

INFORME FINAL DE TESIS
MAESTRÍA EN EDUCACIÓN
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES – CENTRO DE INVESTIGACIÓN
Y FORMACIÓN EN EDUCACIÓN (CIFE)

APRENDIZAJE DE FÍSICA EN ESTUDIANTES DE DISEÑO INDUSTRIAL DENTRO DE UNA
INNOVACIÓN PEDAGÓGICA CONSISTENTE CON EL CONSTRUCTIVISMO

PRESENTADO POR:

CAROLA HERNÁNDEZ

ASESORADA POR:

CLAUDIA L. ORDÓÑEZ ED. D.

JULIO DE 2004

Al pensar en todo el proceso que he recorrido en los últimos años y en los logros que he tenido no puedo dejar de sentirme reconfortada. Al terminar esta mi segunda tesis, mi tesis de maestría en educación tengo que dar gracias a la vida a Dios por haberme permitido vivir todo esto. Por haberme dado luz sobre que quiero hacer con mi vida, por haberme dado la fortaleza para caminar este tramo y por haberme dado el amor, la compañía y la paciencia de quienes me acompañaron.

Tengo que agradecer a Claudia Ordóñez, Bernardo Gómez y Ramón Fayad por el tiempo que se tomaron para discutir mis ideas pedagógicas y mi interés por el aprendizaje y la enseñanza de la física. A mis estudiantes por permitirme “experimentar” con ellos, porque aunque este trabajo fue planeado también es una innovación y nada garantizaba que todo saldría bien. A mis profesores complementarios porque muchas veces el trabajo en el curso les resultaba extraño y difícil de realizar y sin embargo me acompañaron y apoyaron en él.

Pero quiero en especial agradecer a Camilo por todo el apoyo emocional que me brindo todo este tiempo, por ayudarme a seguir cuando yo sentía que nada tenía sentido y que mi esfuerzo y mi trabajo no daban los frutos que yo esperaba. Por ser paciente en mis momentos de desesperación y por compartir mi alegría cuando todo iba viento en popa. Por sentirse más orgulloso que yo misma de mis logros y por ayudarme a poner en perspectiva lo bueno y lo malo de cada paso en este proceso. Mi gratitud y mi amor por siempre.

CONTENIDO

1. Introducción	4
1.1. Antecedentes y Marco conceptual	4
1.2. Descripción de la innovación pedagógica aplicada	11
2. Preguntas de investigación	16
3. Metodología	17
3.1. Participantes en la investigación	17
3.2. Recolección de datos	18
3.3. Análisis de datos	19
4. Resultados	21
4.1. Aprendizaje de conceptos físicos	22
4.2. Otros Aprendizajes	24
4.2.1. Otros Aprendizajes relacionados con la física	24
4.2.1.1. Manejo de conceptos aplicados al diseño	24
4.2.1.2. Calibración	26
4.2.1.3. Consideraciones sobre materiales	27
4.2.1.4. Análisis gráfico	29
4.2.1.5. Desempeños finales	31
4.2.1.5.1. Objetos presentados	31
4.2.1.5.2. Aporte, desde la física, al objeto analizado	32
4.2.2. Otros Aprendizajes relacionados con la innovación	32
4.2.2.1. Cambio en la percepción de qué es y para qué les sirve la física	32
4.2.2.2. Aprendizajes provenientes de la forma de evaluación del curso	33
4.2.2.3. Aprendizajes provenientes del aprendizaje en colaboración	36
4.2.2.4. Reflexión personal sobre el aprendizaje	38
4.2.2.5. Mejoras en la habilidad de escribir	40
5. Discusión	40
5.1. Aprendizaje de conceptos físicos	40
5.2. Otros Aprendizajes	42
5.2.1. Otros Aprendizajes relacionados con la física	42
5.2.2. Otros Aprendizajes relacionados con la innovación	44
5.3. Retos hacia el futuro	46
6. Referencias Bibliográficas	49
7. Anexos	51

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes y Marco conceptual

Mis reflexiones acerca de mi labor como docente me han llevado a muchos cuestionamientos. Dentro de la comunidad académica en la que me desenvuelvo, un departamento universitario de física, la Física es la vida misma. Para los físicos, la Física es la manera como observamos el mundo, como pensamos, como hablamos. Pero cada vez soy más consciente de que mi visión no es la que tienen la mayoría de las personas. Enseño física a personas que en su gran mayoría la utilizarán como una herramienta para sus propios intereses, que son distintos a los míos y a los de la comunidad de físicos en la que vivo. Particularmente, la población objeto de esta investigación son futuros diseñadores industriales. Muchos de ellos no gustan de la física ni de las matemáticas, pero saber aplicar conceptos físicos adecuadamente es muchas veces la diferencia entre diseños que sean funcionales o no. Así, propiciar cursos de física más cercanos a sus necesidades es un problema concreto que experimenta el Departamento de Física para el cual trabajo.

A partir de mis estudios de pedagogía he llegado a concluir que algunas prácticas derivadas de la concepción constructivista del aprendizaje pueden permitirme generar cursos más flexibles y acordes con las necesidades e intereses de estos estudiantes, de modo que pueda crear un ambiente más propicio para generar en ellos un aprendizaje significativo (Ausubel y otros, 1983). Concluyo esto porque dichas prácticas parten de un principio básico, que es el de entender el aprendizaje como un proceso que parte de lo que quien aprende ya sabe desde su experiencia y que puede continuar también a partir de nuevas experiencias (Piaget 1969; Perkins, 1998). Esto implica que todos ya tenemos algún conocimiento sobre lo que aprendemos y que ningún aprendizaje está terminado, de modo que es susceptible de ser modificado. El aprendizaje es significativo según Ausubel cuando los nuevos

conocimientos adquiridos por un individuo se vinculan de una manera clara y estable con los conocimientos previos que este individuo poseía (Ausubel y otros, 1983). No importa, pues, que mis estudiantes no sean estudiantes de ciencias; ellos saben algo de física aunque sea elemental o errado, y si logro que usen esos conocimientos en el proceso de aprender nuevos pueden llegar a ser cultos en los principios básicos de la física y aplicarlos según sus necesidades e intereses. Se trata de involucrarlos en un proceso que claramente los lleve a moverse de sus conocimientos actuales a otro nivel donde puedan manejar conceptos físicos universalmente aceptados, en su campo verdadero de acción, en este caso al diseñar objetos funcionales.

Formalmente, el constructivismo se define como una epistemología, una teoría de la relación entre el hombre y el conocimiento (Piaget, 1969) y una teoría de cómo se aprende (Savery & Duffy, 1996; Mestre, 2001). Piaget plantea que todo conocimiento es una construcción individual de la mente humana a partir de la experiencia en el mundo y a través de las representaciones que hace para adaptarse a él (Piaget, 1969). Esta idea básica ha sido enriquecida por Vygotsky (1985), quien presenta la construcción de conocimiento como un acto que necesita la relación social y que implica la evaluación de la viabilidad de la comprensión individual (Savery & Duffy, 1986). Creer en el constructivismo, pues, obliga a que los educadores se aparten de la visión de que se aprende por transmisión del conocimiento (Mestre, 2001). El estudiante no puede ser un recipiente pasivo de conocimiento sino como un participante activo en su construcción (McDermott, 1991).

Pero, ¿qué significa aprender? Una respuesta a esta pregunta es que aprender es comprender (Perkins, 1998). En un curso de física se busca que los estudiantes comprendan los principios básicos de esta ciencia y que puedan utilizarlos en sus propias áreas de conocimiento, en un proceso de transferencia.

Transferir es la habilidad de aplicar un conocimiento aprendido en un contexto, en otro contexto diferente (Mestre, 2001). Pero este acto casi nunca se produce desde los cursos de física ni hacia ellos, dado que el aprendizaje formal de la física implica tradicionalmente únicamente transferir conocimientos desde o hacia las matemáticas. Uno de los principales problemas para lograr la transferencia es que los conocimientos previos pueden interferir en la transferencia a contextos nuevos (Mestre, 2001). Y teniendo conciencia de que la construcción de significado empieza en el individuo a partir de lo que ya sabe sobre aquello que está aprendiendo, encontrar sentido a lo que se aprende supone establecer relaciones entre estos dos aspectos: lo conocido y lo nuevo (Driver, citado en Nieda & Macedo, 1997), relaciones que los ambientes de aprendizaje deben facilitar.

Whitelegg y Parry (1999) concluyen, a partir de una experiencia de aula realizada en 1992 en un curso de física para estudiantes de nivel secundario en Victoria, Australia, que en general la física se ve descontextualizada, fuera de la realidad, porque tradicionalmente se enseñan principios 'básicos' y luego se hacen aplicaciones, de modo que no se genera transferencia. Proponen que si se utilizan contextos reales para enseñar física se incrementa la comprensión y la discusión social de los temas científicos. Otra consecuencia es que se rompe el orden típico de los temas y algunos de ellos aparecen más de una vez. Así se genera realmente la transferencia porque se requiere aplicar flexiblemente el conocimiento que se posee para entender otra situación bajo el mismo principio estudiado inicialmente.

La importancia de la transferencia en la enseñanza de la física hace muy pertinente la visión constructivista de Perkins (1998), basada en la comprensión. Para él, la comprensión es la capacidad de pensar y actuar flexiblemente con lo que se conoce. Así, presenta una visión de la comprensión como desempeño en contraposición a la visión piagetana de la comprensión como desarrollo de representaciones mentales (Perkins, 1998). Perkins

muestra cómo la comprensión de algunos conocimientos puede estar desligada de una representación mental (es el caso, dice él, de algunos conocimientos lingüísticos) pero sí presenta siempre las características de flexibilidad en el desempeño. Para Perkins la forma de aprender, y a la vez la consecuencia más importante del aprendizaje, debe ser el uso de lo aprendido en contextos flexibles de acción (Perkins, 1998).

A partir de esta concepción de aprendizaje como desempeño, he buscado en la literatura pedagógica material que me suministre las bases para desarrollar una innovación pedagógica en mi curso de física para diseño industrial. Los principales elementos de la innovación se basan en prácticas consistentes con el constructivismo que permitan generar y hacer evidente en los estudiantes la comprensión de principios de la física en desempeños auténticos de aplicación de estos conocimientos a ejercicios de diseño de objetos.

Para Gardner y Boix-Mansilla (1998) los desempeños auténticos son fácilmente reconocibles y modelables a partir del análisis de los desempeños reales provenientes de problemas y modos de pensar propios y necesarios para la labor diaria de especialistas de diferentes tipos que practican cada disciplina en el mundo real, y que a su vez revelan tanto problemas como modos de pensar propios de los campos disciplinares (Ordóñez, 2003). En consecuencia, los desempeños auténticos en un curso de física para un diseñador serán aquellos que lo lleven a ver la física como un conocimiento que, en su actuación profesional, le brindará la posibilidad de generar objetos que funcionen efectivamente.

Existen miles de objetos cotidianos que involucran principios físicos en el desarrollo tecnológico que dio lugar a su existencia. La innovación que he realizado consiste en basar el aprendizaje de la física en mi curso en el desarrollo de proyectos. Esta idea nace de dos fuentes. La primera plantea el uso de proyectos como una forma creativa de manejar, ir comprendiendo y evaluar conocimientos en física, porque todo proyecto requiere

investigación, creatividad, una presentación rigurosa de la información de manera oral y escrita y un buen manejo bibliográfico (Mackin, 1996). La segunda surge de la observación del actuar cotidiano de los diseñadores: los proyectos son su forma real de trabajo en su vida profesional y, además, alrededor de ellos están estructurados varios de los cursos de su carrera. Cada proyecto del curso de física involucra el manejo de uno o varios conceptos físicos, a la vez que permite a los estudiantes crear sus propios diseños, valorando el componente artístico de la presentación.

Como consecuencia de este cambio pedagógico se deriva otro aspecto importante del diseño del curso, que es su forma de evaluación. Una evaluación basada en exámenes tradicionales sería incompatible e incongruente con la concepción de aprendizaje concretada en los proyectos. Más bien la evaluación de trabajo relacionados con el proyecto mismo, como objeto de evaluación, podría aportar nuevos elementos a la coherencia pedagógica del curso.

Para estimular aún más el proceso de aprendizaje en los estudiantes introduce el trabajo en colaboración, que se origina en la importancia que da Vygotsky (1985) a la interacción social en el proceso de aprender. En general, para el aprendizaje en colaboración se conforman grupos pequeños y los estudiantes trabajan en diferentes tipos de actividades como la discusión de lecturas, la resolución de problemas, la escritura y revisión de ensayos colectivos o individuales (Thomchick, 1997). El profesor participa como un facilitador de la experiencia de aprendizaje. Debe ser un experto capaz de guiar a los grupos en su labor sin restarle importancia a la capacidad de involucrarse de cada uno de los participantes. Para Thomchick (1997) la mayor ventaja del aprendizaje en colaboración es la participación activa del estudiante en su proceso de aprendizaje, así que el tamaño de los grupos debe ser tal que todos los estudiantes se vean forzados a participar en las

discusiones concernientes a los temas del curso. Se plantea que el tamaño adecuado de los grupos es de cuatro a seis personas, porque todos los estudiantes deben aprender el tema y no dividir el trabajo (Webb, 1985). Para un aprendizaje en colaboración efectivo tienen que existir metas grupales e individuales simultáneamente (Michaels, 1977, en Webb, 1985). En el curso para estudiantes de diseño estas metas están definidas por la necesidad de realizar los proyectos tanto en forma grupal como individual. También durante las sesiones de clase los estudiantes trabajaron en colaboración realizando varios tipos de actividades como realización de protocolos para orientar el trabajo en los proyectos grupales y revisión en los grupos de trabajo de las entregas individuales.

Mi curso trabajó, además, en forma permanente el rigor en la presentación de información y el desarrollo de lenguaje científico en actividades como leer artículos científicos (incluyendo un libro de texto) y escribir los informes de los proyectos. Estos desempeños comprometen un uso del lenguaje particular a las disciplinas científicas. En muchos casos los docentes no ofrecemos oportunidades de practicar explícitamente este uso del lenguaje o no le brindamos la importancia esperada durante el desarrollo de la clase, pero si en la evaluación. Por ello los estudiantes de mi curso realizan presentaciones, tanto orales como escritas, de los proyectos que evidencien los diferentes niveles de desempeño alcanzado.

Los procesos de comunicación oral y de escritura dentro de una disciplina responden a la necesidad de informar a otros lo indagado y lo aprendido en procesos personales de estudio de temas particulares. Para manejar estos procesos comunicativos me sustentó en una visión pragmática del lenguaje, que revela que en ciencias naturales se emplea un tipo particular del discurso extendido (Snow y Kurland, 2001) y examina el proceso de escribir como una serie de relaciones entre el escritor y la materia que trata, entre el escritor y el lector y entre la materia tratada y el lector (Giroux, 1997). El discurso extendido propio de

los informes científicos es una producción que debe ser planeada para lograr que se hagan claras muchas conexiones entre ideas. Tanto la comunicación oral como la escritura en ciencias dan enorme importancia a la planeación rigurosa y la presentación detallada de información. El discurso de la ciencia también necesita automonitoreo, que se realiza más fácilmente de manera escrita que en el caso oral, dado que se puede releer el texto y determinar si responde o no las necesidades comunicativas (Snow y Kurland, 2001).

