

**Análisis de las trayectorias de los  
movimientos parabólicos que se originan por  
medio de las actividades deportivas  
relacionadas con el balompié a ser realizadas  
en una cancha**

**Analysis of the trajectories of the parabolic movements that  
originate through sports activities related to football to be  
carried out on a field**

**Enilda Josefa Palacio Olivares \***

**Douglas Hurtado Carmona \*\***

\*Maestrante en Gerencia de Proyectos de Investigación y Desarrollo, Especialización en sistema y auditoria en salud, Nutricionista Dietista, Docente Catedrático, Universidad del Atlántico, Barranquilla. enildapalacio@mail.uniatlantico.edu.co, enildajpalacio@gmail.com

\*\* Doctor en Gestión de la Innovación. Magister en Ingeniería de Sistemas y Computación. Ingeniero de Sistemas, Docente Investigador Politécnico dela Costa Atlántica, Barranquilla. dhurtadoc@pca.edu.co

**Fecha de recepción:** 11 de agosto de 2019

**Fecha de aceptación:** 18 de noviembre 2019

**Citación:**

Palacio, E. y Hurtado Carmona, D. (2019). Análisis de las trayectorias de los movimientos parabólicos que se originan por medio de las actividades deportivas relacionadas con el balompié a ser realizadas en una cancha. Gestión, Competitividad e innovación(Julio-Diciembre 2019), 29-41.

## RESUMEN

*El presente análisis tiene como objetivo evidenciar las características, velocidades, ángulos, alcances y trayectorias de los movimientos parabólicos que se originan por medio de las actividades deportivas relacionadas con el balompié a ser realizadas en la cancha. Adicionalmente, encontrar evidencias que permitan hallar la altura mínima de la malla de protección de la cancha en cuestión con el fin de evitar daños a las propiedades circundantes dentro de conjunto residencial.*

**Palabras Claves:** *Movimientos parabólicos, balompié, altura malla.*

## ABSTRACT

*The present analysis aims to show the characteristics, speeds, angles, ranges and trajectories of the parabolic movements that originate through the sports activities related to football to be carried out on the field. Additionally, find evidence that allows finding the minimum height of the protective mesh of the field in question in order to avoid damage to the surrounding properties within the residential.*

**Keywords:** *Parabolic movements, football, mesh height.*

## 1. Introducción

La Cancha objeto de estudio, es una para la práctica de actividades deportivas de balompié tales como microfútbol, fútbol playa, mini fútbol y deportes afines. Tiene aproximadamente 21.3 metros de largo y 11.5 metros de ancho ubicada entre los bloques de las torres habitacionales de 5 pisos numeradas como 8, 9 y 10, 11. En su parte de porterías (parte ancha de la cancha) tiene una malla protectora de 11.5 metros de ancho y 3.6 metros de alto.

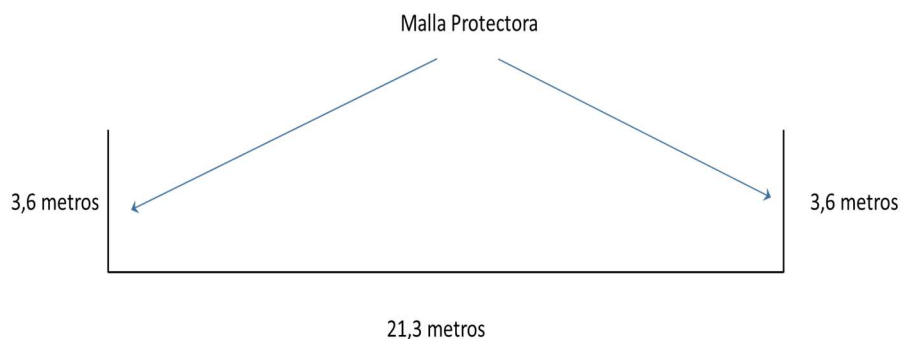


Figura 1(a). Dimensiones de la Cancha

El punto medio de la cancha corresponden a 10.65 metros y es tomado como referencia como impulso y distancia para los disparos.

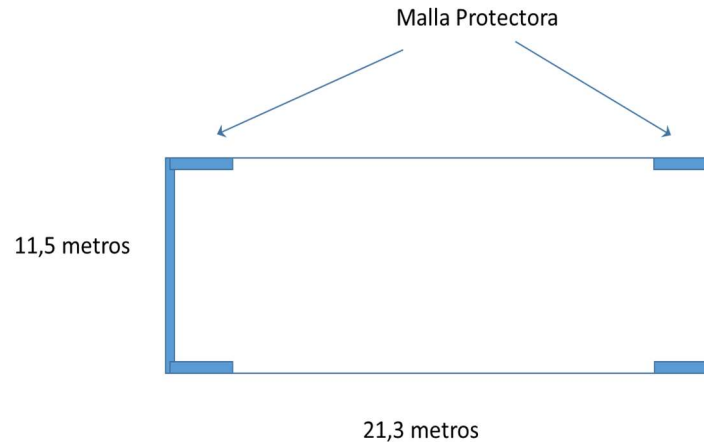


Figura 1 (b). Ubicación de la Malla protectora

## 2. Consideraciones para el análisis

El movimiento parabólico es un movimiento en el que el objeto que se mueve describe una parábola, y en el caso especial de los tipos de pelota, este es el movimiento que los describe. En ese orden de ideas se usaron las siguientes ecuaciones, a saber:

