

USO DE LOS SMARTPHONES EN LOS LABORATORIOS DE PRÁCTICAS DE FÍSICA

Trabajo enmarcado en el proyecto de investigación del segundo curso de Bachillerato de Investigación Excelencia del I.E.S. Diego de Praves.

Autor: Pablo Marcos Parra

Fecha: 4 de Abril 2017



Índice

1.1	Título	4
1.2	Área de investigación	4
1.3	Autor.....	4
1.4	Tutores.....	4
1.5	Lugar, institución.....	4
2	PRESENTACION	5
2.1	Justificación.....	5
2.2	Antecedentes.....	5
2.2.1	Las PDAs.....	5
2.2.2	Evolución de los smartphones.....	5
2.3	Marco teórico.....	10
2.3.1	Sensores estudiados.....	10
2.3.2	Campos Magnéticos y electromagnetismo.....	14
2.3.3	Cinemática.....	15
2.4	Objetivos.....	19
3	DESARROLLO	19
3.1	Experiencias.....	19
3.1.1	Choques.....	19
3.2	Aceleración de un ascensor.....	23
3.2.1	Magnetómetro	25
3.2.2	Análisis de videos.....	25
3.3	Metodología.....	25
3.4	Métodos, técnicas e instrumentos de recogida.	25
3.5	Análisis e interpretación de resultados	26
3.5.1	Choques.....	26

3.5.2	Aceleración ascensor.....	32
3.5.3	Análisis de videos.....	35
4	CONCLUSIONES	39
5	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
6	ANEXOS	41
6.1	Lenovo Motorola MOTO G4	41
6.2	ASUS MeMO Pad 7 (ME170C).....	43

Agradecimientos

GENERALIDADES

1.1 Título

Uso de los smartphones en los laboratorios de prácticas de física.

1.2 Área de investigación

Física aplicada.

1.3 Autor

Pablo Marcos Parra.

1.4 Tutores

UVA: Miguel Ángel González Rebollo. Dpto. Física de la Materia Condensada. Manuel Ángel González Delgado. Departamento de Física Aplicada.

IES Diego de Praves: Jose Luis Fernández.

1.5 Lugar, institución.

Universidad de Valladolid.

IES Diego de Praves.

2 PRESENTACION

2.1 Justificación

La creciente incorporación de distintos tipos de sensores (acelerómetros, giróscopos, magnetómetros, sensores de proximidad, etc.) en los smartphones hace que puedan servir como dispositivos para la captura y el tratamiento de datos físicos en laboratorios docentes, convirtiéndolos en una alternativa muy interesante a los dispositivos de medida más tradicionales y más caros que se utilizan en ellos además de una nueva manera de acercar la física a los estudiantes.

2.2 Antecedentes

Un Smartphone (del inglés *phone* que significa teléfono y *smart* que significa inteligente) es un dispositivo electrónico que mezcla las funciones de una PDA (*personal digital assistant*) utilizada como agenda de notas, de dibujo o calendario entre otras funciones; y un teléfono móvil que permite realizar llamadas o mandar mensajes sin la necesidad de estar conectados a la línea telefónica fija.

Al principio, solo juntaban ambas funciones proporcionando además GPS y cámara pero posteriormente los smartphones recibieron conectividad a Internet.

2.2.1 Las PDAs

Los smartphones tienen muchas cualidades en común con las PDAs, del inglés *personal digital assistant*, traducido al castellano como asistente personal digital.

Es una computadora de mano originalmente diseñada como agenda personal electrónica con un sistema de reconocimiento de escritura. Con la tecnología actual pueden tener teclado, reconocimiento de escritura o incluso reconocimiento de voz.

Las PDAs comparten funciones con los smartphones, como la presencia de Sistema Operativo (SO) propio. Algunos ejemplos de estos SO son Windows Mobile, PalmOS y SymbianOS.

Con la aparición de los smartphones, más superiores técnicamente, las PDAs fueron relegadas a un segundo plano.

2.2.2 Evolución de los smartphones

Los smartphones han tenido varias generaciones, clasificadas según la tecnología presente en los terminales:

2.2.2.1 Primera Generación (1G)

- **Características de 1G**

En los años 1970 fue introducida la Primera Generación de redes móviles o 1G. Esta red de móviles estaba basada en sistemas de transmisión análogos, enviando la señal de una torre de transmisión a otra.

Algunos de los estándares más famosos que surgieron con esta tecnología fueron: Sistema Telefónico Móvil Avanzado (AMPS, por sus siglas en inglés), Sistema de Comunicación de Acceso Total (TACS) y Telefonía Móvil Nórdica (NMT). Con la aparición de la red 1G el mercado de teléfonos móviles creció entre un 30 y 50 por ciento (%) anualmente, y el número de suscritos mundiales alcanzó aproximadamente 20 millones para 1990.

Los dispositivos 1G eran relativamente menos pesados y costosos que dispositivos anteriores.

- **Teléfonos inteligentes de la primera generación**

El primer teléfono de la historia considerado como teléfono móvil inteligente fue el IBM Simon Personal Communicator, cuyo prototipo apareció en 1992 y cuya venta comenzó en 1994. Aquel teléfono con características de PDA contaba con una pantalla monocromática de 160x293 píxeles, en la cual era posible dibujar en ella con un bolígrafo para escribir en el teléfono, incluido. Su éxito fue muy limitado y en febrero de 1995 desapareció del mercado.



Fig 1. IBM Simon Personal Communicator.

Seis años más tarde, apareció el primer teléfono que realmente se vendía como un smartphone. Se trataba del Ericsson R380, un terminal que costaba cerca de 700 dólares y que era el primer terminal que además utilizaba el entonces recién aparecido Symbian OS, el sistema operativo que usaban los primeros teléfonos. Este terminal, hoy en día no sería capaz de competir técnicamente con ningún smartphone, incluidos los de gama más baja debido a sus bajas prestaciones que, sin embargo, fueron muy avanzadas en su época.

Aquel dispositivo GSM 900/1800 tenía una pantalla táctil retroiluminada, incluía soporte WAP para acceso a Internet y aplicaciones como un calendario, cliente de correo, navegador WAP, bloc de notas, calculadora o reloj con alarma.

Con 2 MB de RARM y 4 de ROM, una pantalla de 3,5 pulgadas y resolución de 120 x 360 píxeles y se conectaba al PC por un puerto serie. El teléfono sentó las bases del dominio de Symbian durante los siguientes años y el precedente para el futuro de unos dispositivos que poco a poco han ido dominando en el mercado.



Fig 2. Ericsson R380.

2.2.2.2 Segunda Generación (2G)

A principios de los años 90 se introdujeron en el mercado con el despliegue de la tecnología GSM, los teléfonos considerados 2G.

El Sistema Global para las comunicaciones Móviles o GSM, era un sistema de comunicación que utiliza modulación digital para mejorar la calidad de la voz, pero sus servicios inicialmente fueron muy limitados.

Mientras la demanda por los teléfonos móviles aumentaba, los proveedores de 2G continuaron mejorando la calidad de transmisión y la cobertura. Estos proveedores comenzaron también a ofrecer servicios adicionales, como fax, mensajes de textos y buzón de voz.

A finales de los 90 fue introducida una fase intermedia conocida como 2.5G. Esta fase utilizaba el estándar GPRS, el cual permitía a los usuarios enviar datos con imágenes y/o gráficos. La importancia de este servicio creció más tarde al tiempo que se desarrollaban Internet y los Protocolos de Internet (IP).

2.2.2.3 Tercera Generación (3G)

Posteriormente, a principios de los 2000, comenzó una revolución tecnológica en cuanto a tecnología móvil se refiere que nos llevaría a los teléfonos actuales

La aparición del 3G permitió a los usuarios el uso de aplicaciones de audio, imágenes y vídeo. A través del 3G es posible ver vídeo en *streaming* (en tiempo real, sin que el vídeo se detenga) y hacer uso de las vídeollamadas, aunque

realmente en la práctica este tipo de actividades se ven restringidas por la velocidad de la red.

Uno de los principales objetivos del 3G era estandarizar las redes en un único protocolo de red global, en vez de utilizar los diferentes estándares que habían estado siendo adoptados anteriormente en Europa, Estados Unidos, y otras regiones.

Los servicios móviles 3G, también conocidos como UMTS, sostienen mayores velocidades de datos (puede ofrecer velocidades de hasta 2Mbps, pero sólo bajo las mejores condiciones y en modo estacionario) y abren el camino a aplicaciones con uso de Internet. El 3G soporta voz y datos al mismo tiempo y se puede utilizar con un grupo de estándares alrededor del mundo, siendo compatible con una amplia variedad de dispositivos móviles.

Según ha pasado el tiempo al 3G se le han hecho algunas modificaciones, una de las más importantes fue la actualización de la tecnología UMTS, haciendo llegar la velocidad de conexión hasta los 14Mbps. A esta actualización se le dió el nombre de HSDPA (*High-Speed Downlink Packet Access*), la cual también se conoce como 3.5G, o 3G+ .

2.2.2.4 Cuarta Generación (4G)

La generación 4G es la generación actual de telefonía móvil. Su principal característica técnica es la elevada velocidad máxima de transmisión de datos que esta entre 100 Mbit/s para una movilidad alta y 1 Gbit/s para movilidad baja.

El 4G está basada completamente en el protocolo IP. Esta tecnología es usada por módems inalámbricos, móviles inteligentes y otros dispositivos móviles, como tabletas o relojes inteligentes.

- **Smartphones actuales**

En la actual generación de teléfonos inteligentes, la potencia de cálculo es comparable a la de un ordenador de escritorio o portátil ya que los teléfonos deben ser capaces de ejecutar un sistema operativo móvil (SO móvil) completo e identificable. Este SO para móviles debe permitir que las aplicaciones tengan una mejor integración con el software base y el hardware del smartphone.

Algunos ejemplos de SO más populares serían:

- Android (Última versión estable 7.1 en enero de 2017).
- iOS (Última versión estable 10.2 en enero de 2017).



Fig 3. Logos de iOS y Android (respectivamente).



Fig 4. Imagen del Iphone 7, el último modelo de Apple con iOS 10.2.



Fig 5. Imagen del Google Píxel, smartphone desarrollado por Google, desarrollador de Android.

2.3 Marco teórico

2.3.1 Sensores estudiados

2.3.1.1 Acelerómetro

En principio, este sensor es del tipo mecánico en los smartphones.

El acelerómetro mecánico se basa en una especie de tubo donde encontramos un muelle y una masa. Esta masa se desplaza verticalmente en función de la aceleración por lo que con la interpretación conjunta de tres tubos situados en cada uno de los ejes de coordenadas podemos saber la aceleración exacta del móvil los tres ejes del teléfono (ver figura 7). El acelerómetro mecánico es el tipo más simple de acelerómetro.