Existen otras formas escritas más personales, que también pueden ayudar al aprendizaje de las ciencias porque promueven la reflexión sobre lo que se va aprendiendo. Estos escritos pueden constituir diálogos personales donde se consignan ideas y de donde es posible aprender de las experiencias vividas. Pueden llegar a ser vehículos de progreso en la comprensión de un tópico a través de la escritura, pues ésta facilita y obliga a confrontar la experiencia nueva con otras previas, a hacer conexiones y descubrir coherencia o incoherencia en el conocimiento personal (Knoblauch, & Brannon, 1983). Tienen relación con lo que Schön (1987) llama la reflexión en la acción, proceso por el cual las personas son capaces de llevar a cabo, paralelamente con sus acciones, una reflexión sobre las mismas que permite profundizar en el aprendizaje. Si bien esta reflexión tiende a ser de carácter privado, es por medio de la elaboración del documento que se hace explícita y que los procesos cognoscitivos se intensifican (Woodward, 1998; Schön; 1987). El examen de estos documentos permite, además, conocer los procesos de aprendizaje de sus autores (Woodward, 1998), por lo cual pueden servir para su evaluación.

Finalmente, para acompañar el proceso de aprendizaje de los estudiantes es importante generar instrucciones claras sobre lo que se espera como tal. Tradicionalmente, como profesores, nos reservamos nuestros criterios y estándares para nosotros mismos y no los explicitamos a nuestros estudiantes. Algunos de ellos los deducen fácilmente pero otros no

los entienden nunca. Las respuestas a los exámenes son secretas y tendemos a no articular qué tenemos en cuenta cuando las evaluamos. No es inusual escuchar que muchos estudiantes no saben qué se les va a evaluar o no tienen claro cuándo su trabajo es evaluado como bueno.

Para evitar esto y hacer que la evaluación de mi curso fuera parte del aprendizaje de los alumnos desarrollé matrices de criterios de evaluación que los estudiantes conocieron con amplitud durante el desarrollo del curso, de modo que sabían qué se esperaba de sus productos y cómo iban a ser evaluados. Una matriz de criterios de evaluación es usualmente un documento de 1 o 2 páginas que describe varios niveles de calidad, de excelente a deficiente, para varios criterios de evaluación de un trabajo o tarea particulares. Se usan por lo general en trabajos relativamente complejos como un proyecto a largo plazo, un ensayo escrito o un escrito investigativo (Goodrich, 1999). Los objetivos de las matrices de criterios de evaluación son dos: dar a los estudiantes una retroalimentación informativa sobre el progreso de sus tareas y darles evaluaciones detalladas de sus trabajos finales. Las matrices hacen que el estudiante orientado trabaje rápida y eficientemente, y ayuda a los profesores a justificar las notas que asignan a sus estudiantes (Goodrich, 1999).

1.2. Descripción de la innovación pedagógica

Diseñé este curso especialmente pensando en las necesidades, actividades y habilidades de estos estudiantes. El curso se llevó a cabo basándose en el desarrollo de proyectos de diseño, como actividades grupales e individuales que tenían como fin comprender principios físicos fundamentales como fuerzas, torques, leyes de conservación de la energía y momento lineal, en un contexto rico en aplicaciones a la actividad profesional futura del diseño de objetos. Además busqué que aplicaran otras habilidades propias de la física como

la ubicación de variables físicas importantes para el correcto funcionamiento del objeto, la medición, la estimación y el cálculo de dimensiones, la búsqueda de las propiedades adecuadas en materiales, la calibración del objeto para que satisfaga las restricciones requeridas y el análisis gráfico desde conceptos físicos. Pedagógicamente, procuré generar una reflexión escrita sistemática sobre lo aprendido para intensificar el aprendizaje.

Los proyectos grupales consistieron en diseñar objetos a partir de la aplicación de principios físicos. Un ejemplo fue el diseño de sillas que podían mantenerse en pie. Para apoyar el desarrollo de las entregas grupales, organicé parejas de sesiones de aprendizaje en colaboración. En las ocasiones en las que se realizó esta actividad utilizamos dos sesiones: en la primera entregué a cada grupo una hoja con las condiciones del nuevo proyecto y les solicité que desarrollaran una lluvia de ideas sobre cómo desarrollar el proyecto, que organizaran las ideas en temas de investigación y que se asignaran tareas específicas para avanzar sobre el proyecto. En la segunda sesión cada persona del grupo debía presentar la profundización que hubiera realizado en su tarea, y a la luz de esta nueva información el grupo debía discutir y replantear el proyecto. En varias ocasiones estas segundas sesiones contaron con la presencia de otros profesores para discutir y complementar las ideas de los estudiantes.

Desarrollaron además un proyecto individual a lo largo del semestre, cuyo objetivo fue usar el pensamiento crítico en el análisis de la física en el diseño. Se inició buscando un artículo de alguna revista de diseño o una tesis de diseño industrial que involucrara alguno de los temas del curso de física, para pasar a su estudio y análisis desde los elementos conceptuales que aportaba el curso. El proyecto evolucionó realizando entregas sucesivas en las cuales los estudiantes profundizaron en la construcción de significados de los conceptos físicos, la aplicación de estos conceptos, el análisis del uso de materiales a la luz

de las necesidades del objeto estudiado y el análisis gráfico desde conceptos físicos. A partir de este estudio los estudiantes generaron propuestas de modificación para mejorar el diseño analizado.

Aunque se realizaron sustentaciones orales de los proyectos grupales, todos ellos fueron evaluados por medio de documentos escritos desarrollados por los grupos de estudiantes. Además para cada clase del curso se asignó una lectura específica del libro texto del curso (Hetch, 2000). Recalqué la importancia de la lectura previa a la clase para su correcto desarrollo. En la clase sólo era posible utilizar los apuntes tomados por los estudiantes a partir de las lecturas, y periódicamente se realizaron controles de lectura al inicio de las clases. El objetivo de estas acciones fue propiciar una serie de conocimientos previos más fundamentados que permitieran desarrollar en la clase pequeños desempeños como análisis de situaciones cotidianas, estudio de objetos comunes a través del trabajo en grupos de discusión, discusiones generales de la clase en donde el profesor participó como mediador, principalmente ordenando y jerarquizando conceptos en mapas conceptuales, uso y aplicación del lenguaje gráfico y discusión de errores conceptuales comunes y cómo superarlos.

Para cada una de las actividades del curso (entregas grupales y entregas individuales) diseñé una matriz de criterios de evaluación (anexo No1). En términos generales, cada fila de la matriz representa un tipo de aprendizaje que yo esperaba que se presentara, y las columnas contienen niveles de calidad para cada uno de esos aprendizajes, que se traducen en un valor cuantitativo diferente. Las siguientes son las categorías de aprendizaje incluidas en estas matrices:

Definición de conceptos: Al iniciar el proceso de diseño es importante determinar qué necesito saber para que mi proyecto se lleve a cabo de la mejor forma posible. Por ello es

importante determinar qué conceptos físicos son pertinentes en el análisis y diseño del objeto planteado, buscar sus definiciones en diferentes fuentes y citarlas, estableciendo relaciones matemáticas y verbales entre estos conceptos.

Manejo conceptual: Luego de identificar y definir algunos conceptos, necesito aplicarlos en el análisis concreto de la situación planteada o del objeto que diseño. Esto implica el uso de principios físicos para explicar situaciones cotidianas, superando las concepciones no científicas o el manejo, dentro de la cotidianidad profesional, de ciertos principios no cuestionados pero tampoco entendidos desde la física.

Consideraciones sobre materiales: Como los objetos son reales, la determinación de las propiedades físicas que se hacen necesarias en los materiales empleados en la generación del objeto es vital para la realización del proyecto. Determinar los materiales adecuados requiere un análisis de sus propiedades, su mejor uso, economía y eficiencia.

Calibración: La realización de objetos implica que satisfagan ciertas condiciones, por lo cual es necesario llevar a cabo procesos de calibración y mejoras a los objetos en el proceso de desarrollarlos. Por ellos es importante realizar pruebas previas suficientes para garantizar que el objeto satisface las restricciones requeridas según las instrucciones de diseño, y llevar un registro claro de este proceso que permita identificar el avance del diseño y la aplicación de la física en su transcurso. En muchos casos este criterio implica el uso del lenguaje matemático para realizar cálculos previos pertinentes que ayuden en el diseño del objeto.

Análisis gráfico del problema: Parte del aprendizaje de la física es el manejo formal de uno de sus lenguajes propios, que es la representación gráfica. Los diseñadores emplean algunos modos de representación gráfica en su aprendizaje y desempeño cotidiano; por ello una forma de observar qué tanto aplican los conceptos que definen en palabras y ecuaciones es

utilizar el lenguaje gráfico de la física. Para ello deben utilizar una representación gráfica adecuada que involucre los conceptos físicos correctos para abordar el problema concreto del objeto que están diseñando.

Reflexión sobre el proceso: Dada la importancia que tiene en el aprendizaje recapacitar sobre lo que han hecho, los aciertos y errores y cómo superarlos, esta reflexión busca que los estudiantes expresen claramente las dificultades que encontraron a lo largo del desarrollo de su proyecto, cómo las superaron y cómo ha mejorado su conocimiento de la física en este proceso.

Objeto presentado: El producto final de las entregas grupales es un objeto que debe satisfacer todas las restricciones establecidas en las instrucciones (por ejemplo, ver el anexo No2), funcionar y ser estéticamente aceptable, considerando que éstas serán necesidades reales en su vida profesional.

Aporte al proyecto: En el proyecto individual, en el cual se busca una mejora desde la física del objeto estudiando, el producto final es el aporte que realiza el estudiante a partir del estudio realizado. Este aporte debería ser ingenioso, basado en un estudio físico profundo y productor de mejoras reales al proyecto analizado.

No todos los criterios son aplicables a todos los tipos de actividad desarrollada por los estudiantes. Así para el proyecto individual (PI) las categorías empleadas en la matriz fueron definición de conceptos, manejo conceptual, consideraciones sobre materiales, análisis gráfico del problema, reflexión sobre el proceso y aporte al proyecto. Para los proyectos grupales (PG) se emplearon dos tipos de evaluación, una oral y otra escrita. Para las presentaciones orales (PGO) los criterios empleados fueron manejo conceptual, reflexión sobre el proceso, calibración y objeto presentado. En los trabajos escritos (PGE)

se emplearon las categorías definición de conceptos, manejo conceptual, consideraciones sobre materiales, calibración, análisis gráfico del problema y reflexión sobre el proceso.

Finalmente, entregué a los estudiantes copias de las matrices de criterios de evaluación, para brindarles claridad sobre lo que se esperaba de ellos en el curso mucho antes de que se presentara la evaluación, de modo que desde el principio del curso la evaluación ayudara al aprendizaje.

2. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Antes de iniciar esta investigación puse en práctica la innovación durante un semestre académico, y observé informalmente algunos cambios interesantes con relación a semestres anteriores en los que había dictado el mismo curso: un alto nivel de participación por parte de los estudiantes, motivación y profundización mayor en algunos temas. En la investigación, durante el segundo semestre de puesta en práctica de la innovación, recolecté datos cuantitativos y cualitativos para responder a las siguientes preguntas:

- ¿Contribuye la innovación realizada (trabajo en colaboración, aprendizaje alrededor de proyectos, reflexión permanente y el proceso de escritura) al aprendizaje de conceptos físicos en el curso de física para diseñadores industriales?
- ¿Qué otros aprendizajes promueve la innovación realizada en el curso de física para diseñadores industriales?

3. METODOLOGÍA

3.1. Participantes en la investigación

La investigación se llevó a cabo en el curso de Física General I, ofrecido el primer semestre de 2003, que corresponde al primer curso de física obligatorio para los estudiantes de primer semestre de Diseño Industrial de la Universidad de Los Andes. No fue necesaria una autorización diferente a la de la Dirección del Departamento de Física para implementar la innovación en el curso y para llevar a cabo la investigación. Sin embargo, por razones éticas anuncié a los estudiantes que tomaron del curso que esta investigación se estaba llevando a cabo. El grupo constó de 60 estudiantes. Los estudiantes formaron libremente tríos que constituyeron grupos de trabajo fijos durante todo el semestre. No considero que hayan existido sesgos importantes en la muestra de estudiantes involucrados en la investigación, porque el curso es exclusivo para personas de primer semestre de la carrera de Diseño Industrial. Debido a esto, puede suponerse que la mayoría deben provenir de colegios del mismo calendario y tener conocimientos previos similares en el campo de la física.

3.2. Recolección de datos

Para llevar a cabo la investigación recolecté datos cuantitativos y cualitativos que describo a continuación. En el caso de recolección de datos cuantitativos utilicé el grupo completo, pero para la recolección de datos cualitativos escogí al azar 12 estudiantes para seguir su proceso a lo largo del curso y realizar entrevistas.

Para contestar la primera pregunta (¿Contribuye la innovación realizada al aprendizaje de conceptos físicos en el curso de física para diseñadores industriales?), usé datos cuantitativos recolectados a partir de...

- a. Una prueba tradicional de física que se aplicó a todo el grupo presente en la segunda clase y, de nuevo, en la última (ver anexo No5). Incluyó 22 preguntas sobre los temas del curso y que puede verse como un examen final tradicional del mismo.
- b. Matrices de criterios de evaluación para los productos del curso, en particular la categoría de ‘definición de conceptos’ en las evaluaciones de los PGE y PI.

Contesto la segunda pregunta (¿Qué otros aprendizajes promueve la innovación realizada en el curso de física para diseñadores industriales?) con base en los datos cuantitativos y cualitativos obtenidos de...

- a. Las mismas matrices de criterios de evaluación de productos en las categorías distintas a ‘definición de conceptos.’
- b. Entrevistas semi-estructuradas tomadas a la muestra de 12 estudiantes realizadas al final del curso. Estas entrevistas (anexo No3) indagaron por el grado de satisfacción de los estudiantes en el curso y por sus percepciones sobre la innovación realizada en cuanto a la forma de trabajo (proyectos, trabajo de clase, trabajo en grupos e individual), la evaluación (matrices de criterios de evaluación) y la relación con su aprendizaje.
- c. Protocolos de clase desarrollados por los estudiantes a partir de una guía entregada por mí en las sesiones de trabajo en colaboración previas a las entregas de los proyectos grupales (anexo No2). Para sistematizar la información recolectada en

los protocolos diseñé una matriz de criterios de evaluación (anexo No4) que permite observar el desempeño de los estudiantes en esta actividad y así poder contrastarla con las entregas de cada proyecto. Estos protocolos brindan información sobre el uso de recursos dentro de la clase para un mejor aprendizaje de los estudiantes y el manejo por parte de los estudiantes del trabajo en colaboración.

3.3. Análisis de datos

Muchos físicos consideran que el aprendizaje de la física implica una aproximación al funcionamiento del mundo por medio de un método de indagación consistente con el científico, que permite solucionar problemas aplicando conceptos fundamentales. Sin embargo en la práctica la forma usual de desarrollar clases de física no permite esta aproximación científica, sino que se queda en las definiciones de conceptos y el uso de una serie de fórmulas que no explican el mundo por ellas mismas. El aprendizaje de física se ha medido tradicionalmente a partir de la exactitud de esas definiciones y de la aplicación de conceptos, plasmada en el uso de fórmulas para la solución de problemas del tipo que aparece en los libros de texto. Para efectos de mi investigación, los *conceptos físicos* a los que me refiero en la primera pregunta son términos como velocidad, aceleración, fuerza y torque, que también corresponden a los contenidos típicos de los cursos. El análisis de los datos busca presentar evidencia tanto de aprendizaje tradicional (definición y aplicación de fórmulas) como no tradicional en mi curso (aplicación de conceptos a la solución de problemas de diseño de objetos).

Para ello analicé los datos cuantitativos por medio de estadísticas descriptivas y pruebas t para determinar diferencias estadísticamente significativas entre los promedios de los

puntajes obtenidos por los estudiantes en diferentes pruebas. El valor de probabilidad (p) que anexo al final de cada tabla representa el margen de error de los datos a nivel estadístico y el nivel de confiabilidad de los datos corresponde al complemento porcentual de la probabilidad anexada ($(1-p)*100$). He registrado valores de la prueba t asumiendo el estándar empleado en estadística para niveles de confianza en diferencias estadísticamente significativas de 90% ($p=0,1$), 95% ($p=0,05$) o 99% ($p=0,01$).

