

## FOOTGGY: Diseño de un dispositivo inteligente para entrenamiento futbolístico

FOOTGGY: Design of a smart football training device

<https://cientifica.site>

Adriana Paola **Bueno Hernández** <sup>1</sup>  
Luis Adrián **Zúñiga Avilés** <sup>2</sup>  
Juana Mariel **Dávila Vilchis** <sup>3</sup>  
Karla **Flores Sánchez** <sup>4</sup>  
Mariana **Cuenca Chávez** <sup>5</sup>

Universidad Autónoma del Estado de México,  
Facultad de Medicina,  
Toluca, Estado de México, MÉXICO

<sup>1</sup> ORCID: 0009-0008-5870-2300 / abuenoh01@alumno.uaemex.mx

<sup>2</sup> ORCID: 0000-0002-4365-8537 / lazunigaa@uaemex.mx

<sup>4</sup> ORCID: 0009-0003-5047-1062 / kfloress013@alumno.uaemex.mx

<sup>5</sup> ORCID: 0009-0006-5185-020X / mcuencac001@alumno.uaemex.mx

Universidad Autónoma del Estado de México,  
Facultad de Ingeniería,  
Toluca, Estado de México, MÉXICO

<sup>3</sup> ORCID: 0000-0002-2278-1296 / mdavilav@uaemex.mx

Recibido 10/05/2026, aceptado 25/06/2026, publicado 30/06/2026.



## Resumen

Este artículo presenta el concepto de diseño para FOOTGGY, un dispositivo inteligente de entrenamiento futbolístico. A partir de una revisión sistemática previa, se construyó una matriz semicuantitativa aplicada a ocho patentes seleccionadas, evaluando velocidad, ángulo, precisión, control, tiempo de reacción, variables biomecánicas, parámetros espaciales 3D e imprevisibilidad. Los resultados muestran mayor cobertura en el control físico del sistema y menor integración de variables biomecánicas y cognitivas. Se propone FOOTGGY como dispositivo con módulo lanzador, estímulos LED, sensores, retroalimentación en tiempo real e integración IoT/IA. La métrica central es un error de precisión máximo del 2%, orientado a evaluar exactitud, variabilidad y repetibilidad del desempeño técnico del jugador.

**Palabras clave:** futbol, revisión sistemática, dispositivos de entrenamiento, criterios de diseño, requerimientos del usuario.

2

## Abstract

This article introduces the design concept for FOOTGGY, a smart football training device. Based on a previous systematic review, a semi-quantitative matrix was constructed and applied to eight selected patents, evaluating speed, angle, accuracy, control, reaction time, biomechanical variables, 3D spatial parameters, and unpredictability. The results show greater coverage in the physical control of the system and less integration of biomechanical and cognitive variables. FOOTGGY is proposed as a device with launcher module, LED stimuli, sensors, real-time feedback and IoT/AI integration. The core metric is a maximum accuracy error of 2%, aimed at assessing the player's technical performance, accuracy, variability, and repeatability.

**Index terms:** soccer, systematic review, training devices, design criteria, user requirements.

## I. INTRODUCCIÓN

El entrenamiento futbolístico contemporáneo demanda herramientas capaces de medir y mejorar la ejecución técnica bajo condiciones cercanas al juego real. Aunque existen lanzadores automáticos, wearables, sistemas ópticos y plataformas de simulación, muchas soluciones permanecen fragmentadas: unas controlan el balón, otras registran datos del jugador y otras generan análisis visual o táctico. Esta fragmentación dificulta la creación de dispositivos integrales, accesibles y adaptables a academias, clubes y procesos de formación deportiva.

Se identificaron ocho criterios de diseño y una lista de requerimientos del usuario para dispositivos de entrenamiento futbolístico. A partir de estos, el presente trabajo desarrolla el diseño conceptual de FOOTGGY, un dispositivo inteligente para evaluar precisión, tiempo de reacción, repetibilidad, desempeño biomecánico y toma de decisiones mediante estímulos controlados. Los criterios de diseño y requerimientos del usuario empleados como entrada metodológica fueron derivados de una revisión sistemática previa sobre dispositivos de entrenamiento futbolístico hacia la Copa Mundial 2026 [1].

Las limitaciones del estado del arte y de la técnica se agrupan en cuatro dimensiones: limitada integración entre lanzamiento y medición del usuario; escasa retroalimentación inmediata; bajo uso de modelos de error para cuantificar precisión; y brecha entre invención patentada e implementación real en entrenamiento. Además, los sistemas comerciales de alto desempeño suelen ser costosos y de difícil acceso para academias pequeñas o instituciones en contextos latinoamericanos.

3 La contribución científica de este trabajo consiste en transformar criterios de diseño derivados de una revisión sistemática en una priorización técnica mediante matriz semicuantitativa, y utilizarla como base para formular el diseño conceptual y matemático de FOOTGGY. Asimismo, se establece una estrategia de propiedad intelectual orientada a proteger la arquitectura funcional del dispositivo.

