EFECTO MAGNUS

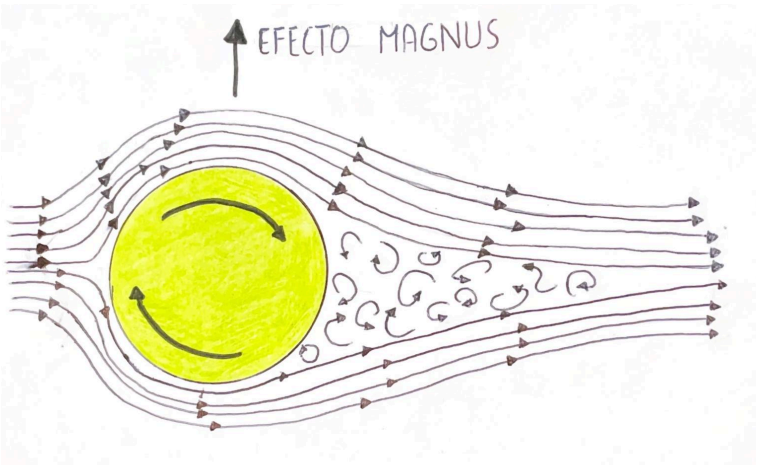
Autores: Antía Casas Barros, Antía Sousa Cerqueira, Mateo Rodríguez Domínguez y Brais Rodríguez Valoría.
Centro estudantil: IES Ribeira do Louro.
Categoría: 4ºESO
Profesoras: Mariña López Yunta y María Estrella Rial Pan.

1. CONTEXTUALIZACIÓN Y JUSTIFICACIÓN 2
2. OBJETIVO DEL PROYECTO 3
3. OBTENCIÓN DE LOS DATOS 3
3.1 Construcción de la base de la máquina 3
3.2 Grabación de los vídeos 6
3.3 Obtención de los datos 7
4. ANÁLISIS DE DATOS 8
4.1 Análisis de los lanzamientos 8
4.2 Clasificación de los lanzamientos 10
5. ANÁLISIS DEL EFECTO DEL VENTILADOR 12
6. RESULTADOS Y CONCLUSIONES 15
7. PROPUESTA DE MEJORA / LIMITACIONES DE TRABAJO 18
8. BIBLIOGRAFÍA 19

1. CONTEXTUALIZACIÓN Y JUSTIFICACIÓN

¿Cómo es posible que Rafa Nadal consiga que sus devoluciones de pelotas sean imposibles? ¿Cómo consigue que quien juegue con él, esté sometido a un martirio de bolas liftadas? Investigando nos dimos cuenta de que Nadal utilizaba la teoría del efecto Magnus a su favor.

El efecto Magnus sucede cuando una esfera gira mientras se mueve dentro de un fluido, por ejemplo, a través del aire. Cuando el sólido gira, altera el flujo del aire que lo rodea, provocando distintas presiones en sus lados y creando una fuerza contraria a la dirección de su movimiento. El objeto cambia su trayectoria.



En este proyecto quisimos comprobar cómo influye el efecto magnus en un objeto dependiendo de las condiciones de la velocidad del aire que le rodean.

2. OBJETIVO DEL PROYECTO

El objetivo del proyecto es estudiar cómo varía el comportamiento de la pelota según las condiciones de los lanzamientos. Para ello, se busca estudiar cómo afecta la dirección y la potencia del aire a la trayectoria de la pelota.

Así, se quiso estudiar qué distancia alcanza la pelota, a qué altura llega la parábola que forma la pelota, el ángulo de salida que forma, la velocidad inicial y cómo cambian estas variables según las distintas condiciones del aire .

3. OBTENCIÓN DE LOS DATOS

Se construyó una base de madera en la que se posicionaron una catapulta y una raqueta con las que simular los lanzamientos de pelota y el impacto con la raqueta de tenis para más tarde grabar vídeos y extraer los datos necesarios para el estudio.

La obtención de los datos tuvo tres fases: la construcción de la base del simulador de lanzamiento que se utilizó para el proyecto, la grabación de los vídeos y la obtención de los datos físicos del movimiento.

3.1 Construcción de la base de la máquina:

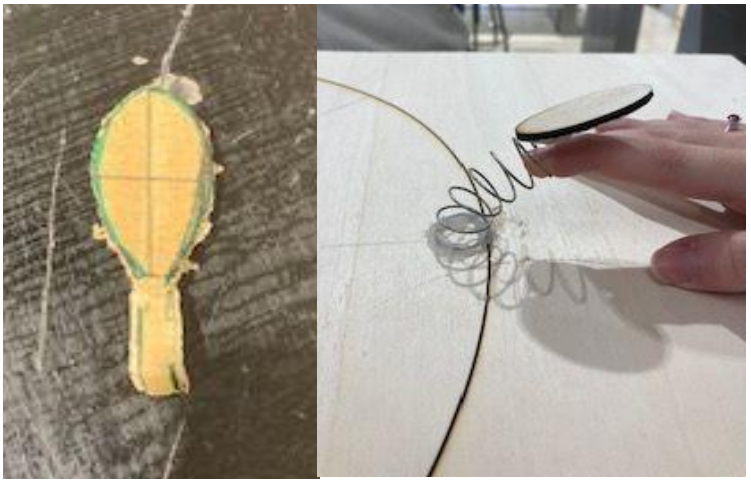
Para la realización de este proyecto fue necesario construir una serie de elementos: una pelota de plastilina, una catapulta, una raqueta y una base en la que colocar el resto de elementos con un círculo grabado dividido en 8 partes iguales. También se utilizó un ventilador con diferentes velocidades para estudiar cómo se comporta la pelota dependiendo de la intensidad y sentido del viento.

Se fabricaron varias pelotas de plastilina azul marina a escala con una pelota de tenis, por lo que se utilizó una de 0,23g.

Para construir la catapulta, se utilizó material reciclado disponible en el laboratorio: fueron necesarias 2 pinzas, una cuchara de metal, un palito de madera y una cuerda. Se puso una pinza en cada extremo dadas la vuelta y se metió el palo entre los agujeros que tenían. Con la cuerda, se ató la cuchara al palo de manera que pudiera seguir girando. En el extremo del mango de la cuchara, se pegaron con silicona 3 pesas de 10g cada una para que hiciera contrapeso, y en la parte cóncava de la cuchara se realizó con silicona una especie de pared para que al apoyar la pelota esta se mantuviera

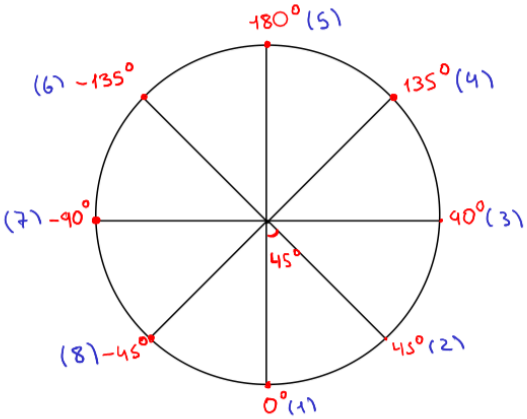
sin caerse dentro del cuenco. Así, al soltar desde arriba el mango, la pelota sale disparada hacia adelante.

