

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA
EL ESTUDIO DE LA CAÍDA DE LOS CUERPOS:
MEDICIÓN DE LA ACELERACIÓN DE LA GRAVEDAD,
POR MEDIO DE (ARDUINO®)**

WALTER LOREN GARCÍA CRUZ

Universidad Pedagógica Nacional

Facultad de Ciencia y Tecnología

Línea de investigación

La Enseñanza de las Ciencias desde una Perspectiva Cultural.

Bogotá

2016-II

Diseño y construcción de un prototipo para el estudio de la caída de los cuerpos: Medición de la aceleración de la gravedad, por medio de Arduino®

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA EL ESTUDIO DE LA CAÍDA
DE LOS CUERPOS: MEDICIÓN DE LA ACELERACIÓN DE LA GRAVEDAD, POR
MEDIO DE ARDUINO®**

WALTER LOREN GARCÍA CRUZ

**Trabajo de grado para obtener el título de
Licenciado en Física**

Asesora:

DIANA CÁRDENAS

Magister en Docencia de las Ciencias Naturales

Universidad Pedagógica Nacional

Facultad de Ciencia y Tecnología

Línea de investigación

La Enseñanza de las Ciencias desde una Perspectiva Cultural.

Bogotá

2016-II

DEDICATORIA

Dedico el trabajo a Dios, a mi papá Hegidio García por los consejos y el apoyo incondicional, a mi madre Blanca Nubia, por la fortaleza, humildad y alegría que herede de ella y a mi novia Nelly, gussesita, por creer en mí, guiarme, ver todo el potencial y evolución para llegar a este punto.

AGRADECIMIENTOS

Doy gracias a cada uno de los profesores del departamento de física que con sus conocimientos y dedicación, guiaron mi proceso de formación.

A la profesora Diana por acoger este reto conmigo, por el apoyo constante y ante todo la paciencia, espero que la vida le siga colmando de éxitos y bendiciones.

Al profesor Zamora por creer desde un comienzo en mi proyecto.

RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN-RAE

1. Información General	
Tipo de documento	Trabajo de pregrado
Acceso al documento	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
Título del documento	Diseño y construcción de un prototipo para el estudio de la caída de los cuerpos: Medición de la aceleración de la gravedad, por medio de (arduino®)
Autor(es)	García Cruz, Walter Loren
Director	Diana Yised Cárdenas Valbuena
Publicación	Bogotá. Universidad Pedagógica Nacional, 2016. P. 95
Unidad Patrocinante	Universidad Pedagógica Nacional
Palabras Claves	ARDUINO, MOVIMIENTO, GRAVEDAD, ACELERACIÓN, NEWTON, ARISTÓTELES Y GALILEO

2. Descripción
La construcción de nuevos escenarios para la enseñanza de la física implica generar dinámicas de comprensión de los fenómenos a partir de las situaciones y contextos en los que se generaron los conceptos y leyes. De allí que la presente investigación se centre en el estudio histórico y epistemológico alrededor del movimiento, la caída de los graves, su implicación alrededor de la enseñanza y el aprendizaje de la física a través de la construcción de un instrumento de medida de la aceleración de la gravedad por medio de la plataforma arduino .

3. Fuentes
Las fuentes bibliográficas más indispensables que sustentan este trabajo son: © Real Academia Española. (29 de 05 de 2015). <i>Real Academia Española</i> . Recuperado el 29 de 05 de 2015, de http://lema.rae.es/drae/?val=prototipo Alonso, M., & Finn, E. (1995). <i>Física</i> . Wilmington: Adisson-Wesley Iberoamericana S.A. Arduino. (03 de 02 de 2015). <i>Arduino</i> . Obtenido de http://www.arduino.cc/ ARISTÓTELES. (1987). <i>ARISTÓTELES ACERCA DE LA GENERACION Y LA CORRUPCIÓN TRATADOS BREVES DE HISTORIA NATURAL</i> . (E. La Croce, & A. B. Pajares, Trads.) Madrid: CREDOS. Ayala , M. A., Malagón, J. F., & Sandoval, S. (2011). <i>Magnitudes, medición y fenomenologías</i> . Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional. Ayala, M. M. (2006). Los análisis histórico-críticos y la recontextualización de saberes científicos. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades. <i>Pro-Posições</i> , 19. Ayala, M. M., & Barragan, J. (2014). <i>LECTURA 1 ESTADO MECANICO DE UN SISTEMA 2 2014</i> . Bogotá: Universidad pedagógica Nacional.

- Ayala, M. M., & Barragan, J. (2014). *LECTURA 1 ESTADO MECANICO DE UN SISTEMA 2 2014*. Bogotá: Universidad pedagogica Nacional.
- Bonilla Beltran, D. S. (2010). *Integración de tecnologías para el aprendizaje de la física*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Bruce, I. (10 de 08 de 2016). *17centurymaths.com*. Obtenido de <http://www.17centurymaths.com/contents/huygenscontents.html>
- Caceres Maldonado, L. E., & Mora Lopez, J. M. (2003). *Diseño y elaboracion de un manual para la programación de microcontroladores PIC16F87X y su implementación en la enseñanza de la física*. Bogotá: UNIVERSIDAD PEDAGOGICA NACIONAL.
- Camino, N. (2005). *Génesis y evolución del concepto de gravedad: Construcción de una visión de universo*. Argentina: Universidad de la plata.
- Cardenas Gamboa, Y. (2007). *Realidad y el movimiento de la caída de los cuerpos*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Chaves Osorio, J. A. (2010). *Diseño y construcción de un prototipo para el estudio del movimiento parabolico*. Pereira: Universidad tecnológica de pereira.
- Christian-Albretch-Universität zu kiel. (15 de Abril de 2015). *Institut für Geowissenschaften*. Obtenido de http://www.ifg.uni-kiel.de/AGs/Goetze/pdf/gravimetrie_spanisch.pdf
- Cohen, B. I. (1983). *La revolución newtoniana y la transformación de las ideas científicas*. Madrid: Alianza.
- De isla, J. F., & Monlau, P. F. (2014 digitalizado). *Obras escogidas del padre José Francisco de Isla: con una noticia de su vida y escritos volumen 15*. (1. M.D. Rivadeneyra., Ed.) Ohio: Universidad Estatal de Ohio.
- De topografía. (2015). *De topografía*. Obtenido de <http://detopografia.blogspot.com/2013/08/gravedad-la-medidas-de-la-gravedad.html>
- Dear, P. (2007). *La revolución de las ciencias: el conocimiento europeo y sus expectativas (1500-1700)*. Madrid: Marcial Pons Historia.
- Duque, P. (2015). *MODELLUS*. Obtenido de <http://modellus.co/index.php/es/sobre/68-what-is-spanish>
- Galilei, G. (1975). *Dialogo Sobre los Sistemas Maximos, Jornada Segunda*. Buenos Aires, Av. Cordoba 2100, Buenos Aires: Aguilar S.A de ediciones.
- Galilei, G. (1980). *Dialogo Sobre los Sistemas Maximos*. (J. M. Revuelta, Trad.) Buenos Aires: Aguilar.
- Galilei, G. (1981). *Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias*. (J. Sabada Garay, Trad.) Madrid: Editora Nacional.
- Galindo vega, A. A., & Castillo Gamboa, A. J. (2000). *Diseño y construcción de un equipo digital para la adquisición de datos*. Bogotá: Universidad pedagogica Nacional.
- García García, E. (1997). *Diseño y construccion de una interface para realizar lecturas y escritura de a traves de una memoria EEPROM*. BOGOTÁ: UNIVERSIDAD PEDAGOGICA NACIONAL.
- Goicoechea Fernández, J., & Basarte Bozal, L. F. (2014). *Diseño y fabricación de una tarjeta PCB ("Shield") para el control de un robot autobalanceado basado en Arduino*. Pamplona: Universidad de navarra.
- Greem-Klee, S. (3 de Marzo de 2015). *Exploraciones mineras*. Obtenido de <http://www.geovirtual.cl/EXPLORAC/TEXT/06001grav.html>
- Hertz, H. (1956). *Principios de mecánica*. En H. Hertz, *Principios de mecánica* (J. C. Orozco Cruz, M. C. Gramajo, & C. I. Chaparro, Trads., pág. 26). New york: Dover Publications.
- Hertz, H. (1996). *Los principios de la mecánica*. Bogota: Universidad Pedagógica nacional.

- Introcaso, A. (2006). *Geodesia Fisica*. Rosario: Boletín del instituto de fisiografía y geología.
- Koyré, A. (1980). *Estudios galileanos*. (M. Gonzales Ambóu, Trad.) Madrid: Siglo veintiuno España Editores, S.A.
- Mach, E. (1987). Consideraciones preliminares metafísicas. En E. Mach, *Análisis de las sensaciones* (pág. 34). Barcelona: Alta Fulla.
- Martin, J., & Solbes, J. (2001). *Diseño y evaluación de una propuesta para la enseñanza del concepto de campo en Física*. Guadalajara: Centro de profesores y recursos.
- Martínez, R. J. (2011). Métodos de investigación Cualitativa. *Revista de la Corporación Internacional para el Desarrollo Educativo*, 34.
- Milhaud. (10 de 10 de 2010). *Recuerdos de Pandora*. Obtenido de <http://recuerdosdepandora.com/ciencia/fisica/la-gravedad-segun-aristoteles/>
- Mirónov, V. (1977). *Curso de prospección gravimétrica*. España: Reverté.
- Newton, I. (1982). *Principios matemáticos de la filosofía natural*. (A. Escotado, Ed.) Madrid, España: Editora Nacional.
- Newton, I. (1999). *The Principia: Mathematical Principles of Natural Philosophy*. (B. Cohen, & A. Whitman, Trans.) Berkeley: University of California.
- Rodríguez Henríquez, R., & Martos Torres, J. (2015). *Las TIC en la enseñanza superior. Experiencia de aplicación a la enseñanza de microcontroladores en la universidad del Pinar del Río Cuba*. Valencia.
- Rodríguez, L. S. (2003). *Determinación de la superficie vertical para Colombia*. Desde: Instituto geográfico Agustín Codazzi.
- Ruiz Gutiérrez, R., & et al. (2014). *Problemas y perspectivas de la educación básica*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Sánchez Rodríguez, L. (20 de 06 de 2003). *Instituto Colombiano Agustín Codazzi (IGAC)*. Recuperado el 11 de 10 de 2015, de <http://www.igac.gov.co/wps/wcm/connect/d24c2900469f78a2b006b8923ecdf8fe/modelo+geoidal+GEOCOL+2004.pdf?MOD=AJPERES>
- Sandoval Osorio, S. (2008). *La comprensión y construcción fenomenológica: Una perspectiva desde la formación de maestros en ciencias*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Sotelo Fajardo, J. C. (2012). *El Concepto de gravedad desde las concepciones de Newton y Einstein: Una propuesta didáctica dirigida a estudiantes de Ciclo V*. Bogotá: Universidad Nacional.
- Torres Suescun, A., & Triana Orellana, F. (2004). *Hipertexto "la caída de los graves"*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Turpo Sanca, A., & Suasaca Condori, L. (2014). *La gravedad como fenómeno físico*. Obtenido de <http://fisica-proyecto.webcindario.com/GRAVIMETRIA.html>
- UNESCO. (2004). *UNESCO*. Obtenido de <http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001295/129533s.pdf>
- Velásquez Rocha, L. V. (2011). *Estrategia de enseñanza – aprendizaje del fenómeno de la gravedad*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Vieira, P. D. (18 de 11 de 2016). *Modellus*. Obtenido de <http://modellus.co/index.php?lang=es>
- Westfall, R. (1967). Hooke and the law of universal gravitation. *The British Journal for the history of science*, 245-261.

4. Contenidos

La presente investigación contiene 3 capítulos, el primero **Una mirada a la enseñanza en torno al movimiento de los cuerpos** que tiene por objetivo contextualizar al lector del porque se hace necesario desarrollar este trabajo, el segundo capítulo **la naturaleza de la caída de los cuerpos** que tendrá en cuenta a tres referentes: Aristóteles, Galileo y Newton con la intención de rescatar aspectos importantes para el diseño y construcción de un dispositivo para la medición de la magnitud de la aceleración de la gravedad y la elaboración de una unidad didáctica a partir de la forma de ver y describir la naturaleza de la caída de los cuerpos. Los aportes de los tres autores presentados en el capítulo 2, permitieron ubicar la discusión de la naturaleza de la caída de los cuerpos en el diseño de la unidad didáctica, teniendo en cuenta varias situaciones dirigidas a los estudiantes para el análisis, discusión y construcción del prototipo; lo cual remitirá al lector al capítulo 3 **Recontextualizando los saberes de g con los estudiantes**, donde se hizo el análisis de la implementación de los cuatro momentos(Aristóteles, Galileo, Newton y Arduino) y sistematización de la unidad , finalmente se redactaron unas consideraciones de la investigación en cuanto al análisis de los referentes, a la unidad didáctica, al dispositivo y la implementación con los estudiantes.

5. Metodología

La presente investigación se respalda del estudio de algunos textos de fuentes primarias las cuales recogen elementos históricos y epistemológicos que permiten constituir y calcular la magnitud de la aceleración de la gravedad. Por lo anterior se ha hecho una revisión e interpretación de la perspectiva de algunos autores (Aristóteles, Galileo y Newton), considerando la importancia de analizar cómo el sujeto construye explicaciones alrededor del fenómeno de la caída de los cuerpos. Estos estudios permiten rescatar argumentos para mostrar que la ciencia es una actividad cultural donde juega la razón, genera formas de percepción, de actuar y de relacionarse con el mundo expresando la importancia de la actividad científica en las diversas culturas.

Por otro lado se hace el diseño y construcción de un prototipo con el objetivo de enriquecer estudio de la caída de los cuerpos a través de la medición de la magnitud de la aceleración de la gravedad, a partir de una unidad que permita generar un espacio alternativo, implementada en un primer momento en la institución educativa Pablo VI, Sopó Cundinamarca, con el fin de tener una fuente de información de que el autor pudo analizar como el estudiante construye argumentos y nuevos lenguajes de cómo se entiende el fenómeno y que permiten analizar la caída de los cuerpos, con la construcción de la magnitud de la aceleración de la gravedad.

6. Conclusiones

Los mayores logros alcanzados con el trabajo de grado son:

Las reflexiones que se desarrollan a lo largo de esta investigación han permitido al autor construir la magnitud de la aceleración gravitacional a partir del estudio del fenómeno de la caída de los cuerpos, como el efecto de una acción supra lunar de orden material o inmaterial y que se describe

en términos de la fuerza centrípeta la cual genera los cambios de velocidad entre dos cuerpos, de la configuración de su sistema y que genera consecuencias en el mundo sublunar a través de la aceleración de los objetos.

La construcción de la magnitud de la aceleración gravitacional en el campo educativo, se encuentra asociada a las maneras de hablar, de pensar y de actuar de los estudiantes a partir el análisis de la caída de los cuerpos, ya que al acercar a los estudiantes a los planteamientos de Aristóteles, Galileo y Newton logran caracterizar el fenómeno de la caída de los cuerpos a través de la fuerza, como el conjunto de los efectos del ímpetu y la aceleración.

La construcción del dispositivo asociado a los cuatro momentos de la unidad didáctica permitió dar cuenta de la transformación del pensamiento aristotélico por parte de los estudiantes, vinculado al estudio de la caída de los cuerpos, donde la alteración de cualquiera de las componentes de g-grduino, implicaba una reflexión inscrita al modo de pensar Galileano y newtoniano.

De los planteamientos realizados por Aristóteles, se encuentra que él hace una descripción ontológica de la naturaleza de la caída de los cuerpos, asociándole las causas al empuje (fuerza) y la tendencia de los 4 elementos a dirigirse a su posición de origen (la gravedad es asociada a la pesantez de los cuerpos). Para él en el vacío no son posibles las acciones físicas, ya que el mundo no se describiría en términos de los homeómeros si no de la asociación de puntos que no expresan mayor cosa, para el comportamiento de la naturaleza. De igual manera establece una relación proporcional entre la velocidad y la masa y una relación inversamente proporcional entre la velocidad y el medio, lo que le permite a Aristóteles dejar estos puntos abiertos para futuras discusiones.

De los estudios realizados por Galileo y Newton se puede inferir que ellos establecen una diferencia entre la aceleración de la gravedad y la fuerza de la gravedad, entiéndase por peso, consideran a la gravedad como un efecto de la aceleración que es una magnitud “constante”, que da cuenta de los incrementos de la velocidad en la caída de los cuerpos y que es independiente de la masa y por otro lado a la fuerza de gravedad como la acción y reacción entre dos cuerpos que se atraen a lo largo de una línea recta dibujada desde sus centros (por ejemplo el sistema tierra-luna) y tal fuerza es directamente proporcional a las masas e inversamente proporcional al cuadrado de las distancias que las separa, es decir, la fuerza no es visible pero su contenido lo hace visible.

La masa a nivel sublunar y supra lunar dentro de los planteamientos Galileanos y Newtonianos surge como concepto organizador del movimiento de los cuerpos e incide en los fenómenos de atracción en el cielo (por ejemplo el sistema sol-tierra o dos masas diferentes en acción de la fuerza de la gravedad). De allí que para Newton, al soltar al mismo tiempo dos masas diferentes y al estar en interacción con la tierra por una fuerza externa(fuerza de la gravedad) el momentum de las masas serán diferentes y se considera la variación de la aceleración como una relación inversamente proporcional a la masa.

El papel de la actividad experimental en esta investigación permitió ampliar la base fenomenológica de la caída de los cuerpos a partir de la organización de la experiencia sensible y como desde está se permiten establecer formas de organizar, explicar y de medir la aceleración de la gravedad, por medio de un prototipo que dio lugar a la formalización de este fenómeno dotándolo de sentido y significado a partir del diseño e implementación de una unidad didáctica.

Así pues, del análisis de los tres referentes (Aristóteles, Galileo y Newton) y en concordancia al papel de la actividad experimental surge el siguiente cuestionamiento: ¿Cómo podemos determinar si la magnitud que se ha establecido por medio de un instrumento corresponde a la realidad? Se puede inferir que aquellos experimentos que expresan una relación próxima a las experiencias hablan de una descripción entre dos objetos en los que interactúan, de allí la magnitud que se le asigna varía de acuerdo a las configuraciones del experimento; aunque el intentar representar una experiencia para un macrosistema resulta complicado establecer una magnitud que determine la realidad, por lo tanto no hay control total de la experiencia donde los resultados obtenidos por g-grduino dan muestra de la imposibilidad de obtener un valor estable y preciso.

La imprecisión de g-grduino, 0.0475 %, se debe particularmente a la diferencia de alturas entre Bogotá y Sopó (aproximadamente 20 metros sobre el nivel del mar), a la temperatura y el momento del día en el que fueron tomados los datos, a la variación del campo magnético terrestre y finalmente a la fuerza del electroimán que hace que el objeto se demore un milisegundo, lo cual altera los resultados. Así pues se sugiere hacer tomas en diferentes momentos del día, g-grduino, con la intención de generar más espacios para la discusión y análisis.

La modelación del sistema descrito en la sección 2.3.5, se diseña de tal manera que tenga en cuenta la fuerza de rozamiento del aire, a través de la función de disipación de Rayleigh; sin embargo al despreciarse esta función se pueden llegar a las ecuaciones del movimiento de galileo del movimiento uniforme y movimiento uniforme acelerado.

El diseño e implementación de la unidad didáctica elaborada a partir de los dos primeros capítulos, permitió en principio reconocer las concepciones iniciales de los estudiantes alrededor de la caída de los cuerpos, y a partir de actividades, desequilibrar al estudiante para motivar en ellos la búsqueda de nuevas explicaciones que dieran respuesta a los interrogantes que generaban las actividades planteadas y permitieran al autor tener elementos para retroalimentar y diseñar una nueva unidad, que involucra elementos que fueron omitidos inicialmente y que permiten enriquecer el aprendizaje del fenómeno de la caída de los cuerpos.

Con respecto al uso de las TIC (arduino), los estudiantes desarrollaron habilidades en el diseño y construcción del prototipo a partir de la programación, la electrónica básica y el trabajo autónomo y grupal, además fue una herramienta que permitió motivar, despertar el interés por la actividad

científica y llamar la atención hacia el aprendizaje de la ciencia y específicamente hacia el fenómeno de la caída de los cuerpos.

De las conclusiones mencionadas anteriormente y a través de la recontextualización de saberes se invita al docente a organizar los análisis históricos y epistemológicos, con el fin de desarrollar metodologías, que promuevan el asombro de los estudiantes en los procesos de enseñanza, como lo es la construcción de un dispositivo de medición de la aceleración de la gravedad por medio del acceso y uso de nuevas tecnologías (arduino) en los entornos escolares, lo cual favorecerá la creación de un ambiente para el análisis, exploración y creación de objetos de ciencia ya sean de orden académico o para el uso de la comunidad.

Recomendaciones.

Se ha elaborado una nueva unidad didáctica (ver en el cd) teniendo en cuenta varios aspectos que se sugirieron en el análisis del capítulo 3 con el fin de generar nuevos espacios para el análisis y argumentación. El lector puede partir de esta unidad para obtener nuevas consideraciones de como el sujeto aprende y organiza la naturaleza alrededor de la caída de los cuerpos. Podrá encontrarla en el cd anexo a esta investigación.

En el cd se ha guardado el programa de instalación y el software del prototipo, así mismo unos drivers para el arduino nano, con la intención que puedan interactuar, realizarle mejoras, continuar con la investigación y en el caso de utilizar el arduino nano logren hacer una instalación sin errores del software.

Para cuestiones de mejor precisión se sugiere hacer el dispositivo en un tubo de 1" pulgada, o una configuración que pueda ser modificada la altura, es decir que los sensores puedan moverse, ya que, al construir el dispositivo con un tubo de diámetro menor habrá rozamiento de la masa y alterará los resultados, o en el caso que sea mayor el diámetro no señale la información del tiempo de caída.

El dispositivo tiene una precisión de milisegundos, aunque en términos de unidades micrométricas; está sujeto a cambios mínimos, ya sean de ubicación y disposición de la masa, se sugiere que deje la masa lo más estable con el electroimán o si no podrá alterar los resultados.

Se sugiere que se integre al dispositivo un módulo bluetooth y una interfaz gráfica, para el celular, la cual se puede diseñar en la aplicación de app inventor, <http://appinventor.mit.edu/explore/> . Así mismo el uso de un integrado puente h para que se vincule directamente un electroimán, ya que, si no se hace uso del puente h, el arduino se estropeará.

Diseño y construcción de un prototipo para el estudio de la caída de los cuerpos: Medición de la aceleración de la gravedad, por medio de Arduino®

Elaborado por:	Walter Loren García Cruz		
Revisado por:	Diana Yised Cárdenas Valbuena		
Fecha de elaboración del Resumen:	25	11	2016

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
<u>CAPÍTULO I: UNA MIRADA A LA ENSEÑANZA EN TORNO AL MOVIMIENTO DE LOS CUERPOS.....</u>	4
CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA	4
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
1.1 JUSTIFICACIÓN	7
1.2 OBJETIVOS	11
1.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	11
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
1.3 METODOLOGÍA	11
1.4 ANTECEDENTES	13
2. <u>CAPÍTULO II: LA NATURALEZA DE LA CAÍDA DE LOS CUERPOS</u>	15
2.1. Pensando en el movimiento.....	15
2.2. De los graves a la gravedad.....	25
2.3. Abriéndose a nuevos horizontes: Arduino®	39
2.3.1 DISEÑO METODOLÓGICO.....	40
2.3.2 LANZAMIENTO	41
2.3.3 DETECCIÓN	42
2.3.4 ADQUISICIÓN DE DATOS	43
2.3.5 DETERMINACIÓN DE LA ACELERACIÓN.	44
2.3.6 SOFTWARE.....	49
3. <u>CAPÍTULO III: RECONTEXTUALIZANDO LOS SABERES DE G CON LOS ESTUDIANTES.</u>	50
3.1. Descripción de la población	50
3.2. Unidad Didáctica	51
3.3 INTERPRETANDO LOS MOMENTOS DE LAS ACTIVIDADES.....	54
3.3.1 ANALISIS DE RESULTADOS.....	54
3.3.2 MOMENTO I: ARISTOTELES EL ESTUDIOSO DE LAS CAUSAS	54
3.3.3 MOMENTO II: LOS DISCURSOS DE GALILEO	57
3.3.4 MOMENTO TERCERO Y CUARTO.....	60

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES	64
Recomendaciones.....	68
4. BIBLIOGRAFIA	69
5. ANEXOS	72
5.1 Anexo 1: Conociendo la interfaz Arduino	72
5.2 Anexo 2: Código de programación de g-grduino.....	76
5.3 Anexo 3 Pruebas a g- grduino	80
5.4 Anexo 4 Presentación de la unidad	83
5.5 Anexo 5 Aristóteles el estudioso de las causas.....	86
5.6 Anexo 6 Los discursos de Galileo	87
5.7 Anexo 7 Newton el Lord de la gravitación Universal.....	87
5.8 Anexo 8 Arduino Alimentando la curiosidad y la imaginación.....	89
5.9 Anexo 9 Diseñando y Construyendo el prototipo	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Momentos, propósitos y actividades de la ruta de aula.....	52
Tabla 2 Análisis de resultados primera y segunda actividad	54
Tabla 3 Interpretación de resultados momento I.....	56
Tabla 4 Análisis de resultados tercera actividad	57
Tabla 5 interpretación de resultados momento II.....	59
Tabla 6 Análisis de resultados cuarta y quinta actividad	61
Tabla 7 interpretación de resultados	63
Tabla 8 Lenguaje usado dentro de la estructura del programa fuente de: https://drive.google.com/file/d/0B7TtzlqCufECZTc0OTZiNWEtNTZjZi00NzM1LWJiODUtODA4NmZiNjNIZDE0/view?hl=es&pli=1	73
Tabla 9 datos tomados con g-grduino	80
Tabla 10 promedio y error de la magnitud de g g-grduino	82

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 transformación de los elementos (ARISTÓTELES, 1987).....	17
Ilustración 2 (Galilei, Dialogo Sobre los Sistemas Maximos, 1980).....	21
Ilustración 3 (Galilei, Dialogo Sobre los Sistemas Maximos, 1980).....	23
Ilustración 4 Esquema que muestra como Galileo empleo el plano inclinado para reducir, y así poder medir mejor, la aceleración de un cuerpo en descenso, Fuente (Galilei, Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias, 1981, pág. 296).....	27
Ilustración 5 Diagrama explicativo de la gravedad en términos de fluido giratorio (Dear, 2007) página 230.....	30
Ilustración 6 diagrama explicativo realizado por Ph.D. Fabio Vélez de la proposición XXVI, Horologium Oscillatorium, parte IIb, (Bruce, 2016)	31
Ilustración 7 La acción de fuerzas centrípetas (Newton, Principios matematicos de la filosofia natural, 1982, pág. 824).....	33
Ilustración 8 imagen propia transcrita de la proposición VII (Newton, Principios matematicos de la filosofia natural, 1982, pág. 281)	35
Ilustración 9 tomada de la proposición VI, teorema	35
Ilustración 10 Componentes Arduino uno fuente http://comohacer.eu/wp-content/uploads/2014/07/arduino-partes1.jpg	40
Ilustración 11 Diagrama de bloques del dispositivo	41
Ilustración 12 partes de g grduino, fuente propia.....	42
Ilustración 13 Electroimán y masa, Fuente Propia.....	42
Ilustración 14 fuente propia	42
Ilustración 15 tomado de: http://www.madnesselectronics.com/producto/emisor-y-receptor-infrarrojo/	42
Ilustración 16 Esquema del diseño del prototipo g-grduino, conexión de los sensores, lcd con arduino. Fuente propia diseñado en https://circuits.io/circuits/2894481-display-lcd-walo-gr-duino	43
Ilustración 17 fuente propia: calibración del prototipo.	44
Ilustración 18 Fuente propia: Arduino, lcd y conexión de los diodos	44
Ilustración 19 Grafica Y(m) Vs t(s)	49
Ilustración 20 construcción de los dispositivos péndulo y caída libre	63
Ilustración 21 magnitud de la aceleración en sopó galileo.....	81
Ilustración 22 magnitud de la aceleración con g-grduino	81

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia de las ciencias naturales, y en particular en la historia de la física, se puede reconocer que el estudio en torno al fenómeno de la caída de los cuerpos, ha tenido una génesis a partir de varias conciencias que han organizado la naturaleza con imágenes que surgen de la observación, descripción, matematización, experimentación y que fueron sometidas a análisis detallados. De lo anterior surge la pregunta ¿Cómo conoce el ser humano?, Donde Hertz expresa lo siguiente:

En nuestro esfuerzo de hacer inferencias hacia el futuro desde el pasado siempre adoptamos el proceso siguiente. Nosotros nos formamos nuestras propias imágenes o símbolos de los objetos externos; y la forma que damos a ellos es tal que las consecuencias necesarias de las imágenes en el pensamiento son siempre las imágenes de las consecuencias necesarias en la naturaleza de las cosas figuradas (Hertz, Principios de mecánica, 1956, pág. 1)

Es de notar que los estudios alrededor de la caída de los cuerpos han sido fruto de la transformación de las imágenes del pensamiento humano y que para el campo de la docencia, el aprendizaje de este adquiere fuerza a través de la recontextualización de saberes con el uso de los documentos originales, ya que, sirve como herramienta para la interpretación, discusión y formulación de preguntas dirigidas al aprendizaje del estudiante; sin embargo, en algunos casos por el escaso uso de recursos prácticos, tecnológicos y teóricos en la escuela, el estudio alrededor de este fenómeno se reduce al uso de símbolos y a la solución de ejercicios sin tener en cuenta el contexto del estudiante y como a partir de la realidad del mismo comprende y organiza esta discusión.