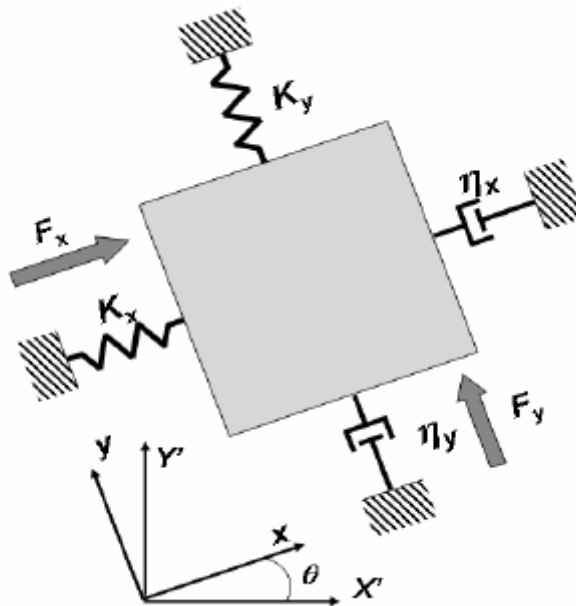


Fig 6. Esquema del acelerómetro mecánico.

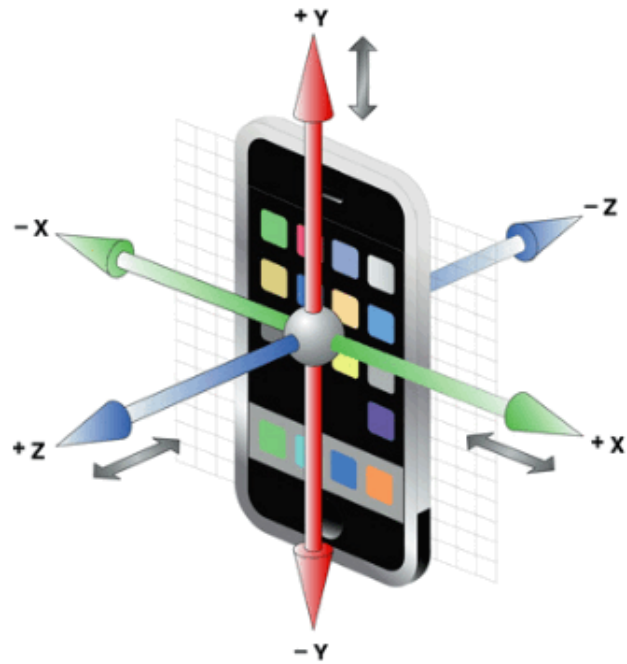
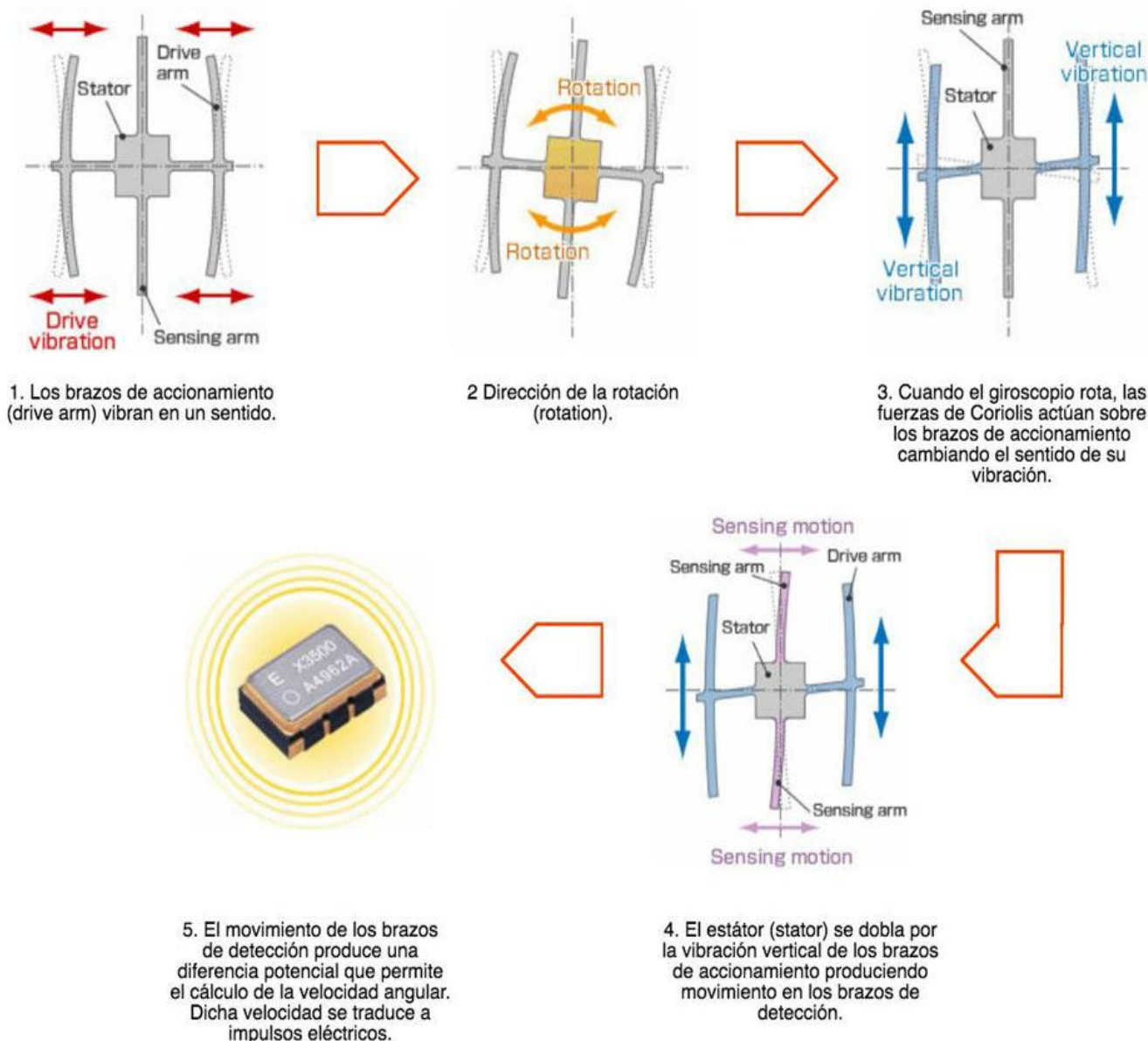


Fig 7. Ejes de coordenadas de los smartphones

2.3.1.2 Giroscopio

El giroscopio es un sensor dedicado a medir la velocidad angular (medida en radianes por segundo) del dispositivo en todos los ejes, de la manera que se ve en la siguiente figura:



Fuente: Epson

Fig 8. Esquema del funcionamiento del giroscopio.

La combinación de giroscopio y acelerómetro es la que permite al smartphone saber en qué plano del espacio se encuentra, cuál es su aceleración con respecto al punto de partida y si el dispositivo está girando sobre el plano o inclinándose, es decir que detectan el movimiento del dispositivo en sus seis ejes.

2.3.1.3 Magnetómetro

Por definición, el magnetómetro es el sensor que mide la fuerza o dirección de una señal magnética. La mayoría de smartphones lo utilizan como brújula, detectando el polo norte magnético de nuestro planeta para definir donde se encuentra el polo norte geográfico.

2.3.1.4 Cámara digital

Hoy en día casi todo el mundo tiene una cámara a mano, como sería por ejemplo la cámara de nuestros smartphones. Hasta hace poco se conseguía hacer una foto grabando la luz en un papel o película, pero actualmente el proceso consiste en convertir la luz en bits y bytes de información.



Fig 9. Cámara digital del Motorola Moto G4, smartphone utilizado en el proyecto (ver anexo).

La lente de una cámara esta formada por múltiples componentes ópticos que se encargan de capturar, dirigir y enfocar la luz de forma adecuada. Cuando ajustamos el enfoque de nuestra cámara, realmente lo que está ocurriendo es que es las diferentes partes de dicha lente se mueve físicamente.

Todo comienza realmente con el sensor de imagen, y aunque hay diferentes tipos, el más extendido es el sensor CMOS. Este sensor se encarga de convertir la luz/fotones que recibe en señales eléctricas. Podríamos decir que este sensor es el equivalente a la retina en nuestros ojos.

Realmente un sensor de imagen consiste en una agrupación de muchísimos elementos fotosensibles (denominados píxeles) dispuestos en un gran rectángulo.

Cuando los fotones llegan al fotodiodo del sensor de imagen, estos van cargando cada uno de los píxeles (que equivalen a los cuadrados que decía antes) hasta que coincida con el nivel de los fotones y por tanto, de la intensidad de la luz.

Aquí también entra en juego el obturador, que permitirá que pase más o menos luz a la lente según su apertura, durante un tiempo determinado indicado por la velocidad del mismo. Hay distintos tipos de obturador, aunque en la telefonía móvil no se suele dar la opción de controlarlo, a excepción de casos concretos como el Nokia Lumia 1020.

A continuación se representan los colores vistos. Los colores pueden representarse utilizando distintos espacios de color, que describen la forma en que sistemas numéricos como el sistema sRGB.

Para poder generar una imagen con color se recurre a un algoritmo de interpolación cromática, que en resumen lo que hace es reconstruir la imagen que inicialmente queríamos capturar, haciendo uso de los datos recogidos por el sensor de imagen recubierto por el filtro de color que hemos visto antes. Hay diferentes algoritmos de este tipo, y tienen muchísimo impacto en el resultado final.

Lo último que hace una cámara es escribir todos los datos de la imagen en un archivo, ya que este modifica los datos de la imagen final para conseguir comprimirla enormemente.

Hay que investigar nuevos métodos para hacer que un sensor sea capaz de reconocer los colores con un filtro que no pierda tanta información, y al mismo tiempo algoritmos que sean capaces de reconstruir con total fidelidad los datos que obtienen.

2.3.2 Campos Magnéticos y electromagnetismo.

En 1820 el danés Oesterd propuso un experimento para demostrar la relación campo magnético-electricidad. El experimento consistía en la colocación de una brújula delante de un cable metálico por el que pasaría corriente eléctrica. Cuando la corriente pasaba, la aguja de la brújula comenzaba a moverse; sin embargo, cuando la corriente no pasaba, la aguja apuntaba al norte. A partir de este experimento, comenzaron a proponerse teorías acerca de este fenómeno:

○ Ley de Lorentz

Es una ley física que explica que la fuerza del campo magnético es igual al producto de la carga, por el producto vectorial de la velocidad de esta carga por su inducción magnética.

$$F = q \times (v \wedge B)$$

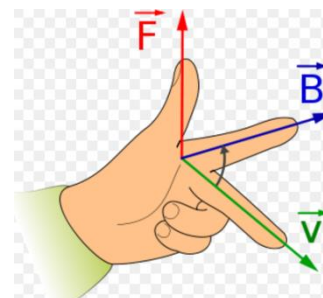


Fig 10. Regla de la mano izquierda

Esta fórmula aplicada a conductores rectilíneos dice que la fuerza es igual a la intensidad, por el producto vectorial de la longitud del cable y la inducción magnética.

$$F = I \times (L \wedge B)$$

• Teoría del campo electromagnético de Faraday

En la teoría del campo electromagnético sugerida por Faraday, desaparecía la distinción esencial entre fuerza y materia, introduciendo la hipótesis de que **las fuerzas constituyen la única sustancia física**.