Para la prueba tradicional comparé los promedios de las pruebas presentadas al iniciar el curso y al concluirlo. En las matrices de criterios de evaluación para los PG escogí los valores correspondientes a tres de los cinco proyectos: el inicial, uno intermedio correspondiente al tercer proyecto realizado y que coincide con el punto medio del semestre y el último. En estos mismos proyectos analicé las matrices generadas para sistematizar la información proveniente de los protocolos de las sesiones de trabajo en colaboración. En el PI comparé las tres entregas realizadas, que temporalmente coinciden con las presentaciones de PG escogidas. Pese a que los productos son objetos diferentes, las características del aprendizaje que exigían eran las mismas, de manera que esperaba mejoras en los mismos aspectos. En las matrices de criterios de evaluación, los valores cuantitativos corresponden a un nivel cualitativo de desempeño en el aprendizaje de la física y la lectura de las estadísticas permite describir este nivel logrado por los estudiantes.

Para analizar los datos cualitativos (entrevistas), asumí como categorías iniciales los ítems de las matrices de criterios de evaluación, buscando información que complementara o pusiera en duda los datos estadísticos arrojados por ellas. Posteriormente, observé qué información adicional se generó en las entrevistas y que no correspondía a ninguno de estos criterios, obteniendo una nueva categoría en la cual los estudiantes brindaban su percepción

de algunos aspectos del curso que no corresponden a aprendizajes de física sino a aprendizajes más generales relacionados con el proceso de construcción de conocimiento. Esta categoría la denominé “otros aprendizajes relacionados con la innovación”, e incluye información sobre cómo afectan el trabajo en colaboración, el aprendizaje alrededor de proyectos, la reflexión permanente y el proceso de escritura el aprendizaje de los estudiantes. Finalmente, revisé qué otra información proveniente de las matrices de criterios de evaluación de proyectos y protocolos de aprendizaje en colaboración podría extraerse.

Así, para responder la primera pregunta utilicé los resultados estadísticos obtenidos de las pruebas tradicionales de física y de las matrices, en la categoría explícita correspondiente a la definición de los conceptos físicos, que corresponde a la información sobre aprendizajes tradicionales. Para responder la segunda pregunta establecí dos categorías sobre otros tipos de aprendizajes en el curso: la primera relacionada con aprendizajes de la física desde una visión más científica y la segunda con otros aprendizajes, más allá de la física, relacionados con el uso de prácticas consistentes con principios constructivistas en el curso.

4. RESULTADOS

En respuesta a las preguntas planteadas en la investigación, el análisis de las entrevistas y su comparación con los resultados estadísticos obtenidos de las matrices de criterios de evaluación para el curso muestran que los estudiantes aprenden física de una forma no tradicional en este tipo no tradicional de curso. Además, y en respuesta a la primera pregunta, también mejoran en un aprendizaje típicamente tradicional, como lo muestra el análisis estadístico de los resultados de la prueba realizada al comienzo y al final del curso.

Como respuesta a la segunda pregunta los estudiantes perciben la innovación como una orientación de su curso hacia desempeños más acordes con su carrera y expresan cómo este cambio los afecta positivamente y les permite obtener algunos aprendizajes que consideran más útiles en su formación.

4.1. Aprendizaje de conceptos físicos

El primer paso del análisis de los resultados de mi intervención pedagógica consistió en averiguar si ella produjo algún cambio en el aprendizaje de física de los estudiantes de Diseño Industrial, definido de la manera tradicional presentada anteriormente. La tabla No1 muestra los promedios de los resultados obtenidos por los alumnos en la aplicación inicial y final del test tradicional, y los resultados de la prueba estadística t Student.

Tabla 1. Estadísticas descriptivas y pruebas t para el test de física tradicional.

	No. Estudiantes	Puntaje promedio sobre 5 puntos	Rango	Desviación estándar	Prueba t
Ingreso	60	1,75	1,14-2,95	0,44	
Salida	50	2,20	1,14-3,41	0,64	2,31**

* p < 0,10; ** p < 0,05; *** p < 0,01

La tabla muestra que existe una diferencia estadísticamente significativa a un nivel de confiabilidad del 95% entre el desempeño en el test inicial y en el final, con resultados más altos en el final. Sin embargo el promedio de los resultados del curso es tal, que muy pocos estudiantes aprueban finalmente este tipo de examen. Los rangos del examen varían entre las dos pruebas, aunque no se modifica el nivel inferior. Como consecuencia la desviación estándar es mayor en la prueba final, lo que significa que las diferencias individuales en el aprendizaje de los estudiantes aumentan.

La tabla No2 muestra los resultados obtenidos a partir de las matrices de evaluación para los proyectos escritos grupales y el proyecto individual, en el punto de definición de

conceptos. La tabla muestra que existen variaciones significativas que indican avance en los resultados provenientes de esta forma tradicional de aprendizaje en los tres momentos analizados. El avance más importante parece generarse entre el inicio del curso y su punto medio, con una variación estadísticamente significativa a un nivel de confiabilidad de 99% en los dos tipos de proyectos.

Tabla 2. Estadísticas descriptivas y pruebas t para la categoría de Definición de Conceptos en las matrices de criterios de evaluación de las entregas escritas grupales e individuales de los estudiantes.

Tipo de proyecto	Entrega	Estadísticas Descriptivas				Pruebas <i>t student</i>		
		Promedio	Desviación	Rango	Moda	Vs Inicial	Vs Media	Vs Final
Grupal escrito	Inicial	3,07	0,82	2,0-4,5	2,5	////	6,33***	4,88***
	Media	4,00	0,75	2,5-5,0	4,5	6,33***	////	1,13*
	Final	3,83	0,65	2,0-5,0	4,0	4,88***	1,13*	////
Individual escrito	Inicial	2,93	1,06	2,0-4,5	2,5	////	4,13***	5,45***
	Media	3,61	0,75	2,0-4,5	4,0	4,13***	////	1,53
	Final	3,80	0,70	2,0-4,5	4,0	5,45***	1,53	////

* p < 0,10; ** p < 0,05; *** p < 0,01

Los criterios correspondientes de la matriz indican que, en general, los estudiantes pasan de un manejo conceptual pobre, que no les permite identificar o definir los conceptos requeridos ni establecer relaciones entre ellos y que corresponde cuantitativamente a valores medios de 3,07 y 2,93, a uno bastante mejor, que les permite emplear algunos de los conceptos necesarios y definirlos correctamente, y que corresponde cuantitativamente a un valor medio de 3,83 y 3,80 al finalizar el curso. También se observa que la mayoría de los estudiantes obtienen 2,5 como nota de desempeño inicial, mientras en las entregas siguientes la moda es 4,0, lo que corrobora la interpretación de los promedios. Finalmente, la disminución en la desviación estándar implica menores diferencias entre los aprendizajes individuales por parte de los estudiantes.

4.2. Otros Aprendizajes

Al brindar en clase unos espacios y tiempos para que los estudiantes se aproximaran a los conocimientos físicos por medio de un método de indagación más consistente con el científico es coherente pensar que se producirán otros tipos de aprendizajes diferentes al tradicional. Por ello la segunda parte de esta investigación pretende mostrar evidencia de otros aprendizajes que promueve la innovación realizada en el curso de física para diseñadores industriales.

4.2.1. Otros Aprendizajes relacionados con la física

4.2.1.1. Manejo de conceptos aplicados al diseño

El primer tipo de aprendizaje no tradicional está representado en el criterio ‘manejo conceptual’ de los PI y PG tanto orales como escritos. Implica el uso de principios físicos para explicar situaciones cotidianas. Aquí el estudiante debe superar las definiciones de los conceptos y seguir cadenas de razonamientos que lo lleven a entender la importancia de esos conceptos en el diseño de objetos.

La tabla No3 muestra los resultados numéricos correspondientes. Las diferencias son estadísticamente significativas, con un nivel de confiabilidad del 99%, entre las entregas iniciales y finales en los tres casos. En la sustentación oral no se observan variaciones importantes en el promedio ni en la moda, pero la desviación estándar sí disminuye, lo cual indica que el aprendizaje del grupo es cada vez más homogéneo. En este nivel los estudiantes explican verbalmente cómo funciona el objeto a partir de la aplicación de conceptos físicos en su diseño.

Para el informe escrito se presentan variaciones muy importantes en la media y la moda. Los estudiantes inician el curso con un promedio de 3,25 y una moda de 2,5, que indican que explican el funcionamiento del objeto de manera básica a partir de los principios físicos involucrados y muchas veces no los tuvieron presentes para diseñar. Para el final del curso el promedio obtenido es 4,23 con moda de 4,5, lo que muestra que los estudiantes explican el funcionamiento del objeto a partir de los conceptos físicos involucrados y que emplearon el conocimiento teórico de estos conceptos para diseñar o proponer mejoras a diseños conocidos. De manera similar en la entrega individual los estudiantes presentan avances progresivos en la explicación del funcionamiento de su objeto a partir de aplicar conceptos físicos. El promedio varía de 3,21 a 3,67 y finalmente a 4,15, dentro de los mismos rangos descritos para el trabajo grupal escrito.

Tabla 3. Estadísticas descriptivas y pruebas t para la categoría de Manejo Conceptual en las matrices de criterios de evaluación de las entregas grupales, orales y escritas, e individuales de los estudiantes.

Tipo de proyecto	Entrega	Estadísticas Descriptivas				Pruebas <i>t student</i>		
		Promedio	Desviación	Rango	Moda	Vs Inicial	Vs Media	Vs Final
Grupal Oral	Inicial	4,12	0,46	3,0-5,0	4,0	////	0,51	3,62 ^{***}
	Media	4,17	0,56	3,0-5,0	4,0	0,51	////	2,58 [*]
	Final	4,38	0,31	4,0-5,0	4,5	3,62 ^{***}	2,58 [*]	////
Grupal Escrito	Inicial	3,25	0,86	2,0-5,0	2,5	////	5,14 ^{***}	6,89 ^{***}
	Media	3,95	0,61	2,0-5,0	4,0	5,14 ^{***}	////	2,36 [*]
	Final	4,23	0,70	2,5-5,0	4,5	6,89 ^{***}	2,36 [*]	////
Individual Escrito	Inicial	3,21	0,72	1,5-5,0	3,0	////	3,71 ^{***}	7,34 ^{***}
	Media	3,67	0,71	2,0-5,0	4,0	3,71 ^{***}	////	3,65 ^{***}
	Final	4,15	0,71	2,5-5,0	4,5	7,34 ^{***}	3,65 ^{***}	////

* p<0,10; ** p<0,05; *** p<0,01

Al analizar las entrevistas encuentro detalles relacionados con estos resultados, que describen las nuevas habilidades que los estudiantes parecen adquirir. Once (11) de los 12 estudiantes entrevistados dijeron que sienten que **la física es algo más cotidiano, útil y comprensible, con** expresiones como las siguientes:

Estudiante 12: "...ahora miro algo o voy por la calle pienso... tal aparato... ¿cómo funciona? Es decir, en mi mente cuando veo algo trato de hacerle un diagrama y trato de decir: ah! esto funciona así, actúan tales fuerzas pero tal fuerza debe ser menor a ésta porque se mueve así"

Estudiante 3: "Veó la física como más practica, más elemental, más funcional; no tantas fórmulas y algo tan abstracto como uno lo veía en el colegio sino como más aplicable a lo que puedo hacer".

Otro aprendizaje expresado por 7 de ellos se relaciona con ver evidencia de la diferencia entre los diseños teóricos y los reales y con que **aprenden más física si la aplican:**

Estudiante 3: “mientras uno esta haciendo un proyecto, uno piensa en la teoría y después de que trabajarle uno cree que todo va ha funcionar fácil porque ya lo entendió... pero cuando llega el momento de hacerlo ahí sí salen muchísimas cosas que no funcionan. Entonces solucionar los problemas sí es complicadísimo, aplicar los conceptos bien no es tan fácil, uno encuentra puntos muertos y le toca pensar más”

Estudiante 6: “uno aprende a aplicar los conceptos. Por ejemplo, cuando hicimos el móvil, uno no se preocupaba tanto por saberse la fórmula y aplicarla en el ejercicio, sino que uno ya viendo la teoría podría ponerla en práctica y se daba cuenta de la diferencia que hay entre hacer un ejercicio escrito y ponerlo en prueba, esa es como la vida real y es más difícil”.

4.2.1.2. Calibración

La tabla No.4 muestra los resultados obtenidos para la categoría de “calibración del objeto” que se presentaba en los PG. Las diferencias en los resultados obtenidos a lo largo del curso son estadísticamente significativas en todos los casos, pero las sustentaciones orales presentan menos variaciones (promedios de 4,18, 4,43, 4,72) que las entregas escritas (promedios 2,96, 3,36, 4,10). En general, los estudiantes realizan pruebas previas para garantizar que el objeto satisface las restricciones requeridas, pero al iniciar el curso no llevan un registro de este proceso o no realizan cálculos pertinentes y necesarios que ayudarían en el proceso de diseño, lo cual se evidencia en una moda de 2,5. Este valor se modifica a 4,5, que indica que al final del curso registran sistemáticamente el proceso de calibración y realizan los cálculos respectivos.

Tabla 4. Estadísticas descriptivas y pruebas t para la categoría de Calibración en las matrices de criterios de evaluación de las entregas grupales, orales y escritas, e individuales de los estudiantes.

Tipo de proyecto	Entrega	Estadísticas Descriptivas				Pruebas t student		
		Promedio	Desviación	Rango	Moda	Vs Inicial	Vs Media	Vs Final
Grupal Oral	Inicial	4,18	0,71	3,0-5,0	4,5	////	2,15*	5,38***
	Media	4,43	0,58	3,0-5,0	5,0	2,15*	////	3,37***
	Final	4,72	0,35	4,0-5,0	5,0	5,38***	3,37***	////
Grupal Escrito	Inicial	2,96	0,68	1,5-4,5	2,5	////	3,35**	8,05***
	Media	3,36	0,66	2,5-4,5	3,0	3,35**	////	5,26**
	Final	4,10	0,88	2,5-5,0	4,5	8,05***	5,26**	////

* p <0.10; ** p<0.05; *** p<0.01

En las entrevistas se hizo evidente que para poder hacer la reflexión permanente sobre su aprendizaje los estudiantes requerían estar muy pendientes de las acciones realizadas, y esto influyó en la categoría de calibración del objeto, en especial en el informe escrito, llevando a dos tipos de posturas en la forma de proceder para informar sobre este proceso. Por un lado 5 de los 12 estudiantes demostraron gran sistematicidad en los registros, diciendo cosas como...

Estudiante 11: “Nosotros siempre anotamos todo: vamos haciendo, las medidas, los pesos, las alturas, los cálculos, y le tomamos fotos a todo porque nos ha pasado que algunas veces la entrega fue fatal y no lo logramos {que el objeto funcionara} pero igual era una buena idea, y si tenemos el registro eso fue muy bueno para el trabajo y para darnos cuenta que aportes y qué cosas sí funcionaron”.

Los otros 7 estudiantes expresaron menos sistematicidad:

Estudiante 2: Generalmente escribimos el trabajo al final, pero tenemos una lista de ideas, por así decirlo, donde están los modelos que hemos hecho, donde están los errores que hemos tenido, los materiales que hemos usado y este tipo de cosas”.