En este orden de ideas, este trabajo de investigación reconoce el uso de la recontextualización de saberes como herramienta que fomenta premisas en los estudiantes para la construcción de la magnitud de la aceleración, abre paso a la interacción de un espacio alternativo para reconstruir y resignificar las experiencias alrededor de este fenómeno a través del uso de nuevas tecnologías como

lo es arduino®¹ para el análisis y la experimentación. El tratamiento de documentos originales con la plataforma arduino motivará al estudiante a construir un prototipo² para el estudio de la caída de los cuerpos y de manera análoga la obtención de la magnitud de la aceleración de la gravedad.

La presente investigación contiene 3 capítulos, el primero **Una mirada a la enseñanza en torno al movimiento de los cuerpos** que tiene por objetivo contextualizar al lector del porque se hace necesario desarrollar este trabajo, el segundo capítulo **la naturaleza de la caída de los cuerpos** que tendrá en cuenta a tres referentes: Aristóteles, Galileo y Newton con la intención de rescatar aspectos importantes para el diseño y construcción de un dispositivo para la medición de la magnitud de la aceleración de la gravedad y la elaboración de una unidad didáctica a partir de la forma de ver y describir la naturaleza de la caída de los cuerpos.

Inicialmente para el siglo IV a.C, el movimiento asociado a la caída de los cuerpos era abordado desde un plano descriptivo. Aristóteles sustentaba que el mundo estaba hecho de 4 elementos (tierra, agua, aire y fuego) y cada uno de éstos tenía una posición natural en el universo. En el caso que se tuviese una piedra, está estaría compuesta en su mayoría del elemento tierra, está al soltarse de una altura determinada tendería a ir hacia el centro del universo, lo anterior implicaba que la noción de gravedad se tomaba como una visión ontológica. Aristóteles en la búsqueda de la causa por la cual los cuerpos caen, creía que el movimiento era propio de todas las cosas “pesadas”.

En el siglo XVI con la integración de las matemáticas como elemento descriptivo, Galileo Galilei en referencia a los estudios propuestos por Aristóteles afirmo que sería ocioso e inútil discutir las teorías causales de la gravedad propuestas por sus contemporáneos y predecesores, dado que “*nadie sabe que es la gravedad, que no es más que un nombre y que más vale contentarse con establecer las leyes matemáticas de la caída*” (Galilei, Dialogo Sobre los Sistemas Maximos, Jornada Segunda, 1975, pág. 231); así fue como decidió comprobar la naturaleza de la gravedad. Posteriormente Isaac Newton partiría de los estudios realizados por Galileo acerca del movimiento de caída libre, razón por la cual en su libro *Philosophiæ naturalis principia mathematica(1687)* admitió que hasta el momento no

¹ “Arduino® es una plataforma libre de computación de bajo costo basada en una placa de entrada-salida y en un entorno de desarrollo IDE que implementa el lenguaje Processing/WiringHardware. Arduino® se puede usar para desarrollar objetos interactivos automáticos o conectarse a software en el ordenador (Pure Data, Flash, Processing; MaxMSP (Arduino, 2015)

² *Ejemplar original o primer molde en que se fabrica una figura u otra cosa* (© Real Academia Española, 2015)

había sido capaz de descubrir la causa de las propiedades de la gravedad, al mismo tiempo afirmó que no presentaba hipótesis explicativas “debido a que las hipótesis no tienen lugar en la filosofía experimental”. En relación con lo anterior Newton introdujo la fuerza como factor que caracteriza el cambio de movimiento de un cuerpo, en efecto la fuerza se concebía invisible pero el contenido de ella lo hizo visible.

Los aportes de los tres autores presentados en el capítulo 2, permitieron ubicar la discusión de la naturaleza de la caída de los cuerpos en el diseño de la unidad didáctica, teniendo en cuenta varias situaciones dirigidas a los estudiantes para el análisis, discusión y construcción del prototipo; lo cual remitirá al lector al capítulo 3 **Recontextualizando los saberes de g con los estudiantes** donde se hizo el análisis de la implementación de los cuatro momentos (Aristóteles, Galileo, Newton y Arduino) y sistematización de la unidad, finalmente se redactaron unas consideraciones de la investigación en cuanto al análisis de los referentes, a la unidad didáctica, al dispositivo y la implementación con los estudiantes.

CAPÍTULO I: Una mirada a la enseñanza en torno al movimiento de los cuerpos

CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA

La ciencia como actividad humana está dirigida en algunos casos a resolver situaciones particulares de la naturaleza, donde el fenómeno de la caída de los cuerpos muestra intencionadamente la apariencia a unos pocos sujetos que se han interesado por hacer del fenómeno un objeto de estudio, sin embargo, en los entornos escolares³ la noción de este se dirige específicamente a la solución de problemas, a la supresión de la discusión y en discordancia se considera que la valoración del aprendizaje del estudiante se vincula directamente al tratamiento de algoritmos alejados de la realidad.

De ahí que esta investigación se enmarque desde una perspectiva cultural, donde el estudiante se reconoce como un individuo que conoce y que a su vez posee un conjunto previo de conocimientos y habilidades. Este conjunto de habilidades y conocimientos se origina en el individuo a partir del reconocimiento del mundo subjetivamente a través de los sentidos. Como lo expresa la profesora María Mercedes Ayala:

“Si se deja de hacer la separación habitual entre la actividad científica y los productos que se generan con ella y se comienza a ver los productos de la ciencia en íntima conexión con los contextos y actividad de producción y de resignificación, tanto la manera de entender que es la física como la problemática de su enseñanza se transforma significativamente.” (Ayala M. M., 2006, pág. 27)

Ahora bien, si se reconoce la ciencia como una actividad que transforma los contextos socio-culturales y que abre paso a ver el mundo como un conjunto de elementos que lo organizan, entonces, las producciones de las actividades científicas no se deben presentar como algo acabado y sintetizado en los libros de texto para los estudiantes; por el contrario corresponde al docente presentar la ciencia como un ejercicio que recoge aspectos importantes de los textos originales, y que permiten conocer

³ Los entornos escolares de la I.E.D Pablo VI, Sopó.

la cultura en la que los autores estaban inmersos y como desde el contexto de estos, logran desarrollar explicaciones de la naturaleza.

De igual manera, se encuentra que algunos docentes de la I.E.D Pablo VI, al no estar familiarizados con el uso de las tecnologías, o al no tener acceso a ellas, no la ven aplicable en sus contextos educativos o no hacen uso de ellas por el hecho de no contar con los conocimientos y herramientas tecnológicas necesarias para el desarrollo de dispositivos dirigidos a la enseñanza.

Dadas estas problemáticas una de las facetas del ser humano, está en reconocer el mundo desde los sentidos; de allí subyacen las nociones, las cuales permiten interpretar subjetivamente el mundo. Desde este punto se puede afirmar: cada actividad que está sujeta a interpretación, merece ser analizada y reflexionada, con el fin de garantizar que el proceso de argumentación no pase desapercibido por el hombre del común.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Situaciones como soltar una moneda, lanzar una pelota, saltar en paracaídas, e incluso el movimiento de los meteoritos al caer dentro del planeta Tierra, son eventos que están directamente relacionados con el movimiento de los cuerpos, y se convierten en situaciones interesantes para aproximar al estudiante al análisis de la caída de los cuerpos desde la organización de su experiencia.

En el ejercicio como docente en formación se ha logrado evidenciar que usualmente los docentes de física privilegian la repetición de información de libros de texto, los cuales exhiben la ciencia como un cumulo de conocimientos terminados y verdaderos. Particularmente el análisis de la caída de los cuerpos es abordado a partir de casos ideales en donde, se le presenta al estudiante afirmaciones como *“todos los cuerpos caen con la misma aceleración”*, a pesar de que ellos evidencien en su vida diaria que los cuerpos con mayor masa caen más rápido que los cuerpos con menor masa. Por ejemplo la caída de la bola de papel y una piedra, en donde el estudiante observa que los movimientos son semiparabólicos por acción de fuerzas externas como el aire o por la fuerza que se imprime al dejar caer el objeto o de acuerdo a la forma del objeto y a la pesantez alteran significativamente los resultados. Sin embargo, en algunos casos el docente y libros representan las situaciones con masas

ideales que describen movimientos verticales perfectos, sin acción de fuerzas, separados de la realidad del sujeto y que no permiten generar espacios para el análisis y discusión.

Hay que mencionar, además que la información que se presenta en los entornos escolares hace uso de conceptos dogmáticos desprovistos de un origen, por ejemplo la magnitud de la aceleración de la gravedad, es vista solo como un valor constante de 9.8 m/s^2 , a pesar de que en los documentos originales se le atribuya la variación de esta magnitud, en relación a la caída libre formulada por Galileo, en términos del movimiento acelerado y del péndulo de Huygens por la cicloide. Además a causa de esta información sintetizada la clase se limita a la manipulación de símbolos y términos, de ahí que se abra paso a formar en el estudiante una concepción del conocimiento acabado y con bases aporéticas. Como lo expresa María Mercedes Ayala:

“Conocer una teoría significa entonces conocer la concepción del mundo físico que involucra y la forma como se puede, a partir de ella, derivar los diferentes conceptos y leyes de la teoría con los que dan cuenta de los fenómenos inscritos en el dominio de está y establecer los nexos con la experiencia sensible”. (Ayala M. M., 2006, pág. 25)

A partir de esa mirada, el análisis de la caída de los cuerpos se reduce al uso de expresiones matemáticas que toman sentido únicamente para el estudiante en la resolución de problemas, o como intermediario para la toma y obtención de datos derivados de la actividad experimental y no en la construcción y comprensión del fenómeno, de allí que la teoría y la enseñanza de la física al centrarse en la asimilación de contenidos, resulten en lo que expresa (Martin & Solbes, 2001):

“En general, los alumnos que han recibido una enseñanza en la que el profesor se conforma con realizar definiciones operativas y manipulaciones cuantitativas y problemas de cálculo de los conceptos, sin profundizar en su significado, sin relacionarlos ni diferenciarlos entre sí, etc., presentan una serie de dificultades y confusiones”.

De lo anterior, en algunos casos las manipulaciones cuantitativas y operativas se vinculan directamente al experimento que surge con un papel secundario, como elemento verificador de la teoría y no como fuente de conocimiento, como lo afirma (Ayala , Malagón, & Sandoval, 2011) *el privilegio que se le ha dado a la teorización en la actividad científica ha limitado la importancia y*

comprensión de la experimentación en la ciencia”, de allí que en las observaciones de la práctica docente, el estudiante al no realizar un estudio paralelo entre la teoría y experimento, como un dialogo con los autores y una organización detallada de las sensaciones, para generar nuevas preguntas y soluciones hacia la formación de nuevos contenidos, el papel del estudiante se limita en la simple manipulación de datos arrojados por experimentos como la caída de un objeto sobre un plano vertical, que se pueden encontrar en la internet, y que suprimen la capacidad de asombro y curiosidad, abriendo la posibilidad de ignorar cuestionamientos que surgieron a partir del estudio de la caída de los cuerpos.

De igual manera en la práctica docente en la I.E.D Pablo VI del municipio de Sopó en los años 2015-2016 y en la experiencia como estudiante de sexto grado a once en la misma institución, se observó que la experimentación en el aula escolar se reducía a dos escenarios: El primero al uso de elementos cotidianos(relojes, metros, hojas milimetradas) que buscaba la manipulación de datos arrojados por el experimento y no despertaban mayor interés en los estudiantes y por otro lado el acceso tecnologías destinadas a la experimentación que permiten observar viejos problemas con nuevos ojos, que en un principio son novedosas y despiertan asombro, sin embargo, son presentadas como una simple caja negra, donde las mediciones derivadas del estudio de los fenómenos carecen de sentido y surgen preguntas como: ¿El dispositivo funciona adecuadamente? ¿El dispositivo tendrá las mediciones correctas? ¿Habrá posibilidades de realizarle mejoras?

De acuerdo con lo expuesto anteriormente surge la siguiente pregunta problema:

¿Cómo calcular la magnitud de la aceleración gravitacional desde el análisis de la caída de los cuerpos a partir del diseño de un prototipo experimental?

1.1 JUSTIFICACIÓN

La construcción de conocimiento según Hertz, se funda a partir de *las “experiencias sensibles o no sensibles derivadas de nuestra percepción, es así como los seres humanos forman sus propias imágenes del posible comportamiento.”* (Hertz, Principios de mecánica, 1956). Así pues, conocer o estudiar ciertos fenómenos de la naturaleza implica organizar la experiencia y al hacerlo se establece formas de actuar y pensar frente al fenómeno, asumiendo que el conocimiento es el producto de la

actividad de conocer y que, por consiguiente, lo más importante en el proceso de construcción del conocimiento es la actividad misma.

El proceso de construcción de conocimiento es muy complejo, no se produce linealmente o secuencialmente, ni existen procedimientos o algoritmos seguros que garanticen el éxito en este camino. Se requiere estar continuamente reflexionando sobre las situaciones ya tratadas, es decir sobre las explicaciones que se construyen y sobre las características de esas explicaciones, en donde cada nuevo análisis de un evento o una situación determinada conducirán hacia un nuevo conocer del fenómeno.

Es así, como el mundo físico pareciera guardar una armonía con la que no concuerda el pensamiento. El mundo sigue su curso mientras el hombre está en la capacidad de elegir, establecer puntos de vista, detallar, generalizar, particularizar, en síntesis elegir según su forma propia de entender el mundo. Se elige a partir de las sensaciones que los sentidos aportan y estos, los sentidos están emparentados unos con otros, es así como se concibe lo real o la realidad en un conjunto de sensaciones muy bien mezclado.

Relacionar una sensación con el conjunto de sentimientos, estados de ánimo y deseos hace posible concebir los objetos que conforman el mundo. Las relaciones más estables son fácilmente notadas y permiten hablar de lo que se está conociendo, por otra parte las relaciones que son de alguna forma poco notorias son obviadas, todo depende del “Yo”. Por ejemplo los planetas son asociados como esféricos (relación estable), se deja de lado el hecho de que tienen montañas y cráteres (relación poco estable) que a simple vista no son notados pero que para algunos son objeto de estudio. (Mach, 1987).

En este orden de ideas, el estudio de las relaciones poco estables permite acercarse a las formas de interpretar el movimiento y específicamente el fenómeno de la caída de los cuerpos a través de análisis histórico, epistemológico que ayudan a orientar los procesos de recontextualización de saberes dentro de un entorno social y cultural del país, en relación a los espacios educativos y de cómo el estudiante elabora el conocimiento como lo expresa María Mercedes Ayala:

La recontextualización de saberes es entonces una actividad *constructiva y dialógica* en busca de elementos para la elaboración o solución de un problema o la construcción de una imagen

de una clase de fenómenos, que depende inevitablemente de los intereses, conocimiento y experiencia de quienes la realizan (Ayala M. M., 2006, pág. 28)

En virtud de lo expuesto, a través de la recontextualización de saberes se propician espacios donde el docente crea nuevas propuestas para la enseñanza, en el que el estudiante pueda comprender lo que está aprendiendo a través del estudio de la caída de los cuerpos y de forma paralela con la construcción del prototipo, con el fin de guiarlo a la generación de nuevos significados y elementos para la ciencia. Desde este punto, la medición adquiere importancia ya que tiene como finalidad la caracterización de la actividad experimental donde se asignan atributos a un sistema de allí que:

...Asumir la medición como una práctica compleja que involucra, entre otras cosas, no solo preparar aquello que es objeto de medición sino también la forma de medirlo y los dispositivos con los que se hace esta operación, puede significar un cambio sustantivo en la forma de entenderla, además de transformar este proceso en un interesante objeto de estudio en el momento de analizar las practicas experimentales (Ayala , Malagón, & Sandoval, 2011, pág. 46)

Vale destacar que la elaboración del prototipo⁴ permitió construir una organización particular del fenómeno de caída de los cuerpos con una nueva mirada tecnológica: arduino, la cual permite que los estudiantes y el docente realicen una serie de programas que brinden soluciones ya sean de carácter educativo o cotidiano. De allí que la construcción del prototipo en conjunto con el estudiante abrirá pasó a enriquecer el fenómeno de la caída de los cuerpos con una forma alternativa de acceso al aprendizaje, sugiriendo nuevos significados y relaciones dejando a un lado la matematización desprovista de un contexto.

“En particular, si asumimos que matematizar un fenómeno físico no consiste en sobreponer un aparato matemático sobre el fenómeno, sino que se requiere, ante todo, construir la propia posibilidad de matematizarlo, es decir, construir las magnitudes, relaciones y procedimientos apropiados para representarlo y cuantificarlo; examinar los procesos involucrados en la

⁴ g-grduino es el nombre del dispositivo que mide la aceleración de la gravedad, diseñado y construido por el autor de esta tesis.

construcción de una determinada magnitud adquiere gran importancia desde el punto de vista pedagógico”. (Ayala M. M., 2006)

De igual manera la propuesta que se presenta, se toma a partir de los estilos de vida actuales de los jóvenes, los cuales se apoyan con el uso de la tecnología; ya que desde la práctica como docente en formación se observó que la mayoría de los estudiantes no se sienten motivados con los métodos tradicionales de enseñanza. Posiblemente al vincular a la enseñanza el análisis histórico, epistemológico con la tecnología permita que el estudiante tome un papel activo.

Al hacer uso de las TICs que se definen como: *“las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (TICs) para promover a sus alumnos con las herramientas y conocimientos necesarios para el siglo XXI”* (UNESCO, 2004). Abre la posibilidad de una visión alternativa y cooperativa de la comprensión de la teoría, del mismo modo un anclaje de la experimentación, a partir de elementos que al estudiante le ofrecen como estrategias en la consecución del conocimiento.

“La utilización de las nuevas tecnologías de la enseñanza, está sin duda plenamente justificada si se tiene en cuenta que uno de los objetivos básicos de la educación ha de ser la preparación de los adolescentes para ser ciudadanos de una sociedad plural, democrática y tecnológicamente avanzada” (Ruiz Gutierrez & et al, 2014).

El uso de la tecnología educativa en los proyectos de grado para la licenciatura de física de la Universidad Pedagógica Nacional no es nueva, de allí como lo expresa (Caceres Maldonado & Mora Lopez, 2003) *“se pretende hacer un aporte a todas aquellas personas que ven en la electrónica su relación con la física y una buena implementación de los conocimientos adquiridos en el ciclo de fundamentación”* con el fin de promover la creación de escenarios alternativos, en este caso para la comprensión de la naturaleza de la caída de los cuerpos, ya que, en la experiencia como docente se pudo notar que al utilizar nuevas herramientas atractivas e interesantes dentro de la enseñanza, se abría la posibilidad al asombro del estudiante y el aprendizaje adquiriría valor con el uso de la tecnología que surge de un contexto específico. Se puede inferir que el *“estudiante que construye conocimiento significa que elabora y desarrolla estructuras conceptuales que le permiten comprender y actuar sobre la realidad, a partir de las estructuras que ya posee”*. (Ayala M. M., 2006)

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

Construir la magnitud de la aceleración gravitacional alrededor del análisis de la caída de los cuerpos, desde el diseño y desarrollo de un prototipo experimental (Arduino).

1.2.2 Objetivos Específicos

- Revisar los planteamientos de Aristóteles, Galileo y Newton que brindan elementos para el estudio de la naturaleza de la caída de los cuerpos y la construcción de explicaciones entorno a la aceleración de la gravedad.
- Diseñar un hardware y software para la medición de la aceleración de la gravedad, por medio de Arduino®.
- Crear un material didáctico para el estudiante que le permita elaborar la magnitud de la aceleración, a partir de la construcción del prototipo y el análisis de ciertas situaciones alrededor de la caída de los cuerpos.

1.3 METODOLOGÍA

Esta monografía se enmarca en la investigación cualitativa-interpretativa, la cual tiene como objetivo hacer un estudio de caso alrededor de la caída de los cuerpos haciendo énfasis en el análisis comprensión, explicación e interpretación obtenidas de la interacción sujeto-objeto, así mismo, esta metodología no pretende demostrar hipótesis y teorías existentes, más bien busca generar teoría a partir de los resultados obtenidos. Como lo expresa Jorge Martínez:

“...Existen múltiples realidades construidas por los actores en su relación con la realidad social en la cual viven. Por eso, no existe una sola verdad, sino que surge como una configuración de los diversos significados que las personas le dan a las situaciones en las cuales se encuentra. La realidad social es así, una realidad construida con base en los marcos de referencia de los actores” (Martínez, 2011, pág. 7)

Durante el desarrollo del trabajo de grado se realizó una revisión bibliográfica, a través del estudio de algunas fuentes primarias que reúnen elementos históricos y epistemológicos, con el fin de buscar material para la elaboración y construcción de una imagen alrededor de la caída de los cuerpos.

Por lo anterior se ha hecho necesario la revisión e interpretación de algunos autores (Aristóteles, Galileo y Newton) para identificar las problemáticas que originalmente motivaron la elaboración de la descripción del fenómeno de la caída de los cuerpos, las contradicciones, discusiones que se presentaron en general y que no aparecen en los libros de texto de educación media. Estos estudios permiten resaltar la actividad científica como un proceso cultural que juega la razón y donde el estudiante puede construir explicaciones a partir de la concepción y percepción que se tiene alrededor del fenómeno.

Por parte de Arduino la investigación se basa en un diseño metodológico de prototipos que se describirá en el capítulo 2.3.1 teniendo en cuenta los referentes Aristóteles, Galileo y Newton para el diseño técnico del dispositivo, programación y manipulación del mismo a través de las siguientes fases:

La primera fase tiene como objetivo la caracterización de elementos históricos y epistemológicos sobre la caída de cuerpos, se profundiza en los planteamientos de Aristóteles, en cuanto a las maneras de elaborar argumentos desde la descripción del mundo con los 4 elementos; así mismo se hace revisión de los estudios de Galileo, todo lo que confiere a la representación del movimiento de la naturaleza específicamente del mundo sublunar a partir del uso de las matemáticas y la experimentación; finalmente se hace revisión de los estudios de Newton en donde se integran las observaciones del mundo sublunar y supra lunar y que permiten establecer la organización de la naturaleza con la ley de gravitación universal. Desde estas perspectivas se tienen en cuenta las

miradas, aportes de los autores y criterios para orientar los procesos de enseñanza en el aula a partir de los problemas centrales del fenómeno de la caída de los cuerpos y de la construcción del prototipo.

En la segunda fase se hace el diseño y construcción de un prototipo, g-grduino⁵, con el objetivo de enriquecer la actividad experimental a través de la retroalimentación de la primera fase y de la medición de la magnitud de la aceleración de la gravedad principalmente partiendo de los planteamientos de Galileo.

Al tener en cuenta los elementos descritos en las fases anteriores se diseñó e implementó la unidad didáctica en la Institución Educativa Departamental Pablo VI, ubicada en el municipio de Sopó Cundinamarca, con el fin de tener una fuente de información para el análisis de como el estudiante construye argumentos y nuevos lenguajes alrededor del fenómeno de la caída de los cuerpos, a partir de la construcción y medición de la magnitud de la aceleración.

El desarrollo de los momentos mencionados permite hacer una retroalimentación para el desarrollo de una nueva unidad que involucra elementos que fueron omitidos inicialmente en la primera unidad didáctica y que permiten enriquecer el aprendizaje del fenómeno de la caída de los cuerpos.

1.4 ANTECEDENTES

Los ejes centrales del trabajo de grado se enfocaron alrededor de los estudios de la caída de los cuerpos y la relación de las nuevas tecnologías con el diseño y uso de dispositivos para la construcción de magnitudes, por esta razón se señalan las siguientes investigaciones consultadas.

El trabajo de grado titulado **realidad y el movimiento de la caída de los cuerpos** (Cardenas Gamboa, 2007), de la Universidad Pedagógica Nacional de Colombia, dirigida por el profesor José Francisco Malagon, se hace pertinente porque enriquece la mirada frente a las discusiones del movimiento entorno a la caída de los cuerpos desde los planteamientos de Aristóteles, Galileo y Newton. Cada

⁵ Se ha utilizado este nombre del acrónimo que hace referencia a la gravedad, apellido García y arduino.

una de las posturas contiene ciertos componentes característicos frente al movimiento, determinado, por los factores, conceptos y elementos que intervienen en dicho fenómeno. La cual aporta a la investigación como fuente de información para la elaboración de la unidad didáctica.

De igual manera la monografía titulada **Diseño y elaboración de un manual para la programación de microcontroladores PIC16F87X y su implementación en la enseñanza de la física**. (Caceres Maldonado & Mora Lopez, 2003) de la universidad Pedagógica Nacional, asesorada por el profesor Eusebio García, por la cual consta de un manual escrito y un software tutor donde inicialmente se presenta una vista global del dispositivo diseñado con el microcontrolador a partir de la distribución de cada pin en el encapsulado, líneas de programación, ejecución del dispositivo y que aporta a la investigación con el diseño del prototipo, g-grduino, y la unidad didáctica, en el que al estudiante se le pueda guiar la construcción del dispositivo a través de una interfaz menos compleja que la del microcontrolador PIC16F87X, es decir, el uso de la plataforma arduino, que tiene una interfaz sencilla, portable asequible y permite programarse las veces que sean necesarias, ya sean para el almacenamiento, toma de datos.

En cuanto a la investigación de doctorado se tiene **Génesis y evolución del concepto de gravedad: Construcción de una visión de universo** (Camino, 2005) de la Universidad Nacional de la plata, Argentina, La cual tiene como finalidad brindar elementos a los educadores, para comprender de qué manera las personas ven “gravitatoriamente” el mundo en el que vivimos, y de qué manera tales visiones pueden ser conocidas, comprendidas, compartidas y, quizás, modificadas.

Y finalmente el trabajo de grado titulado **El Concepto de gravedad desde las concepciones de Newton y Einstein: Una propuesta didáctica dirigida a estudiantes de Ciclo V** (Sotelo Fajardo, 2012) de la Universidad Nacional de Colombia, la cual presenta el desarrollo del concepto gravedad a partir del estudio histórico, epistemológico y disciplinar enmarcado en la ley de gravitación universal y la teoría general de la relatividad. Asimismo se muestra el diseño e implementación de la unidad didáctica “Gravedad desde las concepciones de Newton y Einstein” la cual busca transponer el saber científico al saber escolar en los estudiantes de ciclo V del Colegio Nueva Delhi, profundizando en el estudio del concepto gravedad bajo premisas constructivistas. Estas dos investigaciones aportan a la investigación con la elaboración de una unidad didáctica que integre preguntas y situaciones para el análisis en los entornos escolares.

2. CAPÍTULO II: LA NATURALEZA DE LA CAÍDA DE LOS CUERPOS

En la primera sección de este capítulo, *Pensando en el movimiento*, se presenta un análisis de documentos originales acerca de la concepción del movimiento, su relación con la caída de los cuerpos y como este fenómeno repercutió en la discusión y elaboración de diferentes posturas entorno a la caracterización y descripción del movimiento desde algunos pensadores como Aristóteles, Galileo y Newton. En la segunda sección: *De los graves a la gravedad*, se abre paso a una forma de caracterizar el fenómeno de la caída de los cuerpos con la incursión del concepto de gravedad. En la última sección: *Abriéndose a nuevos horizontes: Arduino*; se muestran las funciones y ventajas que posee la tecnología Arduino en la construcción de magnitudes, la cual enriquece la concepción de la caída de los cuerpos, al abrir la posibilidad de hacer más precisa la cuantificación y descripción del fenómeno y a su vez dar paso a nuevas formas de abordar la enseñanza de la física a través de este tipo de tecnologías.