Las características de las fuerzas eran, según él:

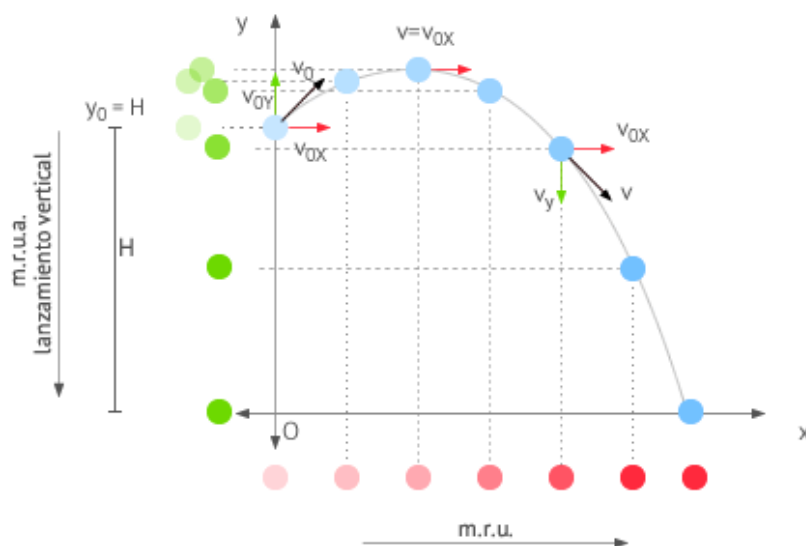
- Cada punto de fuerza actúa directamente sólo sobre los puntos vecinos.

- La propagación de cualquier cambio de la intensidad de la fuerza requiere un tiempo finito.
- Todas las fuerzas son básicamente de la misma clase; no hay en el fondo fuerzas eléctricas, magnéticas ni gravitatorias, sino sólo variaciones (probablemente geométricas) de un sólo tipo de fuerza subyacente.

2.3.3 Cinemática

2.3.3.1 Movimiento parabólico (composición de movimientos)

El movimiento parabólico, también conocido como tiro oblicuo, consiste en el lanzamiento de un cuerpo con una velocidad que forma un ángulo α con la horizontal. En la siguiente figura se puede ver una representación de la situación:



Movimiento Parabólico

Este movimiento es el propio de los proyectiles. En el eje x el cuerpo se desplaza a velocidad constante v_{0x} (m.r.u.) y en el eje y con una aceleración constante provocada por la gravedad (m.r.u.a.).

Se caracteriza porque en el punto más alto, la velocidad del cuerpo es siempre v_{0x} (no hay v_y).

Fig 11. Explicación del movimiento parabólico

Ecuaciones del movimiento parabólico

- Ecuación del movimiento rectilíneo uniforme para el eje X, es decir el desplazamiento en ese eje:

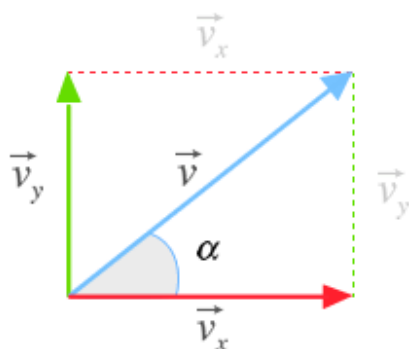
$$x = x_0 + v_x \cdot t$$

- Ecuaciones del movimiento rectilíneo uniformemente acelerado para el eje Y, es decir el desplazamiento en ese eje:

$$v_y = v_{0y} + a_y \cdot t$$

$$y = y_0 + v_{0y} \cdot t + 1/2 \cdot a_y \cdot t^2$$

Dado que, como dijimos anteriormente, el vector velocidad forma un ángulo α con la horizontal, las componentes x e y se determinan recurriendo a las relaciones trigonométricas más habituales:



Según las razones trigonométricas

$$v_x = v \cdot \cos \alpha \quad v_y = v \cdot \sin \alpha$$

$$\tan \alpha = \frac{v_y}{v_x}$$

Según el teorema de Pitágoras

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

Descomposición del Vector Velocidad

Cualquier vector, incluida la velocidad puede descomponerse en 2 vectores que tienen la dirección de los ejes cartesianos \vec{v}_x e \vec{v}_y . Los módulos de ambos vectores pueden calcularse a partir del ángulo que crea el vector con la horizontal mediante las expresiones que aparecen en la figura.

Fig 12. Descomposición de los vectores del movimiento parabólico

Finalmente, teniendo en cuenta lo anterior, $y_0 = H$, $x_0 = 0$, y $a_y = -g$ (g es la gravedad), podemos reescribir las fórmulas tal y como quedan recogidas en la siguiente lista:

- **Posición (m)**

- Eje horizontal (eje X):

$$x = v_x \cdot t = v_0 \cdot \cos(\alpha) \cdot t$$

- Eje vertical (eje Y):

$$y = H + v_{0y} \cdot t - 1/2 \cdot g \cdot t^2 = H + v_0 \cdot \sin(\alpha) \cdot t - 1/2 \cdot g \cdot t^2$$

- **Velocidad (m/s)**

- Eje horizontal (eje X):

$$v_x = v_{0x} = v_0 \cdot \cos(\alpha)$$

- Eje vertical (eje Y):

$$v_y = v_{0y} - g \cdot t = v_0 \cdot \sin(\alpha) - g \cdot t$$

- **Aceleración (m/s²)**

- Eje horizontal (eje X)

$$a_x = 0$$

- Eje vertical (eje Y)

$$a_y = -g$$

2.3.3.2 Movimiento Rectilíneo Uniforme (MRU)

El movimiento rectilíneo uniforme (m.r.u.), es aquel movimiento con velocidad constante y cuya trayectoria es una línea recta.

Ecuaciones del m.r.u.

- **Velocidad**

En los m.r.u. la velocidad del cuerpo es constante y por tanto igual a la velocidad inicial. Su unidad en el Sistema Internacional (S.I.) es el metro por segundo (m/s).

$$v = v_0 = \text{cte}$$

- **Posición**

$$x = x_0 + v \cdot t$$

Donde:

- x_0 es la posición inicial.
- v es la velocidad que tiene el cuerpo a lo largo del movimiento.
- t es el intervalo de tiempo durante el cual se mueve el cuerpo.

- **Aceleración**

Dado que la velocidad es constante, la aceleración en el m.r.u es 0.

$$a = 0$$

2.3.3.3 Principio de conservación del momento lineal.

El principio de conservación del momento lineal establece que si la resultante de las fuerzas que actúan sobre un cuerpo o sistema es nula, su momento lineal permanece constante en el tiempo. El principio de conservación del momento lineal es una consecuencia del Principio de Acción Reacción o Tercera Ley de Newton.

$$\sum \vec{F} \rightarrow 0 \Leftrightarrow \vec{p} \rightarrow \text{constante}$$

Aplicado a choques

El principio de conservación del momento lineal tiene una importante aplicación en el estudio de fenómenos como choques, que es uno de las experiencias realizadas de este proyecto, siempre que la resultante de las fuerzas exteriores sea nula o prácticamente despreciable, ya que antes del fenómeno y después del fenómeno el momento lineal de todo el sistema es:

$$\vec{p} \rightarrow \text{antes} = \vec{p} \rightarrow \text{despues}$$

Por ejemplo, pongamos dos cuerpos A y B aislados en los que solo exista una interacción entre ellos. Según el Principio de Acción Reacción:

$$\vec{F} \rightarrow AB = -\vec{F} \rightarrow BA$$

Sabiendo que $\vec{F} \rightarrow \Delta \vec{p} \rightarrow \Delta t$ entonces:

$$\Delta \vec{p} \rightarrow A \Delta t = -\Delta \vec{p} \rightarrow B \Delta t \Rightarrow \Delta (\vec{p} \rightarrow A + \vec{p} \rightarrow B) \Delta t = 0$$

Esta expresión nos dice que la variación de la suma de los momentos lineales es nula y por lo tanto el momento lineal total de ambos cuerpos permanece constante:

$$\vec{p} \rightarrow A + \vec{p} \rightarrow B = \text{constante}$$

2.3.3.4 Choque elástico

Es el choque entre dos o más cuerpos en el que se conserva la energía cinética y la cantidad de movimiento del sistema. Los cuerpos no sufren deformaciones permanentes durante el impacto y no se produce intercambio de masa por lo que se separan íntegramente después del choque. En resumen el choque elástico tiene las siguientes características:

- Cantidad de movimiento. Constante.
- Energía cinética: Constante.
- Después del choque: Cuerpos libres.

2.3.3.5 Choque inelástico

Es el choque entre dos o más cuerpos en el que no se conserva la energía cinética. Tras el impacto la suma de las energías cinéticas de todos los cuerpos implicados es inferior a la inicial. Sin embargo, la cantidad de movimiento del sistema permanece constante. En resumen, un choque inelástico tiene:

- Cantidad de movimiento. Constante.
- Energía cinética: No se conserva.
- Después del choque: Cuerpos libres.

2.4 Objetivos

Los objetivos de este trabajo de investigación han sido:

- Introducción al estudio de la tecnología de los diferentes sensores.
- Utilización de las apps desarrolladas para el diseño de experimentos docentes tanto en el laboratorio como fuera de él.
- Introducción al tratamiento y a la interpretación de datos experimentales.

3 DESARROLLO

3.1 Experiencias

3.1.1 Choques

Mediante la utilización de un carril de aire donde el rozamiento era prácticamente nulo, se realizaron diferentes tipos de choque entre dos móviles:

- Móvil A: se trataba de un carro de peso 176,06 gramos, donde se adheriría a lo largo de los choques para realizar las medidas, el smartphone Lenovo Motorola Moto G4 (ver anexo) y diferentes complementos para cada choque.
- Móvil B: se trataba de un carro de peso 176,60 gramos, donde se adheriría para tomar las medidas la tablet Asus MeMO Pad 7”(ver anexo) y los diferentes complementos para cada choque.



Fig 13. Carril de aire utilizado en los choques



Fig 14. Imagen del carro utilizado como móvil A

3.1.1.1 Choque elástico con un móvil en movimiento y otro en reposo

En primer lugar, se realizaron una serie de choques elásticos donde al Móvil A se le proporcionaba una aceleración inicial en dirección al Móvil B para luego chocar con el Móvil B que se encontraba con velocidad 0, es decir, en reposo. Se realizaron tres intentos.

Equipamiento

El Móvil A se encontraba equipado en el carro como puede verse en la figura 15, con una cuchilla (9,43 gramos) que al chocar con la goma (11,07 gramos) que el Móvil B tenía equipada como puede verse en la figura 16 rebotaba haciendo el choque elástico.



