

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT**  
**ENGENHARIA MECÂNICA**

**ELVIS MARTINI**

**RELATÓRIO DE ESTÁGIO CURRICULAR**

**JOINVILLE - SANTA CATARINA**

**2014**

**ELVIS MARTINI**

## **RELATÓRIO DE ESTÁGIO CURRICULAR**

Relatório de estágio curricular apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Júlio Miranda Pureza

**JOINVILLE - SANTA CATARINA**

**2014**

**ELVIS MARTINI**

**RELATÓRIO DE ESTÁGIO CURRICULAR**

Relatório de estágio curricular apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

**Banca Examinadora**

**Aprovado em 07/07/2014**

Orientador: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Júlio Miranda Pureza

Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro: \_\_\_\_\_

Prof. Msc. André Olah Neto

Universidade do Estado de Santa Catarina

**Joinville - SC – 07/07/2014**



UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC

CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – FEJ

RELATÓRIO DE ESTÁGIO CURRICULAR

(CURRICULAR INTERNSHIP REPORT)

FOLHA DE AVALIAÇÃO FINAL

(FINAL EVALUATION SHEET)

ROBERT BOSCH GMBH  
Geschäftsbereich ED  
Personalabteilung  
Robert-Bosch-Str. 1, 77815 Bühl  
27.06.14  
Carimbo da Empresa  
Company Stamp

**UNIDADE CONCEDENTE (GRANTOR ENTITY)**

Razão Social (Corporate name): **Robert Bosch GmbH**  
Número de Registro (Register Number): USTID DE811128135 Steuernummer 99012/08009  
Endereço (Address): Robert-Bosch-Str. 1 CEP (ZIP-CODE): 77815  
Cidade (City): Bühl UF(State): Baden-Württemberg Fone (Phone): +49(7223)82-3584  
Supervisor(Supervisor): **Dieter Schuler**  
Cargo(Position): Gestor de Plataformas HVAC (HVAC Platforms Group Leader)

**ESTAGIÁRIO (INTERN)**

Nome (Name): **Elvis Martini** Matrícula(Enrolled number): **210120614**  
Endereço(Address): Rua 41 n. 55 Bairro(District): Mirante  
CEP(ZIP-CODE): 89760-000 Cidade(City): Bühl UF(State): SC  
Fone(Phone): +55(49)34581032  
Curso de (Course) : Engenharia Mecânica (Mechanical Engineering)

Título do Estágio (Internship Title): Engineering Platform HVAC  
Período(Period): 02/09/2013 a 30/06/2014 Carga horária(Working hours): 1500 horas

**AVALIAÇÃO FINAL DO ESTÁGIO PELO CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS**  
**TECHNOLOGICAL SCIENCE CENTER INTERNSHIP FINAL EVALUATION**

Representada pelo Professor Orientador: **Júlio Miranda Pureza**  
Represented by the Responsible Professor

CONCEITO FINAL (Final Evaluation)	NOTA (Grade)	Rubrica do Professor Orientador (Responsible Professor Signature)
Excelente (9,1 a 10) Excelent		
Muito Bom (8,1 a 9,0) Very good		
Bom (7,1 a 8,0) Good		
Regular (5,0 a 7,0) Regular		
Reprovado (0,0 a 4,9) Failed		
		Local e data: Place and date:





UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC

CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – FEJ

RELATÓRIO DE ESTÁGIO CURRICULAR

(CURRICULAR INTERNSHIP REPORT)

AValiação do Estagiário pela Empresa

(EVALUATION OF THE INTERN BY THE COMPANY)

Nome do Estagiário: Elvis Martini

*Name of the Intern*

Punctuation scheme to be used in the charts below:

Insufficient – 1 point, Regular – 2 points, Good – 3 points, Very good – 4 points, Excellent – 5 points.