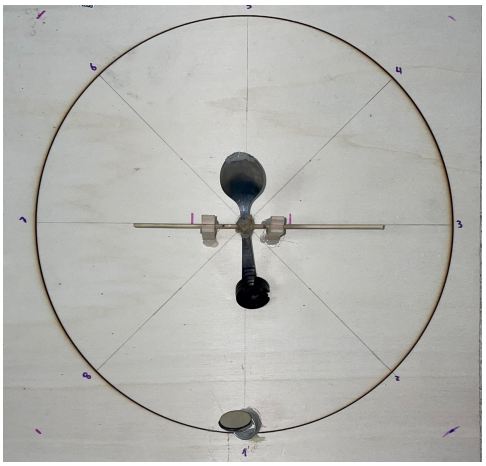
Para fabricar la raqueta que golpearía la pelota, se hizo primero un prototipo con cartón. La idea inicial era fabricar la raqueta completa a escala , con mango y cabeza, pero, tras las pruebas con el prototipo de cartón, solo se fabricó la cabeza de la raqueta . El óvalo de la cabeza de la raqueta se hizo a escala, es decir, proporcionalmente a como son las raquetas de tenis estándar, por lo que tiene una altura de 4,4cm y una anchura de 2,2cm. Después, se pasó el diseño al ordenador para finalmente fabricarla utilizando la cortadora láser. Se pegó la cabeza a un muelle que serviría para inclinar hacía atrás la “raqueta” y que al soltarla impactase contra la pelota que vendría desde la catapulta.



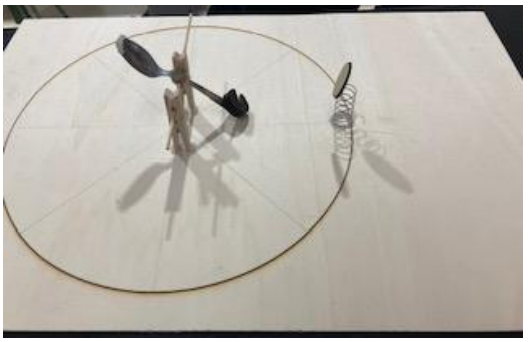
Para la base del simulador que se construyó, se marcó un círculo de radio 17,5 cm sobre una base de madera de medidas 60x40 cm con ayuda de la cortadora láser. Se dividió el círculo en 8 partes iguales, de 45º cada una.

A cada una de estas partes se le asignó un número, comenzando por el lado derecho, de manera que el número 1 era de 0º, el número 2 de 45º, el número 3 de 90º, el 4 de 135º y el 5 de 180º. Para el lado izquierdo, los ángulos serían de -135º en la posición 6, de -90º en la 7 y -45º en la 8 y última, tal y como se indica en el esquema (1). La finalidad de estas divisiones es marcar el lugar donde se colocará un ventilador en el momento del lanzamiento cada 45º y así poder estudiar la variación del movimiento de la pelota con respecto al sentido del viento y su intensidad.



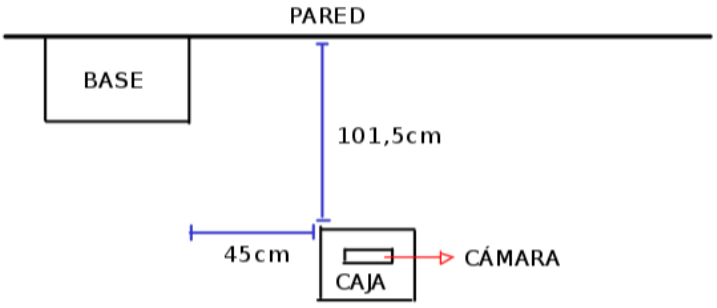


Finalmente, se colocó la catapulta justo en el medio del círculo, y la raqueta en la posición de la división 1 (0º), paralela a la catapulta. La distancia entre la catapulta y la raqueta es de 15,5 cm. Se pegó todo a la base con silicona caliente.



3.2 Grabación de los vídeos:

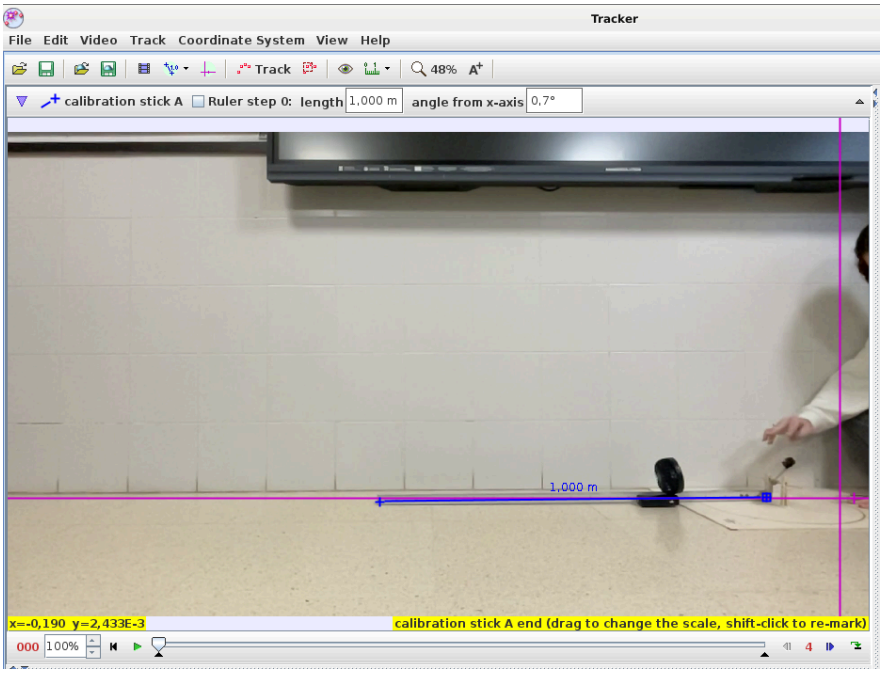
Se eligió una pared blanca para realizar todos los vídeos de manera que la pelota se pudiera distinguir bien. Pegada a esta pared se colocó la base y se marcaron unas distancias constantes entre la base, la pared y la cámara, tal y como se ve en el esquema. La cámara se colocó encima de una caja de altura 25,5 cm, anchura 30,8 cm y longitud 22 cm, a 2,5 cm del extremo frontal de la caja y a 8,8 cm del extremo lateral. La distancia entre la caja y la pared es de 140,5 cm, y entre el extremo frontal de la base y la esquina más próxima de la caja a la base es de 45 cm, tal y como se ve en el esquema.



