

Análisis cinemático del penalty en fútbol

José Pino Ortega

Doctor en Ciencias
de la Actividad Física y Deporte
Profesor de la Facultad de Ciencias del Deporte
Universidad de Extremadura.

Guillermo Jorge Olcina Camacho Francisco Selva Medrano

Alumnos de 4.º curso
de la Facultad de Ciencias del Deporte
Universidad de Extremadura

Palabras clave

análisis cinemático, fútbol, penalty,
velocidad del balón (60-70 km/h)

Abstract

In this work we have made a cinematic analysis to find out the optimum velocity when taking a football penalty. We discovered that if the ball is aimed inside the post and 90 centimetres from, it at a velocity between 60 and 70 kg/h it is almost impossible that it can be stopped by the goal keeper. Therefore it is necessary to use training systems that carry out these requisites.

Resumen

En este trabajo hemos realizado un análisis cinemático para conocer la velocidad óptima del balón en la ejecución del penalty en fútbol. Hemos comprobado que si el balón se dirige entre el poste y 90 centímetros de éste a una velocidad entre 60 y 70 km/h es prácticamente imposible interceptar su trayectoria por parte del portero. Por tanto se trata de aplicar sistemas de entrenamiento que cumplan estos requisitos.

Introducción

En un buen número de ocasiones, a lo largo de la historia del fútbol, la ejecución de un penalty ha sido decisiva para dilucidar el equipo vencedor de un partido, o incluso de una competición. Como consecuencia de esto, sería de sumo interés lograr un sistema de entrenamiento de dicho tipo de ejecuciones, que no estuviera basado (como hasta ahora) en aspectos intuitivos o meramente experimentales.

El objetivo principal de este trabajo es realizar un análisis cinemático para analizar la situación y determinar velocidad del balón óptima para reducir la eficacia del portero y a partir del conocimiento de estos datos poder plantear métodos de entrenamientos encaminados a aumentar la eficacia de esta situación.

Revisión bibliográfica

La velocidad del balón en el golpeo con el empeine para los jugadores de fútbol expertos ha sido registrada como 17-18 m/s por diversos investigadores (Roberts y Metcalfe, 1968; Roberts y cols., 1974; Asami y cols., 1976; Asami y Nolte, 1983; Luthanen, 1984; Robertson y Mosher, 1985; Isokawa y lees, 188; Luhtanen, 1988a; Narici y cols., 1988). Se ha sugerido (Roberts y Metcalfe, 1968) que la velocidad del pie justo antes del contacto es aproximadamente 18-24 m/s, y cuando el contacto es bueno la velocidad del balón puede ser hasta 7 m/s más rápida que la del pie. Los cálculos del Campeonato Mundial de Italia de 1990 en televisión indicaron que las velocidades desarrolladas por los mejores jugadores profesionales podrían alcanzar la velocidad de 32-35 m/s (Ekblom, 1999).

A continuación recogemos dos estudios sobre el saque de penalty. En el primero Gayoso (1982) a lo largo de la competición 1980/81 de la Liga de la Primera División se sancionaron 116 penalty, de los cuales se transformaron en gol 81, lo que viene a suponer el 69,8 % de los sancionados. Esta cantidad de goles conseguidos a través de los penaltys, supone un 19,7 % del total de los goles conseguidos en todo el campeonato. Se sancionaron en cada jornada 3,4 penalty, siendo 2,3 penalty los transformados. El 31,4 % estuvo ejecutado con la pierna izquierda y el 68,5 % se lanzó con la pierna derecha.

Álvarez (1994) analizó la efectividad en la ejecución del penalty, llegando a las siguientes conclusiones: se señaló un penalty, casi, cada tres partidos, en 14 partidos se pitaron más de un penalty y en dos de ellos se pitaron hasta tres (tabla 1).

En la tabla 2 se muestra la superficie de ejecución en los penaltys, datos obtenidos igualmente del estudio de Álvarez (1994).

