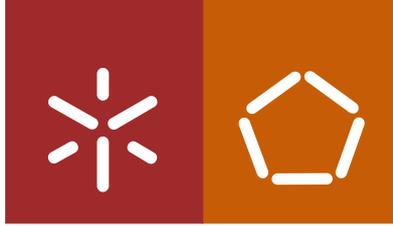


Universidade do Minho
Escola de Engenharia

João Paulo Ribeiro Marques

Otimização de uma peça de autorrádio



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

João Paulo Ribeiro Marques

Otimização de uma peça de autorrádio

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Engenharia de Polímeros

Trabalho efetuado sob a orientação do
Doutor António Manuel Brito

outubro de 2014

DECLARAÇÃO

Nome ____João Paulo Ribeiro Marques_____

Endereço electrónico: __jpaulorm@gmail.com_____

Número do Bilhete de Identidade: ____11966592_____

Título dissertação:

____Otimização de uma peça de autorrádio_____

Orientador(es): ____Doutor António Manuel Cerqueira Gomes Brito_____

____ Ano de conclusão: 2013/2014

Designação do Mestrado:

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE;

Universidade do Minho, ____/____/_____

Assinatura: _____

Resumo

O presente estudo apresenta a otimização de uma peça de autorrádio de maneira a desempenhar a sua função corretamente. Foram feitos/desenvolvidos esforços no sentido de redesenhar a peça para eliminar os seus problemas. Para isso, uma otimização mecânica foi desenvolvida utilizando-se o programa de simulação ANSYS, apresentando-se os resultados.

No final deste trabalho, espera-se não apenas ter-se encontrado uma solução para este problema assim como a possibilidade de se desenvolver capacidades de planeamento, estudo e resolução de um problema industrial

Abstract

This study presents an optimization of a piece of a car radio, to properly fulfill its function. Efforts were made to redesign the piece with the purpose to eliminate its problems. For this, a mechanical optimization was performed using the simulation program ANSYS and the results are presented.

At the end of this work it is expected to have found a solution that eliminates the problem of the initial piece.

Índice

Resumo	ii
Abstract	iii
Índice de Figuras	v
Índice de Tabelas	vii
1. Objetivo	1
2. Caracterização da Empresa	1
2.1. Grupo Bosch.....	1
2.2. A Bosch em Portugal.....	3
2.3. Blaupunkt	3
2.3.1 Blaupunkt em Portugal.....	4
3. Fundamentos Teóricos	7
3.1. Estado Da Arte	7
4. Desenvolvimento de conceito	14
4.1. Apresentação da peça em estudo e sua função	14
4.2. Estudo do problema.....	17
4.3. Resolução do problema	18
4.4. Apresentação dos resultados.....	19
5. Conclusão.....	38
6. Considerações e prespetivas futuras	38
7. Bibliografia	39

Índice de Figuras

Figura 2. 1 - Logótipo BOSCH ^[2]	2
Figura 2. 2 – Robert Bosch ^[1]	2
Figura 2. 3 – Logótipo Blaupunkt ^[2]	3
Figura 2. 4– Cartazes publicitários Blaupunkt ^[2]	4
Figura 2. 5 – Localização da BLAUPUNKT em Portugal	5
Figura 2. 6 – Auto Rádio Seattle MP57 ^[4]	6
Figura 3. 1 – Exemplo de uma <i>Blenda</i> de um autorrádio	7
Figura 3. 2 - Snap-fits removíveis ^[7]	8
Figura 3. 3 – Peça produzida num molde “abre e fecha” ^[7]	9
Figura 3. 4 – Extração da peça com ajuda do “balancé” ^[7]	10
Figura 3. 5 - <i>Snap-fit</i> com utilização de balancé ^[12]	10
Figura 3. 6 - <i>Snap-fit</i> sem utilização de balancé ^[12]	11
Figura 3. 8 - <i>Snap-fit</i> em “L” ^[10]	11
Figura 3. 9 - Mecanismo de deformação ^[13]	12
Figura 3. 10 - Mecanismo de retenção ^[11]	12
Tabela 1- Equações para o dimensionamento da viga encastrada ^[15]	13
Figura 4. 1 - Ampliação do release snap e a sua constituição.....	14
Figura 4. 2 - Conjunto de blenda montado no trimplate	15
Figura 4. 3 - Blenda com o release snap	15
Figura 4. 4 - Release snap e mola	15
Figura 4. 5 – Montagem e localização do release snap no trimplate	16
Figura 4. 6 – pormenor da peça e a sua localização.....	16
Figura 4. 7 – Peça da reclamação.....	17
Figura 4. 8 – Peça com a localização da tensão.....	18

Tabela 2 – Caraterística do material	18
Figura 4. 9 – Desenho do release snap com a mola inicial	19
Figura 4. 10 - Tensão de cedência do snap-fit	20
Figura 4. 11 – Tensão de rotura do snap-fit	20
Figura 4. 12 – Deformação total	21
Figura 4. 14 - Mola cónica.....	22
Figura 4. 15 – Mola cónica no <i>release snap</i>	23
Figura 4. 16 – Simulação da montagem com a mola cónica	23
Figura 4. 17 – Deslocação dos snap fits.....	24
Figura 4. 18 - Peça original.....	25
Figura 4. 19 – Resultado da simulação da montagem	26
Figura 4. 20- Força de funcionamento.....	26
Figura 4. 21- Deformação em trabalho	27
Figura 4. 23 – Cálculo em trabalho.....	28
Figura 4. 24 - Peça otimizada com draft de 5°	28
Figura 4. 25 – Simulação na momento da montagem.....	29
Figura 4. 26 – Calculo da tensão no momento da montagem.....	29
Figura 4. 27- Força de funcionamento.....	30
Figura 4. 28 – Flexão do snap fit	30
Figura 4. 29 – Cálculo da tensão e flexão em trabalho.....	31
Tabela 3 – Resultados das simulações das várias geometrias.....	31
Figura 4. 30 - Força de montagem.....	32
Figura 4. 31 – Percentagem de deformação.....	32
Figura 4. 32 – Gráfico tensão vs deformação	33
Figura 4. 33 – Gráfico do Módulo vs deformação.....	33
Figura 4. 34 – Simulação da deflexão para temperatura -20 °C.....	34
Figura 4. 35 – Simulação da tensão para temperatura -20 °C.....	34

Figura 4. 36 – Cálculo para os -20°C	35
Figura 4. 37 – Simulação da deflexão para temperatura 80°C	35
Figura 4. 39 – Cálculo para os 80°C	36
Figura 4. 40 – Gráfico dimensão da base vs deflexão snap-fit	37
Figura 4. 41 – Cálculo da dimensão da base do snap-fit	37

Índice de Tabelas

Tabela 1- Equações para o dimensionamento da viga encastrada ^[15]	13
Tabela 2 – Caraterística do material	18
Tabela 3 – Resultados das simulações das várias geometrias.....	31

1. Objetivo

O objetivo desta tese é tentar solucionar a falha de uma peça integrada na *blenda* de um autorrádio que permite a sua montagem/desmontagem.

Assim a primeira fase do trabalho será perceber quais as causas da falha provocada pelo funcionamento defeituoso do *snap-fit* e porque é que este ocorreu, de forma a tentar encontrar a melhor solução para a corrigir.

Deste modo será feito um redimensionamento dos *snap-fits*, garantindo que os mesmos, no momento da montagem, não quebrem e, quando montados cumpram os requisitos para os quais foram desenvolvidos, analisando-se vários tipos de geometrias.

O estudo das novas geometrias será realizado recorrendo ao programa de elementos finitos “ANSYS” para testar o comportamento mecânico dos *snap-fits*, otimizando a sua geometria e, eventualmente, sugerindo materiais alternativos, uma vez que o grau de liberdade para alterar a geometria é muito limitado, já que se pretende alterar apenas esta peça e não aquela onde esta encaixa.

A geometria encontrada será implementada na peça, por alteração do molde existente, e testada em condições reais.

Com a otimização realizada pretende-se ainda encontrar um conjunto de regras, que permitam, no futuro, a conceção mais eficiente dos *snap-fits*.

2. Caracterização da Empresa

2.1. Grupo Bosch

A Tese realizou-se na Blaupunkt, empresa do grupo BOSCH, no ano letivo 2008/2009, trabalho este, realizado por um período de aproximadamente 6 meses. O nome bosch deve-se ao seu fundador, Robert Bosch (1861 – 1942), nome que ficou desde o início associado à indústria automóvel.

Foi em 1886, na cidade de Stuttgart (Alemanha) que Robert Bosch inaugurou a sua primeira oficina, com mais dois colaboradores. Era um negócio de mecânica de precisão e técnica de eletrónica ^[1]. O logótipo da Bosch (Figura 2.1) é originário do símbolo de umas das suas invenções (magnete de baixa voltagem).



Presentemente, a Bosch é uma das maiores sociedades industriais privadas a nível mundial, com 224.000 funcionários e um volume de vendas anual de mais de 35 mil milhões de euros. Tem a sua sede situada em Shillerhoe, na periferia de Stuttgart [2].

Ao longo da evolução da empresa, Robert Bosch (Figura 2.2) criou aquela a que se denominou de “Filosofia da Empresa”, a qual se resume de seguida.

Figura 2. 1 - Logótipo BOSCH [2]

Desde a sua fundação que a elevada qualidade dos produtos fabricados e dos serviços prestados foi um dos seus objetivos principais.

Como tal, Robert Bosch escreveu, em 1919, o seguinte:

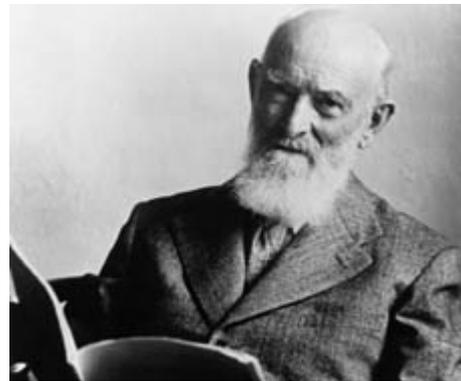


Figura 2. 2 – Robert Bosch [1]

“Sempre foi insuportável para mim a ideia de que alguém pudesse de qualquer forma provar que os meus produtos são de qualidade inferior. Por esta razão sempre tive o cuidado em fornecer um produto que suportasse qualquer exame objetivo e que fosse o melhor dos melhores.” [1]

Outra das frases que traduz a sua Filosofia Empresarial e que surgiu como um marco no seu desenvolvimento foi:

“Deve-se sempre aspirar à melhoria do estado atual. Ninguém deve dar-se por totalmente satisfeito com o que já foi alcançado, devendo ambicionar a constante melhoria da sua área.” [1]

2.2. A Bosch em Portugal

A Bosch em Portugal emprega atualmente 3.865 pessoas e teve um volume de vendas de 675 milhões de euros em 2002. Em Portugal, a empresa comercializa vários produtos Bosch de alta qualidade, como por exemplo: acessórios para automóveis, rádios, sistemas de navegação, esquentadores, caldeiras, ferramentas elétricas e eletrodomésticos. [2]

2.3. Blaupunkt

Quando o primeiro Autorrádio foi introduzido no mercado Alemão em 1923 foi constituída em Berlim uma empresa com o nome “Ideal” que se dedicava à fabricação de auscultadores. Os seus equipamentos distinguiam-se como um produto de qualidade elevada. Cada peça do equipamento era sujeita a testes rigorosos feitos pelos seus técnicos e, sempre que passavam neles o produto, recebia um Ponto Azul, símbolo de produto com qualidade. [2]

Não passou muito tempo para que os consumidores começassem a procurar estes produtos com o ponto azul – Blaupunkt (Figura 2.3). Assim em 1938 a “Ideal” passa a designar-se por Blaupunkt, e a pertencer ao Grupo Bosch. [2]



Figura 2. 3 – Logótipo Blaupunkt [2]

Em 1932 a “Ideal” inicia o desenvolvimento de Autorrádios e lança para o mercado o primeiro Autorrádio [3]. Um cartaz publicitário da altura pode ser visto na Figura 2.4.

Após a Segunda Guerra Mundial a empresa muda as suas instalações para Hildesheim [2].



Figura 2. 4– Cartazes publicitários Blaupunkt [2]

2.3.1 Blaupunkt em Portugal

As empresas BLAUPUNKT AUTO-RÁDIO PORTUGAL, LDA e BLAUPUNKT ELECTRÓNICA, LDA pertencem à área da “comunicação móvel” que, no conjunto das empresas do grupo Bosch, tem a seguinte gama de produtos: radiotécnica, antenas para automóveis, sistemas de localização e navegação, etc. [2]

A empresa iniciou a sua atividade em 1991 no distrito de Braga (Figura 2.5). Nela laboram profissionais de várias nacionalidades dos quais se podem destacar, alemães e brasileiros.