El artículo se organiza de la siguiente manera. La primera sección presenta la metodología de diseño. La sección dos desarrolla el diseño conceptual de FOOTGGY, incluyendo modelo matemático, evaluaciones y priorización. La sección tres aborda el diseño del dispositivo, dando a conocer métricas, rangos funcionales y sensores propuestos para incorporar al dispositivo. Finalmente, la sección cuatro presenta la estrategia de propiedad intelectual y conclusiones.

## II. METODOLOGÍA DE DISEÑO

### A. Entrada metodológica

En un estudio previo se revisó el estado de la técnica y del arte, en esta revisión de los documentos de patente seleccionados se establecieron dos tablas: una tabla con ocho criterios de diseño y una de nueve requerimientos del usuario. Estos elementos se utilizaron como base para evaluar la cobertura técnica de los dispositivos de entrenamiento de fútbol.

### B. Selección de patentes

Se analizaron ocho patentes relacionadas con dispositivos de entrenamiento futbolístico, clasificadas en cuatro grupos:

- Clase A: lanzadores automáticos de balón.
- Clase B: sistemas de simulación, inteligencia artificial o reconstrucción espacial.
- Clase C: wearables deportivos.
- Clase D: sistemas interactivos o de rebote.

Las patentes fueron seleccionadas con base en su relación directa con fútbol, presencia de métricas técnicas y pertenencia a clasificaciones IPC, principalmente A63B.

### C. Matriz semicuantitativa de cobertura técnica

Para cada patente se evaluó la presencia de los ocho criterios de diseño mediante una escala semicuantitativa:

- 0: criterio ausente.
- 0.5: criterio presente de forma indirecta, parcial o inferida.
- 1: criterio explícitamente descrito o funcionalmente integrado.

La matriz no representa datos experimentales de campo, sino una extracción estructurada del estado de la técnica. Su objetivo es identificar tendencias, vacíos y oportunidades de diseño.

### D. Criterios evaluados

Los criterios evaluados fueron:

1. Velocidad de lanzamiento.
2. Ángulo de salida.
3. Precisión / error.
4. Control.
5. Tiempo de reacción.
6. Variables biomecánicas.
7. Parámetros espaciales 3D.
8. Imprevisibilidad / variabilidad.

FOOTGGY se concibe como un dispositivo inteligente de entrenamiento futbolístico capaz de lanzar, recibir, medir y retroalimentar acciones técnicas del jugador. Su objetivo es integrar en una sola arquitectura el control físico del balón, la medición del desempeño del usuario y la adaptación de la dificultad. Tomando como base los requerimientos del usuario y criterios de diseño previamente establecidos en la revisión patentométrica, tal como se muestra en la Fig. 1.

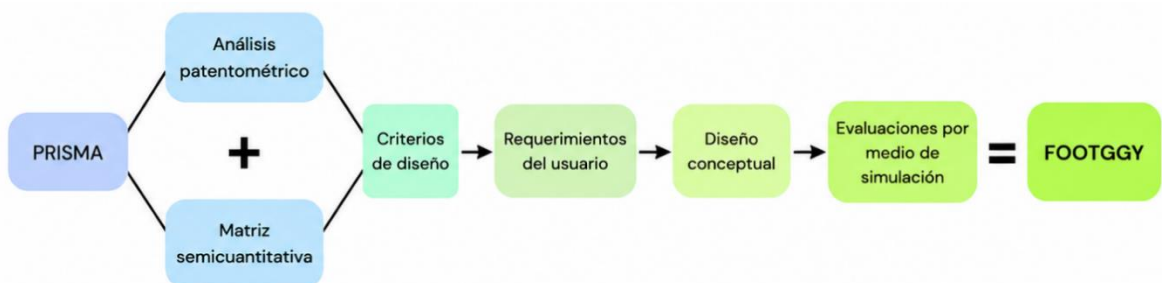


Fig. 1. Esquema metodológico para la definición de los requerimientos de diseño de FOOTGGY.

### III. CONCEPTO DE DISEÑO DE FOOTGGY

El diseño basado en el análisis patentométrico incorpora sensores y retroalimentación en tiempo real, permitiendo medir precisión, tiempo de reacción y fuerza de impacto, apoyado por luces LED que dan la señal para que el usuario sepa dónde debe apuntar el balón. El dispositivo integra una interfaz digital con conectividad IoT e inteligencia artificial, lo que permite personalizar entrenamientos, programar sesiones y analizar datos desde una aplicación o plataforma web. Su enfoque escalable permite utilizarla desde academias juveniles pequeñas hasta clubes profesionales, ofreciendo un modelo adaptable para futuros desarrollos comerciales

#### A. Priorización para FOOTGGY

El presente estudio adopta un diseño cuantitativo observacional basado en datos derivados de entornos digitales de aprendizaje. La investigación se sitúa dentro del campo de learning analytics, que utiliza registros generados por plataformas educativas para analizar patrones de comportamiento académico y su relación con resultados de aprendizaje [2].

La priorización no debe limitarse a los criterios con mayor cobertura en patentes, ya que los criterios menos representados pueden constituir oportunidades de innovación. En este sentido, FOOTGGY debe integrar dos grupos de variables:

**Grupo 1:** Control físico del sistema: velocidad, ángulo, precisión y control. Estos criterios garantizan repetibilidad mecánica y programación objetiva del entrenamiento.