La casi totalidad de los jugadores que ejecutaron el penalty fueron diestros. Sólo 11 de los 106 penaltys marcados, se ejecutaron con el pie izquierdo.

Por otra parte Raya y Navarro (1990), analizaron el gesto técnico del penalty en el Mundial de Fútbol de México '86. La hipótesis de partida de estos autores fue que "es más fácil enviar el balón hacia el lado contrario del pie ejecutor, siempre que se utilice como superficie de contacto el empeine total o el empeine interior, que son los que mayor velocidad imprimen al balón, y además supone el gesto más natural para el atacante". Analizaron 39 penaltys y llegaron a la conclusión que existía una correlación positiva (1) del 74,35 % y una correlación negativa (2) en un 25,64 % de los casos.

Definición de biomecánica. Estructura piramidal del término

En este apartado pasamos a definir algunos términos relacionados con la biomecánica.

Bioingeniería. Ciencia que aplica todo tipo de conocimiento físico, matemático y tecnológico para resolver problemas biológicos. Por ello a la Bioingeniería le compete el estudio de todos los fenómenos biológicos y a todos los niveles.

Ingeniería biomédica. Ciencia que aplica todo tipo de conocimiento físico, matemático y tecnológico para resolver problemas biológicos humanos a todos los niveles.

Biomecánica del aparato locomotor. Son numerosas las definiciones de este término, destacamos las siguientes:

- Conocimiento del papel que juegan las fuerzas mecánicas y producen los movimientos, su soporte autonómico, iniciación neurológica, control integrado y percepción así como su diseño central (UNESCO 1971).
- Por otro lado la Escuela Soviética de Biomecánica en 1971 la define como la "Ciencia que estudia los movimientos del hombre y su coordinación".
- La Asociación Americana de la Ingeniería Biomecánica en 1972 la define como los "estudios del cuerpo humano como sistema bajo las leyes de la mecánica newtoniana y las leyes biológicas".
- Para el Instituto Valenciano de Biomecánica. Sociedad Ibérica de Biomecánica (1992) representa un conjunto de movimientos interdisciplinarios generados a partir de utilizar, con el apoyo de otras Ciencias Biomédicas los conocimientos de mecánica y distintas tecnologías en:
 - ♦ Estudio del comportamiento de los sistemas biológicos, en particular del hombre.
 - ♦ Resolver problemas que provocan las distintas condiciones mecánicas a las que puede verse sometido.

BIOMECAÁNICA = BIO + MECÁNICA ⇔ Mecánica de los seres vivos

La Biomecánica del aparato locomotor tiene tres campos de aplicación:

- **Biomecánica ocupacional.** Parte de la Ergonomía. Estudia los mismos contenidos que la Biomecánica del aparato locomotor pero intenta adaptar la condición del entorno al hombre y garantizar la salud laboral.

PENALTY	NÚMERO
Señalados	108
Marcados	104
Marcados tras rechace	2
Fallados	2

Tabla 1. Efectividad en la ejecución de penaltys (Álvarez, 1994).

SUPERFICIE DE CONTACTO	NÚMERO
Interior del pie derecho	50
Empeine total del pie derecho	23
Empeine interior del pie derecho	22
Empeine total de pie izquierdo	11

Tabla 2. Superficie de ejecución en los penaltys (Álvarez, 1994).

- **Biomecánica médica.** Se ocupa de temas como el diseño de prótesis, de factores mecánicos que producen la fractura de huesos, ligamentos... así como de su recuperación, fijadores externos...
- **Biomecánica deportiva.** Su objetivo es la optimización de la técnica deportiva, prevención de lesiones y diseño de elementos deportivos según criterios biomecánicos. Las características más destacadas son:
 - Imprescindible para el deporte de alto rendimiento por su incidencia en el aprendizaje de la técnica deportiva que se pretende con el entrenamiento deportivo.
 - Imprescindible para el aprendizaje motor que pretende el aprendizaje de la técnica deportiva.
 - Esta rama de la Biomecánica se involucra a un cuerpo de conocimiento que se llama Teoría del Entrenamiento Deportivo.

