

**CONSTRUCCION DEL ARO DE MÜLLER E INCORPORACIÓN DEL SOFTWARE
TRACKER COMO INSTRUMENTO DE REGISTRO Y ANÁLISIS DE DATOS**



JOHN ALEXANDER ESCOBAR PÉREZ

CODIGO: 2000246012

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

BOGOTÁ

2017

**CONSTRUCCION DEL ARO DE MÜLLER E INCORPORACIÓN DEL SOFTWARE
TRACKER COMO INSTRUMENTO DE REGISTRO Y ANÁLISIS DE DATOS**

JOHN ALEXANDER ESCOBAR PÉREZ

Monografía para optar al título de licenciado en física

Asesor

Línea de profundización

**EL COMPUTADOR Y LAS PRÁCTICAS EXPERIMENTALES EN LA ENSEÑANZA
DE LA FÍSICA**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA**

BOGOTÁ

2017

NOTA DE ACEPTACIÓN

ASESOR

JURADO 1

JURADO 2

La mayoría de las ideas fundamentales de la ciencia son esencialmente sencillas y, por regla general, pueden ser expresadas en un lenguaje comprensible para todos.

Albert Einstein

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Eduardo Garzón por sus valiosos aportes para la construcción del Aro de Müller, los escritos de proyecto y trabajo de grado, por su paciencia y apoyo en la realización de este proyecto.

A los docentes del Proyecto Curricular de Licenciatura en Física de la Universidad Pedagógica Nacional por sus valiosas enseñanzas y contribuir enormemente en mi formación personal y profesional.

A mi madre por su esfuerzo y apoyo, por haberme infundido el valor del trabajo y de la humildad. A mi padre por su incondicionalidad y colaboración. A mi esposa Aurora y a mis hijos Alejandra y Felipe quienes con su amor y comprensión fortalecieron el espíritu de estudio. A mis compañeros de pregrado y amigos incondicionales, Miguel Galindo, Sebastián Vásquez y Manuel Quimbayo quienes me brindaron su apoyo absoluto y enriquecieron con sus aportes este proyecto.

RESUMEN

En el presente trabajo se diseña y construye un Aro de Müller con materiales de bajo costo y se utiliza para el análisis de los movimientos circular y lineal, se diseñan cuatro prácticas de laboratorio basadas en el enfoque de aprendizaje colaborativo.

El equipo permite el análisis de movimientos simultáneos, posee un coeficiente de fricción mínimo facilitando el estudio de conceptos relacionados con el movimiento circular y el movimiento lineal. Se articula al Aro de Müller un programa de análisis de video (Tracker) de licencia libre, que permite al usuario o usuarios modelar el movimiento del aro, facilitando el registro y análisis de datos. El montaje cuenta con cuatro prácticas experimentales, una se desarrolla incorporando el uso de Tracker y los tres restantes quedan propuestas para posteriores trabajos.


Palabras clave: Aro de Müller, Tracker, movimiento circular, aprendizaje colaborativo, análisis de video.

ABSTRACT

In the present work, a Müller ring with low cost materials is designed and constructed and used for the analysis of circular and linear movements, four laboratory practices based on the collaborative learning approach are designed.

The equipment allows the analysis of simultaneous movements, has a minimum coefficient of friction facilitating the study of concepts related to circular movement and linear movement. A free-of-charge video analysis program (Tracker) is articulated to the Müller Ring, which allows the user or users to model the movement of the hoop, facilitating the recording and analysis of data. The assembly has four experimental practices, one is developed incorporating the use of Tracker and the remaining three are proposed for further work.

Keywords: Müller ring, Tracker, circular movement, collaborative learning, video analysis.

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Escuela de Pedagogía</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 8 de 85	

1. Información General	
Tipo de documento	Trabajo de grado
Acceso al documento	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
Título del documento	Construcción del Aro de Müller e implementación del software Tracker como instrumento de registro y análisis de datos.
Autor(es)	Escobar Pérez, John Alexander.
Director	No aplica.
Publicación	Bogotá. Universidad Pedagógica Nacional, 2017. 50 p
Unidad Patrocinante	Universidad Pedagógica Nacional
Palabras Claves	ARO DE MÜLLER, TRACKER, MOVIMIENTO CIRCULAR, APRENDIZAJE COLABORATIVO, ANÁLISIS DE VIDEO.

2. Descripción
<p>En el trabajo de grado se muestra el diseño y construcción del Aro de Müller y su optimización, se implementa el uso del software de análisis de video Tracker en una práctica de laboratorio relacionada con el movimiento circular y se diseñan tres guías: inercia rotacional, momento de inercia y conservación de la energía en el aro de Müller, que quedan propuestas para el desarrollo de otros trabajos. El componente pedagógico del trabajo se centra en el aprendizaje colaborativo, el cual se implementa a través del trabajo en el laboratorio y el desarrollo de las guías propuestas.</p>

3. Fuentes
<p>-Meza, I., -Sampallo, S., -Aguirre, G., & -Concari, M. S. (2000). Trabajos de Laboratorio de Física en ambiente real y virtual. <i>Comunicaciones Científicas y Tecnológicas</i>. Recuperado a partir de http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt/2000/2_humanisticas/h_pdf/h_055.pdf</p> <p>Alfonso, C. A. A. (2004). Prácticas de laboratorio de Física general en internet. <i>Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias</i>, 3(2), 202–210. Recuperado a partir de http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen3/REEC_3_2_6.pdf</p> <p>Bettetini, G., Colombo, F., & Gentile Vitale, J. C. (1995). <i>Las nuevas tecnologías de la comunicación</i>. Paidós Ibérica. Recuperado a partir de http://168.176.5.96/F/YTE5UV7T2XVME9YCP7U2CIE5A24KFQAINY85F7GGMRE8V6XEBF-17746?func=full-set-set&set_number=024792&set_entry=000001&format=999</p>

Centrodeescritura, J. A. V. E. R. I. A. N. O., & Centrodeescritura, J. A. V. E. R. I. A. N. (s/f).

Normas APA. Recuperado a partir de <http://portales.puj.edu.co/ftpcentroescritura/Recursos/Normasapa.pdf>

César, A., Collazos, O. Δ., Guerrero, L., & Vergara, A. (s/f). Aprendizaje Colaborativo: un cambio en el rol del profesor. Recuperado a partir de <https://users.dcc.uchile.cl/~luguerre/papers/CESC-01.pdf>

Greeno, J. G., & Engeström, Y. (s/f). Learning in Activity. En R. K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences* (pp. 128–148). Cambridge: Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781139519526.009>

Kofman, H., Ocampo, H., Amongero, W., Cámara, C., Tozzi, E., & Cristófoli, F. (s/f). INTEGRACION DE CINEMATICA Y DINAMICA CON EXPERIENCIAS MANEJADAS POR COMPUTADORA. Recuperado a partir de <http://www.oocities.org/ar/hugoakofman/download/documentos/volante.pdf>

Normas APA 2016 (Formato APA) para la presentación de trabajos escritos. (s/f). Recuperado el 28 de enero de 2018, a partir de <http://normasapa.com/>

Serway, R. A. (1993). *Física*. McGraw-Hill. Recuperado a partir de <https://catalogo.unbosque.edu.co/uhtbin/cgiisirs.exe/?ps=f541qpAW1b/BIBLIOBOSQ/X/9>

4. Contenidos

El presente trabajo contiene 4 capítulos, el primero hace referencia al diseño y construcción del Aro de Müller y la implementación del programa de análisis de video Tracker como instrumento de registro y análisis de datos, se plantean, una pregunta problema y unos objetivos que permitan dar solución a la problemática. El capítulo 2 hace referencia al marco teórico en el cual, se abordan tres componentes: componente pedagógico, donde se describe el modelo de aprendizaje colaborativo, se brindan las características de los roles de los estudiantes y docentes en este modelo, el componente computacional y experimental donde se tiene en cuenta la importancia del uso de las tecnologías de la información y de la comunicación en el aprendizaje de conceptos físicos a través de la implementación de estas en las practicas experimentales, y el componente disciplinar, donde se abordan los conceptos físicos relacionados con la mecánica rotacional: aceleración lineal, aceleración angular, aceleración centrípeta, momento de inercia, energía cinética rotacional, torque y momento angular. En el capítulo 3 se describe el equipo de laboratorio Aro de Müller, se presenta una propuesta de mejora respecto al diseño y montaje del equipo tradicional, se realiza una descripción del aro tradicional, sus partes y su respectivo montaje, luego se hace una descripción del prototipo construido sus ventajas respecto al clásico. También se hace un breve recuento de las etapas de diseño del Aro. Se realiza una revisión al software de video análisis Tracker y su funcionalidad.

El capítulo 4 se realizan las conclusiones y algunas recomendaciones respecto al desarrollo del trabajo. En el anexo se diseñan 4 prácticas experimentales relacionadas con el Aro de Müller. Se implementa el uso del programa de video análisis Tracker en la primera guía y las tres prácticas restantes quedan propuestas para ser desarrolladas en trabajos posteriores. Las cuatro guías de laboratorio planteadas es este capítulo son: 1. Movimiento circular uniformemente acelerado en el Aro de Müller. 2. Inercia rotacional en el Aro de Müller. 3. Momento de inercia en el Aro de Müller. 4. Conservación de la energía en el aro de Müller. La guía No 1 se desarrolló como ejemplo de la implementación del software Tracker, explicando los pasos a seguir para obtener la velocidad y la aceleración centrípeta del Aro de Müller, se explica la obtención de tablas y gráficas y se realiza un análisis de las mismas.

5. Metodología

La estrategia la metodológica con cual se espera desarrollar este proyecto de investigación está basada

en la Acción Participativa (IAP). Entendiendo la participación como "el proceso voluntario asumido conscientemente por un grupo de individuos y que adquiere un desarrollo sistemático en el tiempo y el espacio con el fin de alcanzar objetivos de interés colectivo y cuya estrategia debe tener como instrumento fundamental a la organización" (FAO, 1988)

En esta se combinan dos procesos el conocer y el actuar, implicando en ambos a la población. Resulta de gran utilidad puesto que proporciona un método para estudiar y comprender y transformar la realidad de una determinada comunidad. La IAP permite generar un conocimiento teniendo como base las comprensiones populares para lo cual se proponen las siguientes fases.

- 1) Observación.
- 2) Diagnostico.
- 3) Planificación.
- 4) Acción.
- 5) Evaluación

6. Conclusiones

- Si es posible diseñar y construir equipos de laboratorio con materiales de fácil adquisición optimizando su funcionalidad y su costo.
- La construcción de un equipo de laboratorio requiere de bastante tiempo, es necesario indagar sobre otros equipos que realizan la misma función del que se quiere construir con el fin de detectar las bondades y dificultades que estos presentan sobre nuestro prototipo. De esta manera se pueden realizar las modificaciones que mejoren el desempeño del equipo.
- No siempre una modificación que se haga a un equipo implica una mejora, lo que se puede plantear como una ventaja no siempre lo es.
- La implementación de software en las aulas de clase y en las prácticas de laboratorio permite un acercamiento del estudiante a los conceptos tratados de manera teórica a través de entornos más llamativos.
- La inclusión de dispositivos tecnológicos en las prácticas experimentales, facilitan la adquisición y registro de datos, permitiendo al estudiante centrar su atención en el fenómeno tratado.
- El trabajo colaborativo al interior de las prácticas experimentales facilita la construcción del conocimiento por medio de las interacciones entre los integrantes del grupo. Cada estudiante es responsable de su proceso de aprendizaje, pero a la vez se compromete con los procesos de sus compañeros.

Elaborado por:	John Alexander Escobar Pérez
Revisado por:	Víctor Heredia, Nidia Tuay, Marina Garzón.

Fecha de elaboración del Resumen:	20	02	2017
--	----	----	------

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	12
1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.1 Problema	14
1.2 Justificación	16
1.3 Objetivos.....	20
1.3.2 Objetivos Específicos.....	20
1.4 Antecedentes	20
2. MARCO TEÓRICO.....	22
2.1 Componente pedagógico.....	22
2.1.1 Aprendizaje colaborativo	23
2.2 Componente experimental y computacional.....	27
2.3 Componente disciplinar	30
3 EL ARO DE MÜLLER	51
3.1 Diseño y construcción.....	52
3.2 Optimización del aro de Müller	58
3.3 El programa Tracker	60
4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
4.1 Conclusiones.....	61
4.2 Recomendaciones	62
5 LISTA DE FIGURAS.....	62
6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
7 ANEXOS	64
7.1 Anexo A: PRÁCTICAS EXPERIMENTALES CON EL ARO DE MÜLLER.....	64
7.1.1 Movimiento circular uniformemente acelerado:.....	65
7.2 Implementación del programa Tracker.....	80

INTRODUCCIÓN

El campo educativo al igual que otros medios socioculturales se ha visto sensiblemente influenciado en los últimos años por la intervención de novedades tecnológicas que han modificado significativamente el modo de comunicación e interacción de los seres humanos en numerosas actividades creativas, lúdicas y profesionales.

Muchas de las innovaciones tecnológicas que han surgido en las últimas décadas, han nacido en el ámbito de las investigaciones de laboratorio desarrolladas en los años sesenta, iniciadas por una transformación en el modo de concebir los instrumentos de tipo informático. En efecto, en la década de los cincuenta, los computadores se consideraban como instrumentos de cálculo, mientras que a partir de la década de los sesenta empiezan a ser concebidos como instrumentos capaces de transformar cualquier tipo de información codificada. A este cambio de concepción del uso y de la potencialidad del computador corresponde también un desplazamiento terminológico de la definición de "calculador electrónico" a la de "ordenador electrónico". (Bettetini, Colombo, & Gentile Vitale, 1995).

Teniendo en cuenta esto como punto de referencia, se puede asegurar que un rasgo fundamental de estas nuevas tecnologías consiste en suplir necesidades y cumplir con exigencias presentes en el contexto cultural en el cual se sitúan, partiendo del hecho que "cada nuevo instrumento que utiliza el hombre, por un lado, responde a exigencias ya presentes y, por el otro, transforma el contexto y el entorno en el cual se desarrolla" (Bettetini et al., 1995).

La evolución del computador, de los sistemas de adquisición de datos y de una amplia variedad de sensores está teniendo un importante impacto en el proceso enseñanza-aprendizaje de las ciencias experimentales en general y de la física en particular.

La implementación de estas nuevas tecnologías (hardware y software especializados) en el campo educativo ha convertido al computador en una poderosa herramienta para el docente y en una ayuda valiosa para el estudiante. La inclusión de sensores y software especializado en adquisición y análisis de datos en las prácticas de laboratorio, permiten al usuario recopilar información de manera instantánea, reducir los errores producidos en los procesos de medición, agilidad en la toma de datos, tabulaciones y graficas de manera inmediata. La línea de investigación, el computador y las prácticas experimentales en la enseñanza de la física de la Universidad Pedagógica Nacional no es ajena a dichos cambios y centra su interés en explorar las posibilidades didácticas que brindan la experimentación y las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC), indagando sobre sus alcances, posibilidades y limitaciones. De esta forma, la línea de profundización incentiva a estudiantes de últimos semestres a generar propuestas pedagógicas distintas a las tradicionales, acordes con las necesidades del contexto educativo colombiano, ofreciendo escenarios interesantes a través de prácticas experimentales que articulan la experiencia en el laboratorio con las TIC. Cabe resaltar que las aplicaciones de las TIC en el desarrollo de las prácticas experimentales son limitadas, debido a que la oferta comercial es reducida, los dispositivos tecnológicos son complejos de operar, tienen un alto costo, son poco versátiles y además su diseño tan elaborado los hace poco atractivos.

Este trabajo presenta una propuesta didáctica, ya que incorpora contenidos disciplinares con recursos de multimedia que buscan innovar la práctica pedagógica en el laboratorio de física, articulando el diseño y construcción de un equipo de laboratorio de bajo costo (El aro de Müller), que emplea un dispositivo (cámara digital) de fácil acceso, que por medio de un software de código abierto (Tracker) permite el registro continuo de datos de manera eficaz, en tiempo real, en un entorno atractivo para el estudiante, que le permite de manera visual un acercamiento de la parte teórica tratada en clase con lo que ocurre en la práctica para posteriormente realizar el análisis de los datos obtenidos.