**Tabla 1. Ecuaciones del movimiento parabólico completo**

<i>Descripción</i>	<i>Fórmula</i>
<i>Altura máxima del objeto</i>	$y_{\max} = \frac{v_0^2 \sin^2 \theta}{2g}$
<i>Distancia máxima recorrida por el objeto</i>	$x_{\max} = \frac{v_0^2 \sin(2\theta)}{g}$
<i>Ecuación de la parábola</i>	$y = x \tan \theta - \frac{gx^2}{2v_0^2 \cos^2 \theta}$
<i>Ecuaciones de las componentes en la velocidad</i>	$v_x = v_0 \cdot \cos \theta_0$ $v_y = v_0 \cdot \sin \theta_0 - g \cdot t$
<i>Ubicación horizontal y vertical del objeto</i>	$x = v_0 \cdot \cos \theta_0 \cdot t$ $y = v_0 \cdot \sin \theta_0 \cdot t - \frac{1}{2} g \cdot t^2$

Entre las consideraciones que se tienen en cuenta están, que el valor de la gravedad de la tierra es tomada con el valor de 9.8 metros sobre segundo al cuadrado (m/s<sup>2</sup>); no considerar la resistencia del aire en el movimiento parabólico.

Un disparo a la pelota con las extremidades inferiores se realiza por medio de una velocidad que le imprime el pie y un ángulo con respecto a la horizontal. En cuanto a la velocidad de se le imprime, se tome como referencia el valor máximo, primero, con la patada de fútbol más rápida (Fastest football kick) es de 129 km/h lograda por Francisco Javier Galán Marín (España) descrita en los Guinness Record (<https://www.guinnessworldrecords.com/>) Madrid,

España el 29 de octubre de 2001; y segundo, con lo expuesto en el artículo del New York Times titulado “Ronaldo May Look Like the Best, but There Is Someone Better” en cual describe la potencia del jugador profesional de futbol Cristiano Ronaldo al tenor de 130 km/h. (<https://www.nytimes.com/2011/09/14/sports/soccer/14iht-soccer14.html>)

En definitiva se toma como velocidad máxima de disparo a 130 km/h que equivalen a 36.11 m/s, en consideración a los aficionados que practican actividades deportivas de balompié en la cancha objeto de estudio se tendrá como máximo un disparo hasta la mitad de este valor con registro record y del conocidos futbolista Ronaldo. En consecuencia, para el presente informe se tomará valores máximos de disparo de pelota de 65 km/h (18.05 m/s).

En cuanto a los ángulos, es usual que se consideren en disparos con balón a un arco el rango completo de 0° a 90°, el 0° es completamente horizontal y 90° es tiro hacia arriba, siendo con curvas parabólicas características los ángulos del 30 a 80 grados que se tomaran para el análisis.

### 3. Trayectorias que sobrepasan la malla

#### Análisis con velocidad inicial del 30% de Fastest football kick

Con un 30% de velocidad inicial para el movimiento parabólico de un disparo dentro de la Cancha objeto de estudio, se tienen los siguientes cálculos:

Se inicia el análisis con una velocidad inicial del 30% del Fastest football kick que corresponde a  $V_0 = (36.11 \text{ m/s}) * 0.30 = 10.833 \text{ m/s}$ , que representa una velocidad baja de 39 km/h se discrimina en la Tabla 2 los cálculos de las “y” a partir de la ecuación de la trayectoria en los ángulos  $\theta$  de 30° hasta 80°

**Tabla 2. Valores de “Y” en la ecuación trayectorias parabólicas para la  $V_0 = 10.833$  m/s en el rango de ángulos  $\theta$**

$y = x \tan \theta - \frac{gx^2}{2v_0^2 \cos^2 \theta}$											
X	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°
1	0,52	0,64	0,77	0,92	1,09	1,30	1,57	1,91	2,39	3,11	4,29
2	0,93	1,15	1,39	1,67	1,98	2,35	2,80	3,35	4,07	4,97	5,80
3	1,23	1,54	1,88	2,25	2,67	3,14	3,69	4,33	5,03	5,59	4,55
4	1,42	1,81	2,22	2,66	3,15	3,68	4,26	4,84	5,28	4,96	0,53
5	1,50	1,95	2,42	2,91	3,43	3,97	4,49	4,88	4,81	3,08	-6,26
6	1,46	1,96	2,47	2,99	3,51	4,00	4,38	4,45	3,64	-0,05	-15,82
7	1,31	1,85	2,39	2,91	3,39	3,78	3,94	3,56	1,74	-4,42	-28,15
8	1,06	1,62	2,16	2,66	3,07	3,30	3,17	2,20	-0,86	-10,03	-43,25
9	0,69	1,26	1,79	2,24	2,54	2,57	2,06	0,37	-4,18	-16,90	-61,11
10	0,21	0,78	1,28	1,65	1,81	1,59	0,62	-1,93	-8,22	-25,01	-81,75
11	-0,39	0,17	0,62	0,90	0,88	0,35	-1,16	-4,70	-12,96	-34,36	-105,16
12	-1,09	-0,56	-0,18	-0,02	-0,25	-1,14	-3,26	-7,93	-18,43	-44,97	-131,33

Como determina la Figura 2(a), con un incremento cercano a los 1.8 m/s se da un decremento de las trayectorias que no pasan la barrera de los 3.6 metros de la malla hasta de 45.45%, en concordancia con ángulos bajos con respecto a la horizontal. Por su parte se incrementa las trayectorias que si sobrepasan la malla de protección de la cancha en un 54.54%. Ver Figura 2(b)