4.2.1.3. Consideraciones sobre materiales

La elección de los materiales que se deben emplear en la elaboración de un objeto determina en muchos casos si es funcional o no y esta elección se basa en muchos casos en propiedades físicas. La tabla No 5 muestra los resultados obtenidos por los estudiantes en este ítem para los PGE y PI. En ambos casos la tabla refleja que las diferencias en los resultados entre la entrega inicial y la final son estadísticamente significativas a un nivel de confiabilidad del 99%.

Tabla 5. Estadísticas descriptivas y pruebas t para la categoría de Consideraciones sobre materiales en las matrices de criterios de evaluación de las entregas grupales escritas e individuales de los estudiantes.

Tipo de proyecto	Entrega	Estadísticas Descriptivas				Pruebas t student		
		Promedio	Desviación	Rango	Moda	Vs Inicial	Vs Media	Vs Final
Grupal Escrito	Inicial	3,33	0,74	1,5-4,5	3,5	////	6,36***	8,58***
	Media	4,03	0,45	3,5-5,0	4,0	6,36***	////	3,15**
	Final	4,30	0,49	3,5-5,0	4,5	8,58***	3,15**	////
Individual Escrito	Inicial	2,63	0,82	1,5-5,0	2,5	////	1,76	6,93***
	Media	2,95	1,15	1,5-5,0	1,5	1,76	////	4,37***
	Final	3,82	1,07	1,5-5,0	4,5	6,93***	4,37***	////

*p <0.10; ** p<0.05; *** p<0.01

En las entregas grupales la categoría se refiere a la elección adecuada de materiales para la construcción del objeto por parte del grupo, y las variaciones que se presentan en los promedios (3,33, 4,03, 4,30) y las modas (3,5, 4,0, 4,5) corresponden a si los estudiantes definen o no desde la física las propiedades de los materiales como dureza, elasticidad, resistencia, bajo coeficiente de rozamiento, etc. En el caso de la entrega individual esta categoría buscaba que los estudiantes analizaran las propiedades de los materiales que habían empleado los diseñadores del objeto estudiado para que determinaran si esta elección era acertada o podía mejorarse. En este tipo de desempeño inicialmente los estudiantes consideraran algunas de las propiedades físicas necesarias en los materiales empleados en la realización del objeto que plantea el proyecto, pero no profundizan en las implicaciones de estas para el buen funcionamiento del mismo (promedio de 2,63). Su desempeño se modifica hasta determinar casi todas las propiedades físicas de los materiales y una aplicación parcial de ellas (promedio 3,82).

Al analizar las entrevistas 7 de los 12 estudiantes creen que una de las principales causas para encontrar dificultades en la realización de los objetos en los proyectos es no analizar previamente las propiedades de los materiales que pensaban emplear pues, como uno de ellos describe,

Estudiante 8: “a la hora de trabajar es muy diferente, ...por ahí dicen el papel aguanta todo y uno dibujaba y hacía y se imaginaba maravillas, pero pues las cosas reales son diferentes. Uno nunca tiene en cuenta los problemas con el pegante, todos los inconvenientes que hay a partir de materiales. Por ejemplo como con el tobogán, no funcionaba porque había demasiada fricción, fricción es una vaina física... ahora la solución era cambiar el material. Sí uno no tiene las bases físicas que está viendo en el curso, uno no ve esos errores y en esta carrera uno tiene que saber de materiales”.

Por otro lado en ninguna de las entrevistas los estudiantes hablan del análisis de materiales para el proyecto individual.

4.2.1.4. Análisis gráfico

La tabla No6 muestra los resultados obtenidos para la categoría de análisis gráfico del problema para los PGE y PI. Aunque las diferencias entre los resultados al principio y final del curso son estadísticamente significativas con un nivel de confiabilidad del 99%, también es posible leer en la tabla que esta categoría es la que menor nivel de desempeño presenta en relación con las demás. Esto se evidencia en los niveles promedio (2,64 -3,28, escrita y 2,01-2,76, individual), que implican que la representación gráfica que realizan los estudiantes no está completa o que emplean incorrectamente los conceptos físicos necesarios. Es decir, pocos estudiantes llegan a realizar diagramas de cuerpo libre correctos y acordes con los objetos diseñados y las fuerzas que sobre ellos actúan. En muchos casos la moda es de 1,5 (aproximadamente el 30% de los estudiantes), lo que significa que la mayoría de los estudiantes no utilizan ningún tipo de representación gráfica con sentido físico y sólo presentan dibujos del objeto o de su desarrollo estético. Al observar las distribuciones de notas en cada entrega, se aprecia que cerca del 20% de los estudiantes obtienen valores mayores o iguales a 4,0, lo que indica un nivel de aprendizaje bajo y desigual en este ítem.

Tabla 6. Estadísticas descriptivas y pruebas t para la categoría de Análisis Gráfico del Problema en las matrices de criterios de evaluación de las entregas grupales escritas e individuales de los estudiantes.

Tipo de entrega	Grafico Entrega	Estadísticas Descriptivas				Pruebas <i>t student</i>		
		Promedio	Desviación	Rango	Moda	Vs Inicial	Vs Media	Vs Final
Grupal Escrito	Inicial	2,64	1,00	1,5-4,5	1,5	////	3,26 ^{**}	3,91 ^{***}
	Media	3,20	0,93	1,5-5,0	2,5	3,26 ^{**}	////	0,46
	Final	3,28	0,81	1,5-5,0	3,5	3,91 ^{***}	0,46	////
Individual Escrito	Inicial	2,01	0,81	1,5-4,0	1,5	////	1,76	6,93 ^{***}
	Media	2,45	1,03	1,5-4,5	1,5	1,76	////	4,37 ^{***}
	Final	2,76	1,08	1,5-5,0	1,5	6,93 ^{***}	4,37 ^{***}	////

* p <0.10; ** p<0.05; *** p<0.01

En las entrevistas realizadas, 9 de los 12 estudiantes expresan que el uso de información gráfica en el curso aporta en su aprendizaje, y dan razones como las siguientes:

Estudiante 5: “uno como diseñador tiene una mente gráfica y es más fácil entender las imágenes que los conceptos escritos, por lo menos a mi me parece más fácil. Yo veo una imagen y entiendo más rápido que un texto de dos hojas”

Estudiante 11: “si uno lo dibuja como que tiene más claro que es lo que tiene que pasar en una ecuación... en una ecuación solamente uno como que no le haya sentido, mientras que si uno lo dibuja después pasarlo {a la ecuación} pues es otra cosa y es más fácil, me parece a mi”.

Parece haber dos aspectos involucrados en el uso de un lenguaje gráfico en el curso. El primero se relaciona con aprendizajes que dependieron de las acciones que yo realicé en la clase. Aquí 11 de los estudiantes consideraron que

Estudiante 3: “el análisis gráfico del problema primero es una parte importantísima de entender el problema. Los análisis, por lo menos los que tú haces en clase son muy claros, de pronto los que hacemos nosotros no mucho porque no sé, {nos} falta conocimiento”

Estudiante 9: “el verte hacer cosas gráficas me aclara muchas cosas para {luego} poder hacerlas. Tú {en clase} lo hacías con cosas que nos rodean como montaña rusa y todo eso, entonces eso aclara más las ideas que uno tenía erradas y aprende uno rápido”.

El segundo aspecto tiene que ver con el tipo de aprendizaje que los estudiantes relacionan con esta práctica. Seis de ellos consideraron que el análisis gráfico les ayudaba a ver diferencias entre algunos conceptos relacionados y de fácil confusión en el aprendizaje tradicional. Algunos ejemplos citados fueron los siguientes:

Estudiante 4: “aprendí a manejar de verdad los vectores como son...con magnitud y sentido”

Estudiante 8: “uno se ubica en el espacio y uno piensa para donde van las fuerzas {y} sabe {observa} que hay diferencia entre las fuerzas, aceleración y velocidad”

Estudiante 9: “yo nunca en mi vida había hecho un diagrama de torques, entonces me parece muy bueno y aprendí por lo menos que no es igual al de fuerzas”.

Sin embargo 7 de ellos expresan que

Estudiante 2 “es complicado hacer un diagrama porque uno pensaba que el diagrama {que había hecho} estaba bien y cuando le entregaban el trabajo calificado estaba totalmente mal, entonces uno se preguntaba ¿cómo así y cómo se hace? Y luego aprendía muy lento las cosas de los diagramas que estaban mal y ya después los hacía uno bien”.

Al indagar por las causas de esta dificultad ejemplificaron varias razones como las siguientes:

Estudiante 2 “hay fuerzas que uno piensa que están pero no están y hay otras que {uno cree que} no están pero si están... entonces es difícil como analizar todo lo que actúa {sobre el objeto} para hacer bien el diagrama”

Estudiante 5: “me confundía con la normal, el peso y la gravedad y {me preguntaba} ¿cuántas veces es qué suma y para dónde? Y todo eso confunde un poco. Luego uno coge un libro y empieza a mirar bien y dice ah! no, es que ésta va es así Pero otras cosas no aparecen”.

4.2.1.5. Desempeños finales

Cada tipo de proyecto estaba orientado a desarrollar un desempeño deseable en los estudiantes de diseño industrial. Así esta sección presenta los resultados de los desempeños generales del curso: diseñar y construir objetos funcionales a partir del análisis físico y proponer mejoras a objetos diseñados, a partir de un análisis físico.

4.2.1.5.1. Objetos presentados

Un aspecto que debo destacar es que el desempeño de los estudiantes es muy elevado en la presentación del objeto que se solicitó en las EG. La tabla No.7 muestra que para los resultados obtenidos en esta categoría no hay diferencias estadísticamente significativas, dado que el promedio no varía (4,3). Esto se confirma a través de la moda de los datos cuyo valor es 5,0, lo que implica que casi todos los objetos diseñados y presentados satisfacían todas las restricciones establecidas, funcionaban y eran estéticamente aceptables. Es decir, que si el objeto funcional era su objetivo primordial, en un gran número de casos lograban este desempeño.

Tabla 7. Estadísticas descriptivas y pruebas t para la categoría de Objeto Presentado en las matrices de criterios de evaluación de las entregas grupales orales de los estudiantes.

Entrega	Estadísticas Descriptivas				Pruebas <i>t student</i>		
	Promedio	Desviación	Rango	Moda	Vs Inicial	Vs Media	Vs Final
Inicial	4,34	0,71	3,0-5,0	5,0	////	0,23	0,39
Media	4,35	0,75	2,5-5,0	5,0	0,23	////	0,12
Final	4,38	0,41	4,0-5,0	5,0	0,39	0,12	////

* p < 0,10; ** p < 0,05; *** p < 0,01

Esta información es coherente con la recolectada en las entrevistas, donde todos los estudiantes estuvieron de acuerdo en que para ellos el desarrollo de objetos es primordial y así el curso se acercaba a su carrera, uno de los estudiantes expresó:

Estudiante 10: “yo pienso que en esta carrera hay que hacer muchos, muchos proyectos porque si yo soy diseñadora voy a mi diseño, no va a ser una fórmula sino va a ser un objeto. ... de nada serviría aprenderse una fórmula si no sabe como aplicarla... uno aprende a pensar que de lo que aprendió en clase sirve para pasarlo al proyecto y que el objeto funcione”.

4.2.1.5.2. Aporte, desde la física, al objeto analizado

El último desempeño que consideré importante fue el aporte que los estudiantes hacían, como consecuencia de su aprendizaje de física, a su tema individual de profundización en el PI, cuyos resultados se presentan en la tabla No.8.

Tabla 8. Estadísticas descriptivas y pruebas t para la categoría de Aporte al proyecto estudiando en las matrices de criterios de evaluación de las entregas individuales de los estudiantes.

Entrega	Estadísticas Descriptivas				Pruebas <i>t student</i>		
	Promedio	Desviación	Rango	Moda	Vs Inicial	Vs Media	Vs Final
Inicial	1,96	0,63	1,5-3,5	1,5	////	0,45	5,27***
Media	2,08	0,84	1,5-4,0	1,5	0,45	////	4,48***
Final	2,79	1,06	1,5-5,0	1,5	5,27***	4,48***	////

* p < 0.10; ** p < 0.05; *** p < 0.01

En la primera entrega los estudiantes no realizan ningún tipo de aporte al proyecto que analizan. Esto se evidencia en un promedio de 1,96 y una moda de 1,5. La moda se mantiene a lo largo del curso (~30% de los estudiantes) y el promedio varía hasta 2,79, lo que implica que el aporte realizado al proyecto es básico, no está basado en un estudio físico o no puede aportar mejoras reales al proyecto analizado. Sin embargo por el rango tan amplio de los valores obtenidos también se puede encontrar que cerca de un 25% de los estudiantes del curso realizan aportes reales basados en el análisis físico que realizaron.

Al analizar las entrevistas, sólo 3 estudiantes consideraron que la entrega individual les brindó un espacio para innovar. En palabras de uno de ellos,

Estudiante 12: “en la entrega {individual} a mi me costo mucho trabajo {entender} qué era lo que se pretendía con ella, ahora que llevamos tres meses trabajando es muy chévere porque ya con los conceptos que hemos manejado en la clase uno empieza a investigar y a innovar, ¿no?. Que es como la idea de esta carrera”.

4.2.2. Otros Aprendizajes relacionados con la innovación

4.2.2.1. Cambio en la percepción de qué es y para qué les sirve la física

No es fácil para los diseñadores aceptar que les corresponde tomar cursos de física.

Algunos expresaron claramente sus temores, por ejemplo

Estudiante 7: “a mi nunca me ha entrado la física, además porque uno dice: ‘no me metí a una ingeniería porque no sé matemáticas y no sé física.’ y como llegar y ver un pensum con física uno dice: “¡¡¡no física!!!””.

Por ello me sorprendió gratamente que, en las entrevistas, 9 de los 12 estudiantes expresaron que ven el curso como un todo coherente y por ello más accesible:

Estudiante 2: “yo pienso que {el curso} lleva como un proceso, uno ve un tema y después ese tema le sirve para el otro tema y después ese tema le sirve para el siguiente. Yo no creo que cada tema tenga su proyecto, a uno le queda como idea del anterior proyecto que puede usar. Si nosotros vimos estructura y después vamos a hacer un móvil, entonces ya vamos a hacer un móvil con una estructura. Así como lo veo no es todo el proyecto aplicado al otro {proyecto} sino ciertos temas generales que le sirvieron a uno muchas veces”

Este tipo de percepciones corresponden a una apreciación profunda de la complejidad del curso y del aprendizaje que permite. Sin embargo, su actitud hacia el curso en la práctica es difícil de modificar. Siguen dándole poca importancia a planear y a aprovechar el tiempo que se les da para trabajar en los proyectos en clase. Ello se puede evidenciar también en las entrevistas y en los protocolos de colaboración. En las entrevistas 10 estudiantes coinciden en decir que

Estudiante 7: “los parámetros de la entrega, y uno inmediatamente empieza a pensar en que va hacer. Generalmente, lo que uno hace es pensar sin aplicar la física, uno crea el modelo {objeto} haciendo memoria y pensando como va a funcionar. Después, uno se da cuenta que si uno aplica los conceptos de física que ha aprendido o ha visto o ya sabía desde antes, al trabajo le va quedar mucho más fácil. Planearlo desde el principio y no empezar a “improvisar”, por así decirlo”.

De manera coherente, 5 de ellos expresaron que aunque consideran que el tiempo de la clase destinado a trabajar en las entregas es importante, casi nunca lo aprovechan adecuadamente. Por ejemplo:

Estudiante 11: “yo creo que uno en clase uno necesitaba como aclarar muchas ideas. Digamos, te teníamos a ti o a Juanita o a Jairo, entonces preguntábamos: ¿tenemos esta idea... funciona ó no funciona? Y después como que ya uno en la casa tenía más ideas de cómo hacer las cosas. Pero muchas veces uno no hacía nada en clase y que llegaba a la casa y ¡uff! ¿Qué hago? Es decir ¿Cómo aclarar dudas si perdí la clase?”.