2.1. Pensando en el movimiento

Uno de primeros pensadores en abordar la naturaleza de la caída de los cuerpos, fue Aristóteles quien se caracterizó por hacer estudios del mundo, centrándose en las formas de comprender la naturaleza del movimiento, a partir de la generación y corrupción en los elementos; la cual predominó por varios siglos.

De acuerdo al libro *acerca de la generación y la corrupción* (ARISTÓTELES, 1987) , el principal objeto de estudio es la estructura del mundo sublunar⁶ y los cambios que allí se desarrollan. Los primeros términos que se abordan en el documento de Aristóteles son la generación y corrupción absoluta, ya que todo lo que se derive de ellos dará resultado la alteración, es decir, que el universo es uno y todo, por lo que se genere a partir de este será una alteración; por ejemplo el nacimiento de una estrella es una alteración del universo que es uno. ¿Pero a que hace referencia el autor por alteración? Este concepto surge de dos posturas, la primera parte del hecho que los cuerpos son

⁶ Aristóteles considera que lo sublunar se refiere a lo corruptible (elementos, movimiento), sucede adentro de la Tierra y el movimiento es lineal. En cuanto a lo supra lunar se refiere a lo inmutable y no tiene cabida a la corrupción, es decir que no puede ser alterado. Aristóteles desde la mirada geocentrista, considera que el movimiento en el sistema supra lunar es circular, perfecto y continuo y da la posibilidad de inferir que existe algo que está inmóvil durante todo el tiempo y, por otro lado, algo eternamente en movimiento, como las estrellas. (ARISTÓTELES, 1987, pág. 38).

divisibles, tienen una posición y orden de sus componentes; según Empédocles (ARISTÓTELES, 1987, pág. 23) están compuestas por una aglomeración de semillas simples de diversas formas (Aire, agua, fuego, tierra y los homeómeros (combinación de los 4 elementos, compuestos)) y que estas a su vez forman una unidad, por ejemplo una tabla de madera al dividirse (alteración) en n partes seguirá siendo madera. Significa que cualquier cambio de las componentes naturales ya sea por el cambio de lugar, magnitud (aumento o disminución), orden o forma implicara una alteración, es decir que la alteración es un fenómeno perceptible. Caso opuesto a Anaxágoras que expresa la indivisibilidad de la materia, donde los cuerpos difieren en virtud de la posición y ordenación de las componentes, es decir los cuerpos simples son los homeómeros, no existe la unidad, por el contrario la unión o separación de los elementos; de esta forma sí existiese la unidad, el cuerpo estaría constituido de puntos, lo que implicaría que sus componentes carecieran de magnitud, ya que, el cuerpo procedería de nada y estaría compuesto de nada, significa que el primer interrogante que se tenía acerca de la materia tenía que ver con la indivisibilidad o divisibilidad de la misma y sus implicaciones en la alteración.

El solo hecho de pensar la divisibilidad e indivisibilidad de la materia, hace pensar si la alteración del universo es continuo o divisible, de allí que *“si alguien piensa que el todo no es continuo, sino dividido en partes que están en contacto, con ello no hace nada diferente de afirmar la existencia de la pluralidad (y no de lo uno) y del vacío.”* (ARISTÓTELES, 1987, pág. 66) Por lo tanto, si todo es divisible el límite del universo es el vacío, por lo que para Aristóteles hace pensar que el movimiento en el vacío fuese ininteligible, ya que, para él el todo es uno, inmóvil e infinito y se debía a que los cuerpos celestes eran eternos y existían por necesidad, sin embargo, el mundo sublunar daba paso a la alteración.

Ahora bien, para que haya generación y corrupción de las cosas, en todas las sustancias naturalmente constituidas, estas deberán ser perceptibles, de allí como lo expresa Empédocles *“a partir de la asociación y disociación o alteración de estos elementos, (agua, tierra, fuego y aire) tienen lugar la generación y corrupción de las cosas.”* (ARISTÓTELES, 1987, pág. 83). En consideración se dice que la materia que subyace de los cuerpos perceptibles está determinada por los elementos; la materia es la esencia de las cualidades contrarias.

Cuando se refiere a las cualidades contrarias, Aristóteles se remite directamente al contacto, con ejemplos tales como: seco-húmedo, caliente-frio, liviano-pesado, duro-blando; brindando una descripción de cada una de las contrariedades hasta reducir cada una de las posibilidades a 4 parejas de cualidades elementales de acuerdo a un orden lógico: caliente-seco, húmedo- caliente, frio-seco, frio-húmedo como se observa en siguiente ilustración.

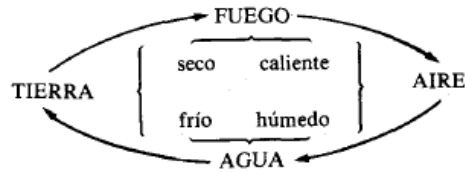


Ilustración 1 transformación de los elementos (ARISTÓTELES, 1987)

Así pues los cuerpos de apariencia simple: fuego, aire, agua, y tierra resultan de estas 4 cualidades elementales; los elementos forman 2 pares en las regiones del espacio, de allí que la tierra y el agua pertenecen a la región del centro del universo y el fuego con aire a la región orientada al límite exterior.

Los cuerpos simples tienen un ciclo de alteración y generación, sin embargo para la obtención de un elemento debe tenerse en cuenta el orden que brinda la ilustración 1, por ejemplo para obtener agua del fuego implicaría un mayor cambio de cualidades; es decir que el fuego y el agua resultaran del conjunto del aire y de la tierra, ya que cuando se destruye la cualidad de lo cálido del aire y lo seco de la tierra se obtendrá el agua.

Para poder describir los cambios que se perciben en los elementos, la materia surge como el sustrato capaz de generar el cambio entre la generación y corrupción⁷, por lo tanto, la alteración implica un cambio (cambio de un contrario al otro), a través de la pasión⁸. Por ejemplo cuando un objeto que se encuentra a una altura h y desciende hasta una altura h_0 , se producirán ciertas alteraciones ya sean de cantidad, referentes al aumento y disminución, de lugar, habrá traslación, y finalmente de afección o

⁷ Aristóteles infiere que en lo que respecta a la corrupción se produce desde la generación de algo perceptible a un cambio de la materia imperceptible; como el agua cuando hace un cambio de estado líquido a estado gaseoso.

⁸ De acuerdo al libro Metafísica, libro quinto, la Pasión se dice de las cualidades que puede alternativamente revestir un ser; como lo blanco y lo negro, lo dulce y lo amargo, **la pesantez y la ligereza**, alto y bajo, y todas las demás de este género. En otro sentido es el acto mismo de estas cualidades, el tránsito de la una a la otra.

cualidad, referidas a un cambio de estado, todo lo anterior, significa que el cambio será el tránsito de una cualidad a otra.

Pero para que haya un tránsito de una cualidad a otra, el movimiento involucra un contacto señalando *“consiste en tener límites extremos comunes, entonces estarán en contacto todas aquellas cosas que poseyendo magnitudes definidas y una posición, tienen sus límites y extremos comunes.”* (ARISTÓTELES, 1987, pág. 59). Acorde con lo anterior se puede afirmar que el contacto se le atribuye a las cosas que tienen posición como atributo del lugar, y de allí todos los cuerpos que se encuentren en algún lugar o se encuentren en contacto entre si deberían tener la propiedad pesantez o ligereza y que algún cambio debida a dos motores implica una alteración.

El contacto al tratar sobre magnitudes definidas, que han tenido algún tipo de alteración, por ejemplo mover y ser movido, necesita de dos motores: uno móvil que hace la acción⁹ y el otro inmóvil como el receptor. Ahora bien solo se aplican a los cuerpos cuyo movimiento es una afección¹⁰ y todas las demás de este género; el contacto *“incluye a antes que tienen una posición y que son capaces uno de mover y el otro de ser movido, mientras que la definición del contacto reciproco supone un ente capaz de mover y otro de ser movido que posean funciones de agente y paciente”*. (ARISTÓTELES, 1987, pág. 60), significa que todos los eventos que están en contacto se refieren a los que están dentro de la región sublunar, de allí que la causa de los eventos surgen como paciente y agente donde estos dos términos tienen cualidades contrarias y se trasforman mutuamente, como lo que el fuego calienta y el frio enfría, o lo que sube y luego baja, debido al motor móvil que genera una alteración por el acto y potencia, y que se efectúan en la tierra, como motor inmóvil.

Cuando se refiere al acto y potencia los cuerpos con los que se interactúan, tienen la naturaleza de padecer y actuar, es decir, para el caso de la alteración de lugar de una masa que está en reposo (acto) y se da la posibilidad (potencia) de alterarla; el movimiento consistirá en la translación (potencia), al hecho de dirigirse un lugar diferente al origen (acto) mientras dura el proceso, de allí el movimiento termina.

⁹ De acuerdo a la teoría aristotélica, la acción hace referencia al empuje que se le aplica al cuerpo para obligarlo a cambiar de movimiento ya sea en línea recta o natural

¹⁰ Se dice de las cualidades que puede alternativamente revestir un ser; como la pesantez y la ligereza

Otro aspecto que se tiene en cuenta en el movimiento lo hace Empédocles, con una descripción simple en la incursión del odio como causa del movimiento natural, que impulsa la tierra hacia abajo y la amistad contraria al movimiento natural, es decir, el movimiento violento:

“...dado que los cuerpos parecen moverse tanto compulsivamente y contra natura, como naturalmente (por ejemplo el fuego se dirige hacia lo alto no compulsivamente, pero hacia abajo por compulsión), que lo natural es contrario a lo compulsivo, y visto que el movimiento compulsivo existe, consecuentemente también existe el movimiento natural” (ARISTÓTELES, 1987, pág. 102)

Sin embargo, el movimiento natural no podía provenir de la amistad y el odio, lo que hace que se pregunte ¿Cuál es el primer motor y la causa del movimiento? A lo que le atribuye el éter, mundo supra lunar, donde el movimiento de translación es eterno, continuo y circular “*pues el movimiento traslativo hará que la generación sea ininterrumpida porque hace acercar y alejar el principio generador*” (ARISTÓTELES, 1987, pág. 113), desprovisto de combinaciones (acto y potencia). Caso puesto al movimiento sublunar que es rectilíneo y alterable:

“En efecto, cuando del agua se genera el aire y del aire el fuego y, nuevamente, del fuego el agua, decimos que la generación ha completado el ciclo, porque retorna al punto inicial. En consecuencia, también la traslación rectilínea es continua en tanto imita a la circular” (ARISTÓTELES, 1987, pág. 116)

Al intentar establecer un límite de la generación, Aristóteles hace una observación interesante preguntándose ¿Es necesario que la generación tenga un límite ya sea el circular o rectilíneo? A lo que responde:

Si ha de ser eterna, no es posible que sea rectilíneo ya que no tendría lugar a un comienzo y a un final, a un pasado o a un futuro, por lo tanto es necesario que sea circular, ya que los cuerpos celestes son eternos y los movimientos de estos son producidos por necesidad (ARISTÓTELES, 1987)

En conclusión de lo expuesto anteriormente por Aristóteles, él hizo una interesante descripción ontológica acerca de la generación, corrupción del movimiento; debido a su teoría de que un ente, cuerpo, tiende naturalmente a llegar a su propio lugar; es decir la acción de caída como un proceso

de desplazamiento dentro del mundo sublunar, hacia el centro del universo que era la Tierra, en movimiento rectilíneo; cuya acumulación de todos los cuerpos pesados, se reunían en torno a su alineación natural, lo que implica que hay una razón de proporcionalidad, a mayor peso mayor velocidad. *“Si un cuerpo pesaba el doble que otro; su velocidad al caer tenía que ser el doble también, simplemente por la cantidad de los elementos que poseían.”* (Dear, 2007).

Al mismo tiempo el cambio, (alteración), podía ser de dos tipos uno sustancial mencionado como el cambio de una fase a otra, una hoja de papel se convierte en ceniza, y otro accidental de orden cuantitativo, cualitativo y de lugar que es el objeto de estudio.

El movimiento local tiene dos posturas, una natural referente a la tendencia de los elementos a dirigirse al lugar de origen o reposo, y el violento que se aleja de su posición natural, como una piedra que se encuentra a una altura h_0 es desplazada a una altura h_1 , debida a una acción¹¹ que obliga el cuerpo a cambiar su movimiento natural. Finalmente en el análisis de la caída de los cuerpos que se abren paso en el medio, se infería que a mayor velocidad se abriría paso más fácil en el medio, es decir que la velocidad era inversamente proporcional a la resistencia del medio¹².

Para la época del medioevo entra un nuevo método, basado en la experiencia y el uso de la matemática, así Dios describe la naturaleza con el uso de caracteres matemáticos y el hombre tiene los medios para interpretarlos y predecir los acontecimientos. El promotor de este modelo fue Galileo, el cual empleó la técnica de Descartes; sobre las relaciones de la geometría y los cuerpos en el espacio y lidió con el modelo aristotélico, presentando unas pruebas poderosas, con un lenguaje brillante a través las matemáticas como elemento de descripción y rectificación de la experimentación; frente a una tradición especulativa y dogmática que presentaba el modelo aristotélico. En este marco cabe resaltar la investigación sobre el movimiento de la caída de los cuerpos, donde se establecieron nuevos conceptos, leyes y reglas cuyos resultados obtenidos de los experimentos se adecuaban a la experiencia. Los trabajos hechos por Galileo nacen de la necesidad de explicar lo que le rodea al

¹¹ Implica que a mayor fuerza aplicada involucraría mayor velocidad se establece la relación proporcional entre la fuerza y el peso.

¹² Si son soltadas una roca y una pluma, la roca se abrirá camino más fácil en el medio que la misma pluma. Si se calentaba el aire significaba que el objeto abría paso más fácil en su trayectoria.

hombre, es así como surge el modelo matemático como razón poderosa para explicar la realidad de las cosas que nos rodean.

En el diálogo sobre los sistemas máximos Galileo muestra dos modelos que chocan, por una parte el modelo aristotélico opaco y reinante y por otro lado el de Copérnico, que ayuda a Galileo a dar explicaciones contundentes. La dificultad central del documento gira entorno a la distinción de los movimientos que Aristóteles hace referencia en el libro la generación y corrupción, por un lado lo referente al mundo sublunar con el movimiento de los cuerpos simples (cuatro elementos) que se les asocia a la línea recta (arriba o abajo) cuya particularidad está en dirigirse hacia el centro¹³ y por otro lado lo supra lunar relacionado al movimiento circular que se realiza en los astros pero no en la tierra, ya que, es uno de los elementos.

En la jornada primera Galileo hace una distinción de la naturaleza entre la elemental, sobre los cuatro elementos que son generables y corruptibles y de la celeste a la que le atribuye el éter, donde es ingenerable e incorruptible; de lo anterior se empieza a realizar un análisis sobre la construcción del espacio y movimiento. Inicialmente Aristóteles prueba la perfección del mundo y la integridad no de una simple línea o superficie, sino por el contrario el cuerpo es dotado de longitud, ancho y profundidad, es así como Galileo por medio del razonamiento matemático hace una aproximación más precisa y demostrativa del porque la perfección del mundo eran tres dimensiones, a través del uso de la matemática como elemento demostrativo de la línea, *ilustración 2*, ancho y profundidad.

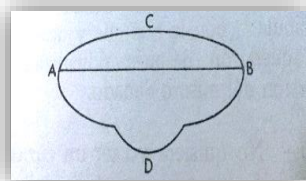


Ilustración 2 (Galilei, Dialogo Sobre los Sistemas Maximos, 1980)

Una vez realizada la demostración sobre las dimensiones de un cuerpo, se describe el movimiento, expresado en tres tipos: recto, circular y mixto, los dos primeros son simples a los que por naturaleza tienen principio de movimiento como el fuego, aire, agua y tierra: el recto de arriba abajo, y el circular que es entorno a un centro. Visto desde otro ángulo los mixtos que se determinan de acuerdo a la

¹³ Noción que hace referencia a una postura geocéntrica.

parte predominante de la composición y movimiento. De allí que surja la pregunta de Sagredo: "...
¿Porque razón Aristóteles no dice que entre los cuerpos naturales, algunos son móviles por naturaleza y otros inmóviles, ya que por definición se dice que la naturaleza es principio del movimiento y del reposo?" (Galilei, Dialogo Sobre los Sistemas Maximos, 1980, pág. 49)

A lo que Salviati responde "*el movimiento rectilíneo sirve para transportar las materias que han de servir para la construcción de la obra, pero que una vez construida esta, solo les queda o permanecer inmóviles o si se mueve, hacerlo circularmente...*" (Galilei, Dialogo Sobre los Sistemas Maximos, 1980, pág. 56) de acuerdo a lo expuesto el estado natural de los objetos no será ya exclusivamente el reposo, un reposo absoluto, sino también cualquier movimiento rectilíneo y uniforme, que en ausencia de fuerzas, permanece inalterable, a lo que posteriormente sería llamado la inercia; una tendencia a mantener su estado de movimiento o de reposo.

Para explicar sobre el reposo, Galileo toma el plano inclinado, *ilustración 3*, él expresa que un cuerpo al soltarse ya sea en el plano inclinado (segmento AC) o en la vertical (segmento CB) adquirirá una velocidad como resultado de la suma de su lentitud(reposo) y que a su vez adquirirá una aceleración hacia la "inclinación natural" que tiende, es decir, si una piedra parte del reposo en la vertical su movimiento natural será hacia el centro de la tierra y en cada instante de caída pasara por todos los grados de lentitud e ímpetu, lo cual se infiere que la altura e inclinación del plano afectara el movimiento, aceleración y tiempo de caída¹⁴; aunque no siempre es lo mismo a lo que lo lleva a demostrar que existen espacios para los cuales los tiempos de los movimientos tienen la misma proporción lo que concluye:

"...según el curso ordinario de la naturaleza, un móvil alejado de todo impedimento externo y accidental, se mueve sobre planos inclinados con mayor o menor lentitud según la inclinación sea menor, hasta que finalmente la lentitud llegue a ser infinita , que sucede cuando alcanza el plano horizontal..." (Galilei, Dialogo Sobre los Sistemas Maximos, 1980, pág. 69)

¹⁴ El tiempo en la vertical será menor que en el plano inclinado y la aceleración será mayor en la vertical que en el plano inclinado, ya que, el espacio del plano inclinado es mayor que el de la vertical.

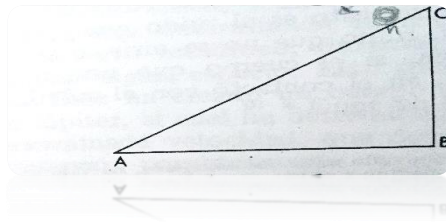


Ilustración 3 (Galilei, Dialogo Sobre los Sistemas Maximos, 1980)

De acuerdo a lo anterior, la caída de los cuerpos debía a este efecto a la resistencia del medio, el movimiento y al efecto que la gravedad haría; así mismo, Galileo le atribuía a una variación de la fuerza motriz, ímpetu, que anima al cuerpo, a una especie de adición del impulso al movimiento; donde el cuerpo al caer se pensaba, que adquiriría una cantidad de impetuosidad, cualidad o propiedad del movimiento, sumada al ímpetu natural de la pesantez, lo cual lograba dar una descripción al incremento de la velocidad.

Desde otro punto de vista Galileo apoyándose de los razonamientos aristotélicos sobre la caída de los graves, el peso y el aumento de velocidad en el descenso, él sostiene que esta conocida ley aristotélica no posee suficientes argumentos con relación a la caída. Una de las demostraciones de las que infiere que la visión aristotélica no es suficientemente fuerte se muestra a continuación:

“Si son lanzados dos cuerpos diferentes entrelazados con una cuerda, se supondría que constituirían un nuevo cuerpo y de allí podría caer más rápido, lo cual infiere que esta teoría es inconcebible por el hecho que dos objetos separados durante la caída se acelerasen el doble de manera súbita.” (Dear, 2007, pág. 113)

Sus argumentos para intentar demostrarlo son numerosos. Tomando parte de las ideas del matemático Arquímedes (sobre los cuerpos flotantes), los estudios de la relación entre la gravedad, densidad, de un cuerpo y el medio en el que se halla sumergido sirvieron para determinar si un cuerpo podría flotar o hundirse en un determinado medio, si la densidad del cuerpo era mayor que la del medio, se hundiría; si la densidad era menor, flotaría. Lo que hace Galileo es reubicar esta misma reflexión a su propia discusión sobre la caída de los cuerpos: Las descripciones que hace son expuestas como si los cuerpos se estuviesen hundiendo en un medio común como lo es el aire, analizando las velocidades de caída comparando la gravedad específica, densidad de una sustancia, con la del aire, llegando a

describir la naturaleza de la caída de los cuerpos en términos matemáticos a través del movimiento uniforme y uniformemente acelerado.

Para el siglo XVII con los trabajos expuestos por Galileo y otros pensadores, llegan las primeras ideas de Newton acerca del movimiento. Newton iba más allá de aplicar las matemáticas al mundo físico como lo hizo Galileo, busco nuevos métodos de análisis matemático con el estudio de las causas físicas mediante la idealización como primera medida para ser contrastada con las situaciones física reales. Como lo expuso Bernard Cohen en el libro *La revolución Newtoniana y la transformación de las ideas científicas*:

Newton mostro que las leyes de la caída de los cuerpos de Galileo, eran verdaderas tan solo en circunstancias limitadas que él se encargó de especificar, tratando de determinar nuevas formas de dichas leyes que fuesen más universalmente verdaderas. (Cohen, 1983, pág. 56)

Para Newton el estado natural de las cosas se regían por el principio de la inercia ya propuesto por Galileo, la pregunta ya no era ¿por qué se mueven los objetos? sino ¿por qué cambia el movimiento de los objetos?, es así como él parte del principio de inercia y afirma que las fuerzas son las causas del cambio del movimiento, caso opuesto a lo que presentaba Aristóteles que las fuerzas son la causa del movimiento, así pues aparecen los 3 axiomas o leyes del movimiento descritos a continuación:

“-Todos los cuerpos perseveran su estado de reposo o movimiento uniforme en línea recta, salvo que se vean forzados a cambiar ese estado por fuerzas impresas. (Newton, Principios matematicos de la filosofia natural, 1982, pág. 237)

-El cambio de movimiento es proporcional a la fuerza motriz impresa, y se hace en la dirección de la línea recta en la que se imprime esa fuerza. (Newton, Principios matematicos de la filosofia natural, 1982, pág. 237)

-Para toda acción hay siempre una reacción opuesta e igual. Las acciones reciprocas de dos cuerpos entre si son siempre iguales y dirigidas hacia partes contrarias.” (Newton, Principios matematicos de la filosofia natural, 1982, pág. 237)

En los 3 axiomas descritos anteriormente se observa que Newton incursiona con el término de fuerza como una magnitud de acción extensiva y elemento caracterizador de la causa del movimiento, la

cual se puede medir en términos de la magnitud de transformación; cantidad de movimiento, donde Galileo lo asocia al ímpetu, mientras que Isaac Newton en los Principia Mathematica usa el término latino motus, movimiento, y vis motrix, fuerza motriz, palabras derivadas del movimiento.

Así pues para Newton como para Aristóteles, todo cambio o proceso en el movimiento, tienen la necesidad de una causa que lo explique, a través de un motor que lo cause y lo mantenga. El movimiento para los dos es cambiar de un modo a otro modo, significa que si se trata de un movimiento local¹⁵ relativo, es con relación a un punto fijo que se mueve el objeto, en un eje coordenado, o un centro absoluto que sería el centro del universo.

Por otro lado es posible identificar dos formas de pensar el movimiento, una donde el movimiento es considerado como cambio de lugar, que sucede en un intervalo de tiempo y la otra como la forma de estar de los cuerpos o una cualidad que se asigna, a través, de la diversidad de estados del movimiento, de allí que la velocidad instantánea sea el concepto organizador de la descripción del movimiento de los cuerpos. Por lo tanto, para Newton como para Galileo el problema importante es la determinación entre la velocidad, el espacio y el tiempo.

2.2. De los graves a la gravedad

Para Aristóteles no había una concepción de gravedad, solamente se basaba en los movimientos naturales de los elementos que tienden a ocupar una posición en la naturaleza, en efecto para Aristóteles no era admisible la acción a distancia¹⁶, ya que toda transmisión de movimiento implica un contacto, sin embargo, la primera noción de gravedad que se tuvo fue la atribuida a los cuerpos que son pesados y que se dirigen a su lugar natural.

Como lo fue hasta el siglo XVI con el astrónomo Tycho Brahe, el cual seguía con este concepto expresado en el libro *los estudios Galileanos* del historiador (Koyré, 1980, pág. 183), “*Tycho, como todos los aristotélicos, creen que la gravedad es una tendencia propia de la piedra, tendencia que la*

¹⁵ El movimiento local es siempre, pues, relativo y a la vez absoluto como lo expresa Newton. Relativo porque necesariamente implica un término de comparación y no puede ser concebido, «en sí» en relación a nada, como el movimiento absoluto de Newton; absoluto, porque los «lugares» entre los que se produce el movimiento forman un sistema absoluto, que posee un término esencialmente inmóvil. (Koyré, 1980, pág. 11)

¹⁶ No existe la fuerza de atracción en la física aristotélica.

lleva hacia un lugar.” Así pues el movimiento natural se efectuaría en línea recta, tan rápido como el medio se lo permitiese, aunque si el medio no ofreciera resistencia, por ejemplo en el vacío, el movimiento tendría una velocidad infinita algo imposible¹⁷ para Aristóteles. Lo mismo acontece con el movimiento violento, ya que necesita de un motor, sin embargo, el vacío no era un medio que pudiese transmitir y mantener el movimiento.

En efecto, ¿por qué caen los cuerpos con una velocidad que aumenta más y más? Para Aristóteles el problema era casi inexistente. Si el movimiento de la caída de los cuerpos graves o de la elevación de los mismos se hace en virtud de la tendencia natural del objeto a llegar a su lugar propio, ¿Es natural que un objeto se acelere conforme se va acercando a su meta? o ¿cómo una causa constante, el peso, actuando de una manera natural, produjera un efecto variable? De allí que se preguntaran ¿De dónde provenía la aceleración?

Los estudios de Aristóteles resultaron de la abstracción de algunos elementos en la descripción de la caída y de la relación sujeto-objeto. En un comienzo la adquisición de ímpetu se debía al objeto más pesado que en términos aristotélicos sería la gravedad, la cual ellos repudiaban, ya que, de un movimiento natural o violento se genera rápidamente en función de la fuerza¹⁸ que es el agente que obliga al cuerpo cambiar su movimiento natural, como una piedra al arrojarse, abre paso a la alteración de lugar debida al empuje aplicado y se dirigirá a su posición natural.

Para el siglo XVI llega Galileo Galilei a examinar las posibilidades de la naturaleza en su libro *Dos nuevas ciencias*. Él analiza los problemas sobre el carácter de las matemáticas y la naturaleza exponiendo lo siguiente acerca de la caída de los graves:

No obstante, y desde el momento en que la naturaleza sirve de una determinada forma de aceleración para poder descender a los graves, hemos decidido estudiar sus propiedades, para poder estar seguros de que la definición de movimiento acelerado que vamos a proponer sea conforme a la esencia del movimiento naturalmente acelerado. (Galilei, Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias, 1981, pág. 275)

¹⁷ Para Aristóteles pensar en un movimiento infinitamente rápido era impensable y absurdo.

¹⁸ Aristóteles representa la fuerza como un empuje que obliga a un cuerpo a cambiar el movimiento ya sea natural o violento, además es la causa que hace dirigir a los objetos a su posición natural, es decir, la gravedad depende de la fuerza y de la pesantez.

