



AMBIENTE DIDÁTICO PARA ENSINO, MODELAGEM E SIMULAÇÃO DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM SISTEMAS COM A UTILIZAÇÃO DE ALETAS

Rogério Fernandes de Lacerda – lacerda@vm.uff.br

João Felipe Mitre – jf_mitre@yahoo.com.br

Arlindo de Almeida Rocha – arsumalu@vm.uff.br

Universidade Federal Fluminense – UFF, Departamento de Engenharia Química

Rua Passos da Pátria 156 – São Domingos

CEP.: 24210-240 – Niterói – R.J.

***Resumo:** O projeto educacional desenvolvido possui como objetivo principal a atualização do ensino de transferência de calor. Como regra geral, o método de ensino não tem acompanhado de forma significativa o desenvolvimento tecnológico das ferramentas operacionais, softwares e computadores, utilizados em engenharia, de forma que é patente a necessidade de atualização do modelo de ensino. Sob este aspecto, softwares como o MAPLE, começam a ser incorporados ao dia-a-dia do ensino-aprendizado dos cursos de engenharia. O software desenvolvido no MAPLE possibilita o aluno estudar, aprender, modelar, projetar e analisar resultados, para qualquer forma geométrica de uma aleta ou superfície aletada com os mais diversos arranjos dessas aletas na superfície. É importante enfatizar que a ferramenta desenvolvida tem como objetivo atualizar o ensino, sem deteriorar a capacidade de entendimento do procedimento interno e possibilitando uma visão mais crítica e real da utilização prática e ampla do conhecimento adquirido em aula.*

***Palavras-chave:** Aleta, Transferência de Calor, software, MAPLE.*

1. INTRODUÇÃO

Os problemas de troca térmica consistem em sua natureza em desenvolver equipamentos capazes de realizar uma determinada remoção ou adição de energia na forma do calor. Portanto, o estudo desses fenômenos se torna disciplina obrigatória em qualquer curso de engenharia química e também muito comum em outros cursos de engenharia, como a engenharia mecânica.

Entre os muitos equipamentos que podem ser projetados, temos as aletas, que são superfícies estendidas que visam aumentar a transferência de calor entre a superfície de um sólido e um fluido que escoar sobre essa superfície. Essa técnica possibilita um maior contato por um aumento de área através da inclusão de protuberâncias para aumentar a taxa de transferência de calor.

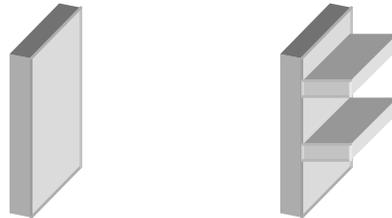


Figura 1 - Superfície original Figura 2 - Superfície aletada

O estudo e a modelagem desses tipos de problemas consistem em à partir de uma equação geral do balanço de energia desenvolvida para as aletas, determinar o perfil de temperatura e posteriormente determinar a taxa de transferência calor. Com essa informação calculando-se a eficiência de uma aleta à partir da taxa de transferência de calor, assim determinando todos os parâmetros térmicos de uma aleta. Com as informações da aleta estudada e com as informações das dimensões da superfície original e com os espaçamentos entre as aletas, podemos determinar as características de projeto da superfície aletada, calculando eficiência da superfície, número de aletas e taxa de calor removido pela superfície.

Tradicionalmente, todos os aspectos do desenvolvimento de uma superfície aleta são ensinados de forma pouco integrada, aprende-se cada etapa individualmente, mas quando se calcula a superfície aletada propriamente dita, ao invés de utilizar-se dos dados de perfil de temperatura para cálculo da eficiência de uma aleta, o aluno se vê obrigado a usar dados provenientes de gráficos. Esse tipo de abordagem clássica ainda é muito utilizado nos livros didático atuais.

Essa abordagem clássica do ensino de aletas produz como uma consequência um aparente afastamento entre teoria e aplicação, fruto da dificuldade de solução matemática do problema que inviabiliza que aplicações reais sejam tratadas em aula em tempo hábil.

Sob esse aspecto, uma abordagem seqüencial do problema através do próprio perfil de temperatura característico da aleta, permite ao aluno uma melhor visualização da influência como que cada um dos parâmetros de cada uma das etapas influencia o projeto.

Para realizar tal abordagem, utilizamos o MAPLE, um software de simulação matemática que permite a manipulação algébrica de equações.