**Grupo 2:** Interacción biomecánica y cognitiva: tiempo de reacción, variables biomecánicas, parámetros 3D e imprevisibilidad. Estos criterios diferencian a FOOTGGY de lanzadores convencionales y permiten evaluar la respuesta integral del jugador.

#### B. Arquitectura propuesta

La arquitectura de FOOTGGY puede organizarse en cinco subsistemas:

- 1) Lanzamiento: Su función es generar estímulos físicos controlados como la velocidad, ángulo, frecuencia, giro.
- 2) Estímulo: Su función es señalar el objetivo o la condición que debe generar la respuesta del jugador.
- 3) Medición: Se encarga de registrar la respuesta del jugador, considerando variables como impacto, trayectoria, tiempo y posición.
- 4) Análisis: Su propósito es calcular métricas de desempeño, incluyendo error, precisión global, variabilidad y tiempo de reacción.
- 5) Retroalimentación: Tiene como función informar sobre el desempeño y ajustar la dificultad mediante reportes, alertas, niveles y progresión.

#### C. Modelo matemático

Tiempo de reacción: El tiempo de reacción mide el intervalo entre la presentación del estímulo y la ejecución observable de la respuesta:

$$t_{reaccion} = t_{respuesta} - t_{estimulo} \quad (1)$$

Error de precisión: evalúa qué tan bien se ejecuta el gesto técnico (como se muestra en las Figuras 6 y 7, donde se presenta una simulación de las ejecuciones del jugador y el valor del error respecto a cada intento).

$$E_p = \sqrt{(x_{target} - x_{real})^2 + (y_{target} - y_{real})^2} \quad (2)$$

Donde:

$(x_{target}, y_{target})$ : objetivo

$(x_{real}, y_{real})$ : posición del impacto

Precisión global: muestra un porcentaje para saber qué tan cerca o lejos llega el balón al objetivo.

$$\bar{e} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N e_i \quad (3)$$

Donde:

$\bar{e}$ : error medio de precisión

$e_i$ : error de cada intento

$N$ : número total de intentos

Variabilidad: identifica cuántas veces el balón llegó al mismo punto (repetibilidad).

$$\sigma_e = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum (e_i - \bar{e})^2} \quad (4)$$

Donde:

$\sigma_e$ : desviación estándar del error

$e_i$ : error de cada intento

$\bar{e}$ : error medio de precisión

$N$ : número total de intentos

Error biomecánico: cuantifica errores de la técnica (mala postura, riesgo de lesión o ineficiencia mecánica), mide el resultado así como se ejecuta.

$$E_{bio} = \sum_{j=1}^n (\theta_j - \theta_j^{ideal})^2 \quad (5)$$

Donde

$\theta_j$ : ángulos articulares medidos

$\theta_j^{ideal}$ : patrón ideal

#### D. Resultados de la matriz semicuantitativa

Con base en los ocho documentos de patente utilizados en la revisión patentométrica se propone una matriz semicuantitativa de cobertura técnica expresada en la Tabla 1. asignando a cada patente/dispositivo valores 0, 0.5 o 1 según presencia del criterio.

TABLA 1  
MATRIZ SEMICUANTITATIVA DE COBERTURA TÉCNICA

Disp.	Velocidad de lanzamiento	Angulo de salida	Precisión	Control	Tiempo de reacción	Variables biomecánicas	Parámetros 3D	Imprevisibilidad / variabilidad
1	1	1	1	0.5	0	0.5	0.5	0.5
2	1	1	0	1	0	0	0.5	0.5
3	0	1	0	0.5	0	1	0.5	0
4	1	0	1	1	0	0	0.5	1
5	0.5	1	1	1	1	0.5	1	0.5
6	0.5	1	0.5	1	0	0.5	0	1
7	0.5	1	1	0.5	1	0.5	0.5	0.5
8	1	0	0	0.5	1	0	1	0.5

La matriz de cobertura técnica permitió calcular medias, medianas y rangos de implementación para cada criterio, estas estadísticas se muestran en la Tabla 2. Los criterios con mayor cobertura fueron ángulo de salida y control, ambos con media de 0.75. La velocidad de lanzamiento presentó media de 0.6875. Precisión, parámetros 3D e imprevisibilidad alcanzaron media de 0.5625. En contraste, tiempo de reacción y variables biomecánicas obtuvieron media de 0.375, evidenciando menor integración en las patentes analizadas.

7  
TABLA 2  
ESTADÍSTICAS USANDO LA MATRIZ SEMICUANTITATIVA DE COBERTURA TÉCNICA.

Criterio	Media	Mediana	Q1	Q2
Velocidad de lanzamiento	0.6875	0.75	0.5	1
Ángulo de salida	0.75	1	0.75	1
Precisión / error	0.5625	0.75	0	1
Control	0.75	0.75	0.5	1
Tiempo de reacción	0.375	0	0	1
Variables biomecánicas	0.375	0.5	0	0.5
Parámetros 3D	0.5625	0.5	0.5	0.625
Imprevisibilidad / variabilidad	0.5625	0.5	0.5	0.625

La matriz semicuantitativa permite identificar no solo la frecuencia con que aparece cada criterio de diseño en los documentos analizados, sino también su grado de consolidación tecnológica dentro del estado de la técnica. En este sentido, los valores de media, mediana y cuartiles permiten diferenciar entre criterios ampliamente incorporados en dispositivos existentes y criterios emergentes que aún presentan baja integración. La Tabla 3 interpreta estos resultados y permite establecer cuáles variables deben conservarse como requisitos funcionales básicos y cuáles representan oportunidades de innovación para el diseño de FOOTGGY.

