



Organiza:



- Parque Tecnológico, Ed. 101  
48170-ZAMUDIO (SPAIN)
- Tel. 94 420 93 54  
Fax 94 420 93 55
- E-mail: blas.molero@tecnocae.es  
WEB: www.tecnocae.es

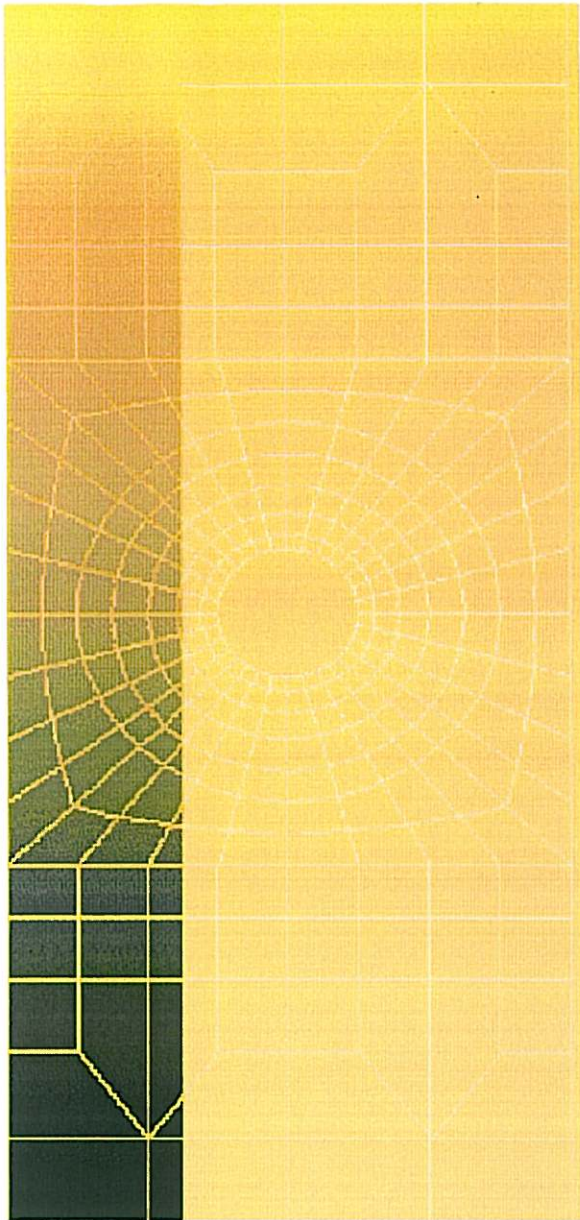


**COMOS M**  
II Conferencia Anual de Usuarios  
España - Portugal

**4 de Junio de 1999**



- Parque Tecnológico, Ed. 101  
48170-ZAMUDIO (SPAIN)
- Tel. 94 420 93 54  
Fax 94 420 93 55
- E-mail: Blas.Molero@tecnocae.es  
WEB: www.tecnocae.es



II Conferencia  
Anual  
de Usuarios  
**COSMOS M**  
para España  
y Portugal  
4 de Junio de 1999

**Contenido:**

- **PONENCIAS**
- **DEMOS**



Copyright © 1999 Tecnologías CAE Avanzadas, S.L.  
-- <http://www.tecnocae.es> --

~~~~~  
All Rights Reserved.  
[Trademark Information](#)







**COSMOS M**  
II Conferencia Anual de Usuarios  
España - Portugal







Parque Tecnológico de Zamudio (SPAIN)  
4 de Junio de 1999

## Presentaciones y Ponencias COSMOS/M







### INGENIERIA CIVIL Y ESTRUCTURAS

-  **"Análisis Estructural de Contrapluma de Grúa Torre",**  
**JASO, EQUIPOS DE OBRAS, S.A. - IDIAZABAL (Guipúzkoa)**  
Bosko Mújika
-  **"Análisis Estructural de Pasarela Peatonal de 40 m.",**  
**JASO, EQUIPOS DE OBRAS, S.A. - IDIAZABAL (Guipúzkoa)**  
Bosko Mújika
-  **"Análise Estructural de um Pavilhao em Construção Metálica.",**  
 **Instituto Politécnico - Bragança (Portugal)**  
Elza Fonseca, Paulo Matos

### INGENIERIA MECANICA

-  **"Cálculo Condiciones Críticas de Rotura en A° Inox. Dúplex**  
 **Envejecidos",**  
Jesús Manuel Alegre Calderón - **E. Politécnica Superior (Burgos)**  
Gutiérrez Solana, F., Sánchez L., Pérez, J. - **E.T.S. Ingenieros Caminos (Santander)**
-  **"Revisión del Método Analítico para el Cálculo de Esfuerzos de**  
 **Contacto en Engranajes Rectos",**  
**Universidad EAFIT - Medellín (Colombia)**  
Santiago A. Correa
-  **"Metodología para Proyecto Mecánico de Moldes para Injecção de**  
 **Plásticos"**  
**E. Superior de Tecnología e de Gestao - Bragança (Portugal)**  
Paulo Piloto, Caleiro, C.M.S.

**INGENIERIA TERMICA**

-  **"Análise Térmica de uma Uniao Tubular Sujeita a Elevados Gradientes Térmicos",**  
 Elza Fonseca - **Instituto Politécnico - Bragança (Portugal)**  
Carlos Oliveira - **Facultade de Engenharia - Porto (Portugal)**
-  **"Estudio Térmico de una Cuchara Metalúrgica",**  
 **E.T.S. Ingenieros de Minas (Oviedo)**  
José P. Sancho Martínez, Alberto Fuertes Alvarez, Pablo Romero Romero
-  **"Estudio Térmico de Horno Eléctrico de Arco",**  
 **E.T.S. Ingenieros de Minas (Oviedo)**  
José Sancho Martínez, Alberto Fuertes Alvarez, Pablo Romero Romero,  
Luis Felipe Verdeja

**INGENIERIA ELECTRICA**

-  **"Análisis del Comportamiento de un Motor Lineal de Inducción",**  
 **Centro de Estudios e Investigaciones Técnicas de Guipúzcoa - CEIT (San Sebastián)**  
Iñaki Sancho, M. Gorostidi, L. Fontán, J.M. Echeverría, Ane Martínez de Gereñu
-  **"Influencia de las Pantallas Conductoras en la Distribución del Potencial y Campo Eléctrico en Medios Dieléctricos",**  
 **E.U. Ingeniería Técnica Industrial (Bilbao)**  
José A. Güemes, M. Postigo Pereda, N. Calvo Cuadra, J.F. Martínez Tejero

Copyright © 1999 Tecnologías CAE Avanzadas, S.L.

-- <http://www.tecnocae.es> --

~~~~~  
All Rights Reserved.

[Trademark Information](#)

## **“Metodologia para projecto mecânico de moldes para injeção de plásticos”**

**Piloto, P.A.G.\*; Caleiro, C.M.S.\*\***

\*Departamento de Mecânica Aplicada  
Escola Superior de Tecnologia e de Gestão  
Instituto Politécnico de Bragança  
Campus santa Apolónia, Apartado 134, 5301 – 857 Bragança – Portugal  
Tel: 351-73-3303004; Fax: 351-73-313051  
E-mail: [ppiloto@ipb.pt](mailto:ppiloto@ipb.pt)

\*\* Engenharia Mecânica  
Escola Superior de Tecnologia e de Gestão  
Instituto Politécnico de Bragança  
Campus santa Apolónia, Apartado 134, 5301 – 857 Bragança – Portugal  
Tel: 351-73-3303004; Fax: 351-73-313051

### **Resumo:**

O projecto de moldes para plásticos pode ser optimizado, recorrendo a metodologias de cálculo assistidas por computador. Este tema abrangente utiliza vários domínios científicos do conhecimento, nomeadamente estudos reológicos, térmicos e estruturais. Neste artigo é apresentada uma metodologia de projecto que tem como objectivo a obtenção de peças em plástico sem defeitos e de óptima qualidade. A previsão do campo de pressões e de todo o estado do fluido não Newtoniano é o indicador primeiro destes fenómenos. A transposição destes resultados para um programa de elementos finitos de análise termo – estrutural possibilita uma análise do comportamento desta ferramenta. Durante a execução do preliminar do molde será conveniente efectuar o estudo proposto e verificar os limites admissíveis relativamente à abertura máxima prevista, em situação de funcionamento, ainda determinar a resistência estrutural da ferramenta para eventuais reforços localizados e determinar o campo de temperaturas instalado, por forma a garantir uma contracção o mais uniforme possível na peça. Qualquer alteração ao projecto será prevista e executada a tempo de alterar todos os desenhos de definição.

É apresentado um exemplo de um molde multicavidade (duas) para a obtenção de colheres de café em plástico.

### **Abstract:**

The mould projects for the plastic industry can be optimised, based on methods of engineering assisted by computers. This global knowledge uses several scientific domains, such as, thermal studies, structural studies and reologic studies, among others.

In this paper a project methodology is presented to increase quality in the plastic parts and reduce costs in tool production. The prediction of the pressure field and all the state behaviour of the plastic part is essential to control those phenomenon. The transpose of those results to a finite element programme (COSMOS) with thermal and structural capabilities can predict the behaviour of this tool. During the execution of the preliminary mould it is convenient to made this studies and verify the admissible values of the project variables, namely, the structural resistance of the mould, their maximum aperture in working conditions and the installed temperature field to minimise warpage situations. Any decision can be made before the design definition.

It is presented a multi cavity mould with the possibility of made two plastic parts at same time.

## 1- Análise reológica

No processo de injeção de plásticos em moldes, o fluido não Newtoniano é processado e introduzido na cavidade a uma pressão que se pode esperar como a da figura 1. O fluido é introduzido a caudal ou a pressão constante, sendo o valor da pressão no ponto de injeção estabilizado até o fluido encher a cavidade. Segue-se um perfil de segunda pressão ou de recalque, que deverá homogeneizar a contracção na peça. Desde o primeiro contacto com as paredes do molde, o fluido sofre um processo de arrefecimento por condução para as paredes do molde, e destas através de dois processos distintos. O fluxo de calor passa por convecção para os canais de arrefecimento do molde e por radiação conjunta com convecção para o ar atmosférico.

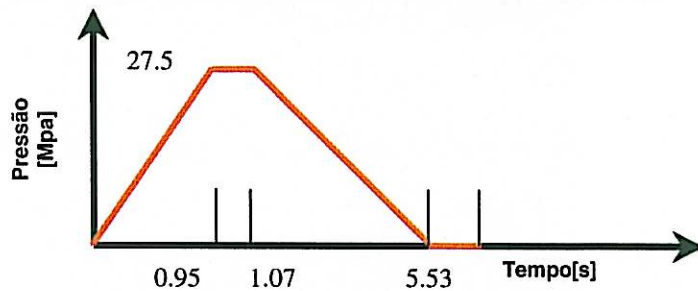


Fig.1- Ciclo do plástico. Perfil da pressão à entrada do molde.

O tempo de segunda pressão é condicionado pelo tempo de arrefecimento da zona de entrada do fluido ("gate"). Neste trabalho o tempo do perfil de segunda pressão é quase nulo.

Nestes tipos de fluidos, as propriedades termodinâmicas variam com a temperatura e com a taxa de corte, sendo a relação tensão taxa de corte dada pela expressão geral em notação tensorial:

$$[\tau_{xx}] = \eta(\dot{\gamma})[\dot{\gamma}] \quad (1)$$

A maior ou menor facilidade com que o material pode ser forçado a entrar, é determinada pela fluidez ou condutância do escoamento.

$$S = \int_0^h \frac{z^2}{\eta} dz \quad (2)$$

Para simular o processo de injeção será necessário um modelo matemático que preveja o comportamento do plástico num intervalo de processamento, como são exemplo a lei da potência (equação 3), de 2ª ordem, de Ellis, Carreau, entre outros.

$$\eta = m\dot{\gamma}^{n-1} \quad (3)$$

em que m e n são constantes para cada material. No caso de polímeros fundidos n varia entre 0 e 1. Aplicando logaritmos a ambos os membros, obtém-se uma equação de uma recta ( modelo de 1ª ordem ), sendo este

apropriado para situações de elevada taxa de corte. A temperatura pode ser incluída na expressão anterior, originando a expressão seguinte:

$$\eta = m\dot{\gamma}^{n-1} e^{cT} \quad (4)$$

Estas expressões são normalmente traduzidas por uma base de dados para interpolação, recorrendo a triplos ordenados pelo formato temperatura, taxa de corte e viscosidade.

A equação da pressão que rege o comportamento do fluido polimérico em função das propriedades citadas, resulta de algumas simplificações das equações de Navier Stockes, que podem ser simplificadas no caso de estudos de escoamento lamelar, pela expressão seguinte.

$$\nabla(S\nabla p) = Q \quad (5)$$

Para além da viscosidade, também o volume específico é função da pressão e da temperatura, motivo pelo qual se deverá cuidar as condições de processamento. Esta variação deverá ser convenientemente analisada para que se possa perceber o fenómeno da contracção. Uma pressão demasiadamente grande provoca sobre empacotamento, uma pressão insuficiente pode permitir o aparecimento de marcas na superfície na forma de chupados e vazios. A pressão inicial determina a contracção nas últimas zonas a encher. Se esta for pequena ou não for mantida durante o tempo suficiente, podem suceder elevados níveis de contracção da peça.

Neste exemplo, o escoamento encontra-se naturalmente balanceado, pelo que não se verifica a necessidade de o fazer, estrangulando ou alargando os canais em alguns locais. O projectista deverá ter em consideração que as cavidades deverão ser preenchidas no mesmo intervalo de tempo e com a mesma queda de pressão.

## 2- Análise térmica

O projectista deverá garantir a extracção do calor a uma determinada taxa, considerando o molde como um permutador de calor. Para além disso a peça deverá arrefecer uniformemente por causa das distorções.

A fase de arrefecimento ocupa cerca de 80 % do tempo de ciclo de moldação, pelo que, qualquer diminuição desta implica uma diminuição no custo da produção.

Na moldação injectada estão presentes diversos processos de transferência de calor, sendo uns mais preponderantes sobre outros. Desde a convecção natural à forçada passando pela condução e nos casos de moldes quentes (temperatura superior a 85 [°C]), a radiação, são os processos pelos quais o calor é extraído da fonte quente. Nos casos de moldação a quente cerca de 85% do calor é extraído através dos canais de arrefecimento.

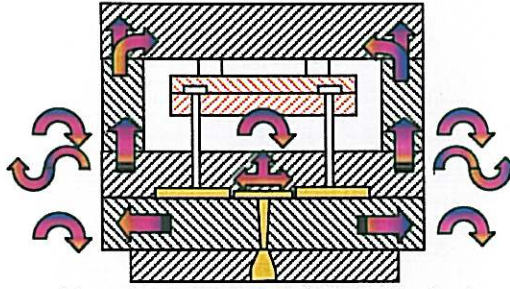


Fig. 1- Representação esquemática dos processos de transferência na secção do molde.

A colocação de algumas partes do molde em cobre facilita a transferência de calor em mais de 50% relativamente ao aço utilizado para moldes, motivo pelo qual se poderão colocar insertos localizados para possibilitar a transferência de calor.

A colocação de canais de arrefecimento pode ser um processo de otimizar estas trocas de calor e de uniformizar a temperatura do molde junto à peça ou peças. Existem várias expressões que relacionam diâmetro e o espaçamento entre canais com a distância relativa à peça, tudo em função da espessura desta, a qual poderá ser consultada em [1].

A equação que rege a distribuição de temperatura é a que se apresenta na expressão seguinte.

$$\frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) + \eta \dot{\gamma} = \rho C_p \left( \frac{\partial \theta}{\partial t} + v_x \frac{\partial \theta}{\partial x} + v_y \frac{\partial \theta}{\partial y} \right) \quad (6)$$

Os termos que envolviam a alteração de energia devido à compressão/expansão e condução na direcção x e y não são significativos, bem como a transferência de calor por convecção na direcção z.

O tempo de contacto do material plástico com o molde não é o mesmo para todos os pontos da peça em plástico, motivo pelo qual, qualquer análise térmica do plástico deverá ser precedida por uma análise de escoamentos. Neste artigo foi utilizado o C-Mold97.5, na sua versão de produção. Foram utilizados 15210 nós e 14850 elementos, número aparentemente excessivo que se deve ao facto da peça apresentar zonas de diferente espessura. O volume total a ser preenchido pelo fluido é cerca de 4 [cm<sup>3</sup>], dos quais 60% deste será reservado para a peça. O material utilizado para o enchimento pertence à classe dos polipropilenos ( APPRYL/PP 3050 MN1 ).

Feita a análise e conhecido o campo de pressão e de temperatura, em vários instantes, escolhe-se a situação mais crítica para ser transportada para o programa COSMOS/works 4.0. O campo de temperaturas na peça apresenta a seguinte distribuição, no final da fase de enchimento.

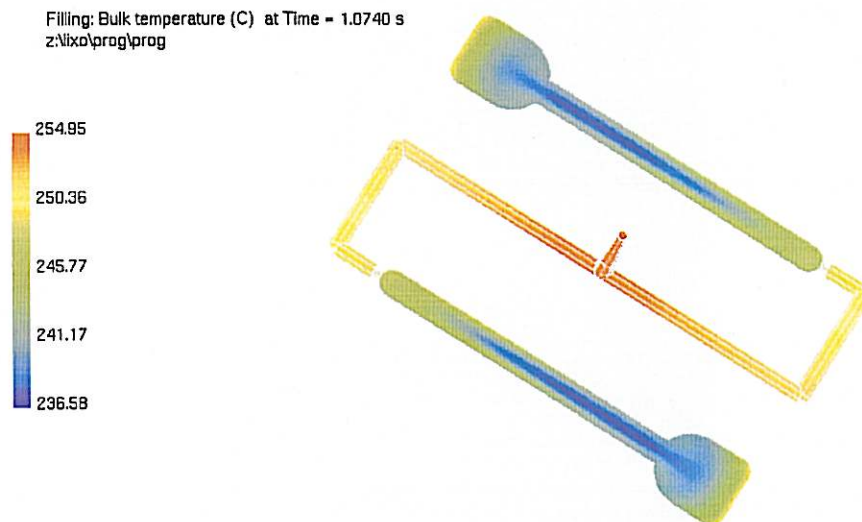


Fig.2 - Campo de temperaturas no final do enchimento.

Esta será pois a solicitação térmica, mais crítica, a que o molde estará sujeito. Para além do permutador de calor (molde) foram também modeladas as placas de aperto do molde à máquina de injeção. Nessas placas foram modelados os canais de arrefecimento. Estes canais proporcionam o controlo da temperatura do molde através de um fluido refrigerante, que neste caso, foi considerado água a uma temperatura média e com determinado coeficiente de convecção ( $\alpha=30$  [W/m<sup>2</sup>°C]).

Na figura 3 encontra-se representada a malha de elementos finitos utilizada nesta análise, onde poderão ser verificadas as placas de aperto do molde à máquina, as placas das zonas moldantes, os calços para possibilitar a colocação das peças móveis ( extractores, não representados ) e ainda a placa de aperto da extracção.

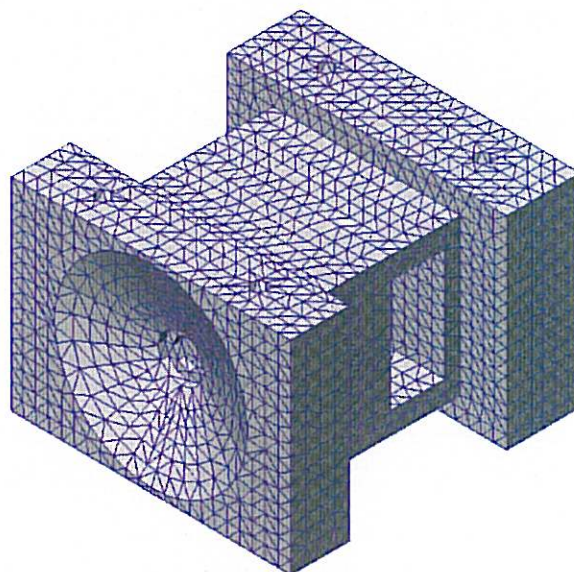


Fig.3- Discretização do molde e das placas de aperto à máquina.

Neste modelo térmico estão representados 27043 elementos, 6204 nós, representativos do fenómeno de transferência de calor tridimensional. A zona

moldante está modelada conforme figura de pormenor que se apresenta a seguir.

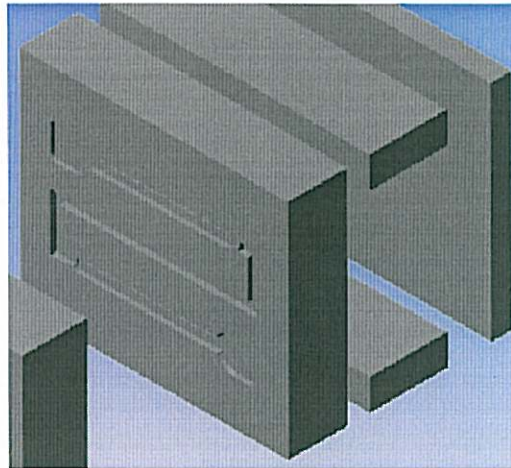


Fig.4- Pormenor modelado no interior. Zona moldante.

O valor da contracção linear utilizada, encontra-se dentro dos valores apresentados para este grupo de materiais, pelo que se procedeu ao aumento de 2.3%, nas dimensões da zona moldante. [1]

analise\_termica\_34termo\_manuela :: Thermal Time Step : 1  
Units : Kelvin

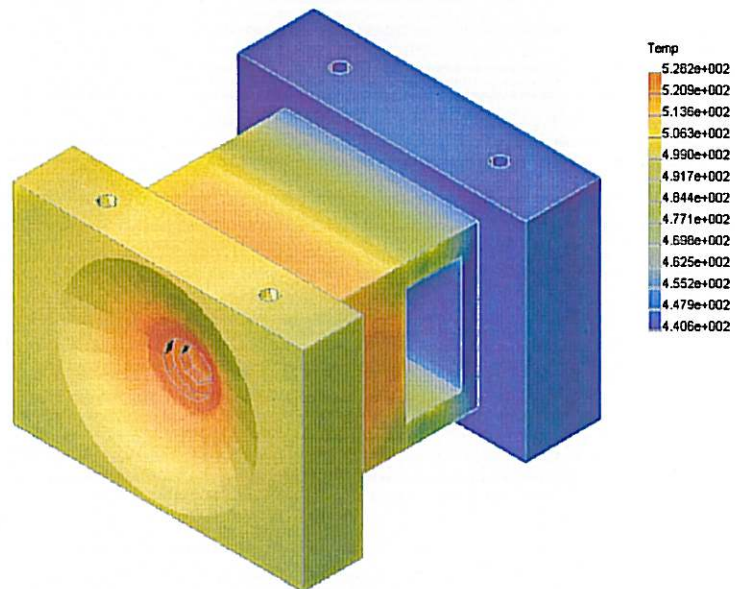


Fig. 5- Resultados da temperatura nos nós do molde.

Após análise dos valores das temperaturas nos nós (ver figura 5), é possível verificar um gradiente térmico que não deverá ultrapassar os 10 a 15 [°C] (ver figura 6) na zona da bucha e cavidade, não sendo significativo para uma posterior análise do fluido à contracção, diminuindo assim o risco de empenamento das colheres.

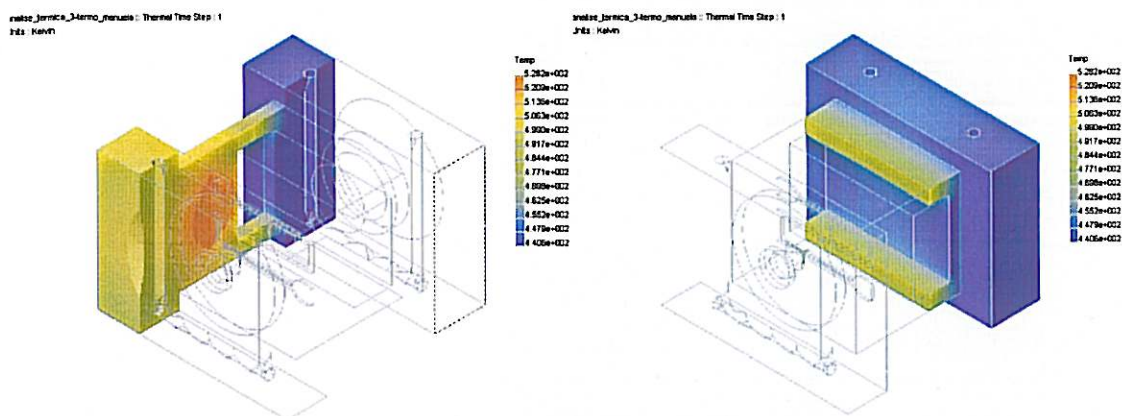


Fig. 6- Resultados da temperatura em corte transversal.

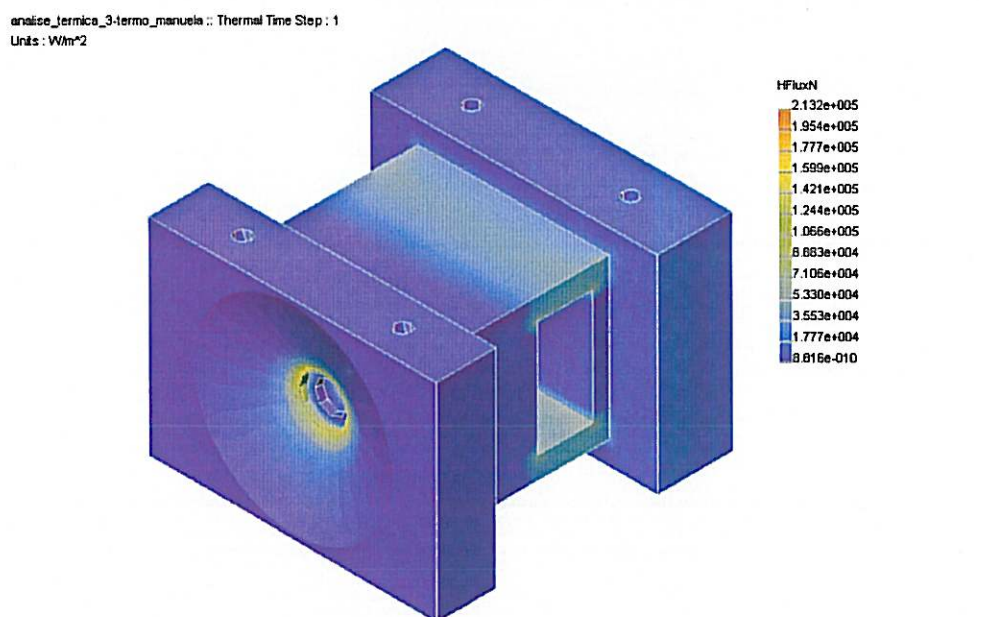


Fig. 7- Fluxo de calor tridimensional no molde e nas placas de aperto da máquina.

Foi admitido que todo o fluxo de calor gerado internamente seria libertado para os canais de refrigeração ou para a envolvente, exceptuando os topos, considerados adiabáticos. Na figura 7 encontra-se representado vectorialmente a orientação e o valor do fluxo de calor instalado, nas condições descritas.

### 3- Análise Estrutural

Relativamente à pressão, e tendo em consideração o perfil empacotamento, formam transportados e aproximados no domínio do molde os resultados do instante mais crítico ( $t=1.73$  [s]). Destes resultados selecciona-se o campo de pressão efectivamente mais crítico durante todo o processo, que se traduz por um ligeiro aumento da pressão nas últimas zonas a encher (zonas a azul da figura 8), ou seja, exigindo uma força de fecho de 3.34 [ton] nos pratos da máquina. Este valor viabiliza a utilização da máquina Buttler 12 Hi tech disponível nos laboratórios da ESTIG – IPB ( 9 [ton] máximo ).

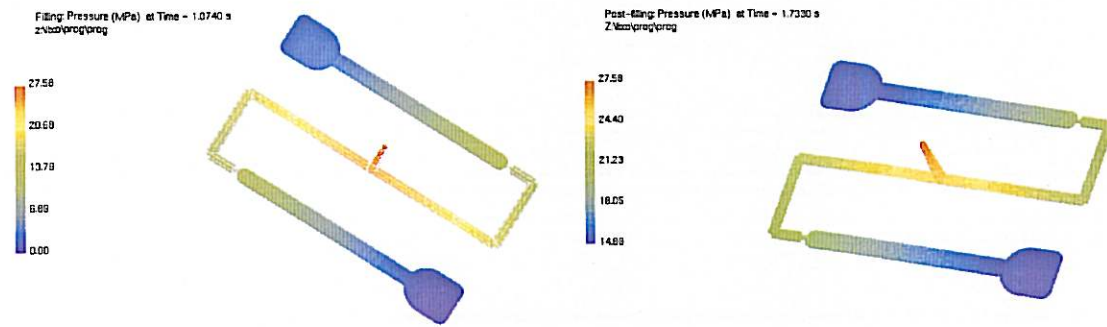


Fig.8 - Campo de pressões (instante 1.074 [s] e 1.733 [s]).

Na estrutura do molde, os componentes normalmente utilizados e que afectam o seu comportamento estrutural são as placas de encosto do lado da injeção e da extracção, a placa porta cavidades, porta bucha e os calços. Os restantes componentes não têm efeito estrutural, assegurando apenas o comportamento cinemático do molde, com são exemplo, a placa dos extractores e a respectiva placa de aperto.

O material normalmente utilizado na construção do molde é para o caso de zonas moldantes o AISI (P20) e o AISI 1045 para as restantes com e sem tratamento superficiais.

As forças presentes são sobretudo devido à solitação bária do material plástico. O molde deverá ser dimensionado para a situação mais crítica, que no caso presente será o instante imediatamente seguinte à fase final do enchimento. Parte-se do princípio que os pratos da máquina são suficientemente rígidos, pelo que, nos pontos de encosto são admitidos deslocamentos nulos. A pressão imposta resulta do campo simplificado da figura 8.

Na figura 9 encontra-se o resultado de uma análise estrutural estática do molde, nas condições descritas. Este resultado é de extrema importância e permite ao projectista otimizar e racionalizar o material empregue.

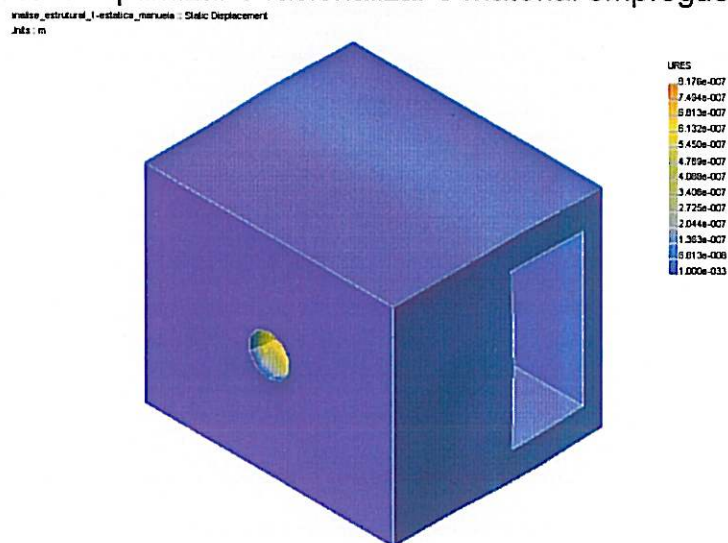


Fig. 9- Resultado do campo de deslocamentos no molde.

Os valores apresentados demonstram a impossibilidade de escape do material, uma vez não superados os valores limites 0.02 a 0.03 [mm], a partir dos quais se torna possível a fuga do material polimérico.

A deformada do molde apresenta a forma de figura 10, onde é visível um ligeiro empeno na direcção transversal à direcção de saída do fluido, justificável pela espessura da peça em causa.

Os níveis de deslocamento em causa não são suficientes para provocar a abertura do molde, uma vez que o valor máximo não ultrapassa os 0.0008 [mm]. Este valor é indicativo da possível diminuição da espessura da placa da bucha, diminuindo o custo do material da ferramenta (o molde)

análise\_estrutural\_1-estatica\_manuela :: Static  
Deformed Shape

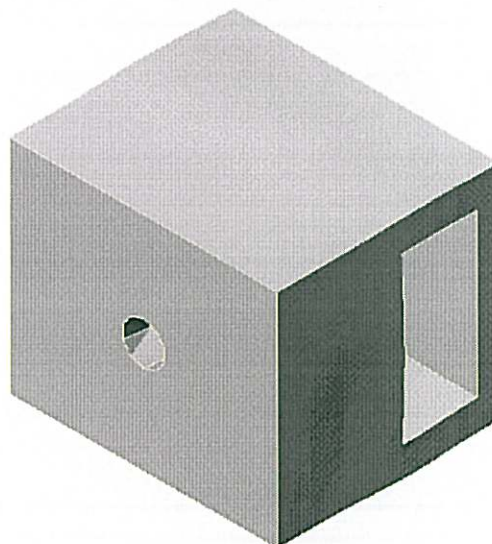


Fig. 10- Deformada do molde.

A malha de elementos finitos utilizada é a que se apresenta na figura 11, constituída por 20740 elementos e 4653 nós.

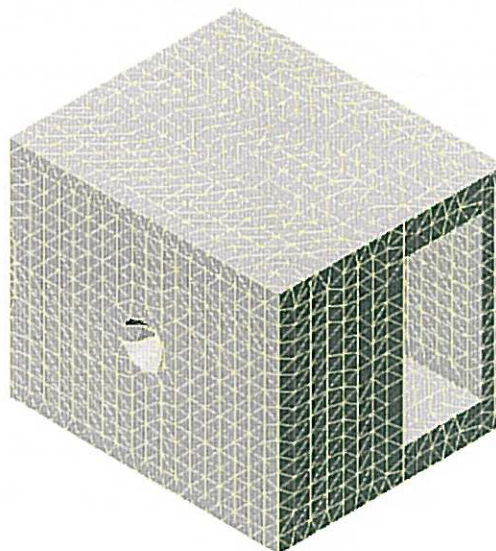


Fig.11- Discretização do molde.

Relativamente aos valores das tensões, estas não apresentam valores superiores aos admissíveis, podendo eventualmente o projectista utilizar outro tipo de material, eventualmente de maior facilidade de maquinagem, conforme se poderá constatar pelos resultados contidos na figura 12, onde a tensão equivalente de Von Mises não atinge valores superiores a 39 [MPa]. Este valor

instalado está claramente abaixo do valor admissível para qualquer dos materiais utilizados.

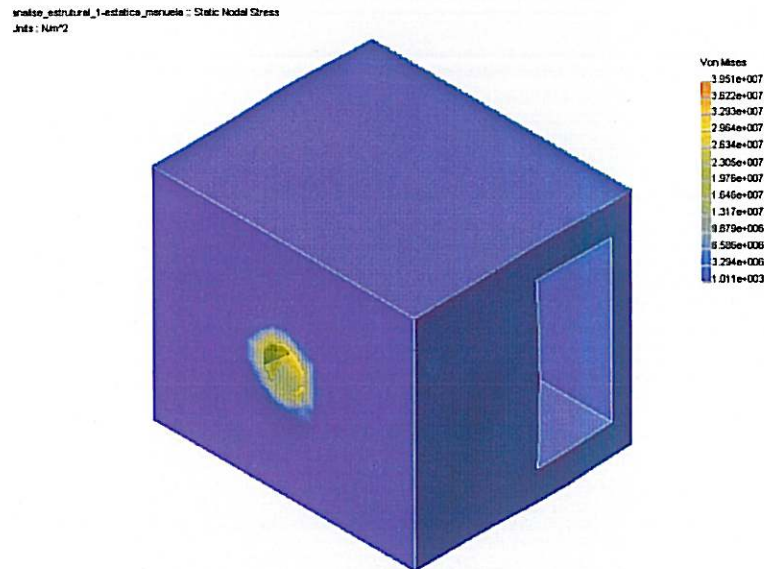


Fig.12- Resultados das tensões instaladas.

#### 4- Conclusão

O projectista de moldes deverá, sempre que possível, efectuar uma análise integrada destes vários domínios, permitindo a obtenção de peças com a máxima qualidade, diminuir os custos de produção, otimizando a utilização de materiais e do dimensionamento da ferramenta ( o molde ). Estas tecnologias integradas possibilitam ao projectista a previsão prévia de problemas na construção do molde, do seu funcionamento e ainda nas condições de serviço, da possibilidade da peça sair com ou sem rebarba.

O exemplo apresentado é bastante simples, podendo esta metodologia ser aplicada a moldes para produção de peças mais complexas, graças à facilidade de modelação tridimensional existente nos programas comerciais.

#### 5- Bibliografia

- [1]- Piloto, P.A.G.; " Moldes para plásticos – Abordagem estrutural, térmica e reológica; sebenta de auxílio à disciplina de projecto da ESTIG; Instituto Politécnico de Bragança; 1996.
- [2]- Walter Rodriguez; "The Modeling of Design Ideas", McGraw-Hill International Editions; Singapore 1992.
- [3]- Curtis D. Johnson; "process Control Instrumentation Technology"; Prentice Hall International, In; New Jersey, 1997.
- [4]- Charles L. Tucker III, " Computer Modeling for Polymer Processing"; Hanser publishers; Munich, Vienna, New York; 1989.
- [5]- James M. Margolis; " Instrumentation for Thermoplastics Processing"; Hanser publishers; Munich, Vienna, New York;1988.
- [6]- George Menges , Paul Mohren; " How to Make Injection Molds"; Hanser Publishers; Munich, Vienna, New York; Barcelona; 1993
- [7]- Hebert Rees; " Product Design for Injection Modeling"; Hanser Publishers; Munich, Vienna, New York; 1996.

- [8]- Robert A. Malloy; "Plastic part Design for Injection Modeling"; Hanser Publishers; Munich, Vienna, New York; 1994.
- [9]- Agassant; " Polymer Processing"; Hanser Publishers; Munich, Vienna, New York; 1991.
- [10]- Avraam I. Isayev; Injection and Compression Modeling Fundamentals; Marcel Dekker, Inc.; New York and Basel; 1987.
- [11]- Ralph E. Wright; " Molded Thermosets "; Hanser Publishers; Munich, Vienna, New York; Barcelona; 1991.
- [12]- F. Johannaber; " Injection Molding Machine "3ª edição; Hanser Publishers; Munich, Vienna, New York; 1994.
- [13]- Michaeli; " Training in Plastics Technology "; Hanser Publishers; Munich, Vienna, New York; 1995.
- [14]- Michaeli; "Training in Injection Molding "; Hanser Publishers; Munich, Vienna, New York; 1995.
- [15]- Kennedy Peter; "Moldflow Analysis reference Manual"; Moldflow PTY edition; 1994.