Fig 15. Carro del Móvil A equipado con el cuchillo

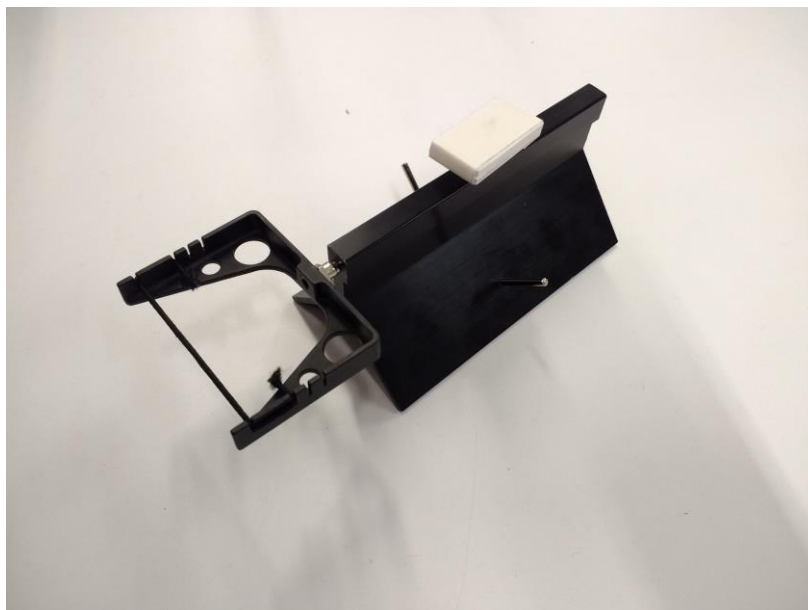


Fig 16. Carro del Móvil B equipado con la goma

3.1.1.2 Choque elástico con ambos móviles en movimiento

En segundo lugar, se realizaron una serie de choques elásticos frontales donde al Móvil A se le proporcionaba una aceleración inicial en dirección al Móvil B mientras que el Móvil B a su vez había recibido también una aceleración en dirección al Móvil A. Se hicieron tres intentos.

Equipamiento

El carro del Móvil A estaba equipado como puede verse en la figura 14, con una cuchilla que al chocar con la goma que el Móvil B tenía equipada como puede verse en la figura 15 rebotaba haciendo el choque elástico.

3.1.1.3 Choque inelástico con un móvil en movimiento y otro en reposo

Posteriormente, se realizaron una serie de choques inelásticos donde al Móvil A se le proporcionaba una aceleración inicial en dirección al Móvil B para que chocase con el Móvil B que se encontraba en reposo. Se hicieron tres intentos.

Equipamiento

El carro del Móvil A estaba equipado, como puede verse en la figura 17, con una aguja (9,85 gramos) que al chocar, se metía en la plastilina (9,32 gramos) que el Móvil B tenía equipada, como puede verse en la figura 18, y quedaba enganchado uniendo a ambos Móviles haciendo el choque inelástico.

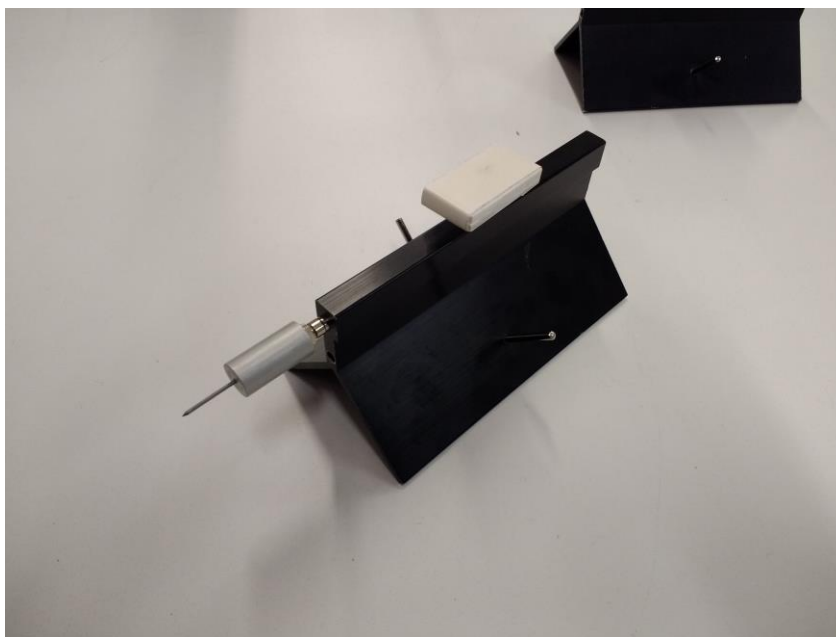


Fig 17. Carro del Móvil A equipado con la aguja



Fig 18. Carro del Móvil B equipado con la plastilina

3.1.1.4 Choque inelástico con ambos móviles en movimiento

En último lugar, se realizaron una serie de choques inelásticos frontales donde al Móvil A se le proporcionaba una aceleración inicial en dirección al Móvil B para que chocase con el Móvil B, que a su vez había recibido también una aceleración en dirección al Móvil A. Se hicieron tres intentos.

Equipamiento

El carro del Móvil A estaba equipado, como puede verse en la figura 17, con una aguja que al chocar, se metía en la plastilina que el Móvil B tenía equipada, como puede verse en la figura 18, y quedaba enganchado uniendo a ambos Móviles haciendo el choque inelástico.

3.2 Aceleración de un ascensor

Posteriormente, se realizaron diferentes medidas de la aceleración de un ascensor. Para ello, el smartphone se colocó en la posición que se muestra en la siguiente figura:

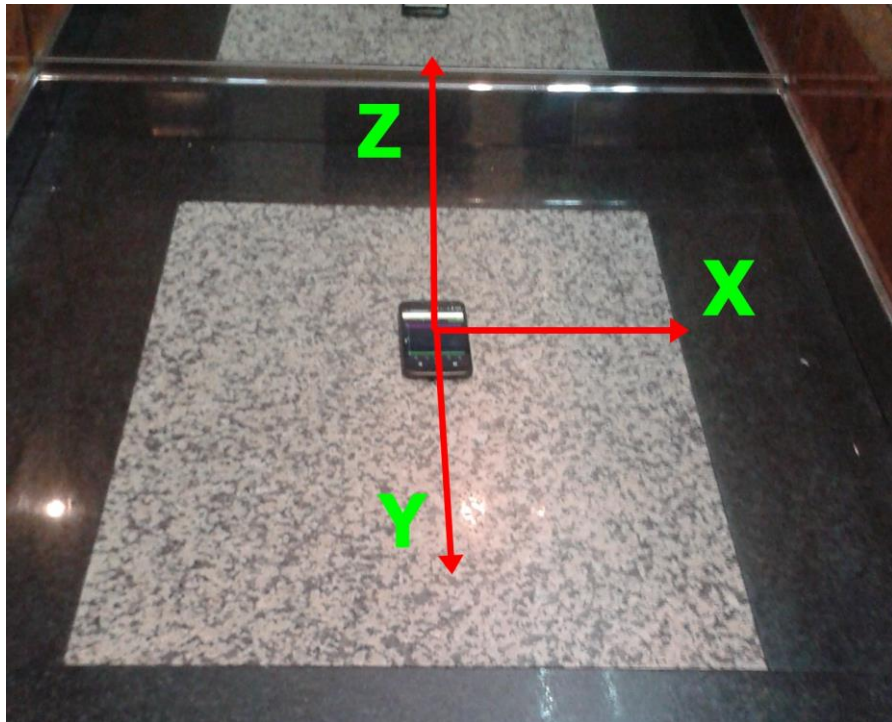


Fig 19. Posición del smartphone en la toma de datos, con los respectivos ejes del dispositivo

La aceleración a tener en cuenta es la aceleración registrada en el eje Z del smartphone, ya que el movimiento del ascensor es como el que se muestra a continuación:

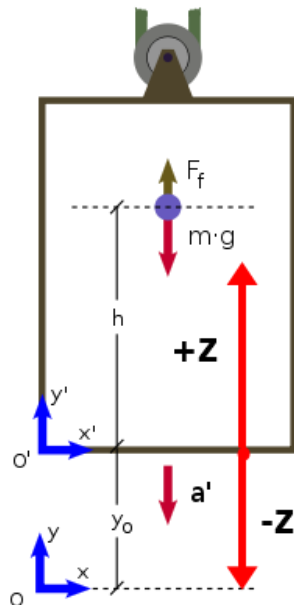


Fig 20. Movimiento del ascensor

Se realizaron dos experiencias en las que se tomaron datos:

- Movimiento del ascensor desde el piso 0 del edificio hasta el piso 3.
- Movimiento del ascensor desde el piso 4 hasta el piso 0 del edificio.

3.2.1 Magnetómetro

En esta experiencia, se hizo uso del magnetómetro del dispositivo para tomar diversas medidas, entre la que cabe destacar la medida del campo magnético terrestre para la cual se alineó el norte magnético de la Tierra con el eje X del teléfono. Esta experiencia es solo una mención ya que no se analizará ninguno de los datos obtenidos debido a la dificultad en su manejo.

3.2.2 Análisis de videos

Mediante la utilización de la cámara lenta del Motorola Lenovo Moto G4 (ver anexo), se realizó la grabación del lanzamiento parabólico de una bola con el fin de analizar su movimiento posteriormente mediante el uso del programa Tracker, el cual se explicará posteriormente.

Según las especificaciones del smartphone, el vídeo se grabó a 120 FPS (Fotogramas por segundo).

3.3 Metodología

Inicialmente en sesiones presenciales se realizaron diversas experiencias en el laboratorio para aprender a manejar la tecnología y las apps que se utilizarían posteriormente.

La segunda etapa consistió en el diseño de montajes prácticos correspondientes a diferentes situaciones cotidianas y la consecuente realización de las medidas. En esta etapa los tutores plantearon algunos experimentos en los que se podía visualizar conceptos fundamentales de la física estudiada aportando bibliografía y las explicaciones necesarias.

La tercera y última parte corresponde al análisis y la interpretación de los datos obtenidos.

3.4 Métodos, técnicas e instrumentos de recogida.

En el transcurso del proyecto se utilizaron varias aplicaciones para análisis y recogida de los datos:

- **Sensor Mobile:** es una aplicación para smartphones que permite al usuario acceder a los datos recogidos por los sensores del smartphone, así como grabarlos si fuera necesario. Esta app ha sido desarrollada por el grupo de Innovación Docente TIA de la UVa.

- **Tracker:** es un programa de ordenador gratuito de análisis físico de videos y que será usado en el análisis de video nombrado anteriormente.

