eje correcto

Cuando el balón fue lanzado de manera que rotara exclusivamente sobre su eje longitudinal (el eje mayor que atraviesa las puntas del balón), se evidenció un comportamiento de gran estabilidad durante todo el recorrido.

En esta condición, el objeto mantuvo su orientación espacial de forma constante, sin presentar desviaciones, bamboleos o cambios visibles en su inclinación. El giro se mantuvo uniforme y firme, similar al comportamiento de un trompo o un giroscopio. Como consecuencia directa de esta estabilidad rotacional, la trayectoria seguida por el balón resultó ser mucho más recta, predecible y con menor dispersión aerodinámica. El movimiento se observó fluido y eficiente, demostrando que al rotar sobre este eje, el sistema alcanza un estado de equilibrio dinámico óptimo.

Lanzamiento con eje incorrecto

Por el contrario, cuando el balón fue lanzado con una orientación inicial diferente o forzando la rotación sobre lo que se identifica como un eje inestable (generalmente el eje intermedio), los resultados fueron marcadamente distintos.

En estos casos, desde los primeros instantes después del lanzamiento, se pudo observar que el balón presentaba oscilaciones visibles. El objeto no mantenía una dirección fija, sino que su eje de giro parecía "tambalearse" o describir círculos invisibles en el espacio, fenómeno conocido técnicamente como precesión. Durante el vuelo, el balón cambió su orientación de forma notable, inclinándose y girando de manera que parecía que perdería el control por completo.

Sin embargo, lo más destacable fue observar que, a medida que el balón avanzaba, este movimiento aparentemente caótico tendía a modificarse. El cuerpo mostró una tendencia natural a estabilizarse progresivamente, "corrigiendo" su propia posición hasta que finalmente terminaba girando de manera estable sobre su eje longitudinal. Este comportamiento —donde la rotación es inestable al principio pero tiende a buscar una posición fija— confirma de manera fehaciente la presencia y validez del teorema del eje intermedio.

Influencia del aire y el medio

Además de la dinámica interna del balón, se analizó la influencia del medio ambiente y específicamente de la resistencia del aire sobre el movimiento.

Se observó claramente que la interacción con el aire juega un papel fundamental en la estabilización final. A medida que el balón avanzaba, las fuerzas de fricción y sustentación actuaban sobre su superficie, provocando un efecto amortiguador sobre las oscilaciones iniciales. Como resultado, se evidenció que la inestabilidad del balón no se mantenía constante, sino que se reducía con el tiempo.

Gradualmente, el objeto dejaba de bambolearse y su eje principal terminaba por alinearse perfectamente con la dirección de la trayectoria de vuelo. Esto significa que el flujo de aire ayuda a "guiar" al balón, obligándolo a orientarse de la forma más eficiente para cortar el aire, reduciendo así la resistencia y maximizando la estabilidad.

Interpretación de los datos observados

Del análisis conjunto de los casos anteriores, se pueden extraer conclusiones fundamentales sobre la naturaleza del movimiento:

En primer lugar, se demostró que el cambio de eje y las variaciones de orientación que sufre el balón no son fenómenos aleatorios ni producto de la casualidad. Todo lo contrario, cada movimiento observado, por complejo que pareciera, estaba perfectamente determinado y obedecía a leyes físicas precisas.

Se pudo interpretar que el balón, al ser un cuerpo rígido con momentos de inercia distintos, actúa como un sistema que busca constantemente su estado de mínima energía y máxima estabilidad. Cuando se encuentra en una configuración inestable, el propio movimiento rotacional induce las fuerzas necesarias para provocar el cambio de orientación hasta que el objeto encuentra una posición estable donde puede mantener su giro sin grandes perturbaciones.

Relación directa con la teoría

Finalmente, los resultados experimentales obtenidos muestran una coincidencia total y exacta con los postulados teóricos revisados en el marco conceptual:

- Conservación del momento angular: Se cumplió rigurosamente, ya que la cantidad de giro inicial se mantuvo durante todo el vuelo, modificándose únicamente la distribución de esta energía entre los distintos ejes para buscar el equilibrio.
- Estabilidad rotacional: Se verificó que existen ejes donde el movimiento es intrínsecamente seguro y otros donde es inherentemente inestable, tal como lo predicen las ecuaciones de la mecánica.
- Influencia del entorno: Se confirmó que el medio no es solo un obstáculo, sino un factor activo que modifica el comportamiento del cuerpo, interactuando con la inercia y el giro para lograr la alineación final.

Estos resultados validan la teoría y demuestran que la física clásica explica con precisión incluso fenómenos deportivos aparentemente complejos.



CONCLUSIONES

Hannia Vera Gonzalez

En definitiva, el análisis del balón de fútbol americano revela que su compleja trayectoria no es producto del azar, sino una manifestación precisa de la mecánica del sólido rígido. Se concluye que la estabilidad del vuelo depende de la creación de un momento angular suficiente para actuar como un estabilizador giroscópico, el cual debe luchar contra la inestabilidad intrínseca que dicta el teorema del eje intermedio debido a la forma de esferoide prolato del balón.