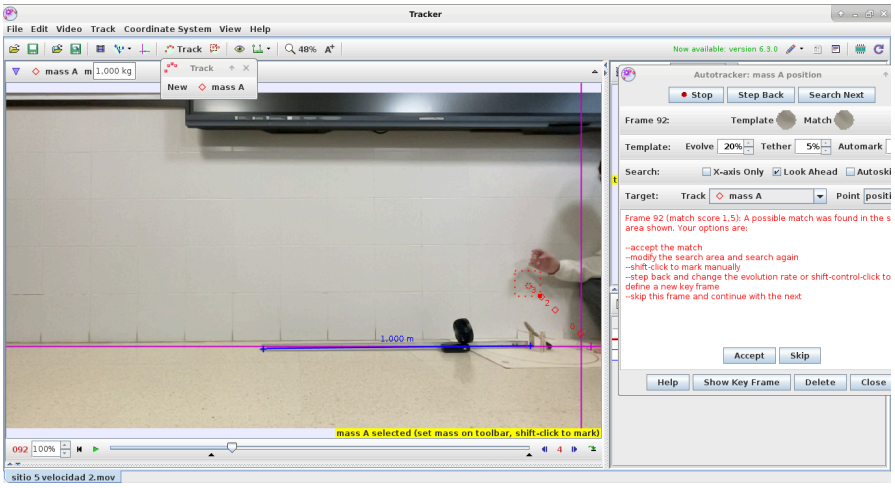
Se utilizó un ventilador con 3 velocidades diferentes para ver la influencia del viento. Se grabaron en total 154 vídeos: 6 sin ventilador y 148 con ventilador. El ventilador se fue colocando alrededor del círculo en cada una de las divisiones de 45º a una distancia de 24,5cm, 7cm más que el radio. Se fue colocando el ventilador de derecha a izquierda, empezando por la posición 1 y terminando en la 8. Se hicieron 3 videos de cada posición con el ventilador con cada una de las 3 velocidades diferentes.

3.3 Obtención de los datos:

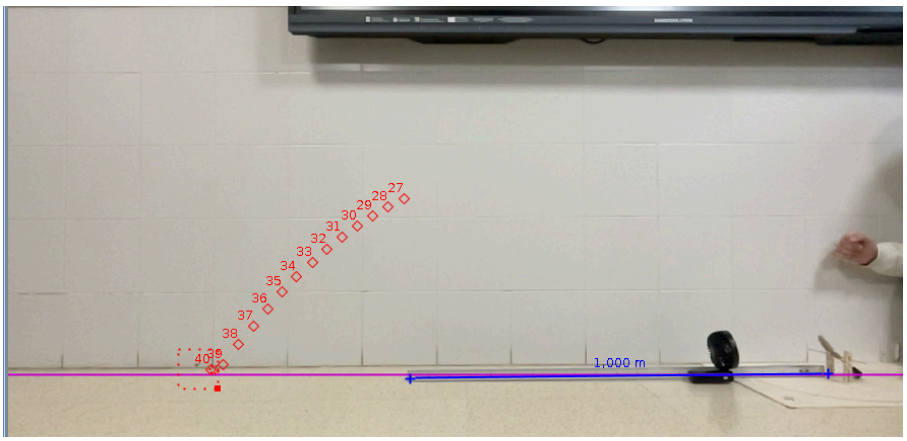
Finalmente, para la obtención de los datos de los vídeos se utilizó un programa instalado en los ordenadores Edixgal llamado Tracker. Los datos que se midieron fueron tanto la longitud inicial como la final que alcanza la pelota, el tiempo que tarda la pelota en caer al suelo desde que es golpeada por la raqueta, la altura máxima alcanzada, el ángulo de salida y la velocidad con la que la pelota llega al suelo.



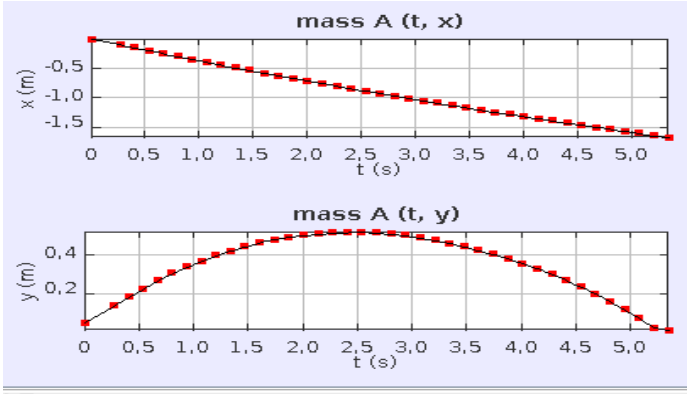
Con las opciones de distancia (azul) y los vértices x e y (rosa) podíamos medir la distancia que recorre la pelota y la altura que obtenía con el lanzamiento



Con la opción de track que nos da el tracker podíamos observar todos los movimientos de nuestra pelota, el track nos da todos los datos que necesitamos.



Aquí fue el final del recorrido de la pelota, y recogimos los datos del x final y la y máxima.



Columns mass A

t (s)	x (m)	y (m)
3,740	-1,243	0,404
3,877	-1,280	0,382
4,010	-1,316	0,357
4,143	-1,352	0,331
4,277	-1,388	0,301
4,410	-1,424	0,270
4,543	-1,461	0,235
4,677	-1,496	0,199
4,810	-1,530	0,158
4,943	-1,564	0,117
5,077	-1,601	7,299E-2
5,210	-1,637	2,433E-2
5,343	-1,667	1,216E-2

Estos son todos los datos que nos daba el tracker y nos los expreso tanto en x(m) y t(s) como y(m) y t(s) formándonos así la parábola que hizo nuestra pelota.