2. MAPLE

O software MAPLE consiste em um sistema de computação algébrica, tendo isso como sua principal característica e seu principal diferencial. Portanto, o MAPLE permite resolver problemas determinando a forma analítica e exata de soluções sempre que esta existir. O MAPLE é um software que permite trabalhar com equações algébricas e diferenciais; construir gráficos; também conta com pacotes de soluções numéricas permitindo determinar soluções numéricas. Outro recurso que permite destaque é o da programação, o MAPLE possui programação própria, muito simples, porém muito poderosa, que permite a construção de rotinas que venham a determinar qualquer solução matemática da qual se conheça o algoritmo de solução.

O MAPLE como um simulador matemático, permite o desenvolvimento de rotinas para aplicações nas mais diversas áreas do conhecimento, com essa característica se torna um software único, na qual pode através de metodologia de solução adequada realizar soluções matemáticas diversas, soluções essas que muitas vezes estão restritas a softwares muito caros e específicos. A vantagem do MAPLE sobre os simuladores é que se pode acompanhar o processo de solução com uma visão crítica, o que enfatiza sua aplicação como software didático.

Utilizando o MAPLE como ferramenta, podemos abordar as diversas características da modelagem das aletas, permitindo o desenvolvimento de soluções que permitam um melhor entendimento a respeito de cada uma das etapas do desenvolvimento do projeto de superfícies aletadas.

3. O SOFTWARE

O software para o projeto de superfícies aletadas, foi desenvolvido de forma a servir como ferramenta didática e possibilitar ao aluno a análise dos aspectos teóricos e práticos, independente da dificuldade matemática, para isso ele foi dividido nas quatro etapas básicas, relacionadas abaixo e apresentadas na figura 3.

- 1 – Determinação do perfil de temperatura na aleta
- 2 – Determinação da taxa de transferência de calor na aleta
- 3 – Determinação da eficiência de uma aleta
- 4 – Construção da superfície aletada

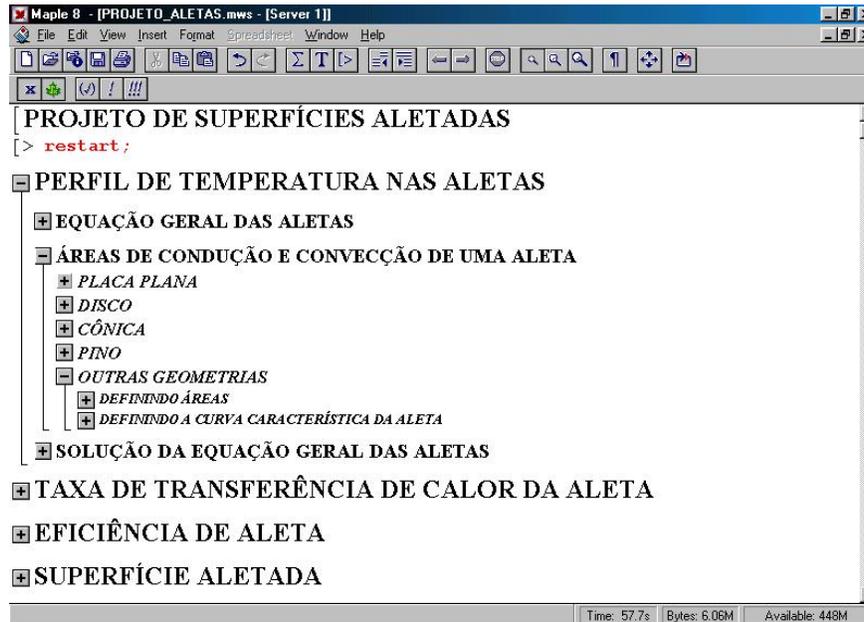


Figura 3 – Menu principal do software no MAPLE

A primeira etapa no cálculo de uma superfície aletada consiste no balanço de energia na aleta, do qual se obtém a equação geral das aletas, mostrada na figura 4.