**QUADRO I CHART I**

a) AVALIAÇÃO NOS ASPECTOS PROFISSIONAIS <i>PROFESSIONAL ASPECTS EVALUATION</i>	Points
1 - QUALIDADE DO TRABALHO - Considerando o possível. <i>QUALITY OF THE WORK – Considering what is possible to be done.</i>	3
2 - ENGENHOSIDADE - Capacidade de sugerir, projetar e executar modificações ou inovações. <i>INGENIOUSNESS - Ability to suggest, project and execute modifications or innovations.</i>	4
3 - CONHECIMENTO - Demonstrado no desenvolvimento das atividades programadas. <i>KNOWLEDGE – Demonstrated during the development of the provided activities.</i>	3
4 - CUMPRIMENTO DAS TAREFAS - Considerar o volume de atividades dentro do padrão razoável. <i>TASKS FULFILLMENT – Reasonable amount of activities to be considered.</i>	4
5 - ESPÍRITO INQUISITIVO - Disposição demonstrada para aprender. <i>INQUISITIVE ESPIRIT – Willing to learn demonstrated during the activities.</i>	5
6 - INICIATIVA - No desenvolvimento das atividades: <i>INICIATIVE – On developing the activities.</i>	4
SOMA <i>SUM</i>	23

**QUADRO II CHART II**

b) AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS HUMANOS <i>HUMAN APSPECTS EVALUATION</i>	Points
1 - ASSIDUIDADE - Cumprimento do horário e ausência de faltas. <i>ASSIDUITY – Coming to work on time and not beeing absent.</i>	3
2 - DISCIPLINA - Observância das normas internas da Empresa. <i>DISCIPLINE – Ability to follow the company internal rules.</i>	4
3 - SOCIABILIDADE - Facilidade de se integrar com os outros no ambiente de trabalho. <i>SOCIABILITY – Ability to interact with the other employees.</i>	5
4 - COOPERAÇÃO - Disposição para cooperar com os demais para atender as atividades. <i>COOPERATION – Willing to cooperate with the other employees in order to fullfil the activities.</i>	5
5 - SENSO DE RESPONSABILIDADE - Zelo pelo material, equipamentos e bens da empresa. <i>RESPONSIBILITY SENSE – Ability to handle the company equipments in general with care.</i>	4
SOMA <i>SUM</i>	21

c) AVALIAÇÃO FINAL FINAL EVALUATION	Pontos
SOMA do Quadro I multiplicada por 7 <i>SUM from the chart I multiplied by 7</i>	161
SOMA do Quadro II multiplicada por 3 <i>SUM from the chart II multiplied by 3</i>	63
<b>SOMA TOTAL</b> <b>TOTAL SUM</b>	224

#### LIMITES PARA CONCEITUAÇÃO

De 57 a 101 – SOFRÍVEL  
*From 57 to 101 - Insufficient*  
De 102 a 146 – REGULAR  
*From 102 to 146 - Regular*  
De 148 a 194 – BOM  
*From 148 to 194 - Good*  
De 195 a 240 - MUITO BOM  
*From 195 to 240 - Very good*  
De 241 a 285 – EXCELENTE  
*From 241 to 285 - Excellent*

Nome da Empresa: Robert Bosch GmbH  
*Company Name*

Representada pelo Supervisor: Dieter Schuler  
*Represented by the Supervisor*

CONCEITO CONFORME  
SOMA TOTAL  
EVALUATION  
ACCORDING TO THE  
TOTAL SUM

Muito Bom

Rubrica do Supervisor da  
Empresa  
*Company Supervisor Signature*

*Sch*

Local: Bühl, Alemanha  
*Place: Bühl, Germany*  
Data : 26.06.14  
Date: 26.06.14

ROBERT BOSCH GMBH  
Geschäftsbereich ED  
Personalabteilung  
Robert-Bosch-Str. 1, 77815 Bühl

27.06.14

Carimbo da Empresa  
Company Stamp





**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS**  
**PLANO DE ESTÁGIO CURRICULAR OBRIGATÓRIO**  
**(MANDATORY CURRICULAR INTERNSHIP PLAN)**