TABLA 3  
INTERPRETACIÓN TÉCNICA DE LOS CRITERIOS DE DISEÑO A PARTIR DE LA MATRIZ SEMICUANTITATIVA DE COBERTURA TECNOLÓGICA.

Criterio	Interpretación
<b>Velocidad de lanzamiento</b>	La velocidad de lanzamiento presenta una media de 0.6875 y una mediana de 0.75, lo que indica una presencia alta en los dispositivos analizados, principalmente en lanzadores mecánicos, máquinas de servicio y sistemas de proyección de balón. Este criterio se encuentra relativamente consolidado, ya que la mayoría de las tecnologías consideran algún mecanismo para controlar la velocidad inicial, velocidad de retorno o intensidad del estímulo.
<b>Ángulo de salida</b>	El ángulo de salida obtuvo una media de 0.75 y una mediana de 1, con valores altos en los cuartiles, lo que demuestra que es uno de los criterios más consolidados dentro del estado de la técnica. Este criterio es esencial porque permite reproducir condiciones variables de juego, modificar la dirección del estímulo y entrenar la adaptación del jugador ante trayectorias cambiantes.
<b>Precisión / error</b>	La precisión presenta una media de 0.5625 y una mediana de 0.75, pero con un Q1 de 0, lo que refleja una integración desigual entre los documentos analizados. Aunque varios dispositivos mencionan precisión, zona objetivo o trayectoria, no todos incorporan un modelo matemático explícito para calcular el error.
<b>Control</b>	El control obtuvo una media de 0.75 y una mediana de 0.75, lo que indica una presencia alta y consistente en el estado de la técnica. Este criterio se relaciona con la capacidad de programar velocidad, ángulo, frecuencia, secuencia de lanzamiento, dificultad y condiciones de entrenamiento. Su importancia radica en que transforma el dispositivo de una máquina mecánica simple a una plataforma programable de entrenamiento.
<b>Tiempo de reacción</b>	El tiempo de reacción presenta una media de 0.375 y una mediana de 0, lo que evidencia una baja integración en las tecnologías analizadas. Este resultado muestra que la mayoría de los dispositivos se enfocan en lanzar o devolver balones, pero no cuantifican de manera sistemática la respuesta perceptivo-motora del jugador.
<b>VARIABLES BIOMECÁNICAS</b>	Las variables biomecánicas obtuvieron una media de 0.375 y una mediana de 0.5, lo que indica una presencia parcial, principalmente asociada a wearables, sensores de presión, acelerómetros o dispositivos de monitoreo corporal. La baja cobertura refleja que los lanzadores tradicionales no suelen integrar información del cuerpo del jugador.
<b>Parámetros 3D</b>	Los parámetros espaciales 3D presentan una media de 0.5625 y una mediana de 0.5, lo que indica una presencia intermedia y emergente. Este criterio aparece principalmente en sistemas de visión por computadora, reconstrucción espacial y análisis de trayectoria. Su integración permite pasar de una evaluación bidimensional del impacto a una comprensión más completa de la relación entre jugador, balón y entorno.
<b>Imprevisibilidad / variabilidad</b>	La imprevisibilidad presenta una media de 0.5625 y una mediana de 0.5, esto indica una presencia intermedia en el estado de la técnica. Aunque algunos dispositivos permiten variar ángulos, trayectorias o secuencias, pocos integran la variabilidad como criterio formal de diseño. Su incorporación permitiría generar rutinas aleatorias o adaptativas que mejoren la toma de decisiones, la reacción y la transferencia del entrenamiento a situaciones reales de juego.

En la Figura 2, se observa que variables como el ángulo de salida y el control presentan medianas elevadas y baja dispersión, lo que indica una implementación consistente en la mayoría de los sistemas analizados. En contraste, el tiempo de reacción y las variables biomecánicas muestran medianas más bajas y mayor variabilidad, evidenciando una menor integración de estos parámetros en el diseño de los dispositivos.