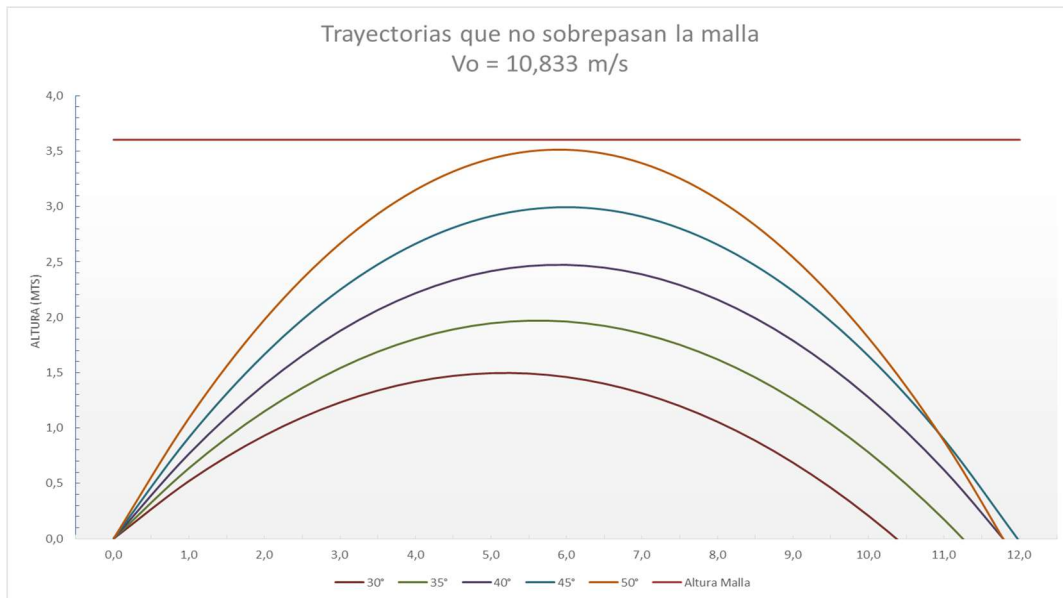


Figura 2(a). Trayectorias de football kick que no sobrepasan la malla con Vo= 10.833 m/s

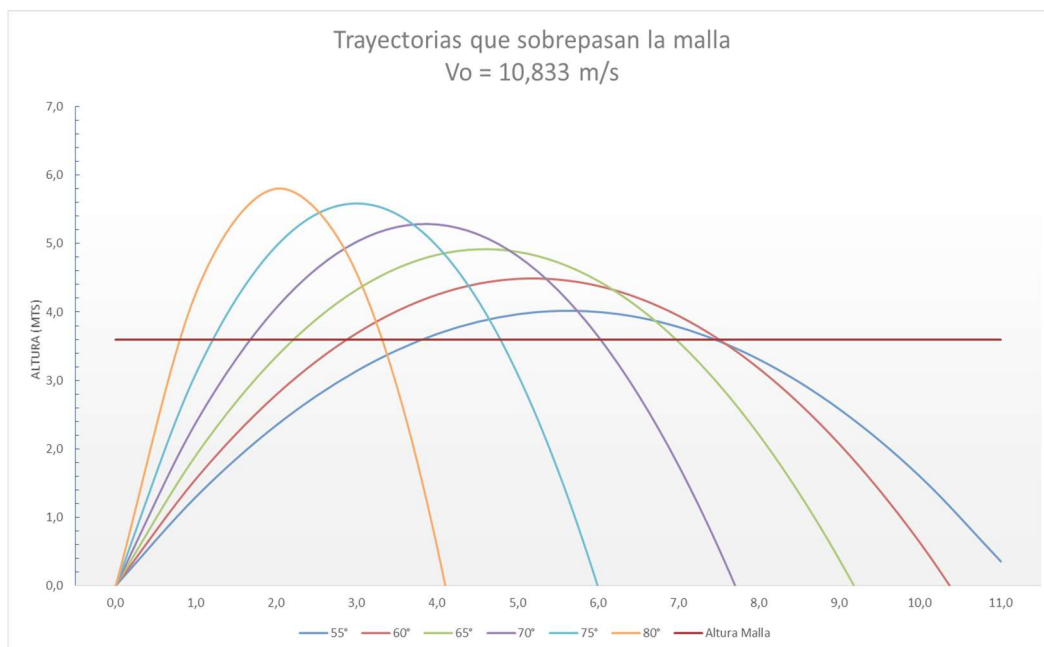


Figura 2(b). Trayectorias de football kick que sobrepasan la malla con Vo= 10.833 m/s

### Análisis con velocidad inicial del 40% de Fastest football kick

El 40% del Fastest football kick que atañe a tener una  $V_0 = (36.11 \text{ m/s}) \cdot 0.40 = 14.44 \text{ m/s}$ . Realizando los cálculos de las coordenadas de las trayectorias parabólicas de los tiros con el rango de ángulos  $\theta$  de  $30^\circ$  hasta  $80^\circ$ . El comportamiento se describe a continuación en las Tabla 3 y en las Figuras 3(a) y 3(b).