El movimiento naturalmente acelerado Galileo lo define como “*que en cualquier plano inclinado la velocidad o la cantidad de Ímpetus de un móvil que parte del reposo crece con el tiempo*” (Galilei, Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias, 1981, pág. 288). Para el caso de la caída de los graves él trata de mostrar el carácter de la verdad de la siguiente experiencia: un cuerpo en caída libre acelera a medida que desciende, de modo que la distancia con respecto al punto de partida aumenta de forma directamente proporcional al tiempo transcurrido (ver ilustración 4), es decir la relación proporcional entre la distancia y el tiempo al cuadrado, $x \propto t^2$, es decir de acuerdo al corolario I, al declararse que $\frac{1}{2}g$ es constante¹⁹, los espacios recorridos serán iguales al tiempo al cuadrado, llegando a la siguiente ecuación.

$$x = \frac{1}{2}gt^2$$

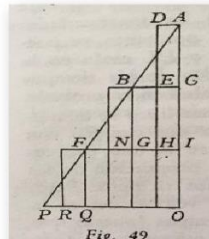


Ilustración 4 Esquema que muestra como Galileo empleo el plano inclinado para reducir, y así poder medir mejor, la aceleración de un cuerpo en descenso, Fuente (Galilei, Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias, 1981, pág. 296)

De acuerdo a la ilustración 4 el aumento de los espacios recorridos adquiere incrementos de acuerdo a la serie de los números impares, significa que para las dos unidades de tiempo (segmentos AC y CI) que parten del reposo, el espacio recorrido serán cuatro unidades cuya velocidad estará marcada por el segmento FI y tendrá 2 unidades de velocidad²⁰, lo que se infiere que a medida que el cuerpo desciende adquiere mayor ímpetu. De lo anterior se puede ver que Galileo hace una descripción detallada de la caída de los cuerpos asociando los efectos del movimiento a la gravedad²¹, sin embargo, no le agrada dar explicación de las causas concepto como lo hace en el siguiente párrafo.

¹⁹ De acuerdo al teorema I proposición I “... mientras que la intensidad de la velocidad del otro, que se mueve con la velocidad uniforme, es un medio de la intensidad máxima que alcanzaría con movimiento acelerado” (Galilei, Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias, 1981, pág. 293), Huygens tiempo posterior dará la magnitud de $g = 9.8 \text{ m/s}^2$

²⁰ El teorema I, proposición I muestra la relación entre el movimiento uniforme y uniformemente acelerado

²¹ Cuando se hablaba de las causas atribuidas a la gravedad Galileo creía que eran fantasías.

¿Que hace que las cosas caigan hacia abajo? “La causa de este efecto”, dice Simplicio “es conocidísima y todos saben que es gravedad” “os equivocáis señor Simplicio. Deberíais decir que todos saben que se llama gravedad. Pero yo no os pregunto por el nombre, solo por la esencia de la cosa. De esta esencia no sabéis ni un poco más de los que sabéis de la esencia del motor de las estrellas en su giro”. (Galilei, Dialogo Sobre los Sistemas Maximos, Jornada Segunda, 1975, pág. 231)

Tal nivel de discurso representaba para Galileo un método que pretendía descubrir las leyes matemáticas de la naturaleza, sin necesidad de entrar en la consideración de las causas, partiendo del análisis directo de los datos de los experimentos y observaciones. Al respecto, Cohen considera que la gravedad solo actúa en la componente vertical y no en la horizontal:

“La trayectoria parabólica de los proyectiles es un enunciado matemático de un fenómeno, con las cualificaciones derivadas de la resistencia del aire. Sin embargo las condiciones matemáticas de una parábola sugieren las causas, dado que, teniendo una vez más en cuenta las cualificaciones derivadas de la resistencia del aire, señalan la existencia de un movimiento uniforme en la componente horizontal y de un movimiento acelerado en la componente vertical”. (Cohen, 1983, pág. 46)

Para Galileo Galilei al haber un movimiento acelerado en la componente vertical, se aceptaba la existencia de una fuerza de gravedad que hacía que un cuerpo se acelerara, sin embargo, este trataba de deducirla matemáticamente sin buscar la causa de esta fenomenología, concluyendo que la aceleración es independiente de la masa, como lo dice Koyré:

“Para el joven Galileo, la gravedad, o la pesantez, es una propiedad natural de los cuerpos. Es incluso su única propiedad natural. Lo que explica muy bien que el movimiento de la caída sea natural y que sea un movimiento natural general.

En la física del joven Galileo, la pesantez, o la gravedad, es una fuente de movimiento. Y como es la única propiedad natural del cuerpo, es también la tónica fuente natural del movimiento; y como, por otra parte, es una propiedad natural general de todos los cuerpos, origina en todos los cuerpos un movimiento natural hacia «abajo»”. (Koyré, 1980, pág. 229)

En la anterior cita y en la mayoría de los escritos de Galileo se observa que se tiende a confundir la masa con la gravedad, es por esto que para él la gravedad no es una fuerza que se ejerce sobre un cuerpo, si no por el contrario algo inherente al cuerpo.

Kepler al igual que Galileo llega con una nueva teoría de la gravedad, con el fin de derogar el sistema aristotélico que se equivocaba al atribuir a ciertos cuerpos el peso y a otros la ligereza, ya que según Kepler el peso es una propiedad relativa, del resultado de la atracción.

Haber modificado el sistema copernicano al describir el movimiento de los planetas por medio de una elipse, le hizo pensar que al girar los planetas alrededor del Sol tenían gravedad.

De allí que los estudios referentes a la gravedad se centraran en lo supra lunar, es decir, para Kepler los planetas eran considerados como enormes imanes, cuya fuerza dependía de su mole²², y que a su vez poseen una resistencia (pereza) ante la acción de otro, naciendo la palabra inercia. Como lo expresa:

“[...] La gravedad es una afección corporal mutua entre cuerpos emparentados tendente a su unión (como, en este orden de cosas, la facultad magnética), de tal manera que es la Tierra quien atrae a la piedra más bien que al revés.

Los graves [...] no se llevan hacia el centro del mundo en tanto que el centro del mundo, sino hacia el centro del cuerpo redondo emparentado [...].De ahí que esté donde fuere que esté o se transporte la tierra, los graves se enderezarán siempre hacia ella.” (Newton, Principios matematicos de la filosofia natural, 1982, pág. 63)

Por lo tanto la acción entre la luna y la tierra o entre algún objeto y la tierra serán fuerzas atractivas como resultado de acción de la gravedad, cabe resaltar que fueron varias demostraciones las que hizo Kepler para postular una teoría de la gravedad. Kepler al igual que Hooke fueron capaces de concebir la idea de gravitación en términos de la fuerza centrípeta como elemento que hace mantener las partes de los cuerpos celestes juntos, por ejemplo Tierra-Luna.

²² Concepto anterior para referirse a la masa de Newton

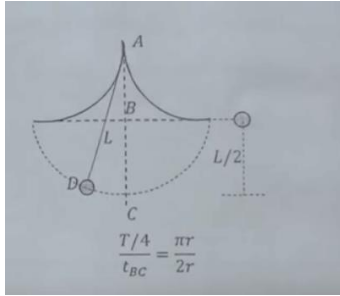


Ilustración 6 diagrama explicativo realizado por Ph.D. Fabio Vélez de la proposición XXVI, *Horologium Oscillatorium*, parte IIb, (Bruce, 2016)

Despejando el periodo, T, de la ilustración 6 se tiene que

$$T = 2 * \pi * t_{BC}$$

Y reemplazando t_{BC} en términos del movimiento acelerado expuesto por Galileo se llega a la siguiente expresión:

$$T = 2 * \pi \sqrt{\frac{2H}{g}}$$

Pero si se dice que $H=L/2$ reemplazando se llega a:

$$T = 2 * \pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

Al despejar la anterior expresión en términos de g, conociendo la longitud del péndulo, 1 metro, y el periodo de oscilación, 2 segundos, que en términos de un cuarto del periodo, 1/4, sería igual a 0.50 segundos.

$$g = \frac{4 * \pi^2 L}{T^2} = 9.8 \text{ m/s}^2$$

Lo que concuerda con la constante de la expresión de Galileo Galilei sobre el MUA en donde $x = \frac{1}{2} g t^2$, para un segundo la distancia recorrida es igual a 4.9 metros igual al periodo de oscilación del péndulo, dato del valor de gravedad, g, que sería utilizada posteriormente con la ecuación de la ley de gravitación universal.

Tiempo después, desconociendo los trabajos sin publicar de Huygens llegaría Newton proponiendo la exitosa ley de gravitación universal la cual nace del fruto del trabajo de la lógica de estudio de las fuerzas y movimientos, conduciéndole a ver los efectos de las causas desde lo particular a lo general.

Para Newton las primeras ideas sobre la gravedad fueron desarrolladas a partir de los trabajos realizados por Galileo en “Dialogo”, donde se preguntó ¿Por qué si la Tierra gira sobre su propio eje, los objetos que se hallan en la superficie no salen despedidos? Esta pregunta hace que Newton se proyectara a responder cual es la acción que está presente en la superficie de la Tierra. Justamente la genialidad de Newton consistió en incluir las leyes de Kepler que describían lo que sucedía en lo supra lunar y los descubrimientos del mundo sublunar de Galileo en el mismo saco, con el fin de integrar ciertas leyes aplicables a la Tierra como para los cuerpos celestes.

Newton para llegar a la ley de gravitación universal parte del interrogante que Edmund Halley propone de lo que hoy conocemos la primera ley de Newton²⁴ ¿Cuál sería la trayectoria de un cuerpo en órbita alrededor de otro cuerpo estacionario, si el cuerpo móvil fuera atraído hacia el cuerpo inmóvil con una fuerza²⁵ inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ambos? (Dear, 2007, pág. 241)

En los primeros trabajos Newton consideraba que la gravedad se aplicaba únicamente a la tierra, incorporando las investigaciones de Huygens sobre la fuerza centrífuga, llego a comparar la esta fuerza con la fuerza de la gravedad, fuerza centrípeta, donde el movimiento de los cuerpos es el resultado de la atracción hacia su centro.

... La fuerza atractiva se encuentra en ambos. El sol atrae a Júpiter y a los demás planetas, Júpiter atrae a sus satélites y, por la misma razón, los satélites actúan tanto unos sobre otros como sobre Júpiter, y todos los planetas actúan mutuamente entre sí. (Newton, Principios matematicos de la filosofia natural, 1982, pág. 842).

²⁴ La primera ley de movimiento de Newton expresa: Todos los cuerpos perseveran su estado de reposo o movimiento uniforme en línea recta, salvo que se vean forzados a cambiar ese estado por fuerzas impresas (Newton, Principios matematicos de la filosofia natural, 1982, pág. 237)

²⁵ Newton afirma que las fuerzas son las causas del cambio del movimiento y en contra de Aristóteles que las fuerzas son la causa del movimiento

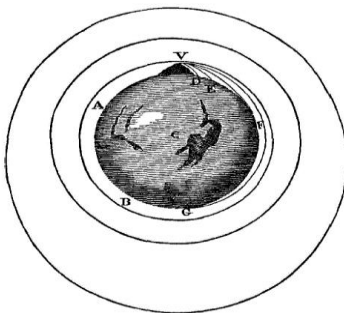


Ilustración 7 La acción de fuerzas centrípetas (Newton, Principios matematicos de la filosofia natural, 1982, pág. 824)

Como se observa la ilustración 7, inicialmente Newton hace atención especial al estudio del movimiento terrestre, si un cuerpo esférico es lanzado horizontalmente desde una montaña, por la presión de su propio peso y del aire describirá una trayectoria curva, hasta llegar al suelo, debido a la fuerza de gravedad, por lo tanto al aumentar la velocidad al final superara los límites de la Tierra pasando al espacio sin tocarla y describirá arcos concéntricos por efecto de la gravedad.

Sin embargo, luego en sus demás textos se evidencia como Newton concebía la gravedad como una fuerza de atracción entre dos cuerpos, de manera que el cuerpo “atraído” lo era en dirección al cuerpo atrayente, por lo tanto la acción gravitacional debe ser recíproca y satisfacer la tercera ley²⁶. Esto suponiendo que la naturaleza había dotado a los cuerpos de fuerzas que pueden actuar sobre otros cuerpos a grandes distancias, acción a distancia, caso opuesto a lo propuesto por Descartes y Huygens que la atracción se debía hacia un cuerpo central. Como lo expresa Newton en la sección XI:

“...pues las atracciones suelen dirigirse hacia los cuerpos, y las acciones de los cuerpos atraídos y atrayentes son siempre recíprocas e iguales, por la tercera ley; con lo cual si hay dos cuerpos ni el atraído ni el atrayente se encuentran verdaderamente en reposo, sino que ambos giran en torno a un centro de gravedad, estando por así decirlo mutuamente atraídos”.

(Newton, Principios matematicos de la filosofia natural, 1982, pág. 404)

De lo anterior Newton parte de la premisa del sistema Tierra-Luna, él expresa que si el movimiento lunar es similar a un cuerpo cercano a la superficie terrestre, la fuerza centrífuga se vería compensada con la tendencia gravitatoria, es decir que la acción continua de la fuerza de la gravedad hace que la Luna se acelere en dirección a la Tierra, pero la cantidad de movimiento de la Luna la impulsa a lo

²⁶ Acción a distancia, un cuerpo puede ejercer acción sobre otro lejano de manera instantánea.

largo de la línea de fuerza, sobre la órbita de la luna elíptica irregular²⁷. Lo interesante del trabajo de los principios de Newton es que no es necesario un contacto directo entre los cuerpos como medio para transferir la acción. La proposición I del teorema I (Newton, Principios matemáticos de la filosofía natural, 1982, págs. 270-272) de los principios, es una demostración de lo propuesto por Halley, en términos de la reformulación de la segunda ley de Kepler a través de una fuerza²⁸, sin determinar si es atractiva o repulsiva, que produce un impulso.

Newton buscó construir una nueva filosofía natural en la que la fuerza de atracción universal sea esencial, esto mediante modelos mecánicos de acción que explicaran la causa de la gravedad. Lo interesante de Newton fue la unificación de la física celeste y terrestre, mostrando que los cambios de la naturaleza son generados por la misma acción, la fuerza la cual es invisible pero el contenido de esta es el que se hace visible. En el caso de la fuerza de gravedad hace que los cuerpos sean pesados sobre la tierra y se aceleren hacia abajo en caída libre, la fuerza con que la tierra tira de la luna para mantenerla en su órbita, la fuerza ejercida por la luna y el sol en la producción de las mareas y las que ejercen el sol y los planetas unos sobre otros.

Como el mismo decía en el escolio general, hay tres condiciones de la gravedad que son suficientes, que bastan en filosofía natural o experimental. El primer lugar es suficiente (‘‘satis est’’)²⁷ ‘‘que la gravedad exista realmente’’; en segundo lugar, que la gravedad ‘‘actuó según las leyes que hemos propuesto’’; en tercer lugar, que la gravedad, baste para explicar todos los movimientos de los cuerpos celestes y de nuestro mar (Newton, *The Principia: Mathematical Principles of Natural Philosophy*, 1999, pág. 943)

En la proposición VII y VIII, problema II y III, Newton expone lo referente a la gravedad de cualquier cuerpo como la suma de sus partes, como analogía ocurre en todos los cuerpos celestes gravitan mutuamente como el inverso cuadrado de la distancia respecto de sus componentes, mostrando la universalidad absoluta de la gravitación, como se observa en la ilustración 8, nos permite hallar la fuerza centrípeta en cualquier punto dado, donde se cuantifica cada uno de los segmentos.

²⁷ Newton hace descripción de la naturaleza del movimiento a través de las fluxiones, que en términos actuales es el cálculo infinitesimal.

²⁸ Newton expresa la fuerza en términos de impulsos que actúan sobre un cuerpo sin necesidad de identificar su origen, los cuales pueden alterar su velocidad o dirección del movimiento.

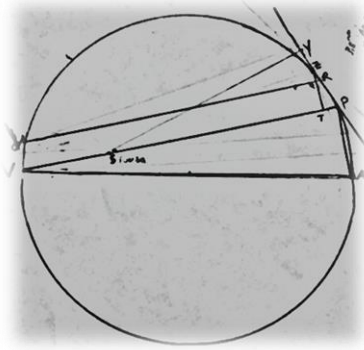


Ilustración 8 imagen propia transcrita de la proposición VII (Newton, Principios matematicos de la filosofia natural, 1982, pág. 281)

Se parte del hecho que los segmentos AV=VP = 10cm, el segmento QT=0,1034 cm se toma a SP= a 7cm y en otra muestra a 3cm, por otro lado el segmento QR= a 0.107cm, el segmento RL=9.3cm.

Como lo expresa la proposición: $\frac{SP^2 \times PV^3}{AV^2} = \frac{SP^2 \times QT^2}{QR}$ al reemplazar los valores expresados anteriormente se tiene la igualdad 490 = 490 para el caso cuando el centro de fuerza es 7cm, y en el caso de 3cm 90=90 lo que concuerda con la proposición: La fuerza centrípeta es inversamente proporcional como $\frac{SP^2 \times PV^3}{AV^2}$, es decir $\frac{1}{F_c} = \frac{SP^2 \times PV^3}{AV^2} \frac{1}{F_c} = 490$ o en caso de 3cm al centro de fuerza S $\frac{1}{F_c} = 90$

Lo que comprueba que a mayor distancia menor fuerza centrípeta y a menor distancia mayor fuerza centrípeta, que para el caso de la gravedad en el sistema tierra-luna es afectado por la distancia que les separa.

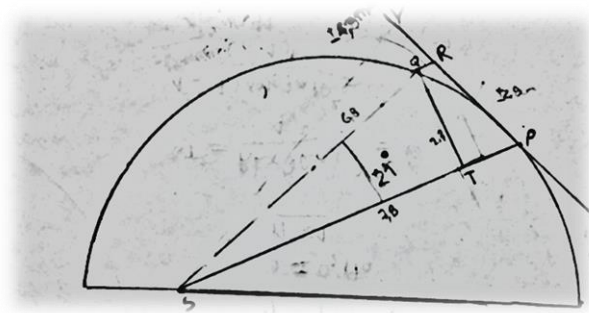


Ilustración 9 tomada de la proposición VI, teorema

De acuerdo a la proposición VI, teorema V, ilustración 9, se puede ver que todo cuerpo que describe una curva, hace un esfuerzo por escaparse por la tangente, en el caso de la luna el seno verso²⁹ del segmento QR, nos indica el valor de la gravedad de la luna en ese momento y del valor de lo que se separa la luna en ese momento. Recopilando las medidas de la órbita de que describe la luna Monsieur Picart,³⁰ y el tiempo de la luna en dar una revolución 27 días, 7 horas y 43 minutos, alrededor de 39343 minutos que al dividirse en la órbita de la luna dará resultado a 187961, al elevarse al cuadrado se tendrá $3.5329 \cdot 10^{10}$ y al dividirse por el diámetro de la órbita lunar 2353893840 se obtendrán 15 ft que es el seno verso del arco en un minuto³¹, o la fuerza centrípeta de la luna en un minuto. Significa que en un objeto en la superficie terrestre recorrerá 4.5 metros en un segundo, puede someterse a la experiencia, pero en la luna por el inverso al cuadrado tardara más tiempo en caer, que de acuerdo a galileo $x \propto t^2$ significa que la distancia recorrida crece como el cuadrado del tiempo, lo que es lo mismo 3600 4.5 metros, 16200 metros, pero en la luna sería $x \propto 1/t^2$ a razón del inverso cuadrado de la distancia, por lo tanto un objeto en la luna caería 3600 veces más lento que en la tierra, ya que se encuentra 60 veces más distante del centro de la tierra, 0.00125 metros más lento, de allí que la fuerza de gravedad obre menos cuando estén más distantes de la tierra.

Partiendo de la ley del inverso al cuadrado³² que regía el movimiento de los planetas propuesta en un debate por varios miembros de la Royal Society entre ellos Robert Hooke³³ y siendo informado Newton por Edmond Halley, $F \propto \frac{1}{r^2}$, y de la tercera ley de Newton, la fuerza de la tierra en caída libre sobre un objeto, m_o , es igual a la fuerza del cuerpo que hace sobre la masa de la tierra, m_t , es decir la fuerza es proporcional a las masas mencionadas. Por lo tanto $F \propto G \frac{m_o \cdot m_t}{r^2}$ llegando a la ley de gravitación universal³⁴. Donde G es una constante de proporcionalidad independiente, de ambas

²⁹ Seno verso = $1 - \cos(\theta)$, el segmento QR = (seno verso * (segmento QP)²)

³⁰ La circunferencia del ecuador es de 1232496000 ft de París, la luna dista de nosotros 60 semidiámetros terrestres, describe una órbita igual a 1232496000 por 60 semidiámetros terrestres que son 7394976000 ft de París. (De Isla & Monlau, 2014 digitalizado, pág. 382)

³¹ distancia recorrida luna: $\frac{15 \text{ ft}}{60 \text{ s}} = 0.25$ distancia recorrida tierra: $15 \text{ ft} * 60 \text{ s} = 900$

Razón = $\frac{\text{distancia recorrida tierra}}{\text{distancia recorrida luna}} = \frac{900}{0.25} = 3600$ razón, hizo pensar que la fuerza de gravedad era inversa al cuadrado de las distancias

³² Newton demostró que la ley del inverso al cuadrado implicaba las tres leyes de Kepler

³³ Hooke llegó a proponer el principio del inverso del cuadrado de la distancia para la gravedad, y así se lo dijo por escrito a Isaac Newton, pero le faltó conocimiento matemático para desarrollarlo.

³⁴ En la ley de gravitación universal los efectos gravitacionales son instantáneos (se desplazan a velocidades infinitas)

masas, que para la época de Newton existían serias dificultades para hallarla, empezando por no conocer la masa de la Tierra. Es así como Cavendish para 1798, en el afán de medir la densidad de la Tierra, encuentra la solidez del planeta a través de una balanza de torsión y conocida la constante de torsión del hilo, se pudo determinar el momento de fuerza que actúa y, a partir de él, la constante $G = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{Nm}^2/\text{kg}^2$.

Para el caso que se hable de la fuerza que se hace sobre un objeto terrestre se tiene que:

$$F = G \frac{m_o * m_t}{r^2}$$
$$m_o g = G \frac{m_o * m_t}{r^2}$$
$$g = G \frac{m_t}{r^2}$$

Se puede ver que g depende de la masa de la Tierra y de la distancia del centro a un lugar de la superficie terrestre. Además se cumple la afirmación de Galileo que la aceleración de la gravedad es independiente de las masas del cuerpo en caída, además g es igual a los trabajos expuestos por Huygens sobre la cicloide y la caída libre de Galileo, el peso disminuye con la altura y conociendo a g se podrá calcular la constante de gravitación universal.

Para concluir, los trabajos realizados por Newton dan cuenta de un estudio riguroso que no daban cabida al uso de la hipótesis, por lo tanto en relación a la gravedad deja a consideración: *“La gravedad ha de ser causada por un agente que actúe constantemente según ciertas leyes, más si dicho agente es material o inmaterial constituye un problema que he dejado a la consideración de mis lectores”* (Newton, Principios matemáticos de la filosofía natural, 1982).

En la siguiente tabla se hace una breve síntesis de como el estudio del fenómeno de la caída de los cuerpos dio inicio a la generación de nuevas imágenes en la conceptualización de la gravedad.

Diseño y construcción de un prototipo para el estudio de la caída de los cuerpos: Medición de la aceleración de la gravedad, por medio de Arduino®

Seguimiento de la conceptualización del concepto de gravedad		
Aristóteles	Galileo –Descartes	Kepler -Huygens -Newton
Para Aristóteles la alteración solamente se da en el mundo sublunar.	Galileo centra la mayor parte de estudios al mundo sublunar, no obstante, ofrece varios aportes en el mundo supra lunar.	Kepler hace énfasis en el mundo supra lunar, infiere que el espacio es homogéneo y cada cuerpo ocupa su lugar natural, hasta que una fuerza lo saque de allí. La gravedad es una fuerza universal y es proporcional a su masa.
El movimiento lineal se asemeja al mundo sublunar, ya que, tiene un comienzo y un fin y el movimiento circular al mundo supra lunar puesto que es ingenerable, incorruptible y no tiene un fin.	Para galileo al igual que Aristóteles en el mundo hay cabida a 3 movimientos: lineal, circular (planetas) y mixto (son frecuentes en el mundo sublunar)	En el caso de Huygens la fuerza de gravedad está presente en todo lugar. A través de los trabajos con el péndulo que bate segundos, la cicloide y de los cálculos de galileo sobre el movimiento acelerado, da la magnitud de la aceleración de la gravedad =9.81m/s ² .
	Galileo rompe las concepciones aristotélicas, que llegan hasta la edad media, aunque para galileo todavía existe un lugar natural que es dirigido hacia el centro del mundo. Los cuerpos pesados se sitúan en el centro del mundo o cerca de él.	
La naturaleza tiene un orden, el movimiento natural de los objetos está regido por la interacción de los 4 elementos y la tendencia de estos a su lugar (gravedad), por ejemplo una piedra lanzada verticalmente retorna en línea recta a su origen, ya que su mayor parte está constituida por tierra.	Galileo para explicar porque los objetos caen a la misma aceleración la naturaleza hace estudio de dos movimientos: uniforme que es a velocidad constante y el acelerado, este último abrió paso a la cuantificación de la magnitud de g; sin embargo, para la época de galileo era una constante.	Newton toma los planteamientos de Kepler sobre las orbitas y a galileo sobre el movimiento natural de los cuerpos, los integra para obtener la ley de gravitación universal.
La gravedad se le asocia a las propiedades cualitativas como grave a lo pesado y levedad a lo liviano, de allí que se llame gravedad.	Galileo tiende a confundir la gravedad con la masa, ya que para galileo la gravedad no es	La fuerza no es una entidad metafísica que se manifiesta en los efectos de aceleración, trayectoria, movimiento; por el contrario, es el conjunto de estos efectos. (Sandoval Osorio, 2008, pág. 49), significa que la fuerza no es visible pero su contenido lo hace visible.

Diseño y construcción de un prototipo para el estudio de la caída de los cuerpos: Medición de la aceleración de la gravedad, por medio de Arduino®

	una fuerza que actúa sobre el cuerpo; es algo inherente al propio cuerpo.	Newton tiene una idea similar a la de Demócrito, el mundo está constituido por corpúsculos en un espacio vacío a través de una entidad llamada fuerza, atracción hacia un centro móvil o inmóvil.
Las acciones físicas no se dan cabida en el vacío.	Galileo establece una diferencia entre gravedad y fuerza gravitacional, considera a la gravedad como un efecto de la aceleración y a la fuerza gravitacional como la acción que genera los cambios de velocidad en un cuerpo.	Newton Inserta la noción de acción a distancia, donde cada corpúsculo puede ejercer sobre otras fuerzas directamente e instantáneamente sobre otros cuerpos.
El empuje (fuerza) es la causa del movimiento, por lo tanto, cuando un objeto esta en reposo(acto) se y se da lugar a la alteración(potencia),es decir, el empuje dará paso al movimiento hasta que llegue a su posición natural.	En el caso de Descartes <i>“la gravedad es una cualidad esencial del cuerpo que a cada instante engendra un nuevo ímpetus, empuja al cuerpo hacia abajo”</i> (Koyré, 1980), es decir la gravedad acompaña al cuerpo en movimiento, una primera aproximación a la “acción a distancia”.	Newton toma como ejemplo el problema de los dos cuerpos tierra-luna estableciendo la correlación del movimiento de la luna con la aceleración de la gravedad, a través de la fuerza centrípeta. Para Newton la fuerza de gravedad es tomada como una fuerza centrípeta que se dirige hacia un centro u otro cuerpo.

2.3. Abriéndose a nuevos horizontes: Arduino®³⁵

Del estudio de los referentes mencionados en el capítulo 2, surgen varios factores relacionados con la experimentación que afectan la medición y precisión de la magnitud de la aceleración de la gravedad con aspectos tales como: el uso de relojes solares, clepsidras³⁶ relojes de arena o

³⁵ “Arduino® es una plataforma libre de computación de bajo costo basada en una placa de entrada-salida y en un entorno de desarrollo IDE que implementa el lenguaje Processing/WiringHardware. Arduino® se puede usar para desarrollar objetos interactivos automáticos o conectarse a software en el ordenador (Pure Data, Flash, Processing; MaxMSP (Arduino, 2015), ver anexo 1, conociendo la interfaz arduino.

³⁶ Reloj de agua

Diseño y construcción de un prototipo para el estudio de la caída de los cuerpos: Medición de la aceleración de la gravedad, por medio de Arduino®

actualmente los relojes digitales y el sistema de lanzamiento operado manualmente, igualmente las condiciones atmosféricas que alteran los resultados de los tiempos de caída y al igual que el procesamiento de datos en la actividad experimental dieron paso al uso de tecnologías alternativas en el aprendizaje con la plataforma **arduino** (ver anexo 1, conociendo la interfaz arduino). Para solventar los factores mencionados se presenta una propuesta novedosa, donde los estudiantes pueden diseñar y construir instrumentos de medida a través de la experimentación con la tecnología arduino, y análogamente con la investigación recurrente de fuentes primarias.

La plataforma arduino a través del uso de un hardware (Ver ilustración 10) y software fácil de operar, (arduino) fue una herramienta clave para la construcción del prototipo, ya que pudo generar un espacio donde el estudiante aprende y juega con la física a partir de la construcción de elementos que permiten medir la magnitud de la aceleración o de diferentes magnitudes. A continuación, del diseño metodológico se hizo una descripción de la construcción del prototipo.

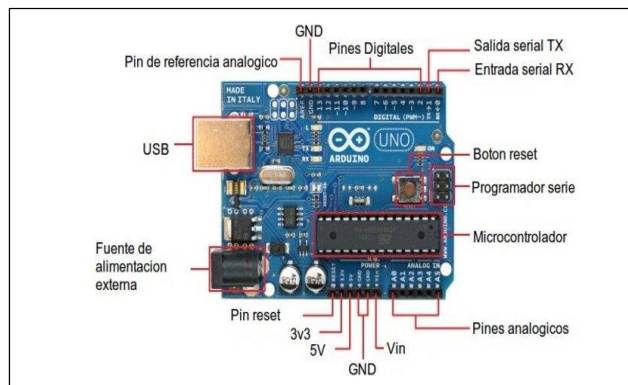


Ilustración 10 Componentes Arduino uno fuente <http://comohacer.eu/wp-content/uploads/2014/07/arduino-partes1.jpg>

2.3.1 Diseño Metodológico

El dispositivo, g-grduino, se diseñó de tal manera que todos los elementos que lo integren puedan procesar y transmitir la información con el menor grado de incertidumbre. A continuación en la ilustración 11 se puede ver un diagrama de bloques del dispositivo, el cual integra cuatro fases para la medición de la aceleración de la gravedad.

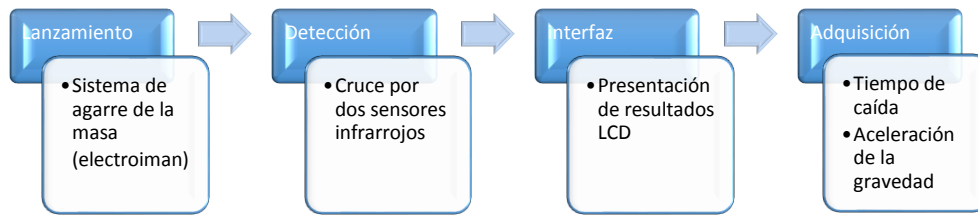


Ilustración 11 Diagrama de bloques del dispositivo

2.3.2 Lanzamiento

El sistema de lanzamiento de la masa(esfera metálica) funciona semiautomático, con el uso de un electroimán y un switch manual, la masa se ubica centrada al tubo, de tal manera que los datos obtenidos no tengan alteraciones, *ilustraciones 12 y 13*. El sistema se ha diseñado con el fin de mejorar la precisión del instrumento evitando que la esfera tenga fricción con las paredes del tubo pvc de 1", ya que, los datos de la magnitud de la aceleración de la gravedad variaban a causa de la alineación del electroimán con relación a los sensores infrarrojos.

El electroimán fue diseñado con alambre esmaltado calibre 22, se embobino con 200 vueltas, es decir con 5 metros de alambre, luego se conectó a un interruptor³⁷ y a una fuente de alimentación de 5V,DC, para mitigar el grado de incertidumbre. Ilustración 13.

³⁷ El interruptor tiene dos cables uno negro y uno blanco, el primero hace referencia al cátodo y el segundo al anodo.

Diseño y construcción de un prototipo para el estudio de la caída de los cuerpos: Medición de la aceleración de la gravedad, por medio de Arduino®

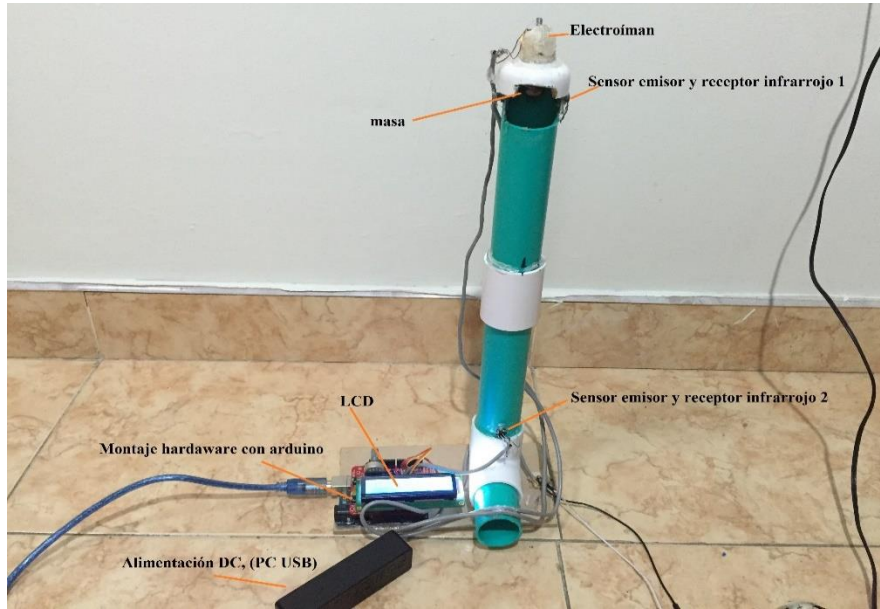


Ilustración 12 partes de Arduino, fuente propia



Ilustración 13 Electroimán y masa, Fuente Propia

2.3.3 Detección

Consta de un subsistema formado por un par de leds, ilustraciones 14 y 15, una pareja de emisores infrarrojos, y de fototransistores, receptores, los cuales se encuentran alineados paralelamente, donde el fototransistor recibe una señal en el momento que la masa esférica, 0.003 kg, ilustración 13, cruza entre la señal del emisor y receptor, de modo que la señal hace que inicie la cuenta de tiempo a través del microcontrolador, Atmega328P-PU, hasta que cruce el segundo fototransistor. Los sensores infrarrojos receptores van conectados con una resistencia de 65 kΩ, con el fin de obtener un mayor rango del objeto en caída libre.

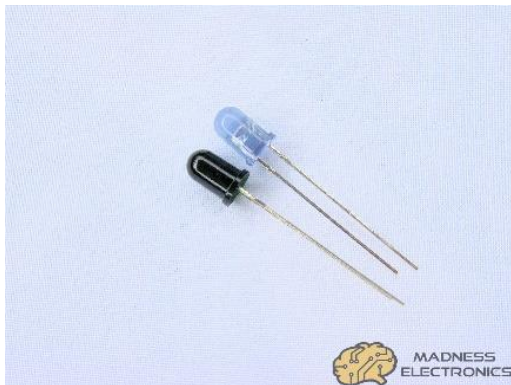


Ilustración 14 fuente propia



Ilustración 15 tomado de: <http://www.madnesselectronics.com/producto/emisor-y-receptor-infrarrojo/>

Por otro lado se tiene un Display de 16X2, ver ilustración 16, que permite acceder a la información, este a su vez está conectado con un potenciómetro de 10kΩ para ver la información de la magnitud de la aceleración.

2.3.4 Adquisición de datos

La herramienta que permite la adquisición de la información es el microcontrolador ATMEGA328P-PU, que viene integrado al instrumento Arduino®, el cual se comunica con los puertos de entrada y salida digitales, ver ilustración 16, donde realiza la conexión y programación.

En la ilustración 16 se tiene el circuito diseñado en la página web Autodesk Circuits, <https://circuits.io/circuits/2894481-display-lcd-walo-gr-duino>, que permite acceder a la información de nuestro dispositivo, sin embargo, el código montado en la plataforma nos permite ver el funcionamiento del Display, ya que, el programa de 123dcircuits no disponía de emisores y receptores infrarrojos.

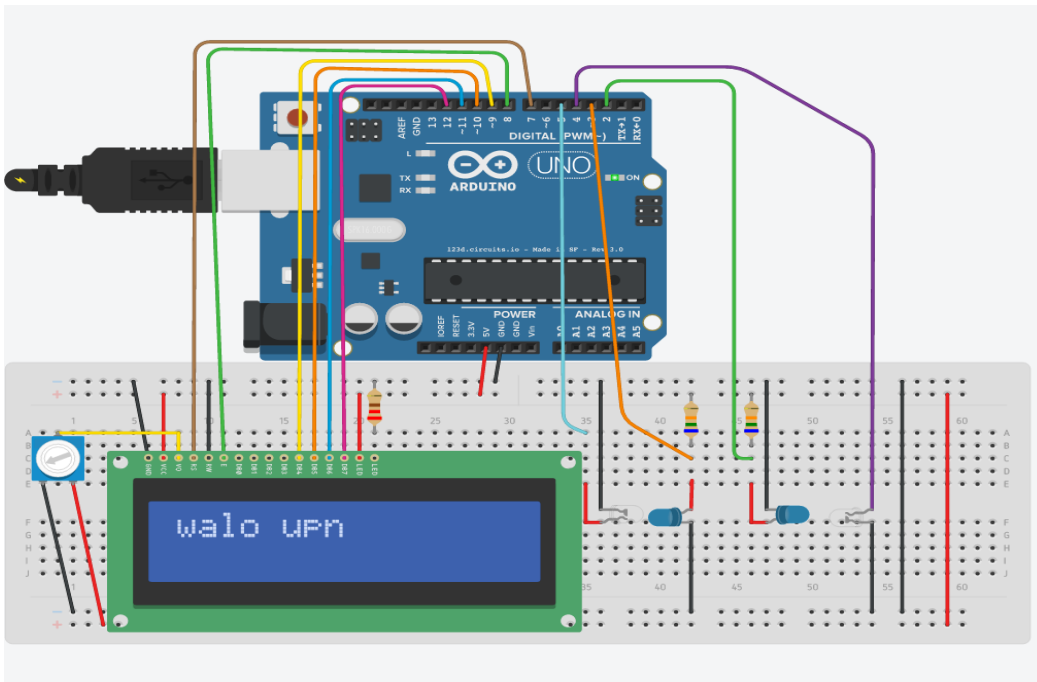


Ilustración 16 Esquema del diseño del prototipo g-grduino, conexión de los sensores, led con arduino. Fuente propia diseñado en <https://circuits.io/circuits/2894481-display-lcd-walo-gr-duino>



Ilustración 17 fuente propia: calibración del prototipo.

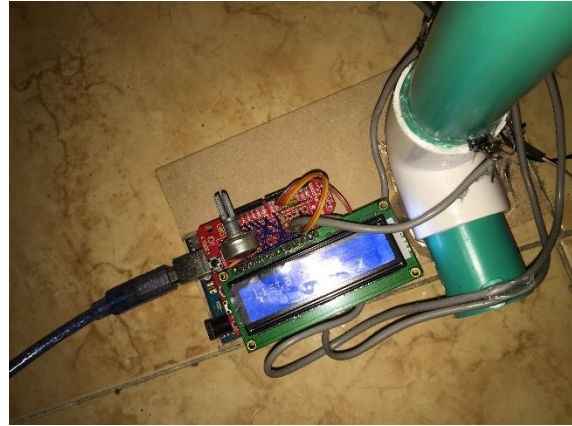


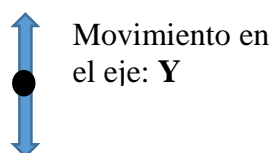
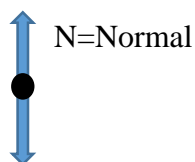
Ilustración 18 Fuente propia: Arduino, lcd y conexión de los diodos

2.3.5 Determinación de la aceleración.

A partir de los estudios realizados por Galileo Galilei sobre el movimiento naturalmente acelerado, se pudo observar que las representaciones que hizo no tenían en cuenta ciertas variables como el aire, el cual alteraba la fiabilidad y universalidad de los resultados obtenidos, en el anexo 3 el lector puede observar la variación de la aceleración realizada con el dispositivo g-grduino (**ver tabla 9 y 10, anexo 3, pruebas a g-grduino**), lo que significaba que las soluciones estaban expuestas para un modelo ideal y con cierto grado de imprecisión, por este motivo para reducir el grado de incertidumbre en esta sección se realizó la caracterización del sistema, teniendo en cuenta las variables de masa y aire.

Suponiendo que la masa no es despreciable, está sometida a una resistencia, y tiene una caída desde el infinito hasta cero, y por ende la configuración del sistema se hace de la siguiente manera:

$$\infty < y < 0$$



$$W=\text{peso}$$

Desde este punto, la masa es la parte móvil del sistema, a su vez, se considera que el sistema solo tiene la posibilidad de moverse en el plano vertical, Y . Nuestro sistema tiene un grado de libertad, por ende, se procederá a determinar las variables que especifiquen la configuración o disposición espacial.

Al evolucionar el sistema en un instante de tiempo, se tiene un cambio en las coordenadas generalizadas³⁸, esto define las velocidades generalizadas. Para el análisis del desplazamiento, se hace importante describir dicho cambio en el tiempo de las coordenadas generalizadas. Ver ecuación 1

$$\overrightarrow{dr} = dy\hat{j} \quad (1)$$

$$\frac{\overrightarrow{dr}}{dt} = \dot{y}\hat{j} \quad (2)$$

Como bien se sabe, hay que introducir unas variables dinámicas que puedan caracterizar este estado, al igual que se hizo en el estado de configuración. Estas variables son los momentos generalizados con los que se pueden designar los movimientos independientes de nuestro sistema.

$$p_j dq_j = \sum_{i=1}^n \overrightarrow{p}_i \cdot \overrightarrow{dr}_{i_j} \quad (3)$$

Donde \mathbf{i} significa las partes móviles del sistema y \mathbf{j} los movimientos independientes del sistema, es decir los grados de libertad del sistema. Los p_j representan las coordenadas de configuración asociadas a cada movimiento y dq_j son las coordenadas generalizadas.

Particularmente en nuestro sistema tenemos que el número de partes móviles es una (1), los movimientos independientes se realizan en el plano vertical, Y , por tanto:

$$p_y dy = p_y dr$$

Por otro lado, es necesario calcular las velocidades, y así con estas, se podrán calcular los momentos lineales de cada una de las partículas del sistema y así mismo calcular los momentos generalizados, de modo que:

$$p_y dy = m\dot{y}\hat{j} \cdot dy\hat{j} \quad (4)$$

³⁸ Las coordenadas generalizadas, son un conjunto de parámetros, que sirven para determinar la configuración del sistema. Para este sistema solo se considerada el plano y .

$$p_y = m\dot{y} \quad (5)$$

Para obtener la energía potencial del sistema, tomaremos un diagrama de fuerzas de cada una de las partículas. Por consiguiente se realizara la integral del producto punto de éstas con cada uno de los dri.



Al estar la masa en caída libre , atraída por la tierra, desde una altura y inicial, se dice que hay una variación de la configuración del sistema masa-Tierra, que no es asociada a un solo cuerpo sino más bien al sistema de los cuerpos que interactúan entre sí. La energía potencial del sistema se define como el trabajo que se realiza sobre el sistema para cambiar su configuración. Por ejemplo, separar dos cuerpos que se atraen o acercar dos cuerpos que se atraen; ello explica el signo negativo³⁹ en su definición. (Ayala & Barragan, 2014, pág. 4).

$$\Delta u = - \sum \vec{F}_i \cdot d\vec{r}_i$$

$$\Delta u = - \int_0^y mg\hat{j} \cdot dy\hat{j}$$

$$\Delta u = -mgy$$

Obteniendo el Lagrangiano.

$$L = T - V$$

Como ya se ha calculado la energía potencial del sistema, lo siguiente será calcular la energía cinética. Para este caso la energía cinética solo depende de las coordenadas generalizadas y de los momentos generalizados, se asocia al trabajo realizado por el sistema para cambiar su movimiento , ésta es la medida del cambio que experimenta el sistema cuando cambia su movimiento llegando al Lagrangiano del sistema en conservación. (Ayala & Barragan, 2014, pág. 3)

$$L = \frac{1}{2}m\dot{y}^2 + mgy$$

³⁹ La fuerza que debe ejercer la masa para mover deberá ser igual pero en sentido opuesto, de allí es el origen del signo negativo.

La masa⁴⁰ por estar en contacto con un medio viscoso, aire, se hace necesario expresar el Lagrangiano en términos de la función de disipación de Rayleigh, de allí se tiene que:

$$F = \frac{b}{2} \dot{y}^2$$
$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{y}} \right) - \frac{\partial L}{\partial y} + \frac{\partial F}{\partial \dot{y}} = 0$$

Utilizando la función de disipación y derivando el Lagrangiano se obtiene la ecuación de estado:

$$m\ddot{y} - mg + b\dot{y} = 0$$

Organizando la ecuación queda:

$$\dot{y} + \frac{b}{m} y = g$$

Haciendo uso de las ecuaciones diferenciales con la solución lineal.

$$\frac{dy}{dx} + p(x)y = f(x)$$

Cuya solución es:

$$y = e^{-\int p(x)dx} \left[e^{\int p(x)dx} * f(x) dx \right] + c$$

Donde $p(x)$ es= $\frac{b}{m}$

$$v(t) = e^{-\frac{b}{m}t} \left[\int e^{\frac{b}{m}t} * g dt \right] + c$$
$$v(t) = e^{-\frac{b}{m}t} \left[\frac{mg}{b} e^{-\frac{b}{m}t} + c \right]$$
$$v(t) = \frac{mg}{b} + ce^{-\frac{b}{m}t}$$

En el caso que $v(t)=0$ $t=0$ se tiene que:

$$0 = \frac{mg}{b} + c$$
$$c = -\frac{mg}{b}$$

Reemplazando el valor de c en la ecuación de v(t) se llega a la siguiente expresión:

$$v(t) = \frac{mg}{b} - \frac{mg}{b} e^{-\frac{b}{m}t}$$

⁴⁰ La modelación del sistema no tiene en cuenta la rotación de la masa.

$$v(t) = \frac{mg}{b} \left(1 - e^{-\frac{b}{m}t}\right)$$

En el caso del montaje experimental se ha dispuesto que al soltar la masa del electroimán la velocidad será $v(t)=1$ m/s(parámetro de configuración del dispositivo) despejando la anterior ecuación en términos de g se logra la siguiente ecuación que será utilizada para la adquisición de datos.

$$g = \frac{1 \frac{m}{s} * b}{m(1 - e^{-\frac{b}{m}t})}$$

Para hallar los valores de m y b se ha dispuesto diferentes pruebas con el fin de determinar el valor del coeficiente de rozamiento de esta fenomenología. El valor numérico de m equivale a 0.003 kg obtenido directamente de una gramera y de $b=0.02534086$, método del tanteo, que se refiere a la constante asociada al instrumento de medición.

En el caso de hallar la posición cuando $y= y(t)$ se tiene que por medio de la integral por separación de variables :

$$\dot{y} = \frac{dy}{dt}$$

$$\int dy = \int \dot{y} dt + c$$

$$y = \int \frac{mg}{b} \left[1 - e^{-\frac{bt}{m}}\right] dt + c$$

$$y = \frac{mg}{b} t - \frac{m^2 g}{b^2} e^{-\frac{bt}{m}} + c$$

La modelación de este sistema se hizo, ya que, los datos suministrados de las ecuaciones de Galileo por medio g-grduino (ver anexo 3, tabla 10) tenían variaciones significativas alrededor del 0.39 %, con el uso de g obtenido de esta modelación, permitió tener valores de la aceleración más próximos a los suministrados por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC.

Para el caso que $y(0)=0.273$ metros y $t=0$,

$$0.273 = \frac{m^2 g}{b^2} + c$$

$$c = 0.273 - \frac{m^2 g}{b^2}$$

$$y = \frac{mg}{b} t - \frac{m^2 g}{b^2} \left(e^{-\frac{bt}{m}} - 1\right) + 0.273$$

De la anterior ecuación, es posible determinar la distancia recorrida por la masa, lo cual concuerda con las mediciones experimentales, que pueden ser corroboradas a través de la siguiente ilustración (ilustración 19) obtenida del programa Modellus⁴¹ versión 4, donde se evidencia que a medida que el objeto va llegando a cero el movimiento se va acelerando.

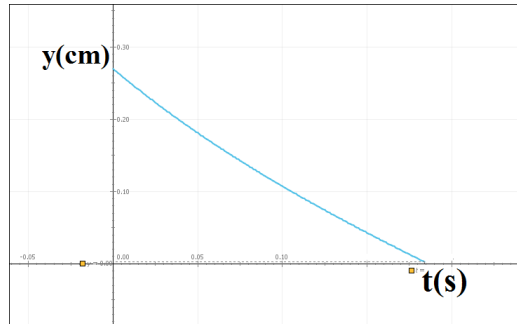


Ilustración 19 Grafica Y(m) Vs t(s)

En cuanto a la precisión de la magnitud de la aceleración de la gravedad hecha en Sopó con respecto a la aceleración de la gravedad absoluta de Bogotá de primer orden (9.773 m/s^2) (**Sánchez Rodríguez, 2003, pág. 76**) el análisis y medición que se le ha hecho a 40 datos (ver anexo 3) del dispositivo g-grduino, se ha encontrado que g-grduino es igual a $9,76835539 \text{ m/s}^2$, y cuyo error comparativo esta alrededor del $0,0475475 \%$ (ver anexo 3, tabla 10), debido tal vez al electroimán, temperatura y a la diferencia de alturas entre Bogotá y Sopó.

2.3.6 Software

El sistema controlado cuenta con el puerto USB y el puerto serial que lo brinda la tarjeta Arduino Uno, junto al programa Arduino y un lcd que se ha dispuesto para la toma de datos.

Teniendo en cuenta la altura base de toma de datos, Sopó Cundinamarca; el dispositivo fue probado a 2568 metros sobre el nivel del mar, altura similar a la de la capital Bogotá, con base a los datos suministrados por Google Earth.

La interfaz hace uso de un contador en Microsegundos con el fin de darle mayor aproximación de los datos, así mismo en la pantalla Lcd mostrara el tiempo de caída y el valor de la aceleración. Cada 5 tomas mostrara el promedio del valor del tiempo de caída y de la magnitud de la aceleración.

⁴¹ Modellus es una aplicación disponible de manera gratuita de cara a permitir que tanto alumnos como profesores (de instituto y de universidad) puedan utilizar la matemática para crear o explotar modelos de una manera muy interactiva y sencilla. (Vieira, 2016)

El código (ver anexo2, código de programación) fue realizado en el programa Arduino.

3. CAPÍTULO III: Recontextualizando los saberes de g con los estudiantes.

En este capítulo se presenta un análisis de la sistematización de la unidad didáctica implementada con los estudiantes de grado decimo de la institución educativa pablo VI. Se abordaron cuatro momentos de los cuales tuvieron un respectivo estudio y finalmente unas consideraciones finales de la experiencia con los estudiantes.

3.1. Descripción de la población

Con el fin de identificar como los sujetos construyen elaboraciones conceptuales alrededor de la caída de los cuerpos, se implementa una unidad didáctica⁴² con un grupo de treinta y cuatro estudiantes de grado decimo de la Institución Educativa Departamental Pablo VI ubicada en el municipio de Sopó. La institución es pública de calendario A, mixto, con niveles de educación de preescolar, básica y media. Los estratos socioeconómicos de la población oscilan entre 1 y 3 y las edades de los estudiantes entre los 14 y 16 años.

El proyecto educativo institucional (PEI) tiene como objetivo formar bachilleres en la modalidad académica a través de la educación integral que les permita acceder a la educación superior y/o el mercado laboral, basados en la formación de ciudadanos con excelentes niveles de valores y convivencia. La institución cuenta con espacios como aulas audiovisuales dispuestas para el aprendizaje de lenguas y proyección de videos, goza de dos aulas de sistemas con equipos de cómputo para préstamo interno de la institución, de una biblioteca virtual piloto, la cual fue construida por la falta de libros en la biblioteca física de la institución, tiene un aula de electricidad, diseño y mecánica, igualmente la institución cuenta con espacios verdes para la práctica deportiva y un laboratorio de química, biología y física, los cuales no están disponibles debido a una falla geomorfológica que pone en riesgo la integridad física de toda la comunidad educativa.

⁴² La unidad didáctica hace referencia a la guía planificada a partir de las reflexiones y discusiones de los autores Aristóteles, Galileo y Newton, puestas para un escenario escolar donde se abre paso al análisis y construcción del prototipo de medición de la aceleración de la gravedad.

Desde las prácticas como docente en formación se logró identificar que los estudiantes son jóvenes creativos y respetuosos. En un comienzo tenían una concepción de ciencia lineal, en la que los procesos de aprendizaje en física consistían en la solución de ejercicios de un libro de texto, limitando los espacios para la experimentación. Con la intención de generar lugares propicios para construcción de explicaciones, se abrieron espacios dirigidos hacia la experimentación, lo cual generó un cambio positivo en la comunidad académica, dando la posibilidad al diálogo de saberes entre la teoría y la experimentación y al descubrimiento de nuevas habilidades en cada uno de los estudiantes.

3.2. Unidad Didáctica

La implementación de la unidad didáctica, sirve como fuente de información del trabajo de investigación, ya que enriquece el estudio alrededor de la caída de los cuerpos de cómo los estudiantes calculan la magnitud de aceleración gravitacional a partir del análisis de la caída de los cuerpos. Así pues, la implementación de esta unidad abre la posibilidad de construir argumentos que permiten analizar la construcción de magnitudes y nuevos lenguajes que dan cuenta de la forma en la que el sujeto entiende el fenómeno. De lo anterior la propuesta se enmarca principalmente en cuatro momentos:

- Momento I: *Aristóteles el estudioso de las causas*. Se busca identificar las ideas que tienen los estudiantes frente al análisis de la caída de los cuerpos y acercarlos a las ideas, inquietudes y/o fundamentos que presentaba Aristóteles a través de la generación y corrupción de los elementos inmersos en el mundo sublunar.
- Momento II: *Los Discursos de Galileo*. Se busca que el estudiante se acerque a inquietudes como ¿Cuál es la importancia de medir? ¿En el vacío que pasa con los objetos? ¿porqué los cuerpos caen a una misma aceleración? ¿Los relojes de la época eran precisos? e ideas que presentaba Galileo alrededor de la caída de los cuerpos, través de la experimentación y de la descripción de los eventos de la naturaleza con el uso de las matemáticas por medio del plano inclinado y el péndulo
- Momento III: *Newton el lord de la gravitación universal*: Tiene como finalidad que el estudiante indague acerca de ciertas situaciones del mundo supra lunar y sublunar presentadas en la unidad, a partir de estas pueda organizar los eventos de la naturaleza a través del

Diseño y construcción de un prototipo para el estudio de la caída de los cuerpos: Medición de la aceleración de la gravedad, por medio de Arduino®

concepto de la fuerza como elemento organizador de las experiencias y a su vez que de los momentos anteriores pueda asociar la fuerza como el conjunto de los efectos del movimiento y aceleración.

- Momento IV: *Arduino Alimentando la curiosidad y la imaginación.* A partir de los razonamientos y elaboraciones de los momentos anteriores se pretende construir con los estudiantes un dispositivo en la plataforma arduino para lograr medir la magnitud de la aceleración, a partir del diseño del prototipo.

El desarrollo de los momentos se realizó en 9 sesiones, las cuales se dividieron en clases semanales de una y dos horas, para un total de catorce horas. En cada uno de los momentos establecidos, las actividades se relacionan con el fin de construir la magnitud de la aceleración gravitacional, su implicación y la relación en el estudio de la caída de los cuerpos, a partir de espacios de discusión, reflexión y experimentación que permitieron la construcción del prototipo y el discurso argumentado por parte de los estudiantes. **(Ver anexo 4 presentación de la unidad)** A continuación se presenta la tabla 1, que muestra los momentos, propósitos y actividades de la ruta de aula implementada.

Tabla 1 Momentos, propósitos y actividades de la ruta de aula

Momento	Actividades	Objetivo de cada actividad	Tiempo de duración
Aristóteles el estudioso de las causas	Jugando con la pesantez y la ligereza, el papel y la pelota de tenis (ver anexo 5, actividades de la unidad didáctica)	Reconocer las explicaciones que elaboran los demás estudiantes acerca de la caída de diferentes cuerpos, teniendo en cuenta las condiciones de la experiencia.	70 min

Diseño y construcción de un prototipo para el estudio de la caída de los cuerpos: Medición de la aceleración de la gravedad, por medio de Arduino®

	Experimentando con los elementos y su relación con el movimiento natural y violento.(Ver unidad en anexo 5)	Explicar la relación del movimiento con los cuatro elementos y la implicación de la fuerza (empuje) como causa de la caída de los cuerpos.	
Los Discursos de Galileo	-Jugando con el medio y el tiempo; arrojando la manzana y la pluma. -Experimentando con masas en diferentes ángulos desde el plano inclinado (Ver unidad en anexo 6)	Identificar situaciones que en la vida cotidiana que se pueden asociar al movimiento uniforme y al movimiento uniforme acelerado y sus principales características. -Reconocer la importancia de la magnitud del tiempo y del vacío en los eventos de la naturaleza. -Explicar sucesos hipotéticos en los que se plantean posibles variaciones de la vida cotidiana. -Identificar la procedencia de las variables presentes en el movimiento uniforme acelerado y su representación simbólica.	100 minutos
Newton El lord de la gravitación universal.	Experimento los imanes y las limaduras de hierro jugando con las formas que adquieren las limaduras; experimentado con la acción a distancia. Pensando como hallar el valor de g. (ver anexo 7)	-Reconocer las condiciones que se presentan en el fenómeno de la caída de los cuerpos teniendo en cuenta los diferentes descubrimientos que se dieron en la época de Aristóteles y Galileo. Definir el concepto de gravedad como una fuerza que actúa sobre los cuerpos en la Tierra y fuera de ella. - Identificar la analogía de las líneas de campo con las líneas de campo gravitatorio terrestre y la implicación que tienen con el concepto de fuerza. -Reconocer que el valor de la aceleración varia en dirección radial y que en otros planetas la aceleración es diferente que en la tierra a través de la ley de gravitación de Newton	70 minutos
Arduino Alimentando la curiosidad y la imaginación.	Construyendo con las nuevas tecnologías la magnitud de la aceleración. (ver anexo 8 y 9)	Diseñar y construir un prototipo funcional con arduino para la medición de la aceleración de la gravedad.	300 minutos

Diseño y construcción de un prototipo para el estudio de la caída de los cuerpos: Medición de la aceleración de la gravedad, por medio de Arduino®

		Identificar la ecuación y magnitud de la aceleración de la gravedad en la elaboración del código de programación Establecer la relación entre las 3 posturas, contextos y la construcción de un dispositivo a través de las Tacs (tecnologías de aprendizaje y conocimiento)	
--	--	---	--

3.3 INTERPRETANDO LOS MOMENTOS DE LAS ACTIVIDADES.

Al realizar las actividades propuestas en la tabla 1, se inscribieron las bases para el análisis de cada uno de los cuatro momentos y por consiguiente para el perfeccionamiento de una nueva unidad didáctica.

En los cuatro momentos de la guía se considera necesario la recontextualización de saberes con el fin que las actividades permitan al estudiante elaborar argumentos alrededor de la caída de los cuerpos y en su construcción de un instrumento para medir este fenómeno, a través de un dialogo de saberes entre la teoría y la experimentación, es decir, que el estudiante recurra a fuentes primarias para hacer el análisis de las situaciones propuestas y que luego los encaminen a la construcción del prototipo.

3.3.1 ANALISIS DE RESULTADOS

A continuación se presenta el análisis obtenido de los cuatro momentos en el aula.

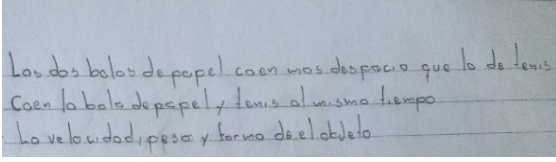
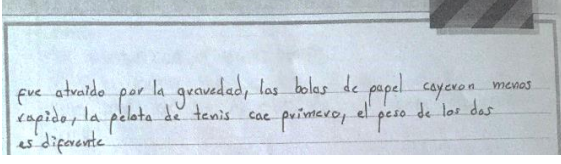
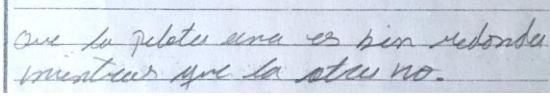
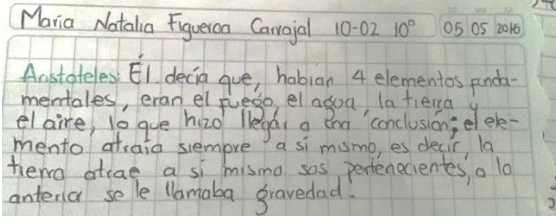
3.3.2 MOMENTO I: ARISTOTELES EL ESTUDIOSO DE LAS CAUSAS

Las actividades desarrolladas en el momento I se elaboraron de tal manera que permitiese organizar e identificar como el estudiante a partir de las ideas previas ordena el fenómeno de la caída de los cuerpos, para que posteriormente elabore un lenguaje que le permita hablar del fenómeno. En la Tabla 2 se presenta la interpretación de algunos de los resultados considerando las intencionalidades de cada pregunta (**ver anexo 5**) propuesta en la actividad.

Tabla 2 Análisis de resultados primera y segunda actividad

Pregunta	Intención	Registro	Interpretación
----------	-----------	----------	----------------

Diseño y construcción de un prototipo para el estudio de la caída de los cuerpos: Medición de la aceleración de la gravedad, por medio de Arduino®

<p>Arroja diferentes objetos al suelo simultáneamente y contesta: ¿Cuál llegó primero al piso? ¿Qué importancia le das a la forma del objeto mientras cae?</p>	<p>Identificar con detalle las características de los objetos y su repercusión en la caída de los cuerpos.</p>	  <p>Grupo: “La pelota de tenis, ya que depende de la forma, el tamaño, la masa. La de papel cayo más lento por ser liviana”</p> 	<p>Los estudiantes se fijan en las características perceptibles de los objetos a través de los sentidos. En algunos casos tienen en cuenta magnitudes como la velocidad, gravedad y el tiempo.</p>
<p>-Ten en cuenta del minuto 20 en adelante del siguiente video: La aventura del pensamiento Aristóteles https://www.youtube.com/watch?v=Ke4odq5dqI -¿Cómo concebía Aristóteles el cambio?</p>	<p>Mostrar la relación que tenía cada uno de los elementos con el fenomeno de la caída.</p>		<p>Se reafirma que los estudiantes identifican la palabra gravedad como elemento descriptivo de la tendencia de los elementos ir a su propio origen.</p>

Las primeras actividades permitieron que los estudiantes tuviesen mayor motivación y curiosidad, con lluvia de ideas sin temor a equivocarse. Como se muestra en la tabla 2, la primera actividad que se propuso a los estudiantes permitió identificar las nociones que tenían alrededor de la caída de los cuerpos, respecto a la forma, material y pesantez del objeto.

Diseño y construcción de un prototipo para el estudio de la caída de los cuerpos: Medición de la aceleración de la gravedad, por medio de Arduino®

Por otro lado, se elaboraron explicaciones inherentes del pensamiento aristotélico, atribuyéndole la ligereza o pesantez como las causas del movimiento, sin embargo ninguno le atribuyó el factor del aire como elemento que altera la caída.

En la segunda parte de la práctica, con la incursión de los elementos (Agua, tierra, aire y fuego), organizaron una serie de argumentos resaltando la posición natural de cada uno de los elementos, como los interiores agua-tierra o exteriores fuego-aire, y al mismo tiempo la velocidad de caída del objeto será proporcional al peso.

Con las actividades desarrolladas los estudiantes caracterizaron el movimiento asociando la forma, la pesantez y ligereza y su relación con los elementos durante el cambio. En la tabla 3, se presenta la interpretación de los resultados considerando las intencionalidades propuestas de las actividades.

Tabla 3 Interpretación de resultados momento I

IDEAS EXPRESADAS POR LOS ESTUDIANTES	CONCEPTUALIZACIÓN DEL DOCENTE EN FORMACIÓN
<p>FORMULACIONES DESCRIPTIVAS</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Las dos pelotas rebotan. ✓ Caen al mismo tiempo ✓ La forma no influye, lo que interesa es la altura a las que son lanzadas las masas. ✓ La ligereza influye en la caída ✓ La redondez del objeto ✓ Caen los objetos en diferente lugares ✓ La masa de madera cae más despacio ✓ Los elementos van a su lugar de origen. <p>Los objetos caen verticalmente</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Se explica el fenómeno considerando la masa, la forma, elasticidad y el lugar de caída de la bola de papel, madera y la de tenis ubicando la descripción dentro de un modo de pensar Aristotélico. ✓ Los elementos hacen parte fundamental de la descripción del mundo físico aristotélico, ya que son el medio de descripción del movimiento, es decir, el homeómero que en mayor parte este constituido por tierra se dirigirá a la región del centro.

Diseño y construcción de un prototipo para el estudio de la caída de los cuerpos: Medición de la aceleración de la gravedad, por medio de Arduino®

<p>FORMULACIONES FÍSICAS</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Depende de la fuerza con la que sea lanzada. ✓ Se habla de rapidez, velocidad, espacio, tiempo y fuerza. ✓ De la elasticidad e inelasticidad de una masa por el hecho de rebotar. ✓ Se infiere que la forma depende de la velocidad, peso. ✓ La altura influye para que caigan más rápido. ✓ El movimiento no es totalmente vertical. ✓ Atracción debida a la gravedad ✓ A mayor peso mayor velocidad ✓ Los cuerpos tienen dos propiedades pesantez y ligereza ✓ La tierra atrae a sus elementos pertenecientes, lo que se le llama gravedad 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Hay dos tipos de movimiento: Natural que es la tendencia de cada objeto a ir a su posición natural y violenta cuando es forzado alejarse de su origen. ✓ La alteración de los 4 elementos formaban los homeómeros. ✓ La velocidad del objeto es proporcional al peso. ✓ Todo lo que se genera del universo sublunar es alterable.
<p>DIFICULTADES ENCONTRADAS</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Algunos estudiantes confundieron los movimientos naturales con los violentos 	<p>Tal vez se debió a la falta de tiempo y actividades que pudiesen organizar el fenómeno de la caída</p>

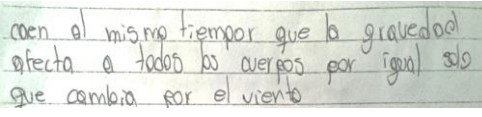
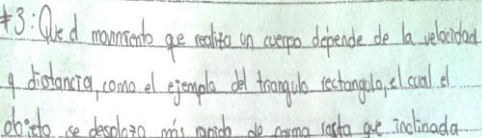
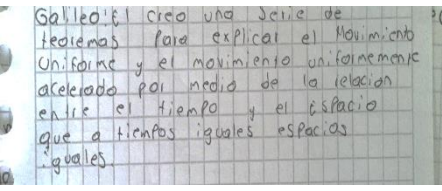
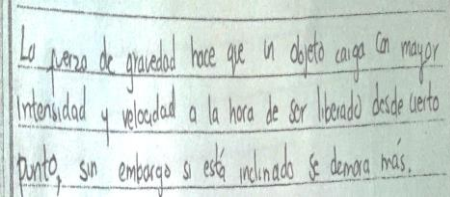
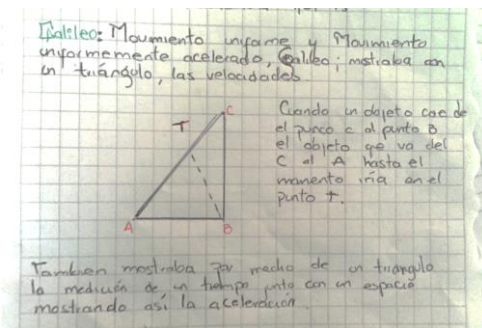
3.3.3MOMENTO II: LOS DISCURSOS DE GALILEO

El desarrollo de las actividades en los discursos de Galileo da la oportunidad para que los estudiantes caractericen el movimiento a partir de la identificación de variables y elementos que no se tenían en cuenta con Aristóteles y por otro lado, el análisis de situaciones hipotéticas que permitieron dar la posibilidad de hacer una descripción argumentada. La tabla 4 presenta la interpretación de los resultados considerando las intencionalidades de las preguntas propuestas en la actividad (ver anexo 6).

Tabla 4 Análisis de resultados tercera actividad

Pregunta	Intención	Registro	Interpretación
----------	-----------	----------	----------------

Diseño y construcción de un prototipo para el estudio de la caída de los cuerpos: Medición de la aceleración de la gravedad, por medio de Arduino®

<p>-Responde y luego mira el video ¿Qué sucede si arrojamos una pluma y una manzana al mismo tiempo? https://www.youtube.com/watch?v=s5QcJfMH-es -¿Cómo interviene el medio en el que cae, por ejemplo agua, en un plano o en caída vertical?</p>	<p>Identificar los factores y magnitudes que están presentes en el fenómeno.</p>	<p>Grupo “El viento hace que caiga menos rapido la pluma”</p>  <p>Grupo “se demora más cuando cae en agua que en el ambiente”</p> 	<p>Los estudiantes identifican las variables presentes en la organización del fenómeno.</p>
<p>De acuerdo al video https://www.youtube.com/watch?v=2vkPo8rr44o Nombra algunos de los inventos que realizo galileo y demuestra el movimiento uniforme y el movimiento uniforme acelerado.</p>	<p>Resaltar algunos de los inventos de Galileo y la demostración del movimiento uniforme(MU) y movimiento uniforme acelerado(MUA)</p>	  	<p>En las diferentes respuestas se observa que a medida que aumenta la inclinación del lanzamiento, la masa se demorara menos en caer. En ausencia de fuerzas externas la masa recorrerá espacios iguales en tiempos iguales.</p>

Diseño y construcción de un prototipo para el estudio de la caída de los cuerpos: Medición de la aceleración de la gravedad, por medio de Arduino®

Esta dinámica da lugar a que los estudiantes construyan formas de hablar y de estudiar cada uno de los efectos que se producen en el fenómeno de la caída de los cuerpos. De los análisis hechos por los estudiantes el aire empieza a jugar un papel fundamental al momento de lanzar el objeto y como el medio con el que se interactúa el objeto afecta el tiempo de caída. Por otro lado, como la forma del objeto con el medio afectara de igual manera los tiempos de caída. A continuación se muestra la tabla 5, con el registro de los alcances logrados por los estudiantes.

Tabla 5 interpretación de resultados momento II

IDEAS EXPRESADAS POR LOS ESTUDIANTES	CONCEPTUALIZACIÓN DEL DOCENTE EN FORMACIÓN
<p>FORMULACIONES DESCRIPTIVAS</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Caen al mismo tiempo la pluma y la bola de plomo en ausencia de aire ✓ En el vacío la forma del objeto no influye. ✓ La forma interviene al momento de soltar un objeto ✓ Los objetos caen en diferente lugares por el aire ✓ La fricción y el ángulo de caída intervienen en el desplazamiento. ✓ En el agua los objetos caerán más lentos 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ El medio juega un papel importante en la caída de los graves. ✓ La forma del objeto hace que el objeto se abra más fácil por el medio. ✓ Las matemáticas dan forma a la forma de ver e interpretar la naturaleza. ✓ Los objetos caen a la misma aceleración, pero el medio afecta el movimiento

Diseño y construcción de un prototipo para el estudio de la caída de los cuerpos: Medición de la aceleración de la gravedad, por medio de Arduino®

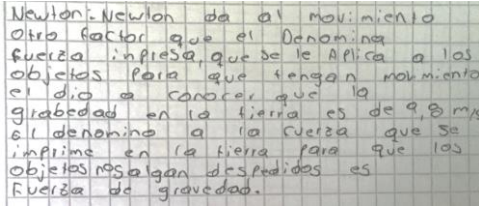
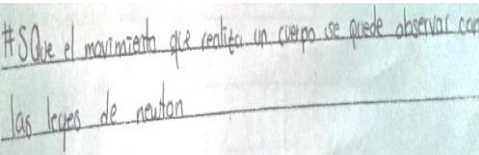
<p>FORMULACIONES FÍSICAS</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ El tiempo hace parte de la descripción de la caída. ✓ Los objetos se aceleran a medida que caen, a mayor altura mayor aceleración. ✓ Se habla que la velocidad y el tiempo son proporcionales al espacio recorrido. $x=vt$ movimiento uniforme(MU) ✓ El aire se desprecia en las explicaciones de galileo MU y MUA ✓ Se infiere que la forma depende del medio y peso. ✓ El plano inclinado sirve como elemento demostrativo del movimiento uniforme acelerado(MUA) cuando dos objetos parten del reposo uno con MU y otro con (MUA) $x=V_0+1/2g*t^2$ 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Los planos inclinados formaron parte fundamental de las explicaciones de galileo ✓ A intervalos iguales tiempos iguales cuando la velocidad es constante $x=vt$ ✓ Cuando un objeto es lanzado verticalmente y otro en el plano, el del plano habrá recorrido la mitad que el de caída libre. ✓ Un objeto que cae con movimiento acelerado tendrá espacios impares y los espacios recorridos totales serán iguales al tiempo al cuadrado $x=1/2*g*t^2$ ✓ Inicialmente se toma al $1/2*g$ como una constante.
<p>DIFICULTADES ENCONTRADAS</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Dificultad para comprender la demostración de los planos inclinados con relación al movimiento ✓ Confusión entre rapidez y velocidad, conceptos adquiridos previamente. ✓ Presentan dificultades en la comprensión de lectura, sobre el movimiento uniforme y uniforme acelerado. 	<p>Se sugiere diseñar más actividades que involucren el movimiento uniforme y movimiento uniforme acelerado.</p> <p>Se invita a hacer uso de la lectura de Koyre Estudios Galileanos, puesto que, el análisis de los originales de galileo generó dudas en los estudiantes tal vez al poco acercamiento con la geometría.</p>

3.3.4 MOMENTO TERCERO Y CUARTO

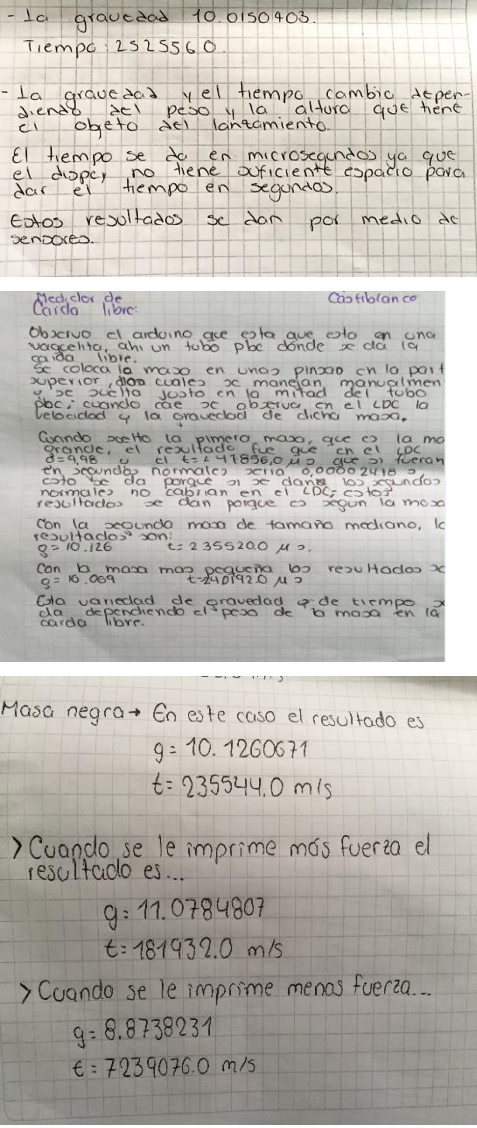
Las actividades propuestas para el cuarto y quinto momento (ver anexo 7 y 8) se realizaron simultáneamente debido a los tiempos dispuestos en la institución. El registro de las actividades cuatro y cinco se encuentran en la tabla 6.

Diseño y construcción de un prototipo para el estudio de la caída de los cuerpos: Medición de la aceleración de la gravedad, por medio de Arduino®

Tabla 6 Análisis de resultados cuarta y quinta actividad

Pregunta	Intención	Registro	Interpretación
<p>¿Si ponemos limaduras de hierro alrededor de un imán que forma adquieren las limaduras? ¿Es posible pensar que la tierra actué como un imán? De acuerdo al video: https://www.youtube.com/watch?v=oZq05hFBK9c</p> <p>¿El valor de la aceleración varía en cada punto del planeta? ¿La aceleración en la tierra es la misma que en otro planeta?</p>	<p>Mostrar la relación de las líneas de campo con las líneas de campo gravitatorio terrestre y la implicación que tienen con el concepto de fuerza.</p> <p>-Mostrar como el valor de la aceleración cambia en dirección radial</p>	<p>Grupo:</p> <p>“ Las líneas que se forman son más intensas cerca al imán, creemos que la gravedad actúa de igual manera”</p> <p>“ Las líneas en el imán más grande indica que la aceleración es mayor a diferencia del imán pequeño”</p>  	<p>La fuerza surge como el conjunto de los efectos aceleración, trayectoria y movimiento.</p>
<p>¿Dentro del campo de la física que modelo diseñarías con esta plataforma? ¿Por qué lo harías? ¿Cómo lo</p>	<p>Orientar al estudiante en el diseño y Construcción de un prototipo</p>	<p>“En el caso de la tierra la fuerza de gravedad hace que los cuerpos se dirijan al centro, de allí que la masita que cae se acelera a cada instante por acción de la misma”</p> <p>“Ubicar la masa mas arriba afecta los resultados de la medición, sin embargo se comprueba que los objetos se aceleran igual por causa de la gravedad”</p>	<p>Los estudiantes explican el funcionamiento del artefacto a partir del lenguaje que han</p>

Diseño y construcción de un prototipo para el estudio de la caída de los cuerpos: Medición de la aceleración de la gravedad, por medio de Arduino®

<p>diseñaría? ¿En el MU y para la MUA que diseñarías? Construyendo el medidor de aceleración.</p>	<p>para la medición de la aceleración de la gravedad.</p>		<p>construido a lo largo de las experiencias anteriores.</p> <p>La fuerza impresa en la caída afecta los resultados.</p> <p>El grupo atribuye las diferencias de aceleración y tiempo a la disposición del artefacto y de los sensores.</p>
---	---	---	---

Con la experiencia de los imanes, las líneas de campo que se generan alrededor del imán, hacen que los estudiantes indaguen acerca del valor de la aceleración de la gravedad; lo que concluyen que entre más cerca al centro del imán tanto el campo magnético, como la aceleración de la gravedad tendrán mayor intensidad, pero a mayor distancia del centro el valor de la aceleración y del campo magnético serán menor.

Diseño y construcción de un prototipo para el estudio de la caída de los cuerpos: Medición de la aceleración de la gravedad, por medio de Arduino®

Ahora bien, ya que la adquisición de elementos electrónicos se hizo grupal, la experiencia se realizó con 7 computadores de la institución (ver ilustracion20), de tal forma que la programación y registros, fueron tomados de notas de vídeo y documentos durante el desarrollo de las sesiones.



Ilustración 20 construcción de los dispositivos péndulo y caída libre

En la construcción de la magnitud de la aceleración de la gravedad, hay que resaltar que los estudiantes al no tener ideas previas en programación se les dificultó en gran medida la interpretación del lenguaje del software, sin embargo para aproximarlos a la tecnología arduino se dispuso una serie de actividades que proporcionaron un acercamiento hacia la creatividad.

La tabla 7 presenta la interpretación de los resultados considerando las actividades expuestas anteriormente.

Tabla 7 interpretación de resultados

IDEAS EXPRESADAS POR LOS ESTUDIANTES	CONCEPTUALIZACIÓN DEL DOCENTE EN FORMACIÓN
<p>FORMULACIONES DESCRIPTIVAS</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ La redondez del imán representa unas líneas ✓ Caen los objetos en diferente lugares ✓ La masa de madera cae más despacio ✓ Los elementos van a su lugar de origen. ✓ Los objetos caen verticalmente <p>FORMULACIONES FÍSICAS</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ La aceleración del objeto depende de la fuerza con la que sea lanzada, o de la atracción que hace el planeta. ✓ Las líneas del imán representan las líneas de campo gravitacional. ✓ Atracción debida a la gravedad 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ A mayor fuerza impresa menor tiempo ✓ El valor de la aceleración de la gravedad depende de la forma del objeto y de la altura, lo especifican por la pinza que al tener un poco más alto el objeto varían los tiempos de caída. ✓ La Fuerza de gravedad es la encargada de la atracción de los de los cuerpos, e impide que salgan expedidos ✓ La Fuerza de gravedad de la luna es menor que la tierra ✓ La Fuerza de la gravedad es inversamente proporcional a las distancias. ✓ La aceleración es constante y es independiente de la masa. ✓ Las fuerzas impresas pueden alterar el movimiento

Diseño y construcción de un prototipo para el estudio de la caída de los cuerpos: Medición de la aceleración de la gravedad, por medio de Arduino®

<ul style="list-style-type: none">✓ La tierra atrae a sus elementos pertenecientes, lo que se le llama gravedad <p>DIFICULTADES ENCONTRADAS</p> <ul style="list-style-type: none">✓ Confusión por parte de algunos estudiantes entre la fuerza centrípeta y centrífuga✓ Dificultades en el lenguaje de programación por parte de varios estudiantes✓ No se preguntaban si las ecuaciones expuestas eran coherentes para obtener los datos✓ Al no profundizar en el fenómeno algunos estudiantes optaron por seguir el modelo aristotélico, aunque hayan expuesto la razón del porque los objetos caían a diferentes tiempos.✓ La comprensión de la graficas era superflua, simplemente quedaba expuesta sin la descripción de la misma.	<ul style="list-style-type: none">✓ La caída de los objetos dependen de la acción y esta a su vez corresponde a una reacción✓ La fuerza de gravedad hace que un objeto caiga con mayor intensidad y velocidad a la hora de ser liberado desde cierto punto, sin embargo si está inclinado se demora más.
--	---

En cada uno de los proyectos llevados a cabo se hizo una descripción detallada del instrumento de medida, al mismo tiempo se tomaron pruebas con diferentes masas y concluyen que el valor de la aceleración es constante, sin embargo, al lanzar las masas con cierto impulso, el resultado se ve afectado debidos a la fuerza impresa, o en algunos casos por dejar los sensores infrarrojos desalineados.

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES

En esta sección se expondran las conclusiones obtenidas del desarrollo de este trabajo de investigación, presentando los aspectos mas importantes en cuanto a la recontextualización de saberes, el papel del experimento y de las TIC en la enseñanza de la física, la construcción del

prototipo, y al análisis de la caída de los cuerpos desde los planteamientos de Newton, Galileo y Aristoteles.

Las reflexiones que se desarrollan a lo largo de esta investigación han permitido al autor construir la magnitud de la aceleración gravitacional a partir del estudio del fenómeno de la caída de los cuerpos, como el efecto de una acción supra lunar de orden material o inmaterial y que se describe en términos de la fuerza centrípeta la cual genera los cambios de velocidad entre dos cuerpos, de la configuración de su sistema y que genera consecuencias en el mundo sublunar a través de la aceleración de los objetos.

La construcción de la magnitud de la aceleración gravitacional en el campo educativo, se encuentra asociada a las maneras de hablar, de pensar y de actuar de los estudiantes a partir el análisis de la caída de los cuerpos, ya que al acercar a los estudiantes a los planteamientos de Aristóteles, Galileo y Newton logran caracterizar el fenómeno de la caída de los cuerpos a través de la fuerza, como el conjunto de los efectos del ímpetu y la aceleración.

La construcción del dispositivo asociado a los cuatro momentos de la unidad didáctica permitió dar cuenta de la transformación del pensamiento aristotélico por parte de los estudiantes, vinculado al estudio de la caída de los cuerpos, donde la alteración de cualquiera de las componentes de g-grduino, implicaba una reflexión inscrita al modo de pensar Galileano y newtoniano.

De los planteamientos realizados por Aristóteles, se encuentra que él hace una descripción ontológica de la naturaleza de la caída de los cuerpos, asociándole las causas al empuje (fuerza) y la tendencia de los 4 elementos a dirigirse a su posición de origen (la gravedad es asociada a la pesantez de los cuerpos). Para él en el vacío no son posibles las acciones físicas, ya que el mundo no se describiría en términos de los homeómeros si no de la asociación de puntos que no expresan mayor cosa, para el comportamiento de la naturaleza. De igual manera establece una relación proporcional entre la velocidad y la masa y una relación inversamente proporcional entre la velocidad y el medio, lo que le permite a Aristóteles dejar estos puntos abiertos para futuras discusiones.

De los estudios realizados por Galileo y Newton se puede inferir que ellos establecen una diferencia entre la aceleración de la gravedad y la fuerza de la gravedad, entiéndase por peso, consideran a la

gravedad como un efecto de la aceleración que es una magnitud “constante” ,que da cuenta de los incrementos de la velocidad en la caída de los cuerpos y que es independiente de la masa y por otro lado a la fuerza de gravedad como la acción y reacción entre dos cuerpos que se atraen a lo largo de una línea recta dibujada desde sus centros (por ejemplo el sistema tierra-luna) y tal fuerza es directamente proporcional a las masas e inversamente proporcional al cuadrado de las distancias que las separa, es decir, la fuerza no es visible pero su contenido lo hace visible.

La masa a nivel sublunar y supra lunar dentro de los planteamientos Galileanos y Newtonianos surge como concepto organizador del movimiento de los cuerpos e incide en los fenómenos de atracción en el cielo (por ejemplo el sistema sol-tierra o dos masas diferentes en acción de la fuerza de la gravedad). De allí que para Newton , al soltar al mismo tiempo dos masas diferentes y al estar en interacción con la tierra por una fuerza externa(fuerza de la gravedad) el momentum de las masas serán diferentes y se considera la variación de la aceleración como una relación inversamente proporcional a la masa.

El papel de la actividad experimental en esta investigación permitió ampliar la base fenomenológica de la caída de los cuerpos a partir de la organización de la experiencia sensible y como desde está se permiten establecer formas de organizar, explicar y de medir la aceleración de la gravedad, por medio de un prototipo que dio lugar a la formalización de este fenómeno dotándolo de sentido y significado a partir del diseño e implementación de una unidad didáctica.

Así pues, del análisis de los tres referentes (Aristóteles, Galileo y Newton) y en concordancia al papel de la actividad experimental surge el siguiente cuestionamiento: ¿Cómo podemos determinar si la magnitud que se ha establecido por medio de un instrumento corresponde a la realidad? Se puede inferir que aquellos experimentos que expresan una relación próxima a las experiencias hablan de una descripción entre dos objetos en los que interactúan, de allí la magnitud que se le asigna varía de acuerdo a las configuraciones del experimento; aunque el intentar representar una experiencia para un macrosistema resulta complicado establecer una magnitud que determine la realidad, por lo tanto no hay control total de la experiencia donde los resultados obtenidos por g-grduino dan muestra de la imposibilidad de obtener un valor estable y preciso.

La imprecisión de g-grduino, 0.0475 %, se debe particularmente a la diferencia de alturas entre Bogotá y Sopó (aproximadamente 20 metros sobre el nivel del mar), a la temperatura y el momento del día en el que fueron tomados los datos, a la variación del campo magnético terrestre y finalmente a la fuerza del electroimán que hace que el objeto se demore un milisegundo, lo cual altera los resultados. Así pues se sugiere hacer tomas en diferentes momentos del día, g-grduino, con la intención de generar más espacios para la discusión y análisis.

La modelación del sistema descrito en la sección 2.3.5, se diseña de tal manera que tenga en cuenta la fuerza de rozamiento del aire, a través de la función de disipación de Rayleigh; sin embargo al despreciarse esta función se pueden llegar a las ecuaciones del movimiento de galileo del movimiento uniforme y movimiento uniforme acelerado.

El diseño e implementación de la unidad didáctica elaborada a partir de los dos primeros capítulos, permitió en principio reconocer las concepciones iniciales de los estudiantes alrededor de la caída de los cuerpos, y a partir de actividades, desequilibrar al estudiante para motivar en ellos la búsqueda de nuevas explicaciones que dieran respuesta a los interrogantes que generaban las actividades planteadas y permitieran al autor tener elementos para retroalimentar y diseñar una nueva unidad, que involucra elementos que fueron omitidos inicialmente y que permiten enriquecer el aprendizaje del fenómeno de la caída de los cuerpos.

Con respecto al uso de las TIC (arduino), los estudiantes desarrollaron habilidades en el diseño y construcción del prototipo a partir de la programación, la electrónica básica y el trabajo autónomo y grupal, además fue una herramienta que permitió motivar, despertar el interés por la actividad científica y llamar la atención hacia el aprendizaje de la ciencia y específicamente hacia el fenómeno de la caída de los cuerpos.

De las conclusiones mencionadas anteriormente y a través de la recontextualización de saberes se invita al docente a organizar los análisis históricos y epistemológicos, con el fin de desarrollar metodologías, que promuevan el asombro de los estudiantes en los procesos de enseñanza, como lo es la construcción de un dispositivo de medición de la aceleración de la gravedad por medio del acceso y uso de nuevas tecnologías (arduino) en los entornos escolares, lo cual favorecerá la creación

de un ambiente para el análisis, exploración y creación de objetos de ciencia ya sean de orden académico o para el uso de la comunidad.

Recomendaciones.

Se ha elaborado una nueva unidad didáctica (ver en el cd) teniendo en cuenta varios aspectos que se sugirieron en el análisis del capítulo 3 con el fin de generar nuevos espacios para el análisis y argumentación. El lector puede partir de esta unidad para obtener nuevas consideraciones de como el sujeto aprende y organiza la naturaleza alrededor de la caída de los cuerpos. Podrá encontrarla en el cd anexo a esta investigación.

En el cd se ha guardado el programa de instalación y el software del prototipo, así mismo unos drivers para el arduino nano, con la intención que puedan interactuar, realizarle mejoras, continuar con la investigación y en el caso de utilizar el arduino nano logren hacer una instalación sin errores del software.

Para cuestiones de mejor precisión se sugiere hacer el dispositivo en un tubo de 1" pulgada, o una configuración que pueda ser modificada la altura, es decir que los sensores puedan moverse, ya que, al construir el dispositivo con un tubo de diámetro menor habrá rozamiento de la masa y alterará los resultados, o en el caso que sea mayor el diámetro no señale la información del tiempo de caída.

El dispositivo tiene una precisión de milisegundos, aunque en términos de unidades micrométricas; está sujeto a cambios mínimos, ya sean de ubicación y disposición de la masa, se sugiere que deje la masa lo más estable con el electroimán o si no podrá alterar los resultados.

Se sugiere que se integre al dispositivo un módulo bluetooth y una interfaz gráfica, para el celular, la cual se puede diseñar en la aplicación de app inventor, <http://appinventor.mit.edu/explore/> . Así mismo el uso de un integrado puente h para que se vincule directamente un electroimán, ya que, si no se hace uso del puente h, el arduino se estropeará.

4. BIBLIOGRAFIA

- © Real Academia Española. (29 de 05 de 2015). *Real Academia Española*. Recuperado el 29 de 05 de 2015, de <http://lema.rae.es/drae/?val=prototipo>
- Alonso, M., & Finn, E. (1995). *Física*. Wilmington: Adisson-Wesley Iberoamericana S.A.
- Arduino. (03 de 02 de 2015). *Arduino*. Obtenido de <http://www.arduino.cc/>
- ARISTÓTELES. (1987). *ARISTÓTELES ACERCA DE LA GENERACION Y LA CORRUPCIÓN TRATADOS BREVES DE HISTORIA NATURAL*. (E. La Croce, & A. B. Pajares, Trads.) Madrid: CREDOS.
- Ayala , M. A., Malagón, J. F., & Sandoval, S. (2011). *Magnitudes, medición y fenomenologías*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Ayala, M. M. (2006). Los análisis histórico-críticos y la recontextualización de saberes científicos. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades. *Pro-Posições*, 19.
- Ayala, M. M., & Barragan, J. (2014). *LECTURA 1 ESTADO MECANICO DE UN SISTEMA 2 2014*. Bogotá: Universidad pedagogica Nacional.
- Ayala, M. M., & Barragan, J. (2014). *LECTURA 1 ESTADO MECANICO DE UN SISTEMA 2 2014*. Bogotá: Universidad pedagogica Nacional.
- Bonilla Beltran, D. S. (2010). *Integración de tecnologías para el aprendizaje de la física*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Bruce, I. (10 de 08 de 2016). *17centurymaths.com*. Obtenido de <http://www.17centurymaths.com/contents/huygenscontents.html>
- Caceres Maldonado, L. E., & Mora Lopez, J. M. (2003). *Diseño y elaboracion de un manual para la programación de microcontroladores PIC16F87X y su implementación en la enseñanza de la física*. Bogotá: UNIVERSIDAD PEDAGOGICA NACIONAL.
- Camino, N. (2005). *Génesis y evolución del concepto de gravedad: Construcción de una visión de universo*. Argentina: Universidad de la plata .
- Cardenas Gamboa, Y. (2007). *Realidad y el movimiento de la caída de los cuerpos*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Chaves Osorio, J. A. (2010). *Diseño y construcción de un prototipo para el estudio del movimiento parabolico*. Pereira: Universidad tecnológica de pereira.
- Christian-Albretch-Universität zu kiel. (15 de Abril de 2015). *Institut für Geowissenschaften*. Obtenido de http://www.ifg.uni-kiel.de/AGs/Goetze/pdf/gravimetrie_spanisch.pdf
- Cohen, B. I. (1983). *La revolución newtoniana y la transformación de las ideas científicas*. Madrid: Alianza.
- De isla, J. F., & Monlau, P. F. (2014 digitalizado). *Obras escogidas del padre José Francisco de Isla: con una noticia de su vida y escritos volumen 15*. (1. M.D. Rivadeneyra., Ed.) Ohio: Universidad Estatal de Ohio.
- De topografía. (2015). *De topografía*. Obtenido de <http://detopografia.blogspot.com/2013/08/gravedad-la-medidas-de-la-gravedad.html>
- Dear, P. (2007). *La revolución de las ciencias: el conocimiento europeo y sus expectativas (1500-1700)*. Madrid: Marcial Pons Historia.
- Duque, P. (2015). *MODELLUS*. Obtenido de <http://modellus.co/index.php/es/sobre/68-what-is-spanish>

- Galilei, G. (1975). *Dialogo Sobre los Sistemas Maximos*, Jornada Segunda. Buenos Aires, Av. Cordoba 2100, Buenos Aires: Aguilar S.A de ediciones.
- Galilei, G. (1980). *Dialogo Sobre los Sistemas Maximos*. (J. M. Revuelta, Trad.) Buenos Aires: Aguilar.
- Galilei, G. (1981). *Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias*. (J. Sabada Garay, Trad.) Madrid: Editora Nacional.
- Galindo vega, A. A., & Castillo Gamboa, A. J. (2000). *Diseño y construcción de un equipo digital para la adquisición de datos*. Bogotá: Universidad pedagógica Nacional.
- García García, E. (1997). *Diseño y construcción de una interface para realizar lecturas y escritura de a traves de una memoria EEPROM*. BOGOTÁ: UNIVERSIDAD PEDAGOGICA NACIONAL.
- Goicoechea Fernández, J., & Basarte Bozal, L. F. (2014). *Diseño y fabricación de una tarjeta PCB ("Shield") para el control de un robot autobalanceado basado en Arduino*. Pamplona: Universidad de navarra.
- Greem-Klee, S. (3 de Marzo de 2015). *Exploraciones mineras*. Obtenido de <http://www.geovirtual.cl/EXPLORAC/TEXT/06001grav.html>
- Hertz, H. (1956). Principios de mecánica. En H. Hertz, *Principios de mecánica* (J. C. Orozco Cruz, M. C. Gramajo, & C. I. Chaparro, Trads., pág. 26). New york: Dover Publications.
- Hertz, H. (1996). *Los principios de la mecánica*. Bogota: Universidad Pedagógica nacional.
- Introcaso, A. (2006). *Geodesia Fisica*. Rosario: Boletín del instituto de fisiografía y geología.
- Koyré, A. (1980). *Estudios galileanos*. (M. Gonzales Ambóu, Trad.) Madrid: Siglo veintiuno España Editores,S.A.
- Mach, E. (1987). Consideraciones preliminares metafísicas. En E. Mach, *Análisis de las sensaciones* (pág. 34). Barcelona: Alta Fulla.
- Martin, J., & Solbes, J. (2001). *Diseño y evaluación de una propuesta para la enseñanza del concepto de campo en Física*. Guadalajara: Centro de profesores y recursos.
- Martínez, R. J. (2011). Métodos de investigación Cualitativa. *Revista de la Corporación Internacional para el Desarrollo Educativo*, 34.
- Milhaud. (10 de 10 de 2010). *Recuerdos de Pandora*. Obtenido de <http://recuerdosdepandora.com/ciencia/fisica/la-gravedad-segun-aristoteles/>
- Mirónov, V. (1977). *Curso de prospección gravimétrica*. España: Reverté.
- Newton, I. (1982). *Principios matematicos de la filosofia natural*. (A. Escotado, Ed.) Madrid, España: Editora Nacional.
- Newton, I. (1999). *The Principia: Mathematical Principles of Natural Philosophy*. (B. Cohen, & A. Whitman, Trads.) Berkeley: University of California.
- Rodriguez Henriquez, R., & Martos Torres, J. (2015). *Las TIC en la enseñanza superior. Experiencia de aplicación a la enseñanza de microcontroladores en la universidad del Pinar del Rio Cuba*. Valencia.
- Rodriguez, L. S. (2003). *Determinación de la superficie vertical para Colombia*. Desde: Instituto geografico Agustin Codazzi.
- Ruiz Gutierrez, R., & et al. (2014). *Problemas y perspectivas de la educación básica*. ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Sánchez Rodriguez, L. (20 de 06 de 2003). *Intituto Colombiano Agustin Codazzi (IGAC)*. Recuperado el 11 de 10 de 2015, de <http://www.igac.gov.co/wps/wcm/connect/d24c2900469f78a2b006b8923ecd8fe/modelo+geoidal+GEOCOL+2004.pdf?MOD=AJPERES>

- Sandoval Osorio, S. (2008). *La comprensión y construcción fenomenológica: Una perspectiva desde la formación de maestros en ciencias*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Sotelo Fajardo, J. C. (2012). *El Concepto de gravedad desde las concepciones de Newton y Einstein: Una propuesta didáctica dirigida a estudiantes de Ciclo V*. Bogotá: Universidad Nacional.
- Torres Suescun, A., & Triana Orellana, F. (2004). *Hipertexto "la caída de los graves"*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Turpo Sanca, A., & Suasaca Condori, L. (2014). *La gravedad como fenómeno físico*. Obtenido de <http://fisica-proyecto.webcindario.com/GRAVIMETRIA.html>
- UNESCO. (2004). *UNESCO*. Obtenido de <http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001295/129533s.pdf>
- Velásquez Rocha, L. V. (2011). *Estrategia de enseñanza – aprendizaje del fenómeno de la gravedad*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Vieira, P. D. (18 de 11 de 2016). *Modellus*. Obtenido de <http://modellus.co/index.php?lang=es>
- Westfall, R. (1967). Hooke and the law of universal gravitation . *The British Journal for the history of science* , 245-261.

5. ANEXOS

5.1 Anexo 1: Conociendo la interfaz Arduino

En el dispositivo arduino se utiliza el microcontrolador ATMEGA328P-PU, por su sencillez y bajo costo permite el desarrollo de múltiples diseños, el cual hace uso de 13 pines para entradas y salidas digitales y 5 entradas y salidas análogas, así mismo de dos pines para la alimentación de los proyectos que se realicen y uno para alimentar la placa, ver ilustración 10. Lo anterior significa que una vez programa y configurado el microcontrolador solamente sirve para la tarea asignada en su programa.

De hecho, en cuanto al software; el lenguaje de Arduino no es más que un conjunto de funciones C#, C, C ++, visual Basic, Processing/Wiring entre otros que se pueden llamar desde el código, o simplemente desde la interfaz propia de arduino se declaran los parámetros de programación. Veamos el siguiente ejemplo, Blink, tomado del software Arduino.

```
void setup() {  
  
  pinMode(13, OUTPUT);  
}  
void loop() {  
  digitalWrite(13, HIGH); //Enciende el led que está en el pin 13  
  delay(1000); // espera un segundo  
  digitalWrite(13, LOW); // apaga el led del pin 13  
  delay(1000); // espera un segundo  
  
}
```

La primera parte nos remite a la función setup, la cual se encarga de declarar las variables. Esta función lo que hace es inicializar la ejecución del programa, por medio de la comunicación de los pines de entrada o salida.

Diseño y construcción de un prototipo para el estudio de la caída de los cuerpos: Medición de la aceleración de la gravedad, por medio de Arduino®

Después sigue la función loop, bucle, el cual es el encargado de ejecutar nuestro programa continuamente, desde las variables declaradas; como en el ejemplo el pin 13 es la variable de salida, de allí en la función loop, lo que hace es encender y apagar por un segundo nuestro pin. Como se observa en este ejemplo sencillo, esta función es el corazón del programa ya que realiza la mayor parte del trabajo, un ejemplo grafico de la construcción del prototipo lo podrás encontrar en el siguiente link:<https://circuits.io/circuits/2894481-display-lcd-walo-gr-duino>, aunque en esta página también puedes llevar a cabo diferentes proyectos.

En cuanto a las funciones, la tabla 8 se encontrara el lenguaje usado dentro de la estructura del programa.

A parte de las funciones anteriormente expuestas, la plataforma de arduino permite ampliar sus aplicaciones a través del uso de las bibliotecas externas que vienen con ciertos elementos que hacen de la programación más fácil. Ello permite disponer del código que puede reutilizarse en otros proyectos, mantener el código fuente principal separado de las bibliotecas y la organización de los programas construidos es más claro.

En el campo de la educación esta tecnología brinda al estudiante, una visión más amplia y completa, es decir los objetos programados con Arduino no quedan en una simple caja negra, al contrario ofrece una alternativa para la resignificación en el aprendizaje.

En cuanto a la instalación del software, es necesario tener en cuenta la versión más actualizada de java, además descargar el software de la siguiente página <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>, lo demás está en instalar los controladores USB, conectando arduino y finalmente ejecutar la interfaz con el fin de configurar el puerto USB donde está conectada la placa.

Tabla 8 Lenguaje usado dentro de la estructura del programa fuente de: <https://drive.google.com/file/d/0B7TtzlqCufECZTc0OTZiNWetNTZjZi00Nm1LWJiODUtODA4NmZiNjNIZDE0/view?hl=es&pli=1>

	<ul style="list-style-type: none">• if (comparador si-entonces)• if...else (comparador si...sino)• for (bucle con contador)• switch case (comparador múltiple)
--	---

Diseño y construcción de un prototipo para el estudio de la caída de los cuerpos: Medición de la aceleración de la gravedad, por medio de Arduino®

Estructuras de control	<ul style="list-style-type: none"> • while (bucle por comparación booleana) • do... while (bucle por comparación booleana) • break (salida de bloque de código) • continue (continuación en bloque de código) • return (devuelve valor a programa)
Sintaxis	<ul style="list-style-type: none"> • ; (punto y coma) • {} (llaves) • // (comentarios en una línea) • /* */ (comentarios en múltiples líneas)
Operadores Aritméticos	<ul style="list-style-type: none"> • = (asignación) • + (suma) • - (resta) • * (multiplicación) • / (división) • % (resto)
Operadores Comparativos	<ul style="list-style-type: none"> • == (igual a) • != (distinto de) • << (menor que) • >> (mayor que) • <= (menor o igual que) • >= (mayor o igual que)
Operadores Booleanos	<ul style="list-style-type: none"> • && (y) • (o) • ! (negación)
Operadores de Composición	<ul style="list-style-type: none"> • ++ (incrementa) • -- (decremento) • += (composición suma) • -= (composición resta) • *= (composición multiplicación) • /= (composición división)
Variables	<p>Constantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • HIGH LOW (encendido-apagado) • INPUT OUTPUT (Entrada-salida) • true false (Verdadero-Falso) • Constantes Numéricas <p>Tipos de Datos</p> <ul style="list-style-type: none"> • boolean (booleano)

Diseño y construcción de un prototipo para el estudio de la caída de los cuerpos: Medición de la aceleración de la gravedad, por medio de Arduino®

	<ul style="list-style-type: none"> • char (carácter) • byte • int (entero) • unsigned int (entero sin signo) • long (entero 32b) • unsigned long (entero 32b sin signo) • float (en coma flotante) • double (en coma flotante de 32b) • string (cadena de caracteres) • array (cadena) • void (vacío)
<p>Funciones</p>	<p>E/S Digitales</p> <ul style="list-style-type: none"> • pinMode() • digitalWrite() (escribir al pin digital) • digitalRead() (lee el pin digital) <p>E/S Analógicas</p> <ul style="list-style-type: none"> • analogRead() (escribir al pin analogico) • analogWrite() - PWM (modulación por ancho de pulso) <p>E/S Avanzadas</p> <ul style="list-style-type: none"> • tone() • noTone() • shiftOut() • pulseIn() <p>Tiempo</p> <ul style="list-style-type: none"> • millis() • micros() • delay() • delayMicroseconds() <p>Matemáticas</p> <ul style="list-style-type: none"> • min() (mínimo) • max() (máximo) • abs() (valor absoluto) • constrain() (limita) • map() (cambia valor de rango) • pow() (eleva a un número) • sq() (eleva al cuadrado)

Diseño y construcción de un prototipo para el estudio de la caída de los cuerpos: Medición de la aceleración de la gravedad, por medio de Arduino®

	<ul style="list-style-type: none">• sqrt() (raíz cuadrada) Trigonometría <ul style="list-style-type: none">• sin() (seno)• cos() (coseno)• tan() (tangente) Números Aleatorios <ul style="list-style-type: none">• randomSeed()• random()
	Comunicación <ul style="list-style-type: none">• Serial Función con serial: <ul style="list-style-type: none">• begin()• end()• available()• read()• flush()• print()• println()• write()

5.2 Anexo 2: Código de programación de g-grduino

```
const int switchPin=2;//fototrasistor 1 negro
const int switchPinq=3; //fototransistor 2 negro
float tinicial;
float gravity;
float tiempo;
float tprom;
float gprom;
int i;
//Incluye el codigo de la libreria
#include <LiquidCrystal.h>
// inicia la libreria LCD con los pines:
LiquidCrystal lcd(7, 8, 9, 10, 11, 12);
```

Diseño y construcción de un prototipo para el estudio de la caída de los cuerpos: Medición de la aceleración de la gravedad, por medio de Arduino®

```
void setup()
{

  lcd.begin(16, 2); // inicia la LCD
  pinMode(4, OUTPUT); //declara como salida IR led 4 y va conectado en serie con otro
  pinMode(5, OUTPUT); //declara como salida IR led 5 y va conectado en serie con otro
  //inicio puerto serial
  Serial.begin(9600);
  //LO DECLARA COMO ENTRADA
  pinMode(switchPin,INPUT);
  //ENCIENDE EL PIN 2
  pinMode(switchPinq,INPUT);
  digitalWrite(switchPin,HIGH);
  digitalWrite(switchPinq,LOW);

}

void loop()
{
  for ( i=0; i<5; i++){
    tprom+= tiempo; // Calcula la suma de 5 valores de la aceleracion y del tiempo
    gprom+= gravity;
    delay(4000);
    digitalWrite(4, LOW); // IR LED encendido transparente
    digitalWrite(5, LOW); // IR LED encendido transparente
    delay(3000);
    tinicial=0;
    digitalWrite(4, HIGH); // IR LED encendido transparente
    digitalWrite(5, HIGH); // IR LED encendido transparente

    if (digitalRead(switchPin) == LOW) ;
    lcd.clear();
    lcd.print("lista g-Upn");
    {

    tinicial=micros();
    while(digitalRead(switchPin) ==LOW);
```

Diseño y construcción de un prototipo para el estudio de la caída de los cuerpos: Medición de la aceleración de la gravedad, por medio de Arduino®

```
float duracion = (micros() -tinicial);

if (digitalRead(switchPin) ==HIGH) ;
{
while(digitalRead(switchPin) ==LOW);

float duracion1 = (micros() -tinicial);

while(digitalRead(switchPin) ==HIGH);
while(digitalRead(switchPin) ==LOW);
tiempo=((duracion1-duracion)*0.000001)+0.01;//+un microsegundo de ajuste
//gravity=(2*0.268)/(tiempo*tiempo); //galileo
gravity = (1*0.02534086/(0.003*(1-exp(-0.02534086*(tiempo)/0.003)))); //esta a 26.9 cm de altura
//gravity =
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("g=");

Serial.println(gravity,5);
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("g(m/s^2)=");
lcd.print(gravity,4); //Despliega la gravedad
lcd.setCursor(0,1); //las posiciones parte en 0 y la primera fila también es 0
lcd.print("t(s)=");
lcd.print(tiempo,5); //Despliega el tiempo
delay(3500);
lcd.clear();
}
}
}

lcd.setCursor(0,0); //las posiciones parte en 0 y la primera fila también es 0
lcd.print("gpr m/s^2=");
lcd.print(gprom/5,4); //Despliega el tiempo

lcd.setCursor(0,1); //las posiciones parte en 0 y la primera fila también es 0
lcd.print("tprom=");
lcd.print(tprom/5,4); //Despliega el tiempo
```

Diseño y construcción de un prototipo para el estudio de la caída de los cuerpos: Medición de la aceleración de la gravedad, por medio de Arduino®

```
delay(4000);
```

```
lcd.clear();
```

```
if (i=5)
```

```
  i=0;
```

```
  tprom=0;
```

```
  gprom=0;
```

```
}
```

5.3 Anexo 3 Pruebas a g- grduino

El tratamiento de datos que se muestra a continuación, representa la información general que ha arrojado el dispositivo g-grduino, el cual ha sido utilizado en dos instantes: El primero con las ecuaciones de Galileo y el segundo caso con la modelación del sistema expuesto en la sección 2.3.5 determinación de la aceleración.

Tabla 9 datos tomados con g-grduino

tiempo (segundos)	g galileo m/s ²	g g-grduino m/s ²	tiempo (segundos)	g galileo m/s ²	g g-grduino m/s ²
0,2365	9,76181005	9,7725658	0,23628	9,77999693	9,7754193
0,23601	9,80238674	9,77893086	0,2367	9,74532051	9,76997774
0,23684	9,73380267	9,76816952	0,23662	9,7519113	9,77101227
0,23629	9,77916915	9,77528944	0,23725	9,7001891	9,76289012
0,23735	9,69201708	9,7616061	0,23701	9,71984417	9,76597759
0,2366	9,75356005	9,77127105	0,23687	9,73133722	9,76778241
0,23698	9,72230525	9,7663641	0,23691	9,72805141	9,76726646
0,23602	9,80155612	9,77880062	0,23729	9,69691905	9,76237634
0,23696	9,72394649	9,76662184	0,23699	9,72148478	9,76623525
0,23692	9,72723022	9,76713751	0,23706	9,71574444	9,76533369
0,23669	9,74614399	9,77010701	0,23685	9,73298075	9,76804047
0,23614	9,79159687	9,7772388	0,23702	9,71902401	9,76584878
0,23697	9,72312582	9,76649296	0,2371	9,71246652	9,76481882
0,23673	9,74285068	9,76959003	0,2373	9,69610179	9,76224793
0,23664	9,75026298	9,77075355	0,23741	9,68711882	9,76083636
0,23632	9,77668644	9,77489996	0,23702	9,71902401	9,76584878
0,2365	9,76181005	9,7725658	0,23702	9,71902401	9,76584878
0,23629	9,77916915	9,77528944	0,23712	9,71082818	9,76456148
0,23752	9,67814832	9,75942652	0,23729	9,69691905	9,76237634
0,23685	9,73298075	9,76804047			

La tendencia de las dos graficas son similares, aunque para los datos de galileo dan muestra que pasan del 9.8m/s^2 , caso opuesto al de g-drduino (9.78 m/s^2), ya que, se tiene en cuenta la masa que es despreciable y la resistencia del aire, significa que la resistencia del aire juega un papel importante en la configuración del prototipo. Las variaciones de la aceleración de la gravedad se deben particularmente a la temperatura, el momento del día en el que fueron tomados los datos y al electroimán, ya que hace que el objeto se demore un milisegundo, lo cual altera los resultados.

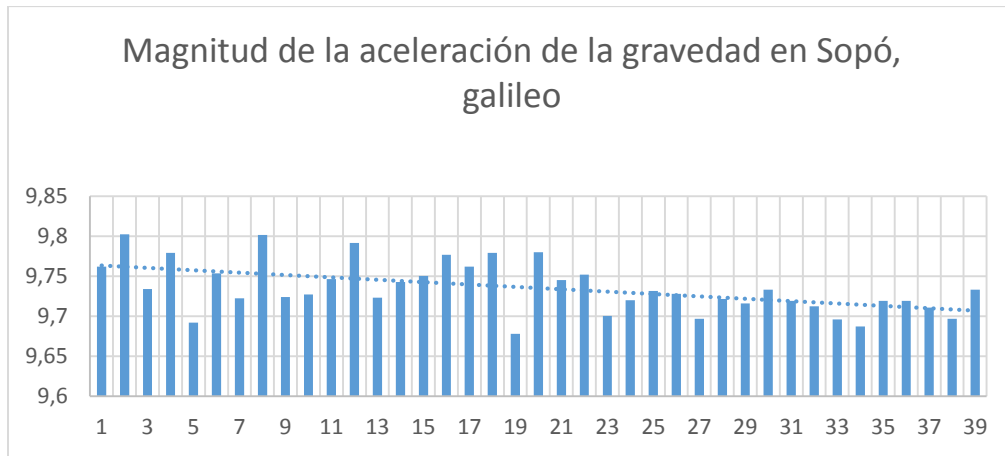


Ilustración 21 magnitud de la aceleración en sopó galileo

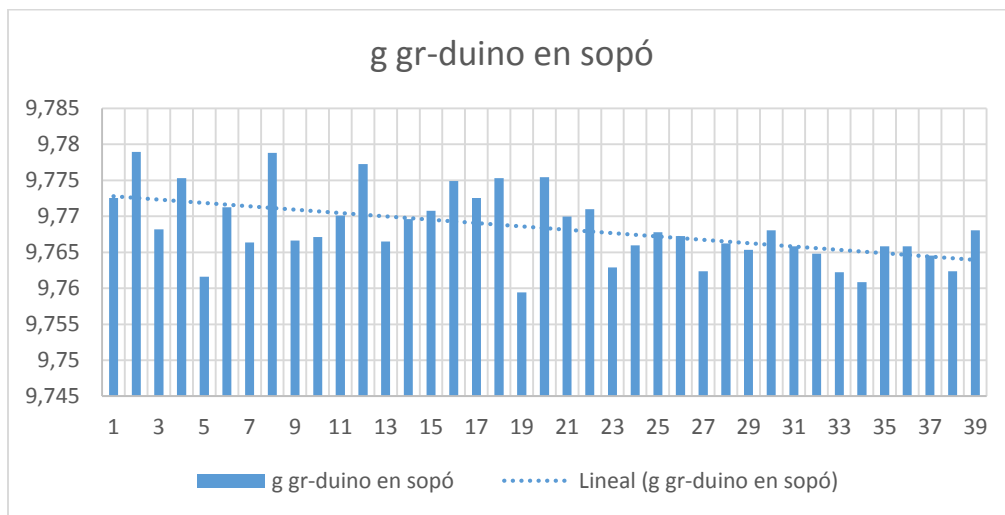


Ilustración 22 magnitud de la aceleración con g-grduino

Diseño y construcción de un prototipo para el estudio de la caída de los cuerpos: Medición de la aceleración de la gravedad, por medio de Arduino®

En la siguiente tabla se muestran los promedios de los tiempos y de la aceleración de la gravedad, así mismo el porcentaje de desviación en cada uno de los casos propuestos (galileo y el sistema dinámico).

Tabla 10 promedio y error de la magnitud de g g-grduino

Distancia entre los sensores infrarrojos cm	0,273 cm	magnitud de g en Bogotá m/s²	9,773m/s ²
tiempo teórico galileo segundos	0,23603874 s	% error de g=$(g \text{ Bogotá}-g \text{ grduino promedio})/(g \text{ grduinopromedio}) * 100$	0,0475475 %
tiempo de caída promedio segundos	0,23682641 s	% error de g=$(g \text{ Bogotá}-g \text{ promedio Galileo})/(g \text{ Galileopromedio}) * 101$	0,39038512%
magnitud de g gr-duino promedio m/s²	9,76835539 m/s ²	% error de tiempos=$(t\text{-teorico Galileo}-t\text{-promedio})/(t\text{-promedio}) * 101$	0,33259488%
magnitud de g Galileo promedio m/s²	9,73499602m/s ²		

De acuerdo a los datos suministrados en la anterior tabla se puede ver que el % de error de la aceleración de la gravedad con relación a la magnitud de g tomada por el IGAC en Bogotá, 9.773 m/s², para galileo ronda el 0.39 % un valor alto, ya que, no se tiene en cuenta fuerzas externas como el aire a consideración del suministrado por g-grduino que fue del 0.0475 %, que si lo tiene. Estas variaciones se deben particularmente a la diferencia de alturas entre Bogotá, 2630 metros sobre el nivel del mar, y Sopó a 2650 metros sobre el nivel del mar y en otros casos por las tomas realizadas a diferentes horas del día.

5.4 Anexo 4 Presentación de la unidad

The image shows the cover of a didactic unit. At the top right, there is a header box with the text 'Caída De Los Cuerpos | 2016'. The main title is 'Unidad Didáctica' in red, followed by 'Universidad Pedagógica Nacional. IED Pablo VI Sopó cundinamarca.' in red. Below that, the subtitle 'El poder oculto de la caída de los cuerpos' is written in green. The section '1. INTRODUCCIÓN' is in red. The text describes the challenges of teaching physics and the author's approach. At the bottom, the author's name 'Walter García estudiante de Lic. En física UPN' is written in blue.

Caída De Los Cuerpos | 2016

Unidad Didáctica

Universidad Pedagógica Nacional. IED Pablo VI Sopó cundinamarca.

El poder oculto de la caída de los cuerpos

1. INTRODUCCIÓN

La enseñanza de la física en algunas ocasiones al tener barreras en el campo educativo en cuanto a la experimentación y teorización, dificulta posiblemente a los estudiantes distinguir las relaciones de las imágenes de una determinada teoría, sus aciertos y desaciertos, su contribución al conocimiento científico, pero aún más importante impide, de entrada, el contexto del dialogo y la discusión.

Se diseña una propuesta en la cual las ideas previas del estudiante adquieren un gran valor y su experiencia cotidiana se encuentre vinculada con la física, que permita la generación de espacios de discusión y análisis frente a fenómenos físicos y junto a la capacidad argumentativa de los estudiantes. Aquí lo realmente importante es la capacidad del estudiante para defender sus puntos de vista de manera argumentada, estos argumentos serán el resultado de un trabajo juicioso, de revisión y análisis reflexivo constante frente a las temáticas abordadas.

Los criterios del desarrollo de esta guía son: El orientar al estudiante en la aplicación de la física, mecánica, a partir de un contexto histórico, experimental, argumentativo y práctico se familiarice con los conceptos que faciliten la comprensión de del fenómeno de la caída de los cuerpos.

Walter García estudiante de Lic. En física UPN

Preguntas para guiar el aprendizaje.

¿En qué diferían los modelos aristotélicos, galileanos y newtonianos?

¿Qué factores debo tener en cuenta para construir una relación de medida, y construcción de magnitud?

¿Desde los modelos Aristotélico, Galileano y Newtoniano, que puedes aportar para la construcción de medida?

Palabras Claves: Caída, gravedad, aceleración, Arduino, Naturaleza.

Sobre la unidad Didáctica

Está orientado a que los alumnos fortalezcan habilidades, valores, actitudes y conceptos básicos que les permitan:

- Avanzar en la comprensión de las formas y recursos tanto explicativos como argumentativos que tiene la ciencia acerca de la naturaleza.
- Continuar con el desarrollo de sus estructuras conceptuales que favorezcan una mejor comprensión de los conceptos, procesos, principios y lógicas explicativas de la Física.
- **Objetivo General**
-Generar ambientes de aprendizaje que permitan a los estudiantes tener una aproximación a la caída de los cuerpos, desde sus transformaciones a lo largo de la historia y con esto fomentar la formación de ciudadanos de pensamiento crítico con énfasis en la exploración e invención por medio de nuevas tecnologías.
- **Objetivo Especificos**
 - Revisar y estudiar la naturaleza de la caída de los cuerpos y la construcción de explicaciones entorno a la aceleración de la gravedad.
 - Fomentar las habilidades comunicativas como un medio de explicación y argumentación.
 - Diseñar y construir una herramienta con los estudiantes para la medición de la aceleración de la gravedad, por medio de Arduino®.
 - Proponer y construir una actividad que permita a través del uso del prototipo construir explicaciones de las diferencias de la caída de los cuerpos y la relación con el prototipo Arduino®

Criterios para la evaluación.

0-20 Deficiente

20-29 Regular

30-39 Aceptable

40-44 Sobresaliente

45-50 Excelente

- -Reconoce las diferencias entre la teoría Aristotélica, Galileana y Newtoniana
- -Identifica que la notación científica de la aceleración de la gravedad no es una constante si no una aproximación.
- - Conoce los alcances que puede brindar el uso de la tecnología, para la obtención de datos y su estudio.
- -Identifica que las fórmulas matemáticas son aproximaciones del mundo real y son para sistemas ideales.
- Identifica las causas y naturaleza de la caída de los cuerpos.
- Reconoce la caída de los cuerpos en diferentes medios puede alterar la significación del fenómeno.

Walter García

5.5 Anexo 5 Aristóteles el estudioso de las causas

Caída De Los Cuerpos | 2016

ARISTÓTELES

EL ESTUDIOSO DE LA CAUSAS

Trabaja con tus compañeros en clase.

Arroja diferentes objetos al suelo simultáneamente y contesta:

¿Cuál llegó primero al piso?

¿Qué importancia le das a la forma del objeto cuando cae?

¿Qué entiendes por gravedad y levedad?

-¿Cómo concebía Aristóteles el cambio?

¿Existía el vacío para Aristóteles?
¿Que entienden por este concepto?

De acuerdo al video:

http://youtu.be/4Zn045O_f5E

¿Por qué se tensiona el arco cuando el coyote cae? ¿Es posible que una masa de mayor peso caiga más rápido que una de menor peso?

A que no puedes en casa.

Une una cuerda a dos masas, una de ellas es el doble que la otra, suéltalas a diferentes alturas, ¿que logran percibir? (Opcional registra con tu cámara)

- ¿El Sol y los planetas son esferas perfectas?



Sobre naturaleza de la caída de los cuerpos

Aristóteles hace una atención especial sobre los estudios del mundo físico, da un trato especial a las formas de comprender la naturaleza del movimiento, desde la generación y corrupción en los elementos; constituyendo así la transformación más profunda de afectación de los cuerpos. Entendiendo que la generación puede tener dos comportamientos, uno no absoluto que se describe como el aumento o disminución, la alteración y translación de los cuerpos; por otra parte la absoluta que es abordaba de una sustancia, materia prima, imperceptible la cual permite acercarse a las transformaciones de los 4 elementos

¿Sabías Que..? Aristóteles el siglo IV a.C sustentaba que el mundo estaba hecho de 4 elementos (tierra, agua, aire y fuego), cada uno de éstos tenía una posición natural en el universo

Viral Videos

Ten en cuenta del minuto 20 en adelante para el siguiente video <https://www.youtube.com/watch?v=Gnfr5oSftsA>



Walter García estudiante de Lic. En física UPN

5.6 Anexo 6 Los discursos de Galileo

Caída De Los Cuerpos | 2016

GALILEO

DISCURSOS Y DEMOSTRACIONES MATEMÁTICAS

Trabaja con tus compañeros en clase

- ¿Qué sucede si arrojamos una pluma y una manzana al mismo tiempo?
- Construye un plano inclinado y responde: ¿Qué sucede si arrojamos una esferita a diferentes ángulos?
- ¿Cómo interviene el peso?
- ¿Cómo interviene el medio en el que cae, por ejemplo agua, en un plano o en caída vertical?

De acuerdo al video:

<https://www.youtube.com/watch?v=2vkPo8r144o>

Nombra algunos de los inventos que realizó Galileo. ¿Es posible pensar que el aire es un fluido y este influye en la caída?

A que no puedes en casa.

Demuestra: El tiempo en que un móvil recorre un espacio con MUA a partir del reposo, es igual al tiempo en que el mismo móvil recorrería ese mismo espacio con movimiento uniforme, cuya velocidad fuera subduple (mitad) de la mayor y última velocidad (final) del anterior movimiento uniformemente acelerado".

Viral Videos

<https://www.youtube.com/watch?v=s5QcJfMH-es>

<https://www.youtube.com/watch?v=f6eZhpKb0>

<https://www.youtube.com/watch?v=bEPhzw5ZdIA>

Dialogo sobre el mundo

Para el siglo XVI se empezó a descifrar los fenómenos de la naturaleza mediante la investigación y la experimentación, en este marco cabe resaltar la investigación sobre el movimiento de la caída de los cuerpos, donde se buscaron establecer



conceptos leyes y reglas. Uno de los investigadores de este fenómeno fue Galileo Galilei en su libro Dos nuevas ciencias donde en forma de dialogo se examinan problemas sobre el carácter de las matemáticas y la naturaleza; mediante dos personajes ficticios buscando burlar a los inquisidores, donde el primero Sagredo un hombre culto que plantea dudas para razonar y Salviati que da la respuesta sobre estas representa al mismo Galileo. Este expuso lo siguiente acerca de la caída de los graves:

No obstante, y desde el momento en que la naturaleza sirve de una determinada forma de aceleración para poder descender a los graves, hemos decidido estudiar sus propiedades, para poder estar seguros de que la definición de movimiento acelerado que vamos a proponer sea conforme a la esencia del movimiento naturalmente acelerado. (Galilei, 1638)

Para el siglo XVI Galileo Galilei en referencia a los estudios propuestos por Aristóteles afirmó que sería ocioso e inútil discutir las teorías causales de la gravedad propuestas por sus contemporáneos y predecesores, dado que "nadie sabe que es la gravedad, que no es más que un nombre y que más vale contentarse con establecer las leyes matemáticas de la caída".



Walter García estudiante de Lic. En física UPN

5.7 Anexo 7 Newton el Lord de la gravitación Universal

NEWTON

EL LORD DE LA GRAVITACIÓN UNIVERSAL.

Trabaja con tus compañeros en clase

¿Si ponemos limaduras de hierro alrededor de un imán que forma adquieren las limaduras? ¿Es posible pensar que la tierra actúe como un imán?
¿Qué entienden por acción a distancia?
¿Qué métodos conocen para hallar el valor de g ? ¿Qué proyecto propondrían para hallar el valor de g ?

De acuerdo al video:

<https://www.youtube.com/watch?v=oZa05hFBK9c>

¿El valor de la aceleración varía en cada punto del planeta? ¿La aceleración en la tierra es la misma que en otro planeta?

A que no puedes en casa.

Demuestra el valor de la gravedad sobre la superficie de Bogotá.

Halla el valor de g en la superficie lunar.

¡Investiga!

¿Cuál es valor de la gravedad donde orbitan los satélites geoestacionarios, y a que altura se encuentran?

-¿Qué papel tuvo el éter en la teoría Newtoniana?

-Mira la película Gravity atentamente e identifica rasgos de la teoría.

-Disfruta de la lectura:

SOBRE LA ESTRUCTURA DEL ÉTER Y LA NATURALEZA DE LA ACCIÓN A DISTANCIA
Faraday.

- Isaac Newton (1642- 1727)
Particulate aether; Gravitational



Hacia los Principios matemáticos de la filosofía natural

Las primeras ideas de Newton acerca de la gravedad, se desarrollaron a partir de un problema planteado por Galileo en su Dialogo de 1632. Anteriormente Galileo se había cuestionado ¿Porque la tierra al girar en su propio eje, los objetos contenidos en ella no salen despedidos? , este interrogante hace que Newton se planteara cual podría ser la acción que está presente en la superficie de la tierra, claro está desconociendo de los trabajos de Huygens sobre este mismo interrogante.

Hay tres condiciones de la gravedad que son suficientes, que bastan en filosofía natural o experimental. El primer lugar es suficiente (<<satis est>>) <<que la gravedad exista realmente >>; en segundo lugar, que la gravedad <<actúe según las leyes que hemos propuesto>>; en tercer lugar, que la gravedad , baste para explicar todos los movimientos de los cuerpos celestes y de nuestro mar.



Isaac Newton parte de los estudios realizados por Galileo acerca del movimiento de caída libre, razón por la cual en su libro Philosophiæ naturalis principia mathematica(1687) admitió que hasta el momento no había sido capaz de descubrir la causa de las propiedades de la gravedad, al mismo tiempo afirmó que no presentaba hipótesis explicativas “debido a que las hipótesis no tienen lugar en la filosofía experimental”. Según la teoría de Gravitación universal, toda masa es atraída por toda otra masa mediante una fuerza que disminuye con el cuadrado de la distancia entre las dos masas

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Walter Garcia estudiante de Lic. En física UPN

5.8 Anexo 8 Arduino Alimentando la curiosidad y la imaginación

Caída De Los Cuerpos | 2016

ARDUINO

ALIMENTANDO IMAGINACIÓN.

Trabaja con tus compañeros en clase

Realiza un código y circuito, los cuales permitan encender 4 leds, cada uno en un intervalo de 3, 2, 5 y 1 segundos.

Diseña un código y circuito el cual permita encender 4 leds, por medio de un ldr, fotocelda.

¿Dentro del campo de la física que modelo diseñarías con esta plataforma? ¿Por qué lo harías? ¿Cómo lo diseñarías? ¿En el MU y MUA que diseñarías?

Dibuja un modelo ilustrativo que involucre esta tecnología y de alguna solución para la sociedad.

De acuerdo al video:

<https://www.youtube.com/watch?v=8YzLWJ9GBvE>

¿Qué es arduino? ¿Quiénes fueron los fundadores? ¿Cuántos pines tiene y para qué sirven? Y ¿En qué aplicaciones prácticas puede aplicarse esta tecnología?

Ejercicio para la casa.

Con el uso de la siguiente página web <https://123d.circuits.io/lab> diseña un prototipo que solucione algo de la vida cotidiana, o que sea útil dentro de lo académico. Ten en cuenta que hay diversos elementos electrónicos que pueden ser útiles para ti.

¡Para tener en cuenta!

Puedes usar arduino con otros softwares tales como: Scratch; el cual maneja bloques, appinventor; puedes trabajar con Android y el modulo bluetooth, Labview y Matlab para integrarlos a procesos que involucren hardware y software, entre otros programas.

LA CURIOSIDAD Y LA



Sobre arduino

Es una plataforma que involucra un hardware y un software donde como diseñador se pueden agregar diferentes componentes externos tales como: sensores infrarrojos, sensores de proximidad, efecto hall, Display, temperatura, Drivers de motores, módulos bluetooth entre otros, con el fin producir un sin número de proyectos electrónicos ya sean para uso académico o para uso común.



Ilustración | fuente propia: puedes acceder a la siguiente dirección para que lo realices: <https://circuit.io/circuits/2894481-display-lcd-wala-gr-duino>

En esta plataforma se utiliza el microcontrolador ATMEGA328P-PU, el cual hace uso de 13 pines para entradas y salidas digitales y 5 entradas y salidas análogas, así mismo de dos pines para la alimentación de los proyectos que se realicen. Lo anterior significa que una vez programa y configurado el microcontrolador solamente sirve para la tarea asignada en su programa.



Walter García estudiante de Lic. En física UPN



Gracias a los aportes de estos pensadores, se logra establecer un modelo teórico, que permite poner en discusión la naturaleza de la caída de los cuerpos, de esta se deriva el módulo de la aceleración causado por la gravedad terrestre, que hace parte de los estudios en física.



Ilustración tomada de:
<http://vivazapata.blog.br/2012/09/18/curiosidades-sobre-mexico/>

Usa La tecnología



Ilustración tomada de:
<http://www.crazyengineering.com/thread.php?u=armie-the-arduino-powered-robotic-arm-for-your-desk-use-it-for-your-comfort.72872/>

Pensando en la caída de los cuerpos y de forma especial en la medición de la aceleración de la gravedad, es fácil notar el escaso uso de recursos de enseñanza que brinden elementos sencillos y prácticos para la toma de datos, lo que dificulta el análisis alrededor de esta discusión. Se hace necesario acudir a formas alternativas para reconstruir, y resignificar las experiencias alrededor de este fenómeno.

obtención de los resultados,

Por lo que se refiere al acceso de nuevas tecnologías experimentales de medición de la aceleración de la gravedad, actualmente se han hecho más prácticas y sencillas para la un ejemplo de esto podría llegar a ser la plataforma Arduino®



Ilustración Fuente propia

Ahora construiremos un prototipo que mida la aceleración, lo que necesitaremos: un arduino, emisor y receptor infrarrojo y creatividad.

Actividad grupal

Esta actividad tiene como propósito determinar cuáles son las características que presenta la caída de los cuerpos. Para ello realizaremos la siguiente experiencia.

Planteamiento

El movimiento de la caída de los cuerpos es un movimiento rectilíneo. Sin embargo, nada sabemos acerca de la posible aceleración con que cae el cuerpo, ni tampoco si determinados factores, como la masa, influyen en el mismo.

5.9 Anexo 9 Diseñando y Construyendo el prototipo

Caída De Los Cuerpos | 2016

Hipótesis
Las hipótesis que formulamos serán las siguientes:
-El movimiento de caída de los cuerpos responde a un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.
-La aceleración de caída es independiente de la masa del objeto.

Experimenta con tus amigos.
Ahora hallaremos el valor de g en diferentes formas.

Completa el siguiente código de Programación:

```
const int switchPin=____; //fototransistor 1 negro
const int switchPinq=____; //fototransistor 2 negro
float tinicial;
float gravity;
float tiempo;
float tprom;
float gprom;
int i;
//Incluye el codigo de la libreria
#include <LiquidCrystal.h>
// inicia la libreria LCD con los pines:
LiquidCrystal lcd(7, 8, 9, ____, 11, 12);

void setup()
{

lcd.begin(16, 2); // inicia la LCD
pinMode(4, OUTPUT); //declara como salida IR led 4
pinMode(5, OUTPUT); //declara como salida IR led 5
//inicio puerto serial
Serial.begin(9600);
//LO DECLARA COMO ENTRADA
pinMode(switchPin, INPUT);
//ENCIENDE EL PIN 2
pinMode(switchPinq, ____);
digitalWrite(switchPin, HIGH);
digitalWrite(switchPinq, ____);

}
```

Walter Garcia estudiante de Lic. En física UPN

```
void loop()
{
  for ( i=0; i<5; i++){
    tprom+= tiempo; // Calcula la suma de 5 valores de la aceleracion y del tiempo
    gprom+= gravity;
    delay(4000);
    digitalWrite(4, LOW); // IR LED apagado transparente
    digitalWrite(5, LOW); // IR LED apagado transparente
    delay(3000);
    tinicial=0;
    digitalWrite(4, HIGH); // IR LED encendido transparente
    digitalWrite(5, HIGH); // IR LED encendido transparente

    if (digitalRead(switchPin) == LOW) ;
    lcd.clear();
    lcd.print("lista g-Upn");
    {

      tinicial=micros();
      while(digitalRead(switchPin) ==LOW);
      float duracion = (micros() -tinicial);

      if (digitalRead(switchPin) ==HIGH) ;
      {
        while(digitalRead(switchPin) ==LOW);

        float duracion1 = (micros() -tinicial);

        while(digitalRead(switchPin) ==HIGH);
        while(digitalRead(switchPin) ==LOW);
        tiempo=((duracion1-duracion)*0.000001)+0.01;//+un microsegundo de ajuste
        //gravity=(2*____)/(tiempo*____); //galileo
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("g=");
        Serial.println(gravity,4);
        lcd.setCursor(0,0);
        lcd.print("g(m/s^2)=");
        lcd.print(____,4); //Despliega la gravedad
        lcd.setCursor(0,1); //las posiciones parte en 0 y la primera fila también es 0
        lcd.print("t(s)=");
        lcd.print(tiempo,5); //Despliega el tiempo
```

```

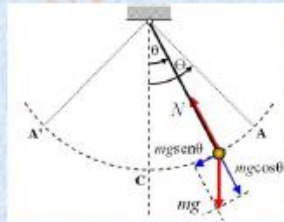
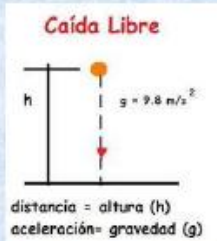
delay(3500);
lcd.clear();
}
}
}

lcd.setCursor(0,0); //las posiciones parte en 0 y la primera fila también es 0
lcd.print("gpr m/s^2=");
lcd.print(gprom/5,4); //Despliega el tiempo
lcd.setCursor(0,1); //las posiciones parte en 0 y la primera fila también es 0
lcd.print("tprom=");
lcd.print(_____/5, 4); //Despliega el tiempo
delay(4000);
lcd.clear();
if (i=5)
i=0;
tprom=0;
gprom=0;
}

```

• **Procedimiento**

De acuerdo a los pensadores mostrados anteriormente y de las lecturas originales de cada uno, realiza una serie de preguntas que crees poder dar solución a las experiencias de cada uno de ellos, toma anotación de cada experiencia: una observacional, como experimental y realiza tus conclusiones.



HALLAR EL VALOR DE LA ACELERACIÓN DE LA GRAVEDAD (g)

1. En los casos anteriores de acuerdo con la variación de las alturas, grados de libertad, anotar en la tabla el valor de la gravedad.

Longitud (m)					
Periodo T (s)					

Gravedad m/s ²					
------------------------------	--	--	--	--	--

2. Has una descripción de la experiencia, ¿Son coherentes las visiones aristotelias, Galileanas y newtonianas de acuerdo a la experiencia? ¿Cuál de estas 3 teorías se asemejan mas a la actividad experimental? saca tus conclusiones.
3. ¿Cual debería ser la longitud del pendulo para que recorra su distancia en segundos? ¿Y en un segundo cuantos metros recorre un objeto en caída libre?
4. Realiza diferentes observaciones a las propuestas en esta actividad. ¡Juega a experimentar!
5. ¿Que aportes observas con el uso de nuevas tecnologías? ¿Que aspectos positivos obtuvieron con el manejo del prototipo?
6. ¿Bajo que supuestos los pensadores realizaron sus estudios entorno a la caída de los cuerpos?
7. ¿Consideran que la aceleración de la gravedad es constante, si no lo es bajo que argumentos responden a esta pregunta?

No olvidar citar las fuentes consultadas.

Distancia masa al suelo (m)					
Tiempo de caída (s)					
Gravedad m/s ²					

Recapitulando

- ✦ Inicialmente el estudio de la caída de los cuerpos eran de carácter metafísico.
- ✦ Las leyes del movimiento de Newton constituyen la base de la mecánica.
- ✦ La masa es una propiedad intrínseca de todo cuerpo.
- ✦ La fuerza es un importante parámetro que describe las acciones gravitatorias.
- ✦ El éter jugó un importante papel en el desarrollo en la explicación de los fenómenos físicos.
- ✦ Actualmente la medición de la aceleración de la gravedad, con el uso de nuevas tecnologías se han hecho más precisas.
- ✦ Ni a la teoría ni el experimento se les puede poner un papel principal a la hora de construir conocimientos, más bien lo que se espera es que, en la actividad científica, la fase experimental y la fase teórica estén situadas el mismo plano, y es de suponer que ambas tengan la misma autonomía.

Bibliografía Para tener en cuenta en las dinámicas de aula

- aristóteles. (1987). *Aristóteles Acerca De La Generacion Y La Corrupción Tratados Breves De Historia Natural*. (E. La Croce, & A. B. Pajares, Trads.) Madrid: Cremos.
- Cohen, B. I. (1983). *La revolución newtoniana y la transformación de las ideas científicas*. Madrid: Alianza.
- Hertz, H. (1996). *Los principios de la mecánica*. Bogota: Universidad Pedagógica nacional.
- Newton, I. (1982). *Principios matemáticos de la filosofía natural*. (A. Escotado, Ed.) Madrid, España: Editora Nacional.
- Westfall, R. (1967). Hooke and the law of universal gravitation . *The British Journal for the history of science* , 245-261.
- Koyré, A. (1980). *Estudios galileanos*. (M. Gonzales Ambóu, Trad.) Madrid: Siglo veintiuno España Editores, S.A.