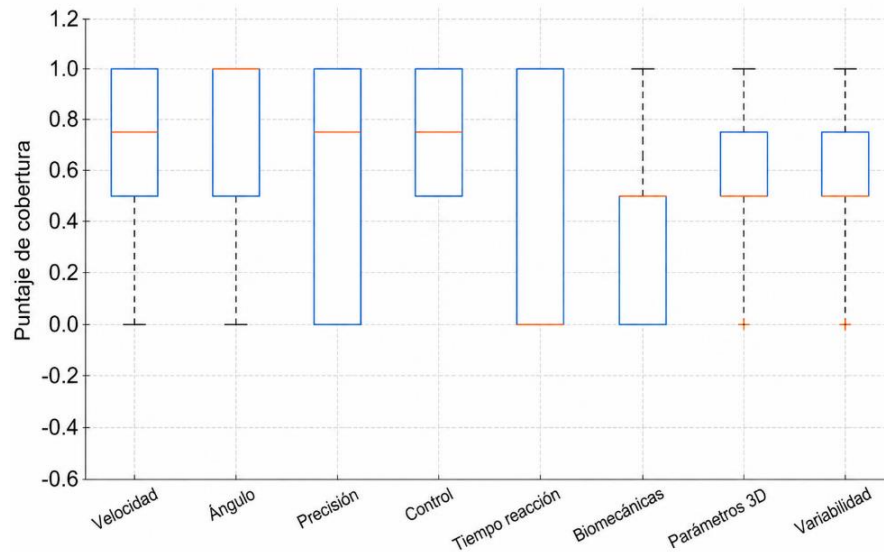


Fig. 2. Diagrama de cajas de los ocho criterios de diseño.

Por otra parte, la Figura 3 muestra una comparación entre dos grupos: control físico del sistema (velocidad, ángulo, precisión y control) e interacción biomecánica (tiempo de reacción, variables biomecánicas, parámetros espaciales 3D y variabilidad). Los resultados muestran una mayor concentración de valores altos en el grupo de control físico, indicando que las soluciones actuales priorizan el desempeño mecánico del lanzamiento.

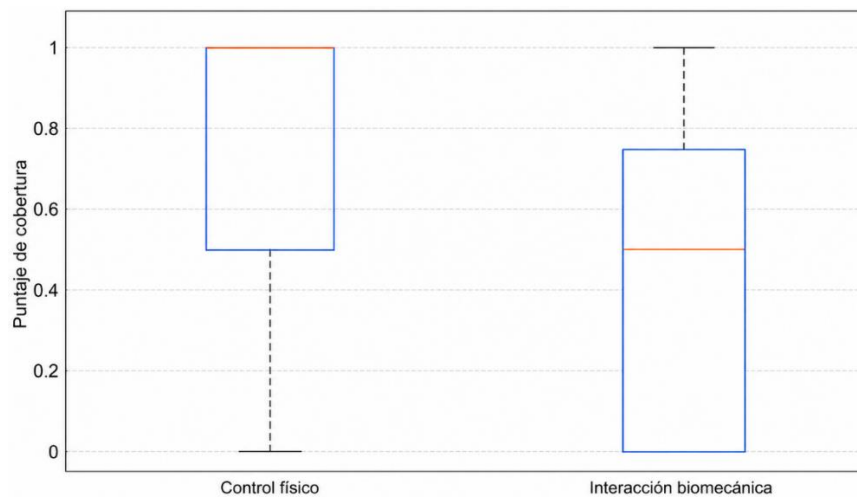


Fig. 3. Diagrama de cajas comparando el control físico del sistema contra la interacción biomecánica.

La estrategia de diseño consiste en mantener el control físico como núcleo funcional y utilizar las variables biomecánicas/cognitivas como diferenciadores tecnológicos.

### E. Simulaciones

Con base en la priorización realizada, la precisión/error se considera una métrica central para el diseño de FOOTGGY, ya que permite cuantificar objetivamente la diferencia entre el punto objetivo y el punto real de impacto del balón. La Figura 4 ilustra esta métrica, se realizó una simulación en MATLAB® en la que se representan diferentes ejecuciones del jugador respecto a una zona objetivo. La dispersión de los puntos permite observar la variabilidad espacial de los intentos y estimar la consistencia técnica del usuario.

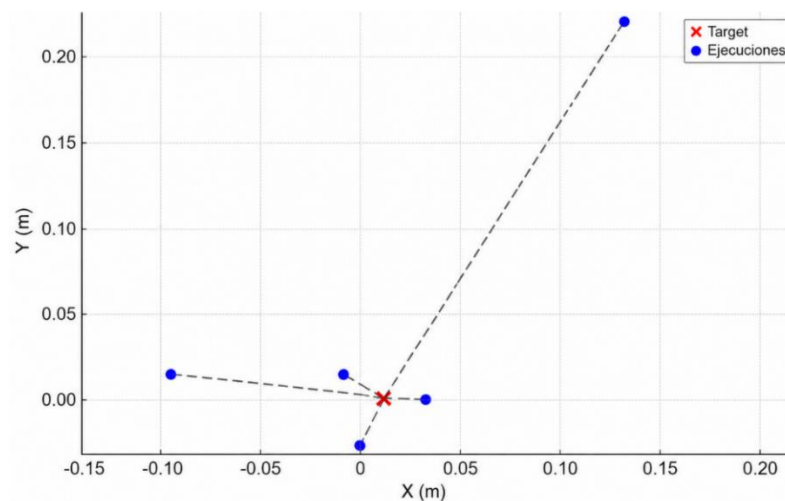


Fig. 4. Error de precisión.