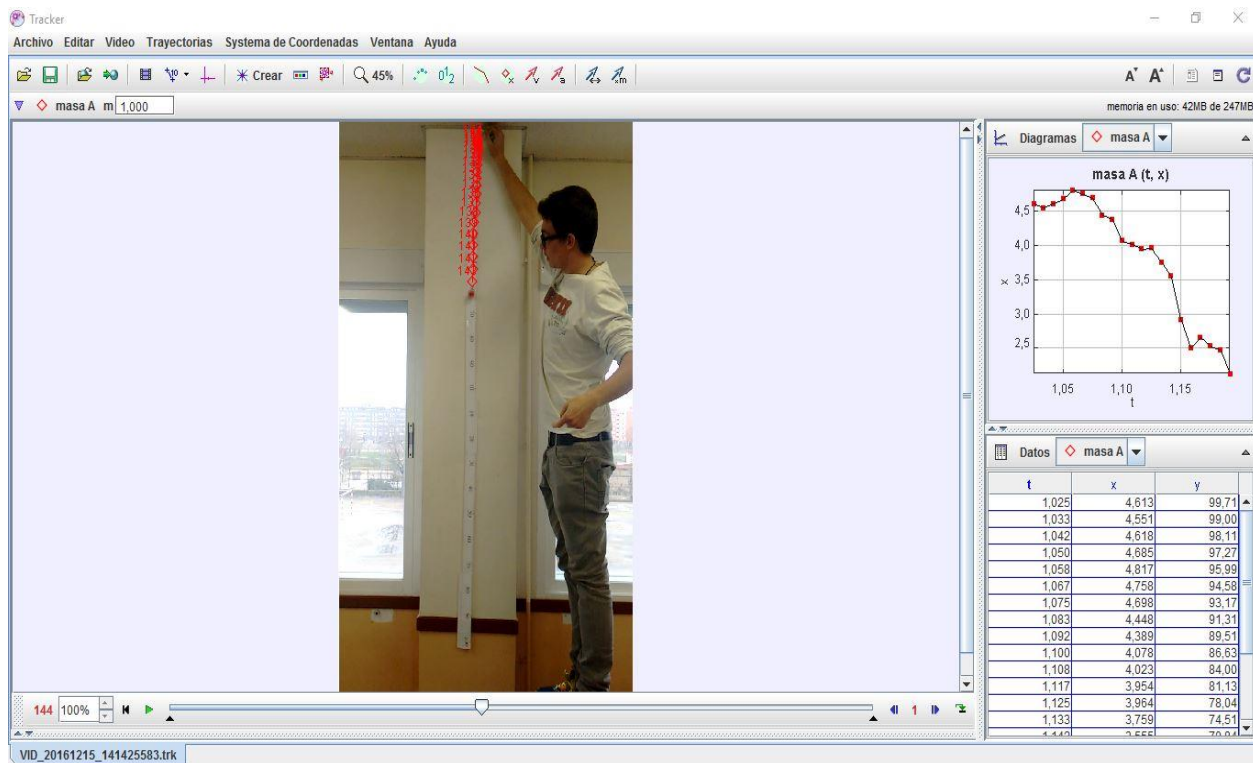


Fig 21. Interfaz del programa Tracker

3.5 Análisis e interpretación de resultados

3.5.1 Choques

En primer lugar, aclarar varias cosas:

- El objetivo de esta experiencia era demostrar el **principio de conservación del momento lineal**. Para ello hemos realizado el cálculo del área bajo la curva (diferencial de tiempo por aceleración) y multiplicado por la masa total del móvil, lo que según el principio debe dar los mismos valores.
- El eje del teléfono del acelerómetro del que se va a analizar los choques es el eje Y.
- Debido a la posición de los dispositivos al chocar durante las experiencias, ambos smartphones registran datos de aceleración negativa del eje Y como puede verse en la siguiente figura:

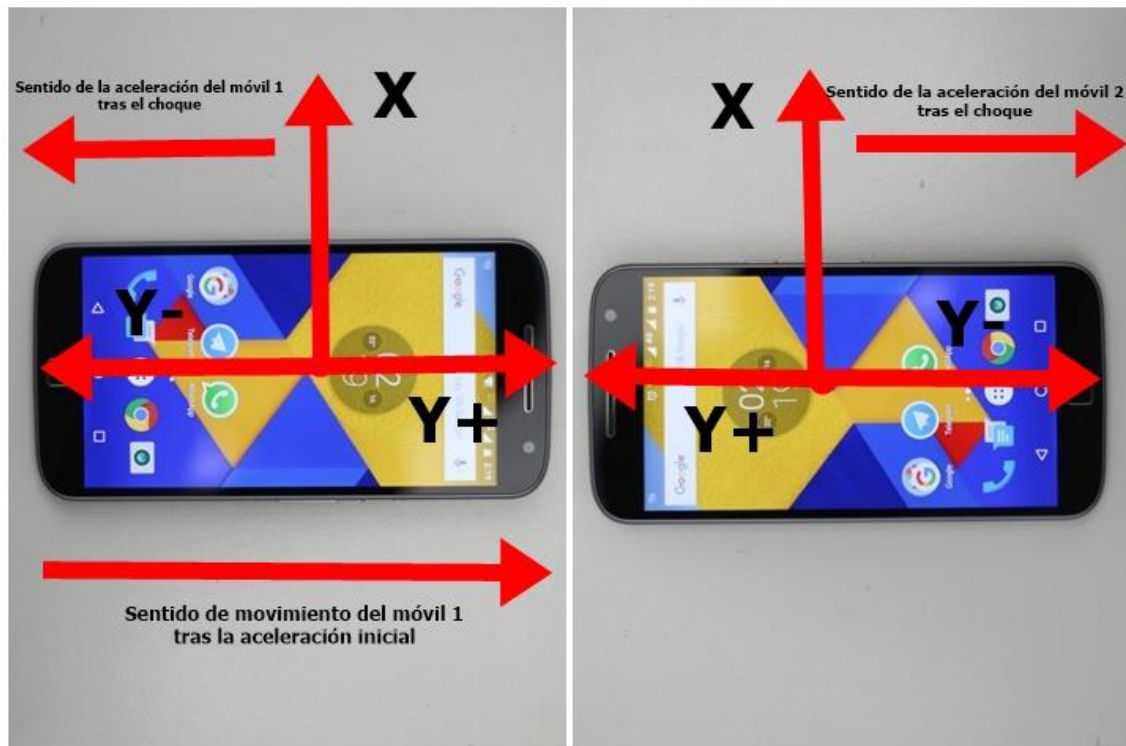


Fig 22. Representación de las posiciones de los dispositivos durante las experiencias, al chocar ambos dispositivos reciben aceleración negativa en el eje Y

- Durante los choques, debido a pequeñas oscilaciones de los dispositivos sobre sus carros se produjeron errores en la recogida de datos:
 - Móvil 1: el Motorola, tras hacer un promedio de la aceleración cuando estaba en reposo, (técnicamente 0 m/s^2) registraba un error de $-0,45 \text{ m/s}^2$.
 - Móvil 2: la tablet, tras hacer un promedio de la aceleración cuando estaba en reposo (0 m/s^2), registraba un error de $0,47 \text{ m/s}^2$.

Para subsanar el error, simplemente se han restado las cantidades anteriormente nombradas a la aceleración registrada.

3.5.1.1 Choque elástico con un móvil en movimiento y otro en reposo

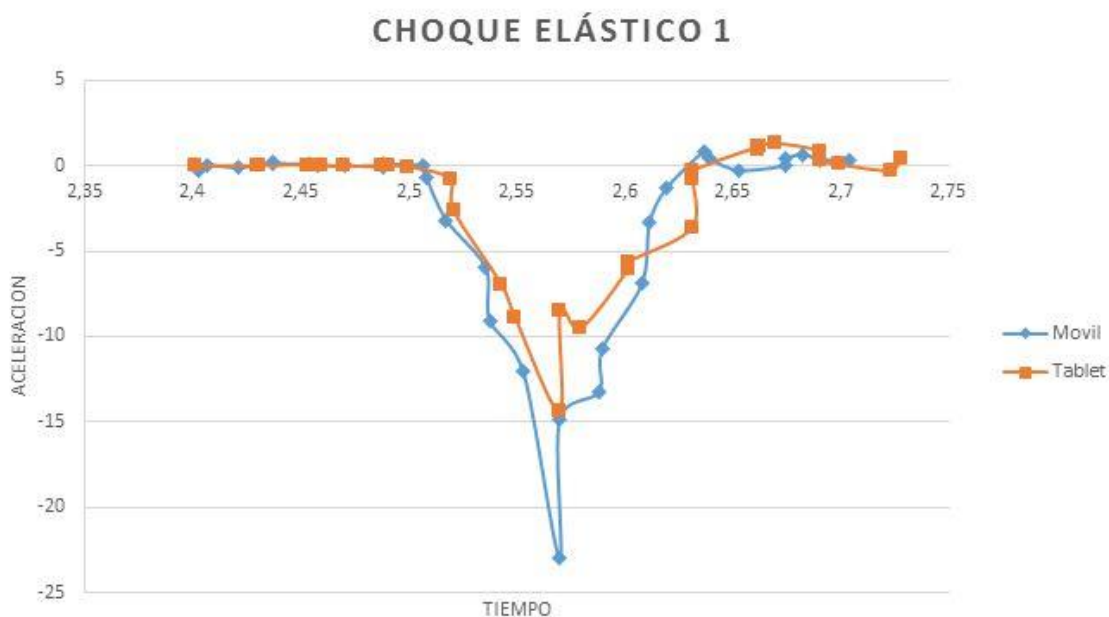


Fig 23. Representación de los datos recogidos durante el choque donde se ven contrastados las aceleraciones de ambos dispositivos.

Movil (2,5 a 2,63)	Tablet(2,5 a 2,63)
-0,001559441	-0,01496764
-0,03418072	-0,004443559
-0,116574066	-0,153681515
-0,018657712	-0,05785857
-0,193663033	-0,292306813
-0,389858994	-0,003152755
-0,002447824	-0,09164416
-0,248794562	-0,132469878
-0,018004697	-0,001222659
-0,134565971	-0,106496116
-0,01374463	-0,000137269
-0,013803546	-3,36685E-05
0,006247622	0,033803428
-0,000151196	
-1,17975877	-0,824611176
-0,397142195	-0,398765473

Fig 24. Datos

Como se puede ver en la figura, se realizaron los cálculos del área bajo la curva en el choque lo que nos daba que:

- **Móvil A (Móvil):** el área bajo la curva del móvil era de 1,179 unidades cuadradas, lo que al mutiplicarlo por la masa total del carro (336,63 gramos) para calcular el momento lineal nos daba -0,397.
- **Móvil B (Tablet):** el área bajo la curva de la tablet era de 0,824 unidades cuadradas, lo que al mutiplicarlo por la masa total del carro (483,58 gramos) para calcular el momento lineal nos daba -0,398.

Salvando errores en las milésimas que podría deberse a diversos fallos experimentales, como por ejemplo un error en la recogida de datos; ambos momentos son iguales por lo que se puede decir que **se conserva el momento lineal**.

