

EVALUACIÓN DE LA SOLIDEZ EN EL APRENDIZAJE DE LA FÍSICA POR INVARIANTES EN ESTUDIANTES DE INGENIERÍA QUÍMICA

AVALIAÇÃO DA SOLIDEZ NA APRENDIZAGEM DA FÍSICA POR INVARIANTES EM ESTUDANTES DE ENGENHARIA QUÍMICA

Juan José Llovera González

Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría” Cujae, Cuba /
llovera@electronica.cujae.edu.cu

Resumen

Si bien es reconocida la importancia que tiene la Física General en la formación de los ingenieros, su enseñanza tradicional en ciencias técnicas ha adolecido de lograr niveles aceptables de significatividad y solidez en su aprendizaje. En el presente trabajo se analizan resultados de pruebas de solidez sobre temas fundamentales de Física aplicadas a grupos de estudiantes de diferentes años de la carrera de Ingeniería Química algunos de los cuales recibieron el curso de Física por invariantes y no en la forma tradicional. Se comparan los resultados y se hacen conclusiones acerca de las ventajas de la enseñanza de la Física por invariantes para lograr mejores indicadores de solidez y significatividad del aprendizaje de esta importante ciencia. **Palabras claves:** Enseñanza de la Física; Contenidos invariantes; Solidez en el aprendizaje; Aprendizaje significativo de las ciencias.

Resumo

Embora seja reconhecida a importância que tem a Física Geral na formação dos engenheiros, seu ensino tradicional nas ciências técnicas não alcança níveis aceitáveis de significação e solidez na sua aprendizagem.

Neste trabalho são analisados resultados de testes de solidez sobre tópicos fundamentais de Física, aplicados a grupos de estudantes de diferentes anos da carreira de Engenharia Química, alguns dos quais receberam o curso de Física por invariantes e não na forma tradicional. Os resultados são comparados e conclusões são tiradas acerca das vantagens do ensino da Física por invariantes para alcançar melhores indicadores de solidez e significação da aprendizagem desta importante ciência.

Palavras chaves: Ensino da Física; Conteúdos invariantes; Solidez na aprendizagem; Aprendizagem significativa das ciências.

Introducción

En trabajos anteriores se ha hecho referencia al hecho de que la estructura tradicional de los cursos de Física Universitaria se ha caracterizado tradicionalmente por responder a un paradigma histórico-lógico tal que, enmarcándose en los llamados **cuadros físicos del mundo**, fragmenta desde una perspectiva esencialmente analítica y simplificadora los fenómenos físicos que son objeto de estudio propiciando de manera indirecta un aprendizaje formal de esta disciplina (LLOVERA, 2008). Una revisión retrospectiva de los Cursos Física General (CFG) de los últimos 60 años evidencia que los mismos se han estructurado de forma tradicional a partir de un paradigma histórico-lógico que responde en lo fundamental a la forma en la que se han ido incorporando los descubrimientos realizados en el campo de la Física a dichos cursos. (GRAN, 1964; PERUCCA, 1953; ALONSO, 1960; FRANK, 1950; FRISH, 1968; HALLIDAY 1960, 1977, 1992; MÁXIMO, 1999; SAVELIEV 1984; SEARS, 1966, 1997, 2004; SEARWAY, 1995).

Sobre la base de identificar contenidos invariantes en la disciplina Física General Universitaria (FGU) y partiendo como referente de la teoría de la formación por etapas de las acciones hasta su nivel mental debida a Galperin y Talizina, se estructuró, diseñó y se editó por dos ocasiones en dos grupos de estudiantes de la carrera de Ingeniería Química del ISPJAE, (uno en el curso 05-06 y el otro en el curso 06-07) el denominado Curso de Física por Invariantes. Los resultados de este curso evidenciaron que tal reestructuración de los contenidos propició un aprendizaje más participativo de esta asignatura mostrando los

alumnos un mayor dominio de la asignatura en los exámenes finales de esta en ambos grupos (LLOVERA, 2006, 2008).

Como parte del diseño experimental se concibió la realización de pruebas de solidez del aprendizaje después de transcurrido un período de tiempo relativamente prolongado de haberse recibido el curso por los estudiantes y de haber culminado el estudio de las tres asignaturas que constituyen la disciplina. En este trabajo se presentan los resultados obtenidos al aplicar dichas pruebas de solidez a los estudiantes después de dos y un curso respectivamente de haber cursado la disciplina. Los resultados se comparan con los obtenidos por una muestra similar de alumnos que recibieron el curso de Física tradicionalmente estructurado.

I. Aprendizaje de la Física por invariantes

En trabajos previos el autor ha fundamentado que es posible estructurar los CFG de forma tal que en lugar de centrar la atención de los alumnos en el estudio de los fenómenos físicos particulares desde el punto de vista casi puramente mecánico o termodinámico, o electromagnético u óptico, o cuántico; el aprendizaje esté centrado en elementos de contenido que por su carácter general dentro de la ciencia Física y su operatividad didáctica puedan constituir el fundamento de la base orientadora de la acción para el aprendizaje individual y colectivo de un conjunto de fenómenos físicos más o menos amplio analizando los mismos de forma más holística y multilateral de lo que hoy se enseña a hacer. (LLOVERA, 1995, 2002, 2003, 2004, 2006, 2008).