Objetivos de la biomecánica

Los objetivos principales de la biomecánica los podemos resumir en:

(1) Correlación positiva es aquella en la que el jugador lanza el balón hacia el lado contrario respecto al pie ejecutor (Raya y Navarro, 1990).

(2) Correlación negativa es aquella en la que el jugador lanza el balón hacia el mismo lado del pie ejecutor (Raya y Navarro, 1990).

- Optimizar la técnica deportiva. Encontrar la mejor solución biomecánica de un problema de movimiento determinado teniendo en cuenta las características y los principios biológicos que rigen el comportamiento del aparato locomotor humano, las condiciones de entorno y reglamento. *Técnica deportiva*: solución biomecánica A de un problema de movimiento que puede tener solución B, C, D en función de las características y los principios biológicos que rigen el comportamiento del aparato locomotor humano, las condiciones de entorno, reglamento y las situaciones de juego. Por ejemplo: no tiene la misma solución biomecánica el golpeo de un balón en seco que en barro.
- Establecer principios biomecánicos como criterios generalizados para la evaluación de la técnica deportiva que permiten tener, primero, reconocer las relaciones causa-efecto que tienen lugar durante el desarrollo de los complejos patrones motores que caracterizan la práctica deportiva, y en segundo lugar, valorar la calidad de la técnica deportiva y pronosticar el rendimiento. *Principios biomecánicos*: criterios generalizados que permiten evaluar los complejos patrones motores (técnica) durante la práctica deportiva. Puedes tener dos técnicas diferentes y para evaluarlas y decidir cuál es la idónea se realiza en función a unos criterios determinados. Por ejemplo: ver cuál es el grado de flexión de rodilla idónea para el salto vertical. Criterio: principio de fuerza inicial, cantidad de fuerza que se realiza durante la flexión aplicable al futuro salto. Por ejemplo: en saltos, golpes, lanzamientos... el criterio es que la velocidad de despegue sea máxima, por eso en un lanzamiento de jabalina por ejemplo, cuanto mayor sea la distancia de aceleración (distancia mientras se aumenta la aceleración) mayor será la velocidad de despegue y por tanto técnica más eficaz y mejores resultados.
- Conseguir que los deportistas lleguen lo antes posible a su máximo rendimiento procurando el mismo tiempo evitar las lesiones u otros problemas físicos. La

biomecánica es sobre todo importante en el entrenamiento porque es donde más ejecuciones se producen.

- Encontrar métodos de investigación que no interfieren con la relación normal del gesto deportivo y proporcionar los resultados en el menor tiempo posible ("just information?"), de modo que se puedan utilizar inmediatamente. Todo desarrollo tecnológico de Biomecánica es para este objetivo. Cámaras de alta velocidad, transmisión de datos por telemetría...

RENDIMIENTO = CONDICIONES INNATAS + APRENDIZAJE + MOTIVACIÓN

Yo puedo incidir en el Aprendizaje (conocimiento del resultado; ensayo-error) y en la Motivación (conocimiento de la ejecución; parametrización del gesto en conceptos biomecánicos)

- La información obtenida respecto a los parámetros biomecánicos que determinan la estructura del gesto deportivo sea utilizada para enriquecer la teoría del entrenamiento deportivo.
- La colaboración a largo plazo del entrenador y biomecánico para planificar el entrenamiento. Así surge la necesidad de valorar la técnica deportiva en las distintas etapas de la preparación del deportista.
- Pronosticar la evolución del rendimiento en función de cambios en la técnica y del nivel de condición física.
- Interpretar hallazgos biomecánicos y establecer su relación con las cargas del entrenamiento.
- Utilizar cada vez más los postulados de la teoría de sistemas y de la biocibernética para diseñar los experimentos y utilizar los resultados en la práctica deportiva.