Los datos se calcularon en una hoja de cálculo de google "Google Calc" con las fórmulas necesarias. Las fórmulas salen de un tiro parabólico que es un movimiento rectilíneo uniforme (mru) en el eje *x*, y un movimiento rectilíneo uniforme acelerado (mrua) en el eje *y* con aceleración la gravedad. Por tanto, despejando quedan las siguientes fórmulas:

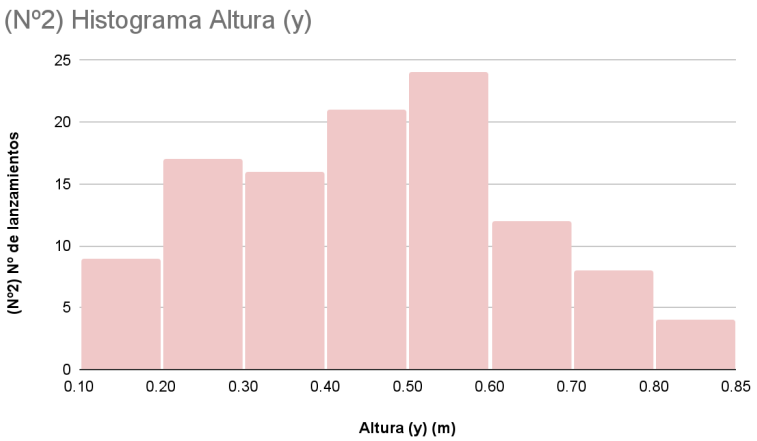
$$Vo = \frac{x}{cos\alpha \cdot t} \qquad tg\ \alpha = \frac{\frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 - yo}{x}$$

4. ANÁLISIS DE DATOS

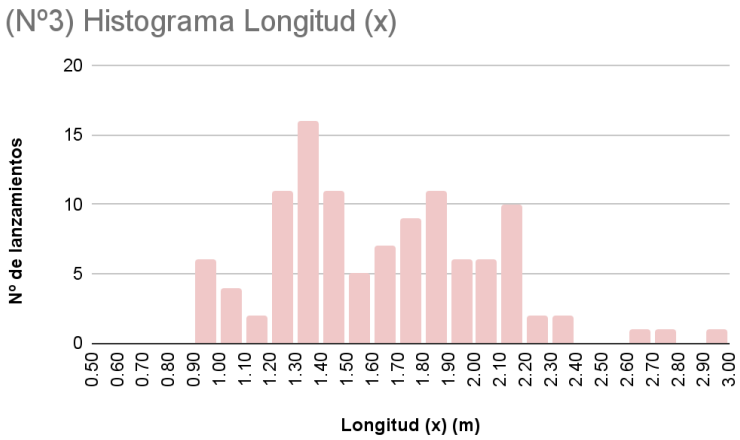
4.1 Análisis de los lanzamientos

Contamos con un total de 118 datos experimentales entre tiros sin ventilador y con ventilador en las 8 posiciones.

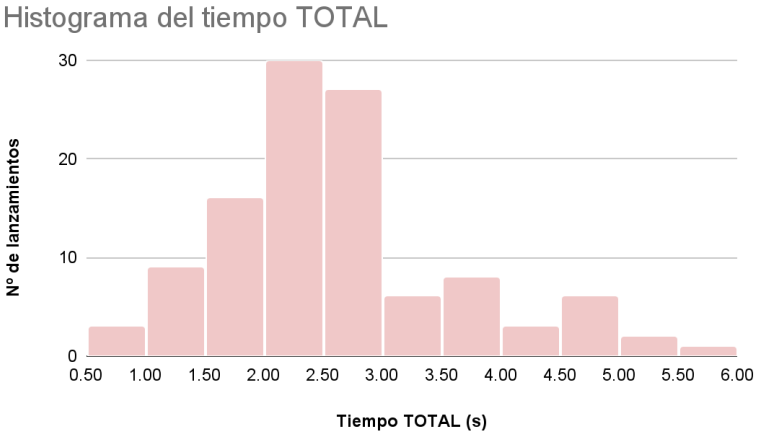
La media de la altura (y) que alcanzaron los lanzamientos realizados fue de 0,472 metros, con una desviación típica de 0,193 metros. La mayoría de los lanzamientos, como se ve en tal gráfica, alcanzaron una altura máxima de entre 0.50 y 0.60 metros.



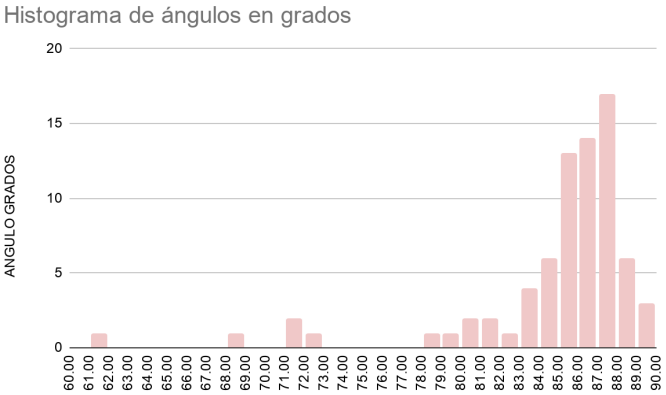
La longitud final (x), es decir, el alcance de las pelotas lanzadas, fue de 1,698 metros de media y con una desviación típica de 0,436 metros. En la gráfica apreciamos que la mayoría de los tiros realizados alcanzaron una longitud de entre 1.30 y 1.40 metros.



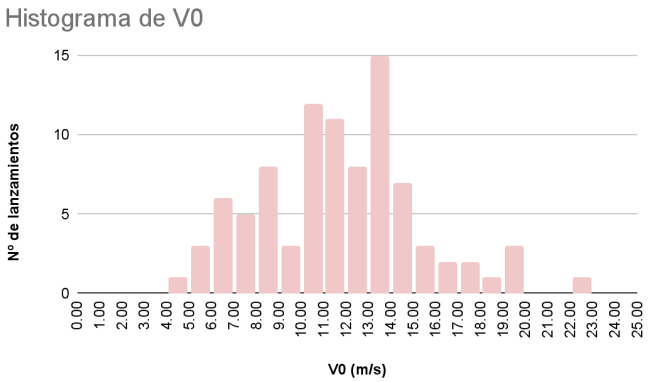
Los lanzamientos duraron de media 2,330 segundos, mientras que su desviación típica fue de 0,755 segundos. La mayor parte de los tiros realizados tardaron en caer al suelo entre 2.00 y 2.50 segundos.



La media de los ángulos de salida de los lanzamientos fue de 84,841º, con una desviación típica de 4,829º. Como la gráfica indica, la mayor parte de los lanzamientos obtuvieron un ángulo de entre 85º y 88º.