3.5.1.2 Choque elástico con ambos móviles en movimiento

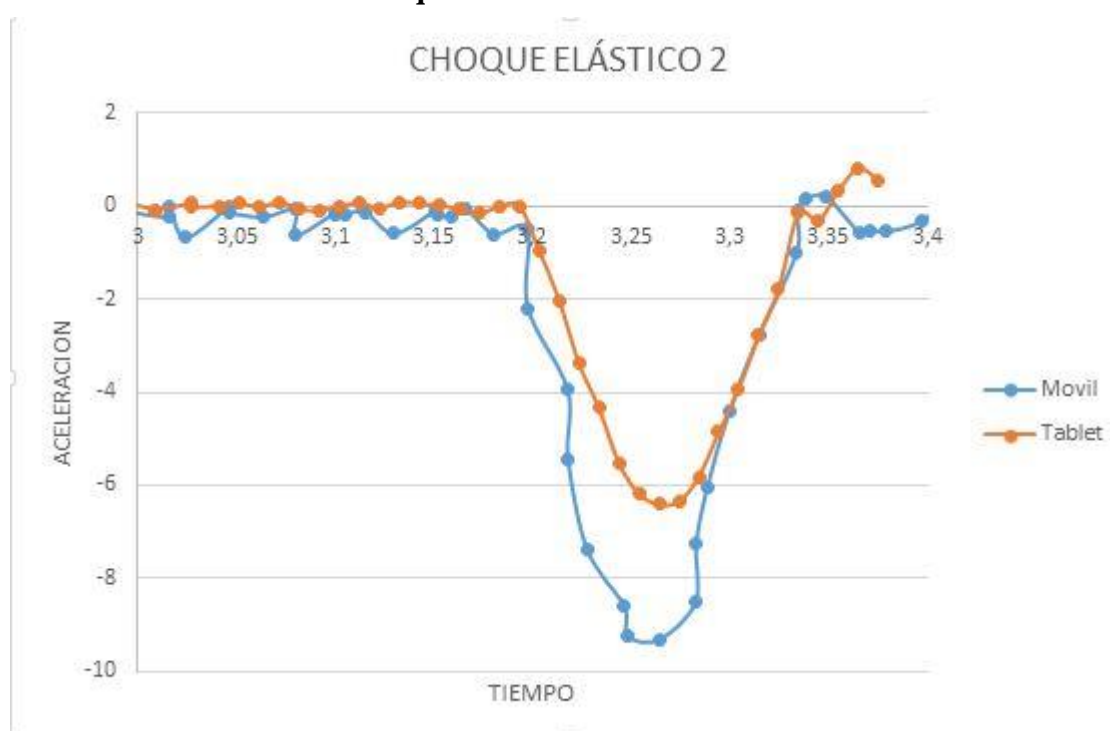


Fig 25. Representación de los datos recogidos durante el choque donde se ven contrastados las aceleraciones de ambos dispositivos.

Movil (3,2 a 3,33)	Tablet (3,2 a 3,33)
-0,008309699	-0,009703381
-0,000558017	-0,020414013
-0,079346081	-0,034299102
-0,001098799	-0,043918546
-0,071518518	-0,05591858
-0,161727216	-0,062563803
-0,014333722	-0,064844275
-0,148936983	-0,064249633
-0,158407389	-0,058794704
-0,003349315	-0,049175261
-0,03360348	-0,039753019
-0,04879781	-0,028149413
-0,042279385	-0,017935328
-0,018707333	-0,001472446
-1,16696E-05	
0,000733522	
-0,790251894	-0,551191505
-0,266022495	-0,266545188

Fig 26.Datos

Como se puede ver en la figura , se realizaron los cálculos del área bajo la curva en el choque lo que nos daba que:

- **Móvil A (Móvil):** el área bajo la curva del móvil era de 0,790 unidades cuadradas, lo que al mutiplicarlo por la masa total del carro (336,63 gramos) para calcular el momento lineal nos daba -0,266.
- **Móvil B (Tablet):** el área bajo la curva de la tablet era de 0,551 unidades cuadradas, lo que al mutiplicarlo por la masa total del carro (483,58 gramos) para calcular el momento lineal nos daba -0,266.

En valor absoluto ambos momentos son iguales por lo que se puede decir que también **se conserva el momento lineal.**

3.5.1.3 Choque inelástico con un móvil en movimiento y otro en reposo

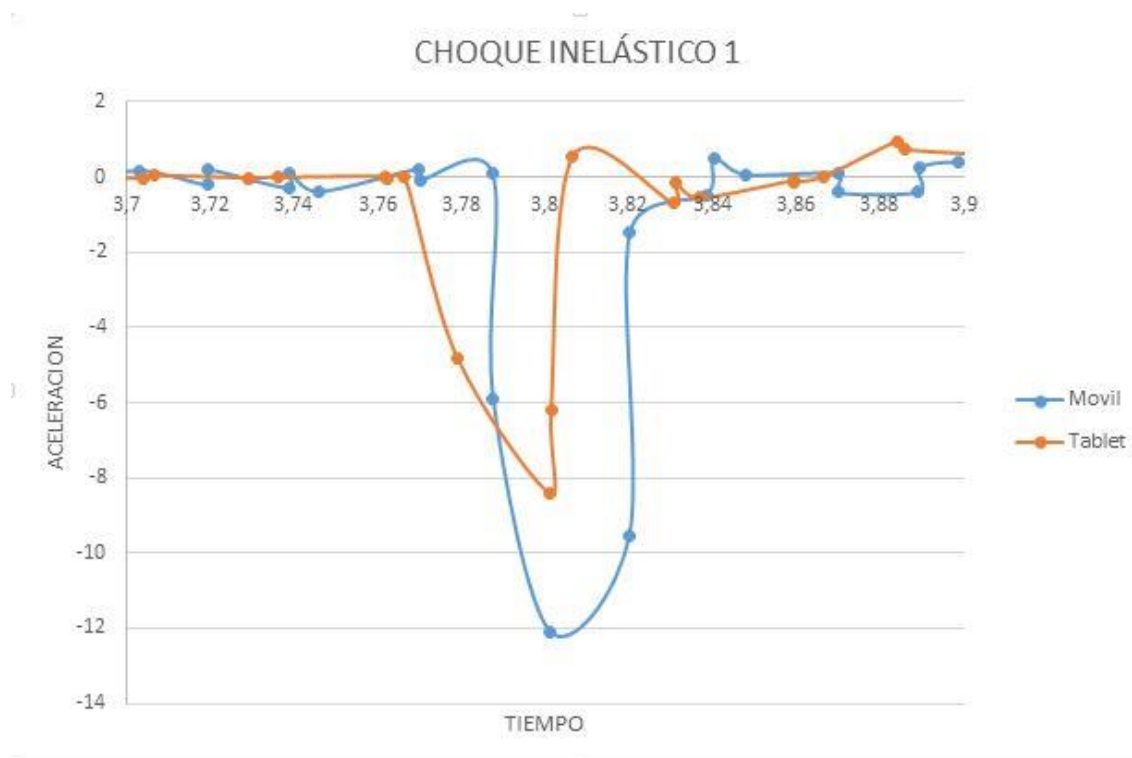


Fig 27. Representación de los datos recogidos durante el choque donde se ven contrastados las aceleraciones de ambos dispositivos.

Móvil(3,75 a 3,83)	Tablet (3,75 a 3,83)
-4,9792E-05	-1,19007E-05
-0,002159328	2,98962E-05
-0,00126477	-0,060973013
-0,168996351	-0,187407899
-0,18347274	-0,000850761
-0,000245131	0,00296261
-0,013049201	-0,017211839
0,000468842	-1,88288E-05
-0,368768471	-0,263481735
-0,125204271	-0,12709305

Fig 28.Datos

Como se puede ver en la figura , se realizaron los cálculos del área bajo la curva en el choque lo que nos daba que:

- **Móvil A (Móvil):** el área bajo la curva del móvil era de 0,368 unidades cuadradas, lo que al mutiplicarlo por la masa total del carro (339,52 gramos) para calcular el momento lineal nos daba -0,125.

- **Móvil B (Tablet):** el área bajo la curva de la tablet era de 0,263 unidades cuadradas, lo que al mutiplicarlo por la masa total del carro (482,36 gramos) para calcular el momento lineal nos daba -0,127.

Salvando otra vez los errores en las milésimas que debido a posibles fallos experimentales; en valor absoluto ambos momentos son iguales por lo que se puede decir que **se conserva el momento lineal**.

3.5.1.4 Choque inelástico con ambos móviles en movimiento

Debido a que durante esta última experiencia los sensores de la tablet registraron mucho ruido, es decir que las variaciones incluso en reposo eran muy grandes, ha resultado imposible calcular el área bajo la curva y por lo tanto, en este caso, ha sido imposible demostrar la conservación del momento lineal.



Fig 29. Gráfica del choque inelástico de la tablet, donde aparecen señalados algunos ejemplos del ruido registrado.

3.5.2 Aceleración ascensor

- Movimiento del ascensor desde el piso 0 (bajo) del edificio hasta el piso 3:

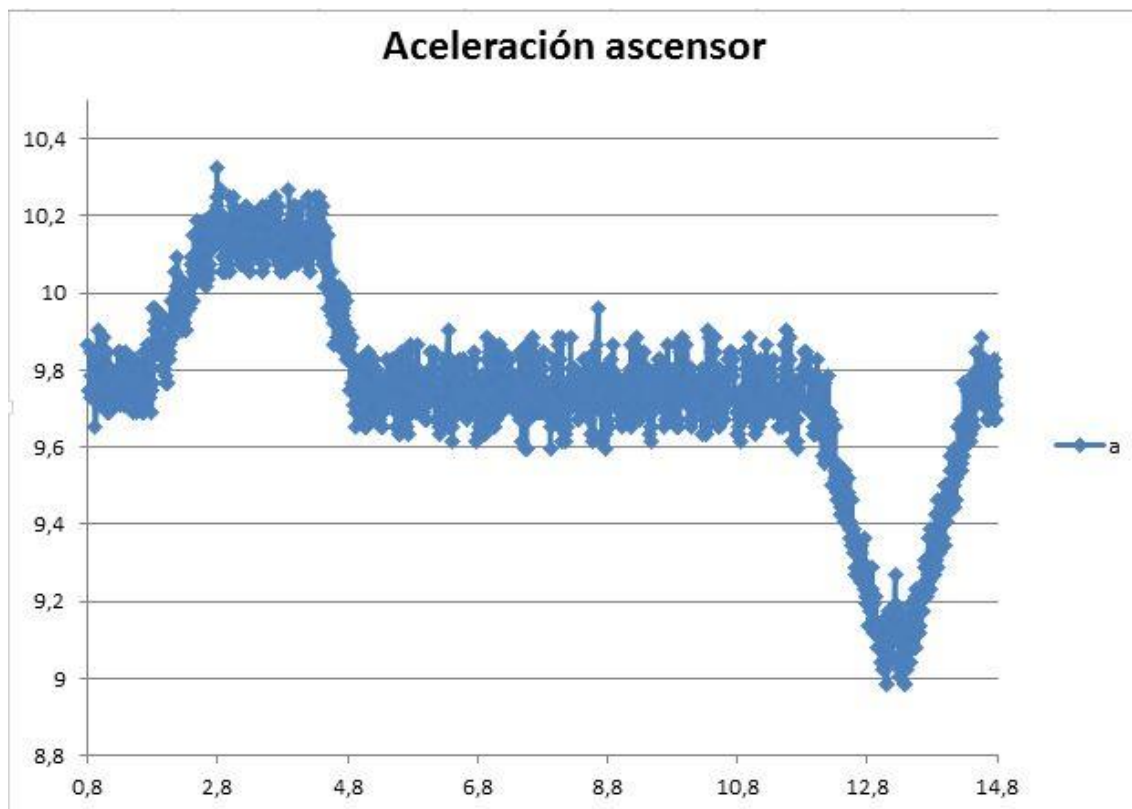


Fig 30. Gráfica de los datos recogidos por el smartphone En ella está representada la aceleración (Eje Y de la gráfica) frente al tiempo (Eje X).