**Tabla 3. Valores de “Y” en la ecuación trayectorias parabólicas para la  $V_0 = 14.44 \text{ m/s}$  en el rango de ángulos  $\theta$**

$y = x \tan \theta - \frac{gx^2}{2v_0^2 \cos^2 \theta}$											
X	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°
1	0,55	0,67	0,80	0,95	1,13	1,36	1,64	2,01	2,55	3,38	4,89
2	1,03	1,26	1,52	1,81	2,16	2,57	3,09	3,76	4,69	6,06	8,23
3	1,45	1,79	2,16	2,58	3,06	3,64	4,35	5,25	6,44	8,04	10,00
4	1,81	2,24	2,72	3,25	3,86	4,57	5,43	6,47	7,78	9,32	10,22
5	2,10	2,63	3,19	3,83	4,54	5,36	6,31	7,44	8,72	9,90	8,89
6	2,34	2,94	3,59	4,31	5,10	6,00	7,01	8,13	9,26	9,77	5,99
7	2,51	3,19	3,91	4,70	5,56	6,50	7,52	8,57	9,39	8,95	1,54
8	2,61	3,36	4,15	4,99	5,90	6,86	7,84	8,74	9,13	7,42	-4,48
9	2,66	3,47	4,31	5,20	6,12	7,07	7,98	8,65	8,47	5,19	-12,05
10	2,64	3,50	4,39	5,30	6,23	7,14	7,93	8,30	7,40	2,26	-21,17
11	2,56	3,47	4,39	5,32	6,23	7,07	7,69	7,68	5,93	-1,37	-31,86
12	2,42	3,36	4,31	5,24	6,12	6,86	7,26	6,80	4,06	-5,70	-44,10
13	2,21	3,19	4,14	5,06	5,89	6,50	6,64	5,66	1,79	-10,73	-57,90
14	1,95	2,94	3,90	4,79	5,54	6,00	5,84	4,25	-0,89	-16,47	-73,26
15	1,61	2,63	3,58	4,43	5,09	5,36	4,84	2,58	-3,96	-22,90	-90,17
16	1,22	2,24	3,18	3,98	4,52	4,58	3,66	0,65	-7,44	-30,04	-108,65
17	0,77	1,79	2,70	3,43	3,83	3,65	2,30	-1,54	-11,31	-37,88	-128,68
18	0,25	1,26	2,14	2,78	3,04	2,58	0,74	-4,00	-15,59	-46,41	-150,26
19	-0,33	0,67	1,50	2,04	2,12	1,36	-1,00	-6,72	-20,27	-55,65	-173,41
20	-0,98	0,00	0,77	1,21	1,10	0,01	-2,94	-9,71	-25,36	-65,60	-198,11
21	-1,68	-0,73	-0,03	0,29	-0,04	-1,49	-5,05	-12,95	-30,84	-76,24	-224,38

Como se muestra en las Figuras 3(a) y 3(b) la cantidad de trayectorias que no sobre pasan corresponde al 18.18%, mientras que las que sobre pasan llegan ahora a 81.81%, debido a un incremento de solo 3.6 m/s en la velocidad.

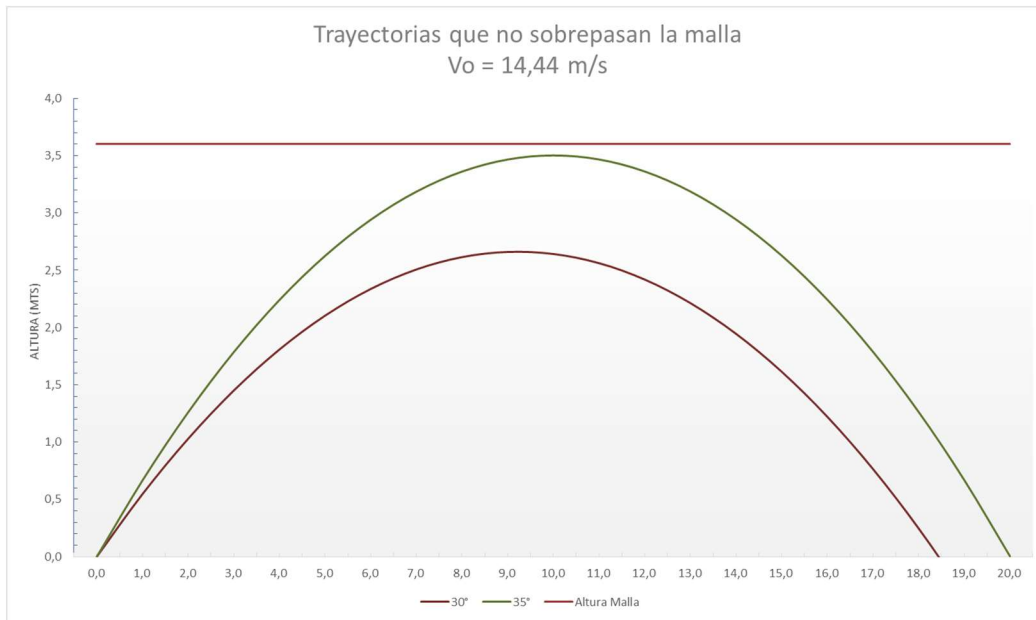


Figura 3(a). Trayectorias de football kick que no sobrepasan la malla con  $V_o = 14,44$  m/s