Esta información resulta coherente con la presentada en la tabla No 9, que muestra los resultados obtenidos para las categorías manejo conceptual, establecimiento de metas de aprendizaje, trabajo individual y reformulación del proyecto, empleadas en el análisis de los

protocolos de colaboración. Estas categorías indican la evaluación del comportamiento de los estudiantes ante la planeación en clase de sus proyectos y muestran que hay diferencias estadísticamente significativas en las categorías de manejo conceptual y formulación de metas de aprendizaje (95% y 99% de confiabilidad, respectivamente), que se realizaban en el primer espacio de clase.

Tabla 9. Estadísticas descriptivas y pruebas t para los protocolos de PBL analizados por medio de una matriz de criterios de evaluación para las entregas grupales de los estudiantes.

Categoría del protocolo	Entrega	Estadísticas Descriptivas				Pruebas <i>t student</i>		
		Promedio	Desv.	Rango	Moda	Vs Inicial	Vs Media	Vs Final
Manejo conceptual	Inicial	2,43	1,18	1,5-4,5	1,5	////	3,16***	2,34*
	Media	3,40	0,80	2,5-4,0	3,5	3,16***	////	1,72*
	Final	3,23	1,02	1,5-4,5	3,0	2,34*	1,72*	////
Metas de aprendizaje	Inicial	1,98	0,79	1,5-4,0	1,5	////	2,95***	5,51***
	Media	2,80	1,04	1,5-5,0	3,5	2,95***	////	2,44**
	Final	3,63	1,15	1,5-5,0	3,5	5,51***	2,44**	////
Trabajo Individual	Inicial	1,70	0,64	1,5-3,0	1,5	////	0,00	1,20
	Media	1,70	0,64	1,5-3,0	1,5	0,00	////	1,20
	Final	2,00	0,95	1,5-4,0	1,5	1,20	1,20	////
Reformulación del diseño	Inicial	1,85	0,80	1,5-4,0	1,5	////	0,40	0,36
	Media	1,75	0,79	1,5-4,5	1,5	0,40	////	0,72
	Final	1,95	0,99	1,5-4,5	1,5	0,36	0,72	////

* p < 0,10; ** p < 0,05; *** p < 0,01

Al inicio del curso los estudiantes se centraron en aspectos estéticos del proyecto antes que considerar su manejo conceptual (media 2,43) y consecuentemente no establecían metas de aprendizaje, es decir, no preveían que necesitaban aprender de física para realizar el proyecto (media, 1,98). No realizaban investigaciones personales que les permitieran, en la segunda sesión, preguntar, aclarar conceptos o reformular el diseño (medias de 1,70 y 1,85, respectivamente).

Al finalizar el curso, la categoría de manejo conceptual muestra que los estudiantes se centran en aspectos prácticos del desarrollo del proyecto (media 3,23), sin pensar antes en qué conceptos físicos podrían ayudarles a trabajar en él. Simultáneamente, el promedio de la categoría de establecimiento de metas de aprendizaje se modifica a 3,63, es decir que en la primera sesión de colaboración los estudiantes clasificaban las ideas expresadas en el

grupo y determinaban sobre qué conceptos físicos o de materiales necesitaban profundizar, pero de manera general, en donde quien quisiera podía investigar sobre ello, sin alcanzar el nivel óptimo que correspondía a establecer metas concretas para cada integrante del grupo. Creo que como consecuencia lógica muy pocos estudiantes realizaban algún trabajo individual, y se lee en la tabla cómo no hay modificación en esta categoría, de manera que los mismos estudiantes cerraban cualquier posibilidad de reformular el diseño y perdían la posibilidad de emplear constructivamente el tiempo de la segunda sesión de clase para trabajar en el proyecto.

4.2.2.2. Aprendizajes provenientes de la forma de evaluación del curso

Resultó interesante que los 12 estudiantes estuvieron de acuerdo en que la forma de evaluación del curso les permitió aprender más en él. Estas percepciones se expresaron básicamente en dos categorías. La primera indica que las matrices de criterios de evaluación les permitían **identificar más claramente el objetivo** del trabajo y los temas involucrados. La expresaron 5 estudiantes y se puede ver en el siguiente ejemplo:

Estudiante 4: “{la forma de evaluación} me ha aportado mucho para saber a dónde tengo que llegar. En cambio, no sé, si me hubieran puesto una nota, uno o cinco, no sé para donde tengo que ir, en cambio las matrices tiene una guía para saber donde llegar”

La segunda categoría la representan 6 estudiantes, que consideran que las matrices les ayudaron a **identificar más claramente sus errores**:

Estudiante 7: “me gusta el sistema de las matrices de evaluación porque entonces uno se da cuenta de cual fue el error que cometió y qué es lo que tiene que mejorar y lo hace más fácilmente sin necesidad de preguntar tanto al profesor y {no es} como venir a reclamar o algo sino como que uno ahí puede venir que es lo que no tiene”

Parece, pues, que los criterios de las matrices les brindaban claridad en sus errores y como corregirlos a futuro.

De otro lado, al preguntar por la forma tradicional de evaluación de los cursos por medio de parciales, 7 de los estudiantes realizaron comparaciones entre los dos sistemas de evaluación, y expresaron cosas como...

Estudiante I: "la idea de las matrices me parece excelente, porque sabe uno exactamente que van a evaluar, y no le van a poner una nota sin saber porque. Las matrices ayudan mucho para saber perfectamente cuales son los parámetros de evaluación, en los parciales uno no sabe como le califican y el tema es como más amplio, hay un rango muy grande de preguntas"

Los estudiantes explicaron que los parciales implican una alta memorización, donde se dificulta la aplicación de fórmulas que se olvidan pronto o que lleva a que las personas se bloqueen y en consecuencia sus notas no sean buenas:

Estudiante II: "Pues por lo menos a mi no me gustan los parciales. Me gusta aplicar las cosas a algo y no ver un problema aplicando todas las formulas; me gusta más hacerlo práctico, yo creo que a uno le va más mal {en el parcial} que si aplica esto en la realidad, es más fácil".

4.2.2.3. Aprendizajes provenientes del aprendizaje en colaboración

El aprendizaje en colaboración requiere del establecimiento de grupos de trabajo y del establecimiento de metas grupales e individuales de aprendizaje. Un segundo tipo de lectura que puede realizarse de la tabla 9 corresponde a la dificultad del trabajo en colaboración por parte de los estudiantes de diseño. Al no comprometerse con las metas individuales, las metas grupales pueden verse afectadas. Sin embargo en las entrevistas la percepción de los estudiantes sobre esta forma de trabajo en clase muestra una interpretación diferente.

Al indagar por los aprendizajes que perciben del trabajo realizado en grupo, 8 de los 12 estudiantes consideran que aprendieron a discutir otras ideas y a llevar a la realización del proyecto aquellas más aplicables. A la vez que 6 evidenciaron que no todos sabían lo mismo y eso era enriquecedor, como dijeron algunos de ellos:

Estudiante 7: "así como yo tengo buenas ideas ellos me completan {con otras} ideas o ellos me están enseñando y se me hace que ese es como el objetivo del trabajo en grupo: que uno se escuche entre

todos y poder como aprender muchísimo de todos y que todo se puede hacer mas fácil. A veces uno o el otro se complica mucho y alguien dice: “hagámoslo así... que es más fácil”; y entonces como que se le ilumina a uno todo”

Estudiante 3: “aprender a trabajar en equipo es saber congeniar las ideas y llegar a una, la mejor entre varias personas. Y aprender que el otro conoce otro material y el otro conoce otra cosa, uno se complementa porque cada uno tiene su conocimiento propio, tiene sus propias experiencias que no son iguales a las de los demás porque es gente distinta, entonces cuando todo eso se une, dan cosas chéveres, proyectos interesantes”.

De otro lado 4 estudiantes expresaron que en especial cuando no se llevaban bien con su grupo de trabajo fue importante

Estudiante 4: “aprender a tolerar diferentes temperamentos y diferentes formas de pensar y lograr entender que todo el mundo puede aportar cosas diferentes y que algunas de esas cosas son válidas”

El trabajo individual aportó otros elementos también interesantes. Siete (7) estudiantes expresaron frases como las siguientes:

Estudiante 1: “me parece importante {el trabajo individual} porque puede que tu en el grupo si trabajas pero te puedes dejar llevar por el que sabe, mientras que en tu {entrega} individual puedes aplicar lo que en serio tu has aprendido y aprendes más”

Estudiante 11: “muchas veces uno en grupo le quedan huecos. Digamos... mi compañero sabe mejor unas cosas entonces él ayuda para hacerlo y la entrega grupal queda bien pero muchas veces yo quedo sin entender. Entonces cuando uno trabaja solo también llena esos huecos que no importaban tanto en las entregas {grupales}”

Esto indica que aunque era más cómodo trabajar en equipo, su trabajo individual aportaba una profundización que de otro modo no realizarían.

También 4 de los estudiantes expresaron que el proceso sucedió al contrario y las entregas grupales les permitieron mejorar aspectos de su entrega individual. Por ejemplo

Estudiante 12: “nosotros primero hicimos un trabajo grupal y después sí vino la entrega individual, entonces yo aplicaba lo que veía en la entrega grupal para la entrega individual. Sentí que mis entregas individuales nunca me ayudaban a hacer nada grupal mientras que las grupales si me ayudaban a mejorar cosas individuales”

Los 12 estudiantes consideran que el proceso de rehacer proyectos les genera otros espacios para aprender también en colaboración, porque como expresa uno de ellos

Estudiante 4: “uno como que aprovecha la oportunidad de rehacer algo que ya hizo en grupo, es decir, uno se evalúa a ver si sí aprendió lo que tenía que aprender y puede ver que fue lo que aprendió de los compañeros que estaban trabajando con uno”

Este aprendizaje se refiere a los dos aspectos discutidos con anterioridad: el aporte del grupo y el trabajo individual. Uno de ellos resume el primero así:

Estudiante2: “en el momento en que uno llegaba a la clase, veía los proyectos de los demás y uno se ponía a pensar ¿por qué no utilice esto?, ¿por qué mejor no cambie éste material por este otro que funcionaba mejor’?. Entonces, a mi me parece que si uno repitiera un proyecto ya con las correcciones hechas por el profesor y las correcciones que uno le haría viendo los trabajos de los demás si ayudaría al aprendizaje y aclarar conceptos que no entendió la primera vez”

El segundo, correspondiente al aprendizaje individual, puede ejemplificarse en lo que dijeron otros estudiantes:

Estudiante 8: “haces {la entrega} como tu solo, hay un encuentro {entre} el proyecto y tu. Y tienes que pensar qué hicimos y te pones a analizar diferentes cosas que pudieron haber pasado que no lo pudiste {tuviste tiempo de} hacer de otra forma y lo puedes cambiar”

Estudiante 6: “dices: yo me quede con espinita en esa entrega de hacer esto y lo quiero probar porque no pude experimentar porque ponía en riesgo la nota de todos. En cambio sola puedo arriesgarme porque confió en mi y aunque tenía que investigar más aprendí de eso”.

4.2.2.4. Reflexión personal sobre el aprendizaje

Al preguntar en las entrevistas por la reflexión sobre su aprendizaje, los 12 estudiantes consideraron que al pensar qué sucedía en el proyecto notaban que aprender es un proceso:

Estudiante 2: “todo tiene un proceso y como un camino para poder llegar a un gran objeto. Siempre que uno esta haciendo un proyecto va a tener errores, y esos errores generalmente suelen pasar cuando uno no ha profundizando bien en el tema. Entonces, yo sí creo que el pensar en qué hago en proyecto lo hace caer a uno en cuenta de los errores que está cometiendo {y} uno siempre va a tratar de encontrar soluciones más practicas para lo que está haciendo utilizando la física”

Este tipo de aprendizaje también fue evaluado por una de las categorías de las matrices de evaluación del curso. La tabla No10 muestra los resultados obtenidos para los PG y PI. Se presentan variaciones estadísticamente significativas con un nivel de confiabilidad del 99% entre las entregas iniciales y finales en este ítem.

La tabla muestra que los estudiantes alcanzan un nivel de reflexión que expresan mucho mejor de manera oral que escrita. En la presentación oral los estudiantes expresan a lo largo de todo el curso las dificultades que tuvieron en el desarrollo de sus proyectos, cómo las superaron y cómo ello mejoró su conocimiento de física, lo que corresponde a valores

promedio en la matriz de 4,25, 4,32 y 4,60. Se puede leer también en la tabla que las desviaciones estándar varían de 0,57 a 0,35, lo que implica que las diferencias individuales entre estudiantes llegan a ser menores.

Tabla 10. Estadísticas descriptivas y pruebas t para la categoría de Reflexión sobre el proceso en las matrices de criterios de evaluación de las entregas grupales, orales y escritas, e individuales de los estudiantes.

Tipo de proyecto	Entrega	Estadísticas Descriptivas				Pruebas <i>t student</i>		
		Promedio	Desviación	Rango	Moda	Vs Inicial	Vs Media	Vs Final
Grupal Oral	Inicial	4,25	0,57	3,0-5,0	4,0	////	0,76	4,09***
	Media	4,32	0,49	3,0-5,0	4,5	0,76	////	3,60***
	Final	4,60	0,35	4,0-5,0	4,5	4,09***	3,60***	////
Grupal Escrito	Inicial	2,89	0,92	2,0-5,0	2,5	////	2,66**	6,03***
	Media	3,36	1,06	2,0-5,0	4,0	2,66**	////	2,99**
	Final	3,89	0,93	2,5-5,0	4,5	6,03***	2,99**	////
Individual Escrito	Inicial	1,69	0,47	1,5-3,0	1,5	////	6,27***	16,08***
	Media	2,64	1,13	1,5-5,0	1,5	6,27***	////	4,28***
	Final	3,67	0,87	1,5-5,0	4,5	16,08***	4,28***	////

* p < 0,10; ** p < 0,05; *** p < 0,01

Para los PGE el curso se inicia con un nivel muy bajo de reflexión, en el cual los estudiantes expresan algunas dificultades presentadas a lo largo del desarrollo del proyecto pero no reflexionan sobre cómo las superaron ni qué aprendieron con ello, reflejado en un valor medio de 2,89 y una moda de 2,5. Al final del curso los estudiantes han alcanzado un nivel en el cual expresan por escrito las dificultades que se les presentaron y cómo las superaron, pero no qué aprendieron de física con ello, mejorando el promedio y la media a 3,89 y 4,5, respectivamente.

Sin embargo la tabla muestra que el aprendizaje correspondiente a esta categoría en los proyectos individuales es uno de los de mayor variación a lo largo del curso. El promedio y la media para la primera entrega corresponden a 1,69 y 1,5, lo que indica que los estudiantes no expresan ningún tipo de dificultad presentada ni reflexionan sobre lo que han

aprendido. Al final del curso alcanzan el mismo nivel en su trabajo individual (promedio 3,67, moda 4,5) que en el proyecto grupal escrito.

4.2.2.5. Mejoras en la habilidad de escribir

Al leer las tablas 3, 4 y 5 desde las diferencias entre los valores promedios de las presentaciones orales y las escritas, éstas disminuyen en la parte final del curso. Esto puede interpretarse como que la habilidad de escribir trabajos de física se va desarrollando a lo largo del semestre, con la práctica y el uso de matrices como sistema de orientación. Se convierte, entonces, en un aprendizaje importante para los estudiantes, aunque no sea muy evidente para la mayoría de ellos. En las entrevistas únicamente dos estudiantes consideran que el curso les aportó en este sentido:

Estudiante1: “mis trabajos escritos me han ayudado pero mucho, pero no sé como que la gente no lo ve así, porque uno nunca esta muy acostumbrado a argumentar y menos por escrito y menos de física. Pero tal vez que uno aprenda a escribir cosas de física es un paso positivo”.