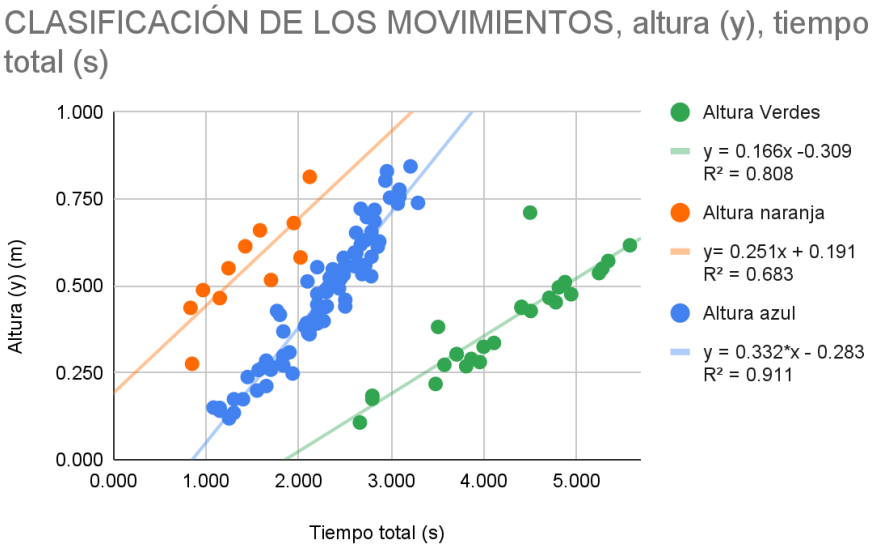


Por último, la media de la velocidad inicial (V0) es de 11,787m/s y la desviación típica de 3,732m/s. Podemos concluir viendo este histograma, que la velocidad inicial de los lanzamientos fue de 13-14 m/s en la gran mayoría de estos.



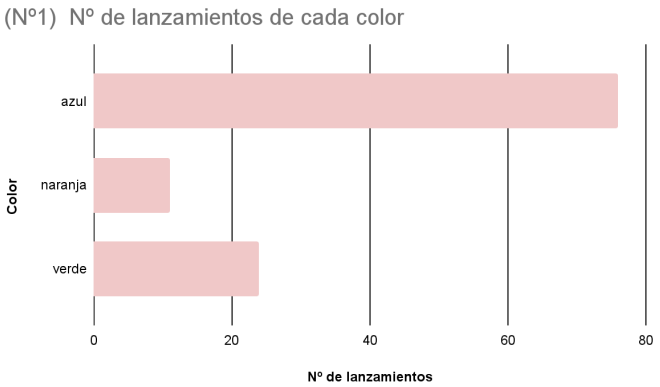
4.2 Clasificación de los lanzamientos

Estudiando la relación entre el tiempo y la altura de los lanzamientos, se observan tres comportamientos, como se puede ver en la gráfica siguiente. Entonces, decidimos clasificar los lanzamientos en tres tipos: el verde, que alcanza menos altura y tarda más tiempo en caer la pelota, el azul, que aunque tarda menos en caer al suelo, alcanza mayor altura, y por último, el naranja, que alcanza la mayor altura en un tiempo menor que el resto.

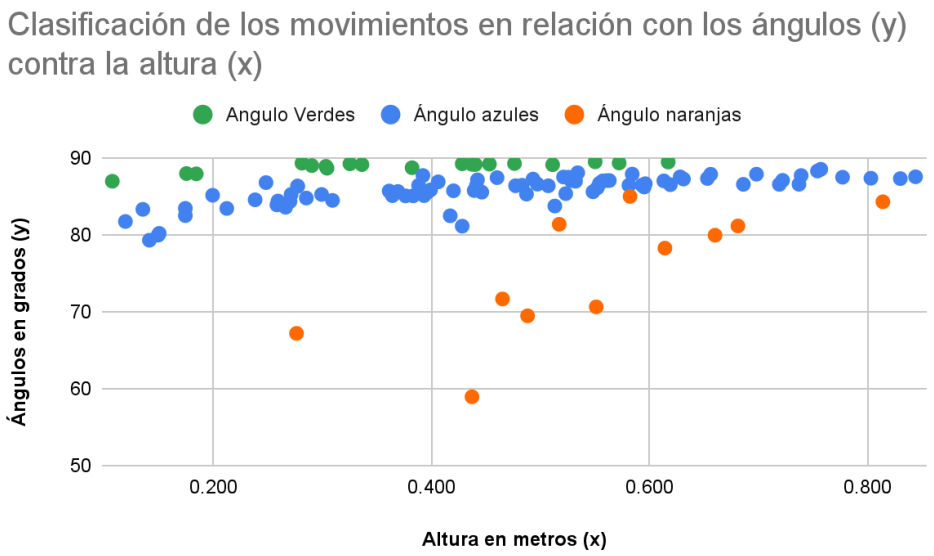


En esta gráfica de los tres movimientos, podemos observar que la correlación lineal es más fuerte en el color azul (R^2= 0,915), ya que cuanto más se acerque R^2 a 1, más fuerte es. El siguiente movimiento con la mejor correlación lineal es la del movimiento verde, con R^2= 0,808. Por último, el que tiene una correlación lineal más baja es el naranja, donde R^2=0,683.

La siguiente gráfica (1) muestra la cantidad de lanzamientos que se realizaron de cada color. Como se puede observar en ella, la mayoría de los lanzamientos son azules, un total de 76, a los que les siguen los verdes, con 24 lanzamientos, y, por último, los naranjas, con tan solo 11 lanzamientos totales.



Cuando etiquetamos los colores en la hoja de cálculo, nos pareció que había una relación con los ángulos, entonces decidimos estudiar si la altura dependía del ángulo inicial. Coloreamos los puntos con la clasificación de colores que explicamos antes y vimos que los ángulos son: los naranjas, que tienen un ángulo menor con gran diferencia; los azules, que tienen un ángulo intermedio; y los verdes, que tienen un ángulo mayor, siendo el ángulo más amplio así.



Si calculamos sus medias, en los lanzamientos naranjas, la pelota al ser golpeada por la raqueta alcanza un ángulo de 75.249º, en los azules, que son de los que disponemos más datos, vemos que el golpe forma un ángulo de 85.769º, y por último, en el verde al darle la raqueta a la pelota alcanza un 88.669º. Es decir, el movimiento naranja tiene el ángulo más pequeño, el azul forma un ángulo intermedio entre el naranja y el verde, y el verde forma el ángulo más grande.

Para ver las diferencias entre los 3 tipos de tiros, se calcularon las medias resumidas en la siguiente tabla:

	Altura (y)	Longitud (x)	Tiempo TOTAL (s)	ÁNGULO GRADOS	V_0 (m/s)
Verde	0.333	1.418	3.805	88.669	15.479
azul	0.466	1.647	2.259	85.769	11.099
Naranjas	0.553	2.127	1.442	75.249	7.576

Como se puede observar en los tres tipos de lanzamiento, en los tiros del color verde, la altura y la longitud son menores que en los demás, y en cambio, el tiempo que tarda en caer, la velocidad inicial y el ángulo son mayores. Los tiros azules, como hemos comprobado, son un intermedio de los otros

dos tipos. Por último, los naranjas son los que alcanzan una mayor altura y alcance. Sin embargo, el tiempo que tarda en caer, el ángulo y la velocidad inicial son menores.