**ESTAGIÁRIO (INTERN)**

Nome (Name): **Elvis Martini** Matrícula (Enrollment number): **210120614**  
Endereço no Brasil (Address): Rua 41 n. 55 Bairro (District): **Mirante**  
CEP (ZIP-CODE): **89760-000** Cidade (City): **Itá** UF (State): **SC**  
País (Country): **Brasil** Fone (Phone): **+55 (49) 34581032**  
Endereço no país de estágio (Address in the internship country): **Liechstersmatten 9**  
CEP (ZIP-CODE): **77815** Cidade (City): **Bühl** UF (State): **Baden-Württemberg**  
País (Country): **Alemanha (Germany)** Fone (Phone): **+49 017685095477**  
E-mail: **martinielvis@gmail.com**  
Regularmente matriculado no semestre (Regularly enrolled semester): **2014/01**  
Curso (Course): **Engenharia Mecânica (Mechanical Engineering)**  
Previsão de graduação – semestre/ano (Predicted graduation – semester/year): **2014/01, 2014/02**

**UNIDADE CONCEDENTE (GRANTOR ENTITY)**

Razão social (Corporate name): **Robert Bosch GmbH**  
Número de Registro (Register Number): **USTID DE811128135 Steuernummer 99012/08009**  
Endereço (Address): **Robert-Bosch-Str. 1**  
CEP (ZIP CODE): **77815** Cidade (City): **Bühl** UF (State): **Baden - Württemberg**  
País (Country): **Alemanha (Germany)** Fone (Phone): **+49(7223)82-3584**  
Atividade principal (Main activity): **Motores Elétricos (Electrical drives)**  
Supervisor (Supervisor): **Dieter Schuler**  
Cargo (Position): **Gestor de Plataformas HVAC (HVAC platform group leader)**  
E-mail do Supervisor (Supervisor E-mail): **Dieter.Schuler4@de.bosch.com**  
Telefone(Phone): **+49(7223)82-3584**

**DADOS DO ESTÁGIO (INTERNSHIP DATA)**

Área de atuação (Field): **Engineering Platform HVAC**  
Departamento de atuação (Department): **ED-TS/ENP2**  
Fone (Phone): **+49(7223)82-3530**  
Horário do estágio (Internship schedule): **Das 08:00 am às 16:00 pm (from 08:00 am to 16:00 pm)**  
Total de horas semanais (Total number of hours per week): **35 horas (35 hours)**  
Período (Period): **Início: 02/09/2013, Término: 30/06/2014 (Begin: 02/09/2013, End: 30/06/2014)**  
Total de horas do estágio (Total number of hours of the internship): **1365 horas (1365 hours)**

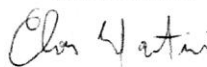
Nome do Professor Orientador (Responsible Professor): **Júlio Miranda Pureza**  
Departamento (Department): **DEM (Mechanical Engineering Department)**

**METAS GERAIS (GENERAL GOALS)**

O maior foco do estágio é de dar assistência para implementação e acompanhamento de testes relacionados a processo de validação de motores elétricos comutados eletronicamente que tem a finalidade de equipar subsistemas de ar condicionado de carros.  
*The main goal of the internship is to give support to implement and execute ongoing activities related to the process validation plan for electronically commutated motors which are components of HVAC car subsystems.*

<b>ATIVIDADES</b> (Activities)	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> (Specific goals)	<b>HORAS</b> (Hours)
Introdução à área de trabalho. <i>Introduction to the working area.</i>	Conhecimento das relações e divisões de responsabilidades no ambiente de trabalho. <i>Knowledge of the relationships and division of responsibilities in the area.</i>	35 horas
Fundamentos básicos sobre motores comutados por escovas e comutados eletronicamente. <i>Basics of brush commutated and electronically commutated motors.</i>	Introdução à técnicas de medição de propriedades elétricas e mecânicas. <i>Introduction to mechanical and electrical properties measurement techniques.</i>	140 horas
Acompanhamento de planejamento de testes. <i>Assistance on planning of trials.</i>	Aquisição de plataformas de testes e coordenação com o departamento, agendamento e rastreamento de testes. <i>Provision of testing platforms and coordination with department, appointment planning and tracking.</i>	175 horas
Suporte à preparação de amostras para testes. <i>Support on preparation of testing samples.</i>	Preparação do ponto de trabalho de amostras. Execução de testes de parâmetro e performance. <i>Preparation of working point from samples. Parameters and performance tests execution.</i>	875 horas
Análise de pós-testes. <i>Post-tests analysis.</i>	Análise de falha de amostras. Análise de danos. Dar suporte à elaboração da documentação dos resultados. <i>Analysis of failure parts. Damage analysis. Give support to elaborate documentation of the results.</i>	140 horas