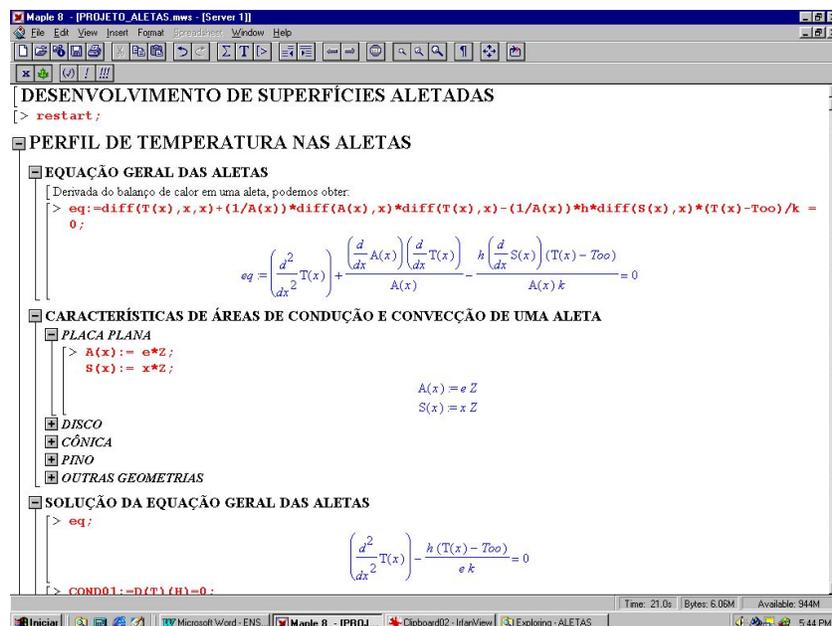


Figura 4 – Equação geral, especificação de $A(x)$ e $S(x)$ e equação simplificada

Para gerar uma equação de uma aleta específica é preciso fornecer a geometria para podermos determinar $S(x)$ e $A(x)$, que são respectivamente a área de convecção da aleta e a área perpendicular a condução de calor.

Existem três possibilidades para a determinação desses parâmetros:

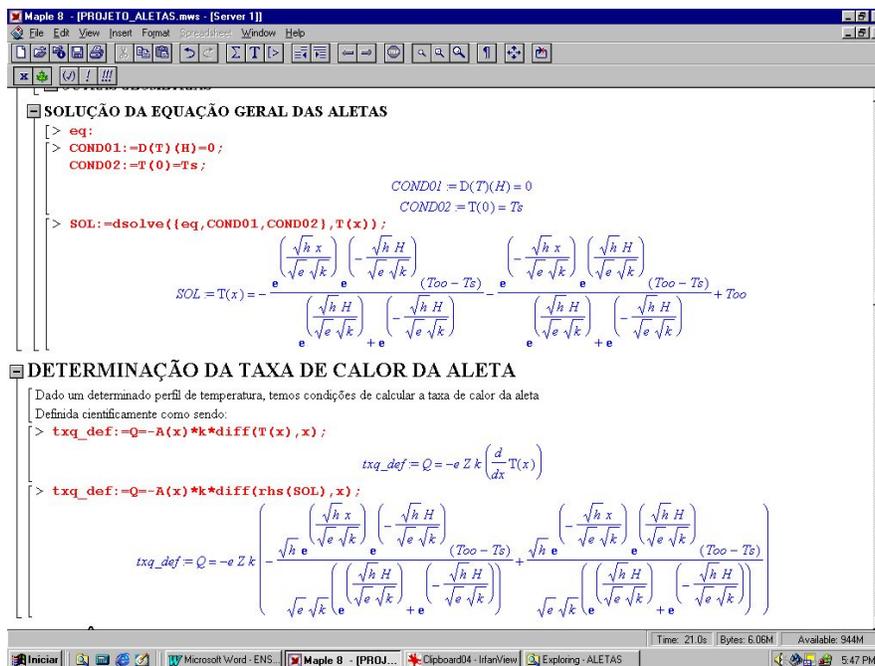
- Selecionar uma geometria catalogada,
- Fornecer os parâmetros $S(x)$ e $A(x)$,
- Fornecer uma equação característica da aleta para que o software calcule $S(x)$ e $A(x)$.

Os tópicos não catalogados direcionam o aluno a uma solução permitindo que se crie uma aleta com as geometrias que podem ser as mais complexas possíveis. A única observação a ser feita é que quanto mais complexa for a geometria mais provável que não exista uma solução algébrica para o problema, restringindo-se a uma solução numérica.

Um aspecto interessante desse módulo é a ausência de simplificações para a resolução do problema, mesmo que as simplificações sejam reais, se tornam dispensáveis para a solução do problema.

Seqüencialmente o aluno pode visualizar a equação diferencial particular para a geometria selecionada, como podemos observar na figura 4.