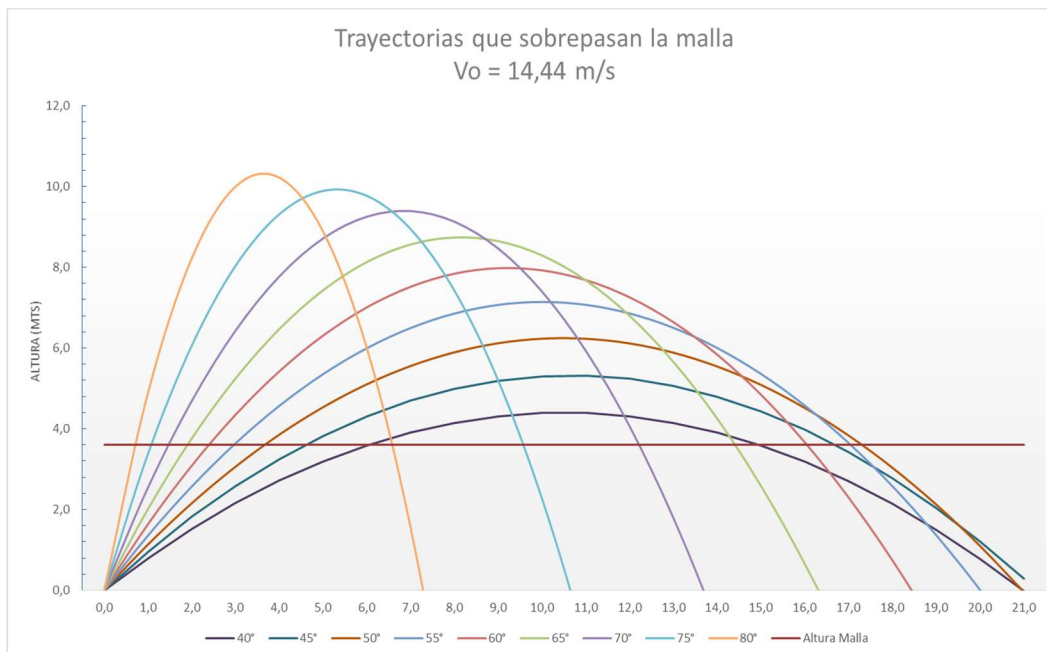


Figura 3(b). Trayectorias de football kick que sobrepasan la malla con  $V_o = 14,44$  m/s

### Análisis con velocidad inicial del 50% de Fastest football kick

Una velocidad inicial igual a 18.055 m/s representa el 50% del Fastest football kick. Se ha calculado las trayectorias del rango de ángulos  $\theta$  de  $30^\circ$  hasta  $80^\circ$ , se ha tabulado y se ha graficado. Ver Tabla 4 y Figuras 4(a) y 4(b).

**Tabla 4. Valores de “Y” en la ecuación trayectorias parabólicas para la  $V_0 = 18.055$  m/s en el rango de ángulos  $\theta$**

$$y = x \tan \theta - \frac{gx^2}{2v_0^2 \cos^2 \theta}$$

X	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°
1	0,55	0,67	0,80	0,95	1,13	1,36	1,64	2,01	2,55	3,38	4,89
2	1,03	1,26	1,52	1,81	2,16	2,57	3,09	3,76	4,69	6,06	8,23
3	1,45	1,79	2,16	2,58	3,06	3,64	4,35	5,25	6,44	8,04	10,00
4	1,81	2,24	2,72	3,25	3,86	4,57	5,43	6,47	7,78	9,32	10,22
5	2,10	2,63	3,19	3,83	4,54	5,36	6,31	7,44	8,72	9,90	8,89
6	2,34	2,94	3,59	4,31	5,10	6,00	7,01	8,13	9,26	9,77	5,99
7	2,51	3,19	3,91	4,70	5,56	6,50	7,52	8,57	9,39	8,95	1,54
8	2,61	3,36	4,15	4,99	5,90	6,86	7,84	8,74	9,13	7,42	-4,48
9	2,66	3,47	4,31	5,20	6,12	7,07	7,98	8,65	8,47	5,19	-12,05
10	2,64	3,50	4,39	5,30	6,23	7,14	7,93	8,30	7,40	2,26	-21,17
11	2,56	3,47	4,39	5,32	6,23	7,07	7,69	7,68	5,93	-1,37	-31,86
12	2,42	3,36	4,31	5,24	6,12	6,86	7,26	6,80	4,06	-5,70	-44,10
13	2,21	3,19	4,14	5,06	5,89	6,50	6,64	5,66	1,79	-10,73	-57,90
14	1,95	2,94	3,90	4,79	5,54	6,00	5,84	4,25	-0,89	-16,47	-73,26
15	1,61	2,63	3,58	4,43	5,09	5,36	4,84	2,58	-3,96	-22,90	-90,17
16	1,22	2,24	3,18	3,98	4,52	4,58	3,66	0,65	-7,44	-30,04	-108,65
17	0,77	1,79	2,70	3,43	3,83	3,65	2,30	-1,54	-11,31	-37,88	-128,68
18	0,25	1,26	2,14	2,78	3,04	2,58	0,74	-4,00	-15,59	-46,41	-150,26
19	-0,33	0,67	1,50	2,04	2,12	1,36	-1,00	-6,72	-20,27	-55,65	-173,41
20	-0,98	0,00	0,77	1,21	1,10	0,01	-2,94	-9,71	-25,36	-65,60	-198,11
21	-1,68	-0,73	-0,03	0,29	-0,04	-1,49	-5,05	-12,95	-30,84	-76,24	-224,38

Como se muestra en las Figuras 4(a) y 4(b) la cantidad de trayectorias que no sobre pasan corresponde al 0%, mientras que las que sobre pasan llegan ahora a 100%, debido a un incremento de solo 3.6 m/s en la velocidad.