5. ANÁLISIS DEL EFECTO DEL VENTILADOR

Debido a que el comportamiento azul es del tipo de lanzamientos que tenemos más datos, vamos a centrarnos en ellos para estudiar cómo influye el viento en el movimiento de la pelota. El hecho de que este movimiento sea el más numeroso significa que alcanzar este tipo de lanzamiento es lo más probable (68.47%).

Si calculamos las medias de los parámetros estudiados según la velocidad del ventilador se obtiene la siguiente tabla:

	Altura (y)	Longitud (x)	Tiempo TOTAL (s)	ÁNGULO GRADOS	V0 (m/s)
Sin ventilador	0,385	1,567	2,191	85,857	10,763
Velocidad 1	0,417	1,487	2,157	85,897	10,598
Velocidad 2	0,489	1,868	2,306	85,392	11,332
Velocidad 3	0,539	1,727	2,425	86,236	11,908

Como se ve reflejado en esta tabla, los tiros realizados sin ventilador alcanzaron de media una altura de 0,385m y una longitud de 1,567m. Ambas medias aumentaron al utilizar el ventilador en diferentes velocidades. En la velocidad 1, la media de altura aumentó hasta 0,417m, mientras que la longitud semnatiene sobre 1,5 m. Con la velocidad 2 la altura llegó a 0,489m y la longitud a 1,868m, mientras que para la velocidad 3 las pelotas obtuvieron una altura de 0,539m y una longitud de 1,727m.

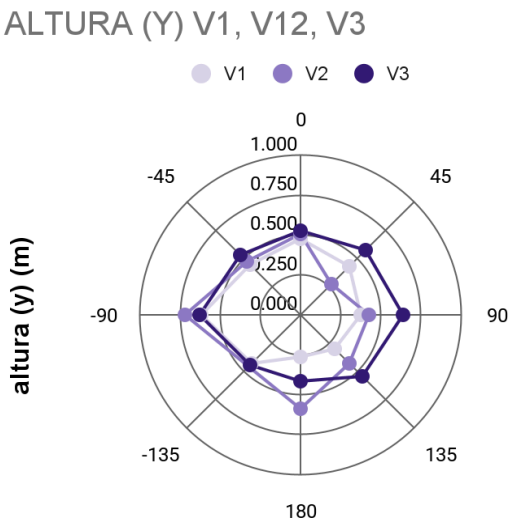
Por otro lado, el tiempo medio que tardó en caer la pelota al suelo sin ventilador fue de 2,191s, el cual disminuyó con las velocidades del ventilador. Con la velocidad 1, el tiempo medio fue de 2,157s, y a partir de ahí comenzó a aumentar con las velocidades, ya que en la velocidad 2 fue de 2,306s, y en la 3 de 2,425s.

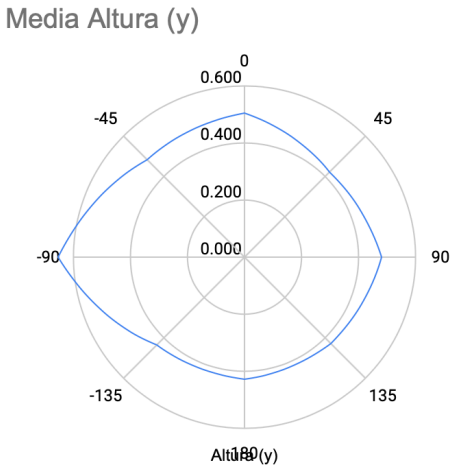
El ángulo medio que formó sin ventilador fue de 85,857º, y este se quedó de media constante con las velocidades del ventilador alrededor de 85-86º.

Por último, la media de velocidad inicial del lanzamiento sin ventilador fue de 10,763 m/s, y aumentó con las velocidades del ventilador. En conclusión, a medida que va aumentando la velocidad, la pelota tarda más en caer, ya que alcanza una mayor altura y una velocidad inicial mayor.

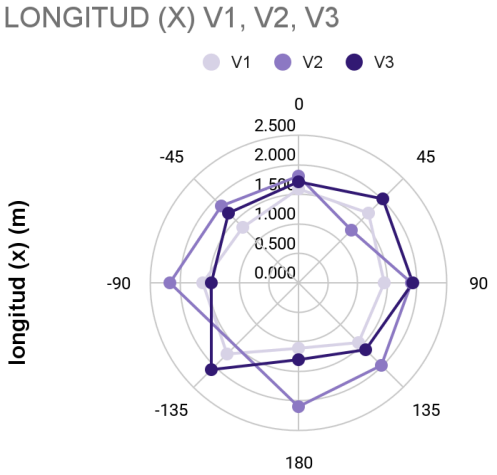
Pasamos ahora a analizar cómo afecta la posición del ventilador.

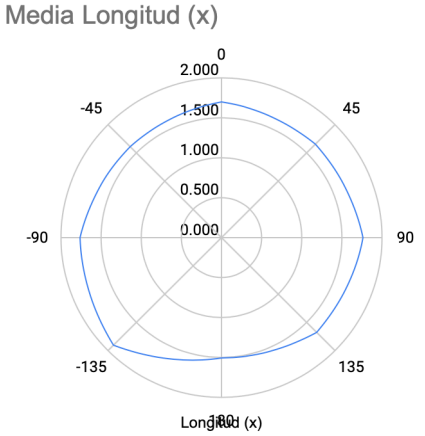
Las alturas (y) están representadas en las siguientes gráficas, en la de la izquierda distinguidas entre las diferentes velocidades, y en la de la derecha con una media de todas ellas. Las alturas que se alcanzan son mayores en los ángulos 90º y -90º, con una notable diferencia con respecto al resto, tal y como se ve en las gráficas. Por otro lado, en la posición de 180º, a pesar de que el ventilador está en contra de la raqueta, prácticamente no afecta a la altura de la pelota. En general, se encuentran bastantes irregularidades entre los distintos ángulos y velocidades del ventilador con respecto a la altura.