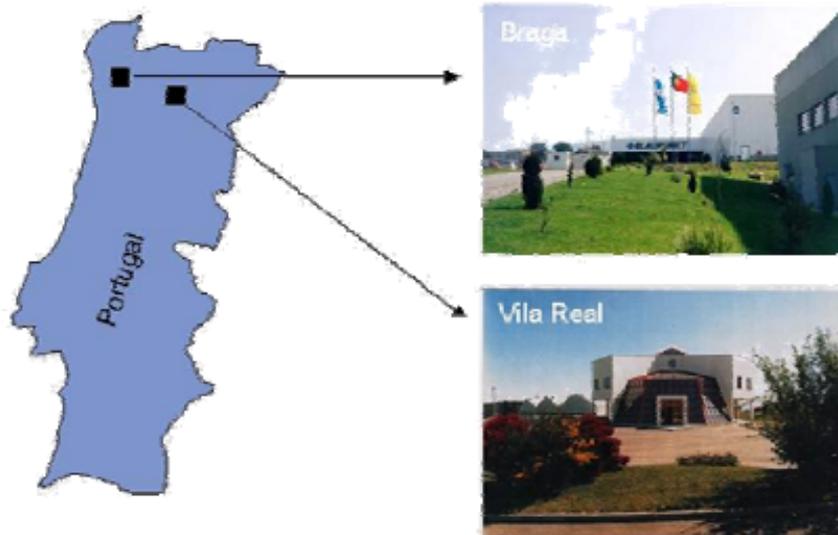


Figura 2. 5 – Localização da BLAUPUNKT em Portugal

A empresa é atualmente certificada, possui também uma excelente organização de trabalho, equipamentos sofisticados e tecnologicamente avançados, assim como uma boa formação profissional [2].

O trabalho foi desenvolvido no departamento de engenharia (ENG), na secção END (Engineering Development). A secção END pertence às instalações de Braga.

A secção END está dividida em duas subsecções – END/AM (After Market) e END/OEM (Original Equipment Manufacturer). A subsecção END/AM está encarregue do desenvolvimento de produtos orientados para o que é conhecido como After Market, ou seja, produtos que podem ser encontrados nas superfícies comerciais comuns e que podem ser adquiridos individualmente e ser instalados nos automóveis numa fase posterior à sua aquisição.

A subsecção END/OEM está orientada para a produção para clientes específicos. Estes clientes são, no caso dos autorrádios, os grandes produtores de automóveis. Estes produtos são alvo de especificações precisas por parte dos clientes em relação à parte funcional e estética, uma vez que terão que ser completamente ajustados ao produto final, o automóvel.

As responsabilidades e tarefas principais inerentes à secção END são as seguintes:

- Desenvolvimento de peças mecânicas em novos projeto;
- Desenhos de peças mecânicas;
- Acompanhamento permanente nos fornecedores de peças novas e alterações;

- Implementação da SE (Simultaneous Engineering) com os fornecedores e fábrica;
- Definição de testes e especificações para peças metálicas;
- Engenharia de produto após SOP (Start Of Production)
- Alterações técnicas de todos os produtos após “SOP”
- Implementação e desenvolvimento de novos conceitos e melhoria contínua dos produtos existentes;
- Implementação do DFE (Design For Environment)

Os excelentes resultados obtidos ao longo do tempo de vida desta secção levaram a uma crescente atribuição de desenvolvimento mecânico de projetos à sua planta de Braga. Esta secção é hoje responsável pelo desenvolvimento de todos os produtos para o After Market e de importantes projetos OEM.

A Figura 2.6 apresenta o styling de um dos projetos de 2007 de completa responsabilidade do END da planta de Braga (BrgP/END).



Figura 2. 6 – Auto Rádio Seattle MP57 ^[4]

A existência desta secção é uma característica que distingue a fábrica sedeadada em Braga da restante indústria em Portugal, uma vez que nesta é desenvolvido o produto em todas as suas fases. Ou seja, desde o projeto à montagem do produto final são elaboradas nas instalações da Blaupunkt em Braga. Isto demonstra uma tendência contrária ao que tem acontecido em Portugal, dado que a aposta se tem dado, geralmente, apenas na área da produção, no que à indústria diz respeito.

3. Fundamentos Teóricos

3.1. Estado Da Arte

Antes do desenvolvimento de novas geometrias é necessário conhecer o estado da arte em foco.

Neste capítulo, pretende-se apresentar o estado da arte respetivamente a:

- Tipos de *snap-fits* existentes;
- Aplicações;
- Produtos de consumo com estes tipos de implementações;
- Aplicações em autorrádios.

A indústria automóvel é um dos principais impulsionadores do desenvolvimento tecnológico e da economia mundial. Um dos subsectores relacionados com esta indústria é, sem dúvida, o da produção de autorrádios.

Um autorrádio é basicamente constituído por uma “caixa” onde estão integrados a maioria dos elementos elétricos e eletrónicos, e um painel frontal, normalmente destacável (por razões de segurança), que é designado pelo termo técnico de *Blenda* (Figura 3.1).



Figura 3. 1 – Exemplo de uma *Blenda* de um autorrádio

A colocação e a retirada da *blenda* devem ser feitas de uma forma simples e rápida.

Os *snap-fits* utilizam-se com a finalidade de unir duas peças distintas ou um conjunto de peças com grande rapidez e simplicidade, permitindo ainda a sua montagem ou desmontagem [5,6], sem a utilização de quaisquer outros componentes ou fixadores, como parafusos, cliques, adesivos ou outros métodos de ligação, evitando assim a utilização de ferramentas [7,8].

Um *snap-fit* consiste basicamente na adição de material em forma de um “gancho” numa extremidade de uma viga encastrada [6,9].

A força aplicada, durante a montagem, provoca a deflexão da viga devido à interferência entre o “gancho” e a peça onde este vai encaixar. Uma vez situado na posição final, a viga do *snap-fit* retorna à sua forma original e, devido à interação entre o *snap-fit* e a superfície de contacto, fica assegurada a montagem do conjunto [10]. O processo de recuperação é muitas vezes acompanhado por um “som tátil” do *snap-fit*. [11]

Ao conceber um *snap-fit*, um aspeto a considerar é a sua finalidade. Alguns *snap-fits* serão usados apenas uma vez, para a montagem durante o processo de fabrico e não voltam a ser desmontados. Estes, uma vez encaixados são frequentemente utilizados para itens não operacionais. Outros *snap-fits* terão de ser removidos mais que uma vez, ao longo da vida útil do produto (Figura 3.2). O tipo de utilização irá influenciar os critérios de conceção [10].

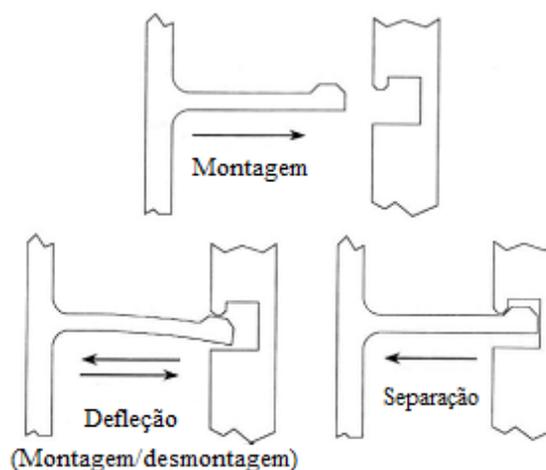


Figura 3. 2 - Snap-fits removíveis [7]

Este tipo de utilização tem como vantagem, no fim de vida do produto, as peças poderem ser desmontadas e separadas por materiais para posteriormente serem reciclados.

Os *snap-fits* podem ser produzidos em diferentes materiais, mas os mais utilizados são os termoplásticos devido à sua elevada flexibilidade e à sua facilidade e baixo custo de produção ^[12].

O desempenho de um *snap-fit* depende muito do seu desenho/projeto.

Os encaixes através de *snap-fits* que não são projetados corretamente, podem quebrar na montagem (sendo, por isso, um dos principais parâmetros de projeto a deformação causada, quando a viga é deformada para conseguir encaixar o *snap-fit* no momento da montagem ^[10]), na sua utilização ou, ainda, e frequentemente durante a própria fabricação (principalmente na fase de extração da peça).

A dificuldade de extração da peça deve-se ao facto, de a utilização do snap-fit muitas vezes aumentar a complexidade do molde, por isso é importante compreender a melhor forma de desenvolver uma peça com a utilização de *snap-fits*, pensando numa forma de simplificar o molde. Contudo uma mudança aparentemente pequena na peça pode fazer toda a diferença na complexidade do respetivo molde (Figura 3.3).

O desenvolvimento de um snap-fit em que o “gancho” fique virado para o exterior da peça, não vai alterar em nada o tipo de molde a usar.

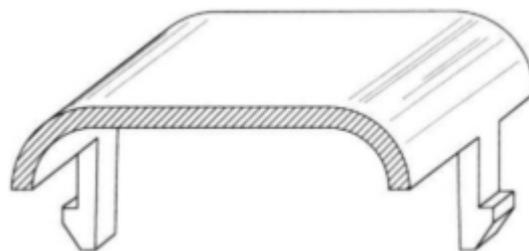


Figura 3.3 – Peça produzida num molde “abre e fecha”^[7]

No caso de o “gancho” ficar virado para o interior da peça, a complexidade do molde vai aumentar, nestes casos o molde não é do tipo “abre e fecha”, terá de ser acompanhado por movimentos laterais, como “extratores balancés” (Figura 3.4) usados na zona do snap-fit e só assim é possível extrair a peça do molde sem a danificar ^[7].

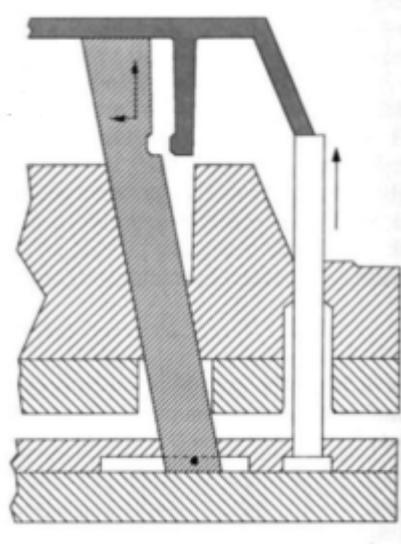


Figura 3. 4 – Extração da peça com ajuda do “balancé”^[7]

Um problema associado à utilização de *snap-fits* é o aumento do custo do molde para a sua produção por moldação por injeção, devido à necessidade de, frequentemente, ter de se utilizar sistemas especiais de extração como referido anteriormente. Contudo, um bom projetista, tenta evita-los, contornando esse problema através de outras formas de movimentos, caso a finalidade da peça assim o permita (fig.3.5 e 3.6).

Apesar do aumento do custo do molde, este tipo de união de peças vai reduzir o custo de montagem o que, conseqüentemente vai reduzir os custos totais de produção tornando, assim, o produto final economicamente favorável^[9].

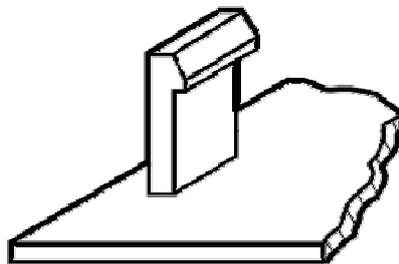


Figura 3. 5 - *Snap-fit* com utilização de balancé^[12]

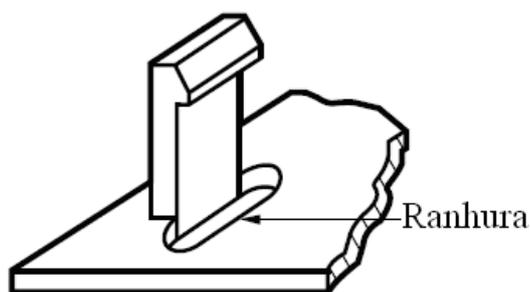


Figura 3. 6 - Snap-fit sem utilização de balancê ^[12]

Existe a possibilidade de utilizar um conceito de *snap-fit* tipo “U” e “L” (fig. 3.7 e 3.8) ^[13], no caso de falta de espaço para a utilização de *snap-fits* dito standard.

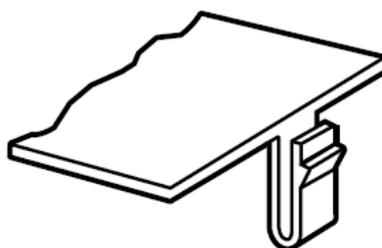


Figura 3. 7 - Snap-fit em “U” ^[10]



Figura 3. 8 - Snap-fit em “L” ^[10]

Existem determinados parâmetros que devem ser tidos em conta, como durabilidade e facilidade de abertura ou fecho, de modo a ser eficaz e consistente. Estas são as exigências universais para que haja um correto desenvolvimento da peça.

Este tipo de ligação é desenvolvido sempre com o devido cuidado, de modo a promover peças sem folgas, em que as tensões sofridas longitudinalmente após o engate

devem ser reduzidas ou até mesmo nulas, sendo que as ligações não devem trabalhar em esforço.

No que se refere ao tipo de ligações, existem três formas distintas, uma de “gancho” encastrado, outra de montagem cilíndrica e, por fim de rótulas, sendo este último usado em situações em que uma das peças de ligação necessite de movimento [5].

O tipo de fixação característico dos *snap-fits* é efetuado de duas formas distintas, por mecanismo de deformação (fig. 3.9) e por mecanismo de retenção (fig. 3.10). Estes dois mecanismos são definidos da seguinte forma: a deflexão do mecanismo é provocado pelo gancho do engate rápido, que obriga a deformar o material (flexão) para o encaixe da montagem. Este mecanismo pode ser classificado pela deformação que ocorre (por exemplo: torção, flexão) e da forma da estrutura. O mecanismo de retenção é o movimento de flexão da peça (deformação) que permite o encaixe do gancho, proporcionando a união de duas peças de modo a evitar a separação. [11]

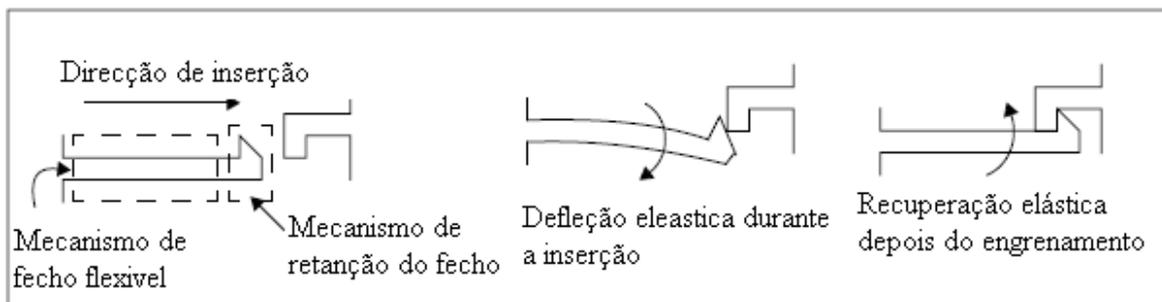


Figura 3. 9 - Mecanismo de deformação [13]

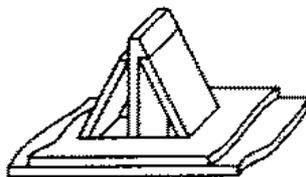


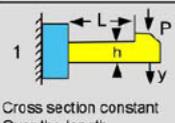
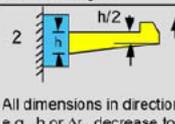
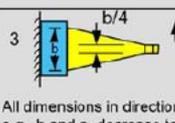
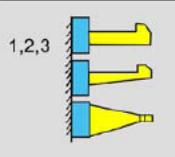
Figura 3. 10 - Mecanismo de retenção [11]

Se a finalidade for desmontar, estes devem ser desenvolvidos de modo a que seja facilitada a sua extração, para isso o seu desenvolvimento deve ter uma atenção especial na forma e material a utilizar, pois os *snap-fits* quando estão em funcionamento devem

garantir uma elevada estabilidade e força quando está em utilização, mas no entanto, devem ter uma flexibilidade de tal forma que, quando assim for desejado este seja facilmente desmontável. [14]

Um outro fator a ter em conta para além do bom dimensionamento do *snap-fit* é o tipo de geometria da viga encastrada que será a base de suporte para um correto funcionamento no momento da montagem e desmontagem [15]. Estes quando então em funcionamento na zona do encastramento da viga, acabam por sofrer elevadas tensões, pelo que deve existir um raio de dimensão suficientemente grande, como meio de redução de tensões nessas zonas críticas [9,16].

Tabela 1- Equações para o dimensionamento da viga encastrada [15].

Type of design		Shape of the cross section			
		A Rectangle	B Trapezoid	C Ring segment	D Irregular cross section
(Permissible) deflection	1  Cross section constant Over the length	$y = 0.67 \cdot \frac{\epsilon \cdot l^2}{h}$	$y = \frac{a + b_{(1)}}{2a + b} \cdot \frac{\epsilon \cdot l^2}{h}$	$y = K_{(2)} \cdot \frac{\epsilon \cdot l^2}{r_2}$	$y = \frac{1}{3} \cdot \frac{\epsilon \cdot l^2}{c_{(2)}}$
	2  All dimensions in direction y, e.g., h or Δr, decrease to One-half	$y = 1.09 \cdot \frac{\epsilon \cdot l^2}{h}$	$y = 1.64 \cdot \frac{a + b_{(1)}}{2a + b} \cdot \frac{\epsilon \cdot l^2}{h}$	$y = 1.64 \cdot K_{(2)} \cdot \frac{\epsilon \cdot l^2}{r_2}$	$y = 0.55 \cdot \frac{\epsilon \cdot l^2}{c_{(2)}}$
	3  All dimensions in direction z, e.g., b and a, decrease to one-quarter	$y = 0.86 \cdot \frac{\epsilon \cdot l^2}{h}$	$y = 1.28 \cdot \frac{a + b_{(1)}}{2a + b} \cdot \frac{\epsilon \cdot l^2}{h}$	$y = 1.28 \cdot K_{(2)} \cdot \frac{\epsilon \cdot l^2}{r_2}$	$y = 0.43 \cdot \frac{\epsilon \cdot l^2}{c_{(2)}}$
Deflection force	1,2,3 	$P = \frac{bh^2}{6} \cdot \frac{E_s \epsilon}{l}$	$P = \frac{h^2}{12} \cdot \frac{a^2 + 4ab_{(1)} + b^2}{2a + b} \cdot \frac{E_s \epsilon}{l}$	$P = Z_{(4)} \cdot \frac{E_s \epsilon}{l}$	$P = Z_{(4)} \cdot \frac{E_s \epsilon}{l}$

Subscript numbers in parenthesis designate the note to refer to.

As propriedades dos materiais a utilizar neste tipo de conceito de fixação têm de ser muito bem definidos.

Como se pode verificar através do programa de elementos finitos, pode-se concluir que a implementação de “dobradiças” flexíveis vai facilitar a flexão do material, permitindo desta forma o desengate das peças unidas. Rotheiser afirma que o

polipropileno (PP) é o material mais adequado para a fabricação de *snap-fits* bem como qualquer outro polímero semi-cristalino [17].

De acordo com a reciclagem de plásticos é importante ter em conta a escolha do material, como por exemplo, para os produtos domésticos o ABS/PC, e para muitos *snap-fits* o PP, uma vez que, ambos os materiais não podem ser misturados [18].

4. Desenvolvimento de conceito

4.1. Apresentação da peça em estudo e sua função

Antes de se iniciar o estudo da peça, bem como o que levou à rotura e ao seu mau funcionamento, passa-se à sua apresentação, à sua função e como interfere no bom funcionamento do conjunto.

A peça com o nome de release snap (figura 4.1), é uma peça de plástico, pequena, composta por dois snaps laterais, em que o material utilizado é o poliacetal (POM) (Ticona Hostaform C13031).

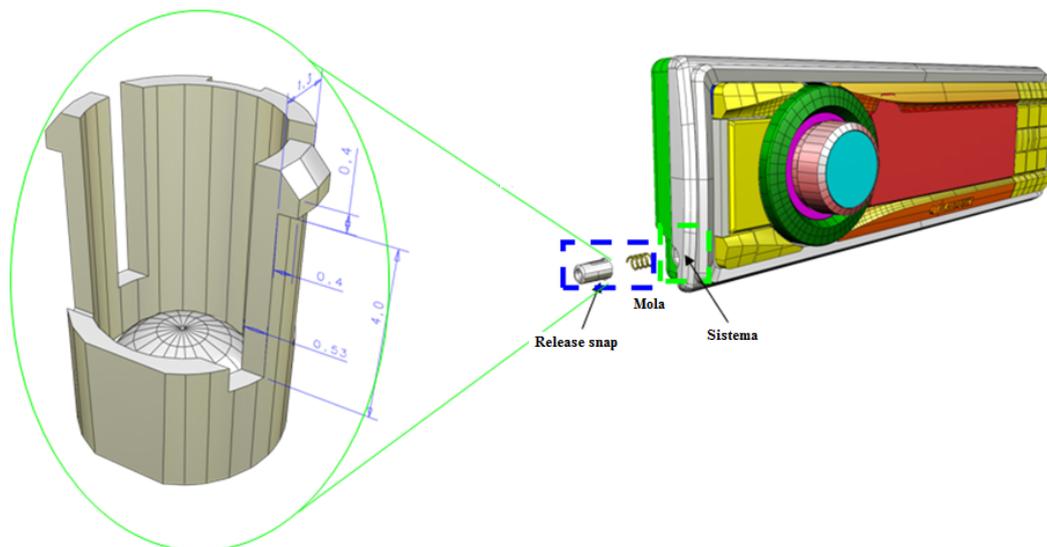


Figura 4. 1 - Ampliação do release snap e a sua constituição

O release snap é montado manualmente no front cover, atuando como uma interface entre o painel frontal e o Trimplate (figura 4.2).

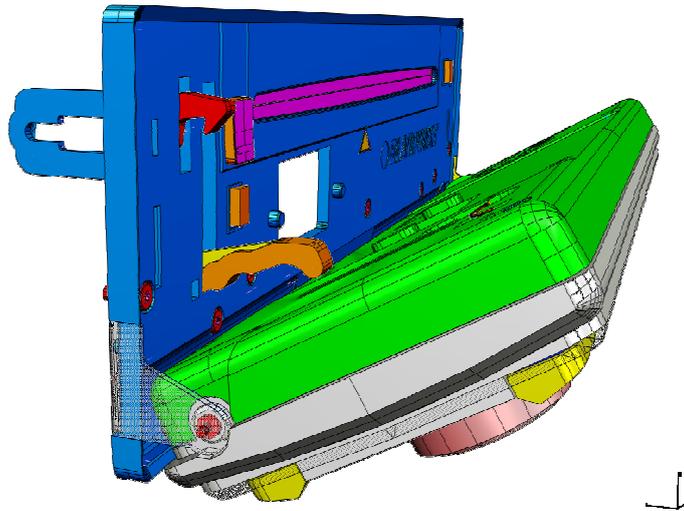


Figura 4. 2 - Conjunto de blenda montado no trimplate

Conforme se pode verificar na figura 4.3 e 4.4, este é um elemento fundamental para o bom funcionamento do sistema.

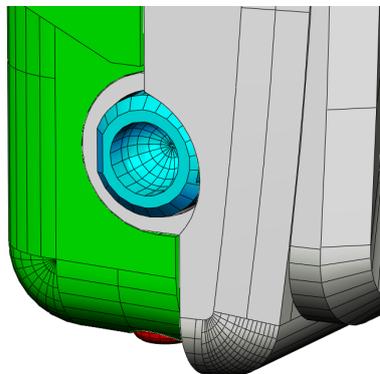


Figura 4. 3 - Blenda com o release snap

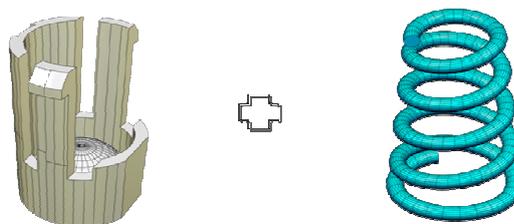


Figura 4. 4 - Release snap e mola

A função básica para o qual o release snap foi desenvolvido é promover a montagem e a desmontagem da blenda do trimplate (Figura 4.5).

Para permitir a fixação do release snap no Front Cover, o snap necessita defletir 0.4 mm.

Alguns parâmetros a ter em conta são:

- Inserção e Remoção do release snap implica uma $F = 12.1 \text{ N}$
- O Release Snap desloca-se 2.56 mm
- Permitir a abertura do painel de 90°

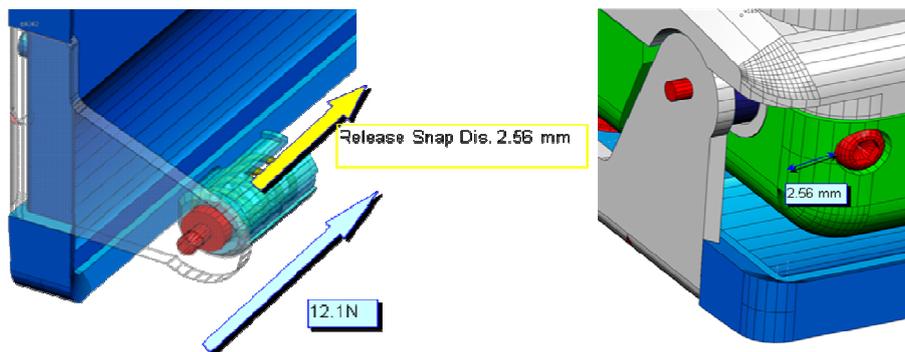


Figura 4. 5 – Montagem e localização do release snap no trimplate

Condições a ter em conta:

- O tempo de vida do produto é de 5 anos o que implica 5200 ciclos (4 ciclos/dia)
- A gama de temperaturas varia de -20° C a $+80^\circ \text{ C}$.
- Prevenir que o painel não desencaixe quando sujeito a um choque 30G

O conjunto no seu todo (Figura 4.6), permite que o cliente possa, quando assim o entender, retirar a blenda do autorrádio, pelo que o release snap se apresenta como o elemento fundamental para a sua retirada e colocação.

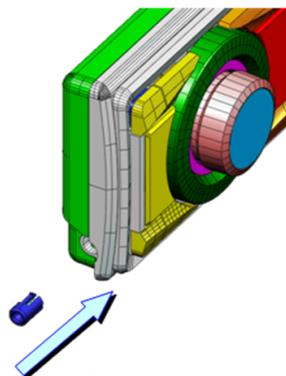


Figura 4. 6 – pormenor da peça e a sua localização

4.2. Estudo do problema

Este trabalho surgiu no seguimento de reclamações feitas por clientes, pelo que foi necessário resolver o problema de forma célere, a fim de evitar prejuízos de maior, tal como a falta de confiança dos clientes no produto.

Após rececionar as peças com a respetiva falha mecânica, como se pode ver no exemplo da figura 4.7, foi possível perceber o que levou à sua deterioração.

Foram apresentadas 3 reclamações em que era visível a quebra do release snap, todas elas ocorridas na Alemanha, em que as condições meteorológicas no verão rondam os 25 - 30°C, e que a temperatura dentro do carro pode chegar aproximadamente aos 65°C.

Esta falha teve como consequências para o Cliente a incapacidade de fixar o Release Painel no Trimplate.



Figura 4. 7 – Peça da reclamação

Inicialmente pensou-se que o snap fit não foi dimensionado para suportar a força de 12.1 N exercida pela mola, ou seja, o conceito não era robusto. Portanto, o snap foi submetido a uma tensão localizada na base, superior à tensão de cedência de 68 MPa do material. Na figura (4.8) apresenta-se a força exercida pela mola, quando o *release snap* é pressionado para o encaixe no *front cover* é necessário vencer a força que a mola exerce (12.1 N) sobre a peça, bem como a localização da tensão sofrida que levou à rotura do snap fit. Esta foi a primeira análise efetuada à peça, sem qualquer estudo.

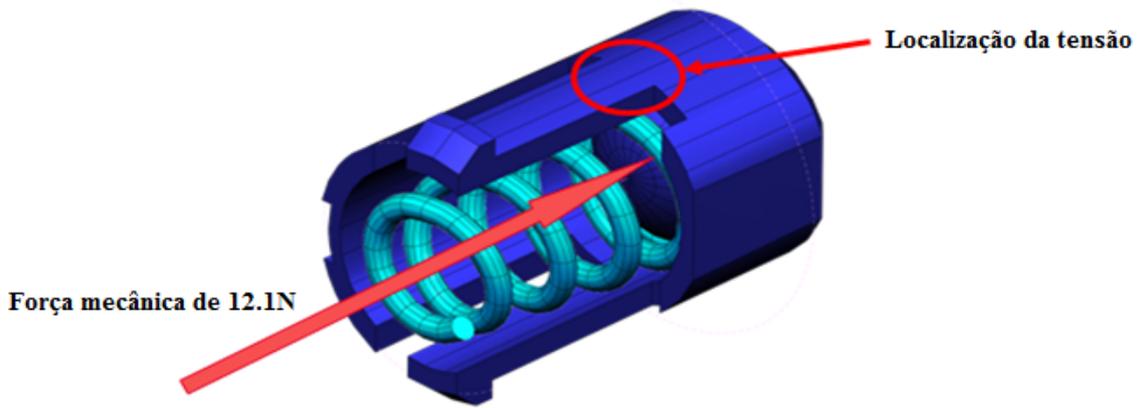


Figura 4. 8 – Peça com a localização da tensão

4.3. Resolução do problema

De modo a iniciar o estudo foi necessário ter em conta vários fatores assim como variáveis importantes para o desenvolvimento do trabalho, que tem por objetivo encontrar uma possível solução de resolução de um problema de conceito, de uma peça que faz toda a diferença no sistema funcional de um auto-rádio. Para tal é necessário ter em conta as características do material utilizado, que neste caso o material usado, como já anteriormente foi referenciado, é o POM com as seguintes características apresentadas na tabela 2.

Tabela 2 – Caraterística do material

Módulo de elasticidade	3050 Mpa
Tensão de cedência	68 Mpa
Coefficiente de poisson	0.35

Com base nas características do material e de modo a servir como referência para resultados futuros, procede-se ao estudo da falha. Desta forma utilizamos o conceito da qual surgiram reclamações por parte de clientes, e fez-se a simulação da peça de maneira a simular o seu comportamento, para deste modo tentar perceber qual o motivo que levou à falha prematura da peça.

4.4. Apresentação dos resultados

No que concerne aos resultados, importa, antes de mais, demonstrar os desenhos e simulações da peça atual. Assim, na figura 4.9 é possível observar o release snap com a mola inicial. Através da mesma percebeu-se que a mola utilizada entra à “justa” no release snap, não permitindo que o snap fit utilizado flita de modo a proporcionar a montagem de forma simples. Na sequência da não flexão, o snap-fit é esmagado pela mola contra as paredes do front cover fragilizando assim a peça, provocando a torção do snap-fit, vindo este a partir posteriormente com o manuseamento normal do utilizador ou até mesmo na própria montagem.

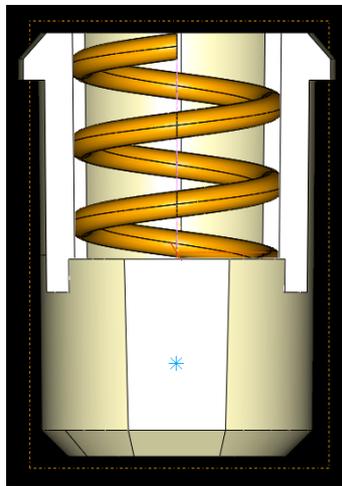


Figura 4. 9 – Desenho do release snap com a mola inicial

Primeiramente, efetuou-se uma simulação à peça original de modo a confirmar o motivo que levou a essa falha e que, inicialmente, se conjecturou.

Na primeira simulação, figura (4.10) verificou-se que o material na zona do snap fit atinge uma tensão de cedência de 101 MPa, o que ultrapassa largamente a tensão de cedência suportada pelo material e que, na montagem da peça, este não consegue fletir, devido à mola encostar ao snap-fit, o que leva à torção e conseqüente quebra da peça (Figura 4.11).

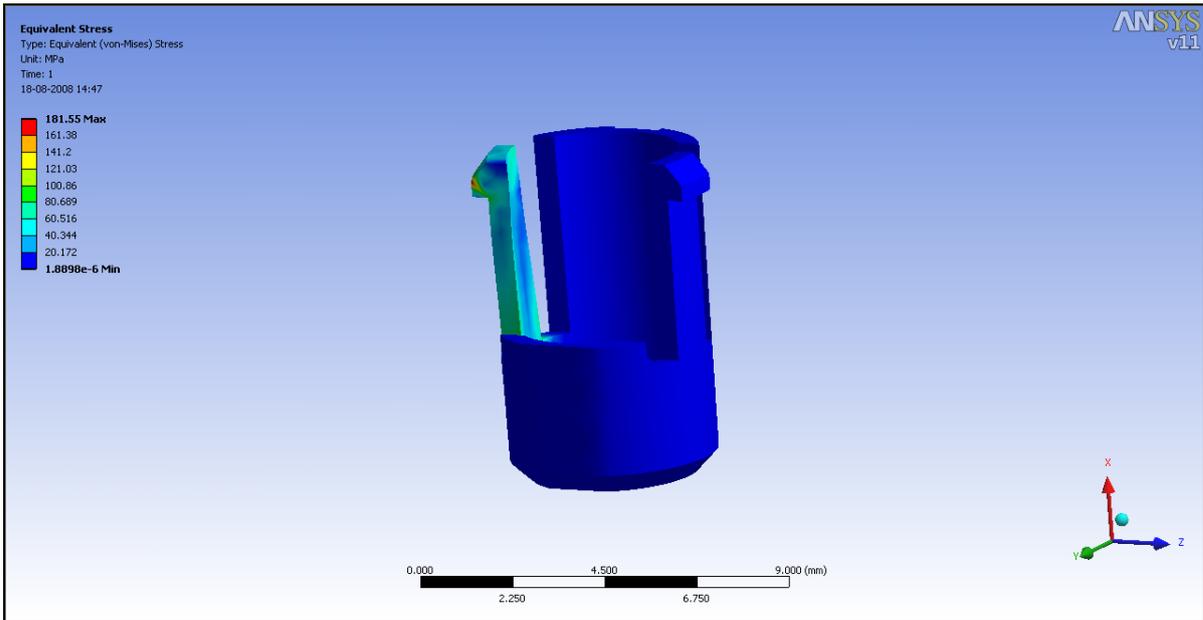


Figura 4. 10 - Tensão de cedência do snap-fit

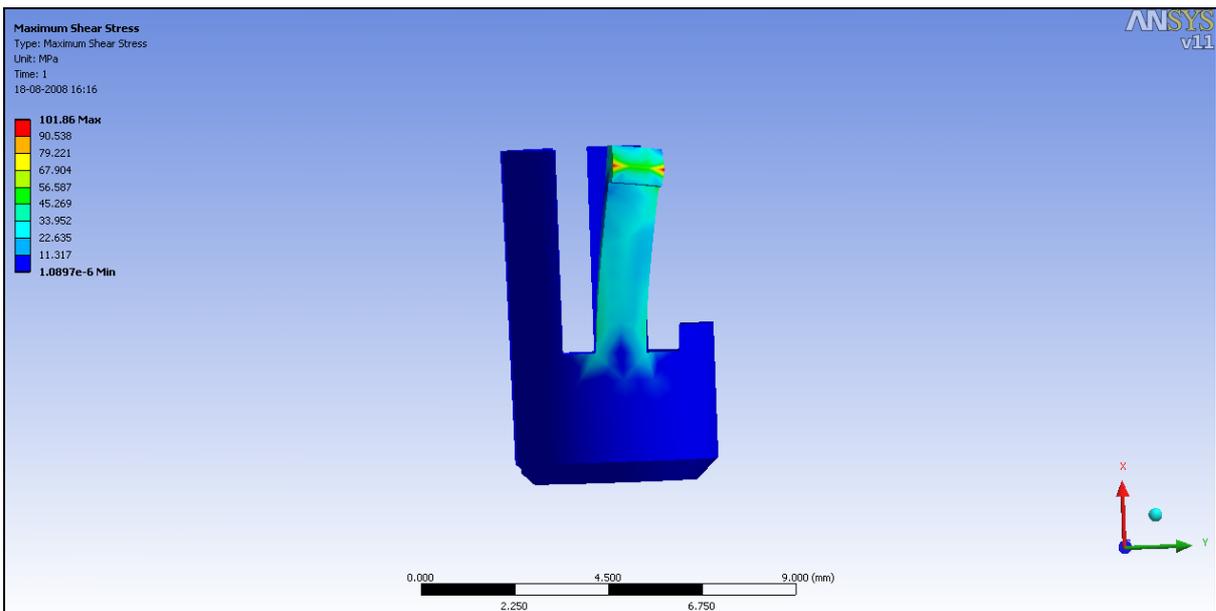


Figura 4. 11 – Tensão de rotura do snap-fit

A deslocação que se verifica na figura (4.12), acontece devido à torção provocada pela mola, ou seja, o snap fit roda em torno da mola ao invés de fletir, conforme o esperado.

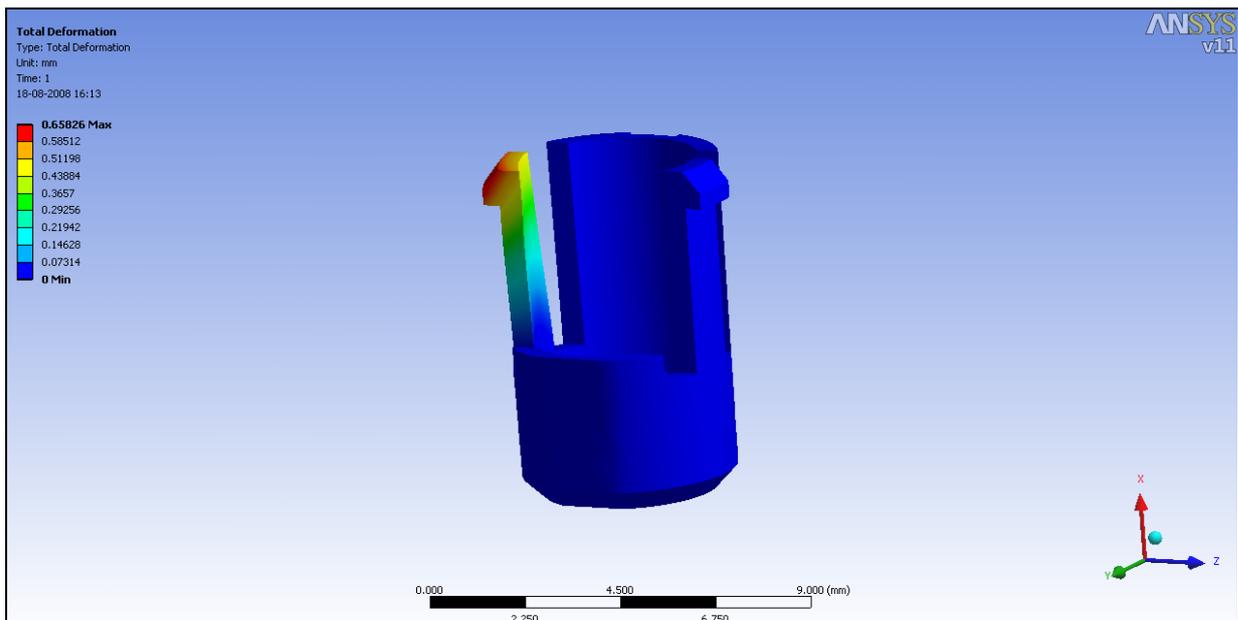


Figura 4. 12 – Deformação total

Os resultados das simulações confirmam que a falha se deve ao mau dimensionamento, confirmando-se assim que esta advém realmente de problemas de conceito de desenvolvimento da respetiva peça.

Após a descoberta acerca do que provocou a deterioração da peça, procedeu-se ao estudo de uma solução otimizada da mesma, de modo a que esta cumpra o papel para o qual foi desenvolvida.

Antes de se efetuar qualquer possível solução ou alteração da referida peça, importa salientar que existe um conjunto limitado de fatores que são relevantes para a resolução da mesma, nomeadamente os custos, a alteração da ferramenta entre outros.

Após alguns estudos realizados, a fim de encontrar a melhor solução para resolução do problema, cogitou-se a possibilidade de alterar a geometria da mola, com o intuito de se evitar a alteração da ferramenta. Assim, se houver alteração da respetiva mola, passando de uma mola de geometria constante com um diâmetro de 3.6 mm (figura 4.13), para uma de geometria variável em que o diâmetro máximo é de 3.6 mm e, o diâmetro mínimo é 2.6 mm (figura 4.14), designada por mola cónica, o problema do encaixe do release snap poderia ficar resolvido. Isto porque, o snap-fit do release snap, passaria a ter espaço, para que no momento da montagem, do encaixe do release snap no front cover, fletisse o suficiente para se proporcionar um encaixe suave e sem grandes esforços. Desta forma, poder-se-ia ter o problema solucionado, sem que fosse

necessário alterar a ferramenta pois, neste caso, haveria só a necessidade de produzir molas novas.

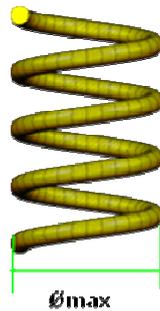


Figura 4. 13 – Mola geometria constante

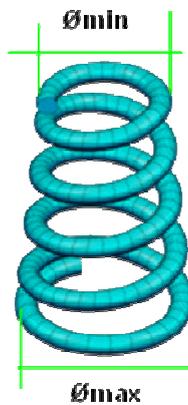


Figura 4. 14 - Mola cónica

Tendo em conta o supracitado, procedeu-se à alteração da mola que possibilitou fazer alguns protótipos de molas, de modo a poder simular na realidade o funcionamento das peças (figura 4.15). Após a receção das molas prontas, experimentou-se o funcionamento das mesmas, ao qual se verificou que proporcionavam um encaixe perfeito. Apesar disto a força que a mola exercia sobre o *release snap* não permitia que o *snap fit* se mantivesse encaixado no *front cover*.

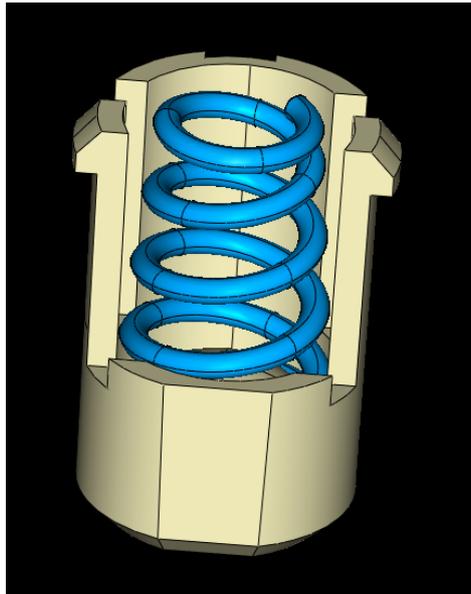


Figura 4. 15 – Mola cónica no *release snap*

De modo a poder comprovar se a alteração da mola era suficiente para a resolução do problema, conforme a experimentação mencionada anteriormente, fez-se a respetiva simulação do *release snap* no momento da montagem (figura 4.16), que demonstra que esta alteração permitiu que o *snap fit* fletisse no momento da montagem, possibilitando um melhor funcionamento da peça e tendo em conta que também apresenta uma tensão de cedência de 40.8 MPa, valor este que se encontra bastante abaixo da tensão de cedência do material.

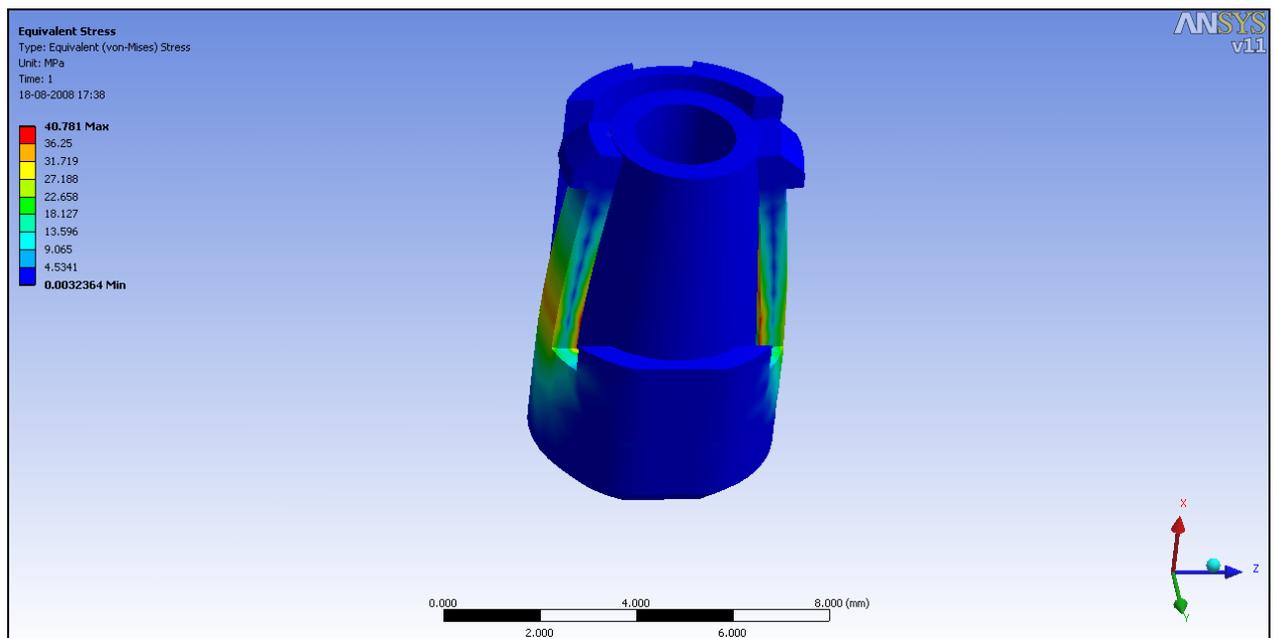


Figura 4. 16 – Simulação da montagem com a mola cónica

As alterações efetuadas na mola foram positivas e resolviam o problema da montagem, uma vez que os snap fits tinham espaço suficiente para fletir 0,4 mm (figura 4.17), por forma a proporcionar o encaixe mas, por outro lado, veio comprometer o funcionamento do release snap, pois o snap fit apresenta uma força de flexão baixa, não sendo suficiente para suportar a força exercida pela mola.

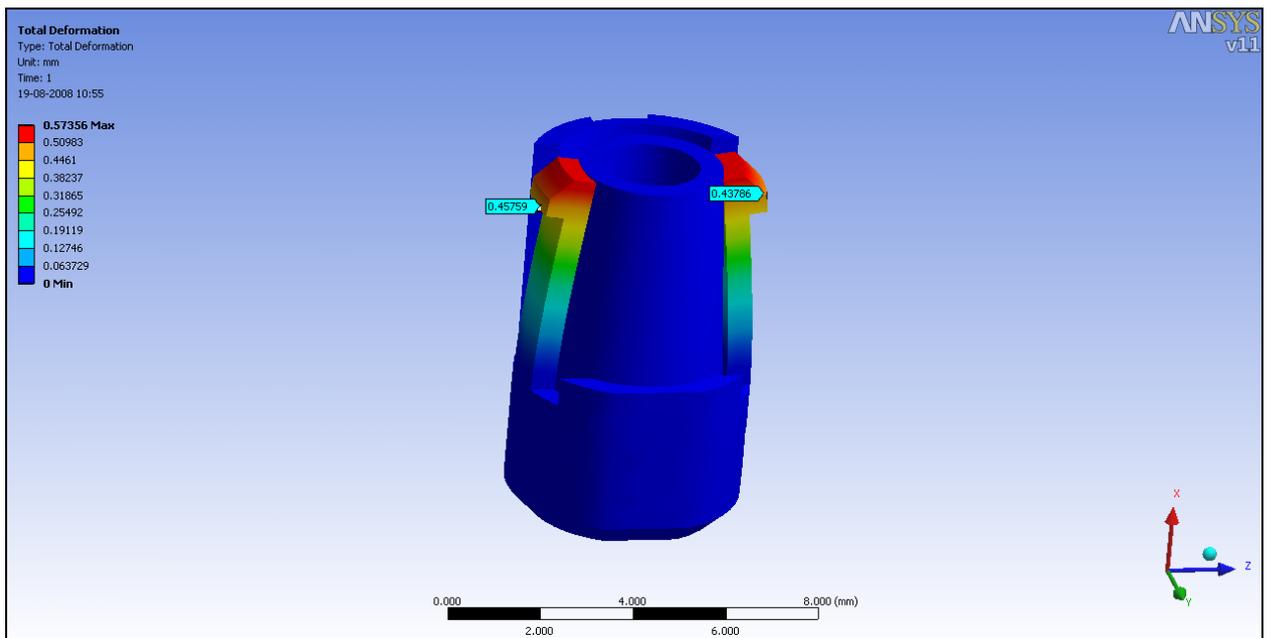


Figura 4. 17 – Deslocação dos snap fits

Concluiu-se assim que, mesmo tendo havido alteração da mola que permitiu que, a montagem do release snap no front cover, se fizesse de forma simples, funcionando bem, sem que a peça falhasse, verificou-se que o snap-fit do release snap após montado no front cover, não tinha força suficiente para aguentar a força da mola assim que solicitada, ou seja, o snap-fit não fixava o release snap no front cover.

Após detetada esta situação, que surgiu na tentativa de resolução do problema do encaixe do release snap no front cover, surgiu outro problema, que obrigou a reconsiderar uma outra solução, ou seja, a alteração da mola não é suficiente para solucionar o problema.

Tendo sempre em conta a contenção de custos e com base na pesquisa efetuada, o problema teria de passar, inevitavelmente, pelo redimensionamento do snap-fit, ou seja, aumentar a dimensão da base do snap-fit, de forma a poder elevar a força de flexão, para

que desta forma o release snap não desencaixe do front cover e assim cumpra a função para o qual foi desenvolvido.

Para que o funcionamento fosse possível, era necessário arranjar um equilíbrio entre a montagem e o funcionamento do release snap. Para isso fizeram-se diversas simulações que acabaram por gerar uma geometria ideal.

A partir da peça original (figura 4.18), que conta com uma base de 1.21 mm, efetuaram-se simulações que demonstram como a peça funciona no momento da montagem.

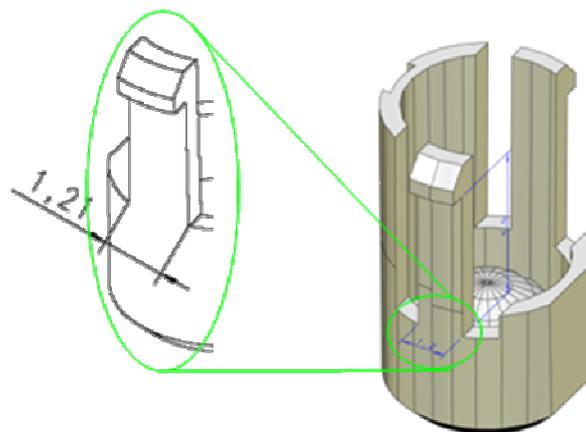


Figura 4. 18 - Peça original

Na figura 4.19 vê-se a simulação da peça no momento da montagem, sendo possível perceber que esta funciona, pois a tensão de cedência é de 37 MPa.

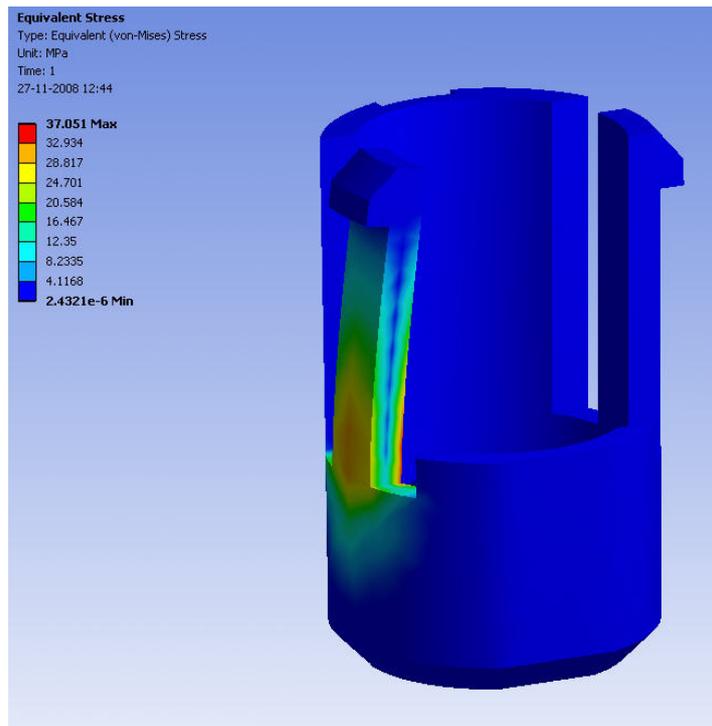


Figura 4. 19 – Resultado da simulação da montagem

No que toca ao seu manuseamento, comprova-se através da simulação da figura 4.20 e 4.21, que o seu funcionamento fica comprometido, o snap fit sofre uma deflexão de 1.6 mm, sendo que o snap tem 0.4 mm, demonstrando assim que os snaps não aguentam a força da mola, que lhes permitiria trabalhar no front cover.

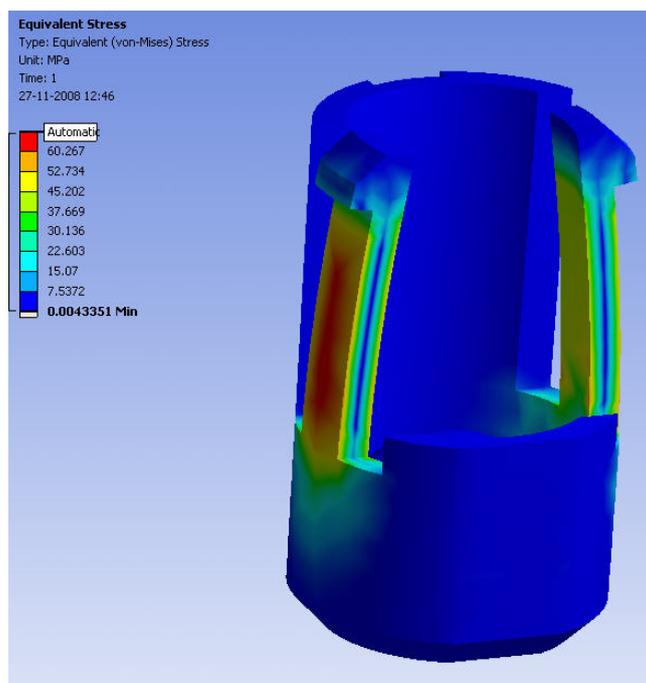


Figura 4. 20- Força de funcionamento

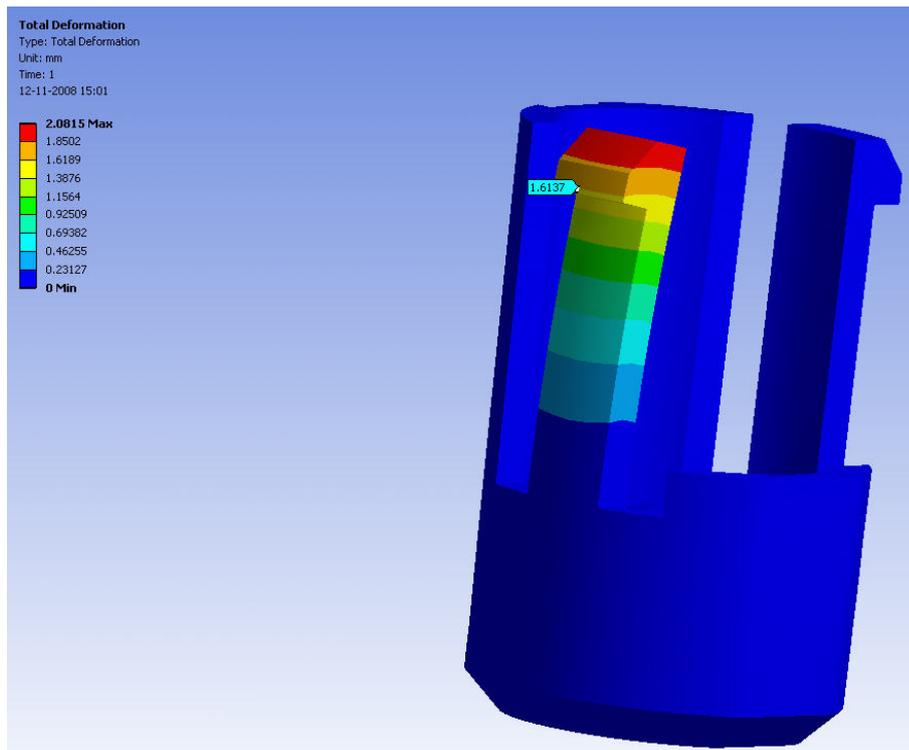


Figura 4. 21- Deformação em trabalho

Em paralelo com as simulações e, de modo a comprovar a veracidade dos resultados obtidos pelo programa, demonstrando a proximidade dos valores obtidos, fizeram-se também os seguintes cálculos numéricos, sendo que na figura 4.22 demonstra os valores no momento da montagem, obtendo uma tensão de cedência de 46.58 MPa e, na figura 4.23 apresenta os cálculos dos valores referentes ao manuseamento da peça, com uma deflexão de 0.97 mm, valor próximo à da simulação que foi de 1.6 mm.

$$M_0 = F \times L$$

$$M_0 = 6.05 \times 0.65 = 3.93 N \cdot mm$$

$$i = \frac{E \times d^4}{12} \Leftrightarrow \frac{1.21 \times 10^5}{12} = 0.0126 mm^4$$

$$F = \frac{M_0 \times 3 \times E \times i}{L^3} \Leftrightarrow \frac{0.4 \times 3 \times 3050 \times 0.0126}{4.43^3} \Leftrightarrow \frac{46.12}{36.94} = 1.25 N$$

$$\sigma = \frac{M \times c}{I} \Leftrightarrow \frac{F \times L \times c}{I} \Leftrightarrow \frac{0.53 \times 4.43 \times 0.25}{0.0126} = \frac{0.4696}{0.0126} = 46.58 MPa$$

Figura 4. 22 – Cálculo da montagem

$$I = \frac{b \times h^3}{12} = \frac{1,21 \times 0,5^3}{12} = 0,013 \text{ mm}^4$$

$$y = \frac{M_0 \times L}{2 \times B \times I} = \frac{3,93 \times 4,43^2}{2 \times 3050 \times 0,013} = 0,97 \text{ mm}$$

$$\sigma = \frac{M_0 \times c}{I} = \frac{3,93 \times \frac{0,5}{2}}{0,013} = 75,57 \text{ MPa}$$

Figura 4. 23 – Cálculo em trabalho

Após os diversos estudos/simulações das várias geometrias, com vista à otimização da peça, concluiu-se que era necessário diminuir o braço e aumentar a base do snap-fit para 2.15 mm (figura 4.24) para que possa suportar o esforço que a mola proporciona quando solicitada.

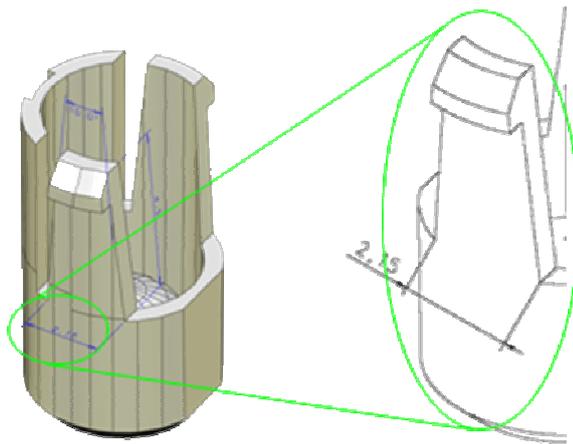


Figura 4. 24 - Peça otimizada com draft de 5°

Com esta alteração proporcionou-se um aumento de secção de 0.64 mm² para 1.14 mm². Este aumento da área ocorreu pelo facto de se ter alterado o ângulo do snap de 0 ° para 5 ° passando desta forma a uma espessura da base de 1,21 mm para 2,15 mm.

No que respeita à simulação da peça otimizada, no momento das montagem, pode-se verificar que esta geometria é eficaz, dado que, pela simulação (figura 4.25) a tensão de cedência da peça é de aproximadamente 66,3 MPa, valor este inferior à tensão de cedência do material.

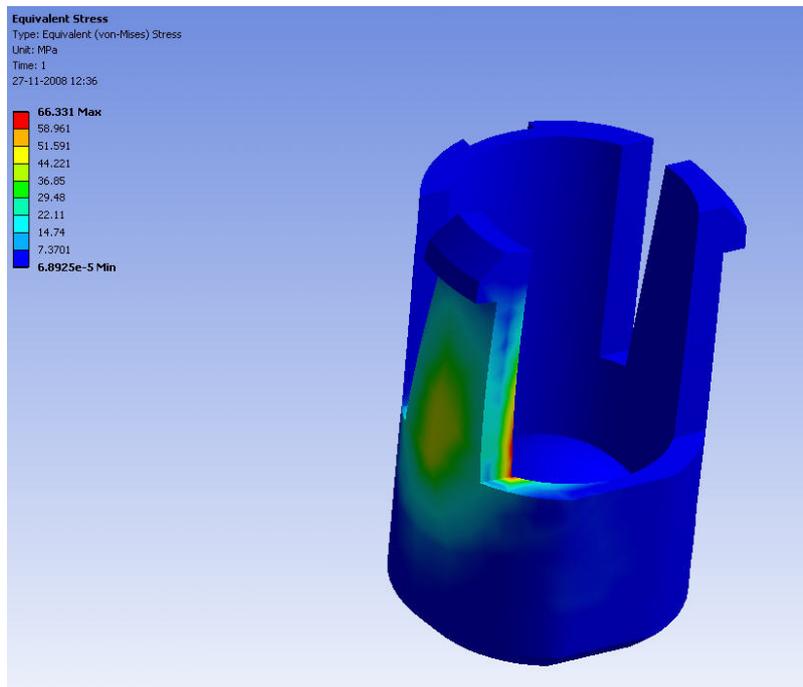


Figura 4. 25 – Simulação na momento da montagem

Pode-se comprovar através de cálculos (figura 4.26) que o resultado obtido é semelhante ao resultado da simulação feita através de elementos finitos.

$$I = \frac{b \times h^3}{12} = \frac{2.15 \times 0.5^3}{12} = 0.022 \text{ mm}^4$$

$$F = \frac{y \times 3 \times E \times I}{L^3} = \frac{0.4 \times 3 \times 3050 \times 0.022}{3.8^3} = 1.47 \text{ N}$$

$$\sigma = \frac{M_0 \times c}{I} \Leftrightarrow \frac{F \times L \times c}{I} \Leftrightarrow \frac{1.47 \times 3.8 \times 0.25}{0.022} = 63.48 \text{ MPa}$$

Figura 4. 26 – Calculo da tensão no momento da montagem

No que concerne ao funcionamento da peça otimizada, após montagem, também esta se mostrou eficaz. Esta sofre uma tensão de 47,48 MPa que é suportável pelo material (figura 4.27) e a flexão sofrida de 0.32 mm (figura 4.28) permite que a peça não desencaixe, facto que se pode comprovar também através do cálculo da figura 4.29.

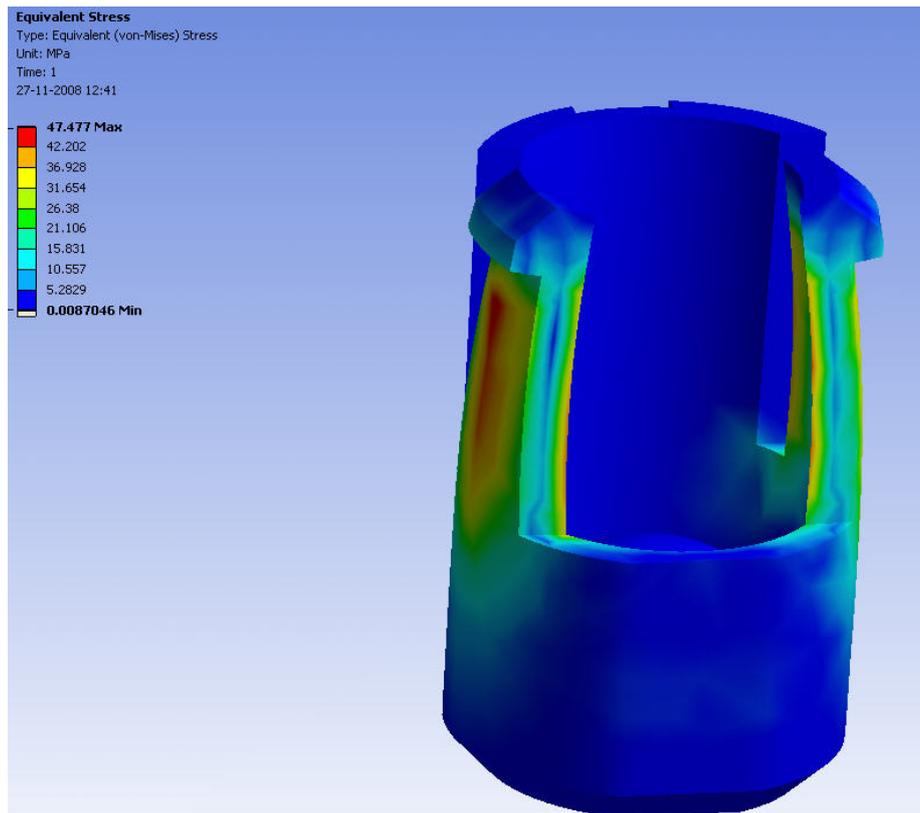


Figura 4. 27- Força de funcionamento

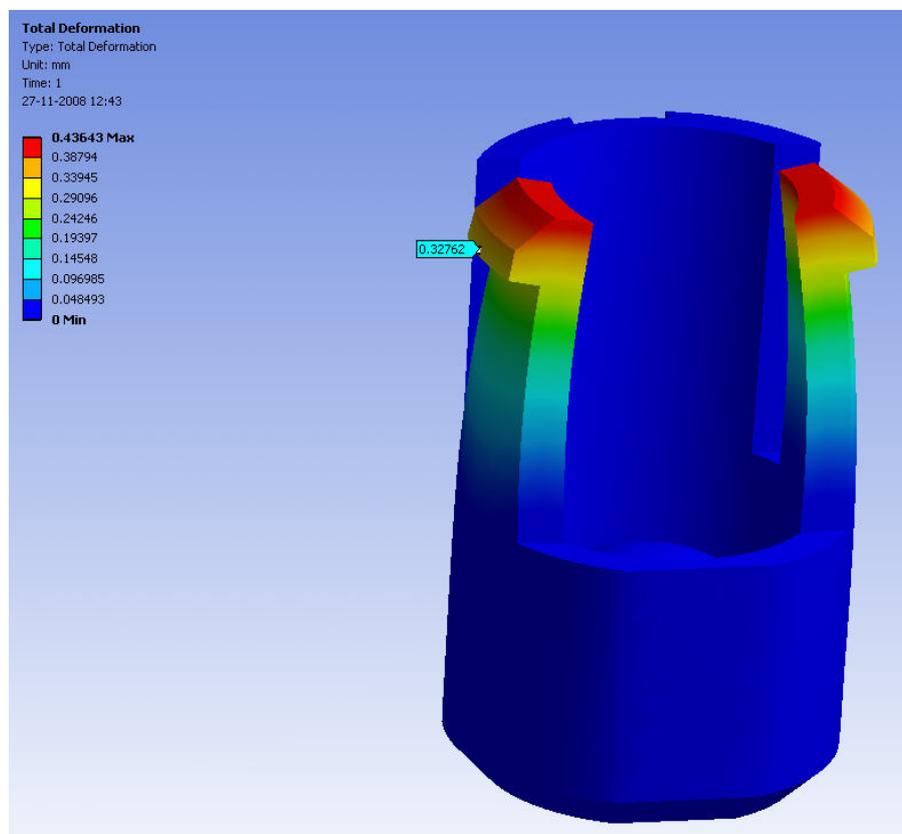


Figura 4. 28 – Flexão do snap fit

$$I = \frac{b \times h^3}{12} = \frac{2,15 \times 0,5^3}{12} = 0,022 \text{ mm}^4$$

$$Y = \frac{M_0 \times L}{2 \times E \times I} = \frac{3,93 \times 3,8^2}{2 \times 3050 \times 0,022} = 0,42 \text{ mm}$$

$$\sigma = \frac{M_0 \times c}{I} = \frac{3,93 \times \frac{0,5}{2}}{0,022} = 44,7 \text{ MPa}$$

Figura 4. 29 – Cálculo da tensão e flexão em trabalho

Conforme se pode verificar na tabela 3 esta apresenta um resumo de algumas alterações e cálculos efetuados para se chegar à peça otimizada. Com as alterações da peça mencionadas, anteriormente, houve a necessidade de modificar a ferramenta devido à mudança de geometria. Esta alteração de ferramenta, apenas requer um desbaste do molde na zona do snap.

Para chegar à medida da peça otimizada e, de forma a ter de alterar o mínimo a ferramenta, foram feitas várias tentativas para chegar à medida pretendida.

Tabela 3 – Resultados das simulações das várias geometrias

	Dimensões			Tensão encaixe (Mpa)	Deflexão encaixe (mm)	Tensão em trabalho (Mpa)	Deflexão em trabalho (mm)
	L	b	h				
Original	4,43	1,21	0,4	37	0,4	67,8	0,8
1ª	3,8	1,21	0,4	54,5	0,4	68	0,6
2ª	3,8	1,48	0,4	59,5	0,4	66	0,5
Otimizado	3,8	2,15	0,4	66,3	0,4	47,5	0,32

Para conseguir obter todos estes resultados, utilizou-se o programa ansys, programa de elementos finitos, com capacidade para simular o funcionamento de determinados elementos, quando sujeitos a cargas.

Como podemos verificar simulou-se a peça original e a peça final de forma a haver a possibilidade de comparar as diferenças e demonstrar que as alterações feitas na peça, tornaram a mesma funcional, resolvendo o problema do encaixe e do funcionamento normal do equipamento.

Após verificar que o trabalho de otimização foi feito com sucesso, houve a necessidade de confirma a força (Figura 4.30) que seria necessário para a montagem do release snap no front cover, de forma a garantir que os parâmetros, da força de montagem inferior a 50 N, sejam cumpridos.

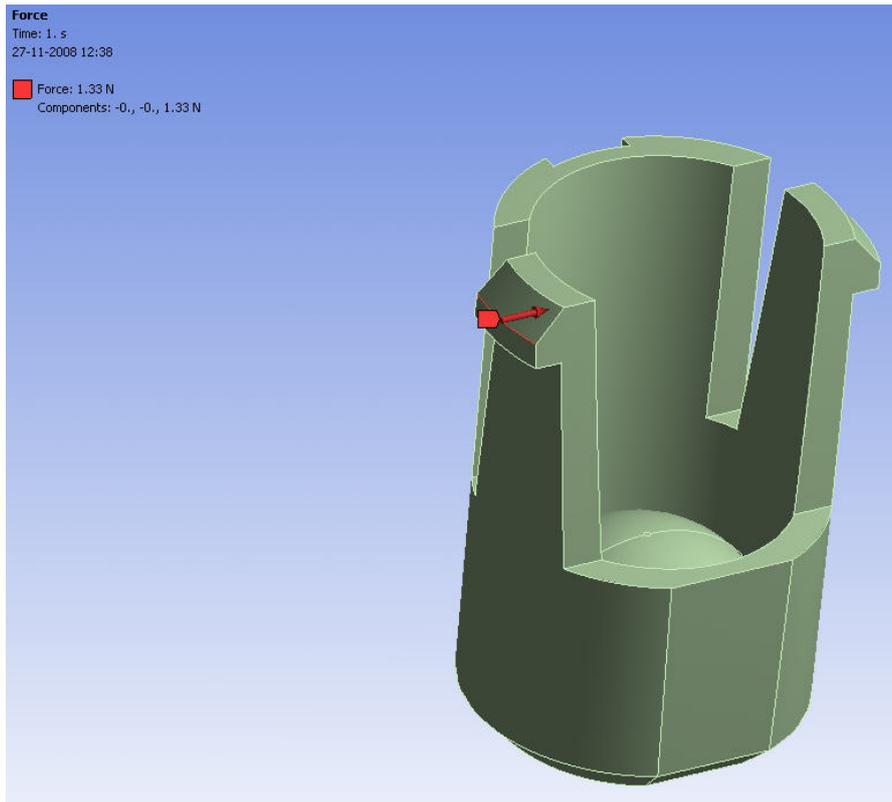


Figura 4. 30 - Força de montagem

No seguimento da resolução da peça, considerou-se pertinente simular a peça em situações extremas, como sendo o facto de os auto - rádios estarem expostos a diferentes temperaturas, daí a necessidade de ter em conta parâmetros como, o módulo de elasticidade do material para determinadas temperaturas neste caso para -20°C e para 80°C.

Para isso foi necessário calcular a percentagem de deformação (Figura 4.31), para posteriormente se poder utilizar o gráfico da figura 4.32, para calcular a tensão de cedência para as diferentes temperaturas. Assim, para uma temperatura de -20 ° C a tensão de Cedência é de 55 MPa e para 80°C a tensão de cedência é de 21 MPa.

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{3 \times 0,5 \times 0,32}{2 \times 331} = 0,0166 = 1,66 \approx 1,7\%$$

Figura 4. 31 – Percentagem de deformação

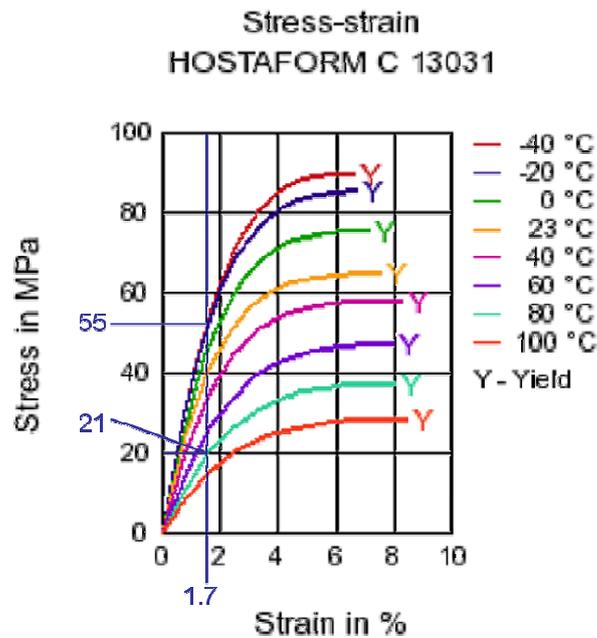


Figura 4. 32 – Gráfico tensão vs deformação

Para as simulações seguintes bem como para os cálculos analíticos utilizou-se o gráfico da figura 4.33, para a determinação do módulo de elasticidade do material, para as diferentes temperaturas.

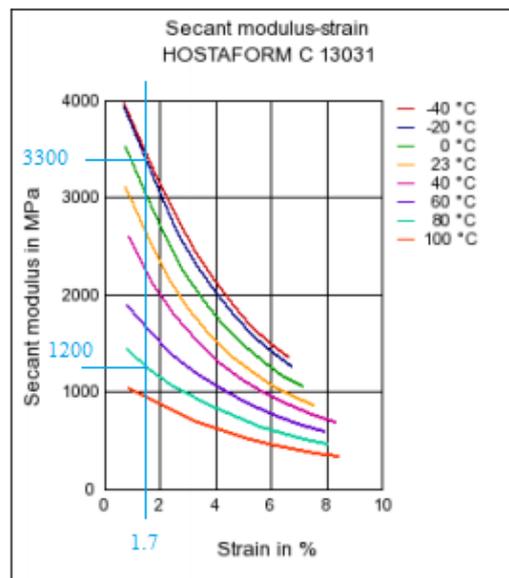


Figura 4. 33 – Gráfico do Módulo vs deformação

Na figura 4.34 observa-se uma deflexão de 0.3 mm, o que significa que a peça, após encaixada, já não desencaixa. Já na figura 4.35 percebe-se que a tensão de cedência simulada fica abaixo da tensão de cedência do material.

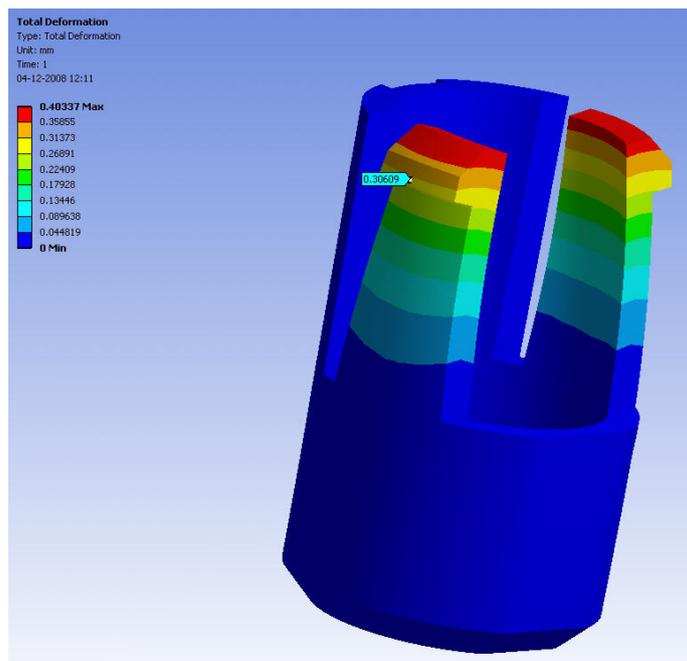


Figura 4. 34 – Simulação da deflexão para temperatura -20 °C

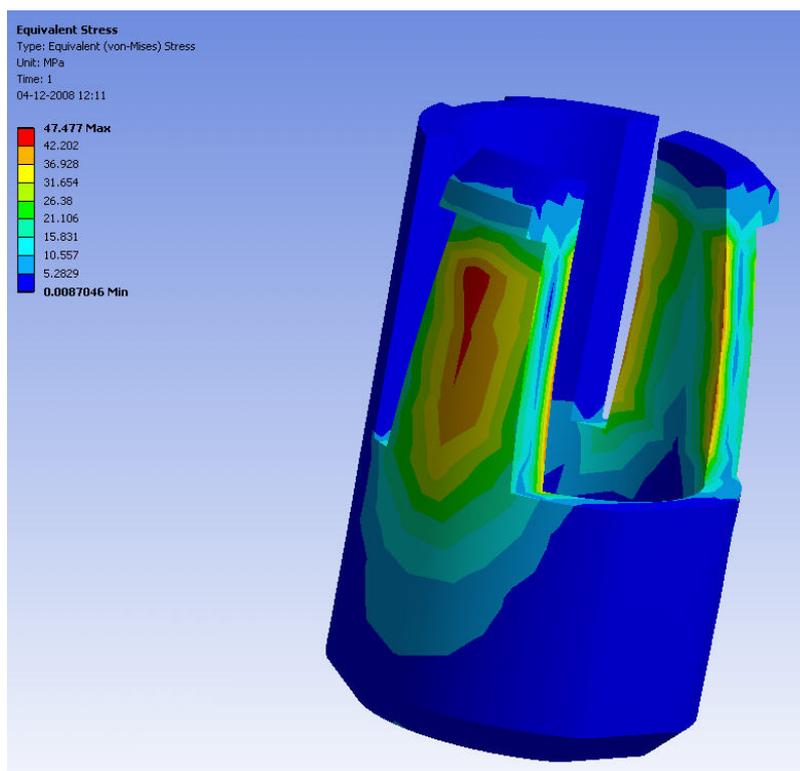


Figura 4. 35 – Simulação da tensão para temperatura -20 °C

Na figura 4.36 verifica-se os cálculos da flexão para a temperatura de -20 °C.

$$M_0 = P \times L = 6,05 \times 65 = 393,25 \text{ N mm}$$

$$I = \frac{b \times h^3}{12} = \frac{2,15 \times 0,5^3}{12} = 0,0229 \text{ mm}^4$$

$$y = \frac{393,25 \times 65^2}{2 \times 3300 \times 0,0229} = 0,35 \text{ mm}$$

Figura 4.36 – Cálculo para os -20 °C

Para a simulação da deflexão do material a uma temperatura de 80°C (Figura 4.37), obteve-se uma deslocação de 0.86 mm, o que implica que, após montado não consegue aguentar preso no Front Cover.

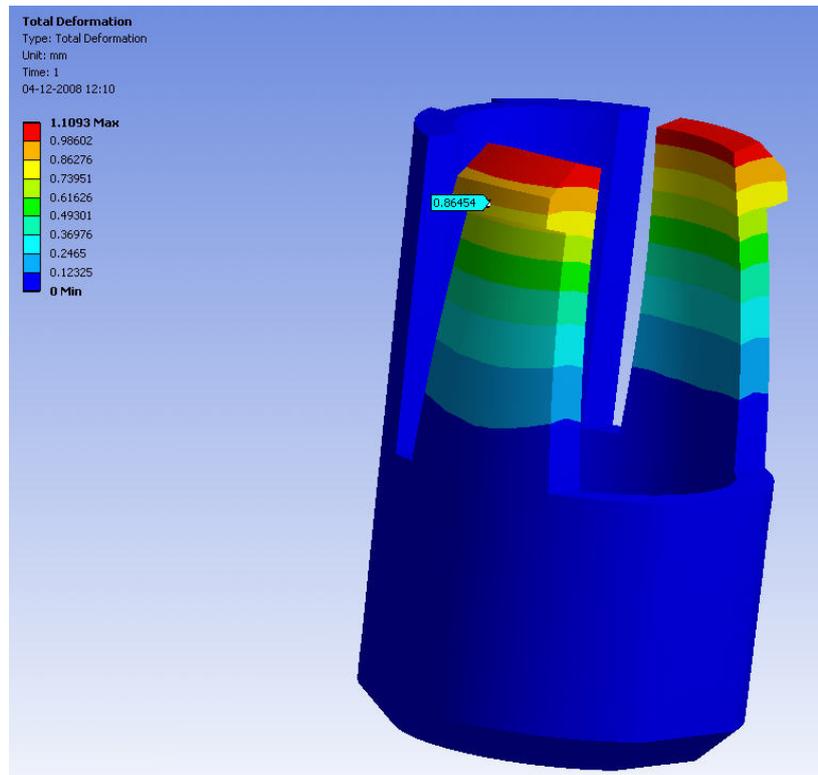


Figura 4.37 – Simulação da deflexão para temperatura 80 °C

No que respeita à tensão de cedência do material a uma temperatura de 80° C, percebe-se através da figura 4.38 que a tensão de cedência da peça é superior à do material.

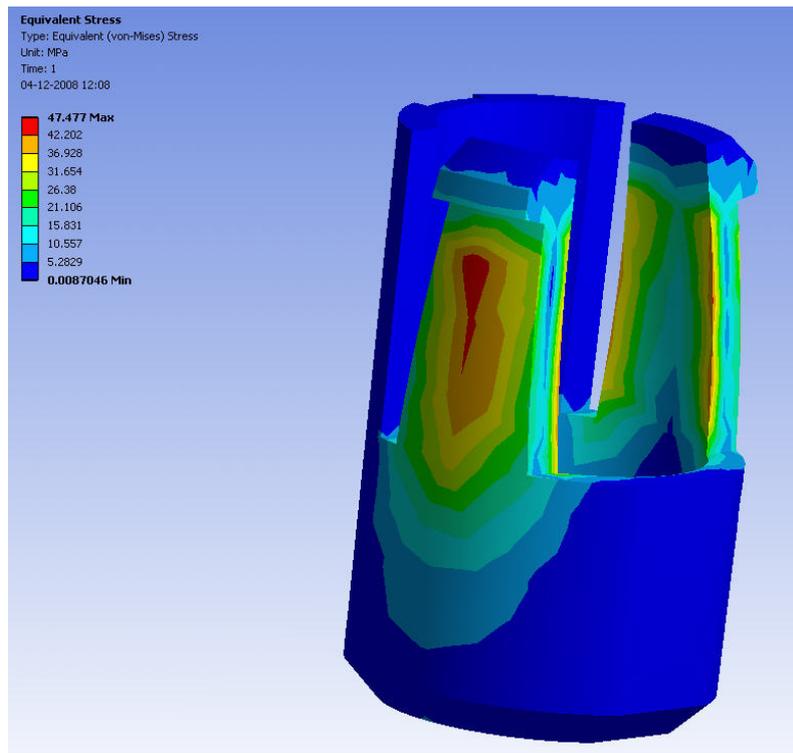


Figura 4. 38 – Simulação da tensão para temperatura 80 ° C

Na figura 4.39 é visível o resultado obtido no cálculo da deflexão, que é de 1.07 mm para uma temperatura de 80 ° C.

$$M_0 = F \cdot Z = 6,05 \cdot 0,65 = 3,9327 \text{ mm}$$

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{2,15 \cdot 0,5^3}{12} = 0,0229167 \text{ mm}^4$$

$$y = \frac{3,93 \cdot 33^3}{2 \cdot 12000 \cdot 0,022} = 1,07 \text{ mm}$$

Figura 4. 39 – Cálculo para os 80°C

Pode-se verificar que a uma temperatura de -20°C o snap vai desviar 0,39 mm, o que para temperaturas baixas o snap cumpre a sua função, já para temperaturas altas, neste caso, para 80°C a dimensão do snap teria de ser alterada para 1,07 mm (figura 4.40) ou a dimensão da base de encaixe teria de ser alterada para 7,15 mm (figura 4.41).

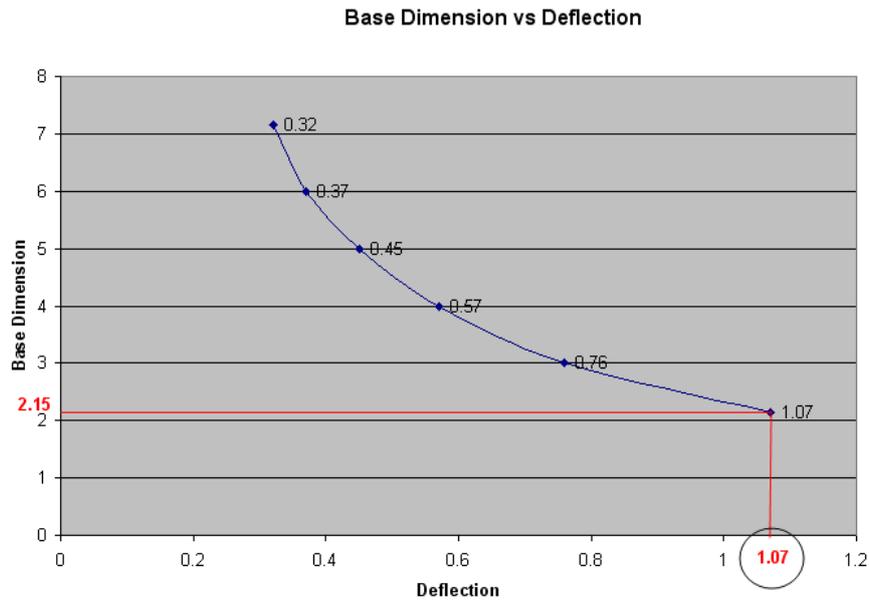


Figura 4. 40 – Gráfico dimensão da base vs deflexão snap-fit

$$M_0 = 6.05 \times 0.65 = 3.93 N \cdot mm$$

$$I = \frac{b \times h^3}{12} = \frac{7.15 \times 0.5^3}{12} = 0.075 mm^4$$

$$Y = \frac{M_0 \times L}{2 \times E \times I} = \frac{3.93 \times 3.8^2}{2 \times 1200 \times 0.075} = 0.32 mm$$

Figura 4. 41 – Cálculo da dimensão da base do snap-fit

Depois de todos os estudos e testes efetuados, verificou-se que para temperaturas normais e até mesmo baixas o release snap comporta-se perfeitamente como é pretendido, resolvendo o problema da peça.

5. Conclusão

No que concerne ao trabalho realizado é possível afirmar que os objetivos pretendidos eram exequíveis, sendo possível verificá-lo através da análise aos resultados, bem como às simulações apresentadas.

Deste modo, conclui-se que a otimização da peça do autorrádio passou pelo redimensionamento do release snap, bem como pela alteração da respetiva mola, tornando-a funcional e resolvendo, com sucesso, o problema inicial de fratura da mesma.

Apesar de se ter encontrado a resolução para o problema inicial, não se procedeu à produção da peça otimizada, dado que houve mudanças ao nível estrutural da empresa, deixando a Blaupunkt de ser parte integrante da Bosch.

6. Considerações e prespetivas futuras

Atendendo ao exposto no decorrer do trabalho, considera-se que o projeto de otimização da peça foi um sucesso, na medida em que se atingiu o objetivo pretendido, que era uma peça final funcional.

A nível de projetos futuros veio demonstrar a necessidade de otimizar esta peças bem como outras, apesar de não ser possível prespetivar nenhum projeto a curto prazo, devido ao momento de crise instalada.

7. Bibliografia

- [1] – Robert Bosch: Life and Work.
(www.bosch.com/content/language1/downloads/Robert_Bosch_Life_and_Work.pdf), acessado a 7/2008
- [2] – Blaupunkt – **Manual do Colaborador** (Documento interno), (2005)
- [3] – Bosch Press Forum. ([www. Bosch-presse.de](http://www.Bosch-presse.de)), Press release: PI5924 (Agosto 2007)
- [4] – Blaupunkt – **Documento interno** (Styling 2007 – Design C)
- [5] Marczis B.; Czigány T. - Polymer Joints. **Periodica Polytechnica Ser. Mech. Eng.** Vol. 46: nº 2, (2002) p. 117–126
- [6] Erhard G.; **Designing with plastics** . München: Hanser 2006. ISBN 3-446-22590-0, p. 312-324
- [7] http://enr.bd.psu.edu/pkoch/plasticdesign/snap_design.htm, acessado em 01/2009
- [8] Kenney W. E. - **Snap Fits and Press Fits**. Engineering Design. 1985
- [9] Pouzada A.S.; **Dimensionamento de ligações de engate rápido** - Universidade do Minho, 2005
- [10] Technical bulletin. **Snap fit design**- Solvay Advanced Polymers.G50189. 2002, acessado a 12/2008 em: <http://www.solvayadvancedpolymers.com/static/wma/pdf/1/9/9/SnapFitDesign.pdf>
- [11] Gene, S.; Jr. Messier R. W.; Gabriele G. A. - A Systematic Approach to Integral Snap-Fit Attachment Design. **Research in Engineering Design**. Vol.10 (1998) p. 84-93
- [12] Bonenberger, P. R. - **The First Snap-Fit Handbook: Creating and Managing Attachments for Plastic Parts**. 2nd. USA: Hanser, 2005. ISBN 3-446-22753-9
- [13] Gene S.; Messler R. W.; Gabriele G. A. - **Methodology for locking feature selection in integral snap-fit assembly**. USA: Rensselaer Polytechnic Institute, 1997
- [14] Willems, B., Dewulf, W. and Duflou, J. R. - Active snap-fit development using topology optimization. **International Journal of Production Research**. Vol 45: nº18 (2007), p. 4163 — 4187
- [15] A Design Guide: **Snap-Fit Joints for Plastics** –Bayer Material Science
- [16] Spahr T. - **Snap-Fits for Assembly and Disassembly**, Ticona, 2000
- [17] Rotheiser, J. – **Joining of Plastics: Handbook for Designers and Engineers**. 2nd. USA: Hanser, 2004. ISBN 1-56990-354-9
- [18] Willems B.; Dewulf W.; Duflou J. R. - **Concepts and verification model for pressure triggered one-to-many disassembly fasteners**. Belgium: Katholieke Universiteit Leuven, 2006