Figura 4(a). Trayectorias de football kick que no sobrepasan la malla con  $V_0 = 18.055$  m/s

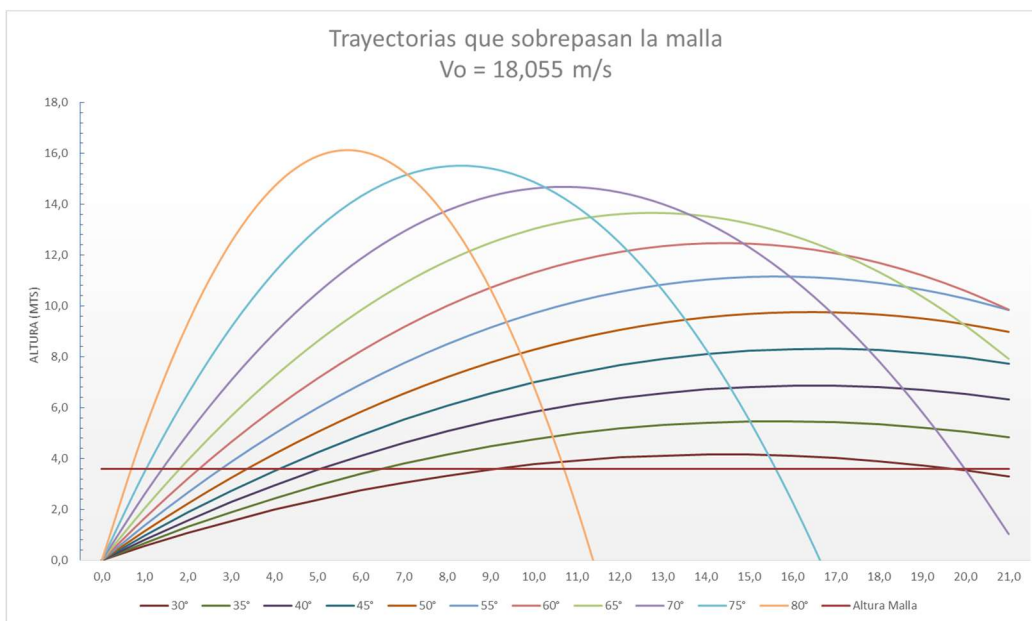


Figura 4(b). Trayectorias de football kick que sobrepasan la malla con Vo= 18.055 m/s

#### 4. Análisis de los resultados

Teniendo en cuenta que las personas que van a realizar actividades deportivas de balompié en la cancha objeto de estudio están distribuidas en las edades de 10 a 60 años es muy probable que se llega a impactar la pelota con el 50% del Fastest football kick. (18.055 m/s).

En ese orden de ideas, desde una distancia de la malla de 10.56 metros (la mitad de la cancha) se puede obtener ángulos superiores a 30° dando certeza, con velocidades iniciales del 30%, 40% y 50% del Fastest football kick (10.833 m/s, 14.44 m/s, 18.055 m/s), de un porcentaje de tiros de balompié sobre pasar la altura de la malla (3.6 mts) en un 54.54%, 81.81% y 100%. Esto quiere decir que de diez (10) tiros que se realicen como mínimo 5 saldrán fuera de la cancha y pueden hacer daños.

#### Análisis de los alcances de las trayectorias

Con el valor máximo para la velocidad inicial (18.055 m/s) para el movimiento parabólico de un disparo dentro de la Cancha objeto de estudio, se presentan en la Tabla 6 los valores de Y-máximo y X-máximo:

Tabla 5. Valores de “Ymax” y “Xmax”

Ángulos $\theta$	$y_{\max} = \frac{v_0^2 \text{sen}^2 \theta}{2g}$	$x_{\max} = \frac{v_0^2 \text{sen}(2\theta)}{g}$
5	0,13	5,78
10	0,50	11,38
15	1,11	16,63
20	1,95	21,38
25	2,97	25,48

Ángulos $\theta$	$y_{\max} = \frac{v_0^2 \sin^2 \theta}{2g}$	$x_{\max} = \frac{v_0^2 \sin(2\theta)}{g}$
30	4,16	28,81
35	5,47	31,26
40	6,87	32,76
<b>45</b>	<b>8,32</b>	<b>33,26</b>
50	9,76	32,76
55	11,16	31,26
60	12,47	28,81
65	13,66	25,48
70	14,69	21,38
75	15,52	16,63
80	16,13	11,38

De la Tabla 5 se observa que el alcance máximo horizontal corresponde a  $45^\circ$  con 33.76 metros con una altura vertical de 8.32 metros, como se puede observar gráficamente en la Figura 5.