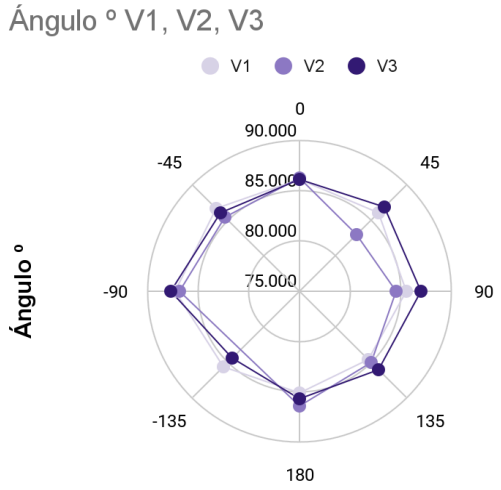


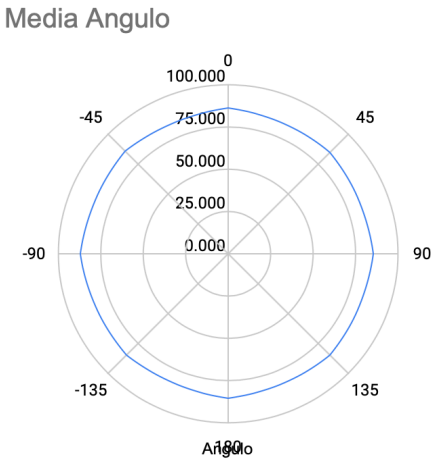
Las siguientes gráficas representan la longitud (x) que alcanzaron los lanzamientos. En ella se puede ver que las velocidades 1 y 3 son bastante regulares con respecto a los ángulos de posición del ventilador, exceptuando la posición -135º, en la que se produce un aumento de la longitud con respecto al resto. En cuanto a la velocidad 2, también tiene una cierta regularidad, solo que la longitud alcanzada es mayor que en las otras 2 velocidades en la mayoría de los casos. Gracias a las gráficas se puede llegar a la conclusión de que no hay diferencias de longitud según el ángulo en el que se encuentre el ventilador.



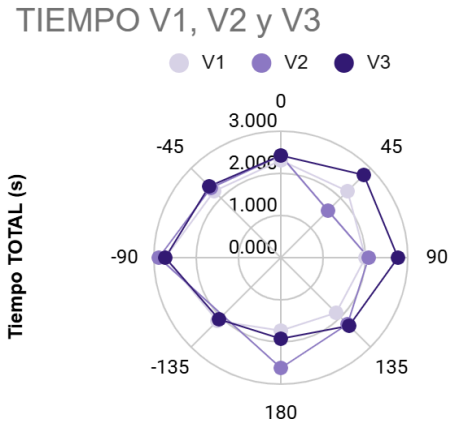


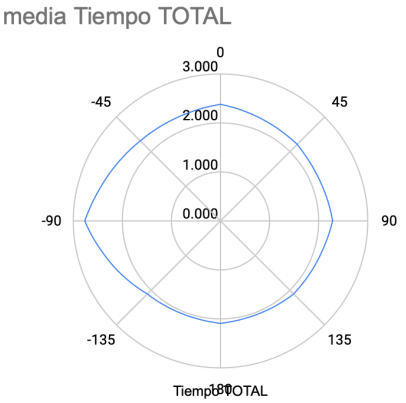
En estas gráficas, vemos que el ángulo en las tres velocidades es muy parecido, prácticamente igual. Esto se debe a que la gráfica está hecha solamente con los datos del movimiento que hemos seleccionado como azul, y la relación que hay entre los lanzamientos azules es que tienen un ángulo de salida semejante.



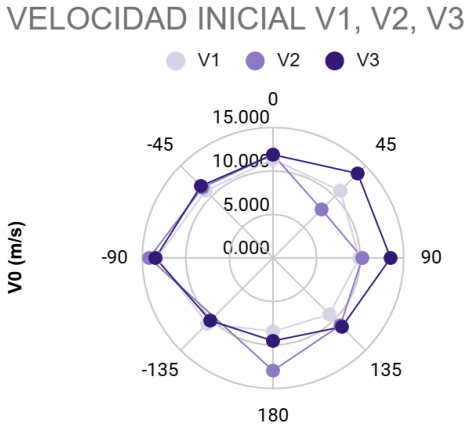


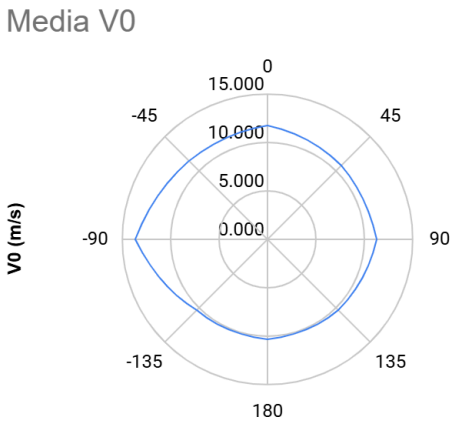
En estas gráficas, podemos observar el tiempo medio de nuestros lanzamientos. El tiempo es mayor en las posiciones de 90º y -90º. En general, en la mayoría de posiciones, el tiempo aumenta progresivamente al aumentar la velocidad del ventilador, excepto en la posición de 180º, donde el tiempo es menor con la velocidad 3 que con la 2. La explicación de esto es que en esta posición el ventilador se encuentra al contrario de la raqueta, por lo que el aire va en contra, y el tiempo tiende a ser menor a mayor velocidad. Existe una irregularidad en la posición -90º, ya que en la velocidad 3 el tiempo es menor que en la 2. Por otro lado, en la posición de 45º, en la velocidad en que tiene menos tiempo es en la 2 en lugar de en la 1.





Las siguientes gráficas muestran la velocidad inicial de la pelota en los lanzamientos. La velocidad inicial es mayor en los ángulos 90º y -90º que en el resto de lanzamientos, como se ve en las gráficas. También, por el lado izquierdo (ángulos negativos) la media de velocidad inicial alcanzada es mayor que en el derecho (ángulos positivos).





6. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

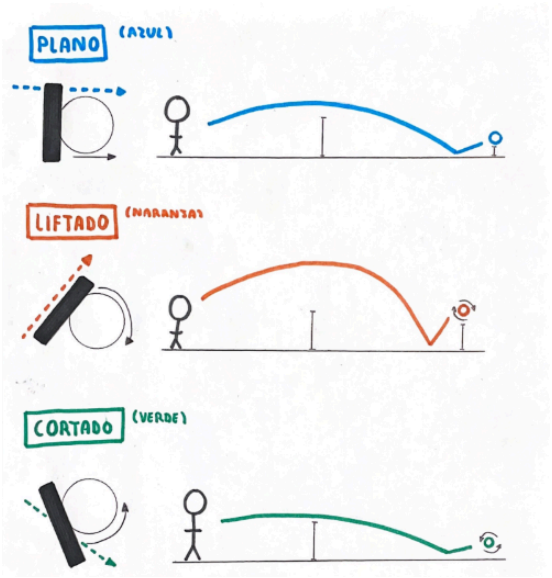
En este proyecto, hemos encontrado tres tipos de lanzamientos que crean cada uno un tipo de parábola distinta, y los hemos clasificado en tres colores: azul, verde y naranja. En el tenis, existen varios tipos de lanzamientos según el ángulo en el que la raqueta golpee la pelota. Los tres tipos principales son el plano, en el cual la pelota no coge ningún tipo de efecto, el liftado y el cortado, en los cuales la pelota sí que tiene un efecto.