Al comenzar a bajar, el acelerómetro registra en el eje Z una aceleración positiva que corresponde a cuando comienza a subir. Después la aceleración se vuelve 9,8, lo que correspondería a la gravedad de la Tierra, ya que la velocidad se vuelve constante y no sufre ninguna aceleración aparte de la de la gravedad terrestre durante el tiempo que dura la subida hasta llegar al piso 4, donde se el ascensor frena y que se representa en el pico negativo de la gráfica. En la siguiente gráfica se observa la aceleración tras restar la fuerza de la gravedad:

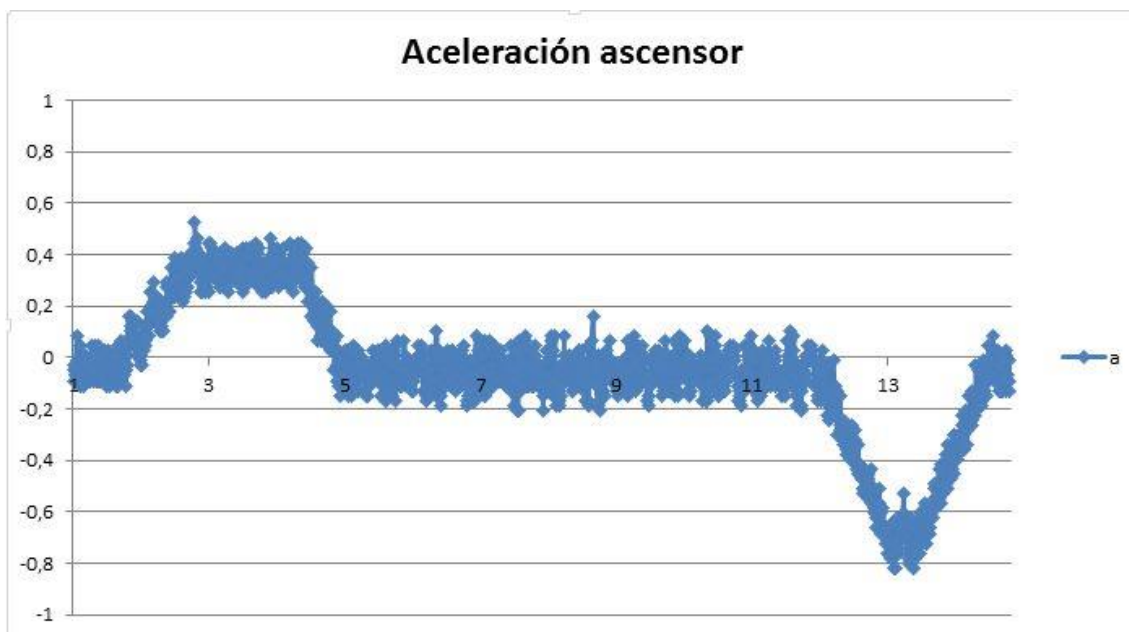


Fig 27. Gráfica de los datos recogidos por el smartphone tras restar la aceleración provocada por la gravedad terrestre ($9,8 \text{ m/s}^2$). En ella está representada la aceleración (Eje Y de la gráfica) frente al tiempo (Eje X). Como se puede ver durante la subida la aceleración es 0.

- Movimiento del ascensor desde el piso 4 hasta el piso 0 del edificio:

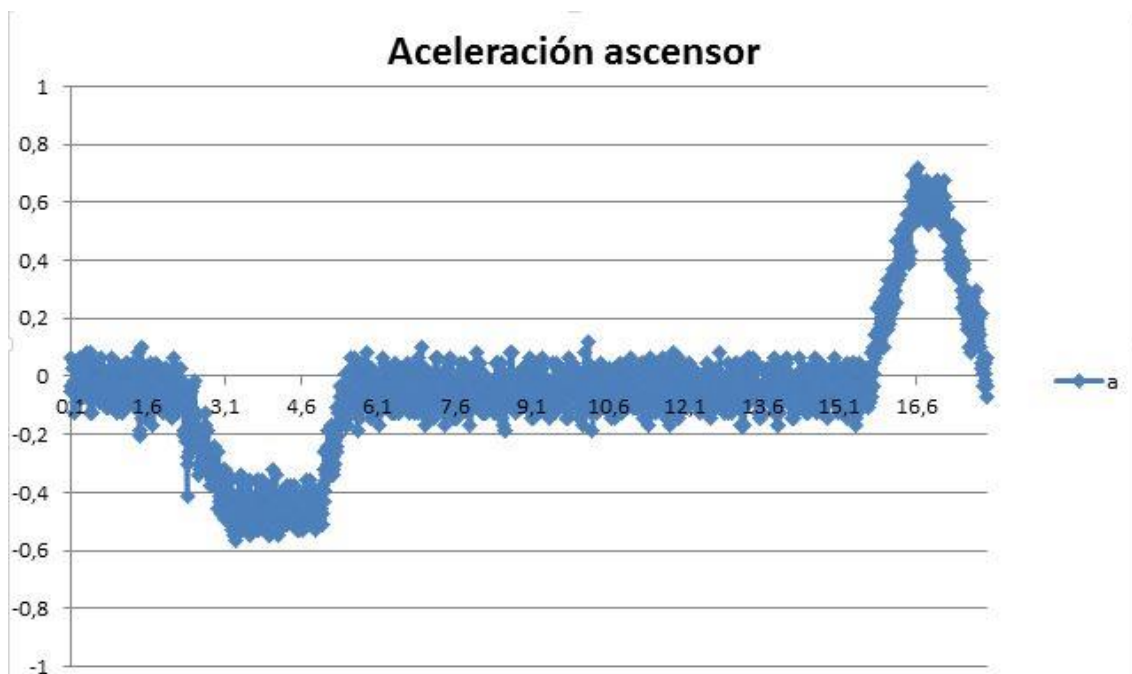


Fig 28. Gráfica de los datos recogidos por el smartphone tras restar la aceleración provocada por la gravedad terrestre ($9,8 \text{ m/s}^2$). En ella está representada la aceleración (Eje Y de la gráfica) frente al tiempo (Eje X).

Al comenzar a bajar, el acelerómetro registra en el eje Z una aceleración negativa, es decir que el ascensor está bajando, y luego la aceleración se vuelve 0 ya que la velocidad se vuelve constante durante el tiempo de bajada hasta llegar al piso 0, donde se produce la frenada representada como ese segundo pico de la gráfica.

3.5.3 Análisis de videos

A continuación se analizarán los datos obtenidos del video del tiro parabólico mediante el uso del programa Tracker.

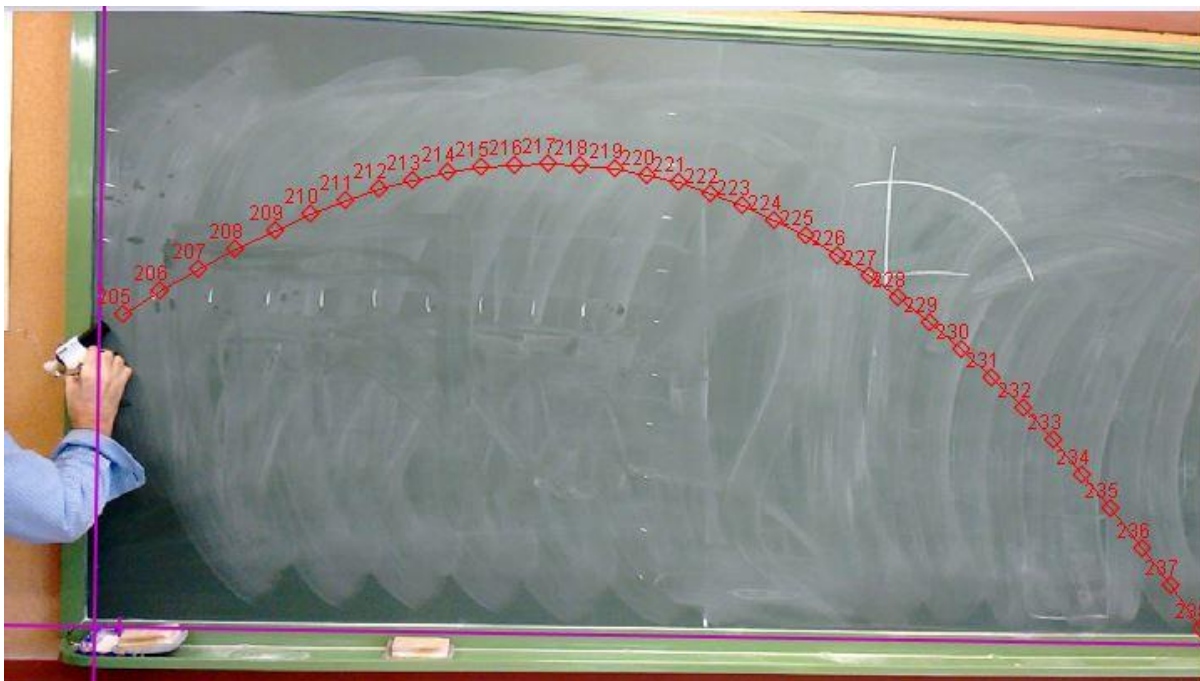


Fig 29. Trayectoria recorrida por la bola, representada por el programa Tracker tras analizar fotograma a fotograma el lanzamiento

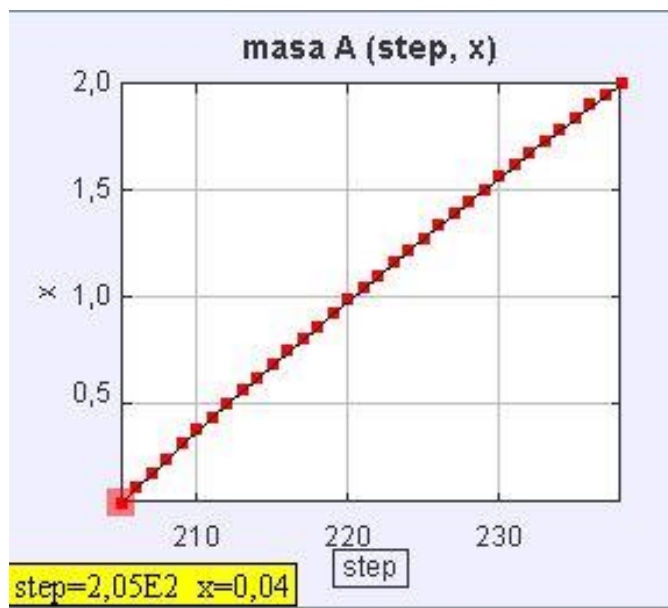


Fig 30. Gráfico de la distancia recorrida en el eje X frente al avance de los fotogramas

4,447	3,162
4,468	2,985
4,489	2,928
4,511	2,851
4,532	2,894
4,553	2,917
4,574	2,841
4,596	2,864

Fig 31. Como se puede ver y como se explicó en el marco teórico la velocidad de la bola en el eje X se mantiene constante.