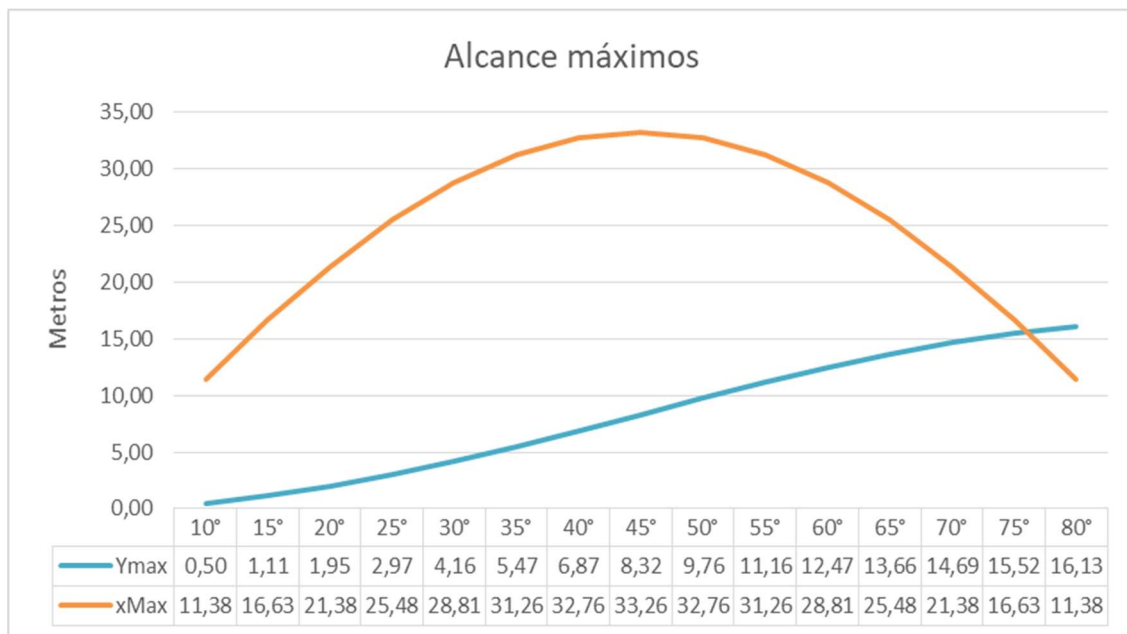


Figura 5. Alcances máximos de las trayectorias de football kick con  $V_0 = 18.055$  m/s

La Figura 6, describe la trayectoria de un ángulo de  $45^\circ$  con la velocidad inicial de 18.055 m/s, donde se nota el pico más alto (en la vertical  $Y_{\max}$ ) con 8.3 metros a una distancia de 17 metros de la horizontal.

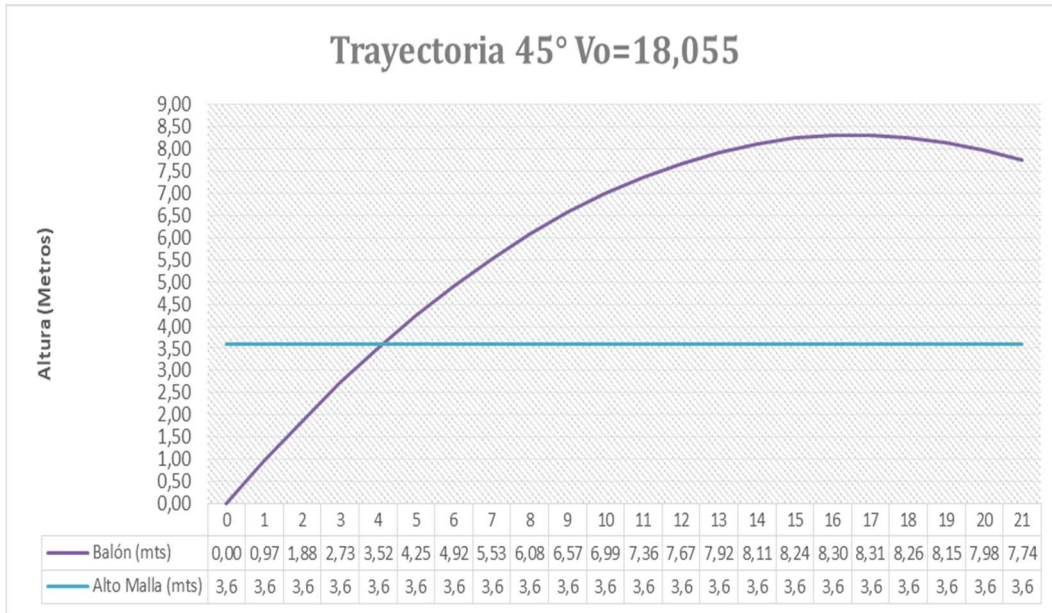


Figura 6. Trayectoria football kick con  $V_0 = 18.055$  m/s un ángulo de  $45^\circ$

**Altura de la malla de protección**

La altura ideal de la Malla de protección de la Cancha objeto de estudio sería igual a la altura de las torres circundantes que de aproximadamente 12 metros. En la Figura 7 se muestra el comportamiento de estas trayectorias donde solamente 36.36% la sobrepasan con la velocidad inicial de 18.055 m/s