Biomecánica aplicada al alto rendimiento

Los objetivos de la biomecánica en alto rendimiento los podemos enumerar en los siguientes:

- Identificar aquellos factores o parámetros que dificultan el perfeccionamiento de la técnica y no permiten mejorar el rendimiento deportivo.
- Identificar aquellos factores que son entrenables.
- Identificar los fallos y las deficiencias técnicas en el gesto estudiado.
- Apoyar el entrenamiento deportivo optimizando los factores identificados.
- Analizar los ejercicios de entrenamiento y estudiar su eficacia e incidencia sobre el rendimiento deseado. (importante). Es importante conocer los ejercicios para la mejora de la técnica:
 - ◆ Reproducir el movimiento por completo.
 - ◆ Inventar ejercicios que incluyan partes importantes del movimiento. Entrenar por fases. Una cuestión importante, los ejercicios se deben basar en el punto 5º.
 - ◆ Los ejercicios deben cumplir la transferencia cinética de un deporte a otro.

Campos de la mecánica

La Mecánica es la parte de la Física que estudia el estado de reposo o de movimiento de los cuerpos bajo la acción de las fuerzas. Estudia el movimiento de los cuerpos, bien en sí mismo (describiéndolo), bien referido a sus causas (las fuerzas) y la falta de movimiento (equilibrio) en relación con las fuerzas que lo provocan. La Biomecánica se suele dividir de igual forma:

- **Estática:** Estudio de las fuerzas que determinan que los cuerpos se mantengan en equilibrio. Ejemplo: cómo un escalador se mantiene sobre unas presas o cómo el windsurfista se mantiene sobre la tabla.
- **Dinámica:** Estudia el movimiento o la falta de éste relacionado con las causas que lo provocan.
 - ◆ **Cinética:** Estudio de las fuerzas que provocan el movimiento. Como ejemplos tendrían el estudio de las fuerzas implicadas en ese lanzamiento a canasta o durante la salida de un velocista.
 - ◆ **Cinemática:** Parte de la Biomecánica que estudia los movimientos sin tener en cuenta las causas que lo producen, se dedica exclusivamente a su descripción. Describe las técnicas deportivas o las diferentes habilidades y recorridos que el hombre puede realizar. Posibles ejemplos de estudio podrían ser un lanzamiento a canasta en baloncesto o la distancia recorrida por el base en un partido.

Desarrollo matemático y biomecánico para la obtención de parámetros cinemáticos de eficacia

En este apartado vamos a desarrollar un proceso matemático basado en la biomecánica para obtener lo que hemos llamado parámetros cinemáticos de eficacia, refiriéndonos pues a:

- Velocidad del balón desde el punto de penalty hasta la base del poste.
- Tiempo en recorrer dicha trayectoria.
- Velocidad de despegue del portero para detener el balón.
- Tiempo de movimiento del portero.

Antes de iniciar este desarrollo es necesario que se tengan en cuenta algunas variables, estas son:

Punto o lugar de máxima eficacia

Se considera el lugar de máxima eficacia aquel que está más lejos del alcance del portero: "la base del poste y sus proximidades (0.5 m)".

El portero

Se van a considerar las condiciones físicas del portero como las mejores.

La anticipación

El estudio de la situación de penalty en fútbol ha suscitado una atención especial a tenor de las investigaciones llevadas a cabo. Willianis & Burwirtz (1993) constatan; utilizando la técnica de oclusión temporal, que los porteros experimentados intentan anticiparse a la dirección del balón antes del contacto pie-balón, acertando en un 25 % de las ocasiones el lado de la portería hacia donde se lanza el balón, aunque en un 61 % de las ocasiones cometen errores respecto a la altura de la trayectoria. Además, confirman a través de un cuestionario que las señales de anticipación más valiosas utilizadas por los porteros son el lado y ángulo en la carrera previa de aproximación, el arco descrito por la pierna de golpeo y la posición de la cadera, siendo ésta última información la más valorada.