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Aprendizaje de conceptos físicos

A partir de los resultados obtenidos es importante destacar que, en el caso de test tradicional, los estudiantes no aprobarían el curso aunque se verifica un nivel de aprendizaje en ellos. En contraposición los estudiantes demuestran que aprenden conceptos físicos de una forma no tradicional por medio de los proyectos al lograr determinar y definir de forma contextualizada los conceptos necesarios para que sus diseños funcionen. Estos resultados están en total concordancia con las percepciones expresadas por los estudiantes en las entrevistas sobre sus comportamientos acerca de su desempeño en los parciales y los proyectos. Los desempeños en test tradicionales les generan angustia,

desmotivación y poco nivel de logro, mientras que los proyectos les permiten demostrar mejor su trabajo y esto los motiva a profundizar más, con lo que mejora su nivel de desempeño.

De otro lado, la evaluación implementada en el curso muestra que aprender a identificar los conceptos físicos necesarios para analizar una situación problema, definirlos y establecer algunas relaciones entre ellos es un proceso que sucede con relativa rapidez, ya que las variaciones más significativas tanto en los proyectos individuales como grupales se dan hacia la mitad del curso. Las variaciones posteriores no son tan importantes, manteniéndose el nivel alcanzado previamente.

Como consecuencia de este proceso a lo largo del curso se da un aprendizaje de conceptos que es significativo, en el sentido de Ausubel (1983). Es decir, los conceptos físicos aprendidos por los estudiantes se relacionan de una manera clara con conocimientos previos que poseían. También se realizan modificaciones en el conocimiento previo de manera que el aprendizaje permite aproximaciones a la realidad más cercanas a las que plantean los modelos científicos. Sin embargo, es importante notar que no se logra alcanzar el más alto nivel de desempeño esperado en los estudiantes. Es decir, pocos estudiantes llegan a niveles en los cuales su redacción expresa que manejan correctamente la conceptualización de todos los principios físicos involucrados en el proyecto y las relaciones entre ellos.

Considero que este comportamiento puede tener varias causas. Una de ellas podría ser que los estudiantes atribuyen poca importancia a definir en palabras o fórmulas los conceptos físicos, si luego pueden demostrar que los aplican correctamente. Algunos pueden considerar innecesario repetir lo que ya está en los libros y que no consideran muy útil ni que les aporte a ellos en su cotidianidad. Otra causa podría atribuirse a que el curso requeriría mayor esfuerzo por parte de los estudiantes, ante todo en ser sistemáticos y

previsivos con el trabajo previo de conceptualización que se requiere para los proyectos y que no se lleva a cabo como se evidencia en el análisis de los protocolos de colaboración. Desde el punto de vista pedagógico, como profesor debería desarrollar otras estrategias que produjeran de forma más efectiva estos comportamientos que propician un mejor de aprendizaje, tal vez incluyendo como parte de la evaluación efectiva del proyecto este trabajo de clase o implementando estas discusiones en colaboración de forma más permanente para las sesiones de clase y no solo previo al desarrollo de los proyectos.

Considero que una consecuencia de este nivel de desempeño no tan elevado es que al no definir correctamente todos los conceptos físicos, los estudiantes pierden claridad sobre la comprensión de la física como modelo teórico que brinda una explicación del mundo. Aunque su aproximación a ella mejora, sigue siendo deficiente y ellos la consideran poco importante y muy lejana a sus intereses.

5.2. Otros Aprendizajes

5.2.1. Otros Aprendizajes relacionados con la Física

Coherentes con lo presentado en el marco teórico, los resultados de la investigación muestran que al utilizar contextos reales se incrementa la comprensión de los temas científicos, en este caso de la Física. Los estudiantes aprenden más física al poder aplicar concretamente los conceptos a sus diseños, y este nivel de aplicación agrupa diferentes procesos, como explicar el funcionamiento del objeto a partir de conceptos físicos, utilizar conocimientos físicos para diseñar o escoger materiales, realizar cálculos de magnitudes físicas para aplicarlos a su diseño y finalmente construir objetos funcionales a partir de este proceso. En todas estas actividades los niveles de desempeño de los estudiantes mejoran positiva y sensiblemente. Considero que este aprendizaje es muy valioso porque es superar

la barrera de la intuición y el conocimiento cotidiano para emplear herramientas científicas que les permitan entender el funcionamiento de sus objetos y poder hacer mejores diseños a partir de lo que han aprendido.

Sin embargo otros aprendizajes como el manejo del lenguaje gráfico, el análisis de materiales y las mejoras al proyecto analizado en el proyecto individual, aunque se producen, no alcanzan niveles satisfactorios. Mi hipótesis al respecto es que este tipo de desempeños evidencian un manejo más teórico del conocimiento físico que, como ya mencioné, no se desarrolla suficientemente en los estudiantes.

En el caso del análisis gráfico se requiere por parte de los estudiantes una claridad conceptual mayor, y ellos mismos reconocen esta falencia. Expresan que como herramienta de clase la representación gráfica es importante y les aporta mucho, pero como parte de su expresión de aprendizaje de física no es igualmente importante y les genera muchas dificultades, pues perciben que los conceptos realmente no les han quedado totalmente claros. En el análisis de materiales el mejor nivel alcanzado en los proyectos grupales frente al individual puede deberse a que los estudiantes no tenían que hacer el objeto de la entrega individual. Por ello el análisis de materiales era teórico y al no realizar actividades aplicadas, no alcanzaron un buen nivel de desempeño. Posiblemente éste hubiese sido mejor si hubieran hecho un prototipo del objeto, porque el análisis hubiera sido más real. En este caso la evidencia presentada parecería apoyar la hipótesis de que el aporte al proyecto, que resultó teórico y aplicable pero no llevado a la realización por parte de los estudiantes, hubiera podido alcanzar mayores niveles de logro.

Como conclusión, parece que la división inicial que realizan los estudiantes del conocimiento físico en aspectos teóricos y aplicados se mantiene hasta el final del curso. El diseño del curso orientado a su quehacer cotidiano los lleva a mantener el interés y tener

buen nivel de desempeño en la realización de proyectos, logrando altos niveles de aprendizaje en los aspectos aplicados, pero no logra aún una mejora tan significativa en los aspectos teóricos.

5.2.2. Otros Aprendizajes relacionados con la innovación

Casi siempre los estudiantes ven los cursos de física como una lista de temas y fórmulas en donde no encuentran fácilmente el hilo conductor o los principios básicos que guían esta ciencia, básicamente la consideran una materia de memorizar muchas fórmulas. De manera tradicional es poco frecuente que los estudiantes establezcan relaciones entre los diferentes contenidos del curso y que comprendan que aplican unos pocos principios en muchos casos diferentes. En el caso particular de los diseñadores, esta percepción tradicional es aun más fuerte debido a sus malas experiencias previas y a la carencia de bases matemáticas, que los llevan a una falta de gusto por la física. Por ello me resultó gratificante que los estudiantes observaran y expresaran que las modificaciones introducidas en su curso les permiten encontrar sentido al conocimiento físico, pues así es más probable que recurran a él cuando lo requieran en su desempeño cotidiano.

De manera consecuente, mi objetivo de generar una transferencia real del conocimiento propio del curso hacia la profesión elegida por los estudiantes se cumple, porque los estudiantes aplican más flexiblemente el conocimiento físico que van apropiando para entender nuevas situaciones bajo un pequeño grupo de principios estudiados. Y creo que verificar este aprendizaje es el logro más importante de mi investigación pues permite mostrar que poner en práctica nuevas acciones pedagógicas aunque no es simple si puede generar aprendizajes de física significativos en los estudiantes.

Resulta difícil separar el aporte de cada uno de los aspectos de la innovación al resultado final del curso, en especial procesos como la reflexión permanente y el uso de matrices de criterios de evaluación. Uno de los aspectos en los cuales se presenta mayor avance, estadísticamente, es el proceso de reflexión individual llevado a cabo por los estudiantes. Creo que en las entrevistas también se evidencia una reflexión, si no permanente sí importante de los procesos que vivieron los estudiantes en el curso. El proceso comenzó en las sustentaciones orales de los proyectos y llegó a resultarles natural, importante y casi anecdótico contar sus problemas en el desarrollo de los proyectos, cómo los superaron y qué sintieron que aprendieron; por escrito este último tipo de reflexión sobre qué aprenden les resultó menos evidente y más difícil de realizar. Sin embargo su reflexión casi no expresa qué piensan ellos que aprendieron de física con el proyecto. Considero que esto pasa porque ellos creen que el trabajo como un todo muestra su aprendizaje y que no hace falta poner explícitamente qué conceptos físicos nuevos aprendieron o profundizaron. Ahora al realizar el análisis de todo el aprendizaje realizado por parte de mis estudiantes considero que es aun más importante este paso en la reflexión, pues podría ser uno de los elementos claves para cerrar la brecha entre los aprendizajes teóricos y los aplicados.

Cuando los estudiantes reconocen que a través de las matrices pueden ver sus errores y una ruta para corregirlos creo que se abre una puerta enorme para una retroalimentación más directa y eficiente en todo tipo de cursos, aun en los más numerosos. En cursos numerosos como el mío creo que es muy importante poder hacer un seguimiento cercano a los estudiantes pues ellos difícilmente se acercan a preguntar como pueden mejorar sino que se limitan a sentir que no aprenden y las matrices de criterios de evaluación sirven no solo para asignar notas de desempeño a los estudiantes sino para generar aprendizaje en ellos al indicarles puntualmente sus fallas.

En mi investigación la evidencia muestra que los estudiantes mejoran con relativa facilidad en aspectos aplicados y muy poco en aquellos puntos que ayudan a la construcción teórica que también busca el curso. Si embargo, creo que al mejorar en la construcción teórica y la comprensión de conceptos, hay una repercusión positiva en la aplicación de los mismos, por ello podría resultar muy importante revisar la redacción de los criterios de la matriz con los estudiantes para discutir y acordar que significa cada ítem, en que categoría de aprendizaje recaen, cómo podrían mejorarlos y por qué todos son importantes aun para ellos que prefieren ver la física como algo aplicable.

Igualmente resulta difícil separar el aporte del aprendizaje en colaboración, pues permitió que los estudiantes discutieran en más de una ocasión sus ideas, que las compararan con las de sus compañeros permanentes y también con el resto del curso. Este proceso parece que influyó muy positivamente en su aprendizaje, reforzando conceptos correctos y permitiendo ver errores conceptuales y de aplicación, así como formas de corregirlos, pero ya en un plano individual. Me parece importante haber encontrado evidencia de la simbiosis entre los aportes grupales al aprendizaje individual y el aporte individual al aprendizaje grupal, porque uno de mis mayores temores residía en que la innovación no aportara ampliamente al trabajo individual y que bajo el manto de los grupos no se realizara un aprendizaje individual significativo para la mayoría de los estudiantes.

Finalmente, el último de mis objetivos, que consistía en mejorar los niveles de comunicación escrita por parte de los estudiantes, el cual se cumplió parcialmente. La evidencia estadística muestra que efectivamente los estudiantes mejoran en este aspecto, apoyados por el uso de las matrices y el trabajo permanente en escritura a lo largo del curso. Pero las entrevistas muestran que para la mayoría de los estudiantes éste no es un aspecto importante en su aprendizaje, y consecuentemente no se esfuerzan por alcanzar

mayores niveles de desempeño. Para apoyar más el desarrollo de esta habilidad creo que sería pertinente introducir algunas sesiones de clase destinadas a la revisión grupal de los documentos escritos, empleando los criterios de las matrices de evaluación y ejemplos concretos extraídos de los mejores documentos elaborados en el curso. Otra opción sería que pudieran escribir más en sus cuadernos de clase y revisar estos escritos, pero usualmente por razones de tiempo y del número de estudiantes esto es poco probable.

5.3. Retos hacia el futuro

Como conclusión de esta investigación creo que es importante destacar que la innovación que realicé genera buenos resultados en mantener el nivel de interés de los estudiantes en el curso, cambiar la percepción que tienen sobre el uso de la física en su cotidianidad y lograr mejores diseños y objetos cuando aplican los conocimientos de esta ciencia básica. Pero a la vez me ha hecho aun más clara la profunda división entre aspectos teóricos y aplicados que perciben y desarrollan los estudiantes. Como profesora me siento satisfecha de observar y obtener evidencia sobre los aprendizajes de mis estudiantes, algunos más complejos de lo que inicialmente esperaba; pero como físico me causa insatisfacción sentir que el modelo teórico que yo tanto aprecio siga resultando tan lejano para mis estudiantes.

Y aunque al iniciar esta investigación fui conciente de la diferencia en la forma de ver la Física por parte de los físicos y de las personas que no lo son y no espero con mi curso que los diseñadores lleguen a ver la Física como la base de su profesión, sí considero que es importante construir bases teóricas más fuertes en los estudiantes. Por ello creo que a futuro mi reto más importante consiste en buscar otras herramientas pedagógicas que permitan disminuir esta brecha, para que los niveles de aprendizaje de mis estudiantes mejoren aun más.

Algunas acciones pertinentes podrían ser, por ejemplo, desarrollar actividades en clase que propicien desempeños como el análisis gráfico de manera más permanente por parte de los estudiantes y no sólo por parte del profesor, promover una reflexión permanente sobre aprendizajes de conceptos físicos para hacer más explícito el modelo teórico, y revisar, en los grupos de trabajo de clase, los trabajos individuales y grupales escritos a la luz de los criterios de evaluación, para realizar una retroalimentación más efectiva sobre por qué no se logran los niveles esperados en algunos puntos de la evaluación, sobre todo estos más teóricos y menos aplicados.

