

LA ENSEÑANZA DEL USO RACIONAL DE LA ENERGÍA EN LAS MATERIAS DEL AREA TÉRMICA EN LAS CARRERAS DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y MECÁNICA

Dra. María Isabel Sosa (1) Ing. Alberto Fushimi (2),
Área Térmica, Departamento Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata
Avda. 1 Esq. Calle 47 (1900) La Plata, P.B.A.
Teléfono: 54 221 422 1862. Fax: 54 221 425 9471

(1) misosa@volta.ing.ing.unlp.edu.ar, (2) afushimi@volta.ing.unlp.edu.ar

RESUMEN: El objetivo del presente trabajo es relatar las experiencias sobre las actividades docentes de grado, y los resultados que se considera estar obteniendo en un área específica de la enseñanza de la Ingeniería que apunta al correcto uso de los recursos en los procesos termo-energéticos. Las Asignaturas en las que se tratan estos temas son: Termodinámica y Máquinas Térmicas de la Carrera de Ingeniería Industrial, (10 horas por semana), y Termotecnia IV de Ingeniería Mecánica, (4 horas por semana), dictadas ambas por docentes del Área Térmica.

Se describe la metodología empleada utilizando hoja de calculo, una herramienta simple y accesible a cualquier estudiante avanzado de Ingeniería o profesional del área, para analizar un sistema térmico en general, teniendo en cuenta las posibles complejidades del mismo. Se destaca la importancia en la formación del futuro ingeniero de realizar siempre un estudio termoeconómico, evaluando no solo el rendimiento termodinámico sino el costo efectivo del sistema térmico de forma de estimar las ventajas de alternativas que conduzcan a un ahorro energético y al uso racional de los recursos energéticos.

Palabras clave: uso racional de la energía, conservación de recursos, sistemas térmicos, desarrollo sustentable, metodología, diseño curricular.

INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente, la currícula de la carrera de Ingeniería Mecánica en su área Térmica comprendió las asignaturas de dictado anual Termodinámica Técnica, y Máquinas Térmicas I y II para cubrir los aspectos científico académico y tecnológicos de las unidades y sistemas térmicos. A partir del año 1988, todas las Asignaturas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata pasaron a ser de dictado cuatrimestral, con lo que las dos últimas pasaron a ser tres, denominadas Termotecnia I, II, y III, con lo que los contenidos que demandaban dos años debieron ser dictados en uno y medio. Esto fue posible debido a la coordinación implementada entre las Cátedras mencionadas, basada en su integración en el Área Termotecnia, creada en 1988, y que pasó a llamarse Área Térmica en 1998 con la integración de Termodinámica. (Fushimi, Taladriz, 1998). En 2000 se implementó la Cátedra de Termodinámica y Máquinas Térmicas de la nueva Carrera de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ingeniería de la UNLP, con un fuerte énfasis en el tema Uso Racional de la Energía en los Sistemas Térmicos Industriales.

El objetivo del presente trabajo es relatar las experiencias sobre nuestras actividades docentes de grado, y los resultados que creemos estar obteniendo en un área específica de la enseñanza de la Ingeniería que apunta al correcto uso de los recursos en los procesos termo-energéticos, recolectar las observaciones, críticas y sugerencias que nuestros colegas deseen hacernos llegar, como asimismo poner a disposición de quienes lo requieran, la colaboración que de nuestra parte podamos brindar.

CREACION DE TERMOTECNIA IV

En 1988 existió pues la posibilidad de agregar una asignatura cuatrimestral cuyos objetivos y fueron definidos como sigue:

- Integrar los conocimientos adquiridos en las Asignaturas de la Carrera que se cursan en el Área en el análisis de sistemas térmicos simples o complejos, en forma exhaustiva, rigurosa y realística en cuanto a la consideración del uso racional de los recursos energéticos, el impacto ambiental, y las consideraciones económico financieras.

¹ Profesor Titular, Departamento Mecánica, Facultad de Ingeniería UNLP

² Profesor Titular, Departamento Mecánica, Facultad de Ingeniería UNLP

- Desarrollar la habilidad para la definición conceptual de las problemáticas a analizar, sus parámetros, variables independientes y performances expresadas en indicadores cualitativos, su correlación con las variables relevantes en modelos computacionales y su utilización para que el alumno desarrolle tareas de optimización técnico-económica de diseño u operación, predicción de comportamientos en condiciones diferentes de las nominales, y/o evaluación de alternativas de cambios de diseño del sistema, o de sus prácticas operativas..
- Crear el hábito de la observación crítica de las cosas hechas por el hombre hasta el momento, y la detección de las oportunidades de innovación que se abren a partir de un análisis riguroso sobre bases científicas.

En cuanto a los contenidos de las asignaturas en las que se trata el Uso Racional de la Energía, se consideró oportuno incluir en una primera etapa los procesos tradicionales basados en el Primer Principio de la Termodinámica, o sea regenerativos o recuperativos conocidos generalmente como “housekeeping”, y que pueden ser resueltos en forma relativamente simple. Pero el principal énfasis se pone en el análisis bajo las consideraciones del Segundo Principio de la Termodinámica.

Si bien los conceptos tales como “reducción de las irreversibilidades”, “cogeneración”, “ciclos combinados”, o “transferencia exergética”, etc. no son novedosos desde el punto de vista científico, existe un muy bajo nivel de conocimientos y consecuentemente de aplicación por parte de nuestros Ingenieros que se evidencia en la práctica, con relación a lo que sería deseable desde el punto de vista de la sustentabilidad en el campo energético. Esto se ha puesto de manifiesto en los muchos casos que hemos estudiado en Industrias Locales.

Puesto que se consideró imprescindible haber realizado algún trabajo real para que los docentes involucrados tuvieran la solvencia y autoridad necesaria para el dictado de esta asignatura, (Fushimi et al, 1985), se logró la concreción de un acuerdo con las Firmas Maleic S.A y Polibutenos Argentinos S.A del Complejo Petroquímico de Ensenada para hacer en 1990 un estudio de prefactibilidad de una instalación de cogeneración sin cargo para estas Empresas. Este trabajo se hizo en el verano de 1990-1991 mediante la modelización en hoja de cálculo, y fue recibido con interés por los representantes de ambas firmas.

CREACIÓN DE TERMODINÁMICA Y MÁQUINAS TÉRMICAS

En el año 1998 se inicia la Carrera de Ingeniería Industrial en la Universidad Nacional de la Plata. En el programa de la Carrera, se incluye Termodinámica y Máquinas Térmicas, con una carga horaria de 10 horas por semana. El dictado de la misma comienza en 1999 para alumnos de cambio de carrera a cargo del Profesor de Termodinámica para Ingeniería Mecánica, y cuyos contenidos consistieron en un resumen de Termodinámica Técnica, Máquinas Térmicas I y II de la Carrera Convencional de Ingeniería Mecánica. La evidente desconexión de los temas con los requerimientos de la Carrera produjo la disconformidad de los estudiantes quienes solicitaron que la materia fuera incluida entre los del Área Térmica del Departamento Mecánica. Esto fue aceptado por las autoridades de la Facultad, siendo designada en el año 2000 como Profesor Titular, la Dra. Maria Isabel Sosa. Estando ubicada la materia en el tercer año de la carrera, en ese año recibió a la primera promoción de alumnos inscriptos en la carrera de Ingeniería Industrial.

A partir de esta decisión, se propuso un nuevo programa que incluye en su aspecto tecnológico las unidades y sistemas térmicos relevantes en Plantas Industriales y su optimización, tanto en su diseño como de su operación. Si bien el tiempo disponible es reducido con relación al que se dispone en Ingeniería Mecánica, hay una buena coincidencia entre Termotecnia IV de Mecánica y Termodinámica y Máquinas Térmicas de Industrial en cuanto al tratamiento del Uso Racional de la Energía en los Sistemas Térmicos.

CREACION DE LA UID

En 1992 se constituyó en el Departamento de Mecánica de la Facultad de Ingeniería, la Unidad de Investigación y Desarrollo (UID) en temas del Uso Racional de la Energía en los Sistemas Térmicos, que realizó una cantidad de estudios de Cogeneración en Industrias a través de dos convenios con el Ente Provincial Regulador Energético (EPRE). Mas adelante se obtiene la acreditación del Proyecto “Cogeneración de Energía” (I-12 para el periodo 1995 y 1997, I-48 entre los años 1997 y 2000, y actualmente el I-70 para el periodo 2000 y 2003).

Como consecuencia de las experiencias recogidas en trabajos de Investigación y Desarrollo, de Extensión Universitaria y Servicios a Terceros realizados, resultó posible perfeccionar los contenidos de las Asignaturas del Área y crear un curso de Postgrado tipificado como curso de especialización del Departamento de Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la UNLP de 54 horas de duración, incorporando las metodologías de Análisis de Diseño de Sistemas Térmicos mediante la confección y utilización de modelos computacionales en hoja de cálculo, y módulos componibles. En el año 2001 se dictó por primera vez el curso de perfeccionamiento “Cogeneración II” que incluye el análisis de performances operativas de sistemas complejos, el estudio exergético y conceptos de Termoeconomía.

CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA TERMICO

Todo sistema térmico complejo incluye diversas unidades térmicas como ser turbinas de vapor o gas, válvulas laminadoras, compresores, calderas de recuperación de calor, torres de enfriamiento, desobrecalentadores, desgasificadores, recuperadores de vapor flash, etc. Algunas de estas unidades no son factibles de definir su diseño, como ser el caso de las turbinas de gas, dado que las mismas no se construyen según las especificaciones del usuario. En estos casos, el sistema deberá adecuarse a las unidades disponibles en el mercado, que una vez seleccionada define parámetros tales como el caudal y la temperatura de los gases de escape, la potencia obtenible y el consumo total y específico de combustible relacionado con la eficiencia de la generación de trabajo.

En plantas o complejos industriales que requieren además de electricidad, vectores calóricos a varias temperaturas, es de frecuente utilización el sistema de vapor de presiones escalonadas. Generalmente estas no son mayores de 105 bar, con escalones menores según las características de las demandas. La generación de vapor se realiza a la máxima presión del sistema. Posteriormente la presión se reduce mediante su expansión en turbinas o en válvulas laminadoras. La temperatura del vapor sobrecalentado puede ser reducida mediante atemperadores o desobrecalentadores

Históricamente en la enseñanza del diseño de unidades térmicas y el comportamiento de sistemas térmicos complejos se ha tropezado con el problema que los alumnos debían realizar una gran cantidad de cálculos, los cuales eran muy tediosos y largos si se los realizaba en la forma tradicional con "calculadora, lápiz y papel". El tiempo consumido en este proceso desviaba la atención hacia la resolución numérica, restando energía para concentrar la atención en la comprensión de los fenómenos asociados a la problemática, tendientes a hallar la mejor alternativa para la cuestión planteada

En general los problemas tratados son muy complejos, dependientes de un sinnúmero de parámetros, conduciendo a cálculos tediosos si no se hacen simplificaciones. La introducción del recurso informático permite el tratamiento de estos problemas de múltiples variables, evitando la introducción de simplificaciones. Asimismo mediante este recurso se puede visualizar rápidamente el comportamiento global de un sistema térmico en condiciones simuladas y optimizar el diseño y operación del mismo.

Por otro lado, debía ofrecerse al futuro profesional de la rama ingenieril una formación sólida para desempeñarse con eficiencia e idoneidad en el actual mundo competitivo, donde la Informática juega un rol decisivo

MODELIZACIÓN DE UN SISTEMA INDUSTRIAL COMPLEJO

Por modelización se entiende la confección de un modelo (computacional), o conjunto algorítmico que representa al sistema térmico real en cuanto a sus relaciones causa - efecto de interés, para su análisis u optimización, sin necesidad de construir y ensayar el mencionado sistema. Se basa en la aplicación de las leyes y correlaciones que describen los fenómenos que se producen en el sistema, generalmente con simplificaciones aceptables a efecto de evitar una complejidad innecesaria para la precisión requerida en los resultados.

Un modelo de sistema térmico tiene una o varias funciones objetivo (tasa de retorno, rendimiento, costo total, etc.) que dependen de variables y parámetros (variables que se mantienen constantes en el transcurso de un análisis). Las variables independientes que determinan la función objetivo se denominan variables de decisión y sus valores pueden ser determinados en los análisis de optimización.

El objetivo de la modelización es posibilitar la simulación del comportamiento de un sistema global cuando se alteran las condiciones operativas, en especial las demandas y ver como estos cambios alteran el ingreso de energía al sistema. A través de la modelización es posible determinar los costos energéticos marginales del vapor para usos calóricos y/o generación de trabajo, constituyendo una guía para la optimización operativa del sistema y la base para mejoras del diseño del mismo.

Según sea el objetivo buscado a través de la modelización del sistema térmico, el modelo puede ser de diseño, o de operación. En el primero, tanto el sistema global como las unidades térmicas pueden ser analizadas en el "modo diseño" (parámetros de diseño, como función de las condiciones operativas y las de performance especificadas) o en el "modo performance o simulación operativa" (comportamiento como función de las condiciones operativas manteniendo constante los parámetros de diseño). Un análisis térmico completo del sistema involucrado debe incluir ambos aspectos y a través de ello es posible definir la factibilidad económica del sistema, si se incluyen datos de inversión, financiamiento, costos y beneficios.

Puesto que un sistema térmico está constituido por una cantidad de unidades térmicas que operan según una interconexión y secuencia o lógica establecida, su modelización puede ser hecha mediante la composición de módulos que representan las unidades intervinientes, que se vinculan entre sí directamente o por funciones lógicas según se requieran. Puesto que a través de los trabajos realizados por la UID se dispone de la mayoría de los módulos necesarios en una biblioteca de módulos, la tarea de modelización queda notablemente simplificada. Esta metodología es utilizada extensivamente en el Area Térmica.

Basado en la experiencia realizada en un estudio de la incidencia de practicas operativas del sistema de energía total en el consumo total de energía primaria de una importante planta petroquímica del polo industrial Ensenada, próximo a la ciudad de La Plata, se confeccionó un modelo computacional utilizando hoja de calculo, el cual está siendo utilizado en la enseñanza de las materias del Área Térmica desde 1997.

IMPLEMENTACION DE LA HOJA DE CALCULO

La característica de las problemáticas del análisis de diseño o de operación de sistemas térmicos, de la multiplicidad de las variables relevantes que interactúan, hace necesaria la confección de modelos computacionales si se desea visualizar el efecto de cada una de ellas en las magnitudes y los indicadores cualitativos en forma rápida y rigurosa. En nuestro caso hemos optado por la hoja de cálculo por los siguientes motivos:

- El software de la hoja de cálculo es de fácil disponibilidad, se encuentra en los paquetes comunes de Oficina
- Contiene todas las herramientas y las funciones necesarias para la modelización de sistemas térmicos.

- Es posible el planteamiento de cálculos iterativos simples. Para los casos secuenciales existe una interfase para la programación por Basic.
- La programación es simple, en general no requiere el conocimiento de un lenguaje en particular.
- Su formato en páginas de libros para cada archivo permite ordenar los temas del modelo
- Los componentes de los sistemas pueden ser modularizados para facilitar la modelización.
- La tabulación de los valores de interés, y graficación son de fácil realización, pudiendo vincularse en forma dinámica con un texto explicativo.
- Posee facilidades de dibujo suficientes para la representación de diagramas, con parámetros dinámicos.

Los módulos preconfeccionados en planilla de cálculo analizan funciones características, como ser:

- Análisis de las demandas de vectores calóricos y los aportes recuperativos de vapor con calor residual de los procesos
- Análisis de la expansión del vapor en turbinas de vapor
- Determinación de los parámetros de estado del vapor de interés en los puntos singulares del sistema.
- Análisis de la producción de vapor flash, de la expansión del vapor en válvulas laminadoras para la reducción de la presión, del sobrecalentamiento a presión constante del vapor sobrecalentado, del balance del desaireador térmico, etc.
- Análisis económico financiero con determinación de indicadores convencionales, IRR, NPV, Payback, etc.

METODOLOGÍA DE LA ENSEÑANZA

Se comienza cada uno de los temas con una introducción teórica, necesaria para abordar los aspectos metodológicos de la resolución de los problemas que se pueden plantear en torno al mismo. El aspecto teórico práctico tiene que ver con la definición conceptual de la problemática a resolver, y su adecuada modelización en un programa computacional en el que sea posible manipular todas las variables que incidan en las performances del sistema que se desea evaluar, o visualizar las consecuencias de tal proceder.

Se continua con la ejecución de los Trabajos Prácticos. Los mismos son realizados por los alumnos en grupos o comisiones de alrededor de 4 alumnos que se agrupan en lo posible por afinidades. Se considera que la discusión que puedan plantearse entre los integrantes de la comisión es beneficiosa y en consecuencia se trata de promoverla. Una parte importante del tiempo que lleva esta actividad transcurre fuera de la Institución; afortunadamente la mayoría de las comisiones logra disponer de una máquina (computadora) de uso familiar de uno de los integrantes, con lo que se ha venido solucionando la insuficiente cantidad de máquinas disponibles en el Departamento hasta el presente. La resolución de problemas o análisis de sistemas ha demostrado ser sumamente motivador para los alumnos, por ser relativamente sencilla la confección de modelos de sistemas complejos mediante la composición de módulos que ya se encuentran confeccionados y probados, siempre que se tengan en claro los aspectos conceptuales de lo que se tiene o desea tener.

A efecto de proveer el nivel necesario de tutoría que requieren los alumnos, se convocan a alumnos que han terminado satisfactoriamente y aprobado la materia a colaborar en el Area como Ayudantes Alumnos ad honorem, complementando la tarea de los JTP en la asistencia cuasi personalizada de los alumnos. La mencionada asistencia no debe ser una simple explicación de qué hacer o como hacerlo, sino darles a los alumnos las pautas necesarias para orientar su pensamiento en la dirección en que puedan realizar las tareas intelectuales con las que solucionen sus problemas u obtengan las conclusiones de validez práctica que se desean buscar.

Las reuniones entre los integrantes de las comisiones y uno de los docentes del Area son oportunidades valiosas de transferencia de conocimientos actitudinales, la actitud del futuro profesional ante el problema a resolver, su creatividad, vocación por la innovación, optimización, y rigurosidad. O sea la razón de ser de la tarea del Ingeniero actual, que ha debido dejar atrás los procedimientos incluidos en los "Manuales del Ingeniero" para enfrentar un mundo competitivo en el que se requiere crecientemente buscar y aplicar nuevos conocimientos si se desea triunfar en el campo de las tareas creativas.

Cada trabajo implica una cantidad de conclusiones de interés, que los alumnos deben descubrir e incluir en el Informe del Trabajo. Se solicita que el mencionado informe no sea de carácter académico sino profesional, o sea "como si se estuviera confeccionando un informe sobre un trabajo que les ha sido solicitado por algún comitente a quien se le debe solucionar problemas concretos". Deben excluirse las interminables corridas de los programas, y limitarse a una explicación contextual de la problemática a resolver, los estudios realizados, los supuestos básicos o hipótesis simplificadoras debidamente justificadas, y fundamentalmente las conclusiones y recomendaciones ilustrados por tablas de fácil interpretación o gráficos según se consideren medios adecuados para la mejor comprensión de lo que se presenta.

TRABAJOS PRÁCTICOS

Los Trabajos Prácticos se realizan con computadora. Los alumnos deben presentar un informe sobre cada uno de estos trabajos los que son revisados por los docentes de la Cátedra. Algunos de estos informes deben ser defendidos por los integrantes autores, de cada Comisión de Trabajo

- 1) Modelización de turbinas de condensación con extracciones controladas. Ecuaciones principales y establecimiento de los límites de validez.
- 2) Comparación de costos marginales de producción de frío en máquinas de compresión y de absorción con vectores

- energéticos convencionales y generados por un sistema de turbina de vapor con extracciones controladas.
- 3) Modelización de un sistema industrial complejo de energía total con dos niveles de presión. Aplicación a la determinación de los costos marginales de los vectores energéticos suministrados, y la detección de mejoras operativas y de diseño del sistema.
 - 4) Trabajo Práctico sobre confección de programas de diseño básico de calderas de recuperación por composición de módulos. Programa de simulación operativa.
 - 5) Modelización de un ciclo combinado de una presión por composición de módulos. Programa de simulación operativa. Obtención de conclusiones.
 - 6) Análisis de sistemas de cogeneración con turbina de gas y caldera de recuperación. Análisis técnico y económico. Confección del modelo y análisis de alternativas.
 - 7) Evaluación técnica y económica de casos de cogeneración por bottoming. Confección del modelo y análisis de las alternativas de interés.
 - 8) Confección del modelo computacional. Análisis técnico y económico de sistemas de cogeneración con motores alternativos

Se trata que los alumnos discutan en el ámbito de su comisión el esquema conceptual del sistema a modelizar en base a los conocimientos conceptuales impartidos en las clases teóricas o teóricas prácticas. Esta etapa es la más ardua para los alumnos debido a la indisponibilidad de puntos de referencia debido a su inexperiencia en el tema. Si bien en general es la etapa en la que mayor tutelaje requieren de los docentes, existen casos en que los alumnos sorprenden a los docentes por la creatividad de algunas de sus propuestas, aunque en la mayoría de los casos estas deben ser moderadas por aspectos prácticos o de costos de inversión.

La confección de los modelos en general no ofrece mayores inconvenientes a los alumnos por lo que el nivel de ayuda que requieren es menor. Los chequeos de consistencia van dando pautas de errores cometidos, por lo que los errores que cometen en esta etapa no llegan a los docentes con una frecuencia que pudiera ser preocupante.

En años anteriores, los alumnos presentaban trabajos prácticos voluminosos que consistían en una innecesaria cantidad de corridas del modelo que hacían en forma mecánica, sin guardar relación con las conclusiones que podían obtener de tal proceder. Esto fue controlado mediante la explicitación de que la Cátedra considerará de tanto menor calidad al trabajo presentado cuanto mayor sea el número de corridas inútiles fueran detectadas, número de decimales y todo otro elemento cuya inclusión en el informe no fuera imprescindible.

METODOLOGÍA DE LA EVALUACIÓN DE LOS ALUMNOS

De los trabajos prácticos realizados por los alumnos según se describe arriba, todos ellos deben ser revisados y corregidos los errores que se hubieran cometido.

Los trabajos indicados en (3), (5), (6), (7) y (8) deben ser adicionalmente aprobados en un coloquio de defensa de cada uno de los mismos, en los que deben presentarse todos los integrantes de la comisión con el trabajo previamente revisado.

La aprobación de todos los coloquios implica la aprobación de la Asignatura, siendo la calificación que les corresponde, el promedio de las calificaciones de cada uno de los coloquios, el que puede ser aumentado o disminuido ligeramente (redondeos) en función del concepto que el alumno haya merecido por su comportamiento en el curso. Si bien se lleva control de la asistencia, este control no se utiliza en el cálculo de la nota, sino en el concepto que se atribuye por ello. Dado el reducido número de alumnos, existe en la realidad una evaluación prácticamente continua, y el docente generalmente ya tiene una noción bastante exacta del desempeño del alumno antes de su presentación al coloquio.

Esta práctica mejora el aprovechamiento del tiempo disponible durante el cuatrimestre por cuanto se reduce el tiempo de clases dedicado a las evaluaciones y adicionalmente, el diálogo alumno - docente en los coloquios constituye una sesión educativa más para los alumnos.

DISCUSION DE RESULTADOS

La optimización energética debe ser un objetivo primordial en cualquier estudio desarrollado. Esto implica el relevamiento de datos operativos y datos de emisiones del ciclo combinado, medición en campo, etc, a fin de obtener la información requerida para la simulación del comportamiento real del ciclo. La modelización del sistema permite calcular el potencial de ahorro energético y hallar el beneficio de las alternativas. Es objetivo de todo estudio termoeconómico la evaluación del rendimiento termodinámico y del costo efectivo del sistema térmico de forma de estimar las ventajas de alternativas que conduzcan a un ahorro energético.

Si bien existen en el mercado numerosos programas comerciales, su uso como medio pedagógico es cuestionable, dado que ellos no muestran los pasos intermedios entre la entrada de datos y la salida de resultados, no pudiéndose en la mayoría de los casos ser factibles de modificación para adecuarlos a la problemática dada.

En una primera etapa los alumnos utilizan los programas elaborados por los docentes del Área en planilla de cálculo para la visualización de relaciones causa-efecto de las diferentes variables y la enumeración de conclusiones. Si bien en algunos casos se observó una tendencia a usar mecánicamente los programas confeccionados, en la mayoría de los casos este uso de la informática cumplió el objetivo de promover el razonamiento y creatividad en la adopción de criterios en la búsqueda de las mejores alternativas a la cuestión planteada.

En una segunda etapa los alumnos confeccionan un modelo de dos presiones (Pitrelli, 2000), realizando tareas de optimización de diseño y operación del sistema como uno de los trabajos prácticos correspondiente a sistemas de cogeneración a vapor. Durante el desarrollo de la asignatura, analizan también otros sistemas térmicos como los de cogeneración con turbinas de condensación con extracciones controladas, de turbinas de gas y calderas de recuperación, con motores alternativos, ciclo de cogeneración por bottoming, y análisis de ciclos combinados y repotenciación.

La comprensión con absoluta claridad de los fenómenos que ocurren, permite afianzar los conocimientos conceptuales a la vez que brindan puntos de referencia que facilitan el tratamiento de problemáticas de este tipo. A su vez, estos conocimientos conceptuales sirven de base para las tareas de optimización cuyos resultados han sido motivantes para nuestros alumnos, por cuanto ponen de manifiesto los resultados económicos que pueden obtenerse a través del estudio. Por otra parte no les resulta una tarea excesivamente trabajosa debido a la ayuda que reciben del procesamiento informático, que realiza en forma inmediata y sin errores los tediosos y engorrosos cálculos numéricos. El entusiasmo que vemos en nuestros estudiantes en la realización de este tipo de tareas, creemos que incentiva fuertemente las actitudes hacia las innovaciones y mejoras de todo tipo, fundamental en la formación de profesionales de la ingeniería.

La incorporación paulatina de recursos informáticos desde antes de la década de los 90's en la enseñanza de las materias del Área Térmica para alumnos de la carrera de Ingeniería Mecánica e Industrial, mejora y agiliza los métodos de diseño y cálculo. La rapidez y la facilidad, con que se realizan los cálculos, permiten concentrar la atención del estudiante en la comprensión de los fenómenos termodinámicos involucrados y promover el razonamiento y la creatividad

CONCLUSIONES

La modelización de sistemas térmicos puede hacerse con relativa facilidad en hoja de cálculo siempre que se tenga en claro el esquema conceptual del sistema, y se disponga de los módulos necesarios.

La utilización de estos modelos en el análisis de diseño o simulación operativa constituye una metodología adecuada para la optimización técnica y económica de unidades y sistemas térmicos, de tal forma que se tienda al Uso Racional de los Recursos Energéticos que demanda.

En el ambiente crecientemente competitivo que caracteriza a estos tiempos, la búsqueda de soluciones con el nivel de rigurosidad y excelencia necesarios para resolver problemas complejos, solo puede lograrse mediante la aplicación de la computación como herramienta de trabajo.

La experiencia recogida por los autores en el Área Térmica, permite afirmar que la enseñanza de la metodología a la que se hace mención el presente trabajo, no solo es posible, sino que resulta sumamente motivante para los alumnos, e incentivador de su creatividad.

REFERENCIAS

- Biorci, J. Blasco Diez, J.A., Duran, R., Fushimi, A., Minervino, R., Motta, J. y Pedernera, R. (1985). Contribución de la Universidad al Uso Racional de la Energía, Primer Congreso Argentino sobre el Uso Racional de la Energía. Trabajos Técnicos, Buenos Aires, Tomo III, pp. 1409 - 1417.
- Fushimi, A. y Sosa M. I. (2001). Modelización de un sistema de cogeneración de vapor mediante hoja de cálculo, Información Tecnológica, Chile, (ISBN 0716-8756), 12, 4, pp. 45 - 52.
- Fushimi, A. y Taladriz, C.S. (1998). Integración de la enseñanza de Termodinámica y Termotecnia en el Área Térmica, Segundo Congreso Argentino de Enseñanza de Ingeniería (CAEDI), Universidad Nacional de San Juan.
- Flanagan, R. (1999). VI Annual Conference Cogeneration in Europe, Praga, April 26 - 28.
- Pitrelli G. (2000). Modelización de sistemas de vapor, rePET, 3, 2, pp. 42-50.
- Sosa M. I. y Fushimi A. (2002). Experiencias didácticas utilizando hoja de cálculo para la modelización de un sistema de cogeneración”, INTERTECH 2002, Santos, Brasil, marzo 2002, www.asee.org/international/INTERTECH2002/810.pdf

ABSTRACT

Objective of the present paper is to relate the experiences on undergraduate educational activities on Rational Use of Energy in Industrial Systems at La Plata National University and the improvements that is believed to be obtained in the education in such specific field of the Engineering. The subjects involved in doing this are “Thermodynamics and Heat Power Engines” for Industrial Engineering, (10 hours per week) and “Thermotechnics IV” (4 hours per week) for Mechanical Engineering. In both cases under the responsibility of professors and auxiliary personnel of the “Área Térmica”.

The methodology using spreadsheet, a simple and accessible tool to every advanced student of Engineering or professional of this field, is described. It allows to analyze a thermal system in general, keeping in mind its actual complexities. The importance in the future engineer's formation of carrying out always a thermoenergetic study, is pointed out, not only to evaluate the thermodynamic efficiency, but also the effective lifetime cost of the thermal system, so as to estimate the alternative advantages that lead to an energy saving and the rational use of the energy resources.

Keywords: rational use of energy, resources conservation, thermal systems, sustainable development, methodology, curricular design