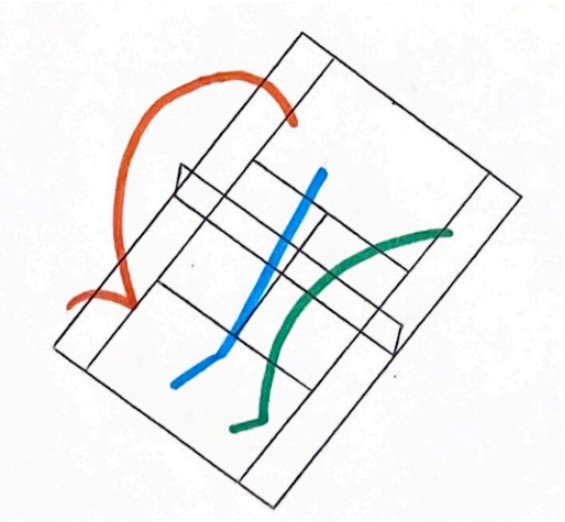
Al haber simulado los lanzamientos con el golpeo de una raqueta, podemos relacionar que nuestros tipos de lanzamientos se corresponden con los mimos del tenis, y que dependen del ángulo con el que la raqueta golpea la pelota.

En el golpeo llamado plano, la raqueta golpea la pelota en línea recta, de forma paralela a la red, por lo que el punto de contacto raqueta-pelota es el más recto. La pelota coge mucha potencia, por lo que va más rápido y tarda menos tiempo en caer al suelo, pero es el tipo de tiro en el que alcanza menos altura. Al caer al suelo y rebotar, la pelota prácticamente no alcanza altura, debido a que no lleva ningún efecto. Este golpeo se corresponde con nuestro tipo de lanzamiento azul, ya que alcanza menos altura (0.333m) y longitud (1.418m) que el liftado (naranja), pero más que el cortado (verde), pero tarda más tiempo (3.805s) en caer al suelo y tiene un ángulo de salida mayor (88,669º) que el liftado (naranja) y menor que el cortado (verde).

En el golpeo liftado, la raqueta empieza el movimiento para golpear la pelota detrás y abajo y lo termina delante y arriba, por lo que se golpea la pelota desde abajo hacia arriba. El punto de contacto raqueta-pelota es en una diagonal cerrada. En esta clase de golpeo la pelota sí que coge un efecto en el que la bola gira sobre sí misma hacia adelante, y con cuánta más potencia tenga el golpeo, la bola girará más rápido y, por tanto, cogerá un efecto mayor. La pelota alcanza menos velocidad y potencia que en el golpe plano, pero es en el que alcanza más altura. Cuando la pelota caiga al suelo, se disparará y botará más alto que en el resto de lanzamientos debido al efecto que tiene. Este tipo de golpeo lo relacionamos con nuestro lanzamiento naranja (liftado), ya que tiene una altura de 0.533 m y una longitud de 2.127m, mayor que los golpeos planos (azul) y cortados (verde), al contrario que en el tiempo (1.442 s) y que el ángulo (75.249º), que son menores que en los otros tipos de golpeos.

Por último, el golpeo cortado, aunque también genera un efecto, es diferente al del liftado, ya que la pelota, en lugar de girar sobre sí misma hacia adelante, gira hacia atrás. La raqueta impacta detrás de la pelota, no debajo, por lo que el punto de contacto raqueta-pelota es una diagonal arriba-abajo. En este tipo de golpeo, la bola se mantiene baja durante todo el movimiento, siendo así en el que menos altura, velocidad y potencia alcanza. Al botar contra el suelo, la pelota puede tener un retroceso o irse para los lados como consecuencia de su efecto. Clasificamos nuestro lanzamiento verde con este tipo de golpeo, ya que es el movimiento que alcanza menor altura (0.333m) y longitud (1.418m) que el liftado (naranja) y plano (azul), pero tarda más tiempo en caer al suelo (3.805s) y el ángulo de salida (88.669º) es mayor que en el resto de lanzamientos (liftado y plano).





En cuanto a la influencia del ventilador, cabe resaltar que la longitud y el ángulo de los lanzamientos, son los mismos siempre, es decir no influye el ángulo de ventilador en estas variables.Observamos, que cuando el ventilador está en las posiciones -90º y 90º la altura es mayor. Además, sobre todo en los -90º grados el tiempo es mayor.

7. PROPUESTA DE MEJORA / LIMITACIONES DE TRABAJO

Para ampliar nuestra investigación nos gustaría haber analizado el efecto del aire en los tiros de color naranja y verde, ya que por falta de tiempo y de datos no se pudo realizar.

Una de las grandes dificultades de nuestro trabajo fué construir a escala un simulador de lanzamientos, para ello fue necesario una catapulta a escala que tuvimos que calibrar para que la pelota chocase con la raqueta y saliese despedida realizando un tiro parabólico. También fue complicado grabar y procesar los vídeos ya que tuvimos dificultades a la hora de encontrar un plano y lugar para que se viera bien el lanzamiento de las pelota y la pelota en sí. En cuánto a procesar los

vídeos, también surgieron inconvenientes ya que tuvimos que reformatear algunos de nuestros ordenadores para que nos funcionara el tracker.

También quedó pendiente en nuestra investigación grabar más videos en los que el ventilador tuviera mayor velocidad, en vez de haber grabado solamente hasta la velocidad 3, podríamos realizar lanzamientos con la velocidad 4 y 5 a mayores en todas las posiciones, para poder analizar el efecto de un viento de mayor potencia en los lanzamientos, cosa que no pudimos realizar por falta de tiempo. También, colocar el ventilador en distintos ángulos, no solo en ángulos con 45º de distancia, podríamos haber probado, por ejemplo, con ángulos de 15º, sería una futura línea de investigación en nuestro proyecto muy interesante y que ampliaría nuestro estudio.

8. BIBLIOGRAFÍA

- xombit.com
- onlytenis.com
- wikipedia
- oneair.es

Vídeo de Youtube “¿Cómo golpear con efecto: plano, cortado y liftado en tenis? | Drive y Revés” del canal Sara Nogark.