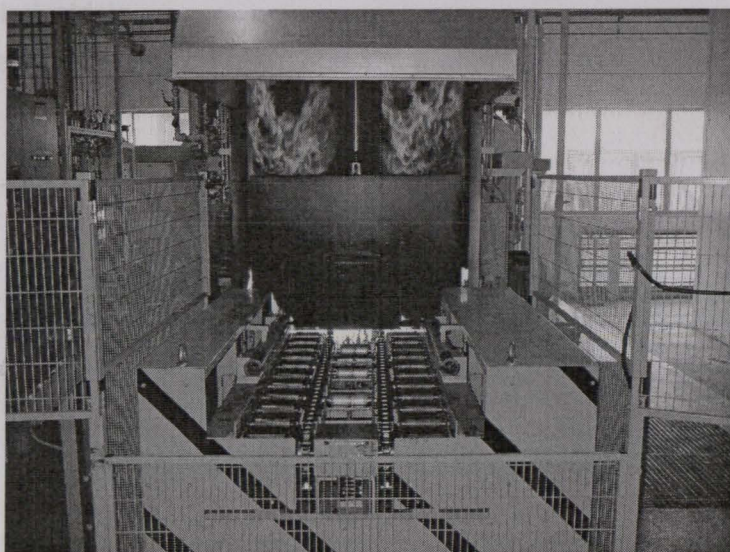


Relatório de Estágio

Acompanhamento da instalação/montagem
e

Primeiros ensaios de um forno de tratamentos térmicos



Realizado por: André Simões Pinto

Supervisor F.E.U.P.: Eng.º Henrique Santos

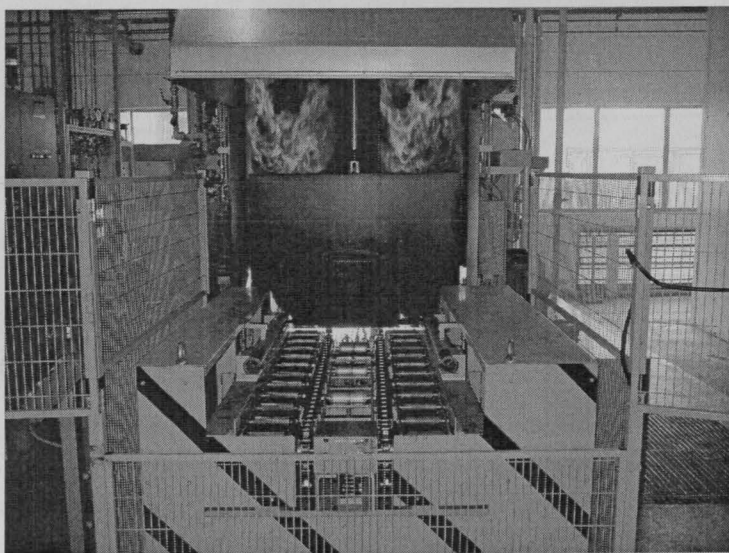
Orientador empresa C.A.C.I.A.: Eng.º José Figueiredo

Data de entrega: 15.07.2005

669(047.3)
LEMM 2004
PINa

Relatório de Estágio

Acompanhamento da instalação/montagem
e
Primeiros ensaios de um forno de tratamentos térmicos



Realizado por: André Simões Pinto

Supervisor F.E.U.P.: Eng.º Henrique Santos

Orientador empresa C.A.C.I.A.: Eng.º José Figueiredo

Data de entrega: 15.07.2005

669 (047.3) / LEM 2004 / Pina

Universidade do Porto	
Faculdade de Engenharia	
Biblioteca 	
Nº	88323
CDU	
Data	23/04/2004

Índice

1. Objectivo.....	1
2. Planeamento e Execução do Estágio	1
3. C.A.C.I.A. S.A.	2
4. Atelier de Tratamentos Térmicos	3
4.1 Aços utilizados	6
5. Novo forno de Tratamentos Térmicos.....	6
5.1 Funcionamento do forno CIEFFE.....	6
5.1.1 Analisadores de potencial de carbono.....	9
5.1.2 Regulador SCR 2000 (Sistema Completo de Regulação)	10
5.2 Instalação/Montagem.....	12
5.3 Testes de Funcionalidade	14
5.4 Ensaaios Industriais.....	17
5.4.1 Ensaaios Metalúrgicos	17
6. Conclusão.....	30
7. Referências Bibliográficas	31
ANEXOS	32

1. Objectivo

O objectivo geral deste estágio, reside no contacto do aluno em final de licenciatura com o mundo industrial tentando “absorver”, o mais possível, o quotidiano da empresa em termos de desenho de processos, problemas mais ou menos graves que vão surgindo e os métodos adoptados para a sua resolução.

Em termos de trabalho de estágio proposto pela empresa o objectivo consiste no acompanhamento/supervisão da instalação de um novo forno de tratamentos térmicos, bem como na condução de ensaios do ponto de vista à sua operacionalidade.

2. Planeamento e Execução do Estágio

O estágio foi realizado na empresa Renault C.A.C.I.A., S.A. e teve início no dia 28 de Fevereiro de 2005, prolongando-se por três meses. Seguidamente, apresenta-se um diagrama com a execução do estágio.

Tabela 1. Plano de estágio cumprido na Renault C.A.C.I.A., S.A.

Dadas	28.02.05	08.03.05	01.04.05	02.05.05	31.05.05-
	07.03.05	31.03.05	29.04.05	31.05.05	
Plano Estágio					
Conhecimento Atelier de T.T.					
Instalação do forno T.T.					
Testes Funcionais					
Ensaio industriais					
Amostras Iniciais					

A primeira parte do estágio baseou-se essencialmente no acompanhamento do processo de instalação de um novo forno de tratamento térmico de carbonitruração.

Após surgirem alguns problemas nesta fase do estágio, estes foram analisados e rapidamente resolvidos, uma vez que o início de produção tinha prazos bem definidos e que teriam, obviamente, de ser cumpridos.

Seguidamente foram efectuados os testes funcionais que consistiram na verificação da funcionalidade a nível de mecanismos (portas, passadeira de transporte, elevador, assim como todos os motores), software e temperatura do forno.

Após estes ensaios deu-se início aos ensaios industriais. Estes, serviram essencialmente, para estabelecer os parâmetros de tratamento, tendo em conta as

propriedades finais desejadas. Todos estes ensaios, são efectuados a carretos e árvores, fabricadas em C.A.C.I.A.

Posteriormente serão realizados os ensaios denominados como “amostras iniciais”. Estes ensaios são efectuados sob as condições determinadas nos ensaios industriais. Estas amostras servem para validação e aceitação do novo forno de tratamentos térmicos.

3. C.A.C.I.A. S.A.

A empresa C.A.C.I.A. S.A. (Companhia Aveirense de Componentes para a Indústria Automóvel) foi criada em 1981 e integrada na estrutura industrial do grupo Renault. Esta empresa é hoje uma importante referência no mercado europeu de mecânica de precisão, com especial relevância na indústria de componentes mecânicos para a indústria automóvel. Está situada na Vila de Cacia, na periferia da cidade de Aveiro, e insere-se naquele que é o terceiro maior pólo industrial de Portugal. A privilegiada localização de Aveiro em relação ao país e a conjugação das infra-estruturas existentes no local, potenciam o desenvolvimento das relações e do fluxo comercial com a Europa e com o resto do mundo.

A fábrica está dividida em dois grandes sectores: fabricação, montagem, reparação de caixas de velocidades e fabricação de componentes para motores.

A fabricação encontra-se organizada em Unidades de Negócio fornecendo continuamente fábricas de mecânica e fábricas de montagem do grupo Renault.

O sector de fabricação e montagem de caixas de velocidades, bombas de óleo, árvores de equilibragem, e outros componentes para motores, apresenta diferentes processos implementados na fábrica, de onde dispõem de equipamentos modernos destinados a fabricar produtos de qualidade, com segurança e fiabilidade.

Direccionada para o cliente, esta actividade é desenvolvida em paralelo pela engenharia e pela produção apoiadas pelas funções suporte – manutenção – qualidade – logística – compras – financeira – recursos humanos e informática.

Outra das actividades da fábrica C.A.C.I.A. é fornecer componentes mecânicos de motores para as fábricas de mecânica do grupo Renault. A maquinaria e a montagem de um diversificado conjunto de componentes permite à fábrica demonstrar a sua flexibilidade e a sua competência em numerosos domínios. A utilização de tecnologias muito diversificadas e específicas para a maquinaria de diferentes materiais permite

colocar a fábrica num lugar de destaque entre as indústrias reconhecidas no domínio da mecânica.

A Renault C.A.C.I.A. dispõe de processos de fabrico que incluem a maquinação, tratamento térmico, montagem e controlo de qualidade. Dispõe ainda de diversos serviços associados às actividades principais (armazém, garagem, oficina, ETAR, central de fluidos, zona de stockagem de resíduos).



Figura 1 – Vista aérea da Renault C.A.C.I.A., S.A.

Do vasto leque de produtos fabricados em C.A.C.I.A., destacam-se os órgãos considerados estratégicos para a empresa – caixas de velocidades, árvores de equilibragem e bombas de óleo. Estes órgãos são caracterizados de estratégicos pelas seguintes razões: as caixas de velocidades porque representam a maior parte do volume de negócio (cerca de 80%); as árvores de equilibragem são de concepção C.A.C.I.A. e a sua maquinação e montagem é um exclusivo da fábrica, e destinam-se aos veículos topo de gama tais como o Vel Satis e Espace; as bombas de óleo porque são fabricantes exclusivos de uma parte das bombas de óleo para alguns motores, representando, deste modo, 80% da produção de bombas de óleo para o grupo Renault.

4. Atelier de Tratamentos Térmicos

O atelier de tratamentos térmicos na empresa C.A.C.I.A., S.A. realiza, actualmente, apenas o tratamento termoquímico de carbonitruração.

Este atelier apresenta, actualmente, seis fornos do tipo Batch com tanque de têmpera integrado (um destes fornos é novo, sendo tema de destaque neste relatório), um forno rotativo com têmpera sob prensa, duas máquinas de lavar, duas

granalhadoras normais e duas granalhadoras pré-contraintes, uma máquina de desempenho e ainda uma máquina que faz um tratamento de recozimento por indução.

Nos fornos do tipo Batch, ocorre o tratamento de carbonitruração e de seguida um tratamento de têmpera livre em óleo, integrado no forno. No forno contínuo rotativo as peças sofrem o mesmo tratamento, sendo depois temperadas através de um mecanismo de prensa (pressão entre 10 e 30 Bar) utilizando um óleo de têmpera a uma temperatura de 55°C, seguidamente as peças são lavadas e posteriormente conduzidas a um pequeno forno, no qual sofrem um tratamento de revenido a 185°C. As peças, sujeitas ao tratamento neste tipo de forno, são componentes do motor, mais precisamente da árvore de equilibragem, tais como roda coroa, carretos de 41, 47 e 49 dentes, exigindo estas uma tolerância apertada a nível de deformação após tratamento térmico, daí o tratamento de têmpera sob prensa e o tratamento de revenido de alívio de tensões.

As peças sujeitas ao tratamento de carbonitruração seguem o seguinte trajecto:

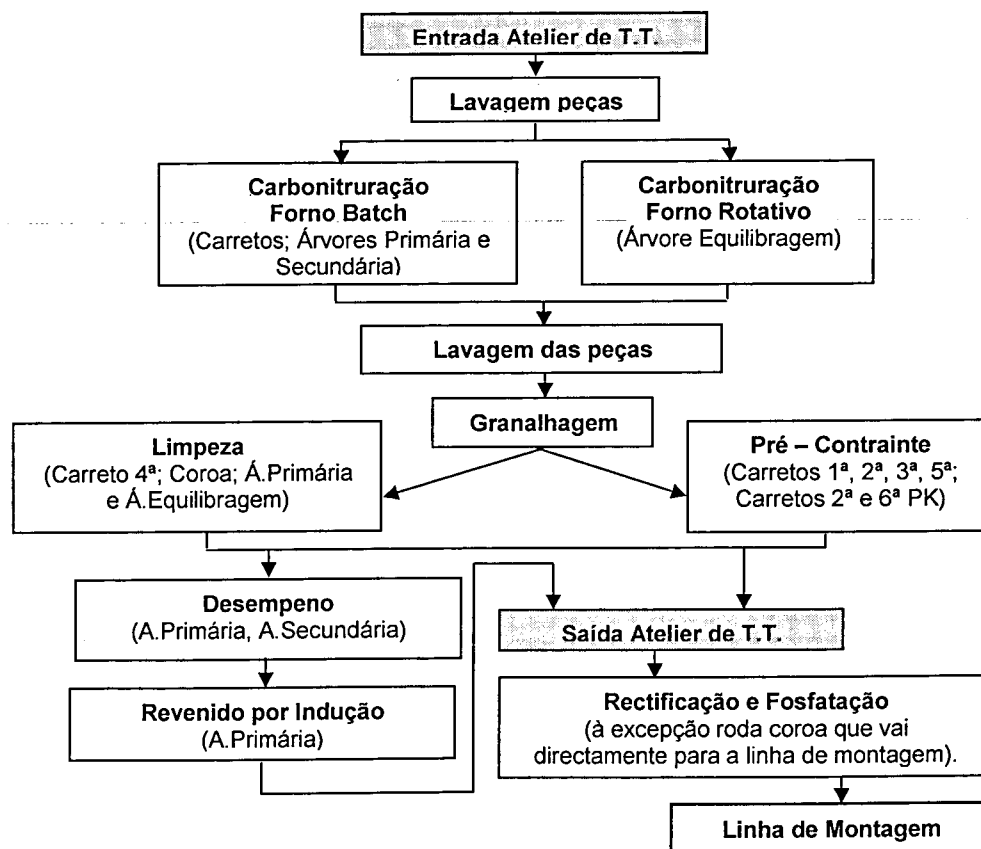


Figura 2 – Trajecto das peças após entrada no atelier de T.T.

Nos fornos Batch, mediante o tipo de peça e espessura de capa pretendida, as peças sofrem o tratamento de carbonitruração propriamente dito a uma temperatura de 870°C durante um período de tempo que ronda os 100 minutos.

No entanto, as peças que são tratadas no forno rotativo, são peças que exigem percentagens em carbono um pouco superiores aos fornos Batch, cerca de 0.9%C enquanto que os Batch é 0.8%C. Neste tipo de forno, o tratamento ocorre a temperaturas na ordem dos 900°C, durante aproximadamente 120 minutos.

Em relação à operação posterior ao tratamento, a granalhagem, esta pode efectuar dois tipos de tratamento diferentes, mediante o tipo de granalhadora utilizada, bem como o tipo de granalha. A granalhagem dita "normal" utiliza uma granalha pré-misturada (dureza de 550 HV) efectua apenas um tratamento de limpeza às peças. Neste tipo de granalhadora as peças são colocadas numa posição horizontal.

Na granalhadora pré-contrainte, o tratamento é específico ao dente, permanecendo as peças numa posição vertical, sendo que, o diâmetro da granalha utilizada é inferior ao da granalha pré-misturada, apresentando uma dureza de 700HV. Este tipo de granalha confere às peças um aumento de resistência à fadiga e um aumento de resistência ao desgaste.

As árvores, primária e secundária, após granalhagem, são conduzidas à operação de desempenho. Esta operação é efectuada em três locais distintos para a árvore primária (extremidade, meio e outra extremidade) e em dois locais para a árvore secundária (uma extremidade e meio).

Posteriormente apenas as árvores primárias sofrem um tratamento de recozimento por indução (tensão: 4Kv, tempo aquecimento: 8seg.) para diminuir a fragilidade de uma das extremidades. Este tratamento é efectuado a uma das extremidades da árvore, porque nesta vai ser aplicada uma rosca e respectiva porca.

Após saída do atelier dos tratamentos, as peças seguem para a rectificação e depois para a fosfatação, ou vice-versa. Por exemplo as árvores, primária e secundária, são rectificadas antes do tratamento de fosfatação, no entanto, todos os carretos, primeiro são fosfatados e só depois rectificadas. A roda coroa não sofre qualquer tipo de tratamento após saída do atelier, seguindo directamente para a linha de montagem.

Depois de todos estes tratamentos às peças, estas seguem então para a linha de montagem (caso pertençam às caixas de velocidades JR ou ND), senão seguem para exportação. Contudo, após montagem, as caixas de velocidades são testadas numa cabine própria para o efeito, isto é, verifica-se o seu funcionamento.

4.1 Aços utilizados

A escolha do aço está basicamente ligada à função, à forma e aos esforços a que a peça vai estar sujeita. Existem casos em que o aço e o tratamento já vêm especificados nos desenhos e outros em que é necessário escolher.

Tabela 2. Aços utilizados nas diferentes peças da caixa de velocidades.

Elementos de Liga	Aços de Construção para Tratamento Térmico			
	Aço ao CrMo		Aço ao MnCr	
	27 CD 4	27 CD 4R*	27 MC 5	27 MC 5R*
	Composição Química (%)			
C	0.24 - 0.31	0.24 - 0.31	0.23 - 0.30	0.23 - 0.30
Mn	0.60 - 0.85	0.7 - 0.95	1.10 - 1.40	1.20 - 1.50
Si	0.40	0.40	0.40	0.40
Cr	0.95 - 1.25	0.95 - 1.25	1 - 1.40	1 - 1.40
Mo	0.20 - 0.30	0.20 - 0.30	-	-
Ni	0.30	0.30	0.30	0.30
Cu	0.30	0.30	0.30	0.30
P	0.025	0.025	0.025	0.025
Al	0.050	0.050	0.050	0.050
S	0.020	0.06 - 0.08	0.020 - 0.040	0.060 - 0.080
Tipo de peças	Á. Primária; Á. Secundária; Coroa.	Pinhão 5ª, 5ª fixo.	Á. Primária.	Pinhão 1ª, 2ª, 2ªPK, 6ªPK.

* - Ressulfurado

Os aços referidos na tabela anterior, já vêm tratados do exterior, chegando à empresa no estado torneado e/ou forjado, apresentando a forma de placas, chapas e coroas.

5. Novo forno de Tratamentos Térmicos

5.1 Funcionamento do forno CIEFFE

O novo forno de tratamentos térmicos é bastante mais prático que os fornos já existentes, dado que a porta de entrada da carga é a mesma porta para a descarga, enquanto que os fornos BIA apresentam duas portas, uma para o carregamento de peças e outra para o descarregamento das mesmas. Esta vantagem verificou-se quando o operador introduziu a carga no tapete transportador e, o mesmo, automaticamente introduziu a carga no forno. Enquanto que nos outros fornos, a carga é colocada na passadeira de transporte e não é movimentada automaticamente, sendo necessário o esforço físico do operador, para as introduzir no forno.

Outra diferença vantajosa em relação ao novo forno é a posição das resistências de aquecimento. No forno CIEFFE estas encontram-se posicionadas na vertical, na parte superior do forno. As resistências são assim inseridas pela parte superior, facilitando notavelmente o sistema de montagem, bem como o acesso e a manutenção dos próprios elementos. Enquanto que as resistências dos outros fornos, estão posicionadas na horizontal, dificultando, de certo modo, a manutenção e o acesso das mesmas.

Outra característica importante do novo forno deve-se ao facto de possuir um sistema de refrigeração específico para a zona de tratamento. Este sistema faz com que a zona quente seja rapidamente arrefecida, através do ar da pré-câmara que é directamente aspirado por essa zona, arrefecendo-a rapidamente.

Este forno foi construído essencialmente para trabalhar em modo automático, assim o operador apenas tem de colocar a carga no tapete transportador e a partir daí o forno trabalha nas condições parametrizadas.

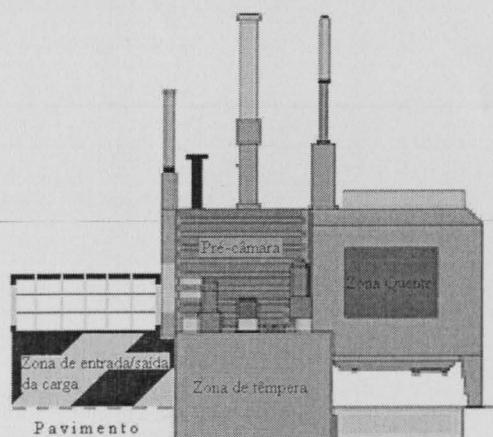


Figura 3 – Vista lateral do novo forno de tratamentos térmicos.

Na figura anterior verifica-se que o forno apresenta essencialmente três zonas distintas, sendo estas, a pré-câmara, a zona quente e a zona de tratamento (mufla). O forno dispõe também de duas portas, uma de acesso e outra de divisão entre a mufla e a zona de têmpera. Quando a porta de acesso é aberta acende-se uma barreira de chamas, de modo a queimar os resíduos da atmosfera presentes no forno. Quando a porta de divisão é aberta, é injectado automaticamente azoto, com o intuito de tornar inerte a atmosfera presente na pré-câmara e zona de têmpera, após o início e o fim de cada ciclo de trabalho. Este sistema de lavagem é inserido automaticamente, sem a intervenção do operador.

No que concerne aos gases utilizados neste novo forno, construído especialmente para tratamentos térmicos em atmosfera controlada, estes são:

- Propano (C_3H_8);
- Amoníaco (NH_3);
- Azoto (N_2);
- Metanol (CH_3OH);
- Ar atmosférico.

Os gases, propano e amoníaco, são utilizados para o tratamento de carbonitruração propriamente dito, enriquecendo a superfície em carbono e azoto.

O azoto está constantemente a ser debitado para a zona de tratamento, decompondo-se com o metanol, para, após diluição dos mesmos, se verificar qual a reacção que serve de base do controlo do potencial de carbono. Este gás tem também outras funções menos significativas, isto é, actua como um gás de limpeza (da pré-câmara e zona de têmpera) e é o gás utilizado na extinção das chamas (ou quando é activada a atmosfera após paragem prolongada, ex.: fim-de-semana), caso seja necessário.

No caso do metanol a situação repete-se, isto é, no que se refere ao tratamento, este também está constantemente a ser debitado para a mufla.

O ar é essencialmente utilizado para baixar o potencial de carbono, caso este exceda o previsto.

Tabela 3. Débito dos gases utilizados no novo forno.

Gases	Débito
N_2 (limpeza)	10 m ³ /h
N_2 (extinção incêndio)	40 m ³ /h
N_2 (tratamento)	3,2 m ³ /h
CH_3OH	3,0 l/h
NH_3	Mínimo: 0; Máximo: 2200 l/h
C_3H_8	Mínimo: 0; Máximo: 1600 l/h
Ar atmosférico	Mínimo: 0; Máximo: 1800 l/h

Seguidamente, é apresentado o percurso das cargas no interior do forno durante o tratamento térmico.

Tabela 4. Procedimento relativo ao transporte de cargas no novo forno.

0: Carga1 na passadeira de transporte (Zona de entrada da carga);	MODO AUTOMÁTICO
1: Porta de acesso abre e a carga1 é deslocada para a pré-câmara.	
2: Carga1 fica na pré-câmara durante 5 minutos (lavagem da pré-câmara com N ₂).	
3: Porta de divisão abre e a carga1 é deslocada para a zona de tratamento.	
4: Nova lavagem da pré-câmara com N ₂ e lavagem da sonda de O ₂ .	
5: Tratamento de Carbonitruração (com NH ₃ e C ₃ H ₈ ; T: 870°C).	
5.1: Difusão (apenas injeção C ₃ H ₈).	
5.2: Homogeneização da T (apenas injeção C ₃ H ₈ ; T: 830 ou 840°C).	
6: Nova carga (carga2) na passadeira de transporte (Zona de entrada da carga);	
7: Porta divisão abre, a carga1 é deslocada para a pré-câmara e posteriormente transportada para a zona de têmpera, permanecendo aí 15 min. (elevador numa posição inferior).	
8: Lavagem da pré-câmara com N ₂ .	
10: Porta de acesso abre e a carga2 é deslocada para a pré-câmara.	
11: Carga2 fica na pré-câmara durante 5 min. (lavagem da pré-câmara com N ₂).	
12: Porta de divisão abre e a carga2 é deslocada para a zona de tratamento.	
13: Nova lavagem da pré-câmara com N ₂ e lavagem da sonda de O ₂ .	
14: Carga1 é transportada da zona de têmpera até à pré-câmara (elevador em posição superior), permanecendo aí durante 10 min. (escorrimento do óleo das peças).	
15: A carga2, após tratamento sofre todos os outros passos tal e qual a carga1.	
16: Carga1 é deslocada para a zona de saída das peças. O operador retira a carga1 e coloca nova carga nessa zona, carga essa que irá passar pelos mesmas etapas que as anteriores, podendo variar apenas o t, T e débito de gases, bem como as condições de têmpera.	

5.1.1 Analisadores de potencial de carbono

O novo forno CIEFFE apresenta uma enorme vantagem em relação aos fornos BIA já existentes na empresa. Para além do sistema de funcionamento ser mais prático e automático, o operador pode escolher com que analisador de potencial de Carbono quer trabalhar durante o tratamento térmico, se com o analisador CO/CO₂ (ULTRAMAT 23) ou sonda de oxigénio (SDT). Qualquer um destes, é muito importante para o bom desempenho no tratamento de carbonitruração, dado que são a base do controlo do potencial de carbono.

5.1.1.1 Analisador CO/CO₂

Este analisador de infravermelhos baseia-se no princípio de que a absorção de energia infravermelha por um composto presente numa mistura gasosa é proporcional à respectiva concentração na mistura. Os comprimentos de onda absorvidos são função da natureza do composto. Este tipo de analisador é utilizado para dosear o monóxido e dióxido de carbono. ^[1]

A análise do dióxido de carbono por infravermelhos é considerada a técnica de mais elevada precisão para avaliar os teores deste composto numa dada mistura.

Antes do funcionamento do forno foi necessário calibrar o analisador CO/CO₂. Esta calibração é efectuada com um gás de limpeza (N₂) e um gás de composição conhecida, sendo este último, o gás que vai calibrar o monóxido e o dióxido de carbono.

5.1.1.2 Analisador por Sonda de O₂

A sonda de oxigénio funciona segundo um princípio de medida de diferença de pressão parcial do oxigénio no forno. Para ser possível medir essa diferença, é necessário enviar à sonda uma concentração fixa de oxigénio, que será a referência em relação ao gás do forno. ^[1]

Deste modo, este analisador baseia-se na determinação da pressão parcial do oxigénio na atmosfera, utilizando uma sonda de oxigénio, permitindo assim dosear o potencial de carbono.

O método de infra-vermelhos utilizado no analisador CO/CO₂ não permite analisar gases elementares, tais como o hidrogénio e oxigénio, visto que estes gases não conseguem absorver energia infravermelha, sendo deste modo impossível de serem analisados por esta técnica. ^[1]

5.1.2 Regulador SCR 2000 (Sistema Completo de Regulação)

Este aparelho de regulação dos parâmetros de tratamento é, provavelmente, o equipamento mais importante do novo forno CIEFFE, uma vez que, a partir do cálculo do potencial de carbono efectua, dinâmica e automaticamente (de acordo com os parâmetros), todo o processo de débito de gases para o interior do forno.

O controlador do processo SCR2000 está equipado com um sistema de programas por fases que permitem transmitir um ciclo de tratamento pré-definido. Tem uma capacidade total de 370 fases, sendo estas distribuídas por diversos programas. O número máximo de programas depende do número de fases definidas por programa (10 a 20 fases por programa). A configuração de tal programa (condições de tratamento) pode ser muito complexa para reescrever no teclado do aparelho, devido à sua dimensão ser muito reduzida, pois por isso, talvez seja mais indicado preparar esse programa num computador Renault (SCR7000), e depois efectuar uma comunicação entre este e o aparelho, para de seguida ser executado o download do programa. Este

princípio também possibilita a execução de mais programas (condições tratamento diferentes), além da regulação dos parâmetros que consegue armazenar. [2]

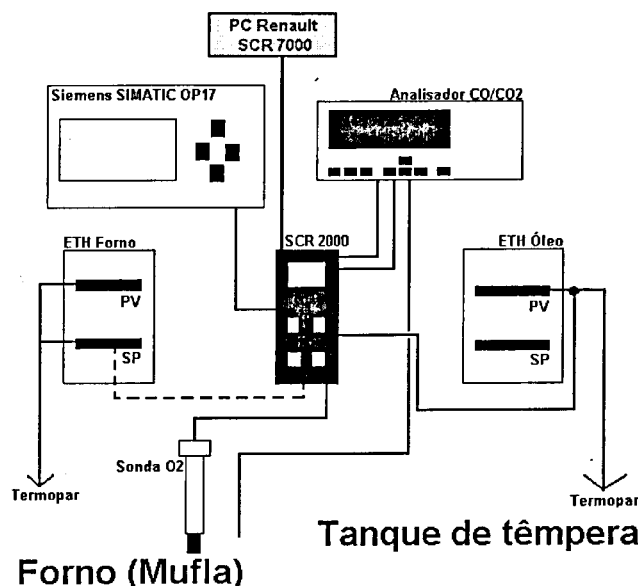


Figura 4 – Imagem representativa dos principais equipamentos de medida e análise do novo forno.

O aparelho da Siemens (SIMATIC OP17) acompanha e verifica todos os movimentos no interior do forno, regista o débito de todos os gases, bem como todo o ciclo de têmpera e é o aparelho activador de um alarme caso haja alguma anomalia.

O Eurotherme (ETH) do forno e do óleo apresentam as temperaturas dos mesmos, indicadas pelo termopar. As iniciais PV e SP significam “process value” e “set point” respectivamente, o PV é a temperatura à qual se encontra naquele instante e o SP é a temperatura que se pretende atingir. O SCR 2000 lê sempre o valor do PV.

Porém, toda a informação proveniente de cada aparelho é então enviada ao SCR2000 e por sua vez ao SCR 7000. Este controlador irá indicar todas as ocorrências antes, durante e após tratamento. Se for necessária alguma alteração, basta o chefe da unidade dirigir-se ao computador Renault e efectuar-las (antes do início do tratamento).

Em relação ao tratamento pré-definido para o novo forno, o SCR trabalha com cinco “digital outputs”, ou “relays”, em cada fase do programa, sendo estes: o analisador CO/CO₂, caudal N₂/CH₃OH, injeção NH₃, fase tratamento e arrefecimento. É mediante o tipo de peças a tratar, que o operador activa ou não estes parâmetros do programa.

No display do controlador SCR2000, é possível verificar a fase que está a actuar, temperatura do forno, temperatura do óleo, sinal da sonda, percentagem do CO e CO₂ e o potencial de carbono.

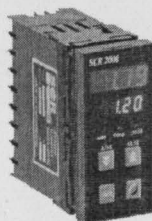


Figura 5 – SCR 2000.

5.2 Instalação/Montagem

O novo forno de tratamentos térmicos foi construído pelo Grupo CIEFFE. Este construtor não é o mesmo dos outros fornos, existentes na empresa, daí as diferenças entre os fornos. A instalação deste forno teve um procedimento comum a todos os outros, mas com alguns imprevistos.

A primeira etapa na instalação do forno foi a colocação do mesmo, no respectivo local no atelier dos tratamentos térmicos.

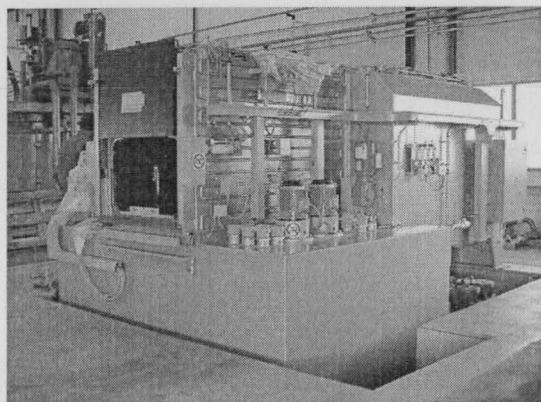


Figura 6 – Novo forno de tratamentos térmicos (fase inicial).

Durante o acompanhamento da fase de instalação dos diversos componentes/acessórios do novo forno CIEFFE, houve uma intervenção directa nas seguintes etapas:

1 - Instalação do sistema de saída da água de refrigeração.

O sistema de refrigeração do forno CIEFFE é um sistema a água e tem como função refrigerar a pré-câmara e a turbina de homogeneização da atmosfera da mufla. Este é um sistema fechado que é alimentado através de uma tubagem comum aos

sistemas de refrigeração dos outros fornos. A água está constantemente a circular no interior dos tubos, constituintes das várias ramificações do sistema, passando por um depósito comum e seguindo pelo tubo central até voltar ao início. No entanto, quando a porta interna (porta da mufla) é aberta, a água é descarregada, durante 5 minutos e a uma pressão superior à de circulação, no dito depósito.

Contudo, quando se testou o sistema deparou-se com um problema: quando a porta interna é aberta, o depósito de saída da água de refrigeração não tem escoamento suficiente, o que provoca um transbordo da mesma. Questionou-se então o diâmetro dos tubos que direccionavam a água para o tubo central, bem como o declive desses tubos. Nesta fase, sugeriu-se que se diminuísse a abertura da válvula da água que alimenta o sistema de refrigeração, permanecendo aberta apenas 75%, de forma que quando esta saísse, a sua pressão fosse inferior, e, conseqüentemente, não enchesse o depósito da mesma.

Foi colocada esta questão à empresa CIEFFE, pois poderia ao longo do tempo, causar algum dano no material da pré-câmara e/ou na turbina da atmosfera. Contudo, a resposta deles foi positiva, informando que a pequena diminuição de entrada de água, não iria causar qualquer tipo de dano no novo forno.

2 - Colocação de uma porta de segurança (zona de carga/descarga das peças).

A porta de segurança é, como o próprio nome indica, para garantir a segurança do operador. O forno trabalha na maioria das vezes em modo automático, mas se a porta de segurança não estiver devidamente fechada, soa automaticamente um alarme denunciando esse defeito, não sendo possível abrir a porta externa.

Contudo, após a instalação da porta de segurança verificou-se que quando esta se encontra aberta para carga/descarga, embate no carrinho que transporta as peças. Foi então sugerido que se efectuassem algumas alterações na porta de segurança, ilustradas na figura seguinte:

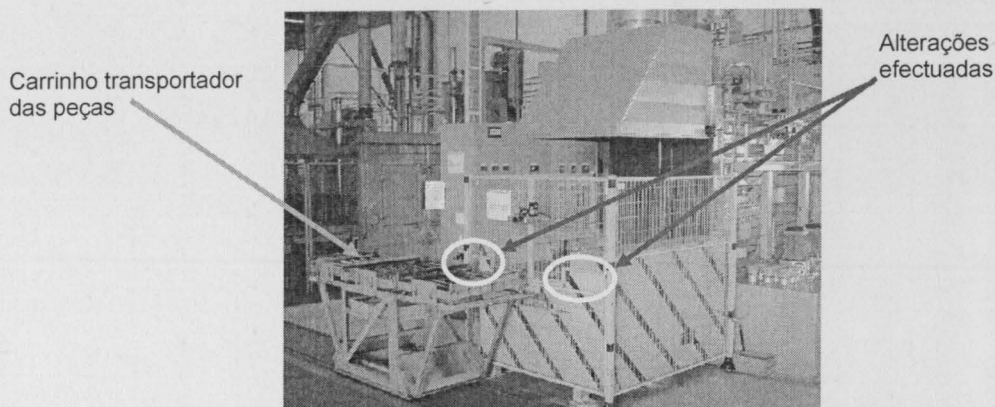


Figura 7 – Imagem ilustrativa da parte frontal do forno.

Após as alterações efectuadas na porta de segurança, o problema de choque com o carrinho deixou de existir.

Além destes dois problemas citados anteriormente, ocorreram outros que, apesar de não terem grande dificuldade de resolução, atrasaram o processo de instalação do forno e, conseqüentemente, os primeiros ensaios.

5.3 Testes de Funcionalidade

O primeiro teste realizado foi a nível de electricidade, para verificação de:

- Funcionamento de motores e ventiladores;
- Mecanismos de abertura/fecho das portas;

O segundo teste realizado foi para testar os mecanismos de transporte das cargas, efectuado apenas com os pratos que suportam as cargas. Seguidamente, foi realizado um teste semelhante ao anterior, para verificar o comportamento dos sistemas de transporte das cargas, possuindo a carga um peso máximo de 650kg.

Depois de se verificar que todos os mecanismos trabalhavam na perfeição, foi então possível dar início aos testes de aquecimento do forno.

Após concluído o trabalho de instalação do sistema de saída da água de refrigeração, procedeu-se ao cozimento do refractário. Este procedimento teve como objectivo cozer o material refractário da zona de tratamento (mufla). A mufla tem a função de proteger o material a tratar de radiações de calor directas e de controlar a atmosfera do forno. O gráfico seguinte apresenta o ciclo térmico a que foi submetido o forno CIEFFE de forma a cozer o refractário.

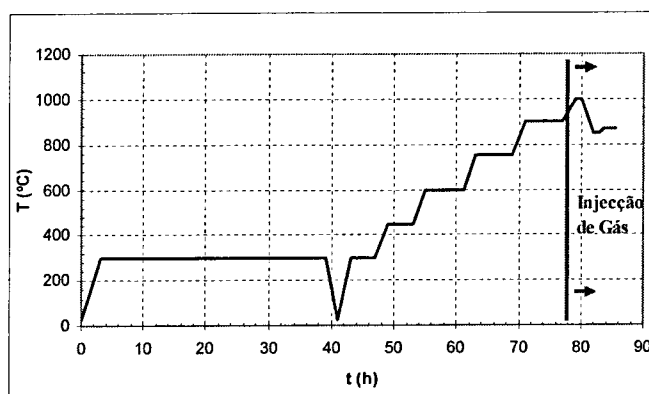


Figura 8 – Gráfico representativo do ciclo de temperatura utilizado no cozimento do material refractário do forno CIEFFE.

O aquecimento do forno foi efectuado lentamente, pois caso contrário a humidade poderia causar fissuras nas paredes do forno. Durante este ciclo, além da humidade, foram igualmente eliminados os resíduos de trabalho presentes no isolamento do forno. Só depois de concluído este ciclo é que se pôde dar início à "secagem" do óleo de têmpera.

Seguidamente, após introdução de 8000 litros de óleo de têmpera no tanque respectivo, procedeu-se à "secagem" do mesmo. Este procedimento é essencial para remover alguma quantidade de água no óleo que iria provocar alterações na severidade de têmpera. Esta etapa passou por um aquecimento do óleo a 120°C durante 24 horas, finalizando o mesmo com uma temperatura de 180°C por um período de 4 horas.

Após todos estes procedimentos, efectuou-se o teste de verificação da homogeneidade da temperatura do forno. Este teste foi efectuado utilizando 10 termopares, sendo um deles certificado que serviu de referência.

O objectivo do teste era obter na zona de tratamento uma temperatura homogénea, variando, no máximo $\pm 5^\circ\text{C}$.

Neste teste foram colocados 9 termopares dispostos, estrategicamente, em locais diferentes da mufla (Fig.9).

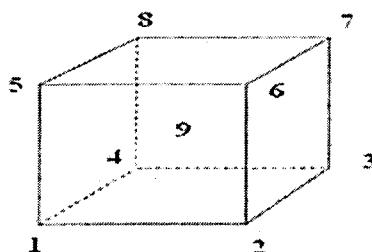


Fig. 9 – Disposição dos termopares na zona de tratamento.

Estes testes foram efectuados a duas temperaturas diferentes: 820°C e 930°C. Cada teste, para cada temperatura, teve a duração de 60 minutos. As temperaturas testadas são as que o fabricante denomina como temperaturas mínima e máxima de trabalho do forno. Seguidamente apresentam-se os dois gráficos que exibem a variação de temperatura dos diferentes termopares para os dois testes.

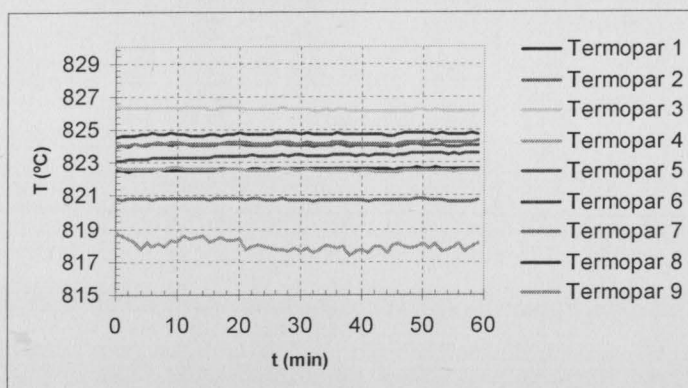


Figura 10 – Gráfico referente ao teste de homogeneização da temperatura no interior da mufla. Teste efectuado a 820°C.

Como é possível verificar, o termopar n.º3 encontrava-se fora da tolerância e o n.º 8 muito próximo do limite. Derivado a estes factos, o técnico da CIEFFE, efectuou alguns ajustes nos pratos que suportam os termopares de modo a estes atingirem a gama de temperaturas pretendida. Estes ajustes foram efectuados através da regulação de uns parafusos que se encontram na zona inferior do forno. Após estes ajustes, verificou-se que a temperatura dos termopares estava dentro do especificado. Portanto, com este teste, assegurou-se que o local onde vão permanecer as peças para tratamento, terá variações de temperatura reduzidas ($\pm 5^\circ\text{C}$).

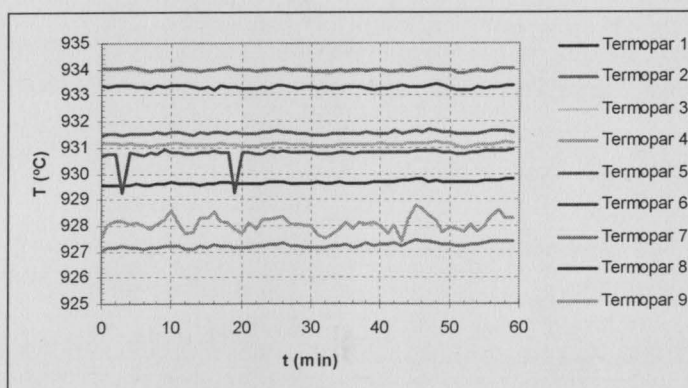


Figura 11 – Gráfico referente ao teste de homogeneização da temperatura no interior da mufla. Teste efectuado a 930°C.

Como se pode verificar todas os termopares apresentam uma temperatura dentro dos limites especificados, uma vez que os ajustes já tinham sido efectuados durante o teste anterior.

É importante salientar que o aparelho (certificado) que faz a leitura de temperaturas dos termopares encontra-se calibrado, portanto qualquer problema que possa ocorrer a nível de variações consideráveis de temperatura irá certamente recair sobre o termopar, ou até mesmo sobre o próprio forno.

Nos casos em que ocorreram variações inesperadas de temperatura, na leitura do termopar (ex.: teste a 930°C, termopar n.º6), presumiu-se que o termopar estava danificado, sendo imediatamente substituído.

5.4 Ensaios Industriais

Os ensaios industriais consistiram na determinação dos parâmetros do tratamento térmico através da verificação das propriedades mecânicas, bem como na observação das microestruturas.

5.4.1 Ensaios Metalúrgicos

Os ensaios metalúrgicos consistiram em encontrar os parâmetros ideais de funcionamento do forno, para cada tipo de peça diferente, a tratar no respectivo. No entanto, neste relatório serão apenas apresentados e discutidos os ensaios de 2 tipos de peças diferentes:

- Árvore Primária;
- Carreto de 2ª Velocidade.

No primeiro ensaio, de cada tipo de peça, foram testados os parâmetros que são utilizados nos outros fornos do atelier. As condições normais de produção foram respeitadas, apesar da carga do forno ter apenas 3 peças “boas” para ensaio. Ou seja, as restantes peças (eram peças de sucata!) serviram, apenas, para respeitar a quantidade e disposição de peças no forno. Cada uma das 3 peças “boas” foi colocada em pratos diferentes, de forma a conhecer as variações que poderiam ocorrer no interior do mesmo. A disposição das peças pode ser visualizada na figura seguinte:

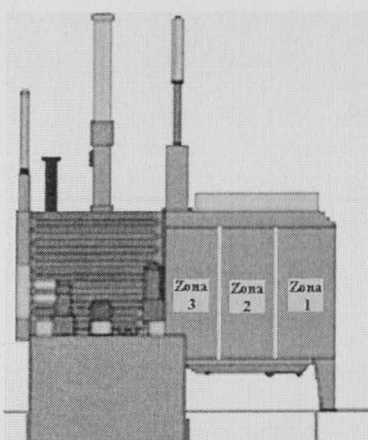


Figura 12 – Imagem representativa das diferentes zonas no interior da mufla.

Após o tratamento, as peças seguiram para o laboratório para serem efectuadas as medições de dureza e fotografadas as microestruturas.

Para determinar as durezas da capa e do núcleo utilizaram-se diferentes cargas. No caso da dureza do núcleo foi utilizada uma carga de **50 Kgf** (macrodureza). Esta carga não seria possível utilizar para determinar a dureza da capa, pois uma indentação com esta carga teria uma profundidade superior à da capa carbonitrurada e, deste modo, os valores obtidos seriam os valores do núcleo e não da capa. Portanto, no caso da capa carbonitrurada, foi utilizada uma carga de **0,5 Kgf** (microdureza) de forma a ser possível retirar valores com distâncias, entre si, na ordem das décimas de mm e assim aferir em relação à profundidade de capa.

A determinação da profundidade de capa foi efectuada, por interpolação, utilizando o gráfico de dureza vs profundidade. O critério utilizado pela empresa, e que irá ser adoptado, também, neste relatório, diz que a profundidade de capa é a camada exterior da peça na qual a dureza, após tratamento térmico, medida perpendicularmente à superfície da peça, é superior a 650 HV.

A seguir apresenta-se uma tabela com a gama de valores pretendidos de dureza e profundidade de capa, estabelecidos pela norma interna da empresa.

Tabela 5. Valores de dureza e profundidade referentes à árvore primária.

Dureza da Capa (HV0,5)	Dureza do Núcleo (HV50)	Profundidade de Capa (mm)
650 - 900	350 - 650	0,25 - 0,50

Como se pode verificar pela tabela anterior, o valor de dureza da capa tem um limite inferior de 650 HV. Ora, a maioria da bibliografia indica que a capa dura carbonitrurada tem como limite de dureza inferior 550 HV. No entanto, os valores especificados na norma são estes e quererão dizer que se necessita de uma profundidade de capa superior. Obtendo-se, assim, uma mais elevada resistência ao desgaste e à fadiga, comprometendo-se, no entanto, a resistência ao impacto.

A nível microestrutural pretende-se obter, à superfície, martensite, e no núcleo bainite.

5.4.1.1 Árvore Primária

1º Ensaio

Tal como foi referido acima, o ciclo térmico deste ensaio consistiu no mesmo ciclo térmico que é utilizado no tratamento destas peças, nos outros fornos. O gráfico seguinte apresenta o ciclo utilizado.

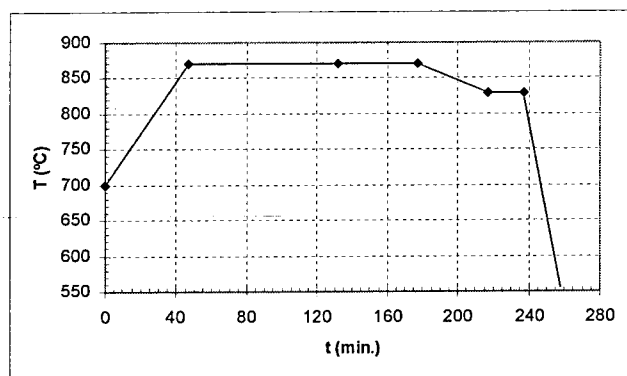


Figura 13 – Ciclo térmico do 1º ensaio – Árvore Primária.

A temperatura do forno é sempre mantida nos 870°C. No entanto, quando a porta da muffla é aberta ocorre uma descida da temperatura até aproximadamente 700°C. Por este motivo foi considerado, para elaborar o gráfico, que a temperatura inicial, quando as peças são introduzidas no forno, é de 700°C.

Como se pode visualizar no gráfico, o ciclo térmico consiste no aquecimento das peças até 870°C, temperatura à qual as peças sofrem um 1º estágio de 85 min, em que são debitados tanto NH_3 (Amoníaco) como C_3H_8 (propano). Neste estágio ocorre a difusão de azoto e carbono. O potencial de carbono visado é de 0,75%, no entanto, sabe-se que a difusão de carbono é inibida pela difusão do azoto. Por este motivo é efectuado, seguidamente, um 2º estágio de 45 min em que apenas é debitado propano

para o interior do forno. Neste estágio, o potencial de carbono pretendido é o mesmo, contudo é a fase em que é absorvida, pelas peças, a maior quantidade de carbono. Após este estágio, a temperatura do forno é diminuída em 40°C e é, ligeiramente, diminuído o potencial de carbono para 0,72%. Esta fase de homogeneização de temperatura (3º estágio) serve, essencialmente, para que a têmpera não seja tão severa. Após a homogeneização da temperatura as peças são temperadas. A têmpera consistiu em mergulhar as peças num banho de óleo quente ($T=180^{\circ}\text{C}$), com uma agitação de 750 r.p.m, durante 15 minutos. O tempo definido foi de 15 minutos, porque se previu como sendo o tempo necessário para que ocorresse a transformação pretendida. Ou seja, através da análise de diagramas TAC, verificou-se que, para este tipo de aço (hipoeutectóide) 15 min (900 segundos) é o tempo necessário para que ocorra a transformação bainítica.

Análise e Discussão de Resultados

Seguidamente, apresentam-se os resultados obtidos no que concerne a dureza e profundidade de capa das peças situadas nas diferentes zonas do forno.

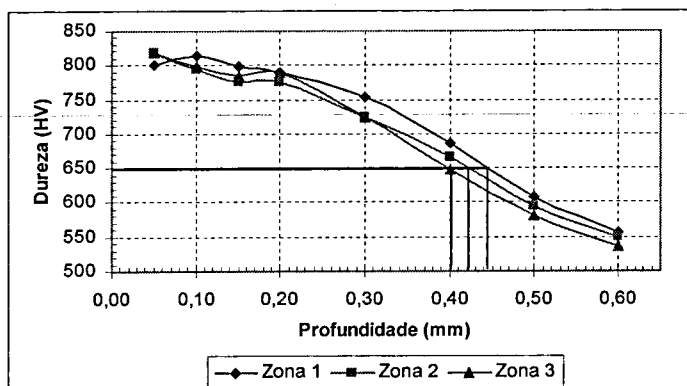


Figura 14 – Gráfico de durezas HV0,5 do 1º ensaio – Árvore Primária.

Tabela 6. Valores de dureza e profundidade obtidos no 1º ensaio – Árvore Primária.

Zona	1	2	3
Profundidade (mm)	0,44	0,42	0,40
Média	0,42		
s %(desvio padrão)	4,8		
HV0,5 Superfície	800	819	819
Média	813		
s (%)	1,4		
HV50 Núcleo	458	429	473
Média	453		
s (%)	4,9		

Como se pode verificar, a dureza obtida à superfície das peças está entre os 800 HV e os 820 HV para as 3 zonas, valores estes que estão dentro dos limites especificados na norma da empresa. Quanto à profundidade de capa, verifica-se, para as 3 zonas, que esta se encontra dentro dos valores pretendidos. No que concerne à dureza do núcleo, mais uma vez os valores encontram-se dentro do especificado.

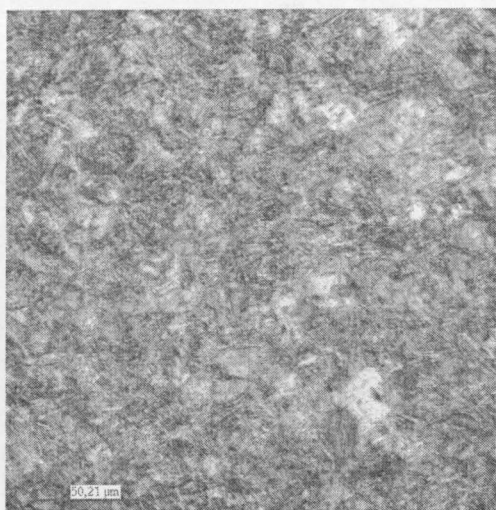


Figura 15 – Fotomicrografia do núcleo da peça da zona 2 – 1º ensaio: Árvore Primária (500 X) Ataque com Nital 3%.

Como se pode verificar na fotomicrografia, o núcleo não apresenta uma microestrutura homogénea, sendo possível visualizar umas zonas mais escuras (provavelmente perlite + ferrite) e outras mais claras (bainite). A curva de arrefecimento desta peça no diagrama TAC deste aço (que não dispomos) intersecta o domínio ferrítico, perlítico e bainítico. Verifica-se, portanto, que a severidade de têmpera foi insuficiente, pois apenas era pretendido obter bainite no núcleo da peça. Deste modo, dever-se-á aumentar a severidade de têmpera no início da mesma, de forma a impedir que a austenite se transforme em ferrite e/ou perlite em detrimento da bainite.

2º Ensaio

Seguidamente apresenta-se o ciclo térmico do 2º ensaio com as devidas alterações.

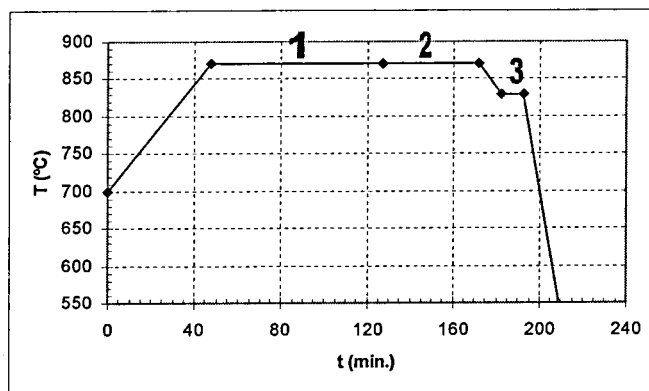


Figura 16 – Ciclo térmico do 2º ensaio – Árvore Primária.

Tabela 7. Parâmetros de tratamento do 2º ensaio – Árvore Primária.

Estágio	T (°C)	t (min)	$\Delta 1^\circ$ Ensaio	Gases	Pot. Carbono
1	870	80	-5 min	C_3H_8 ; NH_3	0,75%
2	870	45	0	C_3H_8	0,75%
3	830	20	0	C_3H_8	0,72%

A única diferença, a nível de ciclo térmico, em relação ao 1º ensaio foi a diminuição do tempo do 1º estágio, pois a profundidade de capa obtida, apesar de se encontrar dentro das especificações, situava-se próxima do limite superior. À primeira vista não seria necessário efectuar qualquer alteração, no entanto o objectivo é obter peças dentro da especificação, gastando a menor quantidade de recursos possível. Deste modo com uma diminuição no tempo, será possível aumentar a produção do forno e, consequentemente, os lucros da empresa. Seguidamente apresenta-se uma tabela com as condições da têmpera.

Tabela 8. Parâmetros de têmpera do 2º ensaio – Árvore Primária.

Têmpera	Fase 1	$\Delta 1^\circ$ Ensaio	Fase 2	$\Delta 1^\circ$ Ensaio	Fase 3	$\Delta 1^\circ$ Ensaio
t (min.)	10	+5	3	-2	2	-3
Veloc. Agitação (r.p.m)	1500	+750	1000	+250	750	0

Neste ensaio foram efectuados alguns ajustes nos parâmetros da têmpera de modo a torná-la mais severa durante a 1ª e a 2ª fase.

O aumento da velocidade de agitação na 1ª fase teve o intuito de diminuir ao máximo a fase de radiação, ou seja, pretendeu-se que a bolha de gás criada entre o óleo de têmpera e a superfície da peça fosse quebrada. Deste modo, o que se pretendeu foi que se eliminasse a permanência das peças a uma temperatura do

domínio perlítico, diminuindo-se, assim, a fracção de perlite e aumentando, consequentemente, a fracção de bainite.

Análise e discussão de resultados

Seguidamente, apresentam-se os resultados obtidos no que concerne à dureza, profundidade de capa e microestrutura.

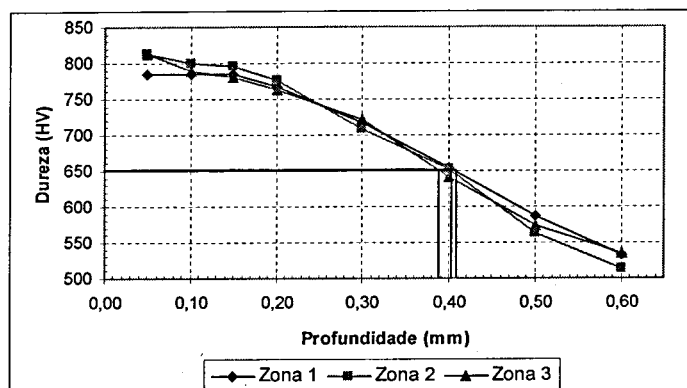


Figura 17 – Gráfico de durezas HV0,5 do 2º ensaio – Árvore Primária.

Tabela 9. Valores de dureza e profundidade obtidos no 2º ensaio – Árvore Primária.

Zona	1	2	3
Profundidade (mm)	0,41	0,4	0,39
Média	0,40		
s (%)	2,5		
HV0,5 Superfície	785	814	814
Média	804		
s (%)	2,1		
HV50 Núcleo	438	397	462
Média	432		
s (%)	7,6		

Em relação ao 1º ensaio, os valores obtidos de dureza tanto na superfície como no núcleo, estão muito próximos. No que concerne à profundidade de capa, também, não se verificaram grandes alterações.

Deste modo, é possível verificar que as alterações efectuadas no ciclo térmico não se fizeram sentir na dureza à superfície das peças, ou seja, provavelmente, a percentagem de carbono da capa manteve-se. Por outro lado, as modificações efectuadas nos parâmetros da têmpera não produziram, também, quaisquer melhorias a nível de dureza, prevendo-se, assim, que a microestrutura apresente uma heterogeneidade.

3º Ensaio

Seguidamente apresenta-se o ciclo térmico do 3º ensaio com as devidas alterações.

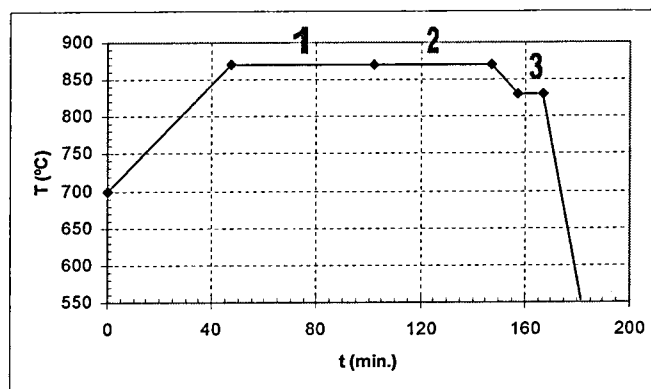


Figura 18 – Ciclo térmico do 3º ensaio – Árvore Primária.

Tabela 10. Parâmetros de tratamento do 3º ensaio – Árvore Primária.

Estágio	T (°C)	t (min)	$\Delta 2^\circ$ Ensaio	Gases	Pot. Carbono
1	870	55	-25 min	C_3H_8 ; NH_3	0,75%
2	870	45	0	C_3H_8	0,75%
3	830	20	0	C_3H_8	0,72%

Em relação ao 2º ensaio foi alterado, apenas, o tempo do 1º estágio, pois a profundidade de capa obtida, apesar de ter diminuído, era possível diminuir mais sem comprometer a qualidade das peças.

De seguida apresenta-se uma tabela com as condições da têmpera do 3º ensaio.

Tabela 11. Parâmetros de têmpera do 3º ensaio – Árvore Primária.

Têmpera	Fase 1	$\Delta 2^\circ$ Ensaio	Fase 2	$\Delta 2^\circ$ Ensaio	Fase 3	$\Delta 2^\circ$ Ensaio
t (min)	10	0	3	0	2	0
Veloc. Agitação (r.p.m)	1500	0	1000	0	750	0

No 3º ensaio as condições de têmpera foram mantidas, pois já se tinha atingido a velocidade máxima de agitação. Portanto, a mudança seguinte deveria ser efectuada ao nível da temperatura do óleo de têmpera. No entanto, dado não haver autorização, por parte da Renault em França, não se efectuou essa alteração.

Análise e discussão de resultados

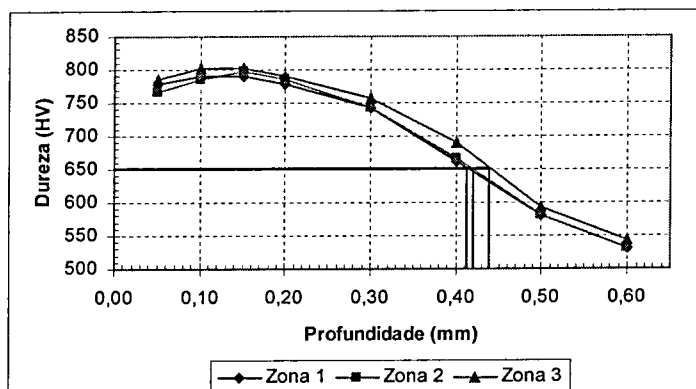


Figura 19 – Gráfico de durezas HV0,5 do 3º ensaio – Árvore Primária.

Tabela 12. Valores de dureza e profundidade obtidos no 3º ensaio – Árvore Primária.

Zona	1	2	3
Profundidade (mm)	0,41	0,42	0,44
Média	0,42		
s (%)	4,8		
HV0,5 Superfície	779	767	785
Média	777		
s (%)	1,2		
HV50 Núcleo	468	448	468
Média	461		
s (%)	2,6		

Neste ensaio obtiveram-se valores de dureza, à superfície, menores do que os obtidos no 2º ensaio, mas dentro dos limites especificados na norma da empresa. Deste modo, a % de carbono à superfície da peça deverá ter diminuído em relação ao 2º ensaio.

5.4.1.2 Carreto de 2ª velocidade

O método para determinar a profundidade da capa é idêntico ao efectuado para as peças anteriores. Porém, neste tipo de peças (carretos), o critério seleccionado pela empresa indica que a profundidade de capa é a camada exterior da peça na qual a dureza, após tratamento térmico, medida perpendicularmente à superfície da peça, é superior a 550 HV.

Seguidamente, é apresentado uma tabela com a tolerância de valores de dureza e profundidade da capa estabelecidos pela norma da empresa.

Tabela 13. Valores de dureza e profundidade referentes ao carreto de 2ª veloc.

Dureza da Capa (HV0,5)	Dureza do Núcleo (HV50)	Profundidade de Capa (mm)
550 - 900	300 - 550	0,25 - 0,50

Neste tipo de peça, verifica-se que a dureza mínima da capa é de 550 HV. Indo, portanto, ao encontro do que está indicado na bibliografia.

1º Ensaio

De seguida é apresentado o ciclo térmico referente ao 1º ensaio efectuado com os carretos de 2ª velocidade.

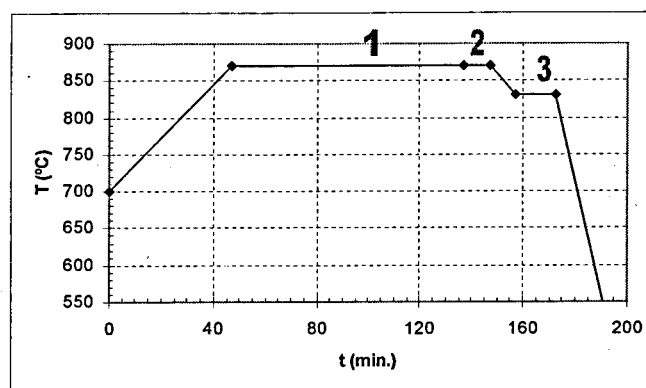


Figura 20 – Ciclo térmico do 1º ensaio – Carreto de 2ª velocidade.

Tabela 14. Parâmetros de tratamento do 1º ensaio – Carreto de 2ª veloc.

Estágio	T (°C)	t (min)	Gases	Pot. Carbono
1	870	90	C ₃ H ₈ ; NH ₃	0,8 %
2	870	10	C ₃ H ₈	0,8 %
3	830	25	C ₃ H ₈	0,75 %

Tabela 15. Parâmetros de têmpera do 1º ensaio – Carreto de 2ª veloc.

Têmpera	Fase 1	Fase 2	Fase 3
t (min)	5	5	5
Veloc. Agitação (r.p.m)	1000	750	750

Este ensaio, bem como todos os outros primeiros ensaios, teve como programa de referência, os utilizados nos outros fornos de carbonitruração para o mesmo tipo de peças e, especificados nas instruções de trabalho vindas da casa mãe.

Análise e discussão de resultados

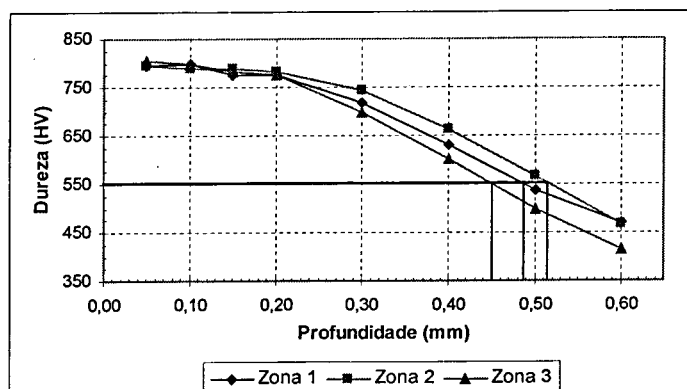


Figura 21 – Gráfico de durezas HV0,5 do 1º ensaio – Carreto de 2ª veloc.

Tabela 16. Valores de dureza e profundidade obtidos no 1º ensaio – Carreto de 2ª.

Zona	1	2	3
Profundidade (mm)	0,49	0,51	0,45
Média	0,48		
s (%)	6,2		
HV0,5 Superfície	795	795	804
Média	798		
s (%)	0,6		
HV50 Núcleo	371	367	364
Média	367		
s (%)	1,1		

É possível verificar que um dos valores de profundidade de capa obtidos ultrapassou, ainda que de forma ligeira, os valores especificados na norma. Deste modo tornou-se necessário efectuar alterações ao ciclo térmico do tratamento. Estas alterações deveriam consistir na diminuição do tempo do estágio de maior absorção de carbono.

Em relação á dureza na superfície, os valores obtidos eram os pretendidos. Porém, os valores de dureza do núcleo estão próximos do limite inferior, o que indica que a têmpera, em certos casos, possa ser insuficiente. Deste modo, no ensaio seguinte deverão ser alterados os parâmetros de têmpera, de forma a conseguir-se obter uma têmpera do núcleo mais homogénea e dentro do especificado, relativamente a microestrutura.

2º Ensaio

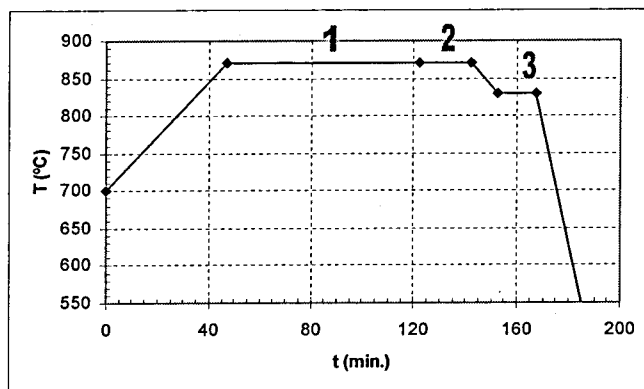


Figura 23 – Ciclo térmico do 2º ensaio – Carreto de 2ª veloc.

Tabela 17. Parâmetros de tratamento do 2º ensaio – Carreto de 2ª veloc.

Estágio	T (°C)	t (min)	$\Delta 1^\circ$ Ensaio	Gases	Pot. Carbono
1	870	75	-15	C_3H_8 ; NH_3	0,8 %
2	870	20	+10	C_3H_8	0,8 %
3	830	25	0	C_3H_8	0,75 %

Tabela 18. Parâmetros de têmpera do 2º ensaio – Carreto de 2ª veloc.

Têmpera	Fase 1	$\Delta 1^\circ$ Ensaio	Fase 2	$\Delta 1^\circ$ Ensaio	Fase 3	$\Delta 1^\circ$ Ensaio
t (min)	10	+5	3	-2	2	-3
Veloc. Agitação (r.p.m)	1500	+500	1000	+250	750	0

Neste ensaio os parâmetros de têmpera foram alterados, de modo a que se diminuísse ao máximo a permanência das peças a temperaturas do domínio da transformação perlítica.

Análise e discussão de resultados

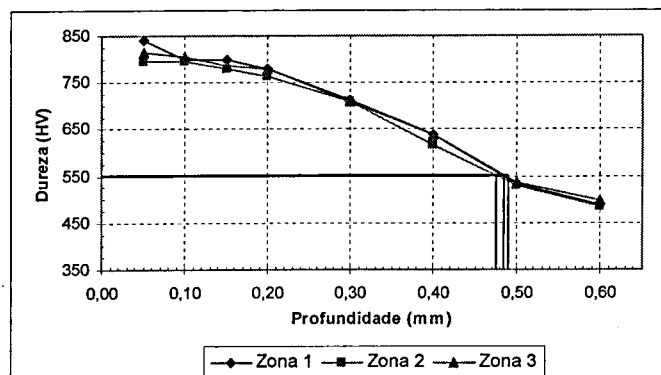


Figura 24 – Gráfico de durezas HV0,5 do 2º ensaio – Carreto de 2ª veloc.

Tabela 19. Valores de dureza e profundidade obtidos no 2º ensaio – Carreto de 2ª.

Zona	1	2	3
Profundidade (mm)	0,49	0,48	0,49
Média	0,49		
s (%)	2,0		
HV0,5 Superfície	839	795	814
Média	816		
s (%)	2,7		
HV50 Núcleo	414	378	411
Média	401		
s (%)	5,0%		

Em relação ao 1º ensaio, as alterações efectuadas no ciclo de tratamento térmico não tiveram qualquer efeito quanto á profundidade de capa. No entanto, a dureza à superfície aumentou ligeiramente, o que confirma o facto de haver maior absorção de carbono quando não está a ser debitado amoníaco. Por outro lado, as alterações aos parâmetros de têmpera surtiram efeito, pois a dureza do núcleo aumentou.

6. Conclusão

No que concerne à primeira parte deste trabalho, é possível concluir que a instalação de um novo forno implica um estudo prévio, em relação à sua localização, sistema de débito de gases e sistema de refrigeração. Tal iniciativa implica um elevado esforço inicial, nomeadamente, no que respeita ao estabelecimento de parâmetros de tratamento.

Concluiu-se, também, que fornos diferentes (volume e geometria) poderão envolver ciclos de tratamento diferentes, pois, quando se trabalha com valores muito reduzidos, tanto em relação ao potencial de carbono como à profundidade de capa, qualquer diferença nas condições físicas do forno poderá implicar uma alteração significativa nas condições de tratamento. Ainda que esta diferença física seja praticamente imperceptível.

No decorrer dos ensaios verificou-se que o principal problema nas peças era no núcleo das mesmas. Este problema está ligado às condições de têmpera, ou seja, as condições utilizadas não são suficientes para temperar o núcleo de forma homogénea. É possível concluir que aumentando a velocidade de agitação do óleo se consegue quebrar a “bolha” entre a superfície da peça e o óleo de têmpera, resultante do choque térmico inicial. No entanto, se a velocidade de agitação for muito elevada, a quebra da “bolha” irá ser efectuada, mas ao mesmo tempo a agitação irá provocar com que o óleo de têmpera não esteja sempre em contacto com a superfície da peça e, consequentemente, que a curva de arrefecimento pretendida não seja atingida. Assim, os factores que deverão ser manipulados de forma a atingir uma melhor têmpera deverão ser a temperatura de homogeneização, a velocidade de agitação, a temperatura do óleo e o tempo de têmpera

7. Referências Bibliográficas

[1] H. SANTOS; *Tratamentos Térmicos*; FEUP; aula n.º 14.

[2] SCR S.A; *Process Controller V1.0 : SCR 2000 Operation Manual*; Janeiro 1997.

ANEXOS

Fotos do Atelier de T.T. da Renault C.A.C.I.A.,S.A.



Figura 25 – Atelier dos tratamentos térmicos.

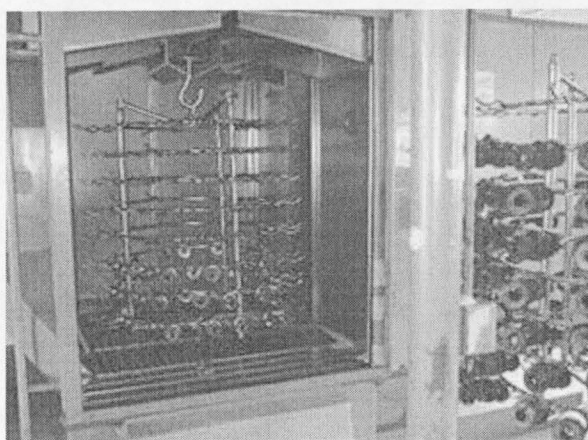


Figura 26 – Granalhadora normal (posição das peças na horizontal).

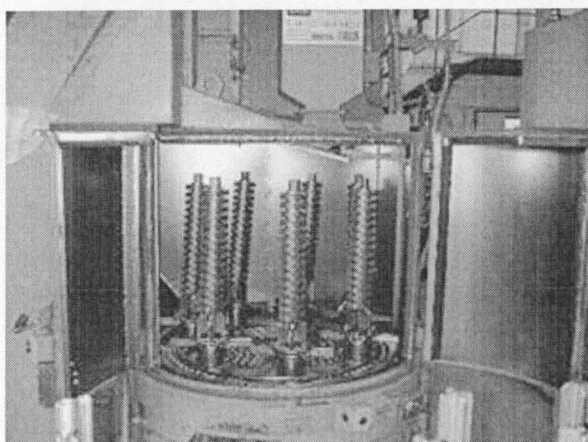


Figura 27 – Granalhadora pré-contrainte (posição das peças na vertical).

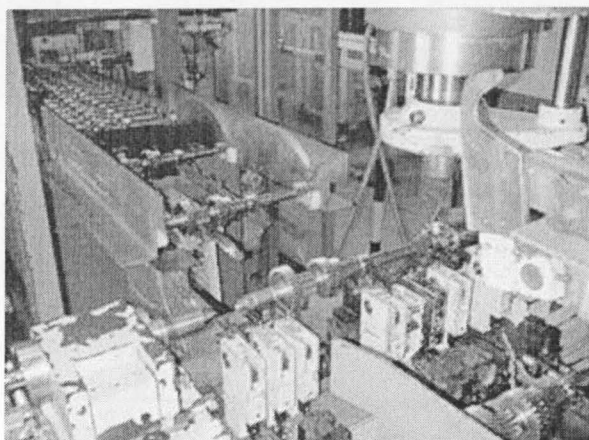


Figura 28 – Imagem representativa do desempenho de uma árvore primária

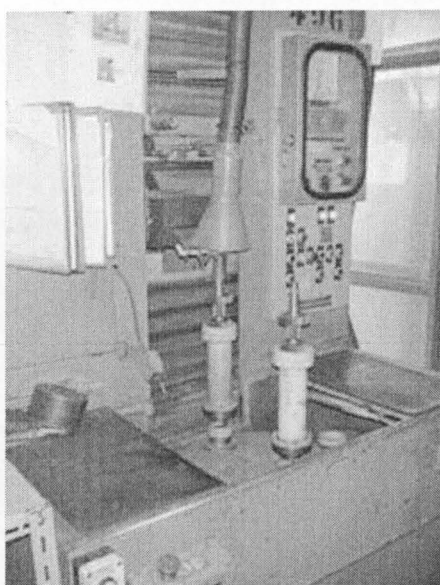


Figura 29 – Máquina do tratamento de revenido por indução.

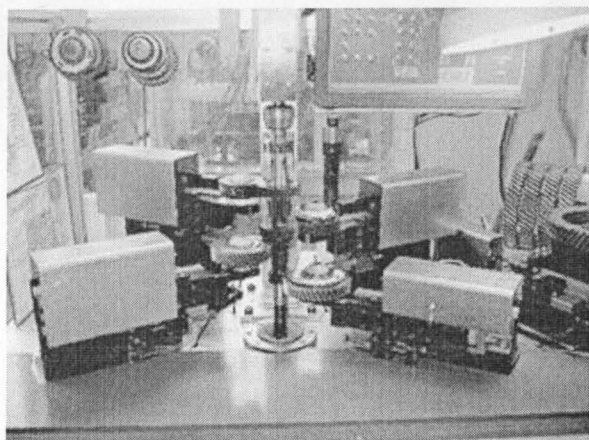


Figura 30 – Aparelho de verificação do desempenho em serviço das peças antes da montagem.

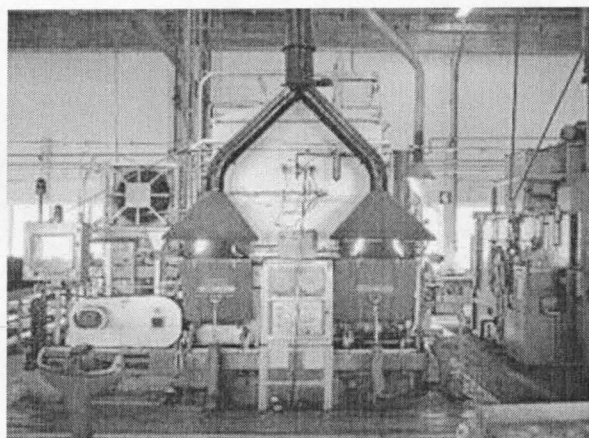


Figura 31 – Vista frontal de um forno de tratamento de carbonitruração (forno antigo)

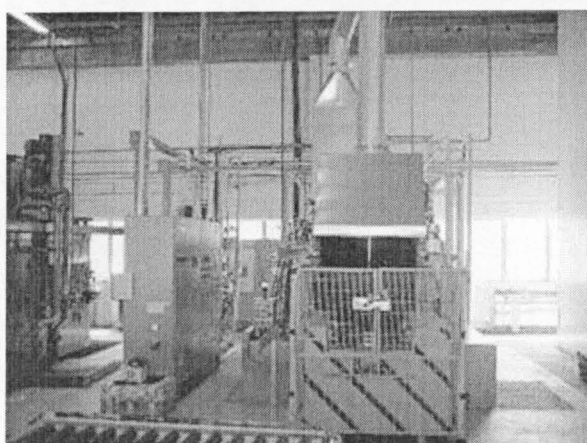
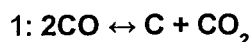


Figura 32 – Vista frontal do novo forno de tratamento de carbonitruração.

Analísadores do Potencial de Carbono

- Analísador CO/CO₂

Considerando a relação entre a composição do gás endotérmico (obtido por combustão controlada do C₃H₈) e o potencial de carbono da atmosfera, durante o tratamento térmico, o carbono da atmosfera, pode ser adsorvido pelo aço de acordo com a seguinte reacção:



apresentando a seguinte constante de equilíbrio:

$$2: K_1 = (a_c \times p_{\text{CO}_2}) / p^2_{\text{CO}}$$

Deste modo, a reacção n.º 1 e a constante de equilíbrio (K₁), representam a base do controlo do potencial de carbono utilizada pelo analisador CO/CO₂.^[1]

A principal limitação deste aparelho encontra-se na rapidez do envio da análise, isto é, quando o equipamento apresentar alguma deficiência, a mesma não é detectada de imediato, podendo a unidade continuar a actuar e a debitar resultados da falha de vários componentes, fornecendo deste modo valores incorrectos.^[1]

Calibração do analisador CO/CO₂

Antes do funcionamento do novo forno de tratamentos térmicos, abordado neste relatório, foi necessário calibrar o analisador CO/CO₂.

Esta calibração, como mencionada no relatório, foi efectuada com azoto (gás limpeza) e um gás de composição conhecida (atanol), gás este que tem como objectivo calibrar os gases CO e CO₂.

Tabela 20. Procedimento para calibrar o analisador CO/CO₂

1. Abertura dos gases azoto e atanol;
2. Fechar a válvula de saída dos gases no forno;
3. Calibrar o aparelho a zero com o gás de limpeza (azoto);
4. Início calibração de CO, utilizando o gás atanol;
5. Verificar se valores CO (analisador) coincidem com o gás de calibração;
6. Se os valores CO são iguais – Passo seguinte (7), senão repetir procedimento a partir do passo 3.
7. Calibrar novamente a zero com o gás de limpeza.
8. Início calibração do CO ₂ , utilizando o gás atanol.
9. Verificar se valores CO ₂ (analisador) coincidem com o gás de calibração;
10. Se os valores CO ₂ são iguais – Passo seguinte (11), senão repetir procedimento a partir do passo 7.
11. Fechar gases (azoto e atanol)
12. Abertura da válvula de saída dos gases no forno.

Na prática, a utilização deste tipo de analisador implica a recalibração diária com os gases mencionados, sendo evidente que a recalibração vai depender da fiabilidade do aparelho.

- Analisador por Sonda de O₂

Princípio de funcionamento da sonda (SDT)

A sonda, envolvida numa camisa cerâmica, é introduzida na atmosfera do forno cujo potencial de carbono se pretende determinar. Posteriormente, a atmosfera do forno penetra na sonda através de uma pequena janela na camisa cerâmica, estabelecendo assim um contacto com o eléctrodo exterior de platina. O eléctrodo interior do tubo de zircónia está em contacto com o ar, que serve como gás de referência, apresentando um teor em oxigénio constante. Assim sendo, a diferença entre a pressão parcial de oxigénio da atmosfera do forno e do ar de referência, vai induzir uma força electromotriz entre os dois eléctrodos de platina. Esta força electromotriz é proporcional à pressão parcial de oxigénio da atmosfera do forno. Assim, o sinal gerado pela sonda é um sinal medido em milivolts contínuo de 0 a 1500 mV. ^[1]

Veja-se a relação:

$$3: E = [(R \times T) / (4 \times F)] \times \ln (pO_2 / p'O_2)$$

Onde:

- E – Sinal da sonda em mV;
- T – temperatura medida pela sonda ($^{\circ}\text{K}$);
- R – Constante dos gases perfeitos;
- F – Constante de Faraday;
- $p\text{O}_2$ – pressão parcial do oxigénio do ar de referência;
- $p'\text{O}_2$ – pressão parcial do oxigénio da atmosfera do forno

Após medido o sinal da sonda (mV), este é enviado para o regulador SCR 2000, que por sua vez vai calcular o potencial de carbono, através de uma fórmula matemática muito complexa.

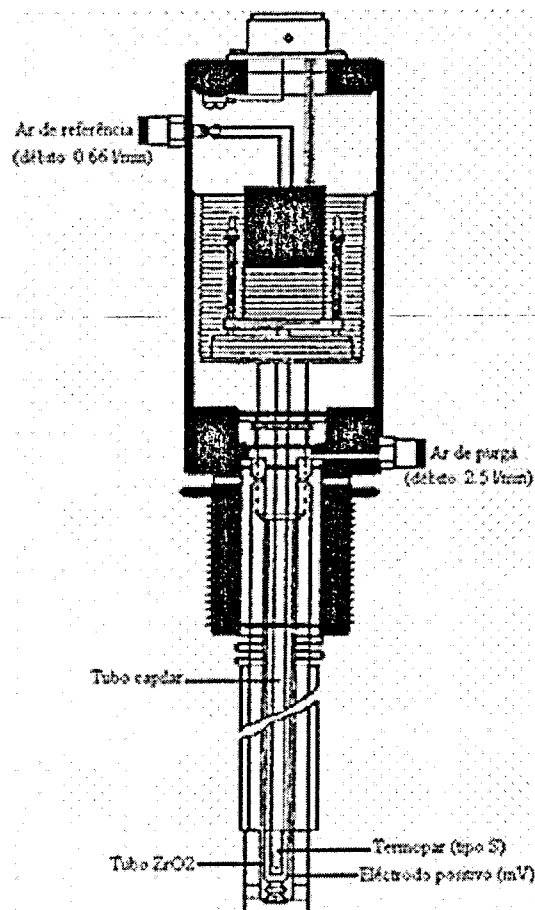


Figura 33 – Esquema da sonda de O_2 utilizada no novo forno.

Limpeza da Sonda de O₂

A sonda tem um sistema de limpeza por ar, para queimar impurezas e alguma humidade susceptível de se depositar na extremidade da sonda. O regulador SCR 2000 é equipado de um utilitário, podendo parametrizar as operações de purga em intervalos variáveis em função da sua instalação.

A operação de limpeza tem início no momento em que a carga entra na zona de tratamento.

Seguidamente apresenta-se um gráfico com a variação do sinal da sonda ao longo do período de limpeza.

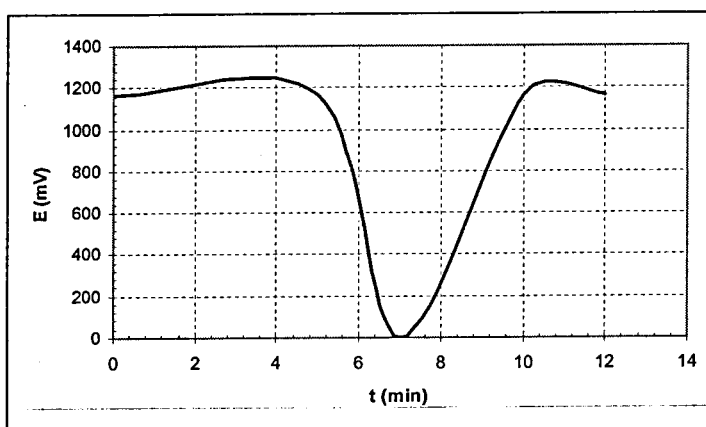


Figura 34 – Ciclo de limpeza da Sonda de O₂.

Após a carga entrar na mufla, ocorre a limpeza da sonda. A lavagem propriamente dita ocorre apenas em dois minutos, sendo efectuada com ar de purga (débito: 2.5 l/min). O tempo seguinte (normalmente três minutos) tem o objectivo de estabilizar o sinal da sonda em $1160 \pm 5\text{mV}$. Durante os cinco minutos para lavagem e estabilização da sonda são apenas debitados azoto e metanol para o interior da zona de tratamento.

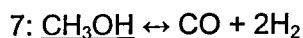
Gases

$$4: V_{\text{FORNO}} = 8 \text{ m}^3$$

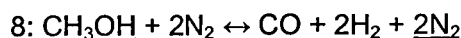
$$5: N_2 \text{ (lavagem/extinção chamas)} = 5 * V_{\text{FORNO}} \rightarrow 40 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$6: N_2 \text{ (lavagem câmara têmpera)} = 10 \text{ m}^3/\text{h}$$

É sabido que durante a decomposição de metanol no interior do forno de tratamento térmico obtém-se:



De evidenciar que o produto de reacção é diluído em azoto:



Então, se a quantidade de azoto for correctamente doseada, apresentando uma proporção - $1\text{CO}:2\text{H}_2:2\text{N}_2$, a mistura irá ter uma composição nominal de 20% de CO, 40% de H_2 e o restante de N_2 .^[1]

$$9: \text{N}_2 (\text{TRATAMENTO}) = 40\% * V_{\text{FORNO}} \rightarrow \underline{3.2 \text{ m}^3/\text{h}}$$

$$10: \underline{\text{CH}_3\text{OH}^1} = (V_{\text{FORNO}} - \text{N}_2 (\text{TRATAMENTO})) / 1.665 \leftrightarrow (8-3.2)/1.665 \rightarrow \underline{2.9 \text{ l/h}}$$

Normalmente, a quantidade de amoníaco presente no forno é mantida entre 2 e 5% do volume do forno. Porém, sabendo que os fornos de tratamentos (B.I.A.) já existentes de C.A.C.I.A. apresentam um volume de 4 m^3 e utilizam, para o amoníaco, um débito de 80 l/h , então, se o novo forno possui um volume de 8 m^3 , irá necessitar de um débito de 160 l/h NH_3 . Tal afirmação só pode ser dada como correcta após ensaio industrial. Pois após verificação da espessura da camada tratada às peças, é que se pode garantir se este débito é suficiente ou não, dado que se for em excesso, a espessura da camada ultrapassa o valor previsto (0.7 mm), e vice-versa.

$$11: \% \text{NH}_3 = (160/8000) * 100\% \rightarrow \underline{2\% \text{ do } V_{\text{FORNO}}}$$

Os restantes gases, propano e ar, é mediante o potencial em carbono atingido. Isto é, se o potencial em carbono atingido exceder o previsto, automaticamente é debitado mais ar, se o potencial em carbono não atingir o previsto, é debitado, também automaticamente, mais propano.

¹ 1litro de CH_3OH corresponde a $1,665 \text{ m}^3$ de CH_3OH .

Peças tratadas no relatório

As primeiras peças abordadas nos ensaios no novo forno de tratamentos térmicos foram as árvores primárias.



Figura 35 – Árvores Primárias antes da maquinação (dentado).



Figura 36 – Árvores Primárias após maquinação (talhagem, shaving).

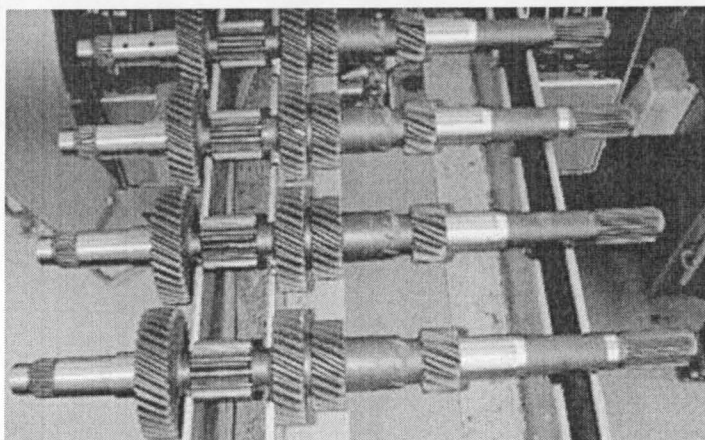


Figura 37 – Árvores Primárias após tratamentos de carbonitruração e fosfatação.

As peças que posteriormente foram tratadas neste relatório, foram os carretos de 2ª velocidade.

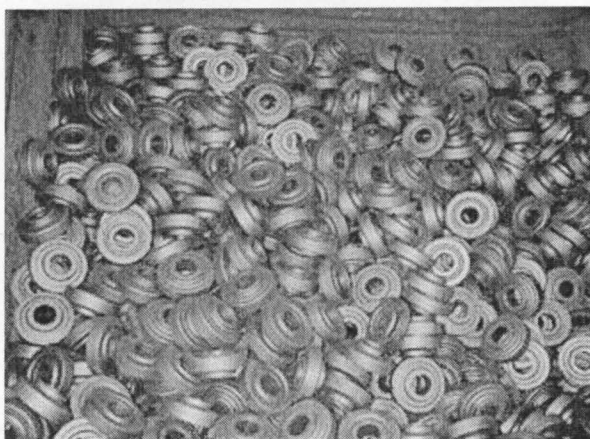


Figura 38 – Carretos de 2ª velocidade antes da maquinação.

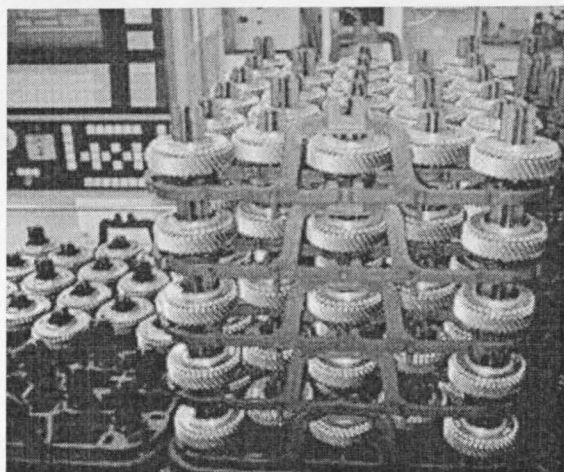


Figura 39 – Carretos de 2ª velocidade após maquinação.

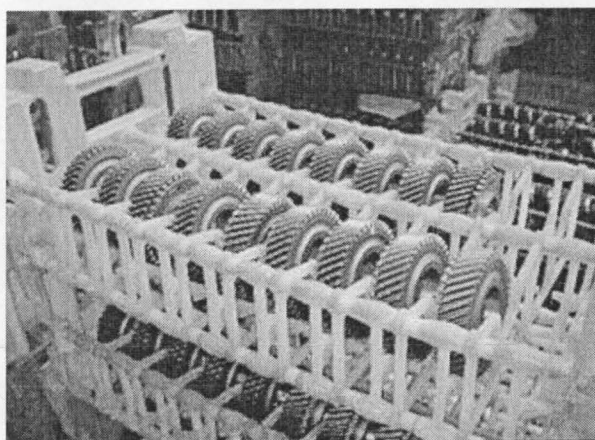


Figura 40 – Carretos de 2ª velocidade após tratamentos de carbonitruração e fosfatação.

Resultados

Em todas as peças analisadas no laboratório metalúrgico da Renault C.A.C.I.A.,S.A. são verificadas as propriedades do núcleo, da capa, bem como a dureza das mesmas. Todos estes valores são comparados com determinados valores, referentes a uma norma interna da empresa.

De seguida encontra-se uma fotomicrografia, que representa uma filiação de dureza de uma peça (carreto de 2ª velocidade)

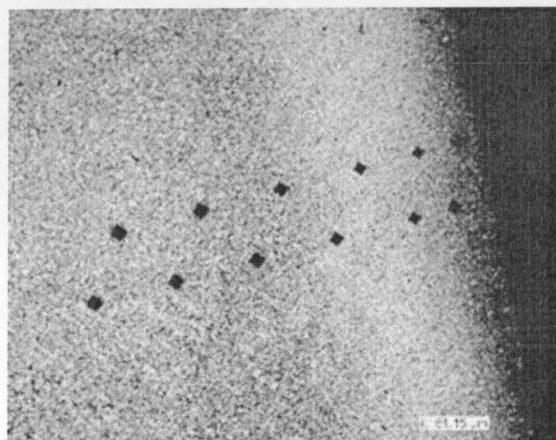


Figura 41 – Fotomicrografia de uma filiação no carreto de 2ª velocidade após tratamento térmico. Ampliação 100X.

Posteriormente, está também representado uma fotomicrografia, representando esta o perfil dos dentes. (Carreto de 2ª velocidade).

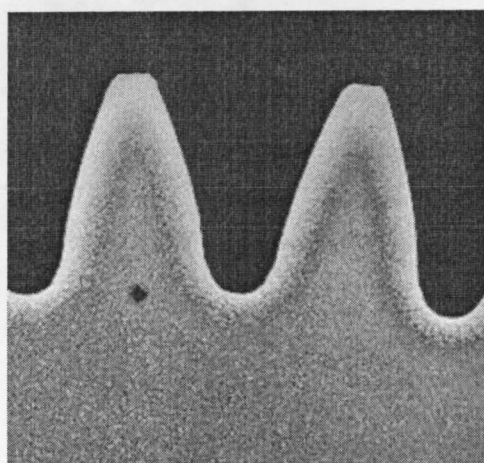


Figura 42 – Fotomicrografia dos dentes de um carreto (2ª velocidade) após tratamento de carbonitruração. (Zona marcada representa o núcleo do dente). Ampliação 100X.

Caixas de velocidades da Renault C.A.C.I.A., S.A.

Na actualidade a empresa Renault C.A.C.I.A. S.A. dedica-se principalmente à maquinação e montagem das caixas de velocidade JR e ND.

Os veículos equipados com a caixa de velocidades JR são todos os veículos da família Mégane, baixa gama (baixa potência) de Laguna, Clio, Micra e Almera, com a caixa de velocidades ND são alguns dos veículos Mégane, Almera e Primera.

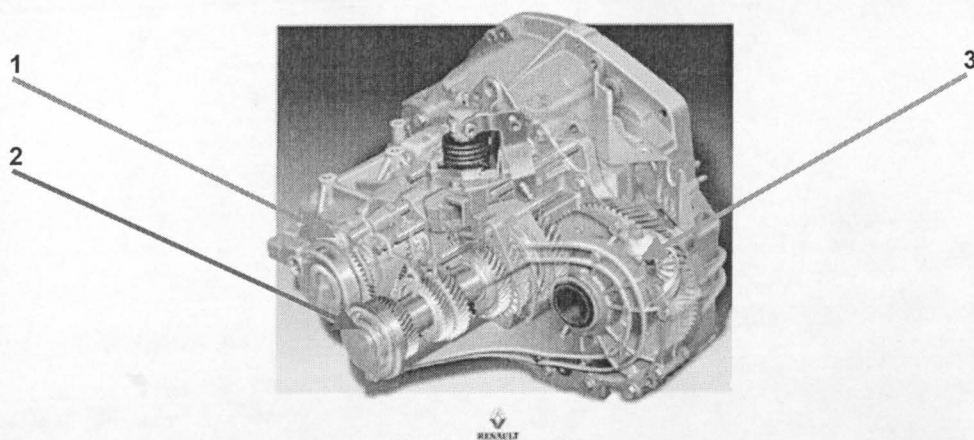


Figura 43 – Caixa velocidades ND

A árvore primária, ou veio primário (1) recebe o movimento do motor e transmite esse mesmo movimento à árvore secundária (2), mediante o carreto engrenado. Por sua vez a árvore secundária recebe o movimento da árvore primária e transmite-o à coroa do diferencial através de um pinhão de ataque, possuindo este a mesma velocidade do carreto engrenado. O diferencial (3) recebe o movimento da árvore secundária, transmitindo-o às rodas.

A árvore primária, além dos dentados incorporados para o carreto de 1ª, 2ª, 3ª, 4ª e 6ª, leva também numa das extremidades o carreto de 5ª (louco).

A árvore secundária é composta pelos carretos de 1ª, 2ª, 3ª, 4ª, 5ª fixo, 6ª e marcha-atrás fixo, assim como todos os mecanismos necessários à transferência de movimento para a coroa do diferencial

A caixa diferencial engloba também quatro rodas dentadas de pequena dimensão muito importantes, sendo denominadas de “satélites” e “planetários” tendo como objectivo primordial a compensação do perímetro das rodas.



Figura 44 – Caixas de velocidades actualmente fabricadas na Renault C.A.C.I.A., S.A.



FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

BIBLIOTECA



0000088323