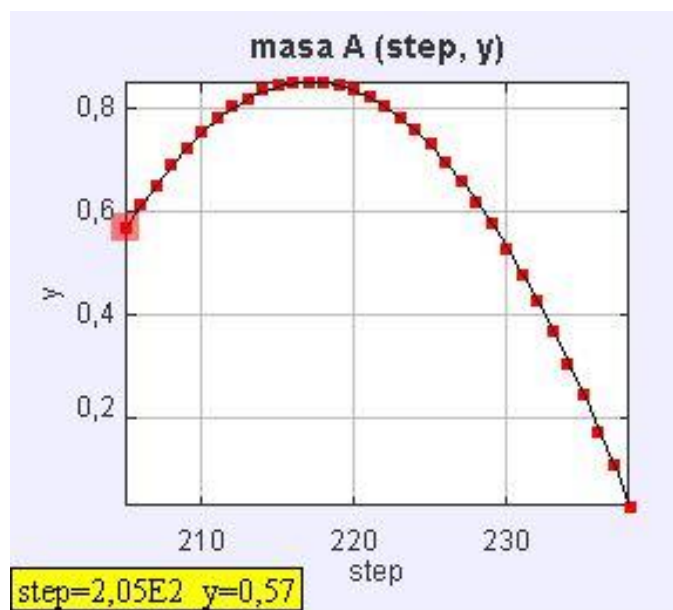


Fig 32. Gráfica de la altura de la bola (eje Y) frente al avance de los fotogramas.

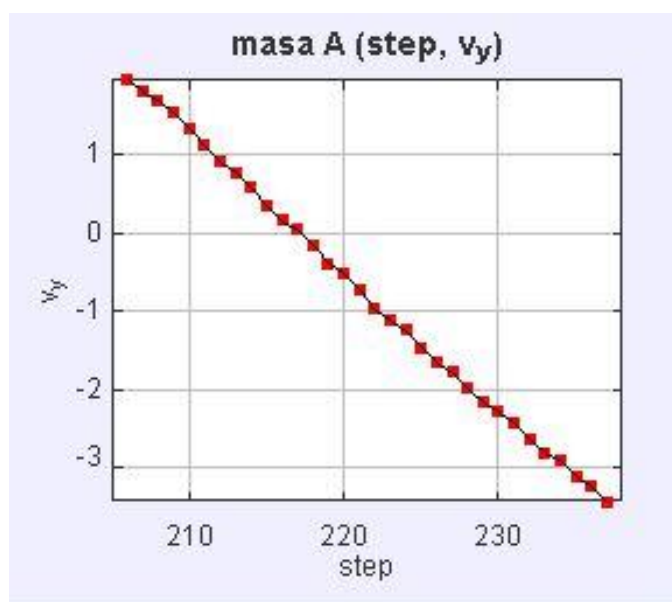


Fig 33. Gráfica de la velocidad en el eje Y frente al avance de los fotogramas.

	4,383	1,976
	4,404	1,816
	4,426	1,697
	4,447	1,535
	4,468	1,332
	4,489	1,130
	4,511	0,929
	4,532	0,769
	4,553	0,589
	4,574	0,347
	4,596	0,167
	4,617	4,594E-2
	4,638	-0,153
	4,660	-0,394
	4,681	-0,517
	4,702	-0,717
	4,723	-0,977
	4,745	-1,118
	4,766	-1,239
	4,787	-1,458
	4,809	-1,639
	4,830	-1,782
	4,851	-1,982
	4,872	-2,160
	4,894	-2,281
	4,915	-2,421
	4,936	-2,622

Fig 34. Como se puede ver en la tabla, la bola comienza con velocidad positiva en el eje Y hasta llegar a la altura máxima en el 4,617 donde la velocidad llega a 0 pero a partir de ahí, la velocidad se convierte en negativa ya que la bola comienza a bajar y a tomar valores del eje Y menores.

4 CONCLUSIONES

La disminución del precio de smartphones y tabletas en el mercado ha facilitado que un porcentaje muy elevado de estudiantes puedan disponer de uno de estos dispositivos y en un futuro podría ser utilizado como herramienta de aprendizaje. De esta manera se podrían plantear nuevas actividades formativas que conectasen la ciencia que se aprende en el aula con los fenómenos observados a su alrededor generando entornos de aprendizaje más sutiles y motivadores, pero para que esta utilización de smartphones y tabletas fuera incorporada a la vida cotidiana del estudiante, primero sería necesaria una actualización de las normativas de los centros de enseñanza que permitiesen su uso didáctico.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

<https://www.xatakamovil.com/movil-y-sociedad/y-el-primer-smartphone-de-la-historia-fue>

27/01/2017

<http://linkea.do/evolucion-de-la-tecnologia-movil-1g-2g-3g-4g/>

05/02/2017

https://es.wikipedia.org/wiki/Telefon%C3%ADa_m%C3%B3vil_4G

05/02/2017

<https://www.fiscalab.com/apartado/movimiento-parabolico#contenidos>

02/03/2017

<https://www.fiscalab.com/apartado/conservacion-momento-lineal#contenidos>

02/03/2017

<https://www.fiscalab.com/termino/choque-inelastico>

02/03/2017

<https://www.fiscalab.com/termino/choque-elastico>

02/03/2017

http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica_elec/magnet/historia/historia2.html

08/03/2017

<https://es.wikipedia.org/wiki/Electroim%C3%A1n>

08/03/2017

https://es.wikipedia.org/wiki/Fuerza_de_Lorentz

08/03/2017

<http://omicron.elespanol.com/2012/05/asi-funciona-el-acelerometro-de-tu-smartphone/>

10/03/17

http://cincodias.com/cincodias/2015/05/11/lifestyle/1431341623_109997.html

13/03/17

<https://xombit.com/2015/06/funcionamiento-camara-smartphone>

13/03/17

<http://physlets.org/tracker/>

14/03/17

<https://www.fisicalab.com/apartado/mru#contenidos>

14/03/17

<https://www.motorola.es/products/moto-g-gen-4>

16/03/17

https://www.asus.com/latin/Tablets/ASUS_MeMO_Pad_7_ME170C/specifications/

16/03/17

6 ANEXOS

6.1 Lenovo Motorola MOTO G4



Fig 35. Motorola Moto G4

Durante todo el proyecto se utilizó el smartphone Lenovo Motorola Moto G4, que consta de las siguientes especificaciones:

- **Sistema operativo:** Android 6.0.1, Marshmallow
- **Estructura/procesador del sistema:** Motorola Mobile Computing System, incluido y hasta 1,5 GHz Procesador de ocho núcleos Qualcomm Snapdragon 617 con GPU Adreno 405 de 550 MHz
- **Memoria (RAM):** 2 GB
- **Almacenamiento (ROM):** Con tarjeta microSD de 16 GB, compatible hasta 128 GB.
- **Dimensiones:**
 - Altura: 153 mm
 - Anchura: 76,6 mm
 - Profundidad: 7,9 mm hasta 9,8 mm

- **Peso:** 155 g
- **Pantalla:** 5.5", 1080p Full HD (1920 x 1080), 401 ppi Corning Gorilla Glass
- **Batería:** 3000 mAh
- **Protección frente al agua**
- **Redes:** 4G, CDMA / EVDO Rev A, UMTS / HSPA+, GSM / EDGE
- **Bandas:** GSM / GPRS / EDGE (850, 900, 1800, 1900 MHz), UMTS / HSPA+ (850, 900, 1900, 2100 MHz), 4G (B1, 3, 5, 7, 8, 19, 20, 28, 40)

La cobertura de banda varía según el modelo, el país y el operador.

- **Tarjeta SIM:** Micro-SIM, nano-SIM con adaptador.

Dual-SIM disponible.

- **Cámara posterior:**
 - 13 MP, Apertura $f/2,0$, Flash LED doble con balance de color
 - Vídeo HD 1080p (30 fps)
 - **Vídeo a cámara lenta a 120 FPS**
- **Cámara frontal:** 5 MP, Apertura $f/2,2$
- **Conectividad:** Micro USB, conector para auriculares de 3,5 mm
- **Tecnología Bluetooth:** Versión de Bluetooth 4.2 LE
- **Wi-Fi:** 802.11 a/b/g/n/ac (2,4 GHz + 5 GHz)
- **Altavoces/Micrófonos:** Altavoz montado en la parte delantera, 2 micrófonos
- **Servicios de ubicación:** A-GPS
- **Sensores:**
 - **Acelerómetro**
 - **Giroscopio**
 - **Luz ambiente**

6.2 ASUS MeMO Pad 7 (ME170C)



Fig 36. ASUS MeMO Pad 7

Durante los choques, esta tablet fue el segundo dispositivo utilizado para medir la aceleración (Móvil 2). Estas son sus características principales:

- **Sistema operativo:** Android 4.3 (actualizable a Android 4.4)
- **Estructura/procesador del sistema:** Intel® Atom™ Z2520 Dual-Core, 1.2 GHz
- **Memoria (RAM):** 1 GB
- **Almacenamiento (ROM):** 4GB /8GB/16GB
- **Dimensiones:**
 - Altura: 192 mm
 - Anchura: 110 mm
 - Profundidad: 10,7 mm
- **Peso:** 285 g

- **Pantalla:** 7" LED Retroiluminado WSVGA (1024x600)
- **Batería:** 10 hours; 15Wh Li-polymer Battery
- **Cámara posterior:** 2 MP
- **Cámara frontal:** 0,3 MP
- **Conectividad:** Micro USB, conector para auriculares de 3,5 mm
- **Tecnología Bluetooth:** Versión de Bluetooth 4.0
- **Wi-Fi:** WLAN802.11 b/g/n/
- **Sensores:**
 - **Acelerómetro**
 - **Giroscopio**