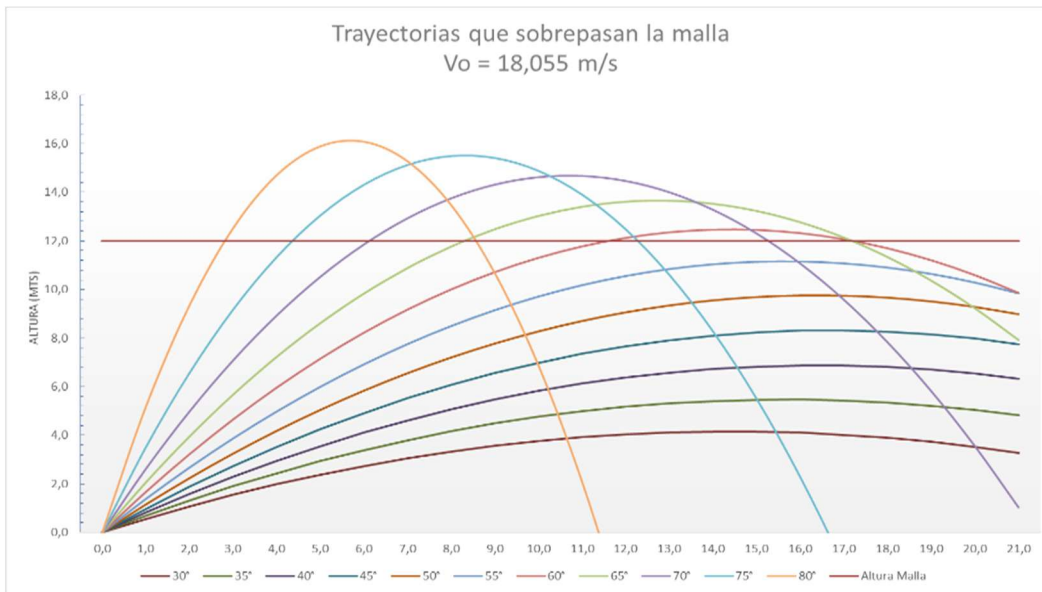


Figura 7. Trayectorias de football kick que sobrepasan la malla con  $V_0 = 18.055$  m/s

Por otro lado, una alternativa desde el punto de vista del ángulo de mayor alcance horizontal corresponde a  $45^\circ$ , que la velocidad inicial correspondería a 18.055 m/s y un valor para “x” correspondiente a la mitad del largo de la cancha que son aproximadamente 10.56 metros, se halla el valor de “y” la altura de la malla, a partir de la ecuación de la trayectoria.

X	Tan(45)X	(-9,8) X <sup>2</sup>	2 Vo <sup>2</sup> Cos(45) <sup>2</sup>	$y = x \tan \theta - \frac{gx^2}{2v_0^2 \cos^2 \theta}$
10,56	10,56	-1092,8333	326,0030664	7.21

Reemplazando los valores no da un resultado de 7.21 metros que corresponde a la altura de la malla de protección debe tener la Cancha objeto de estudio desde el alcance máximo. En ese orden de ideas el valor mínimo aceptable de altura de la malla corresponde a 7.21 metros y a un máximo de 12 metros.

### Conclusiones

A partir del hecho que las personas que van a realizar actividades deportivas de balompié en la cancha objeto de estudio están fraccionadas en las edades de 10 a 60 años es muy probable que se llega a impactar la pelota con el 50% del Fastest football kick. (18.055 m/s).

A una distancia aproximada de 10.56 metros de la malla (la mitad de la cancha) se puede obtener ángulos superiores a  $30^\circ$  y a velocidades iniciales de impacto cercanas al 30%, 40% y 50% del Fastest football kick (10.833 m/s, 14.44 m/s, 18.055 m/s), con lo cual se obtiene una probabilidad respectivamente de 54.54%, 81.81% y 100% de sobre pasar la malla protectora de la Cancha objeto de estudio. Es decir, como mínimo, la mitad de los tiros saldrán fuera de la cancha y pueden hacer daños.

Con un valor de velocidad inicial (18.055 m/s) para el movimiento parabólico de un disparo dentro de la Cancha objeto de estudio, se presenta el alcance máximo horizontal corresponde a  $45^\circ$  con 33.76 metros con una altura vertical de 8.32 metros a una distancia de 17 metros de la horizontal.

La altura ideal de la Malla de protección de la Cancha objeto de estudio sería igual a la altura de las torres circundantes que de aproximadamente 12 metros. Con esta altura de malla, el comportamiento de estas trayectorias de los disparos corresponde a 36.36%, de ellos, la sobrepasan con la velocidad inicial de 18.055 m/s

Por otro lado, una alternativa desde el punto de vista del ángulo de mayor alcance horizontal corresponde a  $45^\circ$ , que la velocidad inicial correspondería a 18.055 m/s y un valor para “x” correspondiente a la mitad del largo de la cancha que son aproximadamente 10.56 metros, se halla el valor de “y” o altura máxima igual a 7.21 metros que corresponde a la altura de la malla de protección debe tener la Cancha objeto de estudio desde el alcance máximo. Consecuentemente, el valor mínimo aceptable de altura de la malla corresponde a 7.21 metros y a un máximo de 12 metros.

## Referencias

- Donigan, R., & Fischer, E. (1965). Then evidence Handbook. Evanston, Illinois: The traffic Institute, Northwestern University.
- Guinness world records (2020). Fastest football kick. Recuperado de <https://www.guinnessworldrecords.com/>
- Hurtado de Barrera, J. (2010). Metodología de la investigación. Guía para la comprensión holística de la ciencia (Cuarta ed.). Caracas: Quirón Ediciones.
- NewYork Times. (2011) Ronaldo May Look Like the Best, but There Is Someone Better”. Recuperado de <https://www.nytimes.com/2011/09/14/sports/soccer/14iht-soccer14.html>
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2009). Física: Para ciencias e ingeniería con Física Moderna / Raymond A. Serway y John W. Jewett, Jr (7a. ed.--). México D.F.: Cengage.
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. J. (2015). Física para ciencias e ingeniería: Raymond A. Serway y John W. Jewett, Jr (9a. ed. --). México: Cengage Learning.
- Vanderbosch, C. (2002). Manual avanzado de investigacion policiaca/ Advanced Manual of Police Investigation. Editorial Limusa S.A. De C.V.