Además de representar espacialmente la dispersión de los impactos, resulta necesario analizar el comportamiento del error en cada intento. Esta visualización, expresada en la Figura 5, permite identificar tendencias de mejora, estabilidad o variabilidad durante la sesión de entrenamiento. En el contexto de FOOTGGY, el análisis del error por intento puede utilizarse para generar retroalimentación inmediata, ajustar la dificultad del ejercicio y evaluar si el jugador mantiene el desempeño dentro de una tolerancia máxima de error del 2%.

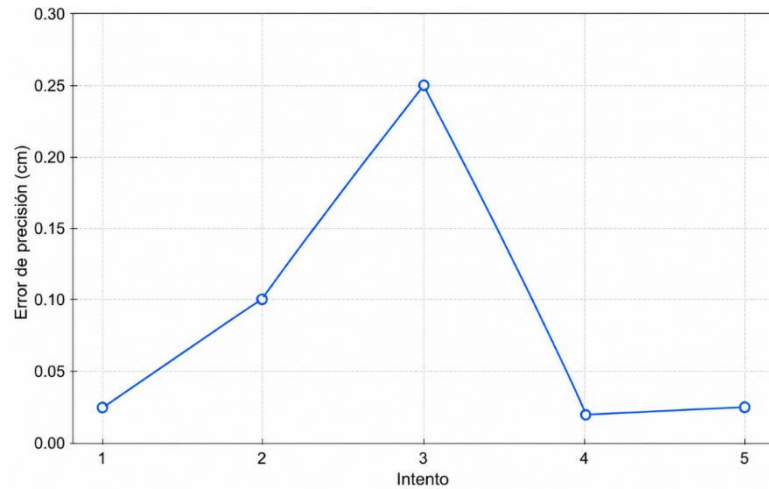


Fig. 5. Error de precisión por intento.

#### IV. DISEÑO DE FOOTGGY

En la Figura 6 se presenta el diseño conceptual de FOOTGGY, desarrollado a partir del análisis patentométrico, las simulaciones del error de precisión y los resultados estadísticos derivados de la matriz semicuantitativa. El sistema incorpora sensores y retroalimentación en tiempo real para medir precisión, tiempo de reacción y fuerza de impacto. Además, integra señales luminosas mediante luces LED, las cuales indican al usuario la zona objetivo hacia donde debe dirigir el balón. El dispositivo contempla una interfaz digital con conectividad IoT e inteligencia artificial, lo que permite personalizar entrenamientos, programar sesiones, registrar métricas de desempeño y analizar la evolución del jugador desde una aplicación o plataforma web. Su enfoque modular y escalable permite su uso tanto en academias juveniles como en clubes profesionales, ofreciendo un modelo adaptable para futuros desarrollos comerciales. Asimismo, en la Tabla 4 se presentan las métricas funcionales y los sensores propuestos para la integración tecnológica de FOOTGGY.

11



Fig. 6. Diseño realizado con base en el análisis patentométrico.

TABLA 4  
MÉTRICAS, RANGOS FUNCIONALES Y SENSORES PROPUESTOS PARA INCORPORAR AL DISPOSITIVO FOOTGGY

Criterio / Función	Métricas	Sensor / Componente	Propósito
Velocidad de lanzamiento	18-120 km/hr 5-35 m/s	Sensor Hall; radar Doppler compacto; cámara de alta velocidad.	Controlar la intensidad del pase, centro o tiro.
Pase largo /centro	70-100 km/hr	Encoder + radar Doppler / cámara	Simulación de centros, despejes y pases largos.
Pase corto	18-43 km/hr	Encoder + control PWM de motor DC/BLDC.	Entrenamiento de recepción, pase corto y control orientado.
Ángulo vertical de salida	-5° a 45°	Servomotor con encoder absoluto; inclinómetro IMU; potenciómetro angular	Ajustar trayectoria baja, media o elevada.
Ángulo de llegada de balón	0° a 60°	Cámara RGB/depth; IMU del módulo lanzador; sensor angular.	Simular trayectorias realistas de juego.
Altura de llegada de balón	0.05-2.5 m	Cámara RGB-D; sensor ToF; LiDAR corto alcance.	Evaluar control con pie, muslo, pecho o recepción aérea.
Frecuencia de lanzamiento	0.05–0.25 Hz, equivalente a 1 balón cada 4–20 s	Sensor óptico de presencia de balón; temporizador interno.	Programar ritmo de entrenamiento.
Distancia jugador máquina	5-30 m	Cámara RGB-D; LiDAR; sensor ultrasónico; configuración manual en software.	Adaptar dificultad y calcular error relativo.
Error relativo objetivo	≤2% de la distancia de ejecución	Visión por computadora + cálculo euclidiano.	Definir tolerancia central de desempeño.
Precisión avanzada	≥80% de aciertos en zona objetivo	Cámara + algoritmo de clasificación de acierto.	Clasificar nivel avanzado del usuario.
Tiempo de estímulo-primer movimiento	0.15–0.80 s	Cámara RGB; IMU corporal; sensor de presión plantar; acelerómetro.	Medir reacción inicial del jugador.
Tiempo estímulo-contacto con el balón	0.30–1.50 s	IMU en pie; sensor de contacto; cámara de alta velocidad.	Medir respuesta completa ante estímulo.
Tiempo de decisión	0.50–3.00 s	Botón/trigger visual; cámara; software de eventos.	Evaluar la toma de decisión.
Puntuación de desempeño	0-100 puntos	Software de evaluación.	Índice global para comparar sesiones.
Variación de velocidad entre lanzamientos	±10–30%	Algoritmo aleatorio / adaptativo + control de motor	Generar imprevisibilidad
Zonas objetivo	6–20 zonas	Panel LED; matriz de sensores; cámara	Entrenar dirección de pase o tiro.
Fuerza de impacto	0–3000 N	Celda de carga; sensor piezoeléctrico; FSR de alta capacidad.	Medir intensidad de golpeo o recepción.
Sincronización ente sensores	≤0.05 s	Timestamp común; NTP local; reloj de microcontrolador.	Sincronizar cámara, IMU, LEDs y lanzamiento.
Sesiones para análisis longitudinal	≥10 sesiones	Dashboard de desempeño.	Comparación robusta entre sesiones.