Con lo expuesto anteriormente, este trabajo de grado está dividido de la siguiente manera. En el capítulo 1 se hace una descripción del problema, su justificación y los objetivos. En el siguiente capítulo se muestra el marco teórico haciendo énfasis en los componentes pedagógico, componente experimental y computacional y, finalmente, el componente disciplinar. En el capítulo 3 se muestra la construcción del Aro de Müller, junto con el desarrollo de una guía modelo y su análisis basado en los registros de datos tomados con el programa Tracker. Finalmente se muestran en el último capítulo las conclusiones y perspectivas del presente trabajo de grado.

1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Problema

Una de las principales inquietudes que nos asalta como docentes en el área de física, es la ausencia de buenos equipos de Laboratorio en muchos de los Colegios a nivel Nacional, ya sea por el deterioro, la falta de recursos o los elevados costos que en muchos de los casos

imposibilitan la adquisición de estos. Por esta razón en la línea de profundización “El computador y las prácticas experimentales en la enseñanza de la física” se ha incentivado a estudiantes de últimos semestres hacia la construcción de equipos que involucren un bajo costo y que además presenten un buen grado de confiabilidad en su desempeño en las prácticas experimentales llevadas a cabo.

Desde mi experiencia personal como docente de física en diferentes colegios de Bogotá, otro de los problemas que persiste en la mayoría de los equipos tradicionales que se utilizan en los laboratorios de física, es la falta de instrumentos de medición que permitan registrar datos lo suficientemente precisos con las cuales se pueda llevar a cabo un buen análisis cuantitativo de los fenómenos observados. Los dispositivos ofrecidos por las diferentes empresas proveedoras de equipos de laboratorio se basan en sistemas de sensores como fotoceldas, sensores de ultrasonido y temporizadores que además de poseer un costo elevado son difíciles de operar. Generalmente estos equipos presentan el mismo esquema: el montaje experimental, un sensor y un PC. El PC registra, visualiza y/o almacena las señales capturadas por sensores. Los sensores son transductores que registran las magnitudes físicas a las que son sensibles, transformándolas en magnitudes eléctricas medibles, generalmente una señal eléctrica de tensión. Suelen colocarse en posiciones estratégicas sobre un montaje experimental según los objetivos de la práctica. Una vez capturada la señal por el equipo de trabajo (Generalmente un PC), la señal es digitalizada y procesada, calculándose otras magnitudes derivadas o bien efectuando representaciones gráficas. Estos equipos tienen cierto tipo de limitaciones técnicas debido a que no pueden realizar medidas simultáneas de las distintas variables presentes en el fenómeno observado. Equipos más

completos y que realizan este tipo de tareas vienen soportados por software comercial, razón por la cual son más costosos y poco asequibles para las instituciones educativas.

En este contexto, el uso de tecnologías libres y equipos de bajo costo se presentan como alternativas viables para la enseñanza de la física en las instituciones educativas de todo el país. Existe software de código abierto y de licencia libre que permite el análisis de fenómenos físicos por medio de dispositivos tecnológicos de fácil adquisición. Teniendo como referente lo expuesto anteriormente, este trabajo pretende construir un equipo de laboratorio de bajo costo que cuente con un software de código abierto que modele matemáticamente un fenómeno físico en dos dimensiones, cuya aplicación pedagógica está soportada en el diseño de cuatro guías de laboratorio que a futuro se puedan implementar en el aula de clase. En la primera guía se hace una aproximación al uso de las herramientas del software Tracker necesarias para el análisis de la mecánica rotacional relacionada con el Aro de Müller, sirviendo esta como base para el desarrollo de las otras tres guías propuestas.

1.2 Justificación

El computador como innovación tecnológica ha jugado un papel importante en el desarrollo evolutivo en muchos de los aspectos de la vida cotidiana del ser humano, especialmente en la forma de percibir de una manera diferente la realidad. Una de las principales ventajas en la incorporación de este en el campo educativo reside en la posibilidad de recrear situaciones reales por medio de interfaces, que son dispositivos de tipo informático que permiten comunicar dos sistemas que no “hablan” el mismo lenguaje: por ejemplo, un canal de comunicación que transporta datos de tipo analógico y una terminal que procese datos de tipo digital como el computador.

Por extensión, sin embargo, también es una interface cualquier instrumento que permita comunicar el sistema del usuario y el sistema complejo – formado por el terminal, los canales de transmisión y por el destinatario- que construyen el medio para comunicar. En este caso se distinguen dos tipos de interface que, con terminología informática, se definen como hardware y software. Teniendo en cuenta el fuerte impacto que han venido teniendo el hardware y el software en los entornos experimentales, por un lado, con la inclusión de equipos de laboratorio que permiten a través de diferentes tipos de sensores (hardware) capturar señales analógicas para posteriormente ser procesadas por el computador e interpretadas por software especializado que correlaciona las variables que se quieren analizar. Desde este punto de vista es preciso cuestionar las ventajas que presenta articular las prácticas experimentales y la implementación de hardware y software en la enseñanza de las ciencias y particularmente en el campo de la física. Desde la experiencia personal, inicialmente como estudiante y luego como docente de física he podido observar que existen actividades experimentales en las cuales el valor de la práctica se minimiza hasta el punto de convertirse en un detalle anecdótico, se recuerda por lo “bonito”, lo vistoso o lo sorprendente, pero carece del significado necesario para constituirse en el punto de partida para la construcción del conocimiento. El estudiante centra toda su atención en la toma de datos y deja a un lado la observación del fenómeno estudiado, la correlación de las variables y el análisis cualitativo, devaluando sin ser su intención el carácter formativo de la práctica.

Las prácticas de laboratorio de Física pueden ayudar al alumno, además de desarrollar destrezas básicas y herramientas de la Física experimental y del tratamiento de datos, a manejar conceptos básicos, a entender el papel de la observación directa en Física y a distinguir entre las

inferencias que se realizan a partir de la teoría y las que se realizan a partir de la práctica, a destacar el proceso: observación del fenómeno - obtención de datos experimentales - análisis de los resultados – conclusiones (Alfonso, 2004). Las prácticas de laboratorio pueden desarrollarse de manera que el estudiante esté en contacto físico y pueda manipular los elementos, dispositivos e instrumental requeridos para el experimento (laboratorio real) o utilizando simulaciones interactivas programadas con el empleo del computador (laboratorio virtual). Ambas formas requieren la auto preparación por parte de los estudiantes, a través de guías impresas o formatos digitales. Algunas experiencias muestran que el trabajo en ambos ambientes es complementario (-Meza, -Sampallo, -Aguirre, & -Concari, 2000). Está demostrada la utilidad de la simulación por computador en el proceso de aprendizaje (Kofman et al., s/f). El diseño de las prácticas de laboratorio y su planificación va a depender de múltiples factores: posibilidad de realizarla en forma real, objetivos que se persiguen con cada una, momento en que deben efectuarse, etc. Sin embargo estas deben ser un elemento importante del proceso integral de la construcción de conocimiento científico, en el que las sesiones de introducción de conceptos, los problemas de lápiz y papel y las prácticas de laboratorio constituyan, como en la labor científica, distintas etapas a las que se recurra de acuerdo a la situación en la que se encuentra y debieran exigir un esfuerzo creativo y crítico por parte de los estudiantes y no reducirse a directivas que impongan caminos preestablecidos, inmodificables o incuestionables (Salinas, J. y et 1995).

Desde mi experiencia en el contexto educativo he podido evidenciar que son pocos los colegios que realizan inversiones en equipos de laboratorio e instrumentos de medición computarizados, debido a los altos costos que estos presentan, generalmente, la oferta de las empresas proveedoras de equipos de laboratorio se limitan a módulos básicos en los que se

ofrecen como instrumentos de medida el cronometro, cintas métricas, reglas graduadas, balanzas digitales y dinamómetros que presentan limitaciones en su precisión, sumado a esto se encuentran los errores de tipo humano que hacen que los registros de datos tomados con estos instrumentos, afecten significativamente el análisis cuantitativo de la práctica experimental.

Empresas especializadas en la distribución de materiales y equipos de laboratorio como Pasco, Phywe, Vernier o Arbor Scientific ofrecen en sus catálogos dispositivos basados en sensores tradicionales tipo barrera fotoeléctrica, sensores de ultrasonido y temporizadores que son utilizados en montajes específicos que impiden medir de forma sincronizada tiempo y posición con lo cual las experiencias de laboratorio que se pueden realizar con ellos son bastante limitadas. El uso de este tipo de equipos requiere de cierta pericia del experimentador en la realización del montaje, si la persona no se encuentra familiarizada con la práctica a desarrollar probablemente lo que inicialmente se presentaba como una herramienta facilitadora se convierta en un obstáculo.

Teniendo de referente la problemática anteriormente expuesta, ¿Es posible construir un equipo de laboratorio con materiales de bajo costo que articule un software especializado de uso libre, que realice un registro y análisis de datos de un fenómeno físico en particular? ¿Qué material didáctico es pertinente para vincular el equipo de laboratorio construido con el trabajo en el aula?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General. Construir un equipo de laboratorio (Aro de Müller) de bajo costo que cuente con un software de código abierto (Tracker) que modele matemáticamente un fenómeno físico en dos dimensiones.

1.3.2 Objetivos Específicos.

- Diseñar y construir el aro de Müller con materiales de bajo costo y optimizar su funcionalidad.
- Incorporar el programa Tracker en una guía de laboratorio que permita al estudiante el análisis de la cinemática rotacional en el aro de Müller
- Diseñar 3 guías de laboratorio relacionadas con el Aro de Müller, fundamentadas en el modelo de aprendizaje colaborativo y modeladas por Tracker para ser implementadas en futuros trabajos en el aula.

1.4 Antecedentes

Para el desarrollo del presente trabajo, se realizaron revisiones de trabajos de grado, tesis de maestría, revisiones de artículos de revistas especializadas, tesis doctoral, todos ellos relacionados con la articulación de equipos de laboratorio de bajo costo y la inclusión de las tecnologías de la información y la comunicación centradas en programas de análisis de vídeo de licencia libre. También fueron consultados algunos artículos relacionados con el aprendizaje colaborativo. A continuación, se mencionan algunos de los documentos que sirven de soporte al siguiente trabajo:

En la biblioteca digital de la Universidad Nacional de Colombia, se encuentra la tesis de maestría de Héctor Alfonso Castañeda Londoño, titulada: “Diseño de manual experimental de física, empleando materiales cotidianos” asesorada por Lucero Álvarez Miño, del año 2012. El trabajo plantea la elaboración de un manual de prácticas experimentales con materiales cotidianos, de fácil adquisición que les permita a los estudiantes la aproximación de lo visto teóricamente con la proximidad de su entorno por medio de laboratorios sencillos y fáciles de realizar.

En el Departamento de Física de la Universidad Pedagógica Nacional se encuentra el trabajo de pregrado de Sergio Andrés Diago Arbeláez, titulado: “Diseño y construcción de dispositivos experimentales para el estudio de fuerzas ficticias” asesorado por Eduardo Garzón Lombana, del año 2013. El trabajo rescata las prácticas experimentales en la enseñanza de la física e incorpora dispositivos experimentales con materiales de bajo costo y hace uso en una de sus prácticas del programa Tracker para el modelamiento de un movimiento circular.

En la biblioteca central de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá se encuentra el trabajo de maestría de Miguel Ángel Galindo Archila, titulado: “Prácticas experimentales en la enseñanza de la dinámica del movimiento circular”, del año 2016. El trabajo elabora una propuesta de prácticas experimentales de las fuerzas en un movimiento circular de modo cualitativo y cuantitativo, para facilitar el aprendizaje de los procesos en estudiantes de grado décimo, en este trabajo se hace uso del programa Tracker en una práctica de laboratorio de movimiento circular.

En la biblioteca digital de la Universidad Nacional de Colombia, se encuentra el trabajo de maestría de Héctor Bayardo Gómez Fonseca, titulado: “implementación del programa Tracker como herramienta de análisis en algunas situaciones de cinemática y dinámica en dos dimensiones, aplicando el método de aprendizaje activo”, del año 2016. Propone el análisis de situaciones cotidianas modeladas por el software Tracker como una aproximación del estudiante a la enseñanza aprendizaje de la física por medio del modelo de aprendizaje activo.

2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se hace énfasis en tres componentes: el marco pedagógico donde se toma como soporte el modelo pedagógico del aprendizaje colaborativo en la enseñanza de la física. Luego se hace una revisión bibliográfica del componente experimental y computacional en el que se resalta la importancia de las practicas experimentales en el proceso enseñanza-aprendizaje de la física y la importancia de la articulación de las tecnologías de la información y de las comunicaciones en el contexto educativo y por último está el componente disciplinar que trata del estudio mecánico del movimiento rotacional.

2.1 Componente pedagógico

Durante las últimas décadas, el trabajo en grupo se ha venido implementando en el contexto escolar, impactando de manera positiva el proceso de enseñanza aprendizaje; el aula de clase y el laboratorio son los escenarios perfectos para poner en práctica nuevas dinámicas de aprendizaje centradas en el estudiante como protagonista de su proceso cognitivo. El presente trabajo fundamenta su componente pedagógico en el modelo de aprendizaje colaborativo a través del

diseño de cuatro guías, las cuales se sugieren como material de apoyo a futuros trabajos de implementación en el aula. Las guías brindan una directriz en el desarrollo de las prácticas experimentales para una mejor comprensión de los conceptos físicos relacionados con el Aro de Müller.

El aprendizaje colaborativo promueve el trabajo en grupo brindando la oportunidad para que los estudiantes intervengan en la obtención de definiciones, conjeturas, representaciones y argumentos válidos en la explicación de fenómenos científicos. También se incluyen actividades como la formulación y evaluación de conjeturas, conclusiones y argumentos (Greeno & Engeström, s/f).

2.1.1 Aprendizaje colaborativo. Este modelo pedagógico promueve el desarrollo de actividades que están diseñadas para pequeños grupos de estudiantes dentro de las aulas de clase y el laboratorio; estos grupos se forman después de las indicaciones dadas por el docente (preferiblemente los grupos deben ser heterogéneos). Durante el inicio de la actividad y al interior del grupo, los integrantes intercambian información, socializan sus preconcepciones y sus hipótesis, trabajan mancomunadamente para obtener un objetivo común (el aprendizaje). La participación es fundamental en el aprendizaje colaborativo, ya que brinda la oportunidad para que los estudiantes intervengan en la obtención de definiciones, conjeturas, representaciones y argumentos válidos en la explicación de fenómenos científicos. También se incluyen actividades como la formulación y evaluación de conjeturas, conclusiones y argumentos (Greeno & Engeström, s/f)

En pensamiento de Prescott, (1993), el aprendizaje colaborativo busca propiciar espacios en los cuales se dé, el desarrollo de habilidades individuales y grupales a partir de la discusión entre

los estudiantes al momento de explorar nuevos conceptos, siendo cada uno responsable de su propio aprendizaje. Se busca que estos ambientes sean ricos en posibilidades y, más que simples organizadores de la información propicien el crecimiento del grupo.

Esto conlleva a que los integrantes del grupo se ayuden mutuamente a aprender, a ser responsables, a compartir puntos de vista y recursos, a generar planes de trabajo, a asumir un papel participativo en el proceso de aprendizaje. El estudiante es responsable de su aprendizaje y también en el de sus compañeros, generalmente en los grupos se busca que los estudiantes que poseen mejor desempeño en la asignatura sirvan de tutores a estudiantes con falencias en la misma.

Otro de los factores importantes en el aprendizaje colaborativo son las actividades de aprendizaje estas deben ser planeadas con anticipación, revisadas por el docente, no deben ser improvisadas, deben tener un propósito de aprendizaje. Es necesario planificar con cuidado las etapas más convenientes para la acción grupal. Hay muchas formas de realizar esta planificación, las siguientes son algunas sugerencias que pueden contribuir al éxito en la planificación del proceso.

El aprendizaje colaborativo, cambia el rol del estudiante y el del docente en la dinámica de la clase tradicional. En el siguiente apartado de este trabajo se describen las características del estudiante y del docente en este modelo pedagógico.

2.1.2 Roles de los estudiantes y profesores dentro del aprendizaje colaborativo. A

continuación, se describen el rol que desempeña y las características que debe poseer un docente bajo el esquema de aprendizaje colaborativo. Según (César, Collazos, Guerrero, & Vergara, s/f)

- **El profesor como mediador cognitivo:** la habilidad del profesor al usar las habilidades de enseñanza facilitadoras durante el proceso de aprendizaje de pequeños grupos es el determinante más importante en la calidad y éxito de cualquier método educativo ayudando a desarrollar habilidades de razonamiento cuando frecuentemente pregunta: ¿Por qué?, ¿Qué significa?, ¿Cómo sabe que es cierto?

Uno de los principios básicos del mediador cognitivo es dar la suficiente ayuda al estudiante cuando la necesite, ni mucha ni poca, de tal forma que el estudiante mantenga cierta responsabilidad para su propio aprendizaje.

El profesor como mediador cognitivo, no debe influir sobre el aprendizaje del estudiante diciéndole qué hacer o cómo pensar, se limitará a orientar al estudiante por medio de preguntas que lo incentiven a indagar la temática.

- **Profesor como Diseñador Instruccional:** en este esquema el profesor se encarga de definir las condiciones iniciales del trabajo. Se debe planear los objetivos académicos, definiendo claramente las unidades temáticas y los conocimientos mínimos que deben ser adquiridos durante el proceso de enseñanza en cada una de ellas. Esto requiere adicionalmente, explicar los criterios de éxito, definir las tareas a realizar con unos objetivos claramente definidos, explicar claramente los conceptos que subyacen el conocimiento de cada temática, definir los mecanismos de evaluación que se tendrán, y monitorear el aprendizaje de los alumnos dentro de la sala de clase. Es importante anotar, que el diseñador instruccional debe tener en cuenta que este papel está inmerso dentro de toda la filosofía de trabajo colaborativo y que implica,

por lo tanto, diseñar materiales o ambientes de aprendizaje, donde haya muchas oportunidades para que los estudiantes puedan acceder al contenido de una forma altamente individualizada.

- **El profesor como instructor:** las actividades del profesor son las más parecidas al modelo de educación tradicional; le corresponde realizar actividades de enseñanza tanto de las unidades temáticas como de las habilidades sociales y de trabajo en grupo. El conjunto de actividades que se deben realizar es: Explicar la tarea, monitorear e intervenir y, evaluar y procesar.

Las actividades en equipos de trabajo ayudarán a los estudiantes a conocerse y a confiar entre ellos. Otras habilidades sociales importantes se refieren a aceptar y apoyar a los demás en la resolución de problemas de una forma constructiva. De esta forma, el rol como instructor, incluye modelar habilidades.

El rol que asumen los estudiantes en el aprendizaje colaborativo debe cumplir con las siguientes características:

- **Responsables por el aprendizaje:** Los estudiantes se hacen cargo de su propio aprendizaje y son autorregulados. Ellos definen los objetivos del aprendizaje y los problemas que son significativos para ellos.
- **Motivados por el aprendizaje:** Los estudiantes son comprometidos, poseen una pasión para resolver problemas y entender ideas y conceptos. Para estos estudiantes el aprendizaje es intrínsecamente motivante.

- **Colaborativos:** Los estudiantes entienden que el aprendizaje es social. Están “abiertos” a escuchar las ideas de los demás, a articularlas efectivamente, tienen empatía por los demás y tienen una mente abierta para conciliar con ideas contradictorias u opuestas.
- **Estratégicos:** Los estudiantes continuamente desarrollan y refinan el aprendizaje y las estrategias para resolver problemas. Esta capacidad para aprender a aprender (meta cognición) incluye construir modelos mentales efectivos de conocimiento y de recursos, aun cuando los modelos puedan estar basados en información compleja y cambiante.

Acorde con los roles que se asumen en el modelo del aprendizaje colaborativo tanto para estudiantes como docentes, este modelo se ajusta a la propuesta que se presenta en este trabajo.

2.2 Componente experimental y computacional.

2.2.1 El uso del experimento en el aula. La física es una ciencia experimental que estudia la naturaleza a través de la observación de los fenómenos que ocurren en ella, y trata de describirla haciendo uso de modelos matemáticos con los cuales se busca la formalidad de las leyes que la rigen. El estudio de los fenómenos naturales en el laboratorio implica el diseño de esquemas reproducibles, permitiendo al estudiante la manipulación de las diferentes variables que intervienen para que el fenómeno se produzca en su entorno natural. Esta interacción permite la comprensión de los conceptos y el desarrollo de habilidades a través del análisis cualitativo y cuantitativo por parte del estudiante y un acercamiento de este al conocimiento científico de una manera más perceptible que la clase teórica. La práctica de laboratorio permite al estudiante una interpretación más completa del fenómeno, la observación le permite realizar conjeturas, aclarar

conceptos, confrontar lo que sabía con lo que está vivenciando. La implementación de prácticas de laboratorio en las clases de física permite al docente acercar al estudiante de manera amena al conocimiento científico, las practicas propuestas por el docente deben ser bien diseñadas, fáciles de realizar, con montajes sencillos e innovadores que incentiven al estudiante, que le permita generar hipótesis, que lo motiven a indagar de manera autónoma.

Uno de los principales factores de apatía por parte de los estudiantes en la actividad en el laboratorio radica en la adquisición de datos y el procesamiento y análisis de estos. La inclusión de dispositivos que le faciliten al estudiante la adquisición de datos de manera instantánea, la tabulación de estos y la representación gráfica para su posterior análisis, permiten al estudiante centrar su atención en la observación del fenómeno, en la correlación de las variables que están interactuando, en profundizar su análisis cualitativo, en inferir información importante de las representaciones gráficas y la comprensión de los modelos matemáticos que soportan

2.2.2 El uso del computador en el aula. El gobierno colombiano en cabeza del Señor Andrés Pastrana Arango (1998-2002) durante una visita oficial a Canadá en mayo de 1999, tuvo la oportunidad de conocer el Programa "Computers for Schools" de dicho país, y tras observar los innumerables beneficios de esta iniciativa, decidió implementar un programa similar para el caso colombiano. Por encargo del Presidente, el Departamento Nacional de Planeación elaboró el Documento Conpes 3063 para el Consejo Nacional de Política Económica y Social, el cual aprobó el Programa y encomendó su desarrollo al Ministerio de Comunicaciones, Ministerio de Educación y SENA.

El 15 de marzo de 2001 se da inicio al Programa Computadores para Educar, con el objetivo principal de recolectar computadores dados de baja por empresas públicas y privadas, para su reacondicionamiento y posterior entrega, sin costo, a escuelas y colegios públicos oficiales, a los cuales se brinda además acompañamiento educativo. El Decreto 2324 de noviembre del 2000 y la Directiva Presidencial 02 de 2001 complementaron el marco político y facilitaron el desarrollo de Computadores para Educar.

En Colombia y en el mundo en general, existe una gran brecha tecnológica que divide a la humanidad entre aquellos que tienen acceso a las TIC, y por lo tanto a todos sus beneficios, y un segundo grupo mayoritario que no tiene acceso a estos recursos y a sus innumerables oportunidades de educación, acceso al conocimiento, desarrollo laboral, etc. Por esta razón, el gobierno nacional ha generado estrategias para disminuir esta brecha y formar una sociedad más equitativa y con oportunidades para toda la población, generando las condiciones para el desarrollo del país en todos los frentes.

Debido a la necesidad de aprovechar estas tecnologías, y a su creciente uso en todos los sectores del país, resulta de gran importancia que los colegios y escuelas públicas colombianas, especialmente en los sectores rurales, cuenten con equipos de cómputo y acompañamiento educativo que les permita usar la tecnología como una efectiva herramienta de apoyo pedagógico en los procesos de enseñanza y aprendizaje. Sin embargo, a causa de su limitada capacidad económica, la mayoría de estas instituciones no cuenta con computadores para el desarrollo de estas actividades, por lo cual miles de niños, niñas y jóvenes en Colombia no tienen acceso a las

herramientas necesarias para ser exitosos en una economía y una sociedad regidas por las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.

Computadores para Educar se constituye en una efectiva iniciativa que permite a la infancia y a la juventud mejorar su acceso a las herramientas tecnológicas en su ambiente de aprendizaje. La inclusión del computador y las nuevas tecnologías de la comunicación en todos los aspectos sociales es un hecho. En la actualidad el uso de estas tecnologías permite la interacción de diferentes culturas, el intercambio de información de manera inmediata, el acceso a múltiples fuentes de información de manera instantánea. Son múltiples los beneficios que han permitido que aparatos inicialmente diseñados para personas expertas y tareas muy específicas, se haya convertido en un medio masivo de información y comunicación. El desarrollo del computador va estrechamente ligado al desarrollo de la tecnología y las nuevas formas de comunicación, el acceso y almacenamiento de información son apenas unas de las pocas bondades que tienen las TIC. El campo educativo no ha sido ajeno a este desarrollo y se ha visto permeado por nuevas interacciones y dinámicas en las aulas de clase a nivel mundial.

2.3 Componente disciplinar

En nuestro entorno, uno de los movimientos que podemos encontrar con mayor frecuencia es el de rotación. La Tierra gira alrededor de su propio eje, las manecillas de los relojes rotan para indicar la hora, los yoyos cuando son lanzados por el jugador, un clavadista efectúa movimientos de rotación antes de ingresar al agua y también lo hace un patinador artístico cuando realizan sus piruetas tanto en el suelo como cuando está en el aire.

En este componente se abordan la cinemática y dinámica rotacional. En primera instancia se definen las magnitudes cinemáticas desplazamiento angular, velocidad angular y aceleración angular, se analizarán las características de un movimiento uniformemente acelerado haciendo uso de un tocadiscos, también se aclara el concepto de cuerpo rígido y como se da el tratamiento al movimiento de rotación del mismo.

En segunda instancia se abordan las magnitudes físicas involucradas en la dinámica de rotación a través de situaciones presentes en la cotidianidad que permitan al estudiante una mejor comprensión de los conceptos involucrados en el tema de dinámica rotacional.

Una vez tratados los temas de cinemática y dinámica de rotación del cuerpo rígido, se introducirán las prácticas experimentales relacionadas con el aro de Müller para después ser sometidas al programa de video análisis Tracker de tal manera que el estudiante este en la capacidad de confrontar lo aprendido en clase con el análisis cuantitativo que brinda el programa luego del proceso de modelamiento por medio de los datos registrados durante el movimiento del Aro. Con esto se busca que el estudiante comprenda a través de la relación de variables los conceptos físicos propios del movimiento de rotación tanto a nivel cinemático como dinámico.

2.3.1 Cinemática rotacional. El movimiento de rotación tiene como característica que es un movimiento bidimensional, no puede ser tratado como partícula y su movimiento se da alrededor de un eje fijo llamado de rotación. En el movimiento rotacional los cuerpos son tratados como conjuntos de partículas y reciben el nombre de objetos extendidos. Cuando un objeto extendido como un disco de vinilo es puesto sobre un tocadiscos en funcionamiento, el disco gira alrededor de un eje que pasa por su centro, el disco no puede ser tratado como partícula debido a que en cualquier instante dado diferentes partes del disco tienen velocidades y aceleraciones diferentes.

Sin embargo, si consideramos el disco como un objeto extendido que está compuesto de una colección muy grande de partículas, cada partícula tendrá su propia velocidad y aceleración lineal (tangencial).

2.3.1.1 Desplazamiento, velocidad y aceleración angular. Retomando el ejemplo del tocadiscos, consideremos la rotación del disco de vinilo alrededor del eje perpendicular al plano de este, que pasa por el punto O , llamado pivote, tal como lo muestra la figura 1a.

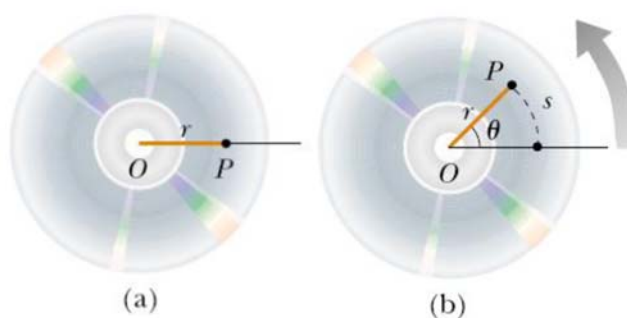


Figura 1.

Fuente: Serway, R. A. (1993). Física. McGraw-Hill.

Si analizamos el movimiento de una de las partículas que lo componen, ubicada en el punto P , se puede observar que a medida que el disco rota, dicha partícula se desplaza sobre el arco de una circunferencia de radio r centrada en O , como lo muestra la figura 1b.

Al observar el disco como un objeto extendido, podemos ver que todas las partículas que lo componen realizan un movimiento circular alrededor del pivote.

Si representamos la posición de la partícula en el punto P en coordenadas polares (r, θ) donde r es la distancia del pivota al punto P, mientras que θ es el ángulo formado a partir el eje polar $(+x)$ medido en la dirección contraria a las manecillas del reloj.

A medida que la partícula se desplaza en su trayectoria circular, describe un arco S a partir de una línea de referencia (radial) en donde $(\theta = 0)$, que también recibe el nombre de eje polar.

La longitud del arco S se relaciona con el ángulo θ mediante la expresión:

$$s = r\theta$$

De donde:

$$\theta = \frac{s}{r}$$

En donde θ es el ángulo barrido por la partícula, S es el segmento de arco y r es la distancia del pivote a la posición de la partícula (llamado radio vector).

Para poder llegar a los conceptos de velocidad y aceleración angular, consideremos que el disco está formado por múltiples partículas puntuales. Cuando el disco gira, la distancia entre dos partículas cualesquiera permanece constante, es decir, fija tal sistema se llama cuerpo rígido.

Debido a que nuestro disco de vinilo es un cuerpo rígido, si centramos nuestra atención sobre una partícula, esta se mueve sobre una trayectoria circular, las demás partículas que conforman el disco también rotan el mismo ángulo, de acuerdo con esto es válido asociar el ángulo a una partícula que al disco completo.

De acuerdo con la siguiente grafica podemos observar que si una partícula se desplaza de la posición A hasta la posición B en un intervalo de tiempo Δt , el radio vector r barre un ángulo $\Delta\theta$. Como se aprecia en la figura.

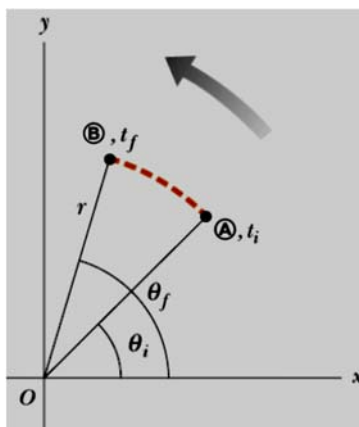


Figura 2.

Fuente: Serway, R. A. (1993). Física. McGraw-Hill.

Considerando que un cambio de posición se define como desplazamiento es posible observar que la partícula cambio de la posición A con un ángulo inicial θ_i hasta una posición B con un ángulo θ_f entonces tenemos que $\Delta\theta = \theta_f - \theta_i$ lo que se define como desplazamiento angular. Ahora bien, como la partícula se desplazó de la posición A a la Posición B y lo hizo en un intervalo de tiempo $\Delta t = t_f - t_i$ podemos relacionar estas dos magnitudes teniendo en cuenta la ecuación de velocidad lineal

$$\vec{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i}$$

Medida en m/s

Realizando una pequeña analogía con las ecuaciones de desplazamiento angular tenemos:

$$\vec{\omega} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{\theta_f - \theta_i}{t_f - t_i}$$

Medida en rad/s

La velocidad angular $\vec{\omega}$ es positiva para la rotación en sentido contrario a las manecillas del reloj, cuando el ángulo θ crece y negativa en sentido horario cuando el ángulo θ decrece.

Cuando se analiza un movimiento de rotación respecto a un eje fijo, sólo existen dos posibles sentidos de rotación para la velocidad angular, que podemos describir como rotación horaria y anti horaria. La variación de la velocidad angular respecto al tiempo se denomina aceleración angular

$$\alpha = \frac{\Delta \vec{\omega}}{\Delta t} = \frac{\vec{\omega}_f - \vec{\omega}_i}{t_f - t_i}$$

Medida en rad/s^2 . La aceleración angular es positiva si la velocidad angular $\vec{\omega}$ se incrementa y negativa si $\vec{\omega}$ disminuye.

Las tres magnitudes: desplazamiento angular θ , velocidad angular $\vec{\omega}$, y aceleración angular, son magnitudes análogas a los desplazamientos lineales.

2.3.1.2 Movimiento rotacional uniformemente acelerado. Debido a la semejanza entre las definiciones de las magnitudes de rotación y lineales, la mayoría de ecuaciones del movimiento rectilíneo uniformemente acelerado son análogas a las del movimiento de rotación uniformemente acelerado, podemos empezar con algunas de las ecuaciones de movimiento rectilíneo uniformemente acelerado más comunes, por ejemplo, se entiende la aceleración de un móvil como el cambio de velocidad que sufre en un intervalo de tiempo para lo cual tenemos la siguiente ecuación:

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_f - \vec{v}_i}{t_f - t_i}$$

Si relacionamos esta ecuación con la de aceleración angular tenemos que:

$$\alpha = \frac{\Delta \vec{\omega}}{\Delta t} = \frac{\vec{\omega}_f - \vec{\omega}_i}{t_f - t_i}$$

Ahora bien, si de la ecuación de aceleración lineal despejamos la velocidad final se tiene:

$$\vec{a} = \frac{\vec{v}_f - \vec{v}_i}{t_f - t_i} \Rightarrow \vec{v}_f = \vec{a}(t_f - t_i) + v_i$$

Esta ecuación se puede escribir de otra forma si consideramos que $(t_f - t_i)$ es el tiempo t en el cual se dio la variación de velocidad

$$\vec{v}_f = \vec{a}t + v_i \rightarrow \vec{v}_f = \vec{v}_i + \vec{a}t$$

Si realizamos el mismo algoritmo para la velocidad angular final, tenemos:

$$\vec{\alpha} = \frac{\vec{\omega}_f - \vec{\omega}_i}{t_f - t_i} \Rightarrow \vec{\omega}_f = \vec{\alpha}(t_f - t_i) + \vec{\omega}_i$$

Se hace la misma aclaración del movimiento rectilíneo, la variación de t equivale al tiempo que transcurre la variación de la velocidad angular, por tanto, la ecuación que se obtiene es:

$$\vec{\omega}_f = \vec{\alpha}(t_f - t_i) + \vec{\omega}_i \Rightarrow \vec{\omega}_f = \vec{\alpha}t + \vec{\omega}_i \rightarrow \vec{\omega}_f = \vec{\omega}_i + \vec{\alpha}t$$

Que es análoga a la ecuación del movimiento rectilíneo y que sólo difieren dimensionalmente entre sí. Además, se debe resaltar que tanto para el movimiento rectilíneo como para el movimiento de rotación alrededor de un eje fijo el movimiento acelerado más sencillo de analizar es el que se realiza con aceleración lineal constante y aceleración angular constante respectivamente.

Tabla 1.

Comparación de las ecuaciones cinemáticas para movimiento de rotación y lineal con aceleración constante

Movimiento de rotación alrededor de un eje fijo. Con $\vec{\alpha}$ constante. Variables: θ y $\vec{\omega}$	Movimiento lineal con aceleración constante. Variables: x y \vec{v}
$\vec{\omega}_f = \omega_o + \vec{\alpha}t$	$\vec{v}_f = \vec{v}_o + \vec{a}t$
$\theta = \theta_o + \vec{\omega}_o t + \frac{1}{2} \vec{\alpha} t^2$	$x = x_o + \vec{v}_o t + \frac{1}{2} \vec{a} t^2$
$\vec{\omega}^2 = \vec{\omega}_o^2 + 2\vec{\alpha}(\theta_f - \theta_i)$	$\vec{v}^2 = \vec{v}_o^2 + 2\vec{a}(x_f - x_i)$

De acuerdo con la tabla es posible observar que las expresiones cinemáticas para el movimiento de rotación con aceleración angular constante tienen la misma estructura que las correspondientes al movimiento lineal con aceleración lineal constante haciendo las sustituciones $x \rightarrow \theta$, $\vec{v} \rightarrow \vec{\omega}$, $\vec{a} \rightarrow \vec{\alpha}$. Además, las expresiones son válidas tanto para la rotación del cuerpo rígido como para el movimiento de una partícula alrededor de un eje fijo.

2.3.1.3 Rotación del cuerpo rígido. A continuación, se obtendrán algunas relaciones entre la velocidad y aceleración angular de un cuerpo rígido que gira, y la velocidad y aceleración lineales de un punto arbitrario del cuerpo. Se debe tener en cuenta que cuando un cuerpo rígido gira alrededor de un eje fijo, toda partícula que pertenece al cuerpo se mueve describiendo una circunferencia cuyo centro está en el eje de rotación.

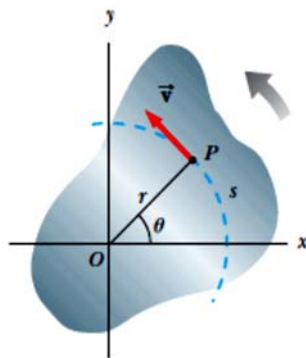


Figura3.

Fuente: Serway, R. A. (1993). *Física*. McGraw-Hill. Recuperado a partir de <https://catalogo.unbosque.edu.co/uhtbin/cgiisirs.exe/?ps=f541qpAW1b/BIBLIOBOSQ/X/9>

Estableciendo la relación de la velocidad angular, $\vec{\omega}$, del cuerpo que gira con una velocidad tangencial, \vec{v} , de un punto sobre él. Tomando un punto P como lo muestra la anterior figura, este se mueve describiendo una circunferencia, el vector velocidad lineal siempre es tangente a la trayectoria circular, a esto se debe el término de velocidad tangencial. La magnitud de la velocidad tangencial del punto P está determinada como $\frac{ds}{dt}$ en donde s es la distancia del desplazamiento medida a lo largo de la trayectoria circular. Recordando que $s=r\theta$ con r constante, obtenemos:

$$\vec{v} = \frac{ds}{dt} = r \frac{d\theta}{dt} \Rightarrow \vec{v} = r \cdot \vec{\omega}$$

Es decir, la velocidad tangencial de un punto en un cuerpo rígido que gira es igual a la distancia del punto al eje de rotación multiplicada por la velocidad angular $\vec{\omega}$. De esto se concluye que todo punto del cuerpo rígido tiene la misma velocidad angular pero no todos los puntos tienen la misma velocidad lineal. La velocidad lineal de un punto del cuerpo giratorio aumenta a medida que se aleja del centro de rotación.

La relación existente entre la aceleración angular del cuerpo rígido que gira con la componente tangencial de la aceleración lineal del punto P, está dada por:

$$\vec{a}_t = \frac{d\vec{v}}{dt} = r \frac{d\vec{\omega}}{dt} \Rightarrow \vec{a}_t = r \cdot \vec{\alpha}$$

La componente tangencial de la aceleración lineal de un punto de un cuerpo rígido que gira es igual a la distancia del punto al eje de rotación multiplicada por la velocidad angular.

En la figura se muestra un objeto que se mueve sobre una trayectoria circular con una velocidad lineal constante v .



Figura 4.

Fuente: Serway, R. A. (1993). Física. McGraw-Hill. Recuperado a partir de <https://catalogo.unbosque.edu.co/uhtbin/cgiisirs.exe/?ps=f541qpAW1b/BIBLIOBOSQ/X/9>

Para un estudiante es sorprendente encontrar que, aunque el objeto se mueva con una velocidad constante, éste tenga una aceleración. Para analizar esta situación, es necesario considerar la ecuación que define la aceleración media:

$$\bar{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

Observe que la aceleración depende del cambio en el vector velocidad.

Ya que la velocidad es un vector, hay dos maneras en las cuales se puede producir una aceleración: por un cambio en la magnitud de la velocidad y por un cambio en la dirección de la velocidad. La segunda situación ocurre para un objeto que se mueve en una trayectoria circular con velocidad constante. El vector velocidad siempre es tangente a la trayectoria de la partícula y

en este caso es perpendicular a r . Más adelante se demostrará que el vector aceleración para este caso en particular es perpendicular a la trayectoria y siempre apunta hacia el centro del círculo.

Una aceleración de esta naturaleza se llama aceleración centrípeta (centro – dirigida) y su magnitud está dada por:

$$a_r = \frac{v^2}{r}$$

Para llegar a esta ecuación, observe la figura b

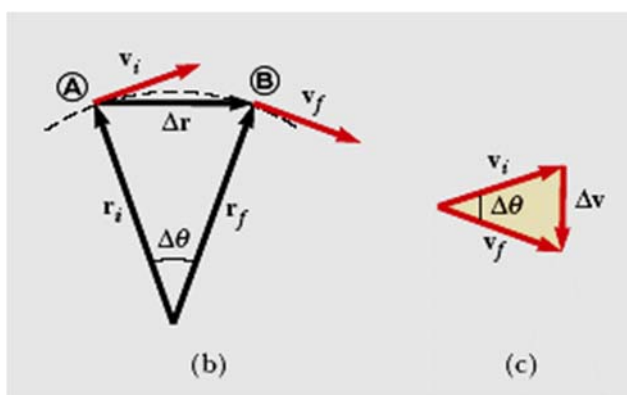


Figura 5.

Fuente: Serway, R. A. (1993). Física. McGraw-Hill. Recuperado a partir de <https://catalogo.unbosque.edu.co/uhtbin/cgiisirs.exe/?ps=f541qpAW1b/BIBLIOBOSQ/X/9>

En esta situación un objeto se desplaza del punto A con velocidad v_i en el tiempo t_i hasta el punto B con velocidad v_f en el tiempo final t_f . Se deduce también aquí que v_i y v_f difieren solamente en la dirección, sus magnitudes son las mismas (es decir $v_i = v_f = v$). Para calcular la aceleración es necesario definir a la aceleración media:

$$\bar{a} = \frac{\vec{v}_f - \vec{v}_i}{t_f - t_i} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$$

La ecuación indica que se debe realizar la diferencia vectorial entre v_i y v_f , donde

$\Delta v = v_f - v_i$ es el cambio en la velocidad. Es decir Δv se obtiene al sumar a v_f el vector $-v_i$.

Esto se puede ver gráficamente con el triángulo vectorial mostrado en la figura c. observe que cuando Δt es muy pequeño, Δs y Δv son también muy pequeños. Para este caso, v_f será casi paralelo a v_i y el vector Δv será aproximadamente perpendicular a ellos, apuntado hacia el centro del círculo.

Ahora considérese el triángulo de la figura b, el cual tiene de lados a Δr , r_i y r_f . Este triángulo y el formado por los lados Δv y v de la figura c. son semejantes (Dos triángulos son semejantes si el ángulo entre cualesquiera dos lados es el mismo en ambos triángulos y si la razón entre las longitudes de estos lados es la misma). Esto permite escribir una relación entre las longitudes de los lados:

$$\frac{\Delta \vec{v}}{v} = \frac{\Delta s}{r}$$

Resolviendo la ecuación anterior para $\Delta \vec{v}$ y sustituyéndola en la ecuación de aceleración media, se obtiene:

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \Rightarrow \vec{a} \Delta t = \Delta \vec{v} \frac{\Delta s}{r} \Rightarrow \vec{a} = \frac{v}{r} \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

Si los puntos P y Q de la figura están muy cercanos, es posible apreciar que $\Delta \vec{v}$ tiende a apuntar al centro de la trayectoria y dado que la aceleración está en la dirección de $\Delta \vec{v}$, esta también estará dirigida hacia el centro. Como los dos puntos están próximos uno del otro la variación del tiempo se hace cada vez más pequeña, por lo tanto $\Delta t \rightarrow 0$, la aceleración por tanto queda determinada por medio de la siguiente ecuación.

$$\vec{a}_r = \frac{v^2}{r}$$

A esta aceleración se le conoce como aceleración radial o aceleración tangencial. Teniendo en cuenta que:

$$\vec{v} = r\vec{\omega}$$

Se puede reemplazar en la ecuación de aceleración radial para obtener:

$$\vec{a}_r = \frac{(r\vec{\omega})^2}{r} = \frac{r^2\vec{\omega}^2}{r} = r\vec{\omega}^2 \Rightarrow \vec{a}_r = r\vec{\omega}^2$$

La aceleración lineal total de la partícula viene dada por la siguiente ecuación:

$$\vec{a} = \vec{a}_t + \vec{a}_r$$

Po lo tanto la magnitud de la aceleración lineal total del punto P sobre un cuerpo rígido que gira está dada por:

$$a = \sqrt{\vec{a}_t^2 + \vec{a}_r^2} = \sqrt{r^2\vec{\alpha}^2 + r^2\vec{\omega}^4} = r\sqrt{\vec{\alpha}^2 + \vec{\omega}^4}$$

2.3.1.3.1 Energía cinética rotacional. De acuerdo con la definición de cuerpo rígido que se ha dado en el desarrollo de este capítulo, se analizara la energía cinética rotacional asociada al mismo. Es conveniente recordar que la energía cinética de traslación de un cuerpo está dada por:

$$K = \frac{1}{2}m\vec{v}^2$$

En donde m es la masa del cuerpo y \vec{v} es la velocidad que posee. Teniendo esto como punto de partida y conociendo que un cuerpo rígido es una colección de pequeñas partículas, es posible calcular la energía cinética rotacional de un cuerpo rígido que gira alrededor de un eje fijo con cierta velocidad angular. Cada partícula del cuerpo posee cierta energía cinética, determinada por su masa y velocidad. Si la masa de la partícula i-ésima es m_i y su velocidad es \vec{v}_i entonces la energía cinética de la partícula es:

$$K_i = \frac{1}{2} m_i \vec{v}_i^2$$

Como todas las partículas del cuerpo rígido tienen la misma velocidad angular, $\vec{\omega}$, y teniendo en cuenta que las velocidades lineales de cada partícula por separado dependen de la distancia r_i respecto al eje de rotación de acuerdo con la ecuación:

$$\vec{v}_i = r_i \vec{\omega}$$

La energía cinética total del cuerpo rígido que gira es la suma de las energías cinéticas de todas las partículas que lo conforman.

$$K = \sum k_i = \sum \frac{1}{2} m_i \vec{v}_i^2 = \frac{1}{2} \sum m_i r_i^2 \vec{\omega}^2$$

Como la velocidad angular de las partículas es común para todas ellas, se puede factorizar de la ecuación anterior y se obtiene:

$$K = \frac{1}{2} \left(\sum m_i r_i^2 \right) \vec{\omega}^2$$

La cantidad dentro del paréntesis es una propiedad del cuerpo rígido conocida como momento de inercia, I entonces tenemos que:

$$I = \sum m_i r_i^2$$

Reescribiendo la ecuación se tiene que la energía cinética del cuerpo rígido está dada por:

$$K = \frac{1}{2} \left(\sum m_i r_i^2 \right) \vec{\omega}^2 \Rightarrow K = \frac{1}{2} I \vec{\omega}^2$$

2.3.1.3.2 Cálculo del momento de inercia. Es posible hallar el momento de inercia de un cuerpo rígido imaginándolo dividido en elementos de volumen, cada uno de ellos con masa Δm . Si se hace uso de la definición de momento de inercia y se toma el límite de esta suma cuando

$\Delta m \rightarrow 0$. La suma se transforma en una integral aplicada a todo el cuerpo, donde r es la distancia perpendicular al eje de rotación desde la partícula de masa Δm . Por tanto

$$I = \lim_{\Delta m \rightarrow 0} \sum r^2 \Delta m = \int r^2 dm$$

Para calcular el momento de inercia utilizando la ecuación anterior se debe expresar el elemento de masa dm en términos de su posición (coordenadas). Pero antes de ello se relacionará el concepto de densidad volumétrica local, que se define como la masa por unidad de volumen.

Para este caso

$$\rho = \lim_{\Delta m \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{dm}{dV}$$

Resolviendo la anterior ecuación para dm tenemos:

$$\rho = \frac{dm}{dV} \Rightarrow \rho dV = dm$$

El momento de inercia se puede expresar en la forma:

$$I = \int \rho r^2 dV$$

Para un cuerpo uniformemente homogéneo la densidad ρ es constante y se puede evaluar la integral para una geometría conocida. Se debe tener en cuenta si la densidad es lineal o superficial, en el primer caso se define como la masa por unidad de longitud, en el segundo caso como la masa por unidad de área. La siguiente tabla relaciona los momentos de inercia de cuerpos rígidos homogéneos con diferentes geometrías.

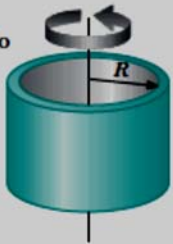
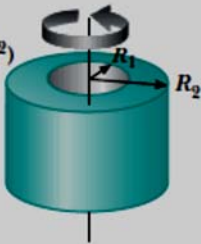
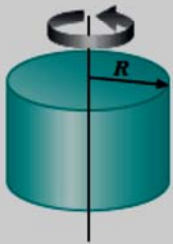
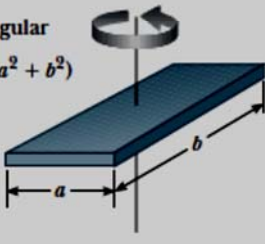
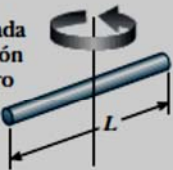
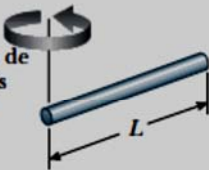
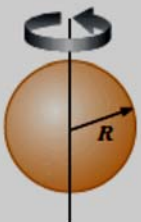

Momentos de inercia de objetos rígidos homogéneos con diferentes geometrías	
<p>Aro o cascarón cilíndrico delgado</p> $I_{CM} = MR^2$ 	<p>Cilindro hueco</p> $I_{CM} = \frac{1}{2}M(R_1^2 + R_2^2)$ 
<p>Cilindro sólido o disco</p> $I_{CM} = \frac{1}{2}MR^2$ 	<p>Placa rectangular</p> $I_{CM} = \frac{1}{12}M(a^2 + b^2)$ 
<p>Barra larga delgada con eje de rotación a través del centro</p> $I_{CM} = \frac{1}{12}ML^2$ 	<p>Barra larga delgada con eje de rotación a través de un extremo</p> $I = \frac{1}{3}ML^2$ 
<p>Esfera sólida</p> $I_{CM} = \frac{2}{5}MR^2$ 	<p>Cascarón esférico delgado</p> $I_{CM} = \frac{2}{3}MR^2$ 

Figura6.

Fuente: Serway, R. A. (1993). Física. McGraw-Hill. Recuperado a partir de <https://catalogo.unbosque.edu.co/uhtbin/cgiisirs.exe/?ps=f541qpAW1b/BIBLIOBOSQ/X/9>, P.260

De acuerdo con la anterior tabla, los momentos de inercia de los cuerpos geométricos con alta simetría se calculan fácilmente siempre que el eje de referencia coincida con un eje de simetría.

En la tabla se puede observar los momentos de inercia respecto a ejes específicos.

2.3.2 Dinámica rotacional. Hasta el momento, el estudio de la dinámica del movimiento rotacional se ha centrado en el análisis de las fuerzas, lo que nos ha llevado al concepto de torque y su relación con la aceleración angular y el momento de inercia.

En los siguientes apartados se analiza la rotación del cuerpo rígido cuando sobre este actúa una fuerza que lo hace girar alrededor de un eje. En la cinemática rotacional se estudió el movimiento del cuerpo sin importar las causas que producen dicho movimiento, en la dinámica rotacional se estudiara la causa del movimiento de una partícula sobre un eje cuando sobre ella actúa una fuerza.

2.3.2.1 Torque y equilibrio rotacional. Cuando se ejerce una fuerza sobre un cuerpo rígido que puede girar libremente alrededor de algún eje, el cuerpo tiende a realizar una rotación alrededor de ese eje. Por ejemplo, al abrir una puerta se debe aplicar una fuerza perpendicular a la superficie de la puerta, esta fuerza tendrá mayor efecto en el movimiento de rotación de la puerta si se hace a mayor distancia de las bisagras. La tendencia de la fuerza de hacer girar un cuerpo alrededor de algún eje se mide por una cantidad conocida como momento de fuerza τ o momento de torsión. Otro ejemplo muy conocido es la llave de tuercas que gira alrededor del eje que pasa por O como lo muestra la figura

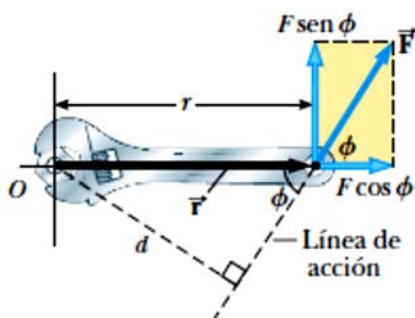


Figura 7.

Fuente: Serway, R. A. (1993). Física. McGraw-Hill. Recuperado a partir de <https://catalogo.unbosque.edu.co/uhtbin/cgiisirs.exe/?ps=f541qpAW1b/BIBLIOBOSQ/X/9>

La fuerza aplicada \vec{F} actúa formando un ángulo ϕ con la horizontal y tiene una mayor tendencia a hacer girar la llave al rededor del origen (pivote) al aumentar su magnitud. Es posible que la magnitud de la fuerza hecha sobre la llave no logre que esta gire, en este caso comúnmente se utiliza una llave más larga o se intenta ampliar el mango de la llave haciendo uso de un tubo con lo que se busca que el brazo de palanca aumente y por tanto la componente de la fuerza que causa la rotación también lo haga. Con lo anterior podemos definir el momento de fuerza (momento de torsión) o torque τ como:

$$\tau = r\vec{F}\text{sen}\phi = \vec{F}d$$

Donde r es la magnitud del radio vector que corresponde a la posición del punto de aplicación de la fuerza, $d = r\text{sen}\phi$ es el brazo de palanca (o brazo de momento) de la fuerza y es la distancia perpendicular al eje de rotación hasta la línea de acción de la fuerza \vec{F} . Al observar la figura se puede apreciar que la única componente de \vec{F} que tiende a provocar una rotación es $\vec{F}\text{sen}\phi$, es decir, la componente perpendicular a r (distancia del eje al punto donde se aplica la fuerza). Si existen dos o más fuerzas actuando sobre un cuerpo rígido, cada una tiende a hacer girar el cuerpo alrededor del pivote, como lo muestra la figura.

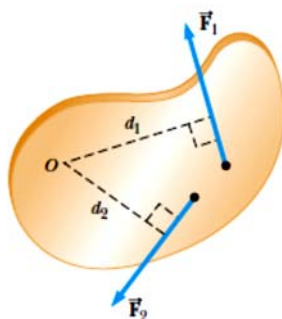


Figura 8.

Fuente: Serway, R. A. (1993). Física. McGraw-Hill. Recuperado a partir de <https://catalogo.unbosque.edu.co/uh/bin/cgi/sirsi.exe/?ps=f541qpAW1b/BIBLIOBOSQ/X/9., p.262>

En este ejemplo la fuerza \vec{F}_2 hace girar al cuerpo rígido alrededor del pivote en sentido de las manecillas del reloj, y \vec{F}_1 produce una rotación alrededor del pivote en sentido contrario a las manecillas del reloj. Es necesario aplicar la convención de signos de manera que el momento de una fuerza es positivo, si su efecto sobre el cuerpo lo hace rotar en sentido contrario a las manecillas del reloj (anti horario) y negativo si el efecto producido hace que el cuerpo gire en torno al pivote en sentido de las manecillas del reloj (horario). El momento neto que actúa sobre el cuerpo rígido que gira alrededor de O (pivote) está dado como:

$$\tau_{neto} = \tau_1 + \tau_2 = \vec{F}_1 d_1 - \vec{F}_2 d_2$$

2.3.2.2 Trabajo, potencia y energía para las rotaciones. En diversas situaciones es más fácil estudiar la dinámica del cuerpo rígido empleando un enfoque energético, lo que nos lleva a retomar conceptos como: trabajo, potencia y energía mecánica, aplicados a la rotación de un cuerpo rígido.

A continuación, considere el cuerpo rígido mostrado **en la figura**, el cual se encuentra rotando alrededor de un eje (pivote).

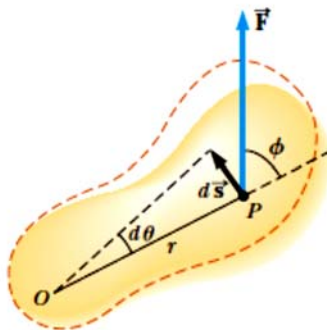


Figura 9.

Fuente: Serway, R. A. (1993). Física. McGraw-Hill. Recuperado a partir de <https://catalogo.unbosque.edu.co/uhtbin/cgiirsi.exe/?ps=f541qpAW1b/BIBLIOBOSQ/X/9>

El trabajo realizado por la fuerza \vec{F} aplicada en el punto P, al girar al cuerpo un ángulo $d\theta$ está dado por

$$dW = \vec{F} \cdot d\vec{s} = (\vec{F} \text{ Sen} \phi) r d\theta$$

Donde $\vec{F} \text{ Sen} \phi$ es la componente tangencial de la fuerza \vec{F} en la dirección del desplazamiento $d\vec{s}$. Al observar la expresión anterior, se puede apreciar que los tres primeros factores corresponden a la magnitud del torque alrededor de O, con lo que el trabajo dW es:

$$dW = \tau d\theta$$

2.3.2.3 Torque y momento angular. La figura representa la rotación de un cuerpo rígido que gira respecto de un eje fijo en su dirección.

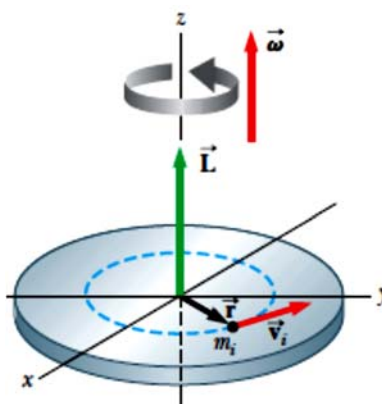


Figura 10.

Fuente: Serway, R. A. (1993). Física. McGraw-Hill. Recuperado a partir de <https://catalogo.unbosque.edu.co/uhtbin/cgiisirsi.exe/?ps=f541qpAW1b/BIBLIOBOSQ/X/9>

Suponiendo que el eje Z coincide con el eje de rotación y que Cada elemento de masa (partícula) del cuerpo rígido rota en el plano xy respecto al eje z con una velocidad angular $\vec{\omega}$.

La magnitud del momento angular de la partícula de masa m es $m_i \vec{v}_i r_i$ respecto al origen.

Teniendo en cuenta que $\vec{v}_i = r_i \vec{\omega}$ se puede expresar la magnitud del momento angular de la i -ésima partícula como:

$$L_i = m_i r_i^2 \vec{\omega}$$

El vector L_i está dirigido a lo largo del eje z que también corresponde a la dirección de $\vec{\omega}$.

Realizando la suma de L_i sobre todas las partículas del cuerpo, encontramos la componente z del momento angular

$$L_z = \sum m_i r_i^2 \vec{\omega} = \left(\sum m_i r_i^2 \right) \vec{\omega}$$

Reemplazando $\sum m_i r_i^2$ por I

$$L_z = I \vec{\omega}$$

Tenemos que L_z es la componente del momento angular, I es el momento de inercia del cuerpo rígido alrededor del eje z . Al derivar la componente del momento angular respecto al tiempo, se tiene:

$$\frac{dL_z}{dt} = I \frac{d\vec{\omega}}{dt} = I \vec{\alpha}$$

Como $\sum \tau_{ext} = \frac{dL_z}{dt} = I \vec{\alpha}$

El momento de una fuerza externa neta al actuar sobre un cuerpo rígido es igual al momento de inercia alrededor del eje de rotación por la aceleración angular respecto al eje.

Todos los cálculos y ecuaciones relacionados con la mecánica rotacional se encuentran en el anexo 1 de este trabajo, de manera detallada. Refiérase al anexo para realizar los cálculos de cada una de las guías.

3 EL ARO DE MÜLLER

El aro de Müller es un equipo de laboratorio utilizado en el estudio de la Mecánica clásica. Es uno de los pocos montajes que permanece en esencia sin modificaciones y uno de los relativamente menos costosos. Este equipo posibilita el análisis y comprensión mediante la experimentación de conceptos físicos tales como: desplazamiento, velocidad, aceleración, fuerza, velocidad tangencial, velocidad angular, movimiento de rotación, momentos de inercia, conservación de la energía, etc. Al tener un bajo coeficiente de rozamiento, el estudio del movimiento se facilita y se minimizan factores externos relacionados con la fricción que son inevitables en el momento de experimentar.

Este equipo cuenta con un juego de masas de precisión incorporadas, que permiten medir la relación existente entre la fuerza y el desplazamiento para el estudio de la Segunda Ley de Newton con gran aproximación. Cuenta además con los elementos necesarios para cálculos de momentos de inercia tanto en el aro, como en las varillas de rotación; permite estudiar fácilmente el principio de conservación de la energía.

En las guías de laboratorio propuestas en capítulos posteriores, se hace una descripción detallada de cada uno de sus componentes y del ensamble total del equipo. Las guías de experimentación han sido desarrolladas describiendo en forma detallada los pasos a seguir en el

procedimiento de cada experiencia, así como el manejo de los datos obtenidos durante la práctica para el análisis y comprobación de leyes y principios involucrados.

Este trabajo presenta una propuesta de diseño y construcción de un equipo de laboratorio de bajo costo, elaborado con materiales de fácil consecución, que sea durable, que su diseño sea agradable a la vista, que cuente con un desempeño y eficiencia comparable con los producidos por los fabricantes de equipos de laboratorio, que sea seguro para el estudiante, de fácil manipulación, que su montaje sea sencillo, que permita al docente compartir y socializar su conocimiento y al estudiante reforzar los conceptos tratados en la clase y desarrollar sus habilidades en el campo de la práctica experimental.

3.1 Diseño y construcción

La primera parte del diseño y construcción del equipo de laboratorio a bajo costo (Aro de Müller) consistió en identificar una temática que evidencie un grado de complejidad en la apropiación de conceptos físicos en estudiantes de educación media. En esta medida se propone un acercamiento de los conceptos adquiridos teóricamente con un montaje experimental de fácil manejo, de montaje sencillo, que le permita al estudiante evidenciar y correlacionar las variables que intervienen en el fenómeno a tratar, que por medio del aprendizaje colaborativo pueda interactuar con sus compañeros y pares, permitiéndole exponer sus inquietudes, intercambiar ideas, confrontar lo que aprendido en clase con sus preconcepciones, realizar análisis tanto cualitativos como cuantitativos que le brinden una mejor comprensión y apropiación del conocimiento. Es importante resaltar que la práctica de laboratorio debe acercar al estudiante de manera atractiva al tema, los esquemas y montajes deben ser agradables para el estudiante, deben

promover el trabajo en grupo y la investigación autónoma. Con el diseño y construcción del Aro de Müller se busca que el estudiante tenga la posibilidad de aclarar conceptos relacionados con la mecánica rotacional, debido a que se identifica cierto grado de dificultad en la comprensión de conceptos relacionados con este tema.

El aro de Müller es uno de los equipos más sencillos en su montaje y a su vez de los más completos en el estudio del movimiento, tanto de rotación como de traslación. Permite el análisis cualitativo y cuantitativo a través del mismo montaje y de manera simultánea de un movimiento rectilíneo y un movimiento de rotación, debido a la dependencia de los dos movimientos. Con este equipo de laboratorio es posible obtener movimiento rectilíneo con velocidad constante, movimiento rectilíneo con aceleración constante, movimiento circular uniforme y acelerado, permite también el análisis de la segunda ley de Newton, facilita el análisis del principio de conservación de la energía y el análisis cualitativo y cuantitativo de la mecánica rotacional de un cuerpo rígido.

3.1.1 Aro de Müller convencional. En esta parte del trabajo se realiza una pequeña descripción del equipo tradicional del Aro de Müller, se explica cómo realizar su montaje, se identificarán algunos aspectos de diseño que se pueden mejorar en el equipo.

La siguiente imagen corresponde al Aro de Müller que se encuentra en el laboratorio de la Universidad Pedagógica Nacional. En ella se pueden apreciar cada una de las partes que conforman el aro:



Figura 11.

Fuente: fotografía tomada por el autor del trabajo al Aro de Müller de la UPN

Un soporte universal metálico.

Una varilla metálica de 70 cm con rosca en un extremo y con concavidad en el otro.

Un tambor giratorio (dedal).

Juego de esferas de 3, 4, 6 y 8 mm.

Un Aro de Müller.

Tres tensores metálicos graduables.

Un Tope para Aro de Müller.

Un soporte de sujeción para mesa.

Una Varilla de 70 cm.

Una nuez de sujeción doble.

Una polea sencilla con mango.

Un porta-pesas

Un juego de pesas de 10, 20, 30, 40, 50 y 100 gramos.

Un anillo con mango.

Un cronometro,

Una regla de madera graduada de 100 cm o cinta métrica.

Montaje

El aro de Müller convencional está compuesto de 18 piezas, en su mayoría metálicas. Su montaje es sencillo, pero requiere de tiempo para calibrarlo correctamente. A continuación, se dan algunas pautas a seguir antes de empezar a realizar el montaje.

El equipo debe ser armado en una superficie totalmente plana, la altura del aro a la superficie de apoyo debe ser la misma en cualquier parte del Aro de Müller. El equipo está diseñado para que el estudiante lo trabaje sobre una mesa, requiere de una altura entre 1,5 a 1,7 metros del piso a la parte superior de la varilla que soporta la polea fija. Sin embargo, el montaje se puede realizar con una altura un poco mayor a 1 metro. Para avanzar en el montaje del Aro de Müller, corte 3 trozos de hilo (de cáñamo) de 75 cm aproximadamente anude a uno de los extremos del hilo el tornillo del tensor, estos tienen unos agujeros por los cuales pasa el hilo; una vez asegurado el extremo del hilo con el tornillo del tensor, mida con la cinta métrica la longitud de cada uno, asegúrese que todos midan lo mismo. Sujete los extremos libres del hilo a las armellas del tambor giratorio.

En la superficie plana coloque el soporte universal, tome la varilla de 70 cm y enrósquela al soporte, teniendo en cuenta que la parte cóncava de la varilla quede en la parte superior del soporte universal. Coloque una esfera en la concavidad de la varilla y luego sobre esta coloque el tambor giratorio o dedal, asegure los hilos con sus respectivos tensores a cada una de las

armellas del tambor giratorio. Ubique en el otro extremo del montaje el soporte de sujeción para mesa con su respectiva varilla, asegure la nuez doble a la varilla, monte la polea sencilla con mango en la nuez y sujétela con la mariposa de esta. Trate de que los dos soportes queden colineales y a una distancia aproximada de 1 metro de separación. Una vez hecho esto tome los extremos del hilo que están sujetando los tensores y enganche cada tensor en el rin. Para garantizar que la masa del aro se encuentre distribuida de manera homogénea en cada tensor, cuente el número de agujeros del aro, excluyendo el orificio de la válvula de aire o niple, divida ese número por tres y coloque cada tensor equidistante en el aro. Después, enrolle 2,5 metros de hilo en el tambor asegurándose de fijar uno de los extremos del hilo en la guía del tambor, extienda el hilo hasta el otro soporte pasándolo por la polea, luego sujete una masa al extremo del hilo y déjela pender. Para alcanzar la estabilidad del sistema, coloque el tope en la varilla lateral del aro y deje el sistema quieto por un periodo de tiempo de 5 minutos. Una vez el sistema se encuentre en equilibrio (rotacional y de traslación) está listo para desarrollar la práctica.

3.1.2 Aro de Müller alternativo. La siguiente grafica muestra el diseño propuesto en el presente trabajo, el aro fue elaborado con materiales de bajo costo, corresponde al diseño del tercer prototipo desarrollado. El diseño de este Aro de Müller corresponde a varios intentos de mejora del Aro que se encuentra en el laboratorio de la universidad, a un proceso de indagación y documentación del funcionamiento del equipo original, de reconocer cada una de sus partes, la estructura del montaje, las ventajas y desventajas.



Figura 12.

Fuente: fotografía tomada por el autor del trabajo al aro de Müller alternativo.

Este montaje consta de las siguientes partes:

Un trípode de tres divisiones con acople.

Un tambor giratorio o dedal.

Tres tensores metálicos graduables.

Un Aro de Müller

Un trípode de tres divisiones con polea.

Juego de pesas.

Cinta métrica

Un tope para Aro de Müller.

Montaje

Como se puede observar este diseño posee un total de diez piezas, ocho piezas menos que el equipo convencional, realizar el montaje es más fácil por la fusión de algunas de sus piezas. Al disminuir el número de piezas también disminuye el tiempo de ensamble del equipo.

Al igual que en el montaje anterior, para agilizar el ensamble del equipo se puede tener listo los 3 hilos con sus respectivos tensores, todos de la misma longitud.

Despliegue el trípode con acople, eleve las varillas de las tres divisiones con la altura que desea trabajar, inserte el tambor giratorio en el acople, luego sujete los extremos libres de cada hilo a las tres armellas del tambor, coloque el otro trípode a una distancia de 1 metro, despliegue el trípode con polea y gradúe los trípodes a la misma altura, enrolle 2,5 metros de hilo en el tambor asegurándose de fijar uno de los extremos del hilo en la guía del tambor, extienda el hilo hasta el otro soporte pasándolo por la polea, luego sujete una masa al extremo del hilo y déjela pender. Para alcanzar la estabilidad del sistema, coloque el tope en la varilla lateral del aro y deje el sistema quieto por un periodo de tiempo de 5 minutos. Una vez el sistema se encuentre en equilibrio (rotacional y de traslación) está listo para desarrollar la práctica.

3.2 Optimización del aro de Müller

Para la optimización del equipo de laboratorio el Aro de Müller, se realizaron dos prototipos antes de llegar al aparato final. El primer prototipo se diseñó para trabajar en altura, se suprime el soporte universal del montaje original y se plantea un esquema de sujeción a través de 2 estructuras metálicas. Adicionalmente se suprime el sistema de esfera en la varilla y es reemplazada por un rodamiento de un disco duro (reciclado) que presenta un mejor funcionamiento (coeficiente de fricción bajo). Con este sistema las dos estructuras se podían montar en la mesa de manera más rápida y trabajar en altura, el prototipo fue descartado debido a que el soporte que sostenía el tambor giratorio, al producirse movimiento en el aro, se movía demasiado, el aro además de girar, presentaba precesión lo cual no permitía la observación del movimiento circular y el registro de datos a través del programa de video análisis (Tracker).

En el segundo prototipo, se refuerzan las dos estructuras, colocando varillas laterales con el fin de dar mayor estabilidad al sistema, en este prototipo se quitó el rodamiento del disco duro y se reemplazó por un sistema de dos imanes de Neodimio, para lograr que los dos imanes permanecieran enfrentados por sus polos, se cambia el tambor por una estructura de mayor masa de manera tal que permitiera la levitación de los dos imanes, la idea no funcionó debido a que se presentó un mayor coeficiente de fricción, el sistema no se movía con fluidez y requería de masas muy grandes para iniciar el movimiento del Aro.

En el tercer prototipo se piensa por primera vez en un montaje que pueda ser manipulado tanto en alturas como en el piso, la opción más apropiada para este propósito es el uso de trípodes, se indaga sobre los diferentes tipos de trípodes existentes en el mercado, sus diseños, sus costos y a facilidad para adquirirlos. Se realiza la construcción de un trípode para saber su costo y si su diseño permite una buena estabilidad al aro de Müller, pero el costo de elaboración del trípode supera los precios del mercado. Sin embargo, se observa que el trípode permite mejorar el tiempo de montaje del equipo debido a que elimina el uso del soporte universal que consta de dos piezas y del otro soporte con prensa de sujeción que consta de cuatro piezas (prensa, varilla, nuez y polea), se observa que se puede reducir a la mitad de piezas si se fusiona el trípode con la polea, reduciendo de esta forma esta parte del montaje a solo dos piezas. Se realiza la búsqueda en mercados de pulgas y en tiendas de cachivaches, en donde estos artículos son muy comunes, su costo es bajo (menos de la mitad del precio en una tienda). Se decide que los trípodes que más se ajustan al proyecto son los de tres cuerpos (varillas) que corresponden a trípodes utilizados para leer partituras musicales, ya que estos permiten ganar más altura en el

piso. Los costos de estos trípodes en este tipo de mercados no superan la mitad del costo en tiendas musicales y comparado con el trípode hecho disminuye los costos en un 60%.

El tercer prototipo, permite a través de ensayo y error llegar a un diseño definitivo, retomando las ideas más relevantes de sus dos antecesores con el fin de lograr alcanzar una eficiencia mecánica aceptable comparada con los equipos fabricados por empresas especializadas.

3.3 El programa Tracker

Tracker es un paquete de análisis de video construido sobre una plataforma Java Open Source Physics (OSP), de licencia libre. Se encuentra diseñado para plataformas como Linux (32 y 64 bit), Windows y Mac OS X, este programa fue diseñado con el fin de ser empleado en la enseñanza de la física. Permite el análisis de movimientos a través del análisis de video para su posterior modelado. Incluye como características; seguimiento de objetos y su posición, velocidad y aceleración, gráficos, filtros con efectos especiales, múltiples cuadros de referencia, puntos de calibración, líneas de perfil para el análisis del espectro, patrones de interferencia y modelos dinámicos de partículas.

El programa permite la modelación de situaciones reales en las cuales se analiza el comportamiento de un objeto en movimiento a través de un video. El programa permite recrear situaciones cotidianas y realizar modelos cinemáticos y dinámicos para su posterior análisis. Con este programa es posible por medio del video análisis, agregar planos de coordenadas y sistemas de medición con un grado bastante confiable, correlaciona las diferentes variables presentes en el fenómeno físico observado por medio del análisis gráfico.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Con base en lo aprendido durante la elaboración de este trabajo de grado se puede concluir lo siguiente:

- Si es posible diseñar y construir equipos de laboratorio con materiales de fácil adquisición optimizando su funcionalidad y su costo.
- La construcción de un equipo de laboratorio requiere de bastante tiempo, es necesario indagar sobre otros equipos que realizan la misma función del que se quiere construir con el fin de detectar las bondades y dificultades que estos presentan sobre nuestro prototipo. De esta manera se pueden realizar las modificaciones que mejoren el desempeño del equipo.
- No siempre una modificación que se haga a un equipo implica una mejora, lo que se puede plantear como una ventaja no siempre lo es.
- La implementación de software en las aulas de clase y en las prácticas de laboratorio permite un acercamiento del estudiante a los conceptos tratados de manera teórica a través de entornos más llamativos.
- La inclusión de dispositivos tecnológicos en las prácticas experimentales, facilitan la adquisición y registro de datos, permitiendo al estudiante centrar su atención en el fenómeno tratado.
- El trabajo colaborativo al interior de las prácticas experimentales facilita la construcción del conocimiento por medio de las interacciones entre los integrantes del grupo. Cada estudiante es responsable de su proceso de aprendizaje, pero a la vez se compromete con los procesos de sus compañeros.

4.2 Recomendaciones

- Para la construcción de un equipo de laboratorio se recomienda inicialmente tener claro la finalidad del mismo. Es necesario saber qué es lo que se quiere enseñar a través del prototipo, que habilidades se desean desarrollar en el estudiante y si el montaje es pertinente para el objetivo propuesto.
- La persona que diseña y construye el equipo de laboratorio debe tener un sólido conocimiento de los fundamentos físicos que soportan el equipo.
- Es necesario construir varios prototipos del equipo que se desea construir, estar familiarizado con la funcionalidad de cada una de las partes que componen el equipo.
- Se recomienda que el diseño sea simple, que cuente con el menor número de piezas posible, entre más simple el equipo más fácil de realizar el montaje y más tiempo para la observación y el análisis de los datos.
- Al articular software especializado al equipo diseñado, es necesario comprobar si las condiciones de uso del software se ajustan a las necesidades que queremos suplir con el equipo.

5 LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fuente:	32
Figura 2. Fuente:	¡Error! Marcador no definido.
Figura 3. Fuente: Serway, R. A. (1993). Física. McGraw-Hill.	34
Figura 4. Fuente: Serway, R. A. (1993). Física. McGraw-Hill. Recuperado a partir de https://catalogo.unbosque.edu.co/uhtbin/cgisirsi.exe/?ps=f541qpAW1b/BIBLIOBOSQ/X/9 .	38
Figura 5. Fuente: Serway, R. A. (1993). Física. McGraw-Hill. Recuperado a partir de https://catalogo.unbosque.edu.co/uhtbin/cgisirsi.exe/?ps=f541qpAW1b/BIBLIOBOSQ/X/9 .	39
Figura 6. Fuente: Serway, R. A. (1993). Física. McGraw-Hill. Recuperado a partir de https://catalogo.unbosque.edu.co/uhtbin/cgisirsi.exe/?ps=f541qpAW1b/BIBLIOBOSQ/X/9 .	40

- Figura 7. Fuente:** Serway, R. A. (1993). Física. McGraw-Hill. Recuperado a partir de <https://catalogo.unbosque.edu.co/uhtbin/cgisirsi.exe/?ps=f541qpAW1b/BIBLIOBOSQ/X/9,> P.260 45
- Figura 8. Fuente:** Serway, R. A. (1993). Física. McGraw-Hill. Recuperado a partir de <https://catalogo.unbosque.edu.co/uhtbin/cgisirsi.exe/?ps=f541qpAW1b/BIBLIOBOSQ/X/9>. 46
- Figura 9. Fuente:** Serway, R. A. (1993). Física. McGraw-Hill. Recuperado a partir de <https://catalogo.unbosque.edu.co/uhtbin/cgisirsi.exe/?ps=f541qpAW1b/BIBLIOBOSQ/X/9,> p.262..... 47
- Figura 10. Fuente:** Serway, R. A. (1993). Física. McGraw-Hill. Recuperado a partir de <https://catalogo.unbosque.edu.co/uhtbin/cgisirsi.exe/?ps=f541qpAW1b/BIBLIOBOSQ/X/9>. 48
- Figura 11. Fuente:** Serway, R. A. (1993). Física. McGraw-Hill. Recuperado a partir de <https://catalogo.unbosque.edu.co/uhtbin/cgisirsi.exe/?ps=f541qpAW1b/BIBLIOBOSQ/X/9>. 49

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Meza, I., -Sampallo, S., -Aguirre, G., & -Concari, M. S. (2000). Trabajos de Laboratorio de Física en ambiente real y virtual. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas*. Recuperado a partir de http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt/2000/2_humanisticas/h_pdf/h_055.pdf
- Alfonso, C. A. A. (2004). Prácticas de laboratorio de Física general en internet. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 3(2), 202–210. Recuperado a partir de http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen3/REEC_3_2_6.pdf
- Bettetini, G., Colombo, F., & Gentile Vitale, J. C. (1995). *Las nuevas tecnologías de la comunicación*. Paidós Ibérica. Recuperado a partir de http://168.176.5.96/F/YTE5UV7T2XVME9YCP7U2CIE5A24KFQAINY85F7GGMRE8V6XEBF-17746?func=full-set-set&set_number=024792&set_entry=000001&format=999
- Centrodeescritura, J. A. V. E. R. I. A. N. O., & Centrodeescritura, J. A. V. E. R. I. A. N. (s/f).
- Normas APA. Recuperado a partir de <http://portales.puj.edu.co/ftpcentroescritura/Recursos/Normasapa.pdf>
- César, A., Collazos, O. Δ., Guerrero, L., & Vergara, A. (s/f). Aprendizaje Colaborativo: un cambio en el rol del profesor. Recuperado a partir de <https://users.dcc.uchile.cl/~luguerre/papers/CESC-01.pdf>
- Greeno, J. G., & Engeström, Y. (s/f). Learning in Activity. En R. K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences* (pp. 128–148). Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139519526.009>

Kofman, H., Ocampo, H., Amongero, W., Cámara, C., Tozzi, E., & Cristófoli, F. (s/f). INTEGRACION DE CINEMATICA Y DINAMICA CON EXPERIENCIAS MANEJADAS POR COMPUTADORA. Recuperado a partir de <http://www.oocities.org/ar/hugoakofman/download/documentos/volante.pdf>

Normas APA 2016 (Formato APA) para la presentación de trabajos escritos. (s/f). Recuperado el 28 de enero de 2018, a partir de <http://normasapa.com/>

Serway, R. A. (1993). *Física*. McGraw-Hill. Recuperado a partir de <https://catalogo.unbosque.edu.co/uhtbin/cgiisirsi.exe/?ps=f541qpAW1b/BIBLIOBOSQ/X/9>

7 ANEXOS

7.1 Anexo A: PRÁCTICAS EXPERIMENTALES CON EL ARO DE MÜLLER

El aro de Müller es uno de los pocos montajes que permanece en esencia sin modificaciones y uno de los relativamente menos costosos en el estudio de la mecánica clásica. El equipo posibilita el análisis y comprensión mediante la experimentación de conceptos físicos tales como: desplazamiento, velocidad, aceleración, fuerza, velocidad tangencial, velocidad angular, movimiento de rotación, momentos de inercia, conservación de la energía, etc.

Este equipo cuenta con un juego de masas de precisión incorporadas, que permiten medir la relación existente entre la fuerza y el desplazamiento para el estudio de la Segunda Ley de Newton con gran aproximación. Cuenta además con los elementos necesarios para cálculos de momentos de inercia tanto en el aro, como en las varillas de rotación.

A continuación, se sugiere un esquema de presentación de informes de laboratorio, con el fin de unificar criterios de evaluación de la misma. Este esquema cuenta con las siguientes pautas para su presentación:

1. Título de la práctica
2. Integrantes
3. Materiales y procedimientos
4. Resultados y discusión
5. Conclusiones
6. Bibliografía

Las especificaciones de cada ítem se brindan con claridad en el anexo 1.

7.1.1 Movimiento circular uniformemente acelerado:

A continuación, se describe la guía de laboratorio relacionada con las características propias de un movimiento circular uniformemente acelerado, el esquema sugerido permite la revisión de la guía por parte del docente.

PRÁCTICA No. 1

MOVIMIENTO CIRCULAR

INTRODUCCIÓN

En nuestro entorno, uno de los movimientos que podemos encontrar con mayor frecuencia es el de rotación. La Tierra gira alrededor de su propio eje, las manecillas de los relojes rotan para indicar la hora, los yoyos cuando son lanzados por el jugador, un clavadista efectúa movimientos de rotación antes de ingresar al agua y también lo hace un patinador artístico cuando realizan sus piruetas tanto en el suelo como cuando está en el aire.

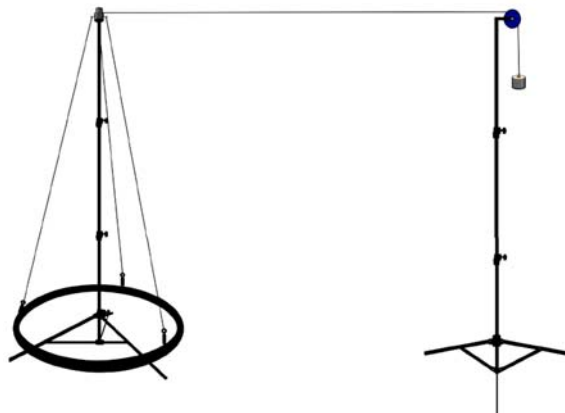
En esta práctica de laboratorio centraremos nuestro interés en un caso en particular del movimiento de rotación, el movimiento circular uniforme.

OBJETIVOS:

- 1.1. Determinar experimentalmente las principales características del movimiento circular (uniforme y uniformemente acelerado)
- 1.2. Determinar la magnitud de la velocidad lineal o tangencial de un movimiento circular uniforme.
- 1.3. Generalizar algunas características propias de la velocidad angular $\vec{\omega}$ en el movimiento circular
- 1.4. Comprobar la dependencia de los conceptos: velocidad lineal o tangencial, velocidad angular, aceleración centrípeta, periodo, frecuencia y radio de la trayectoria.

MATERIALES:

- ✓ Equipo Aro de Müller con accesorios.
- ✓ Dispositivo móvil con cámara de video (teléfono o Tablet)
- ✓ Un computador (mesa o portátil)
- ✓ Software Tracker

MONTAJE**Figura 1.**

PROCEDIMIENTO:

Realice cuidadosamente el montaje de la figura 1.

En algunos casos, el equipo ha sido calibrado en los hilos de los tensores, es decir, se encuentran a la misma longitud. No es necesario cortar el hilo, medir, poner los tensores, anudar el otro extremo a las armellas del tambor. Si los tensores ya cumplieron estos requisitos se procede con el montaje.

Despliegue el trípode con acople, eleve las varillas de las tres divisiones con la altura que desea trabajar, inserte el tambor giratorio en el acople, luego sujete los extremos libres de cada hilo a las tres armellas del tambor, coloque el otro trípode a una distancia de 1 metro, despliegue el trípode con polea y gradúe los trípodes a la misma altura, enrolle 2,5 metros de hilo en el tambor asegurándose de fijar uno de los extremos del hilo en la guía del tambor, extienda el hilo hasta el otro soporte pasándolo por la polea, luego sujete una masa al extremo del hilo y déjela pender. Para alcanzar la estabilidad del sistema, coloque el tope en la varilla lateral del aro y deje el sistema quieto por un periodo de tiempo de 5 minutos. Una vez el sistema se encuentre en equilibrio (rotacional y de traslación) está listo para desarrollar la práctica.

Esta práctica de laboratorio se encuentra diseñada para ser implementada en grupos de máximo cuatro personas y mínimo de tres. Cada integrante del grupo debe tener un dispositivo con cámara que le permita realizar un video del Aro de Müller en funcionamiento. Cada integrante debe grabar una parte específica del montaje, antes de empezar a grabar se debe realizar una marca o señal visible a cada una de las partes que se va a grabar, recuerde poner un objeto con longitud conocida, puede servir una regla con el fin de ingresar una escala adecuada.

En esta práctica un estudiante grabara en vista aérea el movimiento del aro, otro grabara el movimiento de la polea y el tercer integrante la masa que desciende.

Una vez realizado el montaje ingrese la grabación al programa Tracker, recuerde que debe convertir el video aun formato compatible con el software.

ACTIVIDAD

- Con un objeto de longitud conocida calibre el programa, de manera tal que el programa pueda comparar para asignar la escala adecuada en metros.
- En una tabla anota los valores de las posiciones en x y y
- Realiza la gráfica de las posiciones y vs x . ¿la gráfica obtenida a que magnitud física corresponde?
- Realiza la gráfica de las posiciones x, y contra el tiempo. ¿Qué gráfica obtienes?
- Obtén el valor de la amplitud del anterior grafico ¿a quién corresponde y que representa físicamente?
- Obtén el periodo del movimiento de la marca de las anteriores gráficas.
- Calcula las velocidades en x y y . Al graficar, obtendrás un comportamiento sinusoidal, con amplitudes iguales a la velocidad lineal de la marca. Se puede comprobar esta velocidad lineal con la circunferencia de la trayectoria entre el periodo de una revolución.
- Calcula y grafica los valores para la aceleración lineal de la marca. Las gráficas aceleración vs tiempo deberían tener amplitudes iguales a la aceleración centrípeta de la marca.
- Aplica el teorema de Pitágoras a los valores de las posiciones x y y para obtener el radio de la trayectoria.
- Usa la función tangente inversa para obtener datos del movimiento rotacional.

- Grafica el ángulo contra el tiempo y mediante el programa Tracker determina la pendiente de la gráfica ¿Qué representa físicamente ese valor?

RESULTADOS Y CONCLUSIONES:

7.1.2 Inercia Rotacional.

PRÁCTICA No. 2

INERCIA ROTACIONAL

INTRODUCCIÓN

En esta práctica de laboratorio analizaremos la rotación de los cuerpos. Veremos que, al igual que en los cuerpos que se mueven rectilíneamente, sin rodar, en los cuerpos que rotan o que pueden rotar también, hay un concepto similar al de la masa inercial y que explica la diferente resistencia de los cuerpos a iniciar una rotación o, a la inversa, si se encuentran rotando, la diferente resistencia a dejar de rotar. Este nuevo concepto se denomina inercia rotacional.

OBJETIVOS:

- 2.1. Comparar y establecer diferencias entre la inercia rotacional y la inercia del movimiento rectilíneo.
- 2.2. Reconocer cada una de las herramientas brindadas por el software para el seguimiento de cuerpos en movimiento.
- 2.3. Implementar el uso del software Tracker en el análisis cualitativo y cuantitativo de la inercia rotacional del Aro de Müller.

MATERIALES:

- ✓ Equipo Aro de Müller con accesorios.

- ✓ Dispositivo móvil con cámara de video (teléfono o Tablet)
- ✓ Un computador (de mesa o portátil)
- ✓ Software Tracker.

MONTAJE

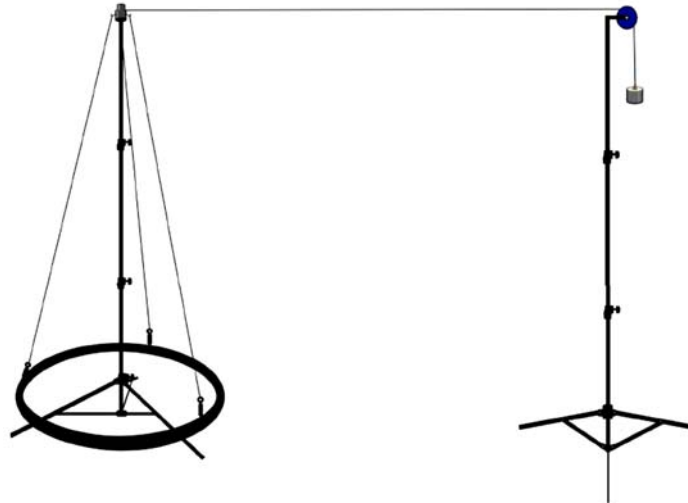


Figura: 1.

PROCEDIMIENTO:

Realice cuidadosamente el montaje de la figura 1. En algunos casos, el equipo ha sido calibrado en los hilos de los tensores, es decir, se encuentran a la misma longitud. No es necesario cortar el hilo, medir, poner los tensores, anudar el otro extremo a las armellas del tambor. Si los tensores ya cumplieron estos requisitos se procede con el montaje.

Despliegue el trípode con acople, eleve las varillas de las tres divisiones con la altura que desea trabajar, inserte el tambor giratorio en el acople, luego sujete los extremos libres de cada hilo a las tres armellas del tambor, coloque el otro trípode a una distancia de 1 metro, despliegue el trípode con polea y gradúe los trípodes a la misma altura, enrolle 2,5 metros de hilo en el tambor

asegurándose de fijar uno de los extremos del hilo en la guía del tambor, extienda el hilo hasta el otro soporte pasándolo por la polea, luego sujete una masa al extremo del hilo y déjela pender.

Para alcanzar la estabilidad del sistema, coloque el tope en la varilla lateral del aro y deje el sistema quieto por un periodo de tiempo de 5 minutos. Una vez el sistema se encuentre en equilibrio (rotacional y de traslación) está listo para desarrollar la práctica.

La práctica de laboratorio está diseñada para ser desarrollada en grupos de máximo cuatro estudiantes y mínimo de tres estudiantes.

Cada integrante del grupo debe tener un dispositivo móvil con cámara.

Calibre la escala en Tracker colocando un elemento de longitud conocida. Con la vara de calibración mida el objeto, una vez hecho esto realice la medición del radio del tambor giratorio y del Aro.

Realice una marca en el aro, puede emplear cinta adhesiva de color. Libere el tope de Aro de Müller y permita el descenso de la masa (inicialmente de 10 gramos), grabe el movimiento del aro hasta que se completen 6 vueltas.

Ingrese el video a Tracker y teniendo como referencia la práctica de laboratorio No 1 calcule:

El tiempo promedio del aro en dar cuatro vueltas.

Determine el valor de la velocidad tangencial

Halle el valor de la aceleración centrípeta.

Repita el anterior procedimiento cambiando la masa por 20, 40 y 50 gr. Compare los resultados en cada caso y de una conclusión.

ACTIVIDAD

¿Cómo fue el valor de la velocidad angular en cada uno de los casos anteriores?

Que variación experimento la velocidad tangencial en cada paso de la experimentación.

Si se mantuvieron relativamente constantes los valores de la velocidad angular y velocidad tangencial respectivamente, a que factores se atribuye la aceleración.

¿Qué función tiene la aceleración centrípeta?

Una vez halladas la velocidad tangencial calcule el periodo de rotación del Aro de manera teórica, compare los resultados con los obtenidos por el programa Tracker.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES:

7.1.3 Momento de inercia I.

PRÁCTICA No. 3

MOMENTO DE INERCIA EN EL ARO DE MÜLLER I

INTRODUCCIÓN

La presente práctica de laboratorio se desarrollará utilizando el aro de Müller que permite el estudio de las variables físicas del movimiento de rotación del cuerpo rígido.

Los elementos del movimiento de rotación necesarios para el desarrollo de esta experiencia y que fueron definidos en el marco teórico del presente manual son: (ver anexo 1)

Periodo, frecuencia, velocidad angular, velocidad lineal, aceleración angular, torque o momento de fuerza.

OBJETIVOS:

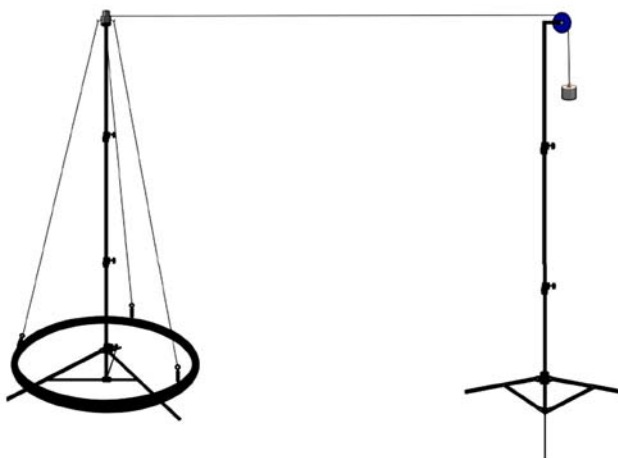
3.1. Verificar que el momento de inercia de un cuerpo en rotación depende de la distribución de la masa respecto al eje de rotación.

3.2. Determinar el valor teórico del momento de rotación del Aro de Müller y compararlo con el obtenido en los cálculos realizados con el programa Tracker.

MATERIALES:

- ✓ Equipo Aro de Müller con accesorios.
- ✓ Dispositivo móvil con cámara de video (teléfono o tablet)
- ✓ Un computador (mesa o portátil)
- ✓ Software Tracker
- ✓ Balanza digital o dinamómetro

MONTAJE



PROCEDIMIENTO:

Realice cuidadosamente el montaje de la figura 1. En algunos casos, el equipo ha sido calibrado en los hilos de los tensores, es decir, se encuentran a la misma longitud. No es necesario cortar el hilo, medir, poner los tensores, anudar el oro extremo a las armellas del tambor. Si los tensores ya cumplieron estos requisitos se procede con el montaje.

Despliegue el trípode con acople, eleve las varillas de las tres divisiones con la altura que desea trabajar, inserte el tambor giratorio en el acople, luego sujete los extremos libres de cada hilo a las tres armellas del tambor, coloque el otro trípode a una distancia de 1 metro, despliegue el trípode con polea y gradúe los trípodes a la misma altura, enrolle 2,5 metros de hilo en el

tambor asegurándose de fijar uno de los extremos del hilo en la guía del tambor, extienda el hilo hasta el otro soporte pasándolo por la polea, luego sujete una masa al extremo del hilo y déjela pender. Para alcanzar la estabilidad del sistema, coloque el tope en la varilla lateral del aro y deje el sistema quieto por un periodo de tiempo de 5 minutos. Una vez el sistema se encuentre en equilibrio (rotacional y de traslación) está listo para desarrollar la práctica.

Ubique un punto de referencia y con el cronometro determine el tiempo para 5 vueltas completas del aro durante 5 veces consecutivas.

Medición	Radio del Aro (R)	Numero de vueltas (n)	Tiempo (t)	Periodo (T)
1				
2				
3				
4				
5				
Promedio				

Repita el procedimiento anterior colocando gradualmente masas de 20, 40, y 50 gramos, consignando en cada caso los valores obtenidos en la tabla de datos.

ACTIVIDAD

Calcule en cada caso el valor de la velocidad angular hallado teóricamente.

Determine el valor de la velocidad tangencial en cada caso.

Halle el valor de la aceleración centrípeta en cada caso.

Determine el torque en cada uno de los casos.

Calcule el valor de la aceleración angular en cada caso.

Determine el momento de inercia en cada uno de los casos anteriores.

¿Qué se puede decir de los momentos de inercia encontrados en esta experiencia?

Realice todos los cálculos anteriores haciendo uso del programa Tracker y emplee los cálculos brindados para llevarlos a las ecuaciones teóricas, compare los resultados.

7.1.4 Momento de inercia II.

PRÁCTICA No. 4

MOMENTO DE INERCIA EN EL ARO DE MÜLLER II

INTRODUCCIÓN

La siguiente práctica es una forma alterna de calcular el momento de inercia del Aro de Müller, se sugiere comparar los resultados de esta práctica con los de la práctica No 3, ¿Qué conclusión se puede obtener de los resultados arrojados en las dos prácticas? ¿Qué método es el más preciso en sus cálculos?

OBJETIVO:

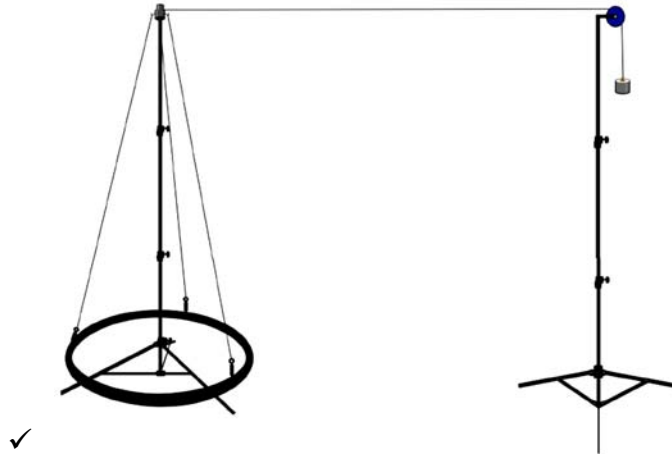
- 4.1. Determinar el momento de inercia del aro de Müller y conociendo este determinar el momento de inercia de una varilla.
- 4.2. Implementar el uso del programa Tracker en el desarrollo de la guía para realizar cálculos relacionados con el momento de inercia del Aro.
- 4.3. Relacionar el movimiento rectilíneo uniformemente acelerado descrito por la masa en descenso con el movimiento circular del aro y el tambor giratorio.

MATERIALES:

- ✓ Equipo Aro de Müller con accesorios.
- ✓ Dispositivo móvil con cámara de video (teléfono o tablet)

- ✓ Un computador (mesa o portátil)
- ✓ Software Tracker
- ✓ Balanza digital o dinamómetro

MONTAJE



PROCEDIMIENTO:

Realice cuidadosamente el montaje de la figura 1. En algunos casos, el equipo ha sido calibrado en los hilos de los tensores, es decir, se encuentran a la misma longitud. No es necesario cortar el hilo, medir, poner los tensores, anudar el otro extremo a las armellas del tambor. Si los tensores ya cumplieron estos requisitos se procede con el montaje.

Despliegue el trípode con acople, eleve las varillas de las tres divisiones con la altura que desea trabajar, inserte el tambor giratorio en el acople, luego sujete los extremos libres de cada hilo a las tres armellas del tambor, coloque el otro trípode a una distancia de 1 metro, despliegue el trípode con polea y gradúe los trípodes a la misma altura, enrolle 2,5 metros de hilo en el tambor asegurándose de fijar uno de los extremos del hilo en la guía del tambor, extienda el hilo hasta el otro soporte pasándolo por la polea, luego sujete una masa al extremo del hilo y déjala pender. Para alcanzar la estabilidad del sistema, coloque el tope en la varilla lateral del aro y deje

el sistema quieto por un periodo de tiempo de 5 minutos. Una vez el sistema se encuentre en equilibrio (rotacional y de traslación) está listo para desarrollar la práctica.

Determinar la fuerza efectiva o fuerza motriz. Para lo cual a la fuerza de tracción (peso) aplicada hay que disminuirle la fuerza de rozamiento.

Al calcular la fuerza de rozamiento, conviene ajustar el aparato de modo que cuando da un cierto número de vueltas n (dos, por ejemplo) al descenso de las pesas motrices P , se opone el rozamiento R .

La energía cinética que se transmite al aro es:

$$E=(P-R)h_1$$

Donde h_1 es la altura que recorren las pesas durante el descenso. En el movimiento de retorno, en el cual el rozamiento actúa en igual sentido que las pesas motrices, la energía cinética del Aro vuelve a convertirse, en parte, en energía potencial Ph_2 siendo h_2 la altura alcanzada por las pesas motrices en su ascenso.

La energía restante Rh_2 se transforma en calor por el rozamiento. De acuerdo al principio de conservación de la energía, la energía cinética que recibe el aro, es igual a la que devuelve, se cumple la relación:

$$(P-R)h_1=(P+R)h_2$$

De donde se verifica:

$$R = \frac{h_1 - h_2}{h_1 + h_2} P$$

De esta forma podemos determinar la fuerza de rozamiento.

Ahora se puede determinar la fuerza motriz y conocido el radio del tambor, calcular el momento de rotación τ :

$$\tau = F \times r$$

Debido al torque aplicado, el aro adquiere una aceleración angular que puede determinarse si se conoce el tiempo para un número de vueltas (2 por ejemplo) y el ángulo barrido.

ACELERACIÓN TANGENCIAL:

$$\alpha = \frac{2e}{t^2}$$

En donde $e = 2\pi R$ (una vuelta)

Una vuelta equivale a $2\pi R$ y en este ejemplo suponemos un número de vueltas determinado (dos), tenemos que:

$$\alpha = \frac{2(4\pi R)}{t^2}$$

La aceleración angular viene dada por:

$$\alpha = \frac{a_t}{R}$$

Si reemplazamos esta ecuación en la ecuación anterior tenemos:

$$\alpha = \frac{8\pi}{t^2}$$

Como el momento de inercia es:

$$I = \frac{\tau}{\alpha}$$

Reemplazando

$$I = \frac{F r}{\frac{8\pi}{t^2}}$$

Entonces para el caso experimental:

Radio del tambor $r = 0.01 \text{ m}$

Radio del aro $R = 0.31 \text{ m}$

Masa del aro $M = 0.835 \text{ Kg.}$

MOMENTO DE INERCIA DE UN ARO

Fuerza de tracción	Fuerza de rozamiento	Fuerza motriz	Momento de rotación	Tiempo de 2 vueltas	Aceleración angular	Momento de inercia
20						
40						
50						
100						

7.2 Implementación del programa Tracker

En este apartado del trabajo de grado, se muestra la implementación del software de análisis de video Tracker en la primera guía propuesta, se hace una introducción al uso de sus herramientas, al cálculo y obtención de tablas y gráficas.

8.2.1 Informe de movimiento circular uniformemente acelerado analizado con Tracker.

INFORME DE LABORATORIO No. 1

MOVIMIENTO CIRCULAR

OBJETIVOS:

- 1.1. Determinar experimentalmente las principales características del movimiento circular (uniforme y uniformemente acelerado)
- 1.2. Determinar la magnitud de la velocidad lineal o tangencial de un movimiento circular uniforme.
- 1.3. Generalizar algunas características propias de la velocidad angular $\vec{\omega}$ en el movimiento circular
- 1.4. Comprobar la dependencia de los conceptos: velocidad lineal o tangencial, velocidad angular, aceleración centrípeta, periodo, frecuencia y radio de la trayectoria.

MATERIALES Y PROCEDIMIENTOS:

- ✓ Equipo Aro de Müller con accesorios.
- ✓ Dispositivo móvil con cámara de video (teléfono o tablet)

- ✓ Un computador (mesa o portátil)
- ✓ Software Tracker

PROCEDIMIENTO:

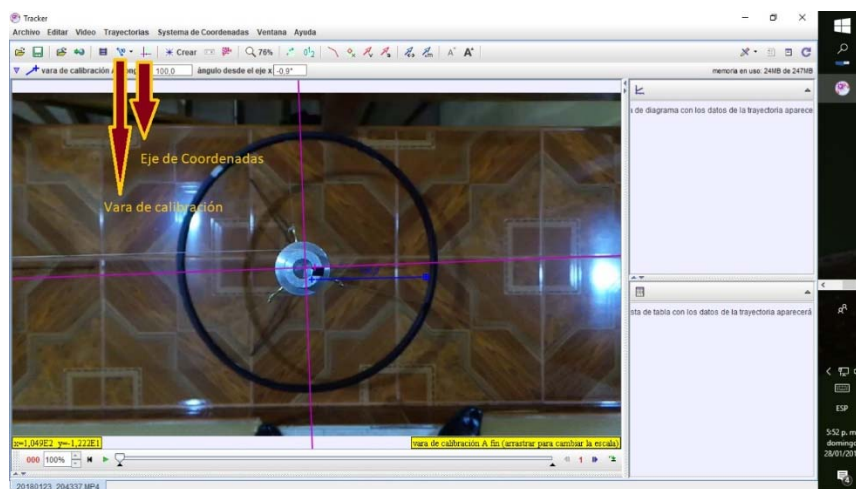
Se utiliza el montaje del Aro de Müller de acuerdo a la descripción de la guía No 1, posteriormente se graba con una cámara el movimiento de una de las tres partes planteadas en la guía (aro, polea y la masa). Para la explicación de la implementación del software Tracker centraremos nuestro estudio en el movimiento del Aro. La actividad se encuentra planteada para ser desarrollada en grupos de máximo 4 estudiantes y un mínimo de 3 estudiantes.

A continuación, se desarrollará los pasos a seguir con el programa de modelación Tracker:

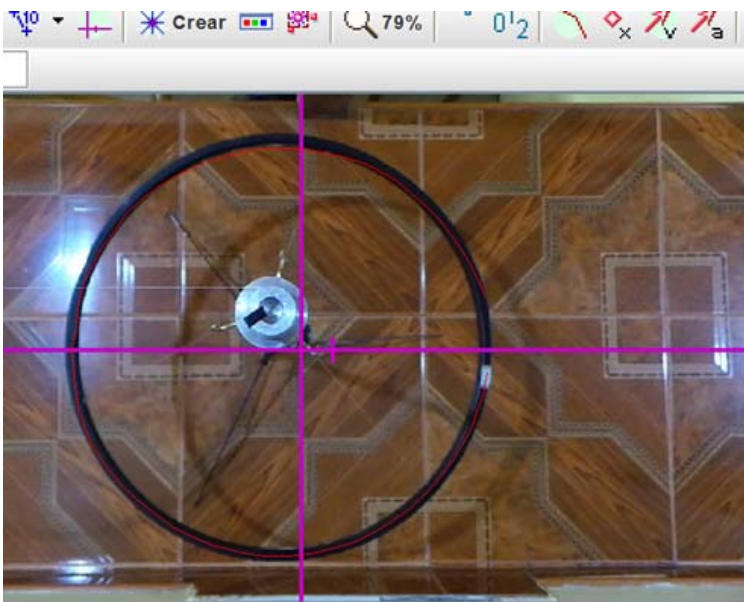
Una vez realizada la grabación del video del Aro, se verifica que el formato sea compatible con el software.

Ingresa el video al programa,

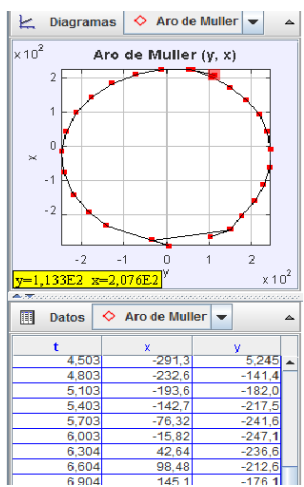
Primero se elige el eje de coordenadas dejando el centro del Aro como el origen del sistema de coordenadas (0, 0), después de esto se introduce la vara de calibración que es el radio del disco como lo muestra la siguiente figura.



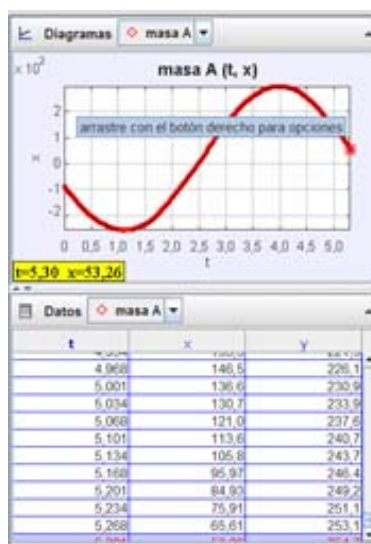
Luego se hace el rastreo o seguimiento de la marca hecha previamente sobre el aro. En este caso empleamos una cinta. El software tiene la función de seguir un punto seleccionado por el usuario.



La línea roja que se visualiza sobre el Aro describe la trayectoria de la marca hecha en al Aro. Posteriormente, el programa permite detectar las coordenadas en x y y de la trayectoria descrita por la marca y nos arroja la tabulación del seguimiento. Para realizar la gráfica de las posiciones x y y vs tiempo, seleccionamos los datos de x vs t y de y vs t, esta opción la brinda el programa.

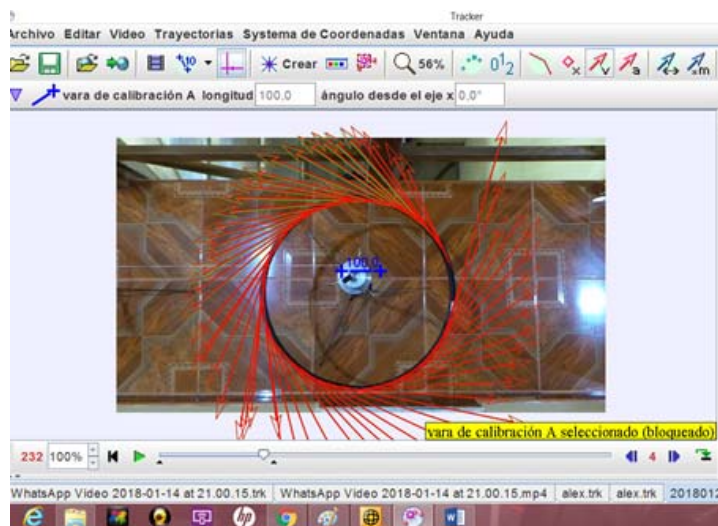


Una vez relacionadas las variables el programa nos permite graficar los datos de la tabla obteniendo la siguiente gráfica.

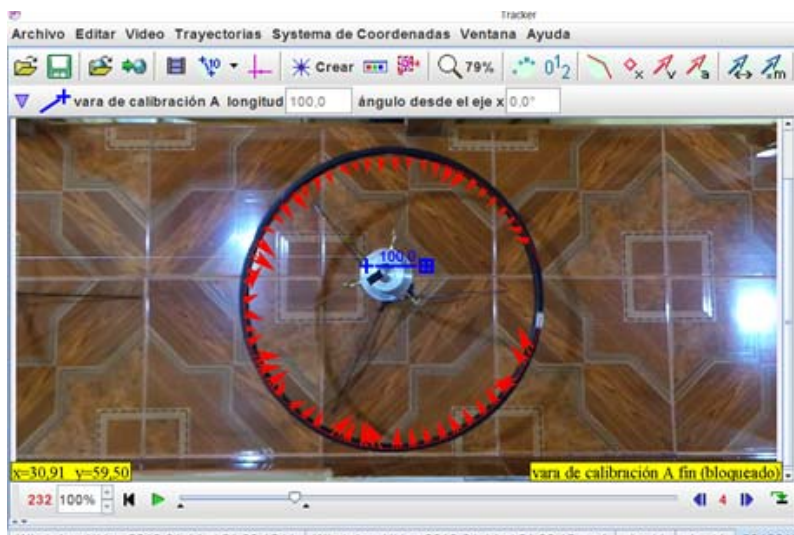


La amplitud de la figura corresponde al radio del Aro.

El programa detecta la dirección tanto de la velocidad como de la aceleración en ambas coordenadas del movimiento de cada uno de los puntos de la trayectoria descrita anteriormente (hecha por la marca).



Las flechas representan la dirección de la velocidad tangencial en cada punto de la trayectoria seguida por el Aro. Haciendo uso del programa, se puede detectar la dirección del vector aceleración centrípeta del Aro.



ACTIVIDAD

Con un objeto de longitud conocida calibre el programa, de manera tal que el programa pueda comparar para asignar la escala adecuada en metros.

En una tabla anota los valores de las posiciones en x y y

Realiza la gráfica de las posiciones y vs x . ¿la gráfica obtenida a que magnitud física corresponde?

Realiza la gráfica de las posiciones x, y contra el tiempo. ¿Qué gráfica obtienes?

Obtén el valor de la amplitud del anterior grafico ¿a quién corresponde y que representa físicamente?

Calcula las velocidades en x y y . Al graficar, obtendrás un comportamiento sinusoidal, con amplitudes iguales a la velocidad lineal de la marca. Se puede comprobar esta velocidad lineal con la circunferencia de la trayectoria entre el periodo de una revolución.

Calcula y grafica los valores para la aceleración centrípeta del movimiento

Grafica el ángulo contra el tiempo y mediante el programa Tracker determina la pendiente de la gráfica ¿Qué representa físicamente ese valor?

RESULTADOS Y CONCLUSIONES:

El uso del software Tracker nos permite centrar la atención en el fenómeno del movimiento circular descrito por el Aro. La modelación hecha, aproxima al usuario a conceptos y características propias del movimiento circular. En las prácticas experimentales clásicas de laboratorio, no es posible percibir de manera gráfica la dirección de los vectores velocidad tangencial y velocidad centrípeta.