Finalmente, desde la investigación pedagógica creo que un par de cosas que podrían ser interesantes son evaluar que proyectos aportan mejor al aprendizaje de mis estudiantes, propiciar otras investigaciones que se centren en la dificultad del avance conceptual por parte de los estudiantes e introducir una innovación de este tipo en cursos para estudiantes de ingeniería. En el caso de los proyectos que utilicé, estos han ido surgiendo como objetos interesantes pero sería importante poder determinar cuales de ellos les aportan más y buscar estrategias para complementarlos con otros que generan mayores niveles de complejización, así generar procesos de aprendizaje en espiral para reelaborar conceptos básicos. Desde el punto de vista pedagógico es muy interesante e importante investigar como otras herramientas pedagógicas disminuyen o aumentan las brechas entre las aplicaciones de la física y su marco teórico porque la evidencia en mi investigación parece mostrar que este paso es algo difícil para los estudiantes e investigaciones en esta dirección podrían ayudar a mejorar los procesos de aprendizaje no sólo de mi curso sino de otros cursos ofrecidos por mi departamento. En relación a los cursos de ingeniería sería importante determinar que aspectos de la innovación son pertinentes e introducirían

mejoras, implementarlos y medir su impacto, creo que con ello se abrirían perspectivas interesantes para la docencia en mi Departamento.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ausubel, D. Hanesian, H. y Novak, J. (1983) *Psicología Educativa*, Un punto de vista cognoscitivo. México: Editorial Trillas. 2da edición.
- Boix-Mancilla, V. & Gardner, H. (1.998). What are the qualities of understanding? En Stone W., M. (Ed.) *Teaching for Understanding: Linking research with practice* (pp. 161 – 196). San Francisco: Jossey-Bass Publishers
- Giroux, Henry A. (1997). Los profesores como intelectuales: hacia una mirada crítica del aprendizaje. Barcelona: Ediciones Paidós Latino America.
- Goodrich H. (1999). When assessment is instruction and instruction is assessment: using rubrics to promote thinking and understanding, en *The Project Zero Classroom: views on understanding* (91-99). Cambridge, Boston. President and Fellows of Harvard College on behalf of Project Zero.
- Hecth, Eugene (2000). *Física con álgebra y trigonometría*, 2ª edición. México Editorial Thomson
- Knoblauch, C. H. & Brannon L. (1983). Writing as learning through the curriculum. *College Englis*, Volume 45, Number 5, September.
- Mackin, J. (1996) A creative approach to physics teaching. *Physics Education*, volume 31 (July), 199-202
- Nieda, J y Macedo, B. (1997) *Un currículo científico para estudiantes de 11 a 14 años*. España: UNESCO.
- McDermott, L. (1991) Millikan Lecture 1990: What we teach and what is learned – Closing the gap. *American Journal Physics*, volume 59 (4) (April), 301-315
- Mestre José P. (2001) Implications of research on learning for the education of prospective science and physics teachers. *Physics Education*, volume 36 (January), 44-51

- Ordóñez Claudia, (2003). Currículo para los Colegios de la Asociación Alianza Educativa, Marco Conceptual. Documento de circulación interna CIFE.
- Perkins David (1998) What is Understanding? In Teaching for Understanding Research whit practice. Martha Stone, editor. San Francisco, Jossey – Bass Publishers.
- Piaget, J. (1969) Psicología y pedagogía. España: Editorial Ariel.
- Savery, J. and Duffy, T. (1996) Problem Based Learning: An Instructional Model and Its Constructivist Framework. Constructivist learning environments: case studies in instructional design. Brent G. Wilson, editor. New Yersey. Educational Technology Publications.
- Schön, D.A. (1987). Educating the reflective practitioner. San Francisco, CA, Jossey-Bass.
- Snow, C. & Kurland B. (2001). Sticking to the point: talk about magnets as a context for engaging in scientific discourse. En Hicks D. (Ed.) Discourse, learning and schooling. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Thomchick, E (1997) The use of collaborative learning in logistics classes. Journal of business Logistics, volume 18, issue 2, 191-205
- Vygotsky, L. (1985). Pensamiento y lenguaje. México: Editorial Alfa y Omega
- Webb, N. (1985) Student interaction and learning in small groups: A research summary. Learning to cooperate, Cooperating to learn, 148 172.
- Whitelegg, E. And Parry, M. (1999) Real life contexts for learning physics: meanings, issues and practice. Physics Education, volume 34 (march), 68-72
- Woodward, H. (1998) Reflective journals and portfolios: learning through assessment. Assessment and evaluation in higher education. V 23, I.4

7. ANEXOS

Anexo No1.

Matriz De Evaluación De Proyectos Individuales – Trabajo Escrito

Crterios // Notas	5 – 4.5	4 – 3.5	3 – 2.5	2 – 1.5
Definición de conceptos	Mi redacción expresa que manejo correctamente la definición de los principios físicos involucrados en el proyecto y planteo relaciones entre ellos	Mi redacción expresa que manejo medianamente la definición de los principios físicos involucrados en el proyecto y no involucro o planteo relaciones entre ellos	Mi redacción expresa que mi manejo conceptual de los principios físicos involucrados en el proyecto es pobre y no involucro o planteo relaciones entre ellos	Mi redacción expresa que no tengo un manejo conceptual de los principios físicos involucrados en el proyecto y no involucro o planteo relaciones entre ellos
Manejo conceptual	Analizo correctamente, empleando todos los principios físicos, el diseño del objeto del que habla el proyecto.	Analizo correctamente, empleando algunos principios físicos, el diseño del objeto del que habla el proyecto.	Analizo de manera básica, empleando algunos principios físicos, el diseño del objeto del que habla el proyecto.	No analizo, empleando principios físicos, el diseño del objeto del que habla el proyecto.
Consideraciones sobre materiales	He considerado y aplicado las propiedades físicas que se hacen necesarias en los materiales empleados en la realización del objeto que plantea el proyecto	He considerado y aplicado parcialmente las propiedades físicas que se hacen necesarias en los materiales empleados en la realización del objeto que plantea el proyecto	He considerado pero no aplicado las propiedades físicas que se hacen necesarias en los materiales empleados en la realización del objeto que plantea el proyecto	No he considerado ni aplicado las propiedades físicas que se hacen necesarias en los materiales empleados en la realización del objeto que plantea el proyecto
Análisis gráfico del problema	Utilizo una representación gráfica adecuada que involucra los conceptos físicos correctos para abordar el problema concreto del objeto que estoy diseñando.	La representación gráfica que utilizo es adecuada pero es muy general y/o no representa en concreto las características del objeto que diseñe o los conceptos físicos necesarios	La representación gráfica que utilizo no está completa o emplea incorrectamente los conceptos físicos necesarios	No utilizo ningún tipo de representación gráfica o ella no incluye ningún concepto físico
Reflexión sobre el proceso	Expreso claramente las dificultades presentadas a lo largo del desarrollo del proyecto, cómo las he superado y como ha mejorado mi conocimiento de la física con ello	Expreso claramente las dificultades presentadas a lo largo del desarrollo del proyecto pero no reflexiono sobre cómo las he superado ni que he aprendido con ello	Expreso sólo algunas de las dificultades presentadas a lo largo del desarrollo del proyecto pero no reflexiono sobre cómo las he superado ni qué he aprendido con ello	No expreso las dificultades presentadas a lo largo del desarrollo del proyecto y no reflexiono sobre como las he superado ni que he aprendido con ello
Aporte al proyecto	Mi aporte al proyecto es ingenioso y sobresaliente, basado en un estudio físico profundo y puede mejorar realmente el proyecto analizado	Aporto al proyecto con base en una comprensión de los principios físicos y propongo mejoras reales al proyecto analizado	Mi aporte al proyecto es básico, no esta basado en un estudio físico o no puede aportar mejoras reales al proyecto analizado	No realizo ningún aporte al proyecto analizado

Matriz De Evaluación De Proyectos Grupales – Trabajo Escrito

Criterios // Notas	5 – 4.5	4 – 3.5	3 – 2.5	2 – 1.5
Definición de conceptos	Mi redacción expresa que manejo correctamente la definición de los principios físicos involucrados en el proyecto y planteo relaciones entre ellos	Mi redacción expresa que manejo medianamente la definición de los principios físicos involucrados en el proyecto y no involucro o planteo relaciones entre ellos	Mi redacción expresa que mi manejo conceptual de los principios físicos involucrados en el proyecto es pobre y no involucro o planteo relaciones entre ellos	Mi redacción expresa que no tengo un manejo conceptual de los principios físicos involucrados en el proyecto y no involucro o planteo relaciones entre ellos
Manejo conceptual	Aplico correctamente todos los principios físicos involucrados en el diseño del objeto.	Aplico correctamente algunos de los principios físicos involucrados en el diseño del objeto	Aplico parcialmente los principios físicos involucrados en el diseño del objeto.	No aplico los principios físicos involucrados en el diseño del objeto.
Consideraciones sobre materiales	He considerado y aplicado las propiedades físicas que se hacen necesarias en los materiales empleados en la realización del objeto	He considerado y aplicado algunas de las propiedades físicas que se hacen necesarias en los materiales empleados en la realización del objeto	He aplicado pero no considerado las propiedades físicas que se hacen necesarias en los materiales empleados en la realización del objeto	No he considerado ni aplicado las propiedades físicas que se hacen necesarias en los materiales empleados en la realización del objeto
Calibración	He realizado pruebas previas suficientes para garantizar que el objeto satisface las restricciones requeridas y he llevado un registro claro de este proceso	He realizado algunas pruebas previas para comprobar que el objeto satisface las restricciones requeridas y he llevado un registro de este proceso	He realizado algunas pruebas previas para comprobar que el objeto funciona, pero no he llevado un registro de este proceso	No he realizado pruebas previas y no he llevado un registro de este proceso
Análisis gráfico del problema	Utilizo una representación gráfica adecuada que involucra los conceptos físicos correctos para abordar el problema concreto del objeto que estoy diseñando.	La representación gráfica que utilizo es adecuada pero es muy general y/o no representa en concreto las características del objeto que diseño o los conceptos físicos necesarios	La representación gráfica que utilizo no está completa o emplea incorrectamente los conceptos físicos necesarios	No utilizo ningún tipo de representación gráfica o ella no incluye ningún concepto físico
Reflexión sobre el proceso	Expreso claramente las dificultades presentadas a lo largo del desarrollo del proyecto, como las he superado y como ha mejorado mi conocimiento de la física con ello	Expreso claramente las dificultades presentadas a lo largo del desarrollo del proyecto pero no reflexiono sobre cómo las he superado ni que he aprendido con ello	Expreso sólo algunas de las dificultades presentadas a lo largo del desarrollo del proyecto y no reflexiono sobre como las he superado ni que he aprendido con ello	No expreso las dificultades presentadas a lo largo del desarrollo del proyecto y no reflexiono sobre como las he superado ni que he aprendido con ello

Matriz De Evaluación De Proyectos Grupales – Presentación Oral

Criterios // Notas	5 – 4.5	4 – 3.5	3 – 2.5	2 – 1.5
Manejo conceptual	Conozco y aplico correctamente los principios físicos involucrados en el diseño del objeto.	Conozco y aplico parcialmente los principios físicos involucrados en el diseño del objeto.	Conozco pero no aplico los principios físicos involucrados en el diseño del objeto.	No conozco los principios físicos involucrados en el diseño del objeto.
Reflexión sobre el proceso	Expreso claramente las dificultades presentadas a lo largo del desarrollo del proyecto, como las he superado y como ha mejorado mi conocimiento de la física con ello	Expreso claramente las dificultades presentadas a lo largo del desarrollo del proyecto pero no reflexiono sobre cómo las he superado ni que he aprendido con ello	Expreso sólo algunas de las dificultades presentadas a lo largo del desarrollo del proyecto y no reflexiono sobre como las he superado ni que he aprendido con ello	No expreso las dificultades presentadas a lo largo del desarrollo del proyecto y no reflexiono sobre como las he superado ni que he aprendido con ello
Calibración	He realizado pruebas previas suficientes para garantizar que el objeto satisface las restricciones requeridas	He realizado algunas pruebas previas para comprobar que el objeto satisface las restricciones requeridas	He realizado algunas pruebas previas para comprobar que el objeto funciona, sin detallar las restricciones requeridas	No he realizado pruebas previas al objeto
Objeto presentado	El objeto satisface todas las restricciones establecidas, funciona y estéticamente aceptable	El objeto no satisface todas las restricciones establecidas o no es estéticamente aceptable, aunque funciona	El objeto no satisface todas las restricciones establecidas o no es estéticamente aceptable, y no funciona	No se presentó ningún objeto
Sustentación grupal	Todos los integrantes del grupo conocen a profundidad el proyecto y cómo se desarrolló	Sólo algunos de los integrantes del grupo conocen a profundidad el proyecto y cómo se desarrolló	Uno solo de los integrantes del grupo conoce a profundidad el proyecto y cómo se desarrolló	Ninguno de los integrantes del grupo conoce a profundidad el proyecto ni cómo se desarrolló

Anexo No2.

Guía para la entrega grupal No. 5

Objeto a diseñar: Avión

Restricciones sobre el diseño: El avión debe ocupar un área máxima de un octavo de pliego, la estructura debe ser de madera aunque no es aceptable que todo el avión sea en este material.

Condición: el avión debe planear al menos 2 metros desde el punto de lanzamiento.

Trabajo escrito: no debe exceder 6 páginas a espacio y medio y letra arial No. 12, debe incluir:

1. Consideraciones físicas sobre el diseño
2. Consideraciones físicas sobre los materiales empleados en la elaboración del objeto a presentar
3. Método de calibración
4. Localización del centro de masa del avión, calculo de los torques y fuerzas de todo el sistema sobre el centro de masa.
5. Gráfica o dibujo esquemático del sistema que incluya fuerzas y torques posibles y posibles direcciones de movimiento
6. Bibliografía

Evaluación: el proyecto tiene dos notas:

- | | |
|---|----------|
| a. Objeto diseñado y sustentación oral del proyecto | 2 puntos |
| b. Trabajo escrito | 4 puntos |

Anexo No3

Modelo de protocolo para entrevistas

1. ¿Qué aspectos del curso de física te han sido positivos para ti a lo largo de este semestre? ¿Por qué?
2. ¿Qué aspectos del curso de física te han sido negativos para ti a lo largo de este semestre? ¿Por qué?
3. ¿Cómo consideras el sistema de evaluación? ¿Es completo? ¿Es pertinente? ¿Te ayuda a saber que se espera de ti dentro del curso?
4. ¿Cómo te afecta positiva o negativamente este modelo de evaluación?
5. ¿Te sentirías igual si tu evaluación estuviese basada en parciales?
6. ¿Cómo consideras qué influyen los proyectos en tu aprendizaje?
7. ¿Consideras pertinente el desarrollo de proyectos? ¿Por qué?
8. ¿Qué tipo de proyectos crees que son más relevantes para ti, es decir, qué proyectos de física te aportarán más a tu vida profesional?
9. ¿Qué aportes has recibido del trabajo en colaboración con tus compañeros de equipo?
10. ¿Consideras que es importante el trabajo en clase específicamente orientado a desarrollar los proyectos de las entregas?
11. ¿Se presentan variaciones importantes entre la primera concepción del proyecto en clase y su presentación final? ¿De qué tipo: de concepción, de uso de materiales, otras, cuáles?
12. ¿Cómo ayuda el manejar los conceptos físicos estudiados en la clase al desarrollo de los proyectos?
13. ¿Cómo ayuda la clase del laboratorio al desarrollo de los proyectos?
14. ¿Piensan constantemente en lo que están haciendo? Es decir, qué cosas funcionan y cuáles no, cómo superar dificultades o problemas, etc.
15. ¿Registran lo que piensan o sólo lo hacen al final al escribir el documento de la entrega?
16. ¿Crees qué es importante revisar la entrega después de evaluada y pensar cómo es posible mejorarla?
17. ¿Para qué te sirve volver a entregar uno de los proyectos al finalizar el semestre?
18. ¿Por qué considerarías que es importante el trabajo individual en este curso?
19. ¿Qué has aprendido tú que no haya sido aporte del grupo?

