



Memoria de la experiencia:

**La evaluación continua en
Ingeniería Térmica:
Acciones del curso 2004-2005**

Febrero, 2006

J. A. Turégano

C. Velasco

T. Gómez

**Grupo de Didáctica
en Ingeniería Térmica**

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| Resumen | 4 |
| Memoria | |
| Puntos fuertes de la iniciativa | 7 |
| Antecedentes | 9 |
| La alternativa: La experiencia actual | 13 |
| Resultados | 17 |
| Conclusiones, potenciales objeciones y posible extensión de la experiencia | 21 |
| Referencias citadas en el texto | 23 |
| Publicaciones de los autores relacionadas con la experiencia | 24 |
| Anexo | |
| Materiales | 27 |
| Materiales digitales incluidos en el CD | 44 |

Resumen

Una experiencia como la nuestra es la consecuencia de un proceso constante de investigación con desarrollo de distintas estrategias y materiales, llevado a cabo en años anteriores para mejorar los **entornos de enseñanza y aprendizaje** y que, finalmente, han confluído en lo que aquí presentamos.

El escaso efecto a lo largo del periodo precedente sobre los resultados y la nula incidencia para modificar las pautas de asistencia a clase provocaron una revisión autocrítica de nuestro trabajo. Como resultante se tomó la decisión de incidir directamente en la **estrategia de aprendizaje** de un estudiantado que adolece de serias limitaciones en recursos previos, en métodos apropiados de trabajo y, muchas veces, con una actitud de mínimos esfuerzo y voluntad por la excelencia.

Este resumen recoge brevemente el proceso antes citado que está, lógicamente, conectado con el por qué, el cómo y los resultados de la experiencia llevada a cabo el curso 2004-05.

La búsqueda de una didáctica positiva y posible

La experiencia que se presenta es el **fruto** de más de quince años de esfuerzos innovadores apoyados en las TIC para crear nuevos contextos de formación en el ámbito universitario.

Este esfuerzo innovador se inició, a fines de los 80, con la creación de un laboratorio virtual (Velasco y otros, 1992), y continuó con el desarrollo de materiales destinados a mejorar el entorno de enseñanza. La creación de herramientas sumamente eficaces permitió mejorar el valor de clase magistral enriqueciéndola con elementos interactivos. Frente a la pizarra plana y gris, una presentación con animaciones, colorido, imágenes reales, videos y animaciones multiplicaba la capacidad docente en una dirección que el estudiantado valoraba como muy positiva (Velasco, 2001).

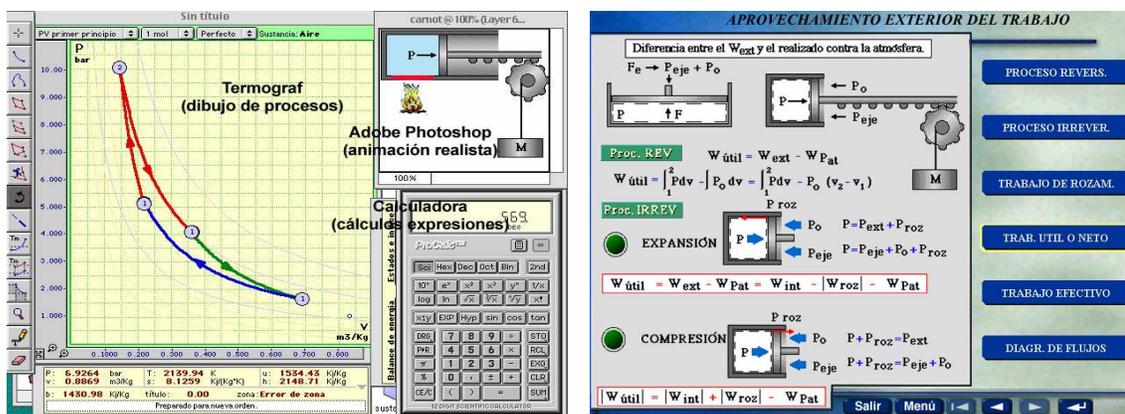


Fig. 1 Pantallas de materiales preparados para la clase Unimedia

Estas clases, que denominamos clases Unimedia (Fig. 1) porque unificaban en el ordenador como soporte único un conjunto de recursos TIC, permitieron desarrollar un entorno de enseñanza completo para varias de las asignaturas del área Máquinas y Motores Térmicos. El entorno se reforzó con una herramienta cognitiva de diseño propio, TermoGraf, que permitía traducir a representaciones gráficas realistas los análisis de instalaciones energéticas¹.

Todo ello para potenciar un aprendizaje significativo que sustituyera al memorístico, base del esfuerzo de muchos de nuestros estudiantes. Para facilitar esta evolución y al objeto de enriquecer el entorno de aprendizaje, los materiales utilizados en clase se adaptaron para su utilización por el estudiantado.

Sin embargo, los resultados, más allá de la percepción positiva que l@s estudiantes expresaban sobre los materiales, no reflejaban una mejora significativa ni en la asistencia a clase ni en los resultados. Estos, que suponían una mejora en torno al 10-15 % con un nulo efecto en la evolución de la asistencia, evidenciaban que no se había modificado realmente el modelo de aprendizaje.

¹ La utilidad de este enfoque queda confirmada por su integración en herramientas comerciales como Building Blocks® para diseño y optimización de sistemas de desalación (Valero y otros, 2000).

La alternativa

Un análisis crítico llevó a los profesores implicados a comprobar que el único elemento que no habíamos podido transformar era la estrategia general de aprendizaje.

Así, en un Congreso Internacional sobre Docencia Universitaria e Innovación (Turégano y otros, 2002a), frente al ambiente eufórico de numerosas iniciativas por la creación de materiales en un entorno informático pero sin datos sobre sus efectos para el cambio o no de paradigma didáctico, nuestra ponencia señalaba el relativo² fracaso si comparábamos esfuerzo/resultados, incidiendo en la necesidad de explorar nuevas orientaciones basadas no en los materiales sino en las estrategias.

Con esta opción como recurso último, se ha orientado el trabajo de los tres últimos cursos: con el objeto de modificar el modelo de aprendizaje hemos incorporado la evaluación del trabajo continuo como modo de estimular éste y como complemento indispensable a un diseño adecuado del entorno de enseñanza-aprendizaje, sin desechar todavía el examen final en esta etapa.

Como se desarrolla en la memoria, el trabajo de los años precedentes ha permitido resolver varias de las dificultades que, en intentos previos (Turégano y otros, 2002b), se habían encontrado.



Fig. 2 Pantallas generadoras de copias y de valores para la aleatoriedad y posterior corrección automatizada

Básicamente, se ha creado una aplicación informática y toda una metodología, adaptada a asignaturas semestrales o anuales, que permite la evaluación semanal o quincenal de un conjunto de problemas, de acuerdo con la tipología convencional, mediante técnicas de resolución optimizadas para aumentar la productividad del estudiante y mediante técnicas de revisión automatizadas que reducen el tiempo de corrección a un mínimo. Como es lógico, se ha elaborado un sistema de asignación que reduce muy significativamente la copia estéril y que propicia, por el contrario, el trabajo cooperativo.

Hasta ahora (dos cursos), se ha utilizado el procedimiento para prácticas de simulación y entregas de series de 6 a 8 problemas totalmente convencionales. La Fig. 2 muestra dos de las pantallas que permiten generar el sistema de copias aleatorias y la Fig. 3 muestra los cambios en estos cursos en cuanto a la asistencia a clase comparada con la tendencia habitual en cursos precedentes³.

Este resultado y la nueva actitud en clase de los asistentes, mucho más participativa, ya implica efectos posteriores como los que recoge la Fig. 4 en la que se presentan los resultados de las entregas correspondientes al primer cuatrimestre del curso 2005-06.

Un análisis detallado de estos resultados se recoge en la memoria. Aquí, señalaremos:

- a) Esta curva se corresponde con los resultados del año precedente 04-05, confirmándolos.

² Una investigación en Enseñanza Básica muestra que el uso de materiales interactivos informatizados mejora el aprendizaje de las matemáticas en un 25%. El resultado es una medida del efecto del entorno de aprendizaje y refleja una situación comparable a la recogida en nuestra experiencia.

³ En las recientes Jornadas sobre Innovación en Enseñanzas Técnicas, organizadas por el ICE, pudo constatar que esta situación de asistencia decreciente estaba presente en muy diversas enseñanzas.

- b) Las evaluaciones llevadas a cabo suponen en torno a 800 preguntas en las que hay que manejar los conceptos fundamentales de la asignatura. Se consigue así mucha más información de los conocimientos adquiridos por el estudiantado que en un único examen final.
- c) Los resultados, al comparar asistencia a exámenes y porcentaje de éxito, suponen unas **cuatro veces más aptos** con una nota media que se coloca en el Notable frente al “rapado” 5 de la estadística de años precedentes pese a la innovación en los entornos de enseñanza y aprendizaje ya comentada, confirmando las investigaciones realizadas sobre la importancia del trabajo continuo y su influencia en el aprendizaje.

Hay que señalar que en los dos cursos en los que se ha completado la experiencia el número final de aprobados ha superado el 95% de los presentados que eran un 80% del total.



Fig. 3 Asistencia a clase según estrategia



Fig. 4 Nueva distribución en los resultados

- d) En cuanto a la calidad del aprendizaje: El trabajo continuado produce un aprendizaje significativo mucho más eficaz y perdurable que el esfuerzo memorístico habitual centrado en los contenidos probables de examen.

Sobre posible ampliación de la experiencia

Dentro del programa de innovación que, en el marco de Bolonia, ha puesto en marcha la Universidad, se ha apoyado un proyecto de extensión de la experiencia y de la aplicación desarrollada para su uso en otras asignaturas (Matemáticas, Química, Física, Electrónica, Estadística...), equivalente al desarrollado en las asignaturas actuales. Esta opción se pondrá a disposición del profesorado interesado al que invitamos a coordinarse para ello con el grupo de didáctica en Ingeniería Térmica.

Conclusiones

La metodología puesta a punto muestra un conjunto de beneficios innegables:

- Se desarrolla la práctica de actitudes y modos de trabajo más apropiados a un proceso de aprendizaje significativo.
- Distribución del esfuerzo del estudiantado en una organización más lógica.
- Trabajo continuado que permite un aprendizaje significativo basado en la estructuración de los conceptos (mejora de las estrategias de aprendizaje).
- Evaluación exenta del *oportunismo/mala suerte* de un solo examen. Con un sistema de trabajos continuados se procede a una evaluación sumativa y formativa. Unos 70 a 90 problemas con más de 800 preguntas configuran mayor certidumbre frente a las evaluaciones convencionales mucho más limitadas. Esta información se completa con otras actividades menos frecuentes (prácticas) y uno o dos exámenes.
- Proceso aleatorio e individualizado que frena la copia. La estimación es que el nivel de copia es inferior al que se da en los exámenes convencionales y desde luego en cualesquiera otros trabajos prácticos encargados.
- Asistencia a clase mucho más numerosa, continuada y útil frente a las clases magistrales convencionales que sólo proporcionan, en la mayor parte de los casos, material para su posterior estudio cara al examen.
- Resultados en concordancia con todos los extremos anteriores.

MEMORIA

Puntos fuertes de la iniciativa

Nuestra experiencia es el producto final, depurado, del conjunto de actuaciones innovadoras en didáctica que hemos ido poniendo a punto desde hace años.

Estas actuaciones, a la luz de los criterios que se establecen en la convocatoria, llevan a las consideraciones siguientes:

1. ***Adecuación y relevancia de la experiencia presentada en el marco de los objetivos de la convergencia al EEES, en particular, en lo referente a la coordinación de asignaturas y su diseño curricular, la implantación de metodologías docentes activas y de colaboración, y el diseño de nuevos sistemas de evaluación.***

Diversas herramientas específicas informatizadas con las aplicaciones puestas a punto por nuestro grupo en Zaragoza han propiciado colaboraciones en la concepción de cursos, materiales para los mismos, y su organización como resultado de nuestra experiencia innovadora, en particular el GESTOR.

Es el caso del proyecto RES & EM Tools, del programa Leonardo, coordinado por la Universidad de Transilvania en Brasov, con una duración de tres años. Asimismo, el uso de materiales en el entorno de enseñanza denominado Unimedia, se ha puesto en práctica, también durante tres años, en seminarios organizados en Patra, Grecia, por la Escuela Técnica de Ingeniería de Patra, dentro del programa SOCRATES. Estos seminarios se ampliarán una vez aprobada una solicitud sometida este año a dicho programa. Asimismo, un conjunto de universidades europeas coordinadas por Patra participa en un proyecto para pilotaje de una serie de E-Tools entre las que se encuentra el material, GESTOR, puesto a punto durante el recorrido de innovación que recogemos más adelante.

2. ***Participación efectiva de los candidatos, así como los proyectos y experiencias presentados al Premio, en redes europeas donde la convergencia europea sea objetivo principal.***

La filosofía de entornos creada en la experiencia se está aplicando a la elaboración de los materiales de dos módulos del Master Europeo de Energías Renovables, a los que se incorporan los análisis sobre las estrategias de aprendizaje. Estos módulos, que se han venido impartiendo en los años precedentes, se distribuirán ahora organizados en nuestro entorno de enseñanza GESTOR, utilizado también en los proyectos señalados antes. Su especial configuración lo hace idóneo para enseñanzas on-line a las que también se extenderá en este curso.

3. ***Originalidad y novedad de las técnicas y metodologías empleadas.***

Al final de la memoria se incluye una bibliografía específica de los autores. En ella se evidencia su participación en numerosas iniciativas con carácter innovador en el ámbito europeo e internacional, en general, con la presentación de diferentes publicaciones. Además, como actuaciones derivadas del planteamiento general que han venido manteniendo, han organizado diferentes seminarios y conferencias centrados en la innovación o con actividades específicas en esta dirección:

- Presidencia de la conferencia internacional EOS 92 en Zaragoza, sobre optimización de sistemas. Uno de nosotros (JAT) fue el Director del Comité Organizador de la Conferencia. En esta conferencia coordinó y presidió una mesa redonda sobre la didáctica en termodinámica que congregó a los autores de los textos más utilizados a nivel mundial en dicha materia.
- En 1985 JAT puso en marcha un grupo de trabajo interdisciplinar, grupo EQUIDAD (Equipo Interdisciplinar para el Desarrollo de Aplicaciones Didácticas) que pretendía incorporar el potencial informático a la metodología didáctica. De este grupo surgieron materiales y propuestas pioneros en el ámbito universitario español y dieron pie a los primeros análisis de nuestra metodología.
- En 1987 CV preparó el primer laboratorio virtual de la UZ. Con él, con recursos económicos escasos, se pudo vertebrar un plan de prácticas virtuales en paralelo a otras convencionales. La experiencia fue aceptada a publicación en el congreso internacional (Velasco, 2002) de más difusión en la especialidad.
- La experiencia de estas prácticas permitió desarrollar un convenio con Endesa que financió la preparación de materiales multimedia pioneros en su momento y de alta calidad⁴ que in-

⁴ Entre otros, una visita virtual a la central que se sigue utilizando doce años después para explicar cómo es a los visitantes.

corporamos a la docencia de nuestras materias como recursos de nuestro entorno de enseñanza.

- Los primeros materiales virtuales creados en la UZ para su empleo en salas informáticas de departamentos y centros lo fueron dentro del Servicio Multimedia de la UZ, puesto en marcha por JAT por encargo del rectorado en 1995. Este servicio evolucionó al actual de apoyo a la docencia responsable entre otras actividades del Anillo Docente.
- Organización del 1º Congreso Unimac en Zaragoza, en 1996 y participación en los Comités organizadores de los realizados en años sucesivos. El objetivo de estos congresos era el intercambio de experiencias innovadoras en didáctica universitaria.
- Organización, en 1997, por encargo del equipo de gobierno de la UZ, de unas jornadas sobre **Innovación en Didáctica Universitaria y Creación de Materiales Multimedia** que congregó a representantes de las universidades españolas que estaban desarrollando las experiencias pioneras en la producción de materiales didácticos. En ella la participación de la UZ incluyó alguna de las iniciativas que hoy configuran el contexto docente de la experiencia presentada.
- Presentación de la tesis doctoral **Informatización de una asignatura: Desarrollo de entorno GAME/GESTOR** por CV. Esta tesis recoge las experiencias y materiales que configuran los entornos de enseñanza-aprendizaje utilizados en nuestra experiencia. En ella se apunta un primer indicio de que la clave para un cambio profundo en resultados está en una acción sobre la estrategia de aprendizaje de nuestros alumnos. Este cambio profundo es el núcleo de la experiencia innovadora que presentamos.
- Finalmente, en Febrero del 2005, organización en Zaragoza de un Workshop sobre Contenidos y Metodologías Didácticas en el Área de Máquinas y Motores Térmicos. Una de las sesiones clave se centró en **Experiencias docentes innovadoras: cómo aprovecharlas**. En ella se presentaron tres ponencias, siendo una de ellas la primera descripción de la metodología actual.

La pertinencia de estas jornadas en el marco de esta convocatoria queda aun más patente si se considera que la sesión inaugural recogió una conferencia sobre **El Espacio Europeo de Educación Superior** impartida por el rector de la UZ mientras que la sesión de clausura, impartida por el Director de la Aneca, tuvo como tema **La innovación didáctica en la evaluación del profesorado**.

4. Consecuencias derivadas de la experiencia presentada en cuanto a la mejora real y efectiva del sistema de aprendizaje y el rendimiento académico de los estudiantes.

Consideramos que este es el elemento más importante de nuestra experiencia. El año pasado se aplicó en dos asignaturas de dos estudios diferentes de ingeniería y los datos del curso presente confirman los datos previos. Según estos, la asistencia a clase y el número de estudiantes con éxito en la primera convocatoria han crecido de manera más que significativa (véase la sección Resultados y Conclusiones). Como dato relevante: el número de aptos se ha multiplicado por seis, alcanzando niveles superiores al 95% y la nota media ha pasado de 5 a 7 en números redondos.