### A. Composición general del sistema

En la Tabla 5 se muestran los componentes principales de este nuevo dispositivo, organizados de acuerdo con su función dentro de la arquitectura general de FOOTGGY. La propuesta integra módulos mecánicos de lanzamiento, paneles de contacto, sensores de medición, elementos de retroalimentación visual y una unidad electrónica de control. Esta organización permite visualizar cómo cada componente contribuye a la generación del estímulo, la detección del impacto, el registro de métricas y la retroalimentación al usuario durante la sesión de entrenamiento.

TABLA 5  
DIAGRAMA ESTRUCTURAL DE FOOTGGY.

Subsistema	Cantidad	Función principal
Módulos de lanzamiento	2	Lanzar balones desde diferentes trayectorias.
Paneles de contacto	15-20	Detectar impacto y precisión.
LEDs	20 o más	Señalar objetivos y retroalimentar al usuario.
Sensores de impacto	20	Medir zona de contacto y fuerza.
Sensores de velocidad	2-4	Medir RPM o velocidad del balón.
Sensores angulares	2-4	Medir inclinación y orientación de lanzamiento.
Cámara RGB-D	2	Registrar trayectoria, jugador y balón.
Unidad de control	1	Coordinar sensores, motores y datos.
Interfaz digital	1	Programar sesiones y visualizar resultados.
Módulo IoT/ IA	1	Conectividad, análisis y personalización.

13

### B. Desempeño esperado

El dispositivo se orienta a medir cuatro indicadores principales:

- 1) Precisión técnica: distancia entre objetivo e impacto.
- 2) Consistencia: variabilidad de la precisión entre intentos.
- 3) Velocidad de respuesta: tiempo entre estímulo y ejecución.
- 4) Calidad biomecánica: desviación respecto a patrones técnicos seguros o eficientes.

Con estos indicadores, FOOTGGY puede generar reportes por sesión, evolución longitudinal del jugador y niveles de dificultad progresiva.

### C. Protección intelectual

El análisis patentométrico muestra que existen documentos relacionados con lanzadores, simuladores, wearables y sistemas inteligentes. Sin embargo, la combinación específica de lanzamiento controlado, estímulos LED, medición de error de precisión, tiempo de reacción, retroalimentación en tiempo real y adaptación inteligente constituye una oportunidad para formular una invención con enfoque integrador.

Como parte de la estrategia de protección intelectual del dispositivo FOOTGGY, se realizó la solicitud de registro de diseño industrial ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI), con el propósito de proteger la

configuración ornamental y la apariencia externa del dispositivo. Esta solicitud quedó registrada con el número MX/f/2026/001484, lo que constituye un primer mecanismo de protección formal asociado al desarrollo tecnológico propuesto. La protección mediante diseño industrial complementa la estrategia de patentamiento funcional, ya que resguarda los elementos visuales, morfológicos y configuracionales del dispositivo, mientras que una eventual solicitud de patente o modelo de utilidad permitiría proteger sus componentes técnicos, mecanismos de operación, sistema de medición y método de retroalimentación inteligente.

## V. CONCLUSIONES

Este trabajo desarrollo el diseño de un FOOTGGY, un dispositivo inteligente para entrenamiento de futbol, a partir de ocho criterios de diseño establecidos en una revisión sistemática previa realizada por los autores. El dispositivo está orientado a la medición objetiva del desempeño técnico del jugador. A partir de una matriz semicuantitativa aplicada a patentes seleccionadas, se identificó que los criterios con mayor cobertura tecnológica son el ángulo de salida, el control y la velocidad de lanzamiento, lo que evidencia que el estado de la técnica ha priorizado principalmente el control físico del balón y la repetibilidad mecánica del entrenamiento.

En contraste, los criterios relacionados con el tiempo de reacción y las variables biomecánicas mostraron menor cobertura, lo que revela una oportunidad de innovación para el desarrollo de dispositivos que no solo proyecten o devuelvan balones, sino que también evalúen la respuesta perceptivo-motora, la precisión, la variabilidad y la calidad técnica del usuario. En este sentido, FOOTGGY se plantea como una propuesta integradora que combina lanzamiento controlado, estímulos visuales, medición del error de precisión, retroalimentación en tiempo real.