Cuando la rotación no se alinea perfectamente con el eje de menor momento de inercia (el longitudinal), las asimetrías en la distribución de masa y la interacción con la resistencia del aire activan torques que derivan en el característico "bamboleo". Por lo tanto, el comportamiento del balón es el resultado de un equilibrio crítico entre sus propiedades geométricas, la conservación de su estado rotacional y las fuerzas aerodinámicas externas, demostrando que incluso en un gesto deportivo cotidiano subyace una ingeniería física que dicta cada oscilación en el espacio.

Abril Itzayana Lira Fajardo.

El análisis del movimiento de un balón de fútbol americano permitió comprender que su comportamiento durante el giro no es aleatorio, sino que está determinado por principios fundamentales de la física, específicamente de la dinámica rotacional. A través del desarrollo de este estudio, se identificó que el cambio de eje de rotación ocurre debido a la forma elipsoidal del balón y a la distribución desigual de su masa, lo cual influye directamente en su momento de inercia.

Se comprobó que, cuando el balón es lanzado girando sobre un eje distinto al eje longitudinal, presenta inestabilidad en su movimiento. Esta inestabilidad está explicada por el teorema del eje intermedio, el cual establece que existen ejes de rotación que no son estables, provocando que el objeto cambie su orientación durante el movimiento. Como resultado, el balón tiende a reacomodarse hasta alcanzar un eje más estable, manteniendo la conservación del momento angular.

Asimismo, se observó que factores externos como la resistencia del aire influyen en este proceso, ayudando a que el balón se alinee con su trayectoria y disminuya sus oscilaciones con el tiempo. Esto demuestra que tanto las propiedades internas del objeto como las condiciones externas participan en la evolución de su movimiento. En relación con las hipótesis planteadas, los resultados obtenidos permiten rechazar la hipótesis nula, ya que el balón no mantiene un eje de rotación constante en todos los casos. Por el contrario, se acepta la hipótesis alternativa, al comprobarse que el cambio de eje ocurre cuando el giro se realiza en condiciones inestables.

Finalmente, este estudio permitió aplicar conceptos teóricos a un fenómeno cotidiano, facilitando una mejor comprensión de la física en situaciones reales. Además, evidencia la importancia de analizar el movimiento de los cuerpos desde un enfoque científico, demostrando que incluso acciones simples, como lanzar un balón, están regidas por leyes físicas complejas y bien definidas.

Christopher Miranda Huazo

Al terminar este trabajo y analizar todo lo que observamos, puedo concluir que el comportamiento del balón de fútbol americano no es nada casual, sino que sigue reglas muy exactas de la física.

Me quedó muy claro que la forma del balón es lo más importante. Al no ser una esfera perfecta, tiene ejes donde gira bien y ejes donde gira mal. Comprobamos que cuando gira sobre su eje largo (de punta a punta) se mantiene firme y derecho, pero si gira sobre otro eje, empieza a tambalearse y a cambiar de posición. Esto confirma perfectamente lo que dice el teorema del eje intermedio: hay ejes estables y ejes inestables.

CLAUDIA MELANIE GÓMEZ RICAÑO

El estudio del movimiento de los cuerpos en rotación resulta fundamental para comprender una gran variedad de fenómenos físicos presentes tanto en la vida cotidiana como en sistemas más complejos. A través del análisis del balón de fútbol americano, se evidencia cómo la forma y la distribución de la masa influyen directamente en su comportamiento durante el vuelo, diferenciándolo de otros objetos con geometrías más simétricas. Esto permite entender que no todos los cuerpos reaccionan de la misma manera ante un impulso, ya que sus características físicas determinan su estabilidad y trayectoria.

Asimismo, conceptos como el momento angular, el momento de inercia y las leyes que rigen la estabilidad rotacional explican por qué el balón puede presentar cambios en su orientación mientras se desplaza. En particular, el teorema del eje intermedio demuestra que ciertos tipos de rotación son inestables, lo que provoca variaciones en el movimiento que, aunque parecen aleatorias, responden a principios físicos bien establecidos.

Por lo tanto, este análisis no solo ayuda a comprender mejor el comportamiento de objetos en movimiento, sino que también evidencia la importancia de la física como herramienta para explicar fenómenos aparentemente complejos. En conjunto, se concluye que detrás de cada movimiento existe una base científica clara, capaz de predecir y describir con precisión la dinámica de los cuerpos en rotación.

REFERENCIAS

Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2014). Fundamentos de física (10ª ed.). Wiley.

Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2018). Física para ciencias e ingeniería (9ª ed.). Cengage Learning.

Beer, F. P., Johnston, E. R., & Mazurek, D. F. (2013). Mecánica vectorial para ingenieros: Dinámica (10ª ed.). McGraw-Hill.

Khan Academy. (s.f.). Momento angular y torque. Recuperado de <https://www.khanacademy.org>

HyperPhysics. (s.f.). Rotational dynamics. Recuperado de <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu>

MIT OpenCourseWare. (s.f.). Classical mechanics: Rotational motion. Recuperado de <https://ocw.mit.edu>