En términos similares se expresan McMorris et. al. (1993), quienes concluyen sugiriendo que el portero podría iniciar su movimiento antes del contacto o esperar hasta el contacto, aunque no obtendría mayor información significativa por su retardo, lo cual debería ser aprovechado para ganar tiempo en la ejecución del movimiento.

Por su parte, Fradua et al. (1994) realizan un entrenamiento específico en varias fases, alternando tanto el paradigma de oclusión temporal en sala de vídeo como prácticas de campo, para intentar mejorar la utilización eficaz de preíndices (precuing). Concluyen señalando, en primer lugar, que el entrenamiento para percepción de preíndices es más efectivo ante ciertos golpes, frente a lanzadores que piensan de antemano dónde enviarán el balón sin mirar la posición del portero; y en segundo lugar, que el entrenamiento aplicado no resultó muy efectivo frente a lanzadores que esperan la respuesta del portero y frente a aquellos que tienen habilidad para modificar sus movimientos en el último momento del lanzamiento.

Refiriéndonos a Kulin (1988), comprueba que el penalty a menudo se lanza a una velocidad superior a 75 Km/h ante lo cual, el portero dispone de 400 ms para salvar la situación. En ese tiempo el portero tiene que averiguar la trayectoria del balón, la velocidad, decidir la respuesta más adecuada y ejecutarla. Es improbable que el portero pueda realizar todo ello en menos de 400 ms. McMorris & Colenso (1996) afirman que es más probable que porteros profesionales hayan aprendido a usar los índices de información pre-contacto y contacto más eficazmente que porteros no experimentados, como ocurre en el caso de McMorris et al. (1993) donde se utilizaron porteros colegiales.

Fuerza de rozamiento del balón con el suelo y aire

Se va a considerar prácticamente despreciable ya que:

- A la alta velocidad que se desplaza el balón va a tener un carácter ínfimo.
- La hierba es una superficie que permite un buen deslizamiento de balón.

El reglamento

Todo el trabajo está sometido a las reglas formuladas por la "International Football Association Board" sobre el lanzamiento de penal y otros aspectos que aquí nos interesan:

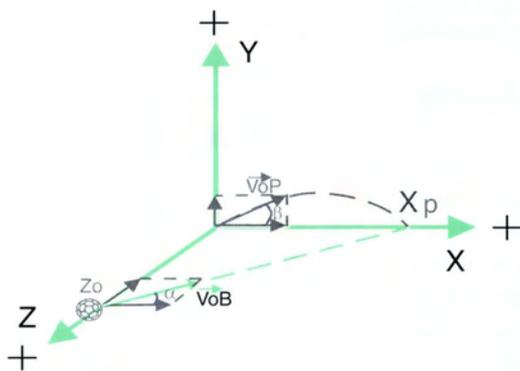


Figura 1.

Regla 1: "El terreno de juego"

- Porterías
La distancia entre los postes es de 7.32 m y del borde del travesaño al suelo es de 2.44 m.
- En cada área de penal se marcará un punto penal a once metros de distancia desde el punto medio de la línea de ambos postes.

Regla 2: "El balón"

- Será de cuero o de otro material adecuado.
- Su circunferencia estará entre 70/68 cm.
- Su peso estará entre 410/450 gr.
- Su presión entre 0,6/1,1 atmósferas.

Regla 14: "El penal"

- Se lanzará desde el punto de penal.
- El guardameta defensor deberá permanecer sobre su propia línea de meta frente al ejecutor del tiro y entre los postes de la meta hasta que el balón esté en juego.
- El balón está en juego en el momento en que es pateado y se pone en movimiento.

Regla 10: "El gol marcado"

- Se habrá marcado un gol cuando el balón haya traspasado totalmente la línea de meta entre los postes y por debajo del travesaño.

Procedimiento

En la figura 1 se muestra la representación vectorial del problema. A continuación procederemos al desarrollo del proceso biomecánico del problema.

Respecto al balón

- Posición inicial del balón: Z_0
- Velocidad inicial del balón: $\vec{V}_{oB} = V_{oB} \cos \alpha \vec{k} + V_{oB} \sin \alpha \vec{i}$

- Ecuaciones paramétricas del balón:

$$Z = -V_{oB} \cos \alpha t + Z_0$$

$$X = V_{oB} \sin \alpha t$$

Respecto al portero

- Posición inicial del portero: 0
- Velocidad inicial del portero: $\vec{V}_{oP} = V_{oP} \cos \beta \vec{i} + V_{oP} \sin \beta \vec{j}$
- Ecuaciones paramétricas del portero:

$$Y = -\frac{1}{2}gt^2 + V_{oP} \sin \beta t$$

$$X = V_{oP} \cos \beta t$$

- ♦ Para que el portero pare el balón, ambos tienen que tener la misma posición en el mismo instante.
- ♦ El portero para el balón en el suelo; o sea, cuando $Y = 0$.

Instante en que $Y = 0$:

$$0 = -\frac{1}{2}gt^2 + V_{oP} \sin \beta t = (-\frac{1}{2}gt + V_{oP} \sin \beta) t$$

Soluciones

$T_1 = 0$ NO VÁLIDA

$$T_2 = \frac{2 \cdot V_{oP} \cdot \sin \beta}{g}$$

2) En este instante T_2 , $X = X_p$:

$$X_p = V_{oP} \cos \beta t_2 = \frac{V_{oP} \cdot \cos \beta \cdot 2 \cdot V_{oP} \cdot \sin \beta}{g}$$

Además, en ese mismo instante, $Z = 0$ y $X = X_p$ para el balón:

$$0 = -V_{oB} \cos \alpha t_2 + Z_0 = -\frac{V_{oB} \cdot \cos \alpha \cdot 2 \cdot V_{oP} \cdot \sin \beta}{g} + Z_0$$

$$2) X_p = \frac{V_{oB} \cdot \sin \alpha \cdot 2 \cdot V_{oP} \cdot \sin \beta}{g}$$

Igualando las dos posiciones (1) y (2), haciendo coincidir la posición del portero y del balón:

$$\frac{V_{oP} \cos \beta \cdot 2 \cdot V_{oP} \sin \beta}{g} = \frac{V_{oB} \cdot \sin \alpha \cdot 2 \cdot V_{oP} \cdot \sin \beta}{g}$$

deducimos la relación de las velocidades de despegue del balón y portero:

$$V_{oB} = \frac{V_{oP} \cos \beta}{\sin \alpha}$$

Vo Balón (m/s)	Vo Balón (km/h)	T Balón (ms)	Vo Portero (m/s)	Vo Portero (km/h)	T Portero (ms)
1	3,60	11.806	0,34	1,22	11.701
5	18,00	2.361	1,70	6,12	2.340
10	36,00	1.181	3,40	12,24	1.170
12	43,20	984	4,08	14,69	975
14	50,40	843	4,76	17,14	836
15	54,00	787	5,10	18,36	780
16	57,60	738	5,44	19,58	731
17	61,20	694	5,78	20,81	688
18	64,80	656	6,12	22,03	650
19	68,40	621	6,46	23,26	616
20	72,00	590	6,80	24,48	585
21	75,60	562	7,14	25,70	557
22	79,20	537	7,48	26,93	532
23	82,80	513	7,82	28,15	509
24	86,40	492	8,16	29,38	488
25	90,00	472	8,50	30,60	468
26	93,60	454	8,84	31,82	450
27	97,20	437	9,18	33,05	433
28	100,80	422	9,52	34,27	418
29	104,40	407	9,86	35,50	403
30	108,00	394	10,20	36,72	390
31	111,60	381	10,54	37,94	377
32	115,20	369	10,88	39,17	366
33	118,80	358	11,22	40,39	355
34	122,40	347	11,56	41,62	344
35	126,00	337	11,90	42,84	334

Tabla 3.

Para obtener los tiempos que tarda el balón en llegar al poste y el portero en llegar a detener el balón (poste), nos basta con despejarlo de las igualdades siguientes:

a) Tiempo que tarda el portero en llegar al poste:

$$X_p = X_{\text{portero}} \quad X_p = V_o P \cos \alpha t \quad t = \frac{X_p}{V_o P \cdot \cos \beta}$$

b) Tiempo que tarda el balón en llegar al poste:

$$X_p = X_b \quad X_p = V_o B \sin \alpha t \quad t = \frac{X_p}{V_o B \cdot \sin \alpha}$$

Una vez obtenidas aquellas ecuaciones que nos permitirán obtener los parámetros cinemáticos de eficacia; para poder llevar a cabo la simulación, sólo nos faltará conocer los siguientes ángulos:

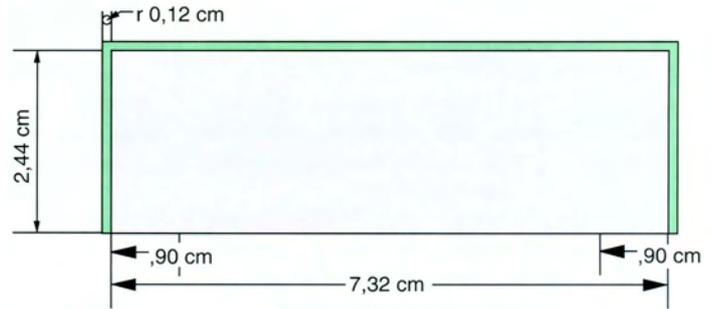


Figura 2.

- α o ángulo que forma una línea perpendicular a la línea de gol que pase por el punto de penalty y la línea que forma el punto de penalty con la base del poste.
- β o ángulo de despeje del portero.

El primero de ellos, por trigonometría obtenemos que:

$$\alpha = \text{arc tag} \frac{X_p}{Z_o} = \text{arc tag} \frac{3,66}{11} = 18,4^\circ$$

El segundo de ellos lo estimaremos teniendo en cuenta la consideración hecha anteriormente de las aptitudes del supuesto portero "Don Perfecto", lo que quiere decir que el ángulo dará al experimento la condición más desfavorable posible, pero dentro de la realidad.

El ángulo β estimado es: $22,5^\circ$.

En la tabla 3 se muestran las operaciones mostradas anteriormente. Se establece una correspondencia numérica entre todos los datos de cada línea para la cual el portero detendrá el balón en dicho instante. Para que esto no suceda, el valor de la velocidad del balón ha de ser el de la siguiente línea.

Conclusiones

Una vez realizado el análisis cinemático de esta acción, podemos decir:

- Si la velocidad de llegada del balón es entre 70 y 80 Km/h es imposible la intervención con éxito del portero.
- El éxito está asegurado, si cumple el apartado anterior, pero la zona a la cual es enviado el balón es la comprendida entre el poste y 90 cm (figura 2).
- La única posibilidad de intervención con éxito por parte del portero, sería una anticipación excesiva, o bien no partiera de una situación central, y el balón se dirigiera hacia la zona que el se encuentre.
- Para evitar, en el caso anterior, la eficacia del portero, el jugador que va a ejecutar la acción, únicamente debe observar la situación inicial del portero.

Bibliografía

- AGUADO, X. (1993), *Eficacia y técnica deportiva*. Barcelona: INDE.
- (1993), *Eficacia y Técnica en el Deporte*. Barcelona: INDE. AGUADO, X. e IZQUIERDO, M. (1995), *16 Prácticas de Biomecánica*. León: Universidad de León.
- ASAMI, T y NOLTE, V. (1983), "Analysis of powerful ball kicking". En M. Matsui y K. Kobayashi (ed). *Biomechanics*, VII-B pp. 695-699. Human Kinetics, Champaign, Illinois.
- ASAMI, T.; TOGARI, H.; KIKUCHI T. et al. (1976), "Energy efficiency of ball kicking". En P. V. Komi (ed) *Biomechanics V-B*, pp. 135-140. Baltimore: University Park Press.
- BARBERO, J. C. (1998), "El entrenamiento de los deportes de equipo basado en estudios biomecánicos (análisis cinemático) y fisiológicos (frecuencia cardíaca) de la competición". *Lecturas: Educación Física y Deportes. Revista Digital*. www.sirc.ca/revista. Año 3. n.º 11. Buenos Aires.
- BAUMLER, G. y SCHNEIDER, K. (1989), *Biomecánica deportiva. Fundamentos para el estudio y la práctica*. Barcelona: Martínez Roca S.A.
- CASTILLO, J. M.; RAYA, A.; OÑA, A. y MARTÍNEZ, M. A. (2000), "Entrenamiento específico para lanzadores de penaly". *Comunicación presentada en el I Congreso de la Asociación Española de Ciencias del Deporte. Vol. I*, ed. Facultad de Ciencias del Deporte. Universidad de Extremadura.
- EKBLÖM, B. (1999), *Manual de las ciencias de entrenamiento: Fútbol*. Barcelona: Paidotribo.
- GIANIKELLIS, K. (1998), *Biomecánica de la actividad física y el deporte*. Inéditos. Facultad de Ciencias del Deporte. Universidad de Extremadura.
- GUTIÉRREZ, M. (1988), *Apuntes asignatura Biomecánica*. Granada: INEF.
- (1988), *Estructura biomecánica de la motricidad*. Granada: INEF Granada.
- GUTIÉRREZ, M.; SOTO, V. M.; y MARTÍNEZ, M. (1990), *Sistema de análisis computerizado para el movimiento humano*. Málaga: Uniesport/Junta de Andalucía.
- HERNÁNDEZ MORENO, J. (1994), *Análisis de las estructuras del juego deportivo*. Barcelona: Publicaciones INDE.
- ISOKAWA, M. y LEES A. (1988), "A biomechanical analysis in the instep kick motion in soccer". En T. Reilly, A. Lees, K. Davids y W. J. Murphy (eds.) *Science and Football*, pp. 449-455, London: E. & EN. Spon.
- LUHTANEN P. (1984), Development in biomechanical model of in-step kicking in football players (en Finnish). Report of the Finnish FA I/1984. Helsinki, Finland.
- LUHTANEN P. (1988), "Kinematics and Kinetics of max step kicking in soccer". En T. Reilly, A. Lees, W. J. Davi Murphy (eds) *Science and Football*, pp. 441 London: E & EN. Spon.
- NARIQ M. V.; SIRTORI M. D. y MOGNONI P. (1988), "Maximal ball velocity and peak torques of hip flexor and knee extensor muscles". En T. Reilly T., A. Lees, K. Davids y W.J. Murphy. (eds.), *Science and Football*, pp. 429-433. London: E. & EN. Spon.
- RIERA RIERA, J. (1986), "Análisis cinemático de los desplazamientos en la competición de baloncesto". *Revista de investigación y documentación sobre ciencias de la E.F. y D.*, vol. 2, n.º 3, pp. 31-42; Madrid.
- RIERA, J. y AGUADO, X. (1989), "Sistema informático para medir los desplazamientos en competición". *Apuntes: Educació física i esports*, vol. Marzo, n.º 15, págs. 61-64; Barcelona, Marzo.
- ROBERT, E. M. y METCALFE, A. (1968), "Mechanical analysis of kicking". En Watenweiler J.; Jokl E. y Habblinck m (eds) *Biomechanics I*, pp. 315-319. Baltimore: University Park Press.
- ROBERTSON, D. G. E. y MOSHER, R. E. (1985). "Work and power of the leg muscles in soccer kicking". En Winter D. A. (ed.) *Biomechanics IX-B*, pp. 533-538. Human Kinetics, Champaign, Illinois.
- ZARAGOZA CASTERAD, J. (1996). "Baloncesto: Conclusiones para el entrenamiento a partir del análisis de la actividad competitiva". *Revista de Entrenamiento Deportivo*, n.º 2, pp. 22-27. Barcelona.