La métrica de error de precisión máximo del 2% se establece como un parámetro central para evaluar la exactitud, repetibilidad y consistencia del desempeño técnico. Esta métrica permite transformar la ejecución del jugador en datos cuantificables, facilitando el seguimiento longitudinal, la comparación entre sesiones y la adaptación progresiva de la dificultad del entrenamiento.

Finalmente, como resultado del proceso de diseño y desarrollo conceptual, se realizó la solicitud de registro de diseño industrial ante el IMPI. Este registro constituye un avance formal en la protección intelectual de FOOTGGY y fortalece su potencial de transferencia tecnológica, escalamiento y futura validación experimental en academias, clubes deportivos y entornos de entrenamiento futbolístico.

### **CRedit** (Contributor Roles Taxonomy)

**Contribuciones de los autores:** Conceptualización, Metodología, Investigación, Redacción y preparación del borrador original, Redacción, revisión y edición, Supervisión, Análisis formal, Administración del proyecto: **APBH, LAZA, JMDV, KFS, MCC.**

**Financiamiento:** Los autores declaran no haber recibido financiación externa.

**Declaración de la disponibilidad de datos:** Los datos se encuentran en el artículo y pueden ser solicitado datos adicionales al email: lazunigaa@uaemex.mx.

**Agradecimientos:** Los autores agradecen las facilidades otorgadas para utilizar los laboratorios de Bioingeniería Biomédica de la UAEMEX.

**Conflicto de interés:** Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

## REFERENCIAS

- [1] A. P. Bueno Hernández, L. A. Zúñiga Avilés, J. M. Dávila Vilchis, "Criterios de diseño y requerimientos del usuario para dispositivos de entrenamiento de fútbol: Hacia la Copa Mundial 2026." 30 de abril del 2026.
- [2] D. Eager, K. Ishac, S. Zhou, I. Hossain, "Investigating the knuckleball effect in soccer using a smart ball and training machine," *Sensors (Basel)*, vol. 22, no. 11, p. 3984, 2022, <https://doi.org/10.3390/s22113984>
- [3] A. Gascón, et al., "A diagnostic and performance system for soccer: Technical design and development," *Sports (Basel)*, vol. 13, no. 1, p. 10, 2025, <https://doi.org/10.3390/sports13010010>
- [4] B. Hollaus, C. Raschner, A. Mehrle, "Development and verification of a highly accurate and precise passing machine for American football," in the 13th Conference of the International Sports Engineering Association, 2020, p. 94, <https://doi.org/10.3390/proceedings2020049094>
- [5] J. Susila, et al., "Automatic ball launcher machine for goalkeeper training using YOLO deep learning algorithm," in 2023 International Conference on Advanced Mechatronics, Intelligent Manufacture and Industrial Automation (ICAMIMIA), 2023, pp. 965–971, <https://doi.org/10.1109/ICAMIMIA60881.2023.10427805>
- [6] D. S. Lee, et al., "Mechanical multifunctional football training machine," CN Patent CN112973075A, 2021, <https://patents.google.com/patent/CN112973075A/en>
- [7] J. M. Lozano Carvajal, "Espinillera inteligente," WO Patent WO2021/074468 A1, Apr. 22, 2021, <https://patents.google.com/patent/WO2021074468A1/es>
- [8] J. R. Meda-Gutiérrez, L. A. Zúñiga-Avilés, A. H. Vilchis-González, J. C. Ávila-Vilchis, "Knee exoskeletons design approaches to boost strength capability: A review," *Appl. Sci. (Basel)*, vol. 11, no. 21, p. 9990, 2021, <https://doi.org/10.3390/app11219990>
- [9] J. H. Na, "Automatic ball launching device," KR Patent KR1020220022221, Feb. 25, 2022.
- [10] B. T. Naik, M. F. Hashmi, N. D. Bokde, "A comprehensive review of computer vision in sports: Open issues, future trends and research directions," *Appl. Sci. (Basel)*, vol. 12, no. 9, p. 4429, 2022, <https://doi.org/10.3390/app12094429>
- [11] M. J. Page, et al., "The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews," *BMJ*, p. n71, 2021, <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- [12] C. Spiteri, "Generating a three-dimensional topography of a training environment," US12394072B1, Aug. 19, 2025, <https://patents.google.com/patent/US12394072B1/>
- [13] K. A. Tsotsos, "Soccer training wall," GR1010187B, 2022, <https://patents.google.com/patent/GR1010187B/en>
- [14] N. Xu, et al., "Artificial intelligence-based soccer training service device and method," KR102693018B1, 08-Aug-2024, <https://patents.google.com/patent/KR102693018B1/en>
- [15] N. Z. Z. P. Yang, "Football training equipment with collect and launch function," CN113730891A, 03-Dec-2021, <https://patents.google.com/patent/CN113730891A/en>
- [16] L. A. Zúñiga Avilés, et al., "MOPAREM: movilizador pasivo de muñeca implementado en tres casos de estudio," *CIENCIA ergo-sum*, 2020, <https://cienciaergosum.uaemex.mx/article/view/14608>