Assinatura do aluno  
(Student Signature)




Date: 26.06.2014

Carimbo da empresa  
(Company Stamp)

ROBERT BOSCH GMBH  
Geschäftsbereich ED  
Personalabteilung  
Robert-Bosch-Str. 1, 77815 Bühl

Assinatura do Supervisor da empresa  
(Company Supervisor Signature)



Date: 26.06.2014

Assinatura do professor orientador  
(Responsible Professor Signature)

Date:

Assinatura do Comitê de Estágio  
(Signature of the Member of the Internship Committee)

Date:

Assinatura Coordenador de Estágio  
(Internship Coordinator Signature)

Date:



## **AGRADECIMENTOS**

À minha família, em especial à minha mãe, pelo incondicional apoio e incentivo. Em meio aos seus próprios problemas, nunca se esqueceram dos meus.

Aos amigos que conquistei e foram minha família na cidade de Bühl na Alemanha.

A todos meus colegas de trabalho, em especial ao meu chefe Dieter Schuler, que sempre estiveram dispostos a me ajudar e tornaram minha rotina de trabalho em algo realmente positivo durante o período de estágio.

Aos meus grandes amigos que em todos estes anos estiveram ao meu lado e foram minha família na cidade de Joinville.

A todos os professores que de alguma maneira contribuíram para a minha formação acadêmica e profissional.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Logotipo da Bosch em Stuttgart.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>	6
Figura 2 – Setores de atuação da Robert Bosch GmbH .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>	7
Figura 3 – Planta da Bosch de Bühl, Baden-Württemberg, Alemanha.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>	8
Figura 4 – Unidade HVAC completa .....		25
Figura 5 – <i>Blower unit</i> , em verde .....		26
Figura 6 – Perfil dinâmico de velocidades do teste dinâmica de resistência hidráulica e velocidade de rotação para cada <i>step</i> .....	<b>3Erro! Indicador não definido.</b>	
Figura 7 – Perfil de temperatura para medição de <i>chirp noise</i> .....		33
Figura 8 – Perfil de temperatura do teste de resistência a altas temperaturas. ....		35
Figura 9 – 1ª página, análise do mecanismo de falha do teste de resistência a altas temperaturas.....		39
Figura 10 – 2ª página, análise do mecanismo de falha do teste de resistência a altas temperaturas.....		40
Figura 11 – 3ª página, análise do mecanismo de falha do teste de resistência a altas temperaturas.....		41
Figura 12 – 4ª página, análise do mecanismo de falha do teste de resistência a altas temperaturas.....		42

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros básicos de operação .....	24
Tabela 2 – Tolerâncias aplicadas para as condições de testes. ....	25
Tabela 3 – Relação de temperatura e tempo para cada temperatura de teste .....	31
Tabela 4 – Sequência de tempo para medição de <i>chirp noise</i> .....	32

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2 ROBERT BOSCH GMBH.....</b>	<b>16</b>
2.1. BREVE HISTÓRICO.....	16
2.2. DESCRIÇÃO DA PLANTA DE BÜHL.....	18
<b>3 DESCRIÇÃO DOS PROCEDIMENTOS DA ÁREA DE ESTÁGIO .....</b>	<b>19</b>
3.1 UMA ABORDAGEM AO PROCESSO DE VALIDAÇÃO .....	19
3.1.1 Recomendações gerais.....	20
3.1.2 Conduta de uma validação .....	21
3.1.3 Desenvolvimento do Plano de Validação .....	22
3.2 PLANO DE TESTES DE VALIDAÇÃO .....	23
3.2.1 Definição do ponto de trabalho de amostras.....	25
3.3 PRÉ E PÓS-TESTES .....	27
3.3.1 Testes de parâmetros.....	27
3.3.2 Teste de desempenho .....	29
3.4 TESTES DE RESISTÊNCIA .....	30
3.4.1 Teste dinâmico de resistência hidráulica.....	30
3.4.2 Teste de resistência a altas temperaturas .....	34
3.4.3 Análise do mecanismo de falha durante o teste de resistência a altas temperaturas .....	36
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>38</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>39</b>
<b>ANEXO A – Análise do mecanismo de falha do teste de Resistência a Altas Temperaturas.....</b>	<b>39</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>43</b>