5. Aplicabilidad de la experiencia y metodología docentes a otras materias, disciplinas y titulaciones.

Los recursos existentes hoy en la red permiten configurar entornos de enseñanza-aprendizaje similares a los creados en nuestro caso. En cuanto a la estrategia de aprendizaje, la metodología establecida es de fácil extensión a numerosas asignaturas de cursos básicos de ingeniería, espacio natural donde es más necesario el cambio de la estrategia imperante.

6. Calidad y eficacia contrastadas de las técnicas utilizadas.

Los materiales creados para permitir el modelo de evaluación continua que se detalla más adelante han alcanzado un nivel de calidad equivalente al de una aplicación comercial experimentada. El riesgo de error es prácticamente nulo y la programación incluye una serie de procedimientos que facilitan el chequeo y análisis tanto para realimentar el proceso docente como para neutralizar cualquier actitud poco ética en relación con la copia.

Antecedentes

La experiencia que se presenta es el colofón de más de quince años de búsqueda sobre como innovar "con razonable éxito" en nuestras asignaturas de Ingeniería térmica, Termodinámica y Termodinámica Técnica. Como señalaremos más adelante, creemos haber conseguido ¡finalmente! una metodología en la que los resultados se corresponden con los esfuerzos para su puesta en práctica. Y aún más que eso, pues nuestro planteamiento consigue no sólo un más alto nivel de conocimientos adquiridos sino, además, clases mucho más participativas que las habituales que impartíamos antes, clases aquéllas que los estudiantes más severos calificarían de "tochos" y en las que los estudiantes se limitaban a asistir para acumular el material con que preparar los exámenes.

El diagnóstico de partida, aplicable a muchas asignaturas de ingeniería como ha podido constatarse en las recientes jornadas sobre Innovación en Ingeniería organizadas por el ICE, puede resumirse en:

- Clases con nulos participación y aprovechamiento, que provocaban un declive progresivo de la asistencia (Fig. 5) frente a la situación actual (Fig. 19).
- Modelo de aprendizaje centrado en la preparación intensiva de los exámenes (Fig. 6). Estos eran, fundamentalmente, una "oportunidad" para aprobar y como consecuencia el número de convocatorias por estudiante era un valor entre 2 y 3, siendo la media en los exámenes inferior a cuatro puntos.
- Aprendizaje memorístico de gran eficacia a corto plazo pero con nulos efectos, enfocado directamente al examen. La Fig. 7 muestra el por qué el modelo de aprendizaje memorístico se refuerza con la propia experiencia de cada estudiante. Novak (1998) analiza cómo el aprendizaje memorístico es efectivo a muy corto plazo: mucho contenido por muy poco tiempo. El resultado es que el estudiantado prepara los exámenes de muchas asignaturas propedéuticas basándose en analogías y no en un aprendizaje significativo: a corto plazo le es rentable aunque pasados unos meses apenas recuerde nada de lo estudiado, consolidando su debilidad cara al futuro aprendizaje que deberá apoyarse en estas enseñanzas básicas.

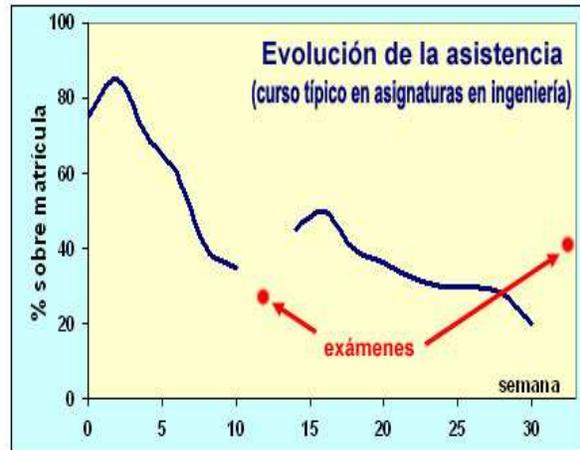


Fig. 5 Evolución de la asistencia a clase, antes de la experiencia presentada



Fig. 6 Modelo de aprendizaje centrado en el examen



Fig. 7 Rendimiento de distintos modelos de aprendizaje, según Novak (1998)

Este diagnóstico, como se ha señalado antes, encaja en muchas asignaturas de primer y segundo curso de las distintas ingenierías. Estas asignaturas, Matemáticas, Física, Química, Termodinámica, Estadística..., son la base del conocimiento tecnológico que deben adquirir I@s estudiantes de Ingeniería a lo largo de sus estudios y que suelen registrar índices más elevados de fracaso.

Cómo es lógico no todos los estudiantes encajan en este modelo de aprendizaje. Si analizamos una curva típica de resultados construida a partir de la gaussiana que se ajusta a los valores discretos (Fig. 8) podemos clasificar dos poblaciones en los extremos: la población A configura el porcentaje que por suma de factores negativos, en especial la mala formación previa, es muy difícilmente recuperable. La población B refleja la situación contraria: aquellos estudiantes que, en palabras del premio Nobel Feynmann al comentar (Feynmann, 1975) una experiencia docente de varios años, son capaces de aprender por sí mismos sin necesidad de profesorado de apoyo.

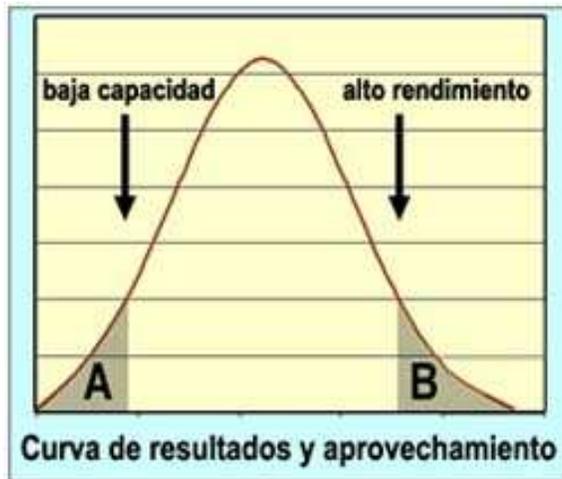


Fig. 8 Distribución de aptitudes en el estudiante

Sin embargo, la mayor parte del total (en torno al 75%) puede beneficiarse, como muestran los resultados actuales, de una actuación didáctica más apropiada que la que veníamos ejerciendo en los años 80.

Lamentablemente, la didáctica no forma parte habitual de los requerimientos del profesorado universitario: si sabe... sabrá enseñarlo. Y nada más lejos de la realidad.

Así, sin bagaje previo consistente, y con una visión muy parcial y desconectada en sus distintas componentes, iniciamos un recorrido de innovación y cambio metodológico en los finales 80 y primeros 90, cuando los ordenadores personales comenzaron a ofrecer posibilidades nuevas para una nueva didáctica apoyada en las herramientas informáticas.

Nuestro primer objetivo, tras experimentar la utilidad del laboratorio virtual (Velasco y otros, 1992), fue mejorar el entorno de enseñanza. Primero las tabletas gráficas y luego los proyectores o cañones de vídeo permitían incorporar gráficos, imágenes y animaciones a unas clases magistrales que, gracias a todo ello, adquirirían un tono más creativo, más realista y hacían más fácil la aproximación del estudiantado a un mundo más amplio que el de los teoremas, demostraciones y conceptos presentados siguiendo la vía inductiva, falseada por la escasa receptividad del auditorio, cuando no la deductiva, en general más árida aunque de mejor lucimiento para el magister.

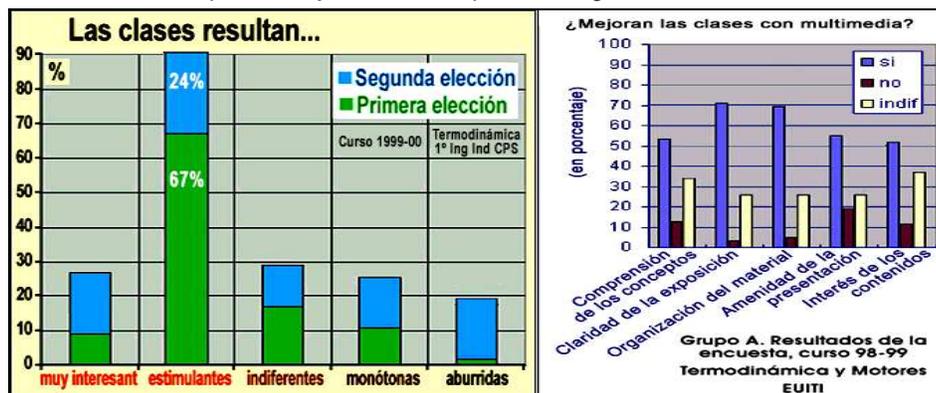


Fig. 9 Algunos de los resultados que muestran la opinión de los estudiantes sobre el entorno de enseñanza base de la experiencia (Velasco, 2001).

A lo largo de varios años completamos un amplio conjunto de materiales multimedia (Turégano y otros, 1995; Velasco y otros, 1995) que, a juicio de los estudiantes (Fig. 9), eran de gran calidad y atractivo (Velasco, 2001; Turégano y otros, 2001a) y les ayudaban a seguir y entender las clases.

Completamos estos materiales con lo que hemos denominado "herramienta transversal de curso" (Velasco, 2001) para designar una utilidad informática que se acomoda a nuestras asignaturas permitiéndonos ensayar y mostrar la aplicación de los conceptos en una interfaz gráfica sumamente práctica. Esta herramienta, Termograf (Turégano y otros, 2001b), juega en nuestras asignaturas el papel que pueden jugar aplicaciones como SPICE en Electrónica, SPSS en Estadística, Matemática en Álgebra o Cálculo o MathLab en muchas otras.

Como ejemplos, la Fig. 10 corresponde a una pantalla multimedia construida con Termograf® y la Fig. 11 a otra de material multimedia con Director®.

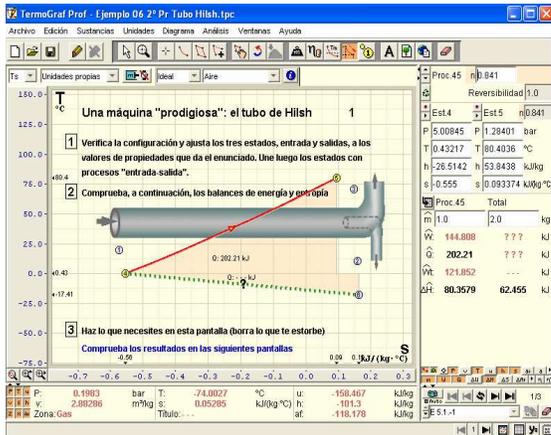


Fig. 10 La herramienta Termograf®

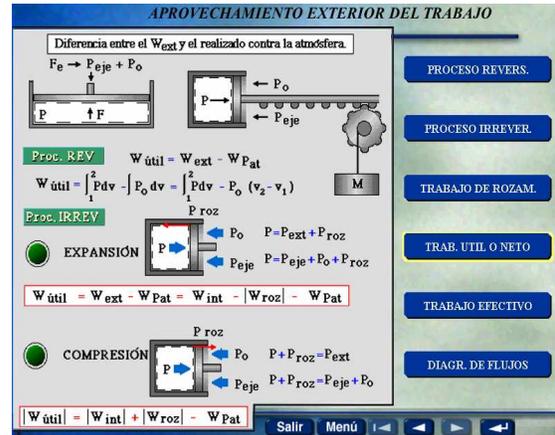


Fig. 11 Una aplicación multimedia con Director®

Pese a que las encuestas sobre las características de los materiales utilizados reflejaban un elevado grado de satisfacción (Velasco, 2001) y que las encuestas oficiales habían variado al alza respecto del periodo anterior, los resultados mejoraban muy por debajo del esfuerzo realizado, que supuso invertir numerosas horas para la preparación de los materiales de cada hora de clase. Estas clases, clases Unimedia (Fig. 12), (Velasco y otros, 1998), suponian la utilización de programas informáticos complementarios que permitían, avanzados los 90, combinar materiales en la clase de forma que los programas actuales todavía hacen con limitaciones.

Sin embargo, los resultados mostraban lo que la psicología del aprendizaje enseña: que el aprendizaje significativo precisa una implicación directa del aprendiz que va más allá de lo que el entorno de enseñanza le ofrece. Lo más importante es, pues, el entorno de aprendizaje.

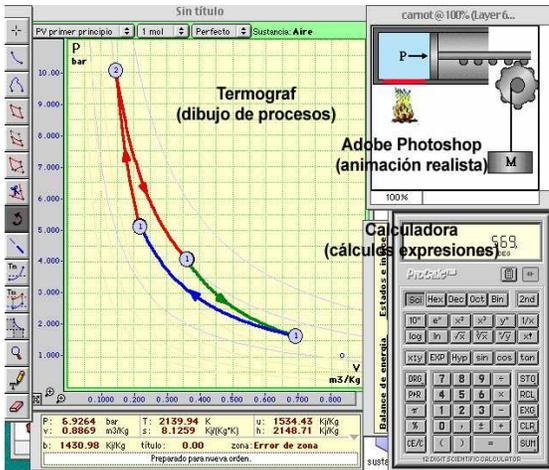


Fig. 12 Ejemplo de clase Unimedia con TermoGraff, una animación y una calculadora

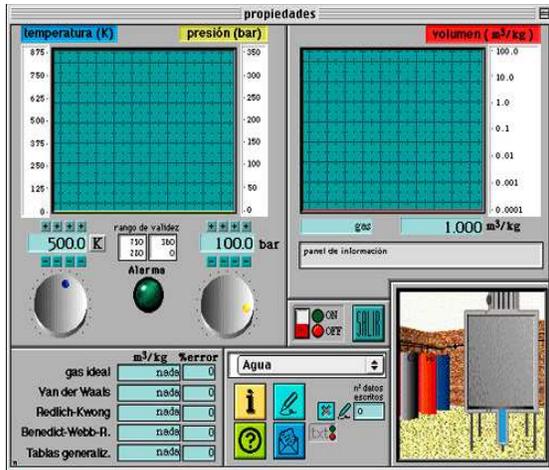


Fig. 13 Aplicación transformada en ejecutable (.exe) para facilitar su uso al estudiantado

Con este objetivo iniciamos una nueva fase de nuestra experiencia: la transformación de los materiales (Velasco y otros, 1998), en particular de Termograf, que debían pasar a ser útiles de trabajo para I@s estudiantes no sólo en las salas de prácticas sino para su uso continuado a lo largo del curso. Se procedió a una reprogramación de los materiales cambiando diseños para dotarlos de máxima interactividad e, incluso, rehaciéndolos en cuanto al lenguaje, transformándolos en ejecutables (Fig.13) y adaptándolos a diversos sistemas operativos (inicialmente Macintosh y Windows).

Tras una nueva fase en la que todos los materiales del entorno de enseñanza eran utilizables por los estudiantes en su entorno de aprendizaje, se constató que el efecto en los resultados era apenas apreciable (Fig. 15).

La conclusión era lógica: la posibilidad de que los estudiantes utilicen estos mismos materiales multimedia no supone un estímulo suficiente para aumentar y optimizar el esfuerzo del estudiantado, sino sólo una cierta mejora de los recursos para propiciar el aprendizaje significativo. Es decir, disponer de estos materiales facilita la comprensión de la asignatura pero no es motivación suficiente para que el estudiante cambie su método de aprendizaje.

Según vimos anteriormente, el estudio sobre las estrategias de aprendizaje (Velasco, 2001) confirmó que si no se modificaba el ritmo habitual de trabajo (Fig. 6) no se modificarían los resultados ni se mejoraría la calidad del aprendizaje (Fig. 7).

Como conclusiones importantes⁵ (CRE, 1996; CRUE, 1998) de este periodo que ha supuesto una importante progresión en materiales y técnicas didácticas a lo largo de más de una década:

- Mejorar el entorno de enseñanza incorporando materiales y técnicas que utilicen los nuevos recursos de IC (información y comunicación) es importante pero, *por si solo*, no modifica apenas el nivel de aprendizaje.
- Mejorar el entorno de aprendizaje, proporcionando materiales ajustados a los utilizados en el aula por el profesorado, es un paso con mayores efectos pero sigue siendo escasamente significativo en cuanto a los resultados del proceso de aprendizaje.
- El paso realmente significativo, que mejora los resultados, como se verá más adelante, y la permanencia del aprendizaje realizado, pasa por modificar la estrategia de aprendizaje de forma que se abandone el modo de trabajo basado en el esfuerzo memorístico y se sustituya por un aprendizaje significativo basado en la estructuración progresiva de los conceptos.

Sin embargo, los dos primeros elementos, entornos de enseñanza y de aprendizaje, deben haber evolucionado significativamente antes de poner en marcha las iniciativas para cambiar el modelo de aprendizaje. En nuestra experiencia, la fig. 14 muestra la propuesta y enfoques dados a esta evolución.

Lo anterior indica que ambos entornos deben incorporar, como veremos en lo que sigue, herramientas de productividad que optimicen el esfuerzo tanto de estudiantes como de profesores.

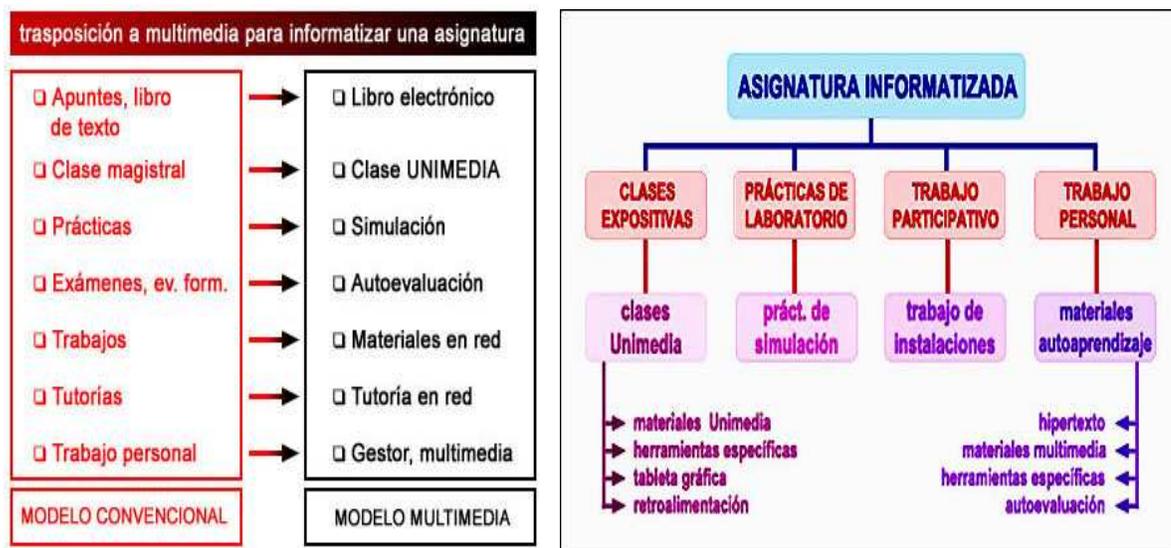


Fig. 14 Entorno enseñanza-aprendizaje soporte del enfoque actual

Estas herramientas tienen que incorporar técnicas de evaluación que permitan la evaluación continua con carácter sumativo y formativo de modo que no se incrementen excesivamente los tiempos dedicados a ella ni por el profesorado ni por el estudiantado.

⁵ Permítasenos insistir en la importancia de estas conclusiones que pueden evitar direcciones equivocadas. Recomendaba la Conferencia de Rectores Europeos en 1996: debe evitarse que, en el proceso de incorporar la informática a la didáctica, equipos y departamentos reinventen la rueda ignorando experiencias y desarrollos previos.

La alternativa: La experiencia actual

En Julio de 2002 presentamos un artículo en el Congreso Internacional sobre Docencia Universitaria e Innovación, celebrado en Tarragona (Turégano y otros, 2002a), en el que, en un ambiente eufórico que mostraba numerosas iniciativas en la creación de materiales pero prácticamente ninguna visión de resultados, incidimos en lo que tras varios años de experiencia podíamos concluir: la escasa mejora en los resultados (fig. 15) y la necesidad de explorar nuevas orientaciones basadas no en los materiales sino en las estrategias.

El análisis de las condiciones/dificultades a resolver para modificar nuestro modelo previo y desarrollar una nueva estrategia didáctica, serían, básicamente:

1. Propuesta de un trabajo bien dosificado y racional en cuanto al esfuerzo demandado y los contenidos establecidos para cada evaluación (*inviabile si el estudiantado no dispone de herramientas de alta productividad que optimicen el esfuerzo en el tiempo razonable exigible*)
2. Dedicación de parte de los créditos a realimentar el proceso de aprendizaje con refuerzo de los aspectos menos afianzados (*y ello sin reducir significativamente los contenidos, lo que supone apoyarse en el autoaprendizaje y tener un diseño de prácticas que rentabilice el tiempo dedicado a ellas por su adecuado encaje en la propuesta curricular. Esto no es posible muchas veces por los horarios de prácticas rígidos consecuencia de la limitación de recursos*)
3. La iniciativa debe estimular el trabajo colaborativo garantizando la autonomía individual para permitir una evaluación personalizada (*lo que implica que cada estudiante debe acceder a un encargo personalizado*)
4. Garantía de que la evaluación continua tiene carácter no sólo formativo sino sumativo (*por lo que debe cumplir requisitos de seguridad sobre el valor de la evaluación individual -seguridad frente a copia- y facilitar información suficiente al estudiantado sobre su aprendizaje que le permita corregir errores*)
5. Esfuerzo demandado al profesorado dentro de límites realistas (*si pensamos en un grupo de 80 estudiantes con 30 semanas de clase y queremos realizar unas 15 evaluaciones con contenidos equiparables a cualquier examen convencional nos encontramos con que en cada evaluación el profesor deberá corregir del orden de 300 a 500 problemas, problemas con una cierta diferenciación individual si atendemos a la 3ª condición*)

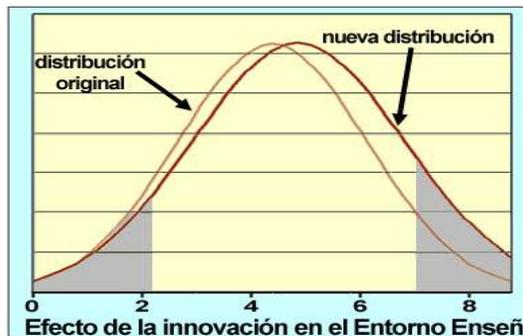


Fig. 15 Efecto en los resultados, de las mejoras llevadas a cabo en los entornos de enseñanza-aprendizaje

El trabajo de los quince años precedentes nos ha permitido disponer, para la experiencia que presentamos, de:

- a. Para la condición 1: Una herramienta cognitiva⁶ (Driscoll, 1994) transversal de curso de muy alta productividad, TermoGraf, con un fácil aprendizaje progresivo que permite su empleo desde el primer momento con modos de uso que realimentan la comprensión de los conceptos.
- b. Para la condición 2: Una organización de contenidos definida con el espíritu de los créditos ECTS pues estructura la información organizada en conceptos permitiendo que el material básico precise de un número bajo de créditos y se complete con el autoaprendizaje y con unas prácticas adaptadas a la progresión del curso (sin la rigidez de salas y horarios). El primer apoyo, el autoaprendizaje, es posible al contar con unos materiales multimedia de muy alto rendimiento con cuestiones de autoaprendizaje incorporadas en cada unidad temática. La flexibilidad de las prácticas se consigue mediante un plan de prácticas de simulación cuya adaptación al ritmo se puede hacer con muy poco esfuerzo.

⁶ Criterios básicos que debe cumplir toda herramienta cognitiva para ser considerada como tal:

- Nivel de complejidad suficiente para incorporar auténtica actividad.
- Yuxtaponer contenidos con acceso a distintos modos de representación.
- Estimular la percepción del propio pensamiento.
- Enfatizar el protagonismo del/la estudiante

Para las condiciones 3), 4) y 5) sólo se disponía de una serie de ideas realizables en el marco de la herramienta TermoGraf ya citada. Así, del análisis de todo lo anterior se han establecido **como condiciones de diseño del generador y del propio proceso:**

1. Como condición de partida: La participación es voluntaria, pero quien pretenda beneficiarse de la evaluación continuada debe cumplir con un alto porcentaje de las tareas encargadas y, en alguna de las asignaturas, por su problemática específica, debe cubrir una asistencia regular a clase.
2. Debe facilitarse el cumplimiento de cada encargo, dosificando las ayudas cuando sea conveniente.
3. Cada estudiante tiene que tener un encargo personalizado, de modo que sea posible el trabajo colaborativo pero imposible la simple copia del documento.
4. El esfuerzo total demandado debe poder fraccionarse de modo que en ocasiones limitadas un estudiante puede atenderlo de modo parcial.
5. El envío automatizado debe permitir reducir el tiempo entre asignación del encargo y resolución del mismo. Para poder adaptarse a otras exigencias del curso originadas por otras materias hay que introducir flexibilidad no en el plazo disponible sino en el momento de asumir el encargo.
6. Esta flexibilidad debe ser función de la capacidad de utilizar herramientas que faciliten el trabajo, en especial, las denominadas herramientas de asignatura (Velasco, 2001) y del dominio que I@s estudiantes hayan ido adquiriendo.
7. Todo el procedimiento, incluida la revisión, no debe generar una cantidad de trabajo que haga inviable para el profesor el proceso de generación de tareas y de revisión de las mismas.
8. La revisión debe permitir informar de los resultados obtenidos en un plazo reducido y nunca más allá del tiempo entre entregas de material (una o dos semanas).
9. Esta revisión debe facilitar la retroalimentación de aquellos conceptos no adquiridos por I@s estudiantes.

Así, con el objetivo de incidir en un porcentaje superior al que refleja dicha figura 15, el trabajo de los tres últimos cursos ha consistido en poner en práctica las conclusiones de la experiencia anterior: hemos incorporado la evaluación del trabajo continuo como modo de estimular éste y como complemento indispensable a un diseño adecuado del entorno de enseñanza-aprendizaje, completando el proceso con técnicas de examen que resulten adecuadas al proceso anterior.

Una parte importante del esfuerzo de este periodo deriva de una evidencia (Turégano y otros, 2002b): no debemos olvidar que los mecanismos de evaluación continua, cuando el número de alumnos oscila entre uno y dos centenares, resultan prácticamente imposibles de atender con un tiempo razonable. De ahí que, como solución, hayamos planteado un sistema de ejercicios basado en una distribución aleatoria a través del servidor en red habilitado al efecto, de manera que el estudiante abre, de modo exclusivo, su material de trabajo quedando imposibilitada la copia.

El problema se plantea a la hora de garantizar que el trabajo entregado por el estudiante es el resultado de un esfuerzo personal y no de una mera copia. En experiencias previas, con prácticas, o informes solicitados sobre determinados contenidos se ha llegado a comprobar, en un caso extremo, que de un total de varias decenas de supuestos originales, todos derivaban de sólo tres realmente originales. En otros casos la proporción no ha sido tan negativa pero siempre se comprueba que, en general, cada original real ha sido fuente de una o más copias, invalidando el objetivo perseguido.

Los diferentes análisis realizados llevan a señalar como fuentes de esta situación:

- La propia dificultad para cada "autor" de responder, en un contexto de profunda desconexión con el ritmo diario de la materia presentada.
- La ausencia de un carácter progresivo en el esfuerzo exigido: la tarea es frustrante por excesiva o inasequible dado el nivel de casi nula vinculación a la marcha del programa.
- El excesivo margen de tiempo entre el encargo dado y el momento de recepción. Esto, que buscaba facilitar el esfuerzo se traducía en un factor negativo, pues el estudiante laxo retrasaba el realizar la tarea hasta un momento en el que escasamente recordaba los conceptos y sólo la copia le permitía atender los plazos.
- La facilidad del sistema **copia-pegar** que permiten las aplicaciones informáticas.

La experiencia obtenida en algunas prácticas en las que el guión se ha confeccionado de modo que el estudiante debe entregarlo al final de la sesión, ha permitido comprobar una mayor motivación para realizar personalmente la tarea frente a la opción propuesta que daba lugar a la copia generalizada.

La atención a estas condiciones de diseño y solución de la problemática planteada se ha logrado con un recurso que denominamos Multiejercicio mediante la organización de un sistema de recepción personalizada de cada tarea, descargando la misma a través de la red. De esta forma se asignan una serie de enunciados con variantes que diferencian cada opción de cualquier otra que pueda recibir otro estudiante, dentro de un margen razonable de aleatoriedad.

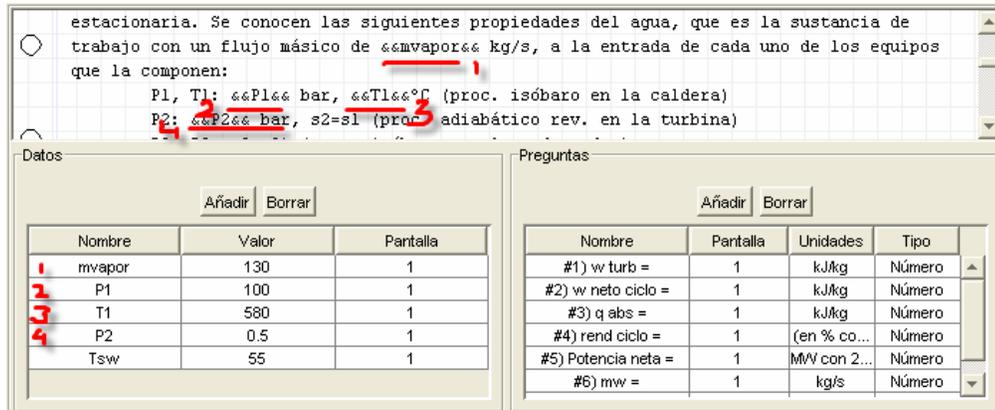


Fig. 16 Pantallas de creación de datos y preguntas para la aleatoriedad y posterior corrección automatizada

De esta forma, el estudiante accede al Multiejercicio mediante una clave personal que, combinada con la clave derivada del material objeto de descarga, asigna, al azar una de las posibles configuraciones construidas al efecto. Además, la misma clave personal dará lugar, para otro material incluido en la misma o distinta entrega, una elección diferente por el procedimiento establecido. Esto garantiza la práctica imposibilidad de que dos estudiantes A y B que reciban una misma versión, lo que puede pasar por estadística, vuelvan a tener versiones coincidentes en una nueva entrega. Esta dificultad es la garantía que elimina el peligro del **corta y pega** frecuente en otros trabajos con entrega vía red.

Hasta ahora, se ha utilizado el procedimiento para prácticas de simulación y entregas de series de 6 a 8 problemas totalmente convencionales. Estos problemas se construyen con un número de preguntas superior a las habituales de modo que el proceso de resolución conlleva la práctica de una metodología-algoritmo de análisis, primer carácter formativo, en importancia, del procedimiento.

| Paso 3: Dar valor a datos y resultados | | | | | | | | | | | | | | Anterior | Guardar |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|-------|----------|---------|
| Datos | Ej.1 | Ej.2 | Ej.3 | Ej.4 | Ej.5 | Ej.6 | Ej.7 | Ej.8 | Ej.9 | Ej.10 | Ej.11 | Ej.12 | Er... | | |
| P1 MPa | 0.1 | 0.12 | 0.11 | 0.13 | 0.095 | 0.115 | 0.125 | 0.135 | 0.105 | 0.15 | 0.145 | 0.127 | 0 | | |
| T1 °C | 15 | 25 | 30 | 12 | 32 | 36 | 18 | 22 | 40 | 38 | 10 | 33 | 0 | | |
| V1 m3 | 2.1 | 2.5 | 2.25 | 2.4 | 2.2 | 2.65 | 3 | 3.5 | 2.6 | 3.75 | 4 | 3.15 | 0 | | |
| P2 bar | 4.2 | 5 | 4.5 | 4.8 | 4.4 | 5.3 | 6 | 7 | 5.2 | 7.5 | 8 | 6.3 | 0 | | |
| cPORe | V/V1 | V/V1 | V/V1 | V/V1 | V/V1 | V/V1 | P1-v... | P1-v... | P1-v... | P1... | P1... | P1... | 0 | | |
| ePORc | P1-v... | P1-v... | P1-v... | P1-v... | P1-v... | P1-v... | V/V1 | V/V1 | V/V1 | V/V1 | V/V1 | V/V1 | 0 | | |
| #1) masa en 1 = | 2.53... | 3.50... | 2.84... | 3.81... | 2.38... | 3.43... | 4.48... | 5.57... | 3.03... | 6.2... | 7.1... | 4.5... | 0.6 | | |
| #2) ¿Inf. n° foc... | Si | Si | Si | Si | 0.0 | | |
| #3) s2-s1 = | 1.11... | 1.11... | 1.10... | 1.00... | 1.21... | 1.21... | 1.23... | 1.31... | 1.28... | 1.2... | 1.3... | 1.2... | 0.6 | | |
| #4) S flujo de ... | 1.04... | 1.43... | 1.15... | 1.42... | 1.04... | 1.50... | 2.02... | 2.63... | 1.39... | 2.9... | 3.4... | 2.0... | 0.6 | | |
| #5) S3-S2 = | 1.04... | 1.43... | 1.15... | 1.42... | 1.04... | 1.50... | 2.02... | 2.63... | 1.39... | 2.9... | 3.4... | 2.0... | 12... | | |
| #6) Rend ciclo = | 18.9... | 18.7... | 18.5... | 17.515 | 19.8... | 19.7... | 20.3... | 21.1... | 20.5... | 20... | 21... | 20... | 0.6 | | |
| #7) Rend Carn... | 76.1... | 76 | 75.5... | 72.9... | 78.4... | 78.3... | 79.1... | 80.7... | 79.8... | 80 | 81... | 79... | 0.6 | | |
| #8) S generad... | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.6 | | |
| #9) ¿Opción? | c | c | c | c | c | c | c | c | c | c | c | c | 0.3 | | |
| #10) ¿Expresi... | c | c | c | c | c | c | e | e | e | e | e | e | 0.3 | | |

Fig. 17 Pantalla de creación de variantes

La fig. 16 muestra la creación de datos y preguntas que tendrán, posteriormente, carácter aleatorio. El programa permite crear estas condiciones de forma muy simple a partir de un enunciado previo o en un enunciado creado al efecto. La fig. 17 recoge la pantalla en que se han creado las variantes para el "sorteo" que se produce al descargar cada estudiante su versión.

Habitualmente se construyen 12 y, en exámenes o grupos numerosos, se crean dos conjuntos independientes con 8 variantes cada una. Se trata de reducir el número de coincidencias dentro del grupo. Por simple estadística las reiteraciones vienen a ser del orden de 6 por Multiejercicio aunque la distribución al azar origina que algunas variantes al azar aparezcan más (unas 10 veces).

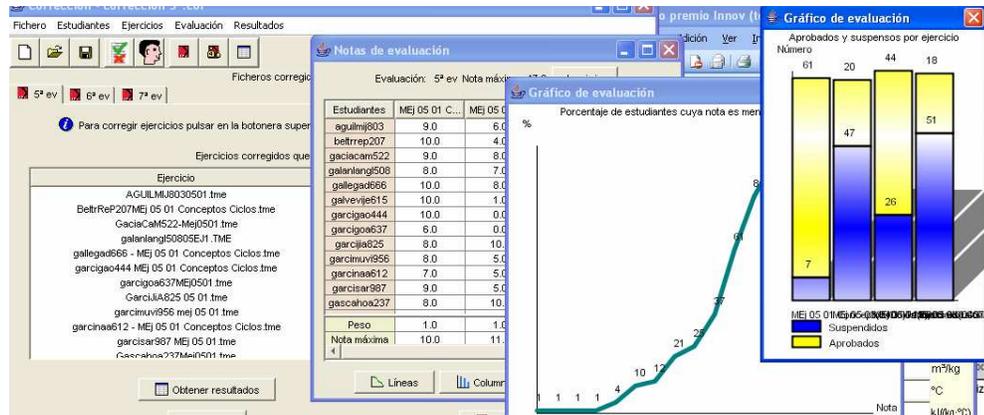


Fig. 18 Diferentes etapas del proceso automatizado de corrección

Una vez entregados los multiejercicios de una serie, su corrección se realiza de forma automática en unos minutos. La aplicación informática permite hacer un análisis estadístico de aciertos, fallos, distribución de notas en cada ejercicio y cada pregunta, al objeto de identificar los fallos conceptuales que precisan de mayor insistencia y realimentar así el proceso docente. La fig. 18 recoge una combinación de algunas de las pantallas correspondientes al proceso de corrección.

Resultados

Toda experiencia que pretenda mejorar la docencia deberá fijar entre sus objetivos básicos incrementar el nivel de aprendizaje y, consecuentemente, mejorar los resultados. Ya se ha señalado que esta mejora se puede calificar como insuficiente si no modifica el modelo de aprendizaje. Como se ha indicado más arriba: mejorar los entornos de enseñanza y aprendizaje no han supuesto modificar este modelo.

Sin embargo no debe malinterpretarse lo anterior. Una de las conclusiones expuestas en la tesis doctoral citada antes (Velasco, 2001) señala:

El uso de las TIC aplicadas a la docencia, no sólo producen una mejora en términos de gestión y presentación de la información, sino que, incorporadas como instrumentos didácticos a los procesos educativos, hacen más eficiente el proceso de enseñanza-aprendizaje creando entornos que promueven la renovación pedagógica y el aprendizaje significativo.

Dicho de otro modo: cualquier experiencia innovadora que pretenda un cambio profundo apoyado en las TIC debe empezar por una renovación profunda de la metodología didáctica previa, mediante algo mucho más profundo que una simple adaptación.

Ahora añadimos: Nuestra experiencia muestra que esto, con todo, no produce modificaciones significativas en el modelo de aprendizaje. Debe actuarse de manera significativa sobre éste si queremos resultados con mejoras realmente significativas.

Si la experiencia incide en la mayor eficacia del aprendizaje memorístico, los resultados mejorarán sin duda (fig. 7). Podría ser el caso de una experiencia que incidiera en una mayor concreción de objetivos a evaluar y un procedimiento de examen que centrara y redujera el conjunto de conceptos a revisar. La mejora en resultados no se traduciría, en este caso, en una mayor comprensión y una mayor retención de lo aprendido.

Nuestro objetivo es, frente a lo anterior y con la convicción que surge de las experiencias precedentes, mejorar el aprendizaje significativo y, consecuentemente, los resultados que en años anteriores suponen un alto índice de fracaso (aprueban en torno al 40-50% **de los presentados**, que son un porcentaje inferior al 50% de los matriculados). En nuestra experiencia podremos verificar la mejora o no de muchos aspectos pero esta comprobación no es posible por el momento trasladarla a la comprobación de que el aprendizaje está más consolidado. Necesitamos para ello comparar si, pasados varios años, hay diferencia significativa entre un grupo de estudiantes que haya seguido la experiencia y otro, patrón, que haya seguido el sistema convencional. La dificultad es obvia.

Sin embargo, ya antes de entrar en los aspectos evaluables, hay elementos que pueden permitir valorar el cambio: el primero a considerar es el nivel de seguimiento de la clase (aumento y estabilidad de la presencia, aumento de la participación, aumento de las tutorías, distribución homogénea en el tiempo frente a concentración en las fechas inmediatas al examen, tipo y relevancia de las preguntas, nivel de comprensión de las aclaraciones...)

Todo lo anterior tiene una respuesta claramente positiva: se ha registrado en los dos cursos precedentes en que se ha seguido la experiencia en el CPS (uno en el la EUITI) una presencia que más que duplica la de etapas precedentes (fig. 19), se ha producido una mejora en el nivel de atención y seguimiento, comprobado por las preguntas que hacen los estudiantes en clase (antes ninguna) y por los que pueden responder a las preguntas del profesorado para comprobar el nivel de seguimiento y comprensión. Éstas ya no resultan (tan) incómodas como solía suceder. En cuanto a las tutorías, reflejan dos nuevas circunstancias: se diversifica la población (más gente), se amplía el periodo (limitado antes a unos días previos al examen) y aparece un efecto amplificador: la interacción colaborativa entre estudiantes. Así, entre clases se ha comprobado que discuten sobre aspectos de la asignatura, cosa que antes no sucedía pese a las notables mejoras introducidas en el entorno de enseñanza.

Esta mayor presencia, combinada con actitud

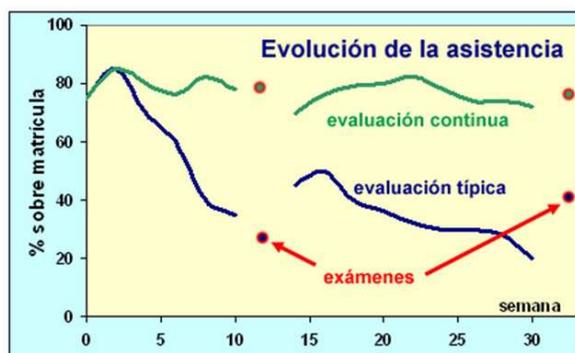


Fig. 19 Diferencias comprobadas en asistencia a clase

mucho más participativa en clase de los asistentes, ya implica efectos posteriores como los que recoge la fig. 20 en la que se presentan los resultados de las entregas correspondientes al primer cuatrimestre del curso 2005-06 comparándolas con las curvas presentadas en la fig. 15. Al respecto, varias consideraciones:

- Las curvas previas (periodo 88-94, sin cambios profundos en el entorno de enseñanza y periodo 94-03 en el que se introducían los sucesivos cambios comentados en ambos entornos: enseñanza y aprendizaje) corresponden a una situación con dos parciales y examen final en la que la materia aprobada permitía eliminar materia, es decir, facilitaba el aprobado. La nueva curva corresponde al promedio de cuatro evaluaciones que contabiliza todos los valores sin efecto de compensación.
- El nº de conceptos cuyo conocimiento se verificaba en los exámenes de la fase anterior era un % relativamente bajo respecto a todos los del curso. Como además, los exámenes buscaban comprobar el buen uso de los más importantes, se insistía en un conjunto de conceptos necesariamente bajo y que generaba técnicas negativas de preparación de los exámenes, sin duda impulsadas por la limitación en el tiempo de preparación. En estas cuatro entregas, por el contrario, se han realizado unas 280 preguntas (unas 10 por cada problema) que implican manejar muchos más conceptos (y de forma reiterada los más importantes) que los que se evaluaban en el pasado. Al final del curso las preguntas superarán las 800 y abarcarán reiteradamente todos los conceptos clave (más de 200) del curso.
- El nº de estudiantes evaluado antes representaba inferior al 50% de los matriculados. De éste número aprobaba en torno a un 40-50%. La situación actual es muy distinta: entregan materiales algo más del 80% de los matriculados y la curva de aprobados supera al 95%. Esto significa, al margen de los aspectos propios de la calidad del aprendizaje, un cambio que podemos calificar como impresionante: sobre 160 estudiantes, antes hubieran aprobado en torno a los 32 y con la nueva estrategia el número se eleva a más de 120, lo que supone casi sobre **cuatro veces más aptos**, con una distribución de notas centrada en el notable.

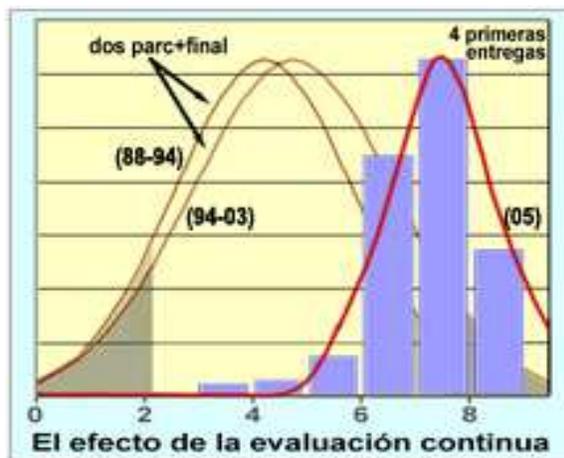


Fig. 20 Comparación de resultados con la aplicación continua y resultados de etapas previas

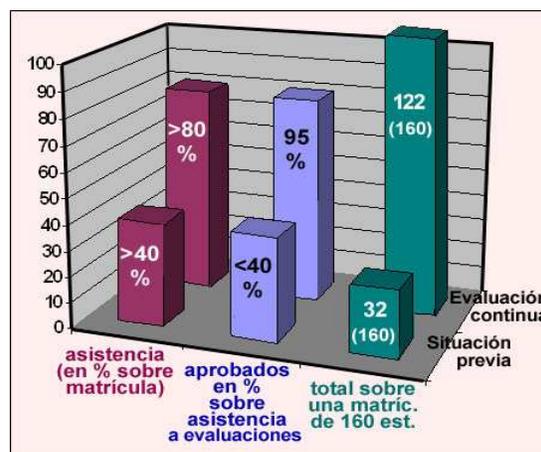


Fig. 21 Comparación de resultados en porcentaje y valores absolutos

- Finalmente, en cuanto a la calidad del aprendizaje: El profesorado debe optar por exámenes indiscriminados o, de acuerdo con que el hecho de que el examen constituye una parte más del aprendizaje, utilizarlo para insistir en los conceptos considerados como fundamentales. Esto conlleva un serio riesgo: la materia de estudio se centra, por parte de la mayoría de l@s estudiantes, en aquellos contenidos que se identifican como más probables de aparecer en el examen. Además, excluida esa minoría con propia metodología y muy buenas aptitudes y actitudes, el resto olvida lo aprendido en unos pocos meses.

Por el contrario, el trabajo continuado produce un aprendizaje significativo mucho más eficaz y perdurable. A diferencia de los otros muchos beneficios comprobados, no se ha podido constatar esta afirmación experimentalmente todavía por el escaso tiempo transcurrido con la experiencia, pero todos los indicios refuerzan la actual afirmación.

Hay que señalar que lo anterior corresponde a los dos cursos en que se ha completado la experiencia en primer curso en el CPS (cursos 03-04 y 04-05). La situación es diferente en la EUITI. La asignatura corresponde al 2º curso de la especialidad Mecánicos. En el curso 03-04 la experiencia, por cuestión de fiabilidad en la programación de revisión, sólo afectó a la segunda mitad del programa anual, a título de ensayo. No fue así en la asignatura de 1º en el CPS, ya que por corresponder al 2º semestre se utilizó el método desde el comienzo. En la experiencia en el CPS pueden contrastarse los resultados en el grupo objetivo de la experiencia con los de los demás grupos que serían el grupo patrón. Esto debe contemplarse con alguna prevención pues el profesorado es distinto en cada grupo y los entornos de enseñanza y aprendizaje son también diferentes.

En el curso 2004-05 la experiencia fue completa en los dos centros. Hubo una diferencia importante: en la EUITI se trabajó con dos grupos impartidos por la misma profesora: aquellos que deseaban participar en la evaluación continua y los que seguían con el modelo anterior, cuyos datos son la referencia correspondiente al grupo testigo o de control.

Con estas consideraciones, el resumen de los resultados numéricos, cuya presentación gráfica se hace en las fig. 20 y 21, se presenta en las Tablas 1 y 2.

| curso | % en total 1º | % grupos total Td | % anual en grupo exp. | % en 1ª conv en grupo experiencia |
|---------|---------------|-------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| 2001-02 | 37 | 38 | 44 | 34 |
| 2002-03 | 41 | 40 | 47 | 32 |
| 2003-04 | 41 | 44 | 98 | 96 |
| 2004-05 | 42 | 56 | 100 | 100 |

Tabla 1. Primer bloque: resultados globales. Segundo bloque: Resultados Experiencia

La tabla 1 recoge datos de aptos en 1º de Ingeniería Industrial del CPS a lo largo de los cuatro cursos precedentes. La 2ª columna presenta valores de aptos en todo el curso. Se incluye al sólo objeto de una referencia para la tendencia general. La 3ª columna, en amarillo, muestra los resultados en Termodinámica en esos cuatro cursos. Puede verse una homogeneidad con la columna anterior excepto en los cursos en que en uno de los grupos de Termodinámica (el objeto de la experiencia) alcanza los resultados ya señalados. Para interpretar mejor este efecto se añade el segundo bloque, en azul, que muestra el nº de aptos en el grupo experiencia sea anual o en la primera convocatoria. Quedan evidenciadas:

- La mejora en los resultados del curso 04-05 sobre los dos primeros en que sólo se trabajaba con el apoyo de los entornos de enseñanza-aprendizaje.
- El modelo de aprendizaje obvia el oportunismo de sucesivas convocatorias. La práctica totalidad aprueba en la primera.

En cuanto a la experiencia en la EUITI, 2º curso: se da un contexto diferente al presentado antes para el CPS por dos razones: el grupo de control sigue las explicaciones de la misma profesora que el grupo de la experiencia, dispone de los mismos materiales y sólo cambia en el modelo de aprendizaje. Por su propia decisión no ha seguido el trabajo continuo. La segunda diferencia es que, por ser el curso central de los tres que componen el grado, se da una dispersión natural que hace, en este primer año, que exista un grupo de estudiantes inmersos en asignaturas de los tres cursos y con dificultades para asistencia a clase. Esta diferencia tiene un efecto pernicioso que reduce el nº eficaz de estudiantes con opción de asistir a clase en relación con la matrícula total. Esto debe tenerse en cuenta al interpretar la tasa de seguimiento en el curso 04-05. Este curso, que supone una buena referencia al estar más rodado el proceso, puede señalarse que, en torno al 15% de la matrícula (180 estudiantes en dos grupos) no acude a clase desde el primer momento y no sigue, por tanto el modelo de aprendizaje. De esa matrícula equivalente (85% de 180 estudiantes) está siguiendo el curso de manera estable en torno a los 125-130 estudiantes que representa sobre el 80 % de ese nº eficaz (150 estudiantes). El resto hasta los 150 acude a clase de modo aleatorio, hace las prácticas, entrega los guiones y piensa seguir el procedimiento de evaluación convencional.

Tras un semestre en el que 128 estudiantes han asumido la estrategia de aprendizaje inducida por el sistema de evaluación continua, han sido consultados explícitamente sobre su intención de seguir, o no, con la metodología que han experimentado. Solamente tres de ellos han optado por la evaluación convencional.

Los resultados para el curso 04-05 se presentan en la tabla 2 (celdas coloreadas de azul) que recoge también los resultados desde el curso 01-02 en los dos grupos de la asignatura que ha dirigido C.

Velasco. Como ya se ha indicado, en el curso de la experiencia, se constituyeron de forma espontánea dos grupos repartidos en los dos generales de manera homogénea.

| | número matriculados | número presentados | % present/ matriculados | % aptos/ presentados | |
|---------|---------------------|--------------------|-------------------------|----------------------|------------------|
| 2001-02 | 135 | 64 | 47 | 44 | |
| 2002-03 | 155 | 71 | 46 | 52 | |
| 2003-04 | 165 | 75 | 45 | 52 | |
| 2004-05 | 164 | 95 | 58 | 79 | |
| | | | 95% (55) | 100% (52) | Gr. Ev. Continua |
| | | | (*) | 53% (23) | Gr. Control |

Tabla 2. Resultados combinados en dos grupos impartidos por la misma profesora.
La casilla superior refleja el % de los aptos respecto a los matriculados que siguieron el modelo de aprendizaje alternativo (en paréntesis el nº de estudiantes que supone).

No se incluye el valor en la 2ª casilla por no ser lógico imputar aquí los no presentados

De un total de 79 estudiantes que se examinaron en uno u otro de los modos de evaluación, los que siguieron el modelo tradicional de aprendizaje dan lugar a resultados equivalentes a los de cursos precedentes. Sin embargo, los que se incorporaron al modelo de aprendizaje estimulado por la evaluación continua han presentado resultados significativamente diferentes en la línea de lo obtenido en el CPS o, aun más significativo, de lo que el primer semestre refleja (fig. 20). Como en la experiencia en el CPS, los aptos en la primera convocatoria son prácticamente todos los que han seguido el sistema de trabajo.

Los resultados obtenidos nos inducen una profunda satisfacción que nos compensa de la frustración reiterada en los primeros quince años de esfuerzos en los que obteníamos los magros resultados indicados. Ello no elimina ni el permanente sentido crítico sobre aspectos de nuestra experiencia que debemos desarrollar, mejorar o dar mejores alternativas ni la convicción de que si es como parece debemos conseguir extenderlo. De ello trataremos brevemente en el apartado Extensión.

Ahora queremos insistir en la visión crítica con que enfocamos estos resultados. Hemos puesto en marcha sistemas de control que consideramos más eficaces que los de un examen convencional, constatamos diferencias significativas en la actitud, seguimiento en clase y tutorías, en la forma en que se acercan al examen (mucho más relajados y sin preparaciones obsesivas). Pero... no podemos medir hasta qué punto estamos tensionando los esfuerzos de nuestro@s estudiantes. Creemos que hay todavía margen. Creemos que su actitud, en general, es demasiado relajada y pasiva. Por eso si se produce un estímulo positivo coordinado con una mayor actividad creemos posible ampliarlo a otras asignaturas sin demandar excesivo esfuerzo... siempre y cuando se provea al estudiantado de herramientas de productividad especializadas y adaptadas a la asignatura.

En cuanto al grado de fraude no descartamos que se produzca en alguna medida. En este curso hemos adaptado un seguimiento a los materiales que nos permitirá comprobar los fraudes excepto de auténticos especialistas hacker. La estadística hace improbable que alguna figura así aparezca en nuestro alumnado pero si así fuera intentaríamos aprovechar la experiencia.

En todo caso, aun dando por posible, aunque altamente improbable, un fraude que afectara al 20% de los que siguen el modelo, todavía estaríamos en mejoras impensables antes. Por ello nuestra conclusión sobre los resultados es que reflejan un cambio que, a nuestro entender, es sorprendente y satisfactorio en grado sumo para el profesorado en la experiencia y, desde luego, para l@s estudiantes que la han seguido.

En cuanto a otras conclusiones, se recogen en el apartado siguiente.

Conclusiones, potenciales objeciones y posible extensión de la experiencia

La metodología puesta a punto muestra un conjunto de beneficios innegables ya expuestos y que se recogen aquí a modo de resumen:

- El modo de trabajo definido potencia la práctica de actitudes y estrategias de aprendizaje más coherentes con el aprendizaje significativo.
- La distribución del esfuerzo del estudiantado se realiza en una organización más lógica que anula prácticamente, por innecesaria, la preparación específica cara al examen.
- El trabajo continuado permite no sólo un aprendizaje significativo basado en la estructuración de los conceptos (mejora de las estrategias de aprendizaje) sino que facilita el aprovechamiento de las clases.
- La evaluación queda exenta del *oportunismo/mala suerte* de un solo examen ya que se basa en exámenes convencionales que completan un sistema de evaluación sumativa y formativa con una media 70 a 90 problemas con más de 800 preguntas frente a las evaluaciones convencionales mucho más limitadas. Esta información se completa con otras actividades menos frecuentes (prácticas) y uno o dos exámenes.
- La combinación de esta dualidad: evaluaciones formativas que permiten acomodar el ritmo del curso al proceso de aprendizaje, mejorar la definición de objetivos y su alcance y las sumativas que desdramatizan el peso del examen final son una clara ventaja del proceso general.
- En cuanto a la operativa: la reducción de opciones de copia frente a otros sistemas de entrega de trabajos. Frente a los modelos de evaluación por pruebas objetivas que proporciona el ADD o la recepción de trabajos en formato digital (incluidas las prácticas) nuestra experiencia propone un proceso aleatorio de distribución de material sometido a un control interno que dificulta la copia y permite detectar intentos de fraude. Hasta ahora la revisión cuidadosa y contraste con otras informaciones no ha revelado ninguna situación que pudiera identificarse como fraude.

La estimación es que el nivel de copia es claramente inferior al que se da en los exámenes convencionales y desde luego en cualesquiera otros trabajos prácticos encargados⁷.

- La asistencia a clase es mucho más numerosa, continuada y útil frente a las clases magistrales convencionales que sólo proporcionan, en la mayor parte de los casos, material para posterior estudio cara al examen. La clase plenamente participativa que perseguimos es aun un objetivo parcialmente logrado pero estamos mucho más cerca de ella. En todo caso, si consideramos que nuestros estudiantes son de los dos primeros cursos, la participación es aun más estimable.
- Los resultados analizados antes confirman y están en plena concordancia con los extremos anteriores.

Potenciales objeciones

En un breve análisis de puntos débiles podemos definir:

- La experiencia al estar limitada a una asignatura en la carrera no genera hábitos aunque sirva de referencia para modificarlos. Consideramos que para que esto se produzca es necesario que aumente significativamente el número de asignaturas en las que se siga un trabajo continuado durante los primeros cursos.

Esta circunstancia sólo puede contemplarse, creemos, en el supuesto de que en dichas asignaturas se proporcionen herramientas de curso con usos no coyunturales –algunas prácticas– sino continuados a lo largo del curso y que optimicen el esfuerzo del estudiantado. Además, debe controlarse la sobrecarga de esfuerzo demandado.

- Podría ponerse una objeción a la experiencia y a la calidad del aprendizaje así estimulado: Cualquier modelo que endurezca el nivel de exigencia y, poniendo el listón muy alto, haga trabajar mucho a los estudiantes conseguirá que estos aprendan más.

⁷ Una comprobación exhaustiva hecha en las primeras experiencias de entrega de guiones mediante material digital permitió detectar que todos se basaban con más o menos fidelidad en unos pocos originales independientes. Lógicamente, se han introducido sistemas que hacen mucho menos sencilla esta operación.

Sin embargo las diferencias son evidentes. Sin entrar en lo que puede ser razonable en cuanto al esfuerzo demandable en cada caso, la curva de resultados de esta falsa alternativa, equivalente a la de la fig. 8, se desplaza hacia la izquierda reduciendo el número de aptos y la nota media del conjunto: el fracaso se incrementa notablemente. En nuestra opción la curva se desplaza hacia la derecha mejorando el % total de aptos y su nota media.

- Una segunda objeción podría señalar que esos resultados también se obtienen por el mecanismo contrario: suavizando las exigencias, es decir bajando el listón. La experiencia demuestra que cuando se baja el listón el estudiantado se readapta pues la mayoría centra sus objetivos en el aprobado, con lo que su esfuerzo aun se reduce más. En nuestra experiencia ponemos su objetivo en obtener una nota mayor. Al comprobar que este objetivo es alcanzable se dinamizan de forma que intentan hacer el máximo. La forma de la curva, más estrecha que cualquiera de las otras registradas es una confirmación de esta circunstancia.

Por otra parte, los materiales que se adjuntan en la memoria, entre los que incluyen exámenes finales, muestran que el nivel de conocimientos demandado en la experiencia supone incluso mayor complicación que los correspondientes a años precedentes de los que se adjunta algún ejemplo, puesto a todos los grupos con distintos profesores.

Ampliación de la experiencia

Dentro del programa de innovación que, en el marco de Bolonia ha puesto en marcha la Universidad, se ha apoyado un proyecto de extensión de la experiencia y de la aplicación desarrollada para su uso en otras asignaturas (Matemáticas, Química, Física, Electrónica, Estadística...), equivalente al desarrollado en las asignaturas actuales. Esta opción se pondrá a disposición del profesorado de manera generalizada a través de la red.

Se ha establecido un calendario que como pasos más significativos se propone:

- Obtención a partir de la aplicación TermoGraf, que tiene integrado el sistema de evaluación, el conjunto de subrutinas en lenguaje Java destinadas a preparación y corrección de multiejercicios.
- Creación en Java de formatos simples de interacción para creación de copias multiejercicio a partir de un original.
- Definición del sistema servidor-cliente que proporcione la posibilidad de descarga controlada de los multiejercicios creados en cada asignatura.
- Creación de ejemplos en varias asignaturas básicas (Matemáticas, Física, Química, Electricidad,...) que faciliten la producción de nuevos Multiejercicios.
- Desarrollo de un importador de datos que permita compatibilizar la estructura de datos del multiejercicio con la estructura de resolución a partir del fichero externo de soluciones.
- Desarrollo del sistema evaluador e implementación de ficheros de salida de datos que permitan una interacción con los resultados suficientes para proporcionar la información necesaria no sólo para comunicar al estudiantado los resultados sino para extraer los datos que permita realimentar el proceso formativo.

Referencias citadas en el texto

- CRE (1996). **Restructuring the University. Universities and the challenge of New Technologies.** Report Sócrates. The Association of European Universities.
- CRUE (1998). **Conclusiones de las II Jornadas sobre las TIC en la Universidad Española.** Zaragoza.
- Driscoll, D. M. (1994). **Psychology of Learning for Instruction.** Boston, MA: Allyn & Bacon.
- Novak, J. D. (1998). **Conocimiento y Aprendizaje.** Alianza Editorial, Madrid.
- Turégano, J. A., Velasco, C., Cózar J. M., Sarsa, J., Ayuda, L. (1995) **Didactic Tools for Use in a Basic Course of Thermodynamics.** ASME–AES, 1995, vol. 35, pp. 111–118
- Turégano, J. A., C Velasco, Alastruey J. (2001a). **A multimedia Courseware in Engineering Thermodynamics with GAME.** Proceedings of the 2001 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition. Albuquerque, 2001
- Turégano, J. A., Velasco, C. y Gómez, T. (2001b). **Termograf: a didactic tool for the teaching and learning of Engineering Thermodynamics.** Proceedings of the 2001 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition. Albuquerque, 2001
- Turégano, J. A., Velasco, C. y Hernández, M. A. (2002a). **Eficacia limitada de los materiales informáticos para entornos de enseñanza.** Congreso Internacional sobre Docencia Universitaria e Innovación. Tarragona, Julio 2002
- Turégano, J. A., Velasco, C. y Hernández, M. A. (2002b) **Transformación de un entorno de enseñanza basado en las TIC en un entorno de aprendizaje y análisis de los problemas derivados.** Congreso Internacional ICTE. Extremadura, Noviembre 2002
- Velasco C. y Turégano J. A. (1992) **Work in an Introductory Engineering Thermodynamics Course with Computer Simulation.** AES-Vol. 228. Pp 193-197, ASME, 1992
- Velasco, C., Turégano, J. A. (1995) **Entornos multimedia para la realización de prácticas de termodinámica básica.** ISAGA'95. Valencia, Julio 1995
- Velasco, C., Turégano, J. A., Cózar, J. M. y Hernández, M. A. (1998) **La motivación en la clase de Termodinámica y el Cambio de Modelo de Enseñanza en Ingeniería.** Actas del V Congreso sobre Innovación Educativa en la Enseñanza de la Ingeniería. Las Palmas, 1998.
- Velasco, C. (2001) **Informatización de una asignatura: Desarrollo de entorno GAME.** Tesis doctoral. Febrero, 2001. Universidad de Zaragoza.

Publicaciones de los autores relacionadas con la experiencia

- J.A. Turégano **BIDA Project: "A Thermodynamic data base for active learning Engineering Thermodynamics"**. ECOS'92. World Asme Congress on Energy Efficiency. 1992. pp. 35-40
- Velasco, M. C., Cózar, J. M., Turégano, J. A. **Materiales para la Enseñanza de la Termodinámica asistida por ordenador** Actas del X Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica. Vol.1, pp. 267-272, Madrid, septiembre de 1992.
- Turégano JA, Velasco M.C., Cózar, J. M. **Bases Interactivas de datos de asignaturas. Un desarrollo en hipertexto** Actas del I Congreso Iberoamericano de Informática Educativa. Vol. II, pp. 340-346. Costa Rica, marzo de 1992.
- Velasco C. y Turégano J. A. (1992) **Work in an Introductory Engineering Thermodynamics Course with Computer Simulation**. AES-Vol. 228. Pp 193-197, ASME, 1992
- Cózar, J.M.; Turégano J.A. **Entornos multimedia para la realización de prácticas de Termodinámica básica** ISAGA, 95, Valencia, julio 1994. pp. 342-347
- Turégano J.A., Cózar, J. M., Velasco M.C. **Integración de las Energías Renovables en un curso de Termodinámica en un entorno multimedia** VII Congreso Ibérico de Energía Solar, junio 1994 pp. 167-172
- Turégano, J. A. y Cózar, J. M. **Generalización del carácter práctico de los estudios universitarios: el laboratorio de prácticas con ordenadores personales** Congreso Unimac'94. Madrid. 1994. pp. 165-172 (tomo III)
- Cózar, J.M.; Turégano JA, Redondo J.A. **Simulation in Neurocirugy** ISAGA, 95, Valencia, julio 1994. pp. 521-526
- Turégano, J.A., Velasco, M. C., Cózar, J. M., Sarsa, J., Ayuda, L. (1995) **Didactic Tools for Use in a Basic Course of Thermodynamics**. ASME-AES, 1995, vol. 35, pp. 111-118
- Velasco, M. C., Turégano, J. A., Ráfales, J. C., Cózar, J. M. **Desarrollo de un freno electromagnético como equipo de laboratorio para la medida de irreversibilidades** Actas de IV Congreso Universitario sobre Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas. pp. 425-432. Zaragoza, septiembre de 1996.
- Velasco, M. C., Ráfales, J. C., Monné, C., Cózar, J. M., Turégano, J. A **El ordenador en las prácticas de laboratorio: Simulación y monitorización de instalaciones**. Actas del Congreso UNIMAC' 96. Zaragoza, septiembre de 1996. 8 p. Editado en CD ROM
- Turégano JA, Cózar, J.M.; Velasco M.C. **Desarrollo de los contenidos de una asignatura con técnicas multimedia**. Congreso UNIMAC, 96, Zaragoza, Junio 1996. 7 p. Editado en CD ROM.
- Turégano, J. A., Velasco, M. (1997). **Curso de formación sobre informatización de una asignatura, impartido en el ICE**. Zaragoza.
- Turégano, J. A., Velasco, M. C. y Cózar, J. M. (1997). **Documentación interna para Curso de formación sobre informatización de una asignatura**, impartido en el ICE de la UPC Barcelona. (idem en el ICE de la U. de Zaragoza).
- Turégano, J. A., Velasco, M. C. (1998). **Informe final del proyecto DOC96-2673** CICYT. Documento interno de trabajo.
- Turégano, J. A. **Evolución de objetivos y metodología de la Universidad en el contexto educativo de la sociedad de las Comunicaciones**. Ponente invitado al Congreso Unimac 98. Palma de Mallorca, 1998.
- Turégano JA, Velasco M.C., Cózar, J. M. **Evaluating Multimedia Software**. Congreso EdMEDIA de la AACE, Friburgo, 1998. pp.48-54
- Cózar, J.M.; Turégano JA, Sarsa, J. **Laboratorio interactivo de prácticas vía WWW**. Congreso Iberoamericano de Informática educativa RIBIE 1998. pp.186-191
- Turégano JA,; Velasco M.C.,; Cózar, J.M.; Hernández, M A, Romeo L M **Informatización de una asignatura: gestor- autor de problemas y cuestiones. Aplicación a la Termod. Técnica**. VI Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas, Canarias, sept, 1998. pp. 65-70
- Velasco M.C.,; Turégano JA,; Cózar, J.M.; Hernández **La motivación en la clase de termodinámica y el cambio de modelo en la enseñanza de la ingeniería**. VI Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas, Canarias, sept, 1998. pp.261-266
- Turégano, J. A., Velasco, M. C., Sarsa, J. **Condiciones para el desarrollo progresivo de una asignatura. Análisis del sistema GAME** Actas del Congreso Unimac'98. Palma de Mallorca, septiembre de 1998. 12 p. Editado en CD ROM

- Turégano, J. A., Velasco, M. C., Hernández, M.A., Romeo, L.M., Cózar, J. M., Arciniega, T. **Una alternativa a la clase magistral: La clase Unimedia**. Aplicación a la Termodinámica Técnica Actas del Congreso Unimac'98. Palma de Mallorca, septiembre de 1998. 8p. Editado en CD ROM
- Turégano, J. A., Velasco, M. C., Hernández, M.A., **Entropía e irreversibilidad: Una aproximación práctica. Jornadas sobre Ingeniería Térmica**. Badajoz , abril, 1999
- Turégano, J.A.; Velasco, M. C., Arciniega T.; Cózar, J.M. **La Termodinámica Técnica como aplicación del Sistema Multimedia Gestor/Autor** Jornadas sobre Ingeniería Térmica. Badajoz , abril, 1999
- Turégano, J. A. **La Universidad Presencial en el Siglo de las Comunicaciones Multimedia**. Ponente invitado al IX Jornadas Europeas de Técnicas Avanzadas en Informática. Valencia, 2000.
- Velasco, C. **Informatización de una asignatura: Desarrollo del entorno GAME. Aplicación a la Termodinámica Técnica**. Universidad de Zaragoza. 2001
- Turégano, J. A., Velasco, M. C., Gómez, T. **Termograf a tool for the teaching and learning of Engineering Thermodynamics** Annual Int. Conference organized by ASEE. Albuquerque, 2001
- Turégano, J. A., Velasco, M. C., Alastruey, J. **A multimedia Courseware in Engineering Thermodynamics with GAME**. Annual Int. Conference organized by ASEE. Albuquerque, 2001
- Turégano, J.A., Velasco, C. y Hernández, M.A. (2002a). **Eficacia limitada de los materiales informáticos para entornos de enseñanza**. Congreso Internacional sobre Docencia Universitaria e Innovación. Tarragona, julio 2002
- Turégano, J. A., Velasco, M. C., Hernández, M.A. **La evaluación continua con el apoyo de la red para impulsar estrategias de aprendizaje más eficaces** 2º Congreso Internacional Docencia Universitaria e Innovación, Tarragona, Julio 2002
- Turégano, J. A., Velasco, M. C., Hernández, M.A. **Entorno de enseñanza aprendizaje con TIC para coordinar teoría, prácticas de simulación y trabajo personal en cursos de Ingeniería Térmica y Termodinámica Aplicada**. 2º Congreso Internacional Docencia Universitaria e Innovación, Tarragona, Julio 2002

Anexo

Materiales

En el CD adjunto se han incluido diversos materiales que por su carácter digitalizado hacen imposible otra incorporación impresa que mediante imágenes. Por ello aquí se incorporan algunos textos además de algunos materiales de prácticas realizados con el apoyo de TermoGraf, como indicativo del apoyo que proporciona una herramienta de productividad como la indicada. En los casos señalados con (*) el material se ha incorporado en los materiales digitalizados.

Los materiales son:

- a. Ejemplos de exámenes convencionales y
- b. Exámenes dentro de la experiencia, planteados en el curso 2004-2005 (*)
- c. Un enunciado típico de un Multiejercicio (*)
- d. Guión de prácticas tipo multiejercicio (*)
- e. Guión de prácticas correspondiente al informe entregado por un estudiante que se adjunta.
- f. Un capítulo del hipertexto creado para el entorno de aprendizaje (*)
- g. Una hoja de resultados de una evaluación cualquiera

Anexo a) Un examen “convencional” en nuestras asignaturas (Junio 2005, al grupo control)

Se adjuntan dos exámenes al margen de la evaluación continua. El de fecha 26-Junio-03 es previo a la puesta en marcha de la experiencia y el de fecha 16-Junio-05 es paralelo a la experiencia y se puso al grupo control. Comparados con el texto que se recoge a continuación dejan claro que la dificultad no es mayor en ellos sino, quizá, en el que sigue.

Anexo b) Un examen dentro de la experiencia en nuestras asignaturas (Junio 2005)

El examen se realiza con ordenador. Como en los multiejercicios que han venido realizando a lo largo del curso, l@s estudiantes bajan de la red su examen que es específico. Para su comodidad se les entrega el examen impreso de forma que trasladen a los espacios a puntos dentro del texto impreso los datos correspondientes a su versión. Los resultados se entregaban en los días siguientes de modo que podían revisar la prueba a partir del examen escrito entregado y el fichero digital enviado por red.

25 Junio 04, grupo B **NOMBRE**..... **Clave personal**.....
Compañero izda..... Compañero dcha..... Ev Continua (si/no)

LEE ATENTAMENTE:

- No descargues la aplicación, ni el examen, hasta que hayas pasado 15 m leyendo su contenido. Si en la media hora siguiente te marchas, entregas esta hoja y NO te cuenta la convocatoria. En caso contrario cuenta.
- Lee una segunda vez el ejercicio que vayas a hacer en primer lugar. Cuando veas que lo tienes claro empieza a trabajar con Termograf. VE GUARDANDO EN EL ESCRITORIO, o más lento EN UN DISQUETE, LO QUE VAYAS HACIENDO
- PON TU NOMBRE EN LA(S) HOJA(S) AUXILIAR(ES) CUANDO EMPIECES CADA HOJA. Ve poniendo la respuesta a cada pregunta en hojas auxiliares. Luego podrás pasarlo a la ventana de respuestas FTP.
- **No olvides el signo en aquellos valores que sean negativos. Utiliza el punto y no la coma. Pon decimales cuando lo pida la respuesta. Revisa las unidades y el modo de trabajo así como el resto de la configuración de cada pantalla.**
- **En aquellas preguntas que aparezca (*) debes poner la expresión. Si pones un comentario, sé muy breve.**
- MUY IMPORTANTE: Envía el material a la carpeta **EX25JUN** denominándolo: **NNNN1234XX**, o sea: tu clave seguida de P1,P2,C1,C2, o C3. Si necesitas reenviar otra vez un ejercicio ya enviado pon NNNN1234XXb ó c si es el tercer envío del mismo ejercicio.
- Hay que hacer P1, P2, C1 y C2. La cuestión C3 mejora la nota

SUERTE

Problema 1

Se comprueba que en un determinado secador de pelo el aire sale a una temperatura de.....°C con una velocidad de..... m/s por la boca de salida cuya área es..... cm². En la entrada, el aire entra en condiciones de ambiente: 300 K y 1 bar, con una velocidad de..... m/s. Puede considerarse el proceso..... y también que no hay flujo de calor entre el secador y el entorno. Se pide:

- #1) ¿Cuál es el flujo másico de aire que atraviesa el secador?
- #2) ¿Cuánto vale el trabajo técnico, en kJ/kg?
- #3) ¿Cuánto vale el trabajo de flujo, en kJ/kg? (*)
- #4) ¿Cuánto vale el trabajo de expansión, en kJ/kg?
- #5) ¿Cuánto vale el trabajo eléctrico suministrado, en kW? (*)

Un proceso isóbaro y adiabático debe ser irreversible.

- #6) La irreversibilidad es debida, fundamentalmente, a que
 - a) el aire roza con las aspas y se produce rozamiento
 - b) el trabajo de impulsión es un trabajo eléctrico que entra al sistema y es, por tanto, disipativo
 - c) la energía que recibe el gas en el proceso, para elevar su temperatura, es un flujo de trabajo disipativo.

#7) ¿Cuánto vale la entropía generada? (*)

#8) ¿Cuánto vale la exergía destruida? (usa la expresión de Guy-Stodola)

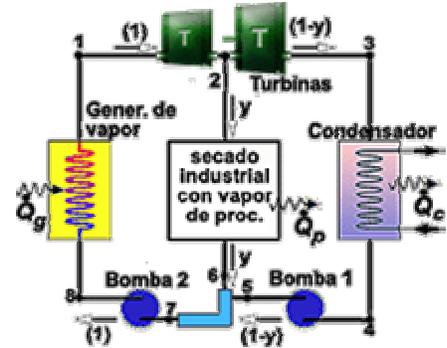
NOTA: Estudia las condiciones del proceso antes de responder. Para resolverlo dibuja un proceso que se ajuste a las condiciones o solo los estados de entrada y salida y haciendo los cálculos pertinentes con las expresiones adecuadas.

(*) Escribe la expresión del correspondiente balance en la hoja adjunta.

Problema 2

La figura muestra un ciclo de cogeneración (en él además de producción de trabajo en la turbina se extrae de ella una parte del vapor que se utilizará no en un intercambio regenerativo dentro del propio ciclo sino externamente en un proceso industrial. Podría decirse que este flujo de calor se cede al entorno como sucede en el condensador.

..... kg/s de vapor de agua entran a.....bar y..... °C en la turbina del ciclo de vapor de agua y se expande isoentrópicamente hastakPa. Un..... % del flujo de vapor se extrae de la turbina a..... bar y se utiliza para un proceso industrial de secado (representado en la pantalla por un proceso de puntos) retornando al ciclo con una presión de 9,5 bar y 120°C. El vapor restante deja la turbina y entra al condensador donde el vapor condensa, saliendo en 4 como líquido saturado y siendo bombeado hasta..... bar para mezclarse con el condensado que retorna del proceso industrial. Cada etapa de la turbina tiene un rendimiento isoentrópico del% y ambas bombas del%. Se pide:



- #1) El trabajo total que produce la turbina, en kW.(*)
- #2) El flujo de calor, Q_p , transferido al proceso industrial, en kW.
- #3) El flujo de calor, Q_c , cedido al agua de refrigeración en el condensador, en kW.
- #4) La potencia del ciclo, en kW.(*)
- #5) La potencia neta transferida a la red eléctrica si el rendimiento del alternador (no está dibujado) es del 95%.
- #6) La T del estado 7, en °C.
- #7) El flujo de calor, Q_g , transferido al fluido de trabajo, a su paso por el generador de vapor de agua, en kW.
- #8) ¿Cuál es el rendimiento del ciclo si no consideramos la cogeneración? (*)
- #9) ¿Y cuál será el rendimiento si incluimos como aprovechamiento el calor de proceso industrial, Q_p ? (*)
- #10) ¿Cuál es el rendimiento exergético en este segundo caso? (*)

NOTA: Sólo tienes que ajustar propiedades de algunos estados en el ciclo dibujado, flujos másicos y rend. isoentrópicos. Empieza con ello y luego ve respondiendo la serie de cuestiones tomando los valores de las propiedades que necesites. Para hacerlo ten en cuenta que el vapor extraído para proceso industrial de secado es aproximadamente isóbaro y puedes considerar que el calor cedido, Q_p , al exterior es la diferencia de entalpías de entrada y salida en forma similar a como sucede en el condensador. El retorno de este vapor, ya condensado, se mezcla en la tubería que lleva a la segunda bomba con el flujo másico que sale de la primera bomba.

(*) No olvides poner la expresión utilizada en las preguntas marcadas con asterisco.

Cuestión 1: Mezcla bifásica

Un depósito indeformable y hermético cuyo volumen es $V = \dots\dots m^3$ tiene ----- Kg de vapor húmedo con una presión inicial de kPa. Selecciona la configuración de pantalla y las unidades apropiadas. Dibuja el estado y responde:

- #1) ¿Cuál es el título inicial en el depósito?
- #2) ¿Cuál es la masa de vapor, en kg, existente en ese estado inicial?

Calentamos el depósito de modo que la fase líquida se va evaporando lentamente en un proceso reversible hasta alcanzar una presión igual a la presión crítica. Dibuja el proceso en un diagrama Pv y responde:

- #3) ¿Cuánto calor, en kJ, hay que suministrar para que el estado final alcance la presión señalada antes?
- #4) ¿Cuánto vale el trabajo de expansión? Comenta el resultado en una línea en la hoja escrita.

#5) En este proceso no tiene sentido hablar de W técnico, por que no hay partes móviles que transfieran trabajo al o del exterior. Por eso el trabajo W_t que nos da Termograf:

- a) No es más que el resultado de un cálculo sin sentido termodinámico. Aquí no significa nada.
- b) Sí que tiene sentido puesto que el proceso es reversible y se puede calcular.
- c) No tiene sentido porque el proceso no es isóbaro.

(Elige la opción válida y escribe la letra minúscula y sin paréntesis. Justifica en un par de líneas en la hoja auxiliar la opción elegida)

- #6) Termograf nos da un trabajo de flujo (W_f) que no es cero:
 - a) Esto es porque todo el trabajo de flujo equivale al trabajo técnico producido.
 - b) Ese valor no es significativo, el sistema es impermeable y no hay flujo de masa a través de su frontera.
 - c) Tiene sentido si pensamos en términos del trabajo que hacen las moléculas de líquido al evaporarse pues al ocupar un volumen mayor realizan un trabajo sobre las moléculas del entorno o las paredes.

- #7) ¿Cuál es la masa de vapor en ese estado final?
- #8) ¿Cuál es el volumen específico en este estado, en m^3/kg ?
- #9) ¿Cuál es la presión del estado final, en bar?
- #10) ¿Cuál el volumen total, en m^3 ?

#11) ¿Cuánto vale la entropía generada en el proceso?

#12) Si la exergía del flujo de calor, A_q , que se aporta en el proceso vale..... ¿Cuánto vale la T media equivalente del proceso? Toma $T_o = 22^\circ C$ (*) (Para responder recuerda lo que se dijo de Disponibilidad)

Cuestión 2: Ciclo de refrigeración con sobreenfriamiento

El ciclo de refrigeración que aparece en pantalla tiene una etapa de sobreenfriamiento cuyas entradas son los estados 4 y 5. La presión del evaporador es 0.7 bar, siendo la del condensador 10 bar. La salida 5 del sobreenfriamiento tiene una temperatura de 14.8°C. Por la instalación circulan 3 kg/s de propano. Tras ajustar el ciclo a los datos propuestos y dibujar en la hoja auxiliar el esquema de la instalación, calcula:

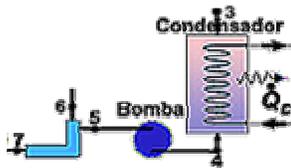
- #1) Q cedido en el sobreenfriamiento al vapor saturado que sale del evaporador, en kW.
- #2) T2, en °C.
- #3) Si el proceso de compresión tiene un rendimiento isoentrópico de 0.85 ¿valor de T3, en °C?
- #4) W de compresión en kW.
- #5) COP del ciclo de refrigeración (en tanto por uno con dos decimales)
- #6) Potencia de refrigeración, en kW.

Si se elimina la etapa de sobreenfriamiento (condensador y evaporador acaban en la curva de saturación), calcula:

- #7) Aumento del título a la salida de la válvula de estrangulación.
 - #8) Potencia de refrigeración en este ciclo más simple.
 - #9) COP de este nuevo ciclo si se mantiene el compresor con el mismo rendimiento (ten en cuenta que ahora la entrada al compresor es el estado 1).
 - #10) ¿Qué entropía se genera en el proceso de estrangulación de este segundo ciclo?
- Explica en dos líneas por qué es peor el COP de este segundo ciclo, más simple.

Cuestión 3: Balance de entropía

Vamos a analizar el balance de entropía en dos equipos de intercambio de calor que ya has visto antes. El condensador del prob. 2 que cede calor al entorno (agua de refrigeración cuya T media es 30°C) y la tubería-intercambiador de mezcla que lleva de la bomba 1 a la bomba 2 y en la que se mezcla el retorno (estado 6) de vapor condensado en el secado industrial con el agua de alimentación que viene de la bomba 1 (estado 5). Tienes los siguientes datos: T6=°C; flujo másico que viene por el estado 6: kg/s; flujo másico que viene por el estado 5: kg/s; T a la entrada del agua de refrigeración°C; T a la salida del agua de refrigeración:°C. Los valores de propiedades y los flujos másicos ya están ajustados. Compruébalo y contesta:



- #1) Calcula el flujo másico del agua de refrigeración que recibe el calor cedido en el condensador, en kg/s. (*)
- #2) Que tipo de irreversibilidad se produce en: interna, externa, ninguna. (Escribe la palabra seleccionada para el envío FTP y explica con dos líneas en la hoja auxiliar)
- #3) Que tipo de irreversibilidad se produce en: interna, externa, ninguna. (Escribe la palabra seleccionada para el envío FTP y explica con dos líneas en la hoja auxiliar)
- #4) ¿Cuánto vale la entropía generada en el condensador, en kW/K? (Considera la T media equivalente en el agua de refrigeración, el foco frío, como la semisuma de las T de entrada y salida)
- #5) ¿Cuánto vale la entropía generada en la tubería, en kW/K?
- #6) ¿Cuánto aumenta la entropía del universo debido a los procesos en ambos equipos, en kW/K?
- #7) ¿Cuánto vale la exergía destruida en la tubería, en kW? (Utiliza Guy -Stodola) (*)

Anexo c) Un enunciado típico de un Multiejercicio (*Material incluido en el CD)

Los multiejercicios se entregan de forma que en cada entrega deben resolver el equivalente a 3-5 ejercicios por semana ayudados de la herramienta de alta productividad que es Termograf. El ejercicio una vez hecho en Termograf se envía y no precisa de documentación complementaria excepto en los casos excepcionales en los que el profesorado lo solicite.

En lo que sigue se recoge un enunciado tal como lo ve el estudiante además de la pantalla de Termograf en la que realiza su ejercicio:

MEj. 08 02 CICLO REGENERATIVO CON CALENTADOR ABIERTO

Ref MEj 0802

El vapor de agua que entra a la turbina de alta, en un ciclo de potencia regenerativo con calentador abierto del agua de alimentación, llega a 94 bar y 520°C y se expande en la turbina hasta una presión intermedia de 9.2 bar. La salida se divide de modo que una parte del vapor se envía a un calentador abierto del agua de alimentación cuya salida es líquido saturado a dicha presión intermedia. El resto de vapor se lleva a la segunda etapa de turbinado. El vapor abandona la segunda turbina para entrar al condensador que opera a 0.06 bar. El rendimiento isoentrópico de ambas turbinas es del 81% y las bombas operan isoentrópicamente. Si el flujo másico a la entrada de la turbina es 104 kg/s, calcula:

#1) W , en kJ/kg, de la segunda turbina, por cada kg que la atraviesa.

Haz el balance de energía en el intercambiador para calcular la fracción másica que se va por cada rama en 2 y responde luego:

#2) W de esta turbina en kJ por cada kg en la entrada de la primera turbina (estado 1).

#3) W neto del ciclo en kJ por kg en el estado 1.

#4) Entropía total generada en las irreversibilidades interiores del ciclo, en kJ/K y por kg que pasa por el estado 1.

#5) Q neto absorbido en la caldera, en kJ por kg en el estado 1.

#6) Rendimiento térmico del ciclo, y

#7) Potencia total que desarrolla el ciclo, en MW.

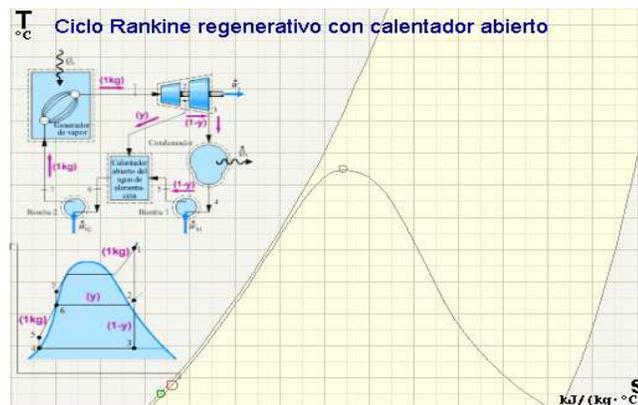
#8) Fracción másica por el condensador por cada kg en el estado 1.

#9) Exergía destruida, A_d , en el ciclo, en kW. (Se refiere a las irreversibilidades interiores cuya S generada se calcula en 4)

La T_o del ambiente es 20°C

NOTA: Para las cuestiones 3 y 4 debes tener en cuenta que por los equipos pasa distinto flujo másico debido a la ramificación. Debes tenerlo en cuenta para el cálculo por kg pasando por el estado 1. Asimismo, la entropía interna generada lo es en tres equipos, cada uno con su fracción másica. (Las irreversibilidades en caldera y condensador se consideran externas y no se dan suficientes datos del entorno para calcularlas).

Conviene que introduzcas las fracciones másicas en las ramas 2-6 y 2-3 de forma manual (casilla de la masa) pues si lo haces desde el balance a veces no coge (1-y) adecuadamente.



Pantalla de Termograf correspondiente al Multiejercicio 8-2

Anexo d) Guión de prácticas tipo multiejercicio (*Material incluido en el CD)

Se recoge a continuación un ejemplo de una de las 5/6 prácticas que realizan con TermoGraf. Estas prácticas tienen una doble opción:

- Incluyen una parte que se resuelve como un multiejercicio que se entrega en la misma sesión y otra que se completa en un breve informe. Se pretende con ello limitar el tiempo preciso para realizar el informe a un mínimo y que la entrega inicial limite el efecto de copias (reforzado por el hecho de que cada estudiante tiene sus datos exclusivos).
- Aunque cada estudiante debe trabajar sus datos exclusivos, se plantean sin entrega de un fichero TermoGraf como sucede con las anteriores. En este caso se pretende que desarrollen un informe más extenso pero apoyado en el propio texto de la práctica para reducir al mínimo el tiempo requerido. Este texto, facilitado en formato digital, sirve de guía de modo que vayan incorporando los comentarios y gráficas que se piden.

Esta primera práctica corresponde al tipo multiejercicio. En ella se incorpora un simulador realizado con Flash y que se utiliza como motivador. El estudiante debe tomar los datos de unos controles como haría en un simulador o en un control de un caso real. Para arrancar el simulador Flash se emplea la clave que facilita Termograf, de modo que cada estudiante obtendrá un conjunto de datos personalizado y con él deberá resolver los cálculos en Termograf. Como se ha señalado reiteradas veces, se pretende optimizar el tiempo y el esfuerzo del estudiante. En este caso, además, introduciendo un componente nuevo que rompa la monotonía de la herramienta (j).

Al final del texto de la práctica se incluyen algunas imágenes correspondientes a su desarrollo.

1. ANÁLISIS DE POLITRÓPICAS Y PROCESOS DE SUSTITUCIÓN⁸

Objetivos:

- 1) *Desarrollar habilidades complementarias de cálculo con prop. termodinámicas para resolver el análisis de procesos.*
- 2) *Interpretar diferentes niveles de aproximación que podemos hacer en dicho análisis.(Ej. 1.1y 1.2)*
- 3) *Utilizar los diagramas P-v y P-T con escalas lineales y logarítmicas. (Ej. 1.2)*
- 4) *Analizar los procesos politrópicos como procesos de sustitución.(Ej. 1.4 y 1.5)*
- 5) *Calcular e interpretar valores de interés en el análisis de un ciclo. (C)*

| | |
|---|--|
| Pantalla de trabajo: <ul style="list-style-type: none">• Diagramas: P-v, P-T• Unidades: bar; K; l/kg; kJ; kW• Modelo: Gas Ideal Sustancia: Aire (Gases de combustión) | VARIABLES EN PANTALLA: <ul style="list-style-type: none">• cursor: P, v, T, u• tabla: P, v, T, u• balances: m, W, Q, ΔU |
|---|--|

A: ANÁLISIS DE LOS DATOS DE UN BANCO DE MOTORES

Introducción:

El análisis de sistemas termodinámicos sumamente complejos como el ciclo Otto real, ciclo que corresponde a un motor alternativo (sistema cilindro-pistón) de combustión interna, puede simplificarse notablemente con una serie de hipótesis que facilitan el estudio sin reducir apreciablemente la precisión de los resultados.

Las simplificaciones más importantes, respecto del proceso real representado en la fig. 1, son:

- Sustitución de los procesos reales que se realizan en cada etapa del ciclo Otto (tramos coloreados en la fig. 1) por procesos de sustitución (tramos politrópicos: isóbaros: $n=0$, isócoros: $n=\infty$, u otros índices) aproximados con balance energético global similar (fig, 2, ciclo A).

⁸ Cuida las unidades. Manda por FTP las preguntas tipo #1,2,3...: T₁ = K. En el informe escrito responde a todos los apartados muy brevemente. Incorpora, o copia, los diagramas de Termograf que vayas utilizando.

- Sustitución del proceso interno de combustión por un proceso de absorción de calor desde un foco externo⁹, que supone:
 - No se realizan reacciones químicas y la sustancia de trabajo -aire- no necesita ser sustituida tras completar cada ciclo (caso del ciclo abierto, A de la fig. 2).
 - Esto permite eliminar los procesos de admisión y expulsión de gases y simplificar el ciclo dejándolo sólo con cuatro procesos (ciclo cerrado, B, de la fig. 2).

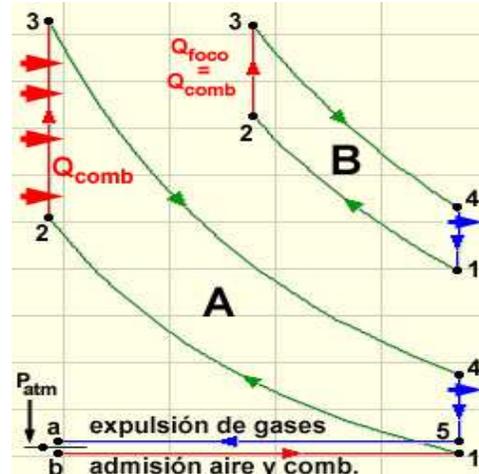
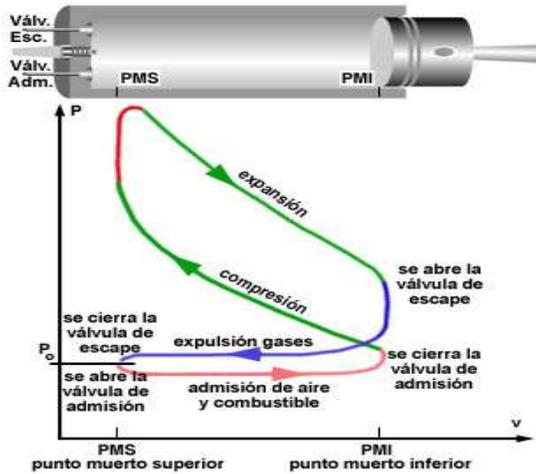


Fig. 1. Diagrama del ciclo real del motor Otto

Fig. 2. A) Diagrama teórico del ciclo con combustión.

B) Ciclo cerrado equivalente

1. Análisis a partir de los datos experimentales de un proceso

NOTA: Para lo que sigue debes obtener los datos experimentales del simulador que acompaña al guión de la práctica. Para arrancarlo, una vez abierto el fichero, debes introducir la cilindrada que te indica tu fichero de Termograf. Este valor es específico de tu práctica y da lugar a un conjunto individualizado de valores. Además del informe que prepares deberás enviar las soluciones que te pide el Panel de Respuestas del documento Termograf, correspondientes a tu caso.

Muchos de los procesos reales de un gas pueden ser representados en sus relaciones P, v, T, aproximadamente mediante un proceso politrópico. En esta práctica utilizaremos los datos tomados en un banco de motores, correspondientes al proceso de expansión del cilindro-pistón de un motor alternativo tras la combustión del combustible inyectado en la etapa previa. Estos datos, para un cilindro de volumen 1980 cc, (pistón en PMI) son, ordenados de mayor (1A) a menor (12B):

Datos: 1 (A) 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 (B)

P (en kPa):

T (en °C):

Nos proponemos calcular el trabajo realizado por los gases de la combustión (que son aire en su mayor parte) en el proceso de expansión. Para ello podemos realizar un cálculo basado en distintos procedimientos:

1.1 Traslada los datos a un diagrama **PV** dibujado en una hoja milimetrada o cuadrículada¹⁰ y calcula por un método geométrico el valor del trabajo, en kJ, por aproximación al cálculo de $\int P \cdot dV$, expresión sólo aplicable en procesos cuasiestáticos.

1.2 Obtén un resultado para dicho trabajo siguiendo un procedimiento distinto:

- Lista los valores de **P** y **T** en dos columnas correlativas de la hoja de cálculo adjunta (puedes calcular en otra columna el valor de **V**) y representa la serie de datos **V**, **P** en coordenadas logarítmicas (puedes tomar logaritmos en ambas columnas de datos **V**, **P** y representar en una gráfica x,y los nuevos valores). Verás que se alinean aproximadamente según una recta.
- Haz un ajuste de una recta por mínimos cuadrados a los valores dados y obtén una ecuación de la forma $y = ax + b$, siendo $y = \ln P$, $x = \ln V$.¹¹
- Transforma la ecuación, tomando antilogaritmos de forma apropiada, y escribe la ecuación obtenida.
- Realiza el cálculo de $\int P \cdot dV$ utilizando la relación anterior.
- Compara el resultado con el obtenido en 1.1 y analiza la validez de este cálculo.
- ¿Qué tipo de ecuación has obtenido en 1.3? ¿Qué denominación damos al valor **a** del ajuste?

⁹ Este cambio puede parecer muy importante y, sin embargo, la mayor cantidad de los gases expulsados es aire, ya que el combustible entra junto con una gran cantidad de aire. Por esto, basta con aportar en el ciclo cerrado equivalente el mismo flujo de energía que aporta el proceso de combustión en el ciclo real para que el modelo sea suficientemente aproximado.

¹⁰ Como primer paso deberás calcular el valor de **V** para cada par de valores **P**, **T**.

¹¹ También puedes ajustar directamente una potencia si la hoja de cálculo que uses tienes esa opción.

Envía por FTP las respuestas siguientes:

- #1) El índice politrópico, n , del proceso.
- #2) La masa contenida en el cilindro, en g, si el estado 6 corresponde al máximo volumen del recorrido¹².
- #3) El trabajo realizado en la expansión, W , en kJ.
- #4) El calor transferido, Q , en kJ.

1.3 Vamos a realizar una comprobación de lo hecho utilizando Termograf. Abre la aplicación y selecciona **unidades**: bar, K, kg, l / kg, kJ, sistema de **masa de control** y modelo **Gas Ideal**. A continuación:

- a) Pulsa el botón de estado:  con doble clic: , y coloca doce estados cualesquiera sobre la pantalla.
- b) Ajusta cada estado a los valores de la lista de datos experimentales dada arriba. Puedes comprobar si el cálculo de V es correcto (ojo, ten en cuenta que el valor de v que presenta Termograf para estados sueltos es siempre el volumen específico). Conviene, para mayor claridad, que cada dato representado aparezca en pantalla con un punto en vez de un círculo. Para ello utiliza el botón .
- c) Con clic sobre , selecciona como tipo de proceso: Politrópico libre, y dibuja un proceso ajustándola "a ojo" con la serie de datos que has puesto previamente sobre la pantalla. Haz que este proceso comience y acabe en los estados extremos, **A** y **B**, de los datos experimentales que has tomado.
- d) Una vez hecho el ajuste, comprueba el valor del índice de la politrópica y compáralo con el valor obtenido en la sección 2. Haz lo mismo con el valor del trabajo que te da Termograf y analiza este valor en relación con los obtenidos antes.

B: PROCESOS DE SUSTITUCIÓN

Acabamos de ver cómo un proceso del que teníamos datos experimentales, podía ajustarse a un proceso politrópico que podemos interpretar como un proceso idealizado, de sustitución. En este sentido conviene analizar la dependencia de valores de proceso como son los flujos de **W** y de **Q**, con el índice de politropía¹³.

Ahora, con lo visto para el proceso trabajado en el apartado A vamos a hacer un análisis de cómo varían los flujos anteriores con el índice de politropía. Comprimos m kg de aire desde condiciones ambiente (1 bar, 300 K) hasta 5 bar y queremos analizar cómo cambian los flujos de energía si el índice politrópico n varía desde 0.6 hasta 20.

Para el análisis, selecciona masa de control , unidades: bar, K, m3, kg, kJ, y escalas ajustadas a los valores:

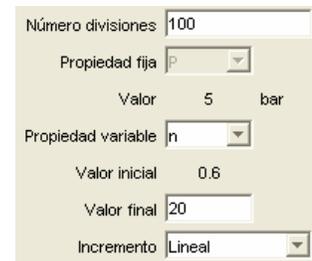
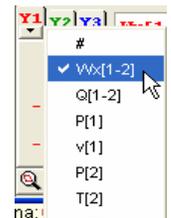
Eje v : 0.01 a 0.95 m3/kg

Eje P : 0.5 a 7 bar

El ajuste lo puedes hacer con doble clic sobre cualquiera de las escalas.

Seguiremos luego la secuencia siguiente:

- a) Pulsa , y selecciona Politr. libre .
- b) Luego dibuja un proceso politrópico que empiece en 1bar, 300 K y vaya hasta 5 bar.
- c) Para fijar el valor $P=5$ bar, haz clic con el botón dcho. sobre el estado 2 y selecciona P , o pulsa el botón rojo  Est.2 n , 7.5 en la parte superior dcha. de la pantalla y selecciona P .
- d) Selecciona el valor de n en el campo de escritura y pon el valor $n = 0.6$
- e) Con botón dcho. clic sobre el estado 2 , y selecciona "Realizar barrido"
- f) En la ventana que aparece, selecciona los valores de la figura adjunta.
- g) Acabado el barrido, abre la ventana "Tabla" (clic sobre )
- h) Para representar gráficos de variables en esta ventana, debes empezar por colocarlos en la Tabla con un clic sobre el botón correspondiente si son variables de estado, proceso o ciclo (por ej. $P1$, $W1-2$, W_{neto}).

Si quieres crear una variable función de alguna de las anteriores debes escribirla como Nueva, empezando por poner el nombre que quieres asignarle y construyendo la expresión. Sólo puedes utilizar las variables que has introducido previamente en la Tabla, por lo que debes introducir antes las variables que necesites (por ej. $P2$) o crear funciones intermedias que necesites (Por ej. la relación $P2/P1$).

En este caso debes seleccionar: $P1$, $v1$, $P2$, $v2$, $T2$, n (índice del proceso) que debes definir como: $n = \ln(P2/P1) / \ln(v1/v2)$, $W1-2$ y $Q1-2$

Creada así la tabla de valores, puedes visualizar las funciones que nos interesan y su dependencia con n .

¹² Considera la diferencia entre volumen específico y volumen como variable extensiva.

¹³ Valor constante del exponente n en la expresión $P \cdot v^n = Cte$

- i) Para visualizar la gráfica introduce los valores deseados en los botones **Y1**, **Y2**, **Y3** (puedes poner hasta seis variables entre las dos gráficas) y, del mismo modo, en abscisas la variable apropiada, **n**.
- j) Observa la apariencia de las gráficas y contesta a las preguntas siguientes:
- 1) ¿La forma de las tres funciones de **n**: **W**, **Q** y **T2-T1** te sugiere alguna reflexión?
 - 2) El valor de **Q** llega a cambiar de signo: ¿Cómo se llama el proceso en que se produce este cambio?
 - 3) Toma dos valores de **W** y comprueba que cumplen con la expresión $W = (P_2 \cdot V_2 - P_1 \cdot V_1) / (1-n)$
 - 4) ¿Es válida esta expresión para **n = 1**? ¿Cuál es aplicable en este caso?

C: COMPLETANDO EL CICLO

El proceso antes calculado forma parte del ciclo que recorre un motor de explosión. El ciclo se completa con dos procesos isócoros (la combustión, que provoca una elevación instantánea de la presión sin apreciable variación de volumen, y la expulsión con la válvula de salida abierta que se realiza a volumen constante -el del cilindro- hasta el nuevo proceso de compresión. En el caso del ciclo cerrado, que es el que simulamos, este proceso a volumen constante se corresponde con un proceso de enfriamiento).

Para completar este ciclo en la pantalla de Termograf utilizaremos la herramienta  que permite conectar un proceso a un estado previo. Necesitamos alguna condición para determinar los procesos que faltan. Definiremos:

- El estado de arranque de la compresión: con mínima presión y $V = V_{\text{máx}}$. (cilindrada que corresponde al volumen máximo del pistón cuando el émbolo está en el PMI). Este estado se encuentra en condiciones ambiente, en este caso: 1 bar y 300 K.
- El final de este proceso de compresión: estado de mínimo volumen (émbolo en el PMS).

Así, pulsamos el botón antes citado, y añadimos un proceso isócoro a partir del estado final del proceso existente, de modo que acabe en la presión 1 bar. Si el estado final no termina en 300 K, podemos ajustarlo en la tabla de estados.

A continuación añadimos, por el mismo procedimiento, la expansión adiabática (reversible) hasta el volumen mínimo del ciclo, V del PMS, en cc, (más o menos el volumen del estado inicial, **A**, del proceso construido con los datos experimentales).

Completamos el ciclo con la expansión isócara que corresponde a la combustión del proceso real. Para unir el estado final de este último proceso con el inicial del proceso obtenido en los apartados anteriores, no tenemos más que pulsar el botón Control a la vez que soltamos un estado cuando está sobre el otro.

De este ciclo se pide:

#5) W neto realizado cada vez que se recorre el ciclo (ΣW), en kJ

#6) Q absorbido en el proceso equivalente a la combustión

#7) Rendimiento del ciclo, definido como $\eta = W \text{ neto} / Q_{\text{abs}}$

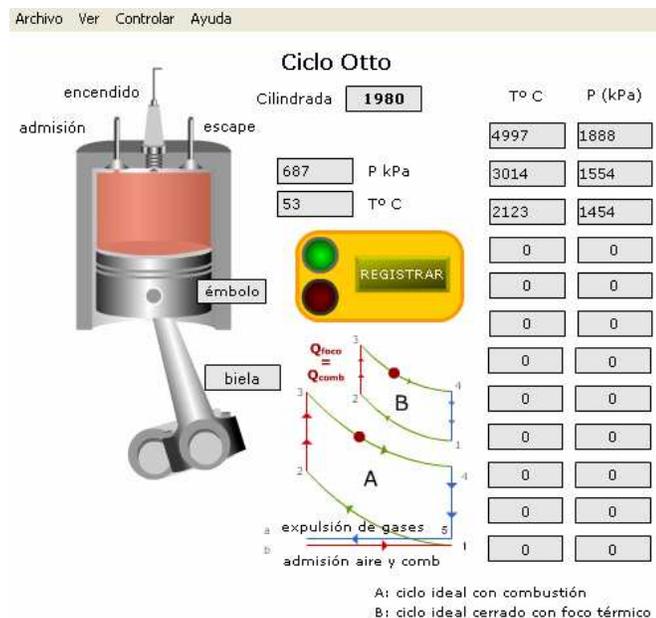


Imagen del simulador

Anexo e) Guión de prácticas correspondiente al informe entregado por un estudiante que se adjunta.

El guión de prácticas con el informe de un estudiante se recoge al final de la memoria. Se adjunta este ejemplo al objeto de comprobar que un guión de prácticas con informe está optimizado no sólo porque el estudiante utiliza el fichero digital original para ir insertando las respuestas sino porque en su mayor parte es ayudado por Termograf para tener materiales adecuados a la presentación.

En segundo lugar, puede comprobarse que el original de la práctica (2004-2005) no coincide exactamente con el informe que se realiza con el guión del 2002-2003. Se ha buscado esta discrepancia para mostrar que el guión es adaptable al ritmo del curso gracias a la flexibilidad que proporciona Termograf. Este es uno de los objetivos que perseguimos ya que las prácticas deben ofrecer una coherencia temporal y no solo de contenidos con el curso en cuestión.

Anexo f) Un capítulo del hipertexto creado para el entorno de aprendizaje (*Material incluido en el CD)

Se incluye el fichero de texto correspondiente a un documento multimedia incluido en el CD. El texto está tomado de dicho documento multimedia y no incorpora ni gráficas ni botones, búsquedas o enlaces que si aparecen en el multimedia creado con el GESTOR. El texto del capítulo se ha reducido en parte para evitar extender la memoria impresa.

TEMA 8

SEGUNDO PRINCIPIO DE LA TERMODINÁMICA LEY DE DEGRADACIÓN DE LA ENERGÍA

Hemos visto hasta el momento que la Energía total del Universo permanece constante. Es lo que conocemos como Primer Principio de la Termodinámica.

Hemos visto también que, en consecuencia, la única posibilidad es que la Energía se transforme de unas formas en otras que en principio parecen equivalentes, mediante los flujos de W y Q.

Vamos a ver ahora que sin embargo, no todas las formas de energía son equivalentes, ni tampoco los flujos, pues no podemos obtener de ellos el mismo aprovechamiento. Por lo tanto, al hablar de Energía no sólo hemos de tener en cuenta la cantidad (Primer Principio) sino también la calidad: Esto está ligado a su vez con la irreversibilidad de los procesos, y constituye lo que se llama **Segundo Principio de la Termodinámica**.

El Segundo Principio nos da cuenta por una parte de la imposibilidad de ciertos procesos, y por otra nos habla de la eficiencia de aquellos que sí son posibles, en función de su irreversibilidad. Cuanto más irreversible es un proceso, menor es su eficiencia y mayor es la **ENTROPIA** que se genera en el Universo, como más adelante veremos, a causa de dicho proceso.

Esto significa una mayor degradación de la Energía, es decir, mayor cantidad de Energía no disponible (o que no podemos aprovechar).

De manera simple diríamos: **Hagas lo que hagas, siempre sacas menos de lo que has metido.**

OBJETIVOS

CONTENIDOS :

- 8.1. Concepto de Irreversibilidad. Irreversibilidad Mecánica y Térmica.
- 8.2. Máquinas térmicas. Rendimiento térmico. Energía disponible.
- 8.3. Segundo Principio de la Termodinámica. Enunciados de Kelvin—Plank y Clausius.
- 8.4. Ciclo de Carnot. Motor y frigorífico o bomba de calor.
- 8.5. Teorema de Carnot.
- 8.6. Factor de disponibilidad del calor.

8.1. CONCEPTO DE IRREVERSIBILIDAD: IRREVERSIBILIDAD MECÁNICA Y TÉRMICA

Habíamos definido los procesos irreversibles como aquellos que al producirse en sentido contrario no podían restablecer las transferencias energéticas del proceso inicial.

Esto está ligado con la idea de la degradación de la energía. Es decir, en las transformaciones se pierde calidad de la energía.

La irreversibilidad de los procesos puede ser de dos tipos:

- a) **Irreversibilidad MECÁNICA:** Debida a rozamientos externos o internos al sistema termodinámico. En general, nos interesarán aquellos rozamientos que se produzcan **internamente** en el sistema o en la propia frontera sin suponer transferencias de energía al exterior (por ej., la energía involucrada en el rozamiento de un pistón si no sale fuera del sistema). Sólo interviene el sistema y por tanto hablamos de **irreversibilidad interna**.
- b) **Irreversibilidad TÉRMICA:** Se produce cuando hay un flujo de calor entre dos cuerpos a distinta temperatura. Implica pues una interacción en la frontera en la que están envueltos el sistema y el entorno. Se trata por tanto de una **irreversibilidad externa**.

Hay una posibilidad de que el flujo de calor entre el sistema y el entorno a distinta temperatura se realice de manera reversible. Será así si el flujo de calor entre los dos sistemas a distinta temperatura no se produce directamente, sino a través de un motor reversible, entonces no existirá tal irreversibilidad térmica, sino que el proceso será reversible. En todo caso, cuanto menos irreversible sea el motor, menor será también la irreversibilidad térmica, como veremos más adelante.

Analizaremos a continuación en qué consiste la pérdida de calidad.

8.2. MOTOR Y MÁQUINA TÉRMICA. RENDIMIENTO TÉRMICO. ENERGÍA DISPONIBLE

Hemos estudiado hasta ahora diversos procesos en los que se producían transformaciones de trabajo en calor y viceversa (expansiones o compresiones no adiabáticas, etc.). En general el trabajo produce un aumento de la energía interna del sistema, cuando se actúa exteriormente sobre él, y si el sistema no está térmicamente aislado, esto supone flujos de calor al entorno como resultado final.

Comprobamos experimentalmente que la transformación $W \rightarrow Q$ se puede realizar al 100%, es decir, podemos transformar una cierta cantidad de trabajo íntegramente en calor, como de hecho vemos que ocurre por ejemplo con el rozamiento.

Igualmente podemos transformar íntegramente la energía mecánica en energía eléctrica, mediante la realización de trabajo, por lo que decimos que el trabajo es energía totalmente utilizable.

Ahora bien, la transformación que realmente nos interesa a nosotros es la transformación inversa, es decir: $Q \rightarrow W$, porque ésta es precisamente la que utilizamos para hacer funcionar los dispositivos que llamamos **MÁQUINAS TÉRMICAS**, como son los motores, las centrales eléctricas, las células de com-bustión, etc.

Nos preguntamos entonces: ¿Podemos conseguir que esta transformación, $Q \rightarrow W$, sea también al 100%?

Vamos a ver que sí (en ciertos procesos): Tomemos como ejemplo un sistema formado por un fluido (gas ideal), contenido en un cilindro con un pistón (Fig. 8.1). Si le comunicamos una cierta cantidad de calor mediante un proceso isotermo **reversible**, poniéndolo en contacto con un foco a una cierta temperatura T , obtendremos un trabajo de expansión W_{exp} y la transformación será efectivamente al 100% ya que ΔU será cero.

Fig. 8.1.- Transformación $Q \rightarrow W$ al 100 %

Fig. 8.2.- Procesos de dicha transformación

Pero ¿qué utilidad tiene este proceso? No demasiada, ya que para poder obtener todo el trabajo que quisiéramos necesitaríamos un cilindro infinitamente largo... o bien tendríamos que volver a comprimir el pistón para que se expansionara de nuevo. Claro que si esto lo hacíamos mediante el proceso isoterma contrario (Fig. 8.2), habría que hacer el mismo trabajo antes obtenido, luego no habríamos ganado nada.

Si por el contrario se tratara de un proceso reversible, la energía disponible se mantendría constante. Igualmente, en un proceso adiabático reversible, no habrá variación en la energía disponible puesto que el calor no interviene ni en forma de flujo externo ni en forma de rozamiento.

Un proceso cualquiera, en general, tendrá flujos tanto de calor como de trabajo, y por tanto la energía puesta en juego será en parte disponible y en parte no disponible.

La degradación de la energía consiste en el aumento de la parte de energía no disponible en un proceso, lo que significa menor posibilidad de aprovechamiento.

8.3. SEGUNDO PRINCIPIO DE LA TERMODINAMICA. ENUNCIADOS DE KELVIN—PLANK Y CLAUSIUS

Lo visto hasta ahora, nos permite enunciar el **Segundo Principio de la Termodinámica** de diversos modos:

- ◆ **El calor es sólo parcialmente disponible.**
- ◆ **La energía no puede utilizarse de cualquier forma.**
- ◆ **Sólo ciertos procesos son posibles.**

O como ya Carnot entrevió en sus experiencias: **Aún en el caso de un motor perfecto (reversible) como es el llamado MOTOR DE CARNOT, éste no puede transformar todo el calor en trabajo, pues ello supondría transformar la parte de Energía no disponible en disponible, lo cual iría en contra del principio de la degradación.**

Esto fue enunciado formalmente por Kelvin—Plank como el Segundo Principio de la Termodinámica, de la siguiente forma: **Es imposible construir una máquina que funcione según un ciclo extrayendo calor de un foco y transformándolo íntegramente en trabajo.**

Esto significa que una parte del calor no se va a poder transformar en trabajo, con lo cual tendrá que ser entregado a un foco frío.

Es decir que para que una máquina térmica funcione, necesitamos al menos dos focos, lo cual supone que no podemos utilizar el mar o la atmósfera como fuentes inagotables para extraer calor, sino que siempre tendremos que contar con una diferencia de temperaturas, al igual que en el símil del agua, ésta necesita un desnivel para fluir (Carnot).

Esto implica por lo tanto que **NO PUEDE EXISTIR el MOVIL PERPETUO DE SEGUNDA ESPECIE (PMM2)**, que sería una máquina perfecta, de rendimiento unidad capaz de transformar todo el calor extraído de un foco, en trabajo.

Asimismo el Segundo Principio fue enunciado por Clausius de la siguiente forma: **Es imposible construir una máquina que funcione según un ciclo extrayendo calor de un cuerpo frío y cediéndolo íntegramente a otro más caliente.**

En él se basa el funcionamiento de la máquina frigorífica que no es otra cosa que un motor térmico que funciona en sentido inverso, es decir, consigue extraer calor a temperatura baja, y gracias a la realización de trabajo exterior, cede una cantidad mayor de calor a la atmósfera a temperatura más alta.

En definitiva, el Segundo Principio nos indica la imposibilidad de utilizar la energía de cualquier manera, y constituye una Ley de la Naturaleza independiente de todas las demás.

Fig. 8.4.- Representación de los enunciados de Kelvin-Plank y Clausius

Los dos enunciados son equivalentes. Veámoslo: Demostrar que los enunciados son equivalentes es lo mismo que demostrar que la negación del primero implica la negación del segundo, y que la negación de éste implica a su vez la negación del primero.

Es decir: $A \leftrightarrow B \equiv \neg A \Rightarrow \neg B$ y $\neg B \Rightarrow \neg A$

Fig. 8.5.- Demostración de la validez de Kelvin-Plank a partir de Clausius

a) **Veamos primero que Clausius falso \Rightarrow Kelvin falso:** Supongamos que existe un motor que trabaja como frigorífico extrayendo Q_F calorías de un foco frío y entregándolas íntegramente a un foco caliente, sin aporte de trabajo.

Supongamos que existe a la vez un motor que funcionando entre los mismos focos extrae una cierta cantidad de calor Q_C del foco caliente y entrega al foco frío la misma Q_F que el anterior, realizando un trabajo igual a la diferencia.

El efecto conjunto de ambas máquinas sería una que transformaría en trabajo íntegramente el calor extraído, lo cual viola el enunciado de Kelvin.

b) **Veamos ahora que Kelvin falso \Rightarrow Clausius falso:** Supongamos un motor que trabaja convirtiendo todo el calor en trabajo. Si funciona a la vez que un frigorífico, entre los mismos focos, y tal que el trabajo que absorbe dicho frigorífico es el mismo que el que cede el motor, nos encontraríamos que en definitiva el conjunto sería un frigorífico que cedía al foco caliente íntegramente, el calor extraído del foco frío, sin otro cambio adicional, lo cual contradice Clausius.

Por tanto, concluimos que para que una máquina térmica funcione, necesitamos como mínimo dos focos y necesariamente habrá una parte de calor cedido, con lo que el rendimiento será siempre menor que uno.

Fig. 8.6.- Demostración de la validez de Clausius a partir de Kelvin-Plank

8.4. CICLO DE CARNOT. MOTOR Y FRIGORÍFICO O BOMBA DE CALOR

Una vez definido el Segundo Principio de Termodinámica y analizado el hecho de que todos los procesos naturales son irreversibles, nos enfrentamos con un problema técnico ¿Cómo sacar la mayor cantidad de energía mecánica de un foco calorífico? o, ¿cómo extraer la mayor cantidad de calor de un foco frío con el mínimo gasto de energía mecánica?, y todo ello respetando las leyes del Segundo Principio.

Sobre la base de que queremos aprovechar al máximo la energía, debemos realizar procesos no disipativos y en continuo equilibrio termodinámico, es decir, **PROCESOS REVERSIBLES DE UNA SUSTANCIA QUE REALICE UN CICLO ENTRE DOS FOCOS CALORÍFICOS.**

Tomemos una sustancia cualquiera, vapor de agua por ejemplo, como vehículo de transformación del calor en trabajo mecánico. Así el vapor de agua va a ser la sustancia que realice el ciclo.

De acuerdo con el Segundo Principio, hay que:

- 1 – Absorber calor del foco caliente.
- 2 – Realizar trabajo,
- 3 – Ceder calor al foco frío, y
- 4 – Cerrar el ciclo. Además, todos estos procesos han de ser reversibles.

8.5. TEOREMA DE CARNOT

Cualquier motor que trabaje entre dos focos térmicos dados según un ciclo distinto del de Carnot, tendrá un rendimiento menor que el motor de Carnot.

Demostración: Supongamos que existe un motor con rendimiento mayor que el de Carnot:

$$\eta_I > \eta_R$$

Según esto, si suponemos que el trabajo que ponen en juego es el mismo entonces:

$$W_C / W_I \Rightarrow |Q_C| > |Q'_C| \quad (1)$$

Como el motor de Carnot es REVERSIBLE podemos hacer que funcione igualmente como frigorífico, con lo cual tendríamos, al combinar ambas máquinas, la equivalente de la figura

Este motor equivalente resultante cumpliría:

$$|Q_F| - |Q'_F| = |Q_C| - W - (|Q'_C| - W) = |Q_C| - |Q'_C|$$

con lo cual resultaría que el calor sacado del foco frío sería exactamente igual al entregado en el foco caliente, sin ninguna otra modificación, con lo que se contradice el enunciado de Clausius, lo cual es imposible.

Luego es falso (1), es decir:

$$|Q_C| > |Q'_C| \text{ es FALSO} \Rightarrow |Q_C| \leq |Q'_C| \Rightarrow \eta_I \leq \eta_R$$

COROLARIO:

Todo motor de Carnot que trabaje entre los mismos focos tiene el mismo rendimiento.

Para demostrarlo bastaría aplicar a dos motores cualesquiera de ellos, R_1 y R_2 el teorema anterior, alternativamente, con lo que tendríamos por una parte: $\eta_{R1} \geq \eta_{R2}$ y por otra parte $\eta_{R2} \geq \eta_{R1}$.

Luego necesariamente se cumplirá: $\eta_{R1} = \eta_{R2}$.

Además, según vemos, **el rendimiento del motor de Carnot no depende para nada de la sustancia utilizada.**

Así pues, como resumen el motor de Carnot cumplirá las siguientes características:

CICLO DE CARNOT:

- Su rendimiento es el máximo que puede alcanzar un motor que trabaje entre dos focos.
- Todos los motores de Carnot trabajando entre dos focos dados T_C y T_F tienen el mismo η .
- El rendimiento es independiente de la sustancia que realice el ciclo.

8.6. FACTOR DE DISPONIBILIDAD DEL CALOR

Podemos calcular la energía disponible que conlleva un cierto flujo de calor, sin más que considerar el trabajo que obtendríamos a partir de dicho flujo, cuando éste fuera utilizado en un motor de Carnot cuyos focos fueran, uno el del flujo de calor, y otro el ambiente.

Fig. 8.8.- Evaluación del ciclo de Carnot

Ahora bien, **el rendimiento del motor de Carnot** no depende ni de la sustancia que sufra los procesos, ni de las características específicas de éstos, sino que **únicamente depende de los focos** con los que trabaje.

Esto significa que el rendimiento η del motor de Carnot está relacionado con **LOS ESTADOS TÉRMICOS** de los dos focos, y sólo dependerá de ellos.

En general, cuando trabaje entre dos focos de temperaturas T_C y T_F , por tratarse de un ciclo: es decir:

$$Q_1 + Q_2 = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 = W_{\text{Total}} = W$$

o lo que es lo mismo:

$$Q_C + Q_F = W$$

La expresión del rendimiento será entonces: $\eta = W / Q_C = (Q_C - |Q_F|) / Q_C = 1 - |Q_F| / Q_C$

y además $\eta_{\text{Carnot}} = f(T_C, T_F)$.

Veámoslo mediante una comprobación para un tipo de sustancia con el que nos sea fácil trabajar. Tomamos como sustancia el gas ideal, puesto que no influye en el desarrollo (recuerda que el rendimiento de Carnot sólo depende de los focos y no de la sustancia, que actúa a modo de portadora) y así los cálculos nos resultarán más cómodos.

En los procesos isotermos donde se intercambia el calor, y por ser gas ideal, tendremos:

con lo que sustituyendo en la expresión del rendimiento $\eta = 1 - |Q_F| / Q_C$ nos queda :

En el caso en que $T_F = T_o$, es decir la temperatura del foco frío fuese la del ambiente, por tratarse de un motor de Carnot, se cumpliría:

$$\eta = 1 - |Q_F| / Q_C = 1 - T_F / T_C = 1 - T_o / T$$

(siendo T la temperatura del foco caliente que suministra el flujo Q).

El trabajo obtenido sería entonces:

$$W_{\text{máx}} = Q_C \eta_{\text{rev}} = Q_C (1 - T_o / T) = Q_D$$

Es decir, estaríamos obteniendo el máximo trabajo posible, de ese flujo de calor, o lo que es lo mismo, la **ENERGIA DISPONIBLE** (Q_D) de dicho flujo.

Fig. 8.9.- Trabajo máximo a partir de un foco en desequilibrio con el ambiente

El factor $(1 - T_o / T)$ recibe el nombre de **FACTOR DE DISPONIBILIDAD** del calor y por tanto podemos concluir que para una temperatura T , el flujo de calor Q a esa temperatura contendrá:

Por tanto, lo máximo que puede hacer un motor térmico con el calor recibido es separar la parte disponible (que será el trabajo obtenido) de la parte no disponible, que se mandaría al foco frío. Esto en el caso de tratarse de un motor reversible.

En la realidad, los motores siempre son irreversibles, por causa de rozamientos, pérdidas de calor, etc, con lo cual el trabajo obtenido será aún menor.

BIBLIOGRAFÍA:

BIBLIOGRAFÍA:

- * Agüera Soriano, J. *Termodinámica Lógica y Motores Térmicos*. Ciencia 3 (1988). Cap. 2 (2.9).
- * Baehr, H.D. *Tratado Moderno de Termodinámica*. Montesó. Cap. 3 (3.1, 3.4),
- * Çengel, Y.A. & Boles, M.A. *Thermodynamics and engineering approach*. Cap. 5.
- * Moran, M.J. & Shapiro, H.N. *Fundamentos de Termodinámica Técnica*. Ed. Reverté. 1993. Cap. 5.
- * Segura, J. *Termodinámica Técnica*. Reverté (1988). Cap. 9 y Cap. 10 (10.1 y 10.2).

Anexo g) Una hoja de resultados de una evaluación cualquiera

Se incluye un documento con los resultados obtenidos por l@s estudiantes en una entrega de multi-ejercicios. Aparte de sus propias tablas de datos y gráficos, la corrección de TermoGraf permite exportar los resultados con formato de hoja de cálculo estándar que pueden ser visualizados y formateados en cualquier aplicación que soporte este formato, como OpenOffice o Excel, herramientas con las que el/la profesor/a analizará los datos de la forma que le resulte más conveniente.

Relación de materiales digitales en el CD

Basta abrir el CD y dar doble clic al Lanzador para optar al menú referenciado. Cada material contiene instrucciones, cuando se consideran necesarias.

- 1. Memoria de la experiencia**
- 2. Materiales multimedia**
- 3. Problema multimedia**
- 4. Prácticas virtuales de simulación**
- 5. Contenidos hipertexto con el Gestor**
- 6. Problema multiejercicio con TermoGraf**
- 7. Prácticas virtuales basadas en multiejercicio**
- 8. Examen dentro de la experiencia**
- 9. Animación sobre conceptos (el diablillo de Maxwell)**
- 10. Presentación multimedia de los elementos del entorno de enseñanza.**