Anexo No4

Protocolos de Trabajo en colaboración en clase

Sesión 1

1. Presentación del proyecto a entregar
2. Lluvia de ideas
3. Clasificación de ideas y determinación de metas de aprendizaje grupal e individual
4. Asignación de tareas
5. Primer modelo del diseño a realizar

Sesión 2

1. Presentación de la indagación individual sobre las metas de aprendizaje
2. Aclaración de términos y discusión de conceptos
3. Reformulación del diseño

Criterios de evaluación para el desarrollo de las sesiones en colaboración

Criterios // Notas	5 – 4.5	4 – 3.5	3 – 2.5	2 – 1.5
Lluvia de ideas	Escribo todo tipo de ideas expresadas por el grupo sin juzgarlas antes de discutir las	Escribo algunas ideas expresadas por el grupo que considero importantes y pertinentes	Escribo mis ideas pero no las de todo el grupo	No escribo ninguna idea
Manejo conceptual	Nos centramos en conceptos físicos que conocemos o no conocemos para profundizar sobre ellos	Pensamos algunos conceptos físicos que podrían estar involucrados en el problema	Nos centramos en aspectos del desarrollo práctico del proyecto sin pensar conceptualmente antes en él	Nos centramos en los aspectos estéticos del proyecto
Metas de aprendizaje	Clasificamos las ideas y establecemos metas de aprendizaje en concreto para cada integrante del grupo	Clasificamos las ideas y establecemos metas de aprendizaje en general para quien desee desarrollarlas en el grupo	Clasificamos las ideas y no establecemos metas de aprendizaje	No clasificamos las ideas ni establecemos metas de aprendizaje
Trabajo individual	Investigo a profundidad aquellos puntos que me corresponden de las metas de aprendizaje	Investigo aquellos puntos que me corresponden de las metas de aprendizaje	Reviso algunos puntos de que me corresponden de las metas de aprendizaje	No realizo ningún trabajo individual
Reformulación del proceso	A partir de la discusión en grupo con los aportes individuales la solución del problema planteado se clarifica y se profundiza en el manejo conceptual de la física en el diseño	A partir de la discusión en grupo con los aportes individuales la solución del problema planteado se clarifica pero no se profundiza en el manejo conceptual de la física en el diseño	A partir de la discusión en grupo con los aportes individuales la solución del problema planteado no se clarifica ni se profundiza en el manejo conceptual de la física en el diseño	No hay una clarificación del problema ni se profundiza en el manejo conceptual porque no hay aportes nuevos

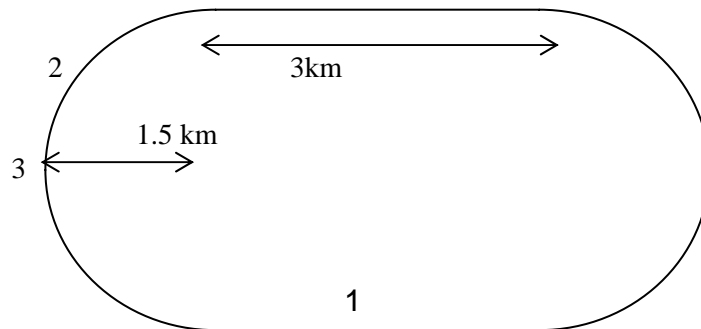
Anexo No5

Prueba tradicional de física

INSTRUCCIONES

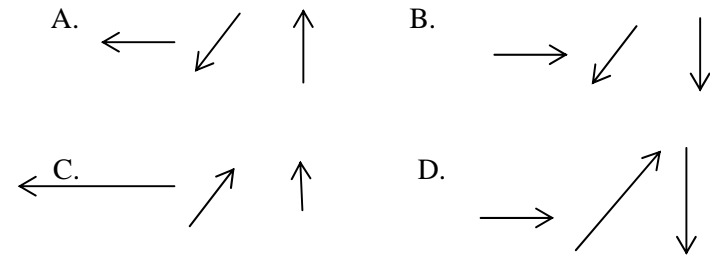
LAS PREGUNTAS DE LA 1 A LA 22 SON DE SELECCIÓN MÚLTIPLE CON ÚNICA RESPUESTA

En una pista de carreras como ilustra la figura se realiza una competencia de automovilismo. La rapidez de uno de los competidores es 80 m/s y la dirección del movimiento es contraria a las manecillas del reloj.



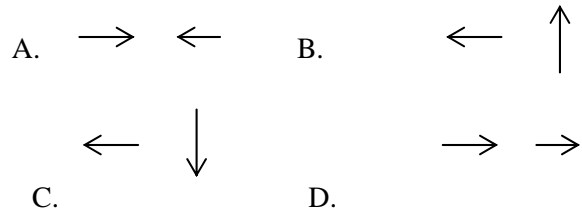
1. Se ejerce fuerza neta sobre el auto en los puntos
 - A. 1 y 2
 - B. 1 y 3
 - C. 2 y 3
 - D. en los tres

2. Se dibujan a escala los vectores velocidad para el auto en los puntos 1,2 y 3, respectivamente. La figura que mejor los representa es



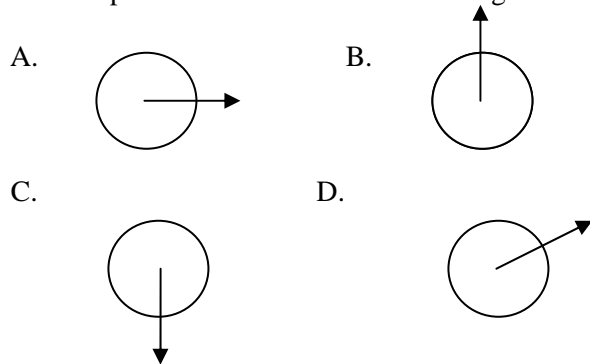
3. Si el piloto decide aumentar su rapidez en el trayecto recto del óvalo hasta 100 m/s, con relación a las velocidades iniciales en 2 y 3 es correcto afirmar que
 - A. cambian las magnitudes pero no las direcciones
 - B. no cambian ni las magnitudes ni las direcciones
 - C. cambian tanto las magnitudes como las direcciones
 - D. las magnitudes permanecen constantes y cambian las direcciones
4. La aceleración en el trayecto recto es
 - A. 0.2 m/s^2
 - B. 0.6 m/s^2
 - C. 1.2 m/s^2
 - D. No se puede calcular porque no se tiene el tiempo

5. Los vectores que representan las aceleraciones en el trayecto recto (punto 1) y en el curvo (punto 3), respectivamente, son

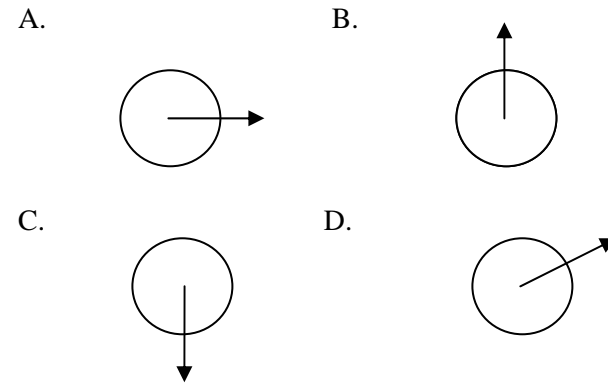


Un jugador de fútbol patea un balón y le imprime una velocidad inicial v_0 m/s en un ángulo θ con la horizontal.

6. La fuerza neta sobre el balón mientras éste realiza el tiro parabólico es la ilustrada en la figura



7. La dirección de la fuerza aplicada por el jugador es:



8. Es correcto afirmar que la dirección de la velocidad inicial del tiro parabólico es en dirección de:

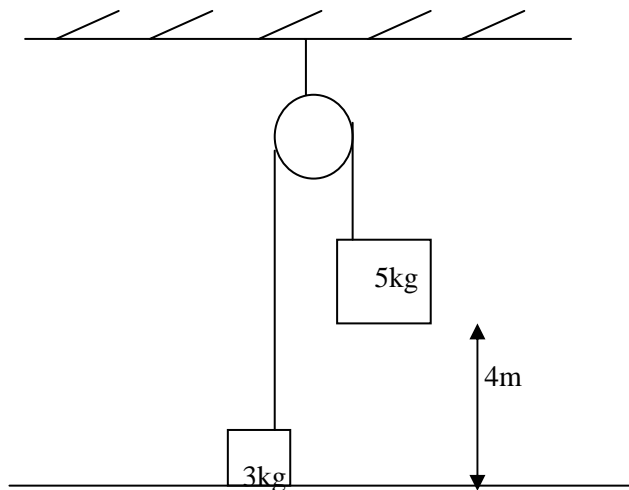
- A. el peso
 B. la fuerza aplicada por el jugador
 C. una fuerza dirigida hacia arriba
 D. la fuerza neta durante el movimiento

9. En el instante en el cual el balón alcanza su altura máxima la rapidez de éste es

- A. 0
 B. v_0
 C. $v_0 \sin \theta$
 D. $v_0 \cos \theta$

10. De la rapidez horizontal del balón se puede afirmar que es:
- una constante de la situación descrita
 - variable y crece con el tiempo
 - variable y decrece con la distancia recorrida
 - modificada por la aceleración total del sistema

En una bodega para facilitar el movimiento de las cajas que allí se guardan se utilizan poleas. El dibujo esquematiza una situación en la cual una caja de 3kg de masa (caja 1) se mueve gracias a su interacción con una caja de 5kg (caja 2) a través de una cuerda, esta caja se localiza a 4m de altura. Suponga que se toma como nivel de referencia el piso.



11. El papel de la polea sobre la fuerza ejercida por la caja 2 sobre la cuerda es:

- aumentarle la magnitud
- disminuirle la intensidad
- mantenerla constante
- cambiarle el sentido

12. La figura que mejor ilustra las aceleraciones de las cajas cuando estas se mueven es:

- A. caja 1 caja 2 B. caja 1 caja 2
- ↑ ↓ ↓ ↓
- C. caja 1 caja 2 D. caja 1 caja 2
- ↑ ↓ ↓ ↓

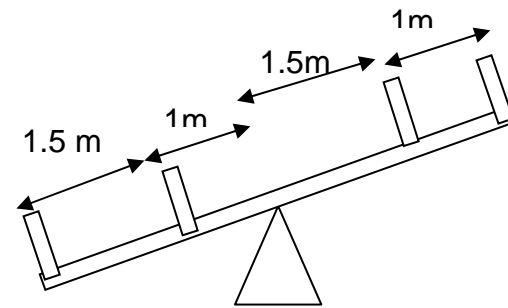
13. A cerca de la velocidad y la fuerza neta para las cajas es correcto afirmar que

- A. la fuerza permanece constante y la velocidad de cada caja disminuye
- B. la fuerza permanece constante y la velocidad de cada caja aumenta
- C. la velocidad permanece constante y la fuerza sobre cada caja aumenta
- D. la velocidad y la fuerza sobre cada caja permanecen constantes

14. Es correcto afirmar que cuando la caja 2 llegue al piso la caja 1

- A. se siga moviendo hacia arriba porque sobre ella no actúan fuerzas externas
- B. se detenga instantáneamente porque la tensión sobre la cuerda ejerce fuerza sobre ella
- C. se siga moviendo hacia arriba y realice luego una caída libre porque la fuerza que se ejerce ahora es su peso
- D. se detenga al cabo de 1 segundo porque la tensión sobre la cuerda y el peso de la otra masa ejercen fuerza sobre ella.

Dos niños juegan en un balancín. Sus masas son respectivamente 20 y 30 Kg. El balancín tiene varios sillines dispuestos a distancias diferentes del punto de apoyo, como se indica en la figura.



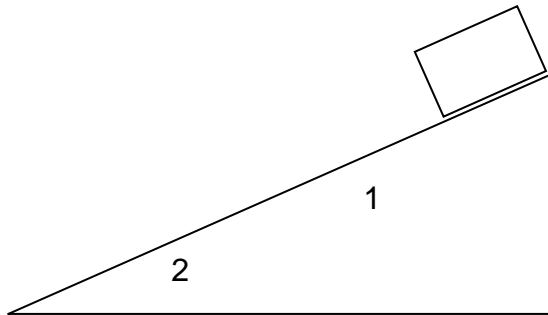
15. Si los dos niños se sientan en los sillines de los extremos es correcto afirmar que el balancín

- A. permanece horizontal
- B. se inclina hacia el lado donde se sienta el niño más pesado
- C. se inclina hacia el lado donde se sienta el niño más liviano
- D. se mueve balanceándose hasta que los niños se bajen de él

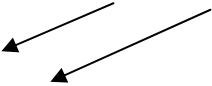

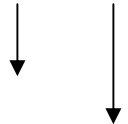
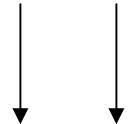
16. Para que el balancín quede en equilibrio los niños deben sentarse

- A. el niño de 30Kg en el extremo y el de 20Kg en la silla a 1 metro del pibote
- B. el niño de 20Kg en el extremo y el de 30Kg en la silla a 1 metro de pibote
- C. el niño de 20Kg en la silla a 1.5 metros del pibote y el niño de 30Kg en la silla a 1 metro del pibote
- D. el niño de 30Kg en la silla a 1.5 metros del pibote y el niño de 20Kg en la silla a 1 metro del pibote

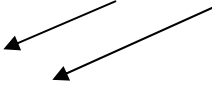

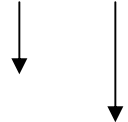
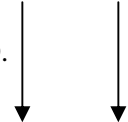
Se coloca una caja en la parte superior de un plano inclinado liso, es decir sin rozamiento, como se indica en la figura.



17. Los vectores que mejor representan la aceleración de la caja en los puntos 1 y 2, respectivamente, son:

- A. 
- B. 
- C. 
- D. 

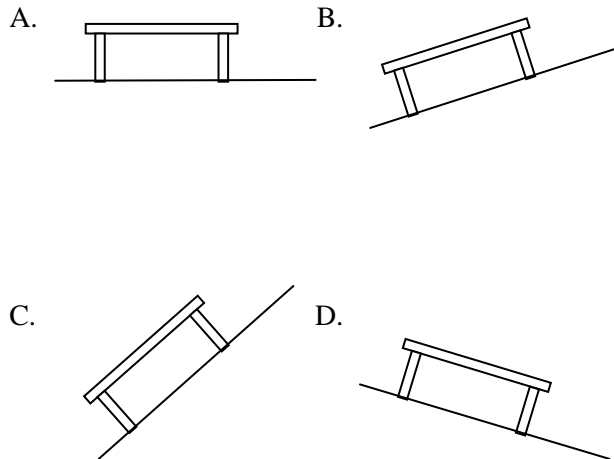
18. Los vectores que mejor representan la velocidad de la caja en los puntos A y B, respectivamente, son:

- A. 
- B. 
- C. 
- D. 

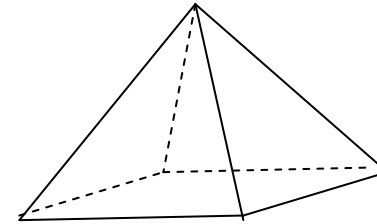
19. Si se coloca un segundo plano inclinado de la misma altura y de mayor longitud horizontal y se deja deslizar la misma caja, es correcto afirmar que en ambos casos:
- la caja desciende con velocidad constante.
 - la aceleración del bloque es la misma
 - la velocidad del bloque al llegar al piso es la misma
 - el tiempo que tarda el movimiento es el mismo

Para que un objeto no se vuelque se requiere que la línea vertical que se dibujaría desde el centro de masa hasta el piso no se salga del área de apoyo del objeto.

20. De los siguientes dibujos cual representa una situación en la cual probablemente el objeto se vuelca:



21. Tres estudiantes discuten sobre la razón por la cual se dice que la pirámide es el sólido más estable, es decir, no se vuelca fácilmente :



Estudiante 1: esto sucede porque el centro de masa de la pirámide esta en su base y así nunca la línea al piso sale de su área de base

Estudiante 2: el centro de masa de la pirámide se localiza por debajo de la mitad de su altura y por ello el área sobre la cual puede caer la línea del centro de masa es mayor que para otros objetos

Estudiante 3: lo que sucede es que el área de la base de la pirámide es grande comparada con la de otros objetos y por ello la línea desde el centro de masa difícilmente se sale de ella

Usted estaría de acuerdo con:

- el estudiante 1
- el estudiante 2
- el estudiante 3
- ninguno de los estudiantes

22. Una esfera rota fácilmente porque:

- A. el área de la base que la sustenta es muy pequeña y ante cualquier fuerza su centro de masa se sale de ella
- B. el área de la base que la sustenta no coincide con su centro de masa
- C. su centro de masa se localiza en el piso y siempre recae sobre el área de sustentación
- D. su centro de masa se mueve fácilmente si se aplica una fuerza sobre la esfera

CLAVE DE RESPUESTAS

- 1. C
- 2. B
- 3. A
- 4. B
- 5. D
- 6. C
- 7. D
- 8. B
- 9. D
- 10. A
- 11. D
- 12. A
- 13. B
- 14. C
- 15. B
- 16. C
- 17. B
- 18. A
- 19. C
- 20. C
- 21. B
- 22. A