## RESUMO

MARTINI, Elvis. **RELATÓRIO DE ESTÁGIO CURRICULAR**. 2014. 44 fls. Relatório de estágio (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2014.

Este trabalho apresenta algumas das atividades desenvolvidas pelo estagiário durante o período de estágio curricular do curso de Engenharia Mecânica da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, na empresa Robert Bosch GmbH – Unidade de Bühl, Alemanha, durante o período de 02 de Setembro de 2013 a 30 de junho de 2014. Todos os trabalhos que serão apresentados estão diretamente ligados à área de Desenvolvimento de Plataformas HVAC de Engenharia que está inserida no departamento de Pesquisa e Desenvolvimento. Para realização de tal objetivo, foram realizadas atividades focadas no acompanhamento e suporte ao Processo de Validação do modelo F15/16, motor elétrico comutado eletronicamente, os quais equipam as unidades HVAC (*Heat Ventilation and Air Conditioning*) de subsistemas de ar condicionado de automóveis. Dentre as principais atividades programáticas pode-se listar a preparação de amostras (estabelecimento do ponto de trabalho) e protótipos para testes, bem como execução de pré e pós-testes de parâmetro e desempenho de módulos acoplados em *scrolls*.

Palavras-chaves: Plataforma HVAC, Processo de Validação, motor elétrico comutado eletronicamente, teste de parâmetro, teste de desempenho.

## ABSTRACT

MARTINI, Elvis. **RELATÓRIO DE ESTÁGIO CURRICULAR**. 2014. 44 fls. Relatório de estágio (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2014.

This report shall present some of the activities performed by the intern during the mandatory internship course in Mechanical Engineering from the University of the State of Santa Catarina – UDESC, in the company Robert Bosch GmbH – Bühl Unit, Germany, during the period from September 2<sup>nd</sup> of 2013 to June 30<sup>th</sup> of 2014. All the work that will be presented is related to the Engineering Platform HVAC Development area which is included in the Research & Development Department. In order to achieve this goal, activities focusing on supporting the Validation Process of the model F15/16, electronically commutated electrical motor, which are components of the automobile HVAC subsystems, were performed. As one of the main activities, it can be listed the sample (working point setting) and prototypes preparation, as well as the conduction of parameter and performance pre and post-tests of modules built in *scrolls*.

Key-words: HVAC Platform, Validation Process, electronically commutated electrical motor, parameter test, performance test.

## 1 INTRODUÇÃO

Na busca pela melhoria contínua de processos e produtos as empresas procuram aperfeiçoar-se e, cada vez mais, exceder as necessidades e exigências dos clientes e mercados. Para tanto, é preciso desenvolvimento, planejamento e controle de todos os processos e produtos.

O desenvolvimento de novos produtos é alcançado por meio de muitos testes e trabalhos de pesquisa. A rotina de trabalho de testes é o que trás o conhecimento necessário para constantemente trazer maior qualidade ao produto. Nesse contexto a validação de um produto se destaca como um mecanismo ou atividade usado pela organização para assegurar que o produto atenda ou esteja em constante conformidade com as especificações do cliente.

O Processo de validação é, em síntese, um meio de assegurar e prover evidências científicas e documentadas de que o processo (dentro do design e parâmetros especificados) é capaz de constantemente produzir um produto final com a requerida qualidade. Este subentende uma série de atividades que são conduzidas levando-se em conta o ciclo de vida do produto e do processo. Destaca-se o desempenho do processo de fabricação, ou seja, a confiabilidade, rastreabilidade e qualidade das informações definidas durante os testes como parