

Anàlisi cinemàtica del penal al futbol

José Pino Ortega

*Doctor en Ciències
de l'Activitat Física i Esport
Professor de la Facultat de Ciències de l'Esport
Universitat d'Extremadura*

Guillermo Jorge Olcina Camacho Francisco Selva Medrano

*Alumnes de 4t curs
de la Facultat de Ciències de l'Esport
Universitat d'Extremadura*

Paraules clau

anàlisi cinemàtica, futbol, penal,
velocitat de la pilota (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 km/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.

Resum

En aquest treball hem realitzat una anàlisi cinemàtica per conèixer la velocitat òptima de la pilota en l'execució del penal en el futbol. Hem comprovat que si la pilota es dirigeix entre el pal i 90 centímetres d'aquest a una velocitat entre 60 i 70 km/h és pràcticament impossible interceptar-ne la trajectòria per part del porter. Per tant, es tracta d'aplicar sistemes d'entrenament que compleixin aquests requisits.

Introducció

En un bon nombre d'ocasions, al llarg de la història del futbol, l'execució d'un penal ha estat decisiu per dilucidar l'equip vencedor d'un partit, o fins i tot d'una competició. Com a conseqüència d'això, seria de summe interès aconseguir un sistema d'entrenament d'aquesta mena d'execucions, que no estigués basat (com fins ara) en aspectes intuïtus o merament experimentals.

L'objectiu principal d'aquest treball és realitzar una anàlisi cinemàtica per analitzar la situació i determinar la velocitat òptima de la pilota per reduir l'eficàcia del porter i, des del coneixement d'aquestes dades, poder plantejar mètodes d'entrenament per tal d'augmentar l'eficàcia d'aquesta situació.

Revisió bibliogràfica

La velocitat de la pilota en el cop amb l'empenya fet per jugadors de futbol experts ha estat enregistrada com de 17-18 m/s per diversos investigadors (Roberts i Metcalfe, 1968; Roberts i cols., 1974; Asami i cols., 1976; Asami i Nolte, 1983; Luthanen, 1984; Robertson i Mosher, 1985; Isokawa i cols., 1988; Luhtanen, 1988a; Narici i cols., 1988). S'ha suggerit (Roberts i Metcalfe, 1968) que la velocitat del peu just abans del contacte és aproximadament de 18-24 m/s, i quan el contacte és bo la velocitat de la pilota pot arribar a ser 7 m/s més ràpida que la del peu. Els càlculs del Campionat Mundial d'Itàlia de 1990 a la televisió van indicar que les velocitats desenvolupades pels millors jugadors professionals podrien arribar a ser de 32 - 35 m/s (Ekblom, 1999).

A continuació recollim dos estudis sobre el xut del penal. En el primer, Gayoso (1982) diu que al llarg de la competició 1980/81 de la Lliga de la Primera Divisió es van sancionar 116 penals, dels quals es van transformar en gol 81, cosa que suposa el 69,8 % dels sancionats. Aquesta quantitat de gols aconseguits mitjançant els penals, suposa un 19,7 % del total dels gols aconseguits en tot el campionat. Es van sancionar en cada jornada 3,4 penals, dels quals van ser transformats 2,3 penals. El 31,4 % va ser executat amb la cama esquerra i el 68,5 % es va llançar amb la cama dreta.

Álvarez (1994) va analitzar l'efectivitat en l'execució del penal i va arribar a les conclusions següents: es va assenyalar un penal, gairebé, cada tres partits; en 14 partits es xiulà més d'un penal i en dos se'n van xiular fins a tres (taula 1).

A la taula 2 es mostra la superfície d'execució dels penals, dades obtingudes igualment de l'estudi d'Álvarez (1994).

Gairebé la totalitat dels jugadors que van executar el penal van ser dretans. Solament 11 dels 106 penals marcats, es van executar amb el peu esquerre.

D'altra banda, Raya i Navarro (1990), van analitzar el gest tècnic del penal en el Mundial de Futbol de Mèxic '86. La hipòtesi de partida d'aquests autors va ser que "és més fàcil enviar la pilota cap al costat contrari del peu executor, sempre que s'utilitzi com a superfície de contacte l'empenya total o l'empenya interior, que són els que més velocitat donen a la pilota, i a més a més representa el gest més natural per a l'atacant". Van analitzar 39 penals i van arribar a la conclusió que existia una correlació positiva (1) del 74,35 % i una correlació negativa (2) en un 25,64 % dels casos.

Definició de biomecànica. Estructura piramidal del terme

En aquest apartat passem a definir alguns termes relacionats amb la biomecànica.

Bioenginyeria. Ciència que aplica tota mena de coneixements físics, matemàtics i tecnològics per resoldre problemes biològics. Per això és competència de la Bioenginyeria l'estudi de tots els fenòmens biològics i a tots els nivells.

Enginyeria biomèdica. Ciència que aplica tota mena de coneixements físics, matemàtics i tecnològics per resoldre problemes biològics humans a tots els nivells.

Biomecànica de l'aparell locomotor. Són nombroses les definicions d'aquest terme; en destaquem les següents:

- Coneixement del paper que juguen les forces mecàniques que produeixen els moviments, el seu suport autònom, la iniciació neurològica, el control integrat i la percepció, igual com el seu disseny central (UNESCO 1971).
- D'altra banda, el 1971, l'Escola Soviètica de Biomecànica la defineix com a la "Ciència que estudia els moviments de l'home i la seva coordinació".
- El 1972, l'Associació Americana de l'Enginyeria Biomecànica la defineix com a "els estudis del cos humà com a sistema, sota les lleis de la mecànica newtoniana i les lleis biològiques".
- Per a l'Institut Valencià de Biomecànica, Societat Ibèrica de Biomecànica (1992), representa un conjunt de moviments interdisciplinaris generats a partir de l'ús dels coneixements de mecànica i de diverses tecnologies, amb el suport d'altres Ciències Biomèdiques, per a:
 - ◆ L'estudi de la conducta dels sistemes biològics, en particular de l'home.
 - ◆ Resoldre problemes que provoquen les distintes condicions mecàniques a què pot veure's sotmès.

BIOMECÀNICA = BIO + MECANICA ⇨ Mecànica dels éssers vius

La Biomecànica de l'aparell locomotor té tres camps d'aplicació:

- **Biomecànica ocupacional.** Part de l'Ergonomia. Estudia els mateixos continguts que la Biomecànica de l'aparell locomotor però intenta adaptar la condició de l'entorn a l'home i garantir-ne la salut laboral.

(1) Correlació positiva és aquella en què el jugador llança la pilota cap al costat contrari respecte al peu executor (Raya i Navarro 1990).

(2) Correlació negativa és aquella en què el jugador llança la pilota cap al mateix costat del peu executor (Raya i Navarro 1990).

PENALT	NÚMERO
Assenyalats	108
Marcats	104
Marcats després de refús	2
Fallats	2

Taula 1. Efectivitat en l'execució de penals (Álvarez, 1994).

SUPERFÍCIE DE CONTACTE	NÚMERO
Interior del peu dret	50
Empenya total del peu dret	23
Interior del peu dret	22
Empenya total del peu esquerre	11

Taula 2. Superfície d'execució dels penals (Álvarez, 1994).

- **Biomecànica mèdica.** S'ocupa de temes com el disseny de pròtesis, de factors mecànics que produeixen la fractura d'ossos, de lligaments... així com de la recuperació, dels fixadors externs...
- **Biomecànica esportiva.** El seu objectiu és l'optimització de la tècnica esportiva, la prevenció de lesions i el disseny d'elements esportius segons criteris biomecànics. Les característiques més destacades en són:
 - Imprescindible per a l'esport d'alt rendiment per la seva incidència en l'aprenentatge de la tècnica esportiva que es pretén amb l'entrenament esportiu.
 - Imprescindible per a l'aprenentatge motriu que pretén el desenvolupament de la tècnica esportiva
 - Aquesta branca de la Biomecànica s'involucra en un cos de coneixement que s'anomena Teoria de l'Entrenament Esportiu.

Objectius de la biomecànica

Els objectius principals de la biomecànica els podem resumir en:

- Optimitzar la tècnica esportiva. Trobar la millor solució biomecànica d'un problema de moviment determinat, tenint en compte les característiques i els principis biològics que regeixen la conducta de l'aparell locomotor humà, les condicions de l'entorn i el reglament. *Tècnica esportiva*: solució biomecànica A, d'un problema de moviment que pot tenir solució B, C, D, d'acord amb les característiques i els principis biològics que regeixen la conducta de l'aparell locomotor humà, les condicions de l'entorn, el reglament i les situacions de joc. Per exemple: no té la mateixa solució biomecànica el xut d'una pilota en eixut que en fang.
- Establir principis biomecànics com a criteris generalitzats per a l'avaluació de la tècnica esportiva que permeten, en primer lloc, reconèixer les relacions causa-efecte que es produeixen durant el desenvolupament dels complexos patrons motors que caracteritzen la pràctica esportiva i, en segon lloc, valorar la qualitat de la tècnica esportiva i pronosticar-ne el rendiment. *Principis biomecànics*: criteris generalitzats que permeten avaluar els complexos patrons motors (tècnica) durant la pràctica esportiva. Pots tenir dues tècniques diferents i per tal d'avaluar-les i decidir quina és la idònia, es porten a terme en funció d'uns criteris determinats. Per exemple: veure quin és el grau de flexió de genoll idoni per al salt vertical. Criteri: principi de força inicial, quantitat de força que es realitza durant la flexió aplicable al futur salt. Per exemple: en salts, cops, llançaments... el criteri és que la velocitat d'arrencada sigui màxima, per això en un llançament de javelina, posem per cas, com més gran sigui la distància d'acceleració (distància mentre s'augmenta l'acceleració) més gran serà la velocitat d'enlairament i, doncs, la tècnica serà més eficaç i s'obtindran millors resultats.
- Aconseguir que els esportistes arribin tan aviat com sigui possible al seu màxim rendiment, procurant alhora evitar les lesions o d'altres problemes físics. La bio-

meccànica és sobretot important a l'entrenament, perquè és on més execucions es produeixen.

- Trobar mètodes d'investigació que no interfereixin en la relació normal del gest esportiu i proporcionar els resultats en el mínim de temps possible ("*just information*"), de manera que es puguin utilitzar immediatament. Qualsevol desenvolupament tecnològic de la Biomeccànica té aquest objectiu. Càmeres d'alta velocitat, transmissió de dades per telemetria...

$$\text{RENDIMENT} = \text{CONDICIONS INNATES} + \text{APRENTATGE} + \text{MOTIVACIÓ}$$

Jo puc incidir en l'Aprenentatge (coneixement del resultat; assaig-error) i en la Motivació (coneixement de l'execució; parametrització del gest en conceptes biomecànics).

- Fer que la informació obtinguda respecte als paràmetres biomecànics que determinen l'estructura del gest esportiu sigui utilitzada per enriquir la teoria de l'entrenament esportiu.
- Aconseguir la col·laboració a llarg termini de l'entrenador i el biomecànic per planificar l'entrenament. Així sorgeix la necessitat de valorar la tècnica esportiva en les distintes etapes de la preparació de l'esportista.
- Pronosticar l'evolució del rendiment, en funció dels canvis en la tècnica i del nivell de condició física.
- Interpretar troballes biomecàniques i establir-ne la relació amb les càrregues de l'entrenament.
- Utilitzar cada vegada més els postulats de la teoria de sistemes i de la biocibernètica per dissenyar els experiments i utilitzar els resultats en la pràctica esportiva.

Biomeccànica aplicada a l'alt rendiment

Podem enumerar com a objectius de la biomeccànica en l'alt rendiment, els següents:

- Identificar els factors o paràmetres que dificulten el perfeccionament de la tècnica i no permeten millorar el rendiment esportiu.
- Identificar els factors que són entrenables.
- Identificar els errors i les deficiències tècniques en el gest estudiat.
- Donar suport a l'entrenament esportiu optimitzant els factors identificats.
- Analitzar els exercicis d'entrenament i estudiar-ne l'eficàcia i la incidència sobre el rendiment desitjat. (important). És important conèixer els exercicis per a la millora de la tècnica:
 - ◆ Reproduir el moviment sencer.
 - ◆ Inventar exercicis que incloguin parts importants del moviment. Entrenar per fases. Una qüestió important: els exercicis s'han de basar en el punt 5è.
 - ◆ Els exercicis han de complir la transferència cinètica d'un esport a un altre.

Camps de la mecànica

La Mecànica és la part de la Física que estudia l'estat de repòs o de moviment dels cossos sota l'acció de les forces. Estudia el moviment dels cossos, bé en ell mateix (descrivint-lo), ben referit a les seves causes (les forces) i la falta de moviment (equilibri) amb relació a les forces que el provoquen. La Biomeccànica s'acostuma a dividir de la mateixa manera:

- **Estàtica:** estudi de les forces que determinen que els cossos es mantinguin en equilibri. Exemple: de quina forma un escalador es manté sobre unes preses o la manera com el surfista es manté sobre la planxa.
- **Dinàmica:** estudia el moviment o la manca d'aquest en relació amb les causes que el provoquen.
 - ♦ **Cinètica:** estudi de les forces que provoquen el moviment. Com a exemples tindríem l'estudi de les forces implicades en un llançament a cistella o durant la sortida d'un velocista.
 - ♦ **Cinemàtica:** part de la Biomecànica que estudia els moviments sense tenir en compte les causes que els produeixen; es dedica exclusivament a descriure'ls. Descriu les tècniques esportives o les diferents habilitats i recorreguts que l'home pot realitzar. Possibles exemples d'estudi podrien ser un llançament a cistella en bàsquet o la distància recorreguda pel base durant un partit.

Desenvolupament matemàtic i biomecànic per a l'obtenció de paràmetres cinemàtics d'eficàcia

En aquest apartat desenvoluparem un procés matemàtic basat en la biomecànica per obtenir el que hem anomenat paràmetres cinemàtics d'eficàcia; ens referirem, doncs, a:

- Velocitat de la pilota des del punt de penal fins a la base del pal.
- Temps que triga a recórrer la trajectòria esmentada.
- Velocitat d'arrencada del porter per aturar la pilota.
- Temps de moviment del porter.

Abans de començar aquest desenvolupament cal que es tinguin en compte algunes variables, com ara:

El punt o lloc d'eficàcia màxima

Es considera el lloc de màxima eficàcia el que es troba més allunyat de l'abast del porter: "la base del pal i zones properes (0,5 m)".

El porter

Es consideraran les condicions físiques del porter com les millors possibles.

L'anticipació

L'estudi de la situació de penal al futbol ha suscitat una atenció especial, ateses les investigacions que s'hi han dut a terme. Williamis & Burwitz (1993) constaten, utilitzant la tècnica d'oclusió temporal, que els porters experimentats intenten anticipar-se a la direcció del xut abans del contacte peu-pilota, i que en un 25 % de les ocasions encerten el costat de la porteria cap on es llança la pilota, encara que en un 61 % dels casos cometin error respecte a l'alçada de la trajectòria. A més a més, confirmen mitjançant un qüestionari que els indicis d'anticipació més valuosos utilitzats pels porters són el costat i l'angle en la correguda prèvia d'aproximació, l'arc que descriu la cama que xuta i la posició del maluc; aquesta darrera informació és la més valorada.

En termes similars s'expressen McMorris et. al. (1993), els quals acaben suggerint que el porter podria iniciar el moviment abans del contacte o esperar fins al contacte, tot i que no obtindria més informació significativa amb el seu retard, la qual cosa hauria de ser aprofitada per guanyar temps en l'execució del moviment.

D'altra banda, Fradua et al. (1994) realitzen un entrenament específic en diverses fases, tot alternant tant el paradigma d'oclusió temporal en sala de vídeo com les pràctiques de camp, per intentar millorar la utilització eficaç de preíndexs (precuing). Conclouen assenyalant, en primer lloc, que l'entrenament per a la percepció de preíndexs és més efectiu en alguns xuts enfront de llançadors que pensen anticipadament on enviaran la pilota sense mirar la posició del porter i, en segon lloc, que l'entrenament aplicat no va resultar gaire efectiu enfront de llançadors que esperen la resposta del porter i enfront d'aquells que tenen habilitat per modificar els seus moviments en l'últim moment del llançament. Pel que fa a Kulin (1988), aquest comprova que el penal sovint es llança a una velocitat superior a 75 km/h, i en aquest cas el porter disposa de 400 m per salvar la situació. En aquest temps, el porter ha d'esbrinar la trajectòria de la pilota, la velocitat, decidir la resposta més adequada i executar-la. És improbable que el porter pugui fer-ho tot plegat en menys de 400 m. McMorris & Colenso (1996) afirmen que és més probable que alguns porters professionals hagin après a usar els índexs d'informació pre-contacte i contacte de manera més eficaç que porters no experimentats, com s'esdevé en el cas de McMorris et al. (1993), on es van utilitzar, com a porters, col·legials.

Força de fregament de la pilota amb el terra i l'aire

Pràcticament no es tindrà en compte, ja que:

- A l'alta velocitat amb què es desplaça la pilota tindrà un caràcter ínfim.
- L'herba és una superfície que permet un bon lliscament de la pilota.

El reglament

Tot el treball es troba sotmès a les regles formulades per la "International Football Association Board" sobre el llançament de penal i d'altres aspectes que ens interessen aquí:

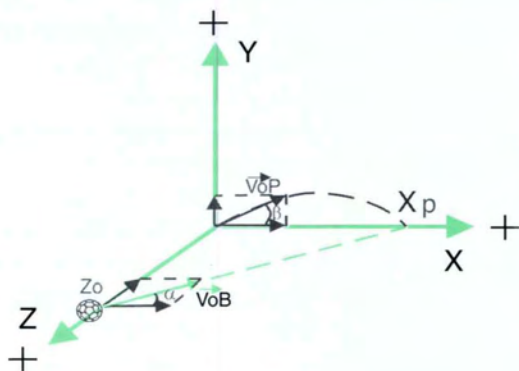


Figura 1.

Regla 1: "El terreny de joc"

- Porteries
La distància entre els pals és de 7,32 m i des de la vora del travesser a terra és de 2,44 m.
- A cada àrea de penal es marcarà un punt de penal a onze metres de distància des del punt mitjà de la línia entre tots dos pals.

Regla 2: "La pilota"

- Serà de cuir o d'un altre material adequat.
- Tindrà una circumferència d'entre 70/68 cm.
- El pes serà d'entre 410/450 gr.
- La seva pressió es trobarà entre 0,6/1,1 atmosferes...

Regla 14: "El penal"

- Es llançarà des del punt de penal.
- El porter defensor haurà de romandre sobre la seva pròpia línia de meta i entre els pals, en front de l'executor del xut, fins que la pilota estigui en joc.
- La pilota està en joc en el moment en què és xutada i es posa en moviment.

Regla 10: "El gol marcat"

- S'haurà marcat un gol quan la pilota hagi traspasat completament la línia de meta entre els pals i per sota el travesser.

Procediment

A la figura 1 es mostra la representació vectorial del problema. A continuació procedirem a desenvolupar el procés biomecànic del problema.

Respecte de la pilota

- Posició inicial de la pilota: Z_0 .
- Velocitat inicial de la pilota: $\vec{V}_{oB} = V_{oB} \cos \alpha \vec{i} + V_{oB} \sin \alpha \vec{j}$

- Equacions paramètriques de la pilota:

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

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

Respecte del porter

- Posició inicial del porter: 0
- Velocitat inicial del porter: $\vec{V}_{oP} = V_{oP} \cos \beta \vec{i} + V_{oP} \sin \beta \vec{j}$
- Equacions paramètriques del porter:

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

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

- Perquè el porter aturi la pilota, tots dos han de tenir la mateixa posició en el mateix instant.
- El porter atura la pilota a terra; és a dir, quan $Y = 0$.

Instant en què $Y = 0$:

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

Solucions

$$T_1 = 0 \text{ NO VÀLIDA}$$

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

2) En aquest instant T_2 , $X = X_p$:

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

A més a més, en aquest mateix instant, $Z = 0$ y $X = X_p$ per a la pilota:

$$0 = -V_{oB} \cos \alpha T_2 + Z_0 = -\frac{V_{oB} \cdot \cos \alpha \cdot 2 \cdot V_{oP} \cdot \sin \beta}{g} + Z_0$$

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

Igualant les dues posicions (1) i (2), fent coincidir la posició del porter i de la pilota:

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

deduïm la relació de les velocitats d'arrencada de la pilota i del porter:

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

Vo Pilota (m/s)	Vo Pilota (km/h)	T Pilota (ms)	Vo Porter (m/s)	Vo Porter (km/h)	T Porter (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

Taula 3.

Per obtenir els temps que triga la pilota a arribar al pal i el porter a aturar la pilota (pal), n'hi ha prou d'aïllar-ho de les igualtats següents:

a) Temps que triga el porter a arribar al pal:

$$X_p = X_{\text{porter}} \quad X_p = V_{oP} \cos \alpha \cdot t \quad t = \frac{X_p}{V_{oP} \cdot \cos \beta}$$

b) Temps que triga la pilota a arribar al pal:

$$X_p = X_b \quad X_p = V_{oB} \sin \alpha \cdot t \quad t = \frac{X_p}{V_{oB} \cdot \sin \alpha}$$

Un cop obtingudes les equacions que ens permetran d'obtenir els paràmetres cinemàtics d'eficàcia; per poder portar a terme la simulació, només ens caldrà conèixer els angles següents:

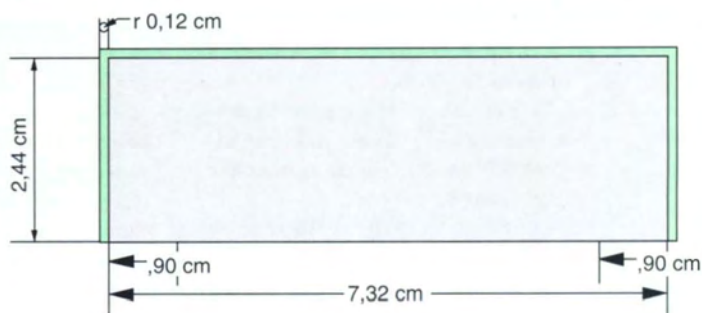


Figura 2.

- α o angle que forma una línia perpendicular a la línia de gol que passi pel punt de penal i la línia que forma el punt de penal amb la base del pal.
- β o angle d'arrencada del porter.

Del primer, per trigonometria, obtenim que:

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

El segon, l'estimarem tenint en compte la consideració feta anteriorment de les aptituds d'un suposat porter, el "senyor Perfecte", cosa que vol dir que l'angle donarà a l'experiment la condició més desfavorable possible, dintre, però, de la realitat.

L'angle β estimat és: $22,5^\circ$.

A la taula 3 es poden veure les operacions mostrades anteriorment. S'estableix una correspondència numèrica entre totes les dades de cada línia per a la qual el porter aturarà la pilota en l'instant esmentat. Perquè això no passi, el valor de la velocitat de la pilota ha de ser el de la línia següent.

Conclusions

Un cop realitzada l'anàlisi cinemàtica d'aquesta acció, podem dir:

- Si la velocitat d'arribada de la pilota és d'entre 70 i 80 km/h és impossible la intervenció amb èxit del porter.
- L'èxit es troba assegurat, si compleix l'apartat anterior, però la zona a la qual és enviada la pilota és la compresa entre el pal i 90 cm (figura 2).
- L'única possibilitat d'intervenció amb èxit per part del porter, seria una anticipació excessiva, o bé que no partís d'una situació central, i que la pilota es dirigís cap a la zona on ell es troba.
- Per evitar, en el cas anterior, l'eficàcia del porter, només cal que el jugador que executa l'acció observi la situació inicial del porter.

Bibliografia

- AGUADO, X. (1993), *Eficacia y técnica deportiva*. Barcelona: INDE.
- (1993), *Eficacia y Técnica en el Deporte*. Barcelona: INDE. AGUADO, X. i IZQUIERDO, M. (1995), *16 Prácticas de Biomecánica*. León: Universitat de León.
- ASAMI, T. i NOLTE, V. (1983), "Analysis of powerful ball kicking". A. M. Matsui i K. Kobayashi (ed). *Biomechanics*, VII-B pàg. 695-699. Human Kinetics, Champaign, Illinois.
- ASAMI, T.; TOGARI, H.; KIKUCHI T. et al. (1976), "Energy efficiency of ball kicking". A. P. V. Koni (ed) *Biomechanics* V-B, pàg. 135-140. Baltimore: Univerty 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. Any 3. núm. 11. Buenos Aires.
- BAUMLER, G. i SCHNEIDER, K. (1989), *Biomecánica deportiva*. Fundamentos para el estudio y la práctica. Barcelona: Martínez Roca S.A.
- CASTILLO, J. M.; RAYA, A.; OÑA, A. i 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.
- EKBLOM, B. (1999), *Manual de las ciencias de entrenamiento: Fútbol*. Barcelona: Paidotribo.
- GIANIKELLIS, K. (1998), *Biomecánica de la actividad física y el deporte*. Inèdits. Facultat de Ciències de l'Esport. 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.; i 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. i LEES A. (1988), "A biomechanical analysis in the instep kick motion in soccer". A. T. Reilly, A. Lees, K. Davids i W. J. Murphy (eds.), *Science and Football*, pàg. 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 1/1984. Helsinki, Finland.
- LUHTANEN P. (1988), "Kinematics and Kinetics of max step kicking in soccer". A. T. Reilly, A. Lees, W. J. Davi Murphy (eds.) *Science and Football*, pàg. 441 London: E & EN. Spon.
- NARIQ M. V.; SIRTORI M. D. i MOGNONI P. (1988), "Maximal ball velocity and peak torques of hip flexor and knee extensor muscles". A. T. Reilly T., A. Lees, K. Davids i W.J. Murphy. (eds.), *Science and Football*, pàg. 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, núm. 3, pàg. 31-42; Madrid.
- RIERA, J. i AGUADO, X. (1989), "Sistema informático para medir los desplazamientos en competición". *Apuntes: Educació física i esports*, vol. Març, núm. 15, pàg. 61-64; Barcelona, Març.
- ROBERT, E. M. i METCALFE, A. (1968), Mechanical analysis of kicking. A. Watenweiler J.; Jokl E. i Habblinck m (eds.) *Biomechanics* I, pàg. 315-319. Baltimore: University Park Press.
- ROBERTSON, D. G. E. i MOSHER, R. E. (1985), Work and power of the leg muscles in soccer kicking. A. Winter D. A. (ed.), *Biomechanics IX-B*, pàg. 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*, núm. 2, pàg. 22-27; Barcelona.