Tales núcleos estructurales del programa de aprendizaje se reconocen en la literatura psicodidáctica como **invariantes o células generadoras** en dependencia de cómo operan didácticamente (TALIZINA, 1984, 1988) y su concepción general responde a la teoría de la formación por etapas de las acciones hasta su nivel mental que, derivada de la teoría de la actividad, permite explicar de forma muy satisfactoria a escala macroscópica desde el punto de vista psicológico como transcurre el proceso de aprendizaje posibilitando ejercer la dirección del mismo por parte del profesor en una forma más consciente y eficiente.

Algunas de las ventajas que han sido hasta hoy corroboradas por la práctica pedagógica del autor con relación a estructurar el aprendizaje de la Física General por invariantes son las siguientes:

- El aprendizaje se centra en unos pocos principios, leyes y conceptos de máxima generalidad los que son asimilados sobre la base de operar el estudiantes con los mismos en diferentes situaciones problemáticas que se le presentan al tener que explicar y comprender los diferentes fenómenos físicos que son objeto también de aprendizaje.
- Se propicia que los fenómenos que se estudian se vayan apreciando de forma natural en todos sus aspectos y manifestaciones tanto mecánicas como termodinámicas, electromagnéticas, ópticas o cuánticas y no de manera fragmentada como en general ocurre en los CFG tradicionalmente estructurados.
- El hecho de organizar el aprendizaje a partir de asimilar invariantes promueve necesariamente el intercambio entre los estudiantes y el profesor durante su encuentro en la clase así como, y sobre todo, entre los propios estudiantes creándose ambientes de aprendizaje colaborativo que van desarrollando en los estudiantes la capacidad de observación y de comunicación con terceros todo lo cual facilita que el aprendizaje transcurra por las diferentes etapas identificadas en la teoría anteriormente mencionada (motivacional, orientadora, material o materializada, del lenguaje externo, del lenguaje interno y finalmente mental)
- El contenido asimilado resulta más significativo para el alumno en la medida en que se articula como parte de una estructura cognitiva que se va conformando y ampliando en cada ejercicio de aprendizaje basado en una o varias invariantes.
- El desempeño que muestren los estudiantes en el dominio de las invariantes en presencia del profesor puede servir de criterio de medida del avance de la zona de desarrollo próximo (ZDP) individual lo cual posibilita al profesor individualizar las orientaciones apoyos y ayudas que decide suministrar a cada quien en cada momento del proceso.

La selección de invariantes ha permitido identificar un núcleo lógico didáctico conformado por 18 invariantes, clasificados por su grado de incidencia en el curso estos son:

Grupo 1. De alta incidencia

- Partículas e interacciones fundamentales. Modelo cuántico de interacción. (Célula generatriz). (53%)
- Ley fundamental de interacción clásica. Obtención de la ecuación de movimiento y su solución. (53%)
- Leyes de conservación de E , \mathbf{P} , \mathbf{L} , q , B , L . (73%)
- Principio de relatividad de Galileo. Teoría de la relatividad especial. (60%)
- Principio de superposición. (47%)

Grupo 2 de incidencia media

- Cuantificación de las magnitudes físicas.
- Principio y relaciones de indeterminación.
- Ley de decremento exponencial en los procesos de relajación.
- Dualidad onda-corpúsculo de la radiación y las partículas.
- Funciones de distribución probabilísticas.
- Ecuación de Schrödinger y función de onda.
- Método de fasores.

Existiendo después un grupo más reducido de invariantes de aplicación o incidencia más limitada:

Grupo 3 de baja incidencia

- Principio de irreversibilidad estadística (2da. Ley de la termodinámica).
- Sistema de ecuaciones de Maxwell.
- Reglas de selección.
- Principio de Fermat.
- Métodos geométricos de rayos notables.
- Principio de equipartición de la energía.

Sobre la base de las predicciones teóricas referidas hasta aquí se inició un experimento didáctico con un grupo de estudiantes el 1er. año de la facultad de Ing. Química que comenzaron el estudio de la Física Universitaria en el segundo semestre del curso académico 2005-2006. Este experimento se repitió con un grupo de alumnos del siguiente curso 2006-2007.

El enfoque de este curso está basado en estructurar el programa de aprendizaje sobre la base de la asimilación consciente de los invariantes de contenido que han sido previamente identificados, aplicándolos en situaciones problemáticas para desarrollando habilidades con estos, propiciar el aprendizaje independiente de nuevos contenidos por parte del estudiante (LLOVERA, 2008).

De lo que se trató entonces fue de no enseñar la mecánica, la termodinámica, el electromagnetismo o la óptica sino de enseñar las invariantes pre identificadas como bases para el análisis físico de los fenómenos y la solución de problemas.

II. Evaluación de la solidez a corto plazo en el aprendizaje de la Física por invariantes

Una de las formas de comprobar en qué medida se logra un aprendizaje significativo y sólido de determinados contenidos es realizando pruebas de solidez.

Las pruebas de solidez se deben realizar después de pasado un tiempo suficiente como para que las condiciones y variables que se determinaron durante el desarrollo del curso tiendan a ser despreciables en tanto el tiempo transcurrido así como la falta de retroalimentación periódica acerca de los contenidos que fueron en un momento objetos de aprendizaje permita que los estudiantes revelen solamente aquellos contenidos, conocimientos específicos y habilidades, de los que se apropiaron más establemente llegando a formar parte por un tiempo mayor de su estructura cognitiva.

Después de enseñar la Física durante un semestre a los dos grupos de estudiantes, al grupo control de forma tradicional y al grupo experimental estructurado por invariantes se aplicó nuevamente el cuestionario después de dos meses de receso docente a dos muestras de 8 estudiantes cada una tomadas al azar de ambos grupos, esta vez solamente se les pidió responder directamente los ítems II, III y IV relativos al grado de conocimiento de las leyes físicas, sus formulaciones y las magnitudes físicas fundamentales (ver anexo 1). Los resultados más significativos fueron los siguientes:

1. En relación con las leyes y principios recordados y su relación con los invariantes trabajados analicemos los resultados presentados en la tabla 1:

Tabla 1

	Grupo experimental	Grupo control
Cantidad de leyes, magnitudes y conceptos recordadas	13	15
Cantidad de estas clasificadas como invariantes.	6	3
Cantidad de leyes, magnitudes y conceptos, recordadas que no clasifican como invariantes.	7	12
Alumnos que recordaron la ley de Coulomb	5	2
Alumnos que recordaron la ley de Gravitación Universal	5	3
Alumnos que recordaron la ley de Biot Savart Laplace.	5	0

Durante esta etapa se trabajaron tanto en el grupo control como en el grupo experimental las leyes y principios que clasifican como invariantes del primer grupo, “de alta incidencia”, sin embargo para los estudiantes del grupo control estas fueron presentándose según van apareciendo en el CFG tradicionalmente estructurado y no se logró concientizar por los alumnos el carácter generalizador y sistematizador que estas poseen de forma explícita.

De esta tabla se infiere que los alumnos del grupo experimental recordaron más invariantes de forma consciente que los del grupo control los que a su vez recordaron un gran número de leyes particulares que no tienen en el curso de Física la trascendencia de las invariantes.

Notemos además que los alumnos del grupo experimental recordaron leyes de interacción fundamentales que no las recordaron en general los alumnos del grupo testigo (leyes de Coulomb, de Gravitación Universal y de Biot-Savart-Laplace)

En la tabla 2 se aprecia que en el grupo experimental son más los alumnos que recuerdan invariantes que en el otro grupo. Es interesante destacar que los invariantes denominados **Ley clásica fundamental de interacción** y **ley de conservación de la energía total** no son ni siquiera mencionados por los alumnos del grupo testigo al igual que ocurre con la **ley de conservación de la cantidad de movimiento angular** y con la **fuerza de Lorentz**.

Tabla 2

	Grupo experimental	Grupo control
Ley de interacción fundamental ($\mathbf{F}=\mathbf{dP}/dt$)	7 (87,5 %)	0
Ley de conservación de la energía total ($E = mc^2 + K$)	5 (62,5%)	0
Ley de conservación de la energía mecánica ($E = K + U$)	6 (75,0%)	2 (25,0%)
Ley de conservación de la cantidad de movimiento lineal P	6 (75,0%)	3 (37,5%)
Ley de conservación de la cantidad de movimiento angular L	2 (25,0%)	0
Fuerza electromagnética de Lorentz. ($\mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$)	1 (12,5)	0
Segunda Ley de Newton ($\mathbf{F} = m\mathbf{a}$)	2 (25,0%)	6 (75,0%)

Ocurre sin embargo que la segunda ley de Newton fue recordada por la mayor parte de los alumnos del grupo control y no así por los del grupo experimental quienes la aprendieron a Interpretar como un caso particular de la **ley clásica fundamental de interacción** bajo la condición de masa inercial constante.

2. En relación con el grado de generalidad atribuido a las leyes y principios recordados los dos primeros invariantes, la ley clásica de interacción fundamental y la ley de conservación de la energía total, fueron ubicados dentro de los tres primeros grados de generalidad por 7 y 4 alumnos del grupo experimental respectivamente. Los alumnos del grupo control, sin embargo, identificaron dentro de los tres primeros grados de generalidad la primera y tercera leyes de Newton las cuales no son mencionadas por los alumnos del grupo experimental dentro de las 7 que más recordaron.
3. Finalmente en relación con las magnitudes físicas fundamentales las mismas fueron identificadas en cada uno de los grupos por las cantidades de estudiantes que muestra la tabla 3 siguiente:

Tabla 3

Magnitudes fundamentales	Grupo experimental	Grupo control
Tiempo	7 (87,5 %)	4
Longitud	2	0
Masa	8 (100%)	5
Temperatura	2	4
Intensidad de la corriente eléctrica	1	3
Iluminación	0	0
Cantidad de sustancia	4	1

En la misma se puede apreciar que como tendencia los alumnos del grupo experimental identificaron en mayor medida las magnitudes fundamentales que los del grupo control incluso en algunas en un alto valor porcentual como en el caso del tiempo y de la masa.

Tres meses después y ya casi concluyendo el tercer semestre, se aplicó nuevamente el cuestionario de forma sorpresiva a los 10 estudiantes que permanecieron en el grupo experimental y a 20 del resto de los grupos control, esta vez solamente se les pidió responder directamente los ítems relativos al grado de conocimiento de las leyes físicas y sus

formulaciones y se incluyó un conjunto de preguntas en la encuesta referidas a la forma en que les satisfizo el curso de Física recibido. A su vez y para evaluar grado de solidez se incluyeron problemas relacionados con contenidos que fueron objeto de examen en el final del primer semestre cuyo planteamiento de la solución deberían hacer tomándose este indicador como criterio para medir el grado de solidez en el aprendizaje (ver anexo 2)

Con respecto a los resultados de esta primera prueba de solidez los mismos se resumen en la tabla 4 apreciándose que los alumnos del grupo experimental lograron formular las respuestas a los problemas propuestos con un índice mayor de aciertos que los alumnos del grupo control.

Tabla 4

Problemas propuestos	Grupo experimental	Grupo control
Problema 1.	6 (60%)	8 (40%)
Problema 2.	9 (90%)	9 (45%)
Problema 3.	8 (80%)	5 (25%)
Problema 4.	6 (60%)	1 (5%)
Problema 5.	4 (40%)	11 (55%)
Problema 6.	3 (30%)	1 (5%)
Problema 7.	2 (20%)	2 (10%)

Como puede apreciarse en esta prueba la muestra de alumnos del grupo control fue el doble en cantidad que la muestra del grupo experimental. La intención de esta diferencia tuvo por finalidad aumentar la probabilidad de que alumnos del grupo control plantearan correctamente la solución de problemas.

Si bien se puede argumentar que cada acierto de un alumno del grupo experimental se pondera con un 10% en tanto que para un mismo 10 % se requiere el acierto de dos alumnos del grupo control, también lo es que un desacierto en un alumno del grupo experimental pesa también en un 10% menos en tanto solo cada dos desaciertos en el grupo control se pierde un 10 %. Nótese además que a excepción de el problema 1 y del 5 en el resto las cantidades absolutas de alumnos que aciertan a plantear los problemas correctamente es igual o mayor a favor de los alumnos del grupo experimental lo cual habla a favor de mayor solidez en el grupo experimental.

III. Evaluación de la solidez y significatividad a largo plazo en el aprendizaje de la Física por invariantes

Como parte del experimento se concibió no impartir la Física por Invariantes en el curso académico 07-08 de manera que las referencias posibles a esta forma de estructuración del contenido se olvidaran durante todo ese curso por la memoria colectiva de los alumnos de la facultad en la que se había aplicado el experimento. También como parte del experimento se concibió aplicarlo solamente en los contenidos correspondientes a la mecánica, la termodinámica y el electromagnetismo tradicionales. De esta manera medió un intervalo de tiempo desde noviembre de 2006 en el primer grupo en el que se aplicó el experimento y desde noviembre de 2007 en el caso del segundo grupo hasta el mes de marzo de 2009 en que ninguno de los alumnos volvió a recibir los contenidos de la Física por Invariantes y mediando un tiempo desde julio de 2007 y desde julio de 2008 respectivamente desde que culminaron de cursar la disciplina.

En el mes de marzo del año 2009 se aplicó nuevamente una prueba de solidez a las dos muestras de estudiantes que habían aprendido la Física por Invariantes y a una muestra equivalente en cantidad esta vez de estudiantes que estudiaron la Física según el curso tradicionalmente estructurado correspondientes estos al curso 06-07 quienes tenían menos tiempo de haber concluido el estudio de la disciplina. La prueba de solidez se resumió en esta ocasión a recordar, formular y ejemplificar hasta 5 leyes o principios físicos previamente estudiados y a plantear hasta donde les fuera posible la solución de 7 problemas similares a los que se habían aplicado en la prueba de solidez anterior pero con un grado de dificultad ligeramente menor (ver anexo 3).

Así quedaron conformadas para esta prueba de solidez dos muestras de 18 alumnos en el grupo experimental y 19 alumnos en el grupo control respectivamente, debe apuntarse que en ambas muestras estaban incluidos los alumnos de más alto rendimiento docente demostrado en el aprendizaje de la Física en las dos variantes de organización del curso que se están comparando. La prueba de solidez fue aplicada durante 90 minutos y solamente fue avisada el día antes a todos los estudiantes. Debe considerarse que los alumnos en ese momento estaban estudiando para evaluaciones de otras asignaturas de sus años respectivos 3ro. y 4to. Las que les serían aplicadas uno o dos días después. Veamos los resultados más significativos:

Tabla 5

Grupo	% leyes recordadas	% leyes formuladas	% leyes ejemplificadas	% de aciertos G o P	% prob. bien planteados	% prob. parcialmente resueltos	% prob. resueltos
Exp 05-06	90,0	65,0	62,5	57,5	28,6	16,1	7,1
Exp. 06-07	92,0	70,0	50,0	38,0	30,0	17,1	18,6
Control	77,9	31,6	28,4	22,1	14,3	10,5	6,02

En la tabla 6 se muestra la comparación de ambas muestras experimentales sumadas como una sola respecto a la muestra del grupo control.

Tabla 6

Grupo	% leyes recordadas	% leyes formuladas	% leyes ejemplificadas	% de aciertos G o P	% prob. bien planteados	% prob. parcialmente resueltos	% prob. resueltos
Exp	91,1	67,8	55,5	46,7	29,3	16,7	13,5
Control	77,9	31,6	28,4	22,1	14,3	10,5	6,02
Δ (Exp Control)	+13,2	+36,2	+27,1	+24,6	+15,0	+6,02	+7,48

En la tabla 7 se comparan las dos muestras de alumnos que estudiaron la Física por Invariantes entre sí:

Tabla 7

Grupo	% leyes recordadas	% leyes formuladas	% leyes ejemplificadas	% de aciertos G o P	% prob. bien planteados	% prob. parcialmente resueltos	% prob. resueltos
Exp 1 05-06	90,0	65,0	62,5	57,5	28,6	16,1	7,1
Exp. 2 06-07	92,0	70,0	50,0	38,0	30,0	17,1	18,6
Δ (Exp 1 - Exp 2)	-2,00	-5,00	+12,5	+19,5	-1,4	-1,00	-11,5

Nótese que en las dos primeras tablas (tablas 5 y 6) se aprecia una diferencia apreciable entre los grados de recuerdo y de capacidades de aplicación de las leyes de la Física que fueron estudiadas en su momento la que resulta en todos los casos favorable a los alumnos que aprendieron la Física por Invariantes.

La comparación de los resultados obtenidos en las pruebas por los alumnos que aprendieron la Física por Invariantes es similar con diferencias relativamente pequeñas dadas en la mayor parte de los casos por la diferencia en el tiempo ya que los alumnos del grupo experimental 1 son los que cursan el 4to. año y los del grupo experimental 2 los que cursan el 3er. año respectivamente. Llama así mismo la atención que los indicadores de significatividad relacionados con la capacidad para ejemplificar mediante fenómenos el alcance de la ley así como de clasificarlas según su grado de generalidad fue mejor en los alumnos del grupo 1.

En relación a los tipos de problemas que fueron resueltos por los estudiantes se puede hacer otra interesante comparación la que se muestra en las tablas 8 y 9 respectivamente:

Tabla 8

	G. Exp 1 (05-06)	G. Exp. 2 (06-07)	G. Control (06-07)
Prob 1	37,5	30,0	15,8
Prob 2	62,5	60,0	21,1
Prob 3	37,5	50,0	36,8
Prob 4	50,0	60,0	47,4

Tabla 9

	G. Exp	G. Control (06-07)	Δ (Exp - Control)
Prob 1	33,3	15,8	+17,5
Prob 2	61,1	21,1	+40,0
Prob 3	44,4	36,8	+7,60
Prob 4	55,5	47,4	+7,80

Como se puede apreciar nuevamente los resultados de los porcentajes de alumnos que responden problemas o al menos plantean su solución correctamente es favorable a los alumnos que recibieron el curso de Física por Invariantes.

Debe destacarse que los problemas 3 y 4 se corresponden con un nivel de complejidad menor en el curso tradicional que los problemas 1 y 2.

En lo que se refiere a las invariantes recordadas debe destacarse que las más importantes de la Física que corresponden al grupo 1 y 2 de mayor incidencia fueron más frecuentemente recordadas por los alumnos del experimento que por los alumnos de la muestra de control.

Conclusiones

Es posible estructurar el CFG a partir de contenidos invariantes.

La reestructuración por invariantes posibilitó que la mayoría de los alumnos recordaran de forma priorizada leyes y principios de la Física que son de máxima generalidad y que además sean conscientes de esto lo que no se logra de forma natural en la estructuración tradicional de dicho curso.

La reestructuración del CFG por invariantes según la lógica aplicada para ordenar el aprendizaje de los contenidos muestra potencialidad para favorecer la solidez y significatividad del aprendizaje.

Los resultados preliminares obtenidos al aplicar esta propuesta didáctica indican que es posible elevar la calidad en el aprendizaje de la Física aplicando sistemáticamente esta alternativa de estructuración.

Rreferencias

ALONSO M. Acosta. **Física General**. Ed. LEX La Habana, 1960.

DÍAZ BARRIGA, F. **Estrategias Docentes para un Aprendizaje Significativo**. Mc.Graw Hill, México, 2000.

FRANK, N.H. **Introduction to Electricity and Optics**. Mc Graw Hill, 1950.

FRISH, S; Timoreva, A. **Curso de Física General**. Ed. Mir, Moscú 1968.

GONZÁLEZ, O. **Aplicación del enfoque de la actividad al Perfeccionamiento de la Educación Superior**. Ed. EMPSES, CEPES, La Habana, 1989.

GRAN, M. F. **Elementos de Física**. Ed. Consejo Nacional de Universidades, La Habana, 1964.

HALLIDAY, D. **Física**. Mc Graw Hill, 1977.

HALLIDAY, D. **Física para estudiantes de ciencias e ingenierías**. Mc Graw, Hill. 1960.

HALLIDAY, D. Resnick, R. **Física**, Mc Graw Hill, México, 1992.

LLOVERA, J. J. Aprendizaje de la Física por Invariantes. **Memorias de la III Conferencia Internacional sobre Educación Superior**. UNIVERSIDAD 2006, La Habana, febrero de 2006.

LLOVERA, J. J. Base orientadora de la acción para la determinación de contenidos invariantes y células generatrices. **Memorias del V Taller Internacional sobre la Enseñanza de la Física en Ingeniería (EFING` 2002)** La Habana, 2002.

LLOVERA, J. J. El modelo estándar como célula generatriz para el aprendizaje de la Física Moderna. Ponencia en el **VI Simposio y IV Congreso de la Sociedad Cubana de Física**. La Habana, 1995.

LLOVERA, J. J. Estructuración no tradicional del Tema Electromagnetismo en Ingeniería. Memorias de la **VIII Conferencia Interamericana sobre Educación en Física**, La Habana 2003.

LLOVERA, J. J. **Superposición de Ondas Electromagnéticas. Clase metodológica instructiva en opción a la categoría de profesor titular**. Departamento de Física del ISPJAE, 2004.

LLOVERA, J. J. Física por invariantes. Implementación y resultados de un experimento didáctico para elevar la calidad del aprendizaje de la física en las ciencias técnicas. Memorias de la **IV Conferencia Internacional sobre Educación Superior**, UNIVERSIDAD 2008, La Habana, febrero de 2008.

MÁXIMO, A. Alvarenga, B. **Física General**. Oxford University Press, México, 1997.

PERUCCA, E. **Física General y Experimental**. Editorial Labor, S. A. España, 1953.

POZO, J. I. **Teorías cognitivas del aprendizaje**. Ed Morata, SL. Madrid, 1997.

SAVELIEV, I. V. **Curso de Física General**. Ed. Mir, Moscú, 1984.

SEARS, F. W. **Electricidad y Magnetismo**. Ed. Revolucionaria, La Habana, 1966.

SEARS, F. W. **Mecánica, Movimiento Ondulatorio y Calor**. Ed. Revolucionaria, La Habana, 1966

SEARS, F. W. ZEMANSKY M. W. **Física Universitaria**. Pearson Educación, México, 1999.

SEARS, F. W. ZEMANSKY M. W. **Física Universitaria**. Pearson Educación, México, 2004.

SERWAY, R. A. **Física**. Mc Graw Hill, México, 1995.

TALIZINA, N. F. **Los fundamentos de la enseñanza en la Educación Superior.** Ed. EMPSES, CEPES, La Habana, 1984.

TALIZINA, N. F. **Psicología de la Enseñanza.** Ed. Progreso, Moscú, 1988.

Sobre lo autor

Juan José Llovera González: Profesor de Física, Instituto Pedagógico “Enrique José Varona” La Habana (1972). Lic. En Física, Universidad de la Habana (1981). Dr. en Ciencias Técnicas “Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría” Cujae La Habana (1998). Actualmente es profesor de Física General y Jefe del Departamento de Física de dicho Instituto. Desarrolla investigaciones en Enseñanza de la Física y en Física de Superficies y Coloides. Dirige el Laboratorio de Física de Sistemas Dispersos (FISDILAB) y el Grupo de Enseñanza de la Física para Ingenierías. Ha impartido conferencias y docencia de posgrado en diplomados y maestrías en Universidades de México, Colombia, Honduras, Bolivia, Chile y Brasil. Ha presentado sus resultados en diferentes foros y revistas de carácter nacional e internacional. Es miembro de la Sociedad Cubana de Física y de la Comisión Nacional de Física para la evaluación de planes y programas de estudio del Instituto Central de Ciencias Pedagógicas de la República de Cuba.

ANEXO 1 (DORSO)

- IV. De las siguientes magnitudes físicas identifique con una cruz las fundamentales (**F**) y las que de ellas se derivan (**D**).

Magnitud física	F	D
Tiempo		
Fuerza		
Aceleración		
Masa		
Carga eléctrica		
Energía mecánica		
Cantidad de movimiento		
Temperatura		
Intensidad de corriente eléctrica		
Velocidad		
Longitud		
Iluminación		
Potencia		
Cantidad de calor		
Cantidad de sustancia		

- V. Menciona brevemente tres fenómenos físicos que más recuerdes de tus estudios anteriores.

- VI. Menciona brevemente tres experimentos de Física que mejor recuerdes.

- VII. Según mi criterio actual, para un ingeniero la Física resulta ser:

___ útil, ___ necesaria, ___ imprescindible, ___ innecesaria

___ otro adjetivo (diga cual)

ANEXO 2

¿CÓMO RECUERDAS LA FÍSICA QUE ESTUDIASTE? (ENCUESTA)

Apreciado estudiante:

Tus respuestas a esta encuesta nos ayudarán probablemente a perfeccionar las orientaciones para el aprendizaje de la Física por invariantes.

Gracias de antemano por tu sincera y valiosa colaboración.

El Profesor de Física.

Nombre y apellidos: _____

Grupo: _____

- La forma de aprender la Física por invariantes me resultó: _____ fácil, _____ complicada, _____ bonita, _____ difícil, _____ ni tan fácil ni tan difícil, _____ me gustaba bastante, _____ no me gustaba tanto, _____ no me gustaba. _____ otro adjetivo (diga cuál)
- Completa la tabla siguiente con hasta 7 leyes o principios fundamentales de la Física que consideres de máxima generalidad y menciona fenómenos cuya explicación de estas se derivan. (no importa si quedan casillas vacías)

	Nombre de la ley	Fórmula general correspondiente	Fenómenos que explica
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			

- Ubica por su número en la tabla las leyes recordadas en orden decreciente según su grado de generalidad.

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

- Menciona brevemente tres ventajas que te aportó el aprendizaje de la Física por invariantes.

- Menciona tres desventajas que encontraste en el aprendizaje de la Física por invariantes.

- ¿Qué es para ti un invariante en el contenido de la Física?

- De acuerdo a tu conocimiento actual de la Física Cuántica ¿Puedes identificar alguna ley o principio que puedas considerar como invariante en dicho contenido de aprendizaje? Pon ejemplos que evidencien el carácter invariante de dicha ley o principio.

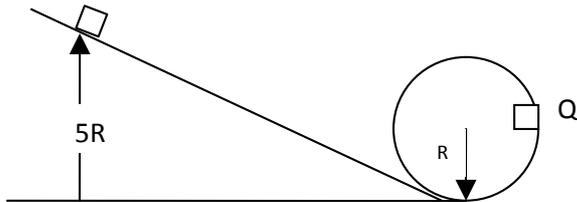
- Según tu criterio actual, ¿Necesita un ingeniero saber Física? Argumenta brevemente tu respuesta.

ANEXO 2 (Dorso)

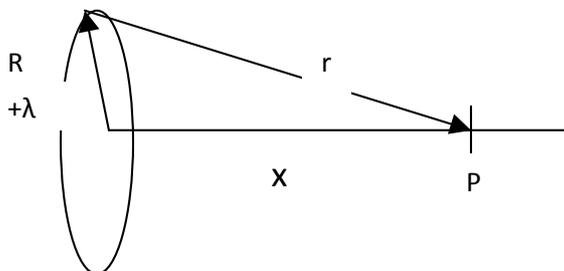
9. Formula las ecuaciones que deben ser usadas para resolver cada uno de los siguientes problemas (¡No se pide que los resuelvas pero sí que plantees como pueden ser resueltos!):

- Una partícula de masa m está en reposo en $x = 0$. Al tiempo $t = 0$ se aplica una fuerza aceleradora dada por la expresión $F = F_0 e^{-t/T}$ en la dirección $+X$; F_0 y T son constantes. En el instante $t = T$ se retira la fuerza. a) ¿Cuál es la velocidad de la partícula en ese instante en que la fuerza deja de actuar?
- Un pequeño bloque de masa m se desliza sin fricción a lo largo de una pista en rizo como se muestra.

El bloque se suelta desde el reposo en el punto P. (El esquema no está hecho a escala)



- ¿Cuál es la fuerza neta que actúa sobre él en el punto Q?
 - Desde qué altura sobre el fondo del rizo debería soltarse el bloque de modo que llegue a perder el contacto con la pista en la parte superior del rizo?
- Una vasija en reposo explota, rompiéndose en tres partes. Dos partes, una con el doble de la masa de la otra, se desprenden, de modo que una es perpendicular a la otra, a la misma velocidad de 31.4 m/s. La tercera parte tiene el triple de la masa de la parte más liviana. Halle la magnitud y la dirección de su velocidad inmediatamente después de la explosión. (especifique la dirección dando el ángulo desde la línea de recorrido de la parte menos pesada).
 - En un experimento se calientan 1,35 mol de oxígeno diatómico (O_2) a presión constante comenzando desde $11,0^\circ C$. ¿Cuánto calor debe añadirse al gas para duplicar su volumen?
 - Un mol de gas ideal (monoatómico) que ocupa un volumen de 5 litros se expande reversible e isotérmicamente de manera que su volumen se duplica realizando un trabajo de 1380 J. Posteriormente se pone en contacto con una fuente (foco térmico) a 400 K manteniendo su volumen constante hasta pasar a un nuevo estado de equilibrio.
 - Determinar los parámetros de cada estado (P , V , T), b) Represente los procesos en el plano PV ,
 - Determine la variación de energía interna y la variación de entropía para cada proceso.
 - Obtener la expresión vectorial de la intensidad del campo eléctrico E en un punto P del eje de un anillo de radio R electrizado con densidad lineal de carga positiva $+\lambda$ (ver figura).



- En ciertas condiciones un núcleo puede desintegrarse emitiendo una partícula alfa. Considérese la desintegración alfa del Radio. Identifique y formule cada una de las leyes de conservación que regulan este proceso.



ANEXO 3

¿CÓMO RECUERDAS LA FÍSICA QUE HAS APRENDIDO?

(ENCUESTA)

Apreciado estudiante:

Tus respuestas a esta encuesta nos ayudarán con seguridad a elevar la calidad en la enseñanza de la Física a los futuros ingenieros. Gracias por adelantado por tu tiempo y valiosa colaboración.

El Profesor de Física.

Nombre y apellidos: _____

Grupo: _____

1. Completa la tabla siguiente con hasta 5 leyes o principios fundamentales de la Física que consideres de validez general y menciona en cada caso un fenómeno cuya explicación se derive de dicha ley. (No importa si quedan casillas vacías) Identifica en la última columna si la ley es de validez general (**G**) para varios fenómenos o particular (**P**) para un fenómeno dado.

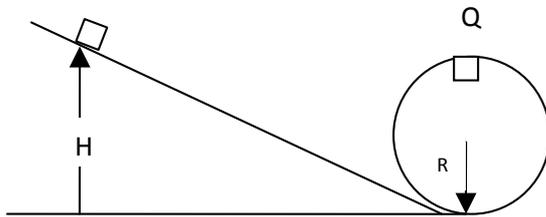
	Nombre de la ley	Fórmula general correspondiente	Un fenómeno que explica	¿G o P?
1				
2				
3				
4				
5				

2. Menciona brevemente tres habilidades que consideras que la Física te ayudo a desarrollar como estudiante.
3. Menciona tres insuficiencias que consideres deben mejorarse en relación con el curso de Física que recibiste.
4. Según tu criterio actual, ¿Necesita un ingeniero saber Física? Argumenta brevemente tu respuesta.

ANEXO 3 (Dorso)

Formula las ecuaciones que deben ser usadas para resolver cada uno de los siguientes problemas (¡No se pide que los resuelvas si no puedes pero sí que al menos plantees las ecuaciones que permiten resolverlos!)

- Una partícula de masa m está en reposo en $x = 0$. Al tiempo $t = 0$ se aplica una fuerza aceleradora dada por la expresión $F = F_0 \left(1 - \frac{t}{T}\right)$ en la dirección $+X$; F_0 y T son constantes. ¿Cuál es la velocidad de la partícula en el instante $t = 2T$? ¿A qué distancia estará del origen en ese instante?
- Un pequeño bloque de masa m se desliza sin fricción a lo largo de una pista en rizo como se muestra. El bloque se suelta desde el reposo en el punto P. (El esquema no está hecho a escala)



¿Desde qué altura H debería soltarse el bloque de modo que llegue a perder el contacto con la pista en el punto Q en la parte superior del rizo?

- Una granada en reposo explota, rompiéndose en dos partes una con el triple de la masa de la otra las que se desprenden, de modo que vuelan en sentidos opuestos entre sí, conocida la velocidad V de la parte mayor. Halle la magnitud de la velocidad v de la porción menor inmediatamente después de la explosión.
- Un mol de gas ideal (monoatómico) que ocupa un volumen de 5 m^3 se expande reversible e isotérmicamente de manera que su volumen se duplica realizando un trabajo de 1380 J . Posteriormente se pone en contacto con una fuente térmica a 400 K manteniendo su volumen constante hasta pasar a un nuevo estado de equilibrio.
 - Determinar los parámetros de cada estado (P , V , T),
 - Represente los procesos en el plano PV ,
 - Determine la variación de energía interna y el trabajo realizado para cada proceso.
- Hallar la expresión de la intensidad de la corriente inducida en un circuito cuadrado de lado a y resistencia R en el cual el campo magnético de inducción \mathbf{B} perpendicular a la superficie del circuito varía en el tiempo según la ley $B(t) = 54t^2 + 2t$.

$$\begin{array}{c} \text{x x x x x x} \\ \text{x x x x x x} \\ \text{—x x x x x x} \end{array}$$
- Por un conductor lineal infinitamente largo circula una corriente de intensidad I . Demuestre que la inducción magnética B alrededor del conductor a una distancia r de su centro viene dada por la ecuación

$$B = \frac{\mu I}{2\pi r}$$
- El tiempo de vida de un estado excitado de un átomo es $\Delta t \approx 10^{-8} \text{ s}$. Halle la indeterminación ΔE en el valor de su energía. Considere conocida la constante que sea necesaria y deje su expresión indicada.