A terceira etapa desse módulo é a solução da equação diferencial, com as condições de contorno definidas pelo usuário. Podemos observar na figura 5 essa etapa aplicada à geometria tipo placa plana (retangular), com as condições de contorno e sua solução algébrica.



```

Maple 8 - [PROJETO_ALETAS.mws - [Server 1]]
File Edit View Insert Format Spreadsheet Window Help
[Icons]
x [Icons]

[+] SOLUÇÃO DA EQUAÇÃO GERAL DAS ALETAS
> eq:
  COND01: -D(T)(H)=0;
  COND02: -T(0)=Ts;
  COND01 = D(T)(H) = 0
  COND02 = T(0) = Ts
> SOL: =dsolve({eq, COND01, COND02}, T(x));
  SOL = T(x) = -
  (frac(sqrt(h*x), sqrt(e*k)) * (frac(-sqrt(h*H), sqrt(e*k))
  (Too - Ts) * e^(frac(-sqrt(h*x), sqrt(e*k)) * (frac(sqrt(h*H), sqrt(e*k))
  (Too - Ts) + Too
  (frac(sqrt(h*H), sqrt(e*k)) * (frac(-sqrt(h*H), sqrt(e*k))
  + e^(frac(sqrt(h*H), sqrt(e*k)) * (frac(-sqrt(h*H), sqrt(e*k))

[+] DETERMINAÇÃO DA TAXA DE CALOR DA ALETA
  Dado um determinado perfil de temperatura, temos condições de calcular a taxa de calor da aleta
  Definida cientificamente como sendo:
  > txq_def: =Q=-A(x)*k*diff(T(x), x);
  txq_def = Q = -e Z k (d/dx T(x))
  > txq_def: =Q=-A(x)*k*diff(rhs(SOL), x);
  txq_def = Q = -e Z k (
  (frac(sqrt(h*x), sqrt(e*k)) * (frac(-sqrt(h*H), sqrt(e*k))
  (Too - Ts) + sqrt(h) * e^(frac(-sqrt(h*x), sqrt(e*k)) * (frac(sqrt(h*H), sqrt(e*k))
  (Too - Ts)
  (frac(sqrt(h*H), sqrt(e*k)) * (frac(-sqrt(h*H), sqrt(e*k))
  + e^(frac(sqrt(h*H), sqrt(e*k)) * (frac(-sqrt(h*H), sqrt(e*k))
  )
  
```

Figura 5 – Condições de contorno, solução do perfil de temperatura e da taxa de transferência de calor

A partir do perfil de temperatura obtido, é preciso determinar a taxa de transferência de calor da aleta.

Podemos observar na figura 5 a definição da taxa e a solução para a aleta retangular, aqui também pode ocorrer a necessidade de uma solução numérica, nesse caso, determina-se a taxa para o ponto mais conveniente do sistema, em geral a base.

Figura 6 – Eficiência de uma aleta retangular

Com a determinação da taxa de transferência de calor da aleta selecionada, o aluno é levado a determinar a eficiência da aleta a partir de sua definição, como mostrado na figura 6.



Figura 7 – Eficiência e Taxa de transferência de calor da placa aletada

O tópico final do projeto de uma superfície aletada consiste em utilizar eficiência da aleta conjuntamente com as informações estruturais da superfície, para planejar a distribuição de aletas para que atendam um determinado objetivo de transferência de calor ou verificar a transferência de calor para um dado sistema. Os espaçamentos entre as aletas, as dimensões da própria aleta e o tipo de aleta, são fatores fundamentais dessa solução. Neste tópico são determinados o número de aletas, eficiência da superfície aletada e a taxa de transferência de calor da superfície.

No caso de uma solução algébrica, esta pode ser observada na etapa final, ou seja, é possível gerar uma solução totalmente geral para o problema, como mostra a figura 7.

4. APLICAÇÕES TÍPICAS

Um exemplo típico de aplicação é o projeto de superfícies aletadas para aumentar a eficiência da remoção de calor de processadores de computador, evitando assim a deterioração do equipamento por superaquecimento.

Dados Básicos Necessários

Material de construção das aletas: Alumínio (87 % Al, 13 % Si)

$k = 164 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

$h = 5 \text{ W/m} \cdot \text{K}$

O estudo consiste em analisar o desempenho de uma aleta específica em função de suas variáveis, por exemplo, sabe-se que no mercado existe uma grande quantidade de superfícies aletadas para acoplamento no processador, usualmente de mesmo material, mas com alturas diferentes, então avaliando os resultados para diferentes alturas podemos observar, resultados como os referidos figura 8.

As possibilidades de análise são grandes, envolvem inúmeros casos, podemos como resultados típicos, o perfil de temperatura, a taxa de transferência de calor e eficiência de transferência de calor tanto para as aletas individualmente como para a placa como um todo.

É inviável para o aluno realizar esse tipo de estudo sem um software; na figura 8 temos dois gráficos mostrando o comportamento de taxa de transferência de calor e de eficiência para o exemplo mencionado

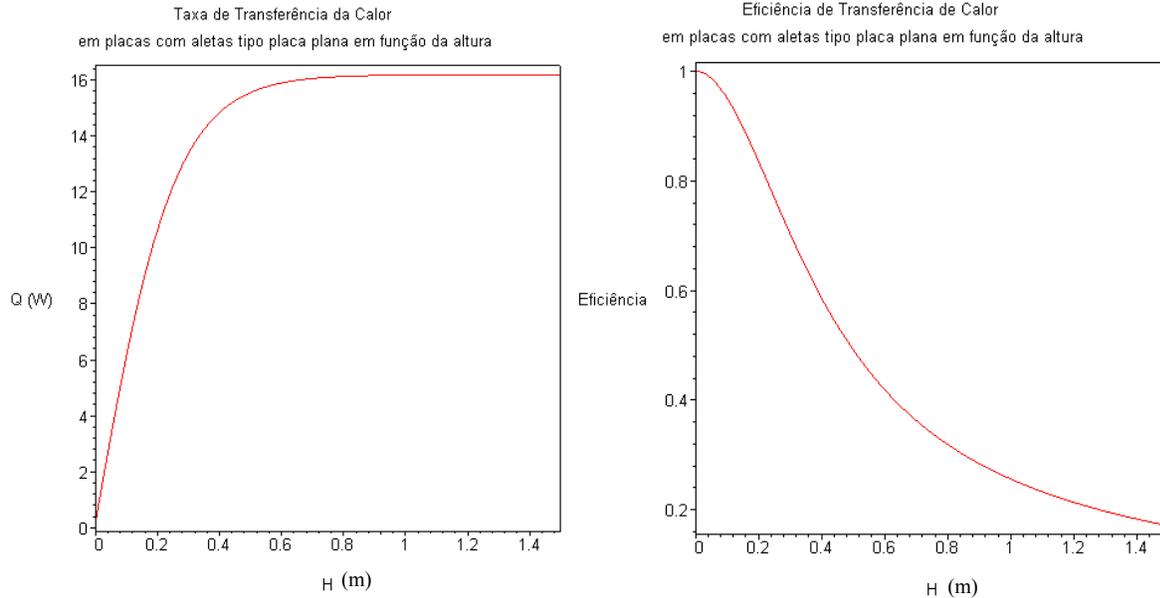


Figura 8 – Gráficos de Taxa de Transferência de Calor da Superfície e da eficiência com a altura da aleta tipo retangular

O outro exemplo, consiste em avaliar a taxa de transferência de calor e a eficiência da aleta e da superfície aletada, mantidas as mesmas condições geométricas da placa, material de confecção da aleta e condições de contorno da solução do problema, para uma aleta de seção reta, tipo placa plana, uma de seção variável, tipo cônica e uma outra aleta, tipo hiperbólica, determinada através de uma equação de contorno.

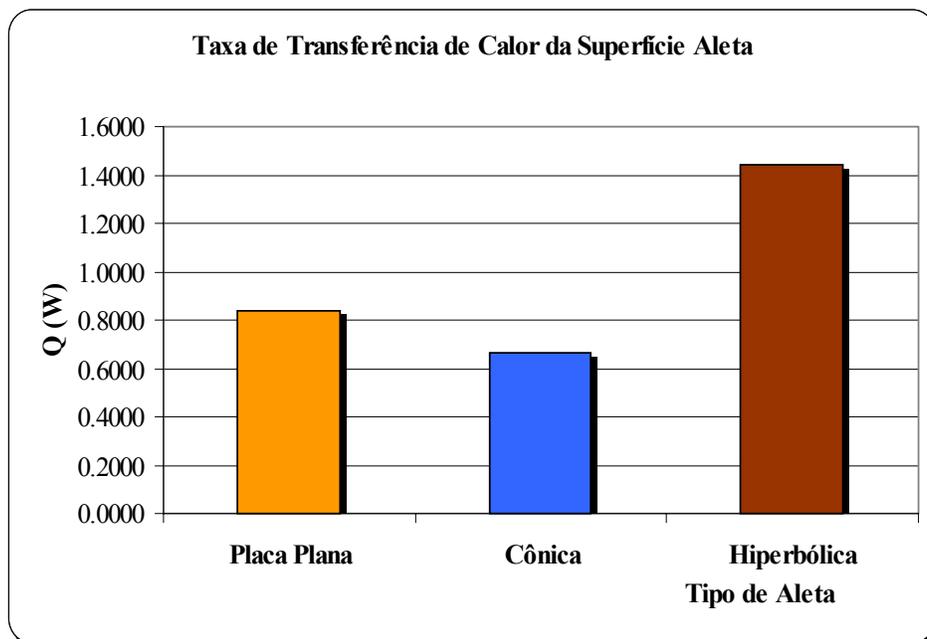




Figura 9 – Gráfico da Taxa de Transferência de Calor em Aletas

O software desenvolvido permite ao aluno avaliar a influência dos aspectos geométricos na transferência de calor, sem nenhum tipo de aproximação, o que poderia resultar em erros significativos.

5. CONCLUSÃO

O software desenvolvido diminui o esforço em manipulações algébricas e enfatiza a realização dos conceitos fundamentais do desenvolvimento da concepção intelectual. Assim, torna o aprendizado mais direcionado a avaliação conceitual e a integração dos fundamentos com aplicações práticas, resultando na dinamização do ensino com a integração dos conhecimentos fundamentais com os conhecimentos aplicados. Como consequência direta é possível o estudo de casos reais, como nos exemplos mencionados, que antes estavam impossibilitados de serem analisados com a abrangência e profundidade necessárias. No caso das aletas matematicamente mais simples pode-se observar a resolução dos problemas de forma algébrica de onde se pode avaliar a influência dos parâmetros. Para as aletas mais complexas existe a possibilidade de obter uma solução numérica.

Nesse mesmo projeto educacional foi desenvolvido um módulo de solução de problemas por meio de um CAD implementado no próprio MAPLE. Entretanto, este CAD não tem como finalidade principal servir como ferramenta didática, mas sim como uma ferramenta de engenharia para o projeto de superfícies de transferência de calor.

Estão em andamento o desenvolvimento dos módulos de geração interna de calor e de velocidade relativa e continuamente estão sendo implementadas novas bibliotecas de geometrias pré-estabelecidas. Em conjunto com outros projetos, está sendo avaliada a implementação de bibliotecas de propriedades termofísicas e de correlações com equações da convecção natural e forçada, para cálculo do coeficiente de película que aqui é fornecido como dado do problema.

6. BIBLIOGRAFIA

ABEL, M. L.; *et al.* **MAPLE V by Example** New York: Academic Press, 1999

BIRD, R. B.; *et al.* **Transport Phenomena** New York: John Wiley & Sons, 1960

BOAS, L. M. **Mathematical Methods in the Physical Sciences** New York: John Wiley & Sons, 1983

GEBHART, B. **Heat Conduction and Mass Diffusion** Singapore, McGraw-Hill, 1993

HECK, A. **Introduction to Maple** New York: Springer-Verlag, 1993

INCROPERA, F. P. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa** New York, John Wiley & Sons, 1998



MUNIZ, A. R.; MARCZAK, L. D. F., **Uso do Software MAPLE no Ensino de Transferência de Calor** In: COBENGE 2001, NTM – 470, 2001

SOFTWARE ENVIRONMENT FOR TEACHING, MODELING AND SIMULATION OF HEAT TRANSFER ON SYSTEMS WITH UTILIZATION OF FINS

***Abstract:** The main objective of the present work is related to the improvement of the teaching methods in heat transfer. As a general rule, the teaching methods still used in engineering nowadays have not been yet benefited from the technological development in computers and software. Modern software, such as MAPLE is slowly being incorporated to the day to day “teaching learning” in the engineering courses. With the software described here, based on MAPLE, the student is able to study, write equations and analyze the individual thermal fins of any geometric shape as well as any shape of surfaces covered with fins. Using this software the students develop a better understanding of the relation between the theoretical and analytical models as well as their numerical results and applications. Since the complete knowledge required be always used to solve a practical problem, the students also understand more clearly the important relations between the fundamental concepts and equations and their practical applications in engineering.*

***Key-words:** Fin, Heat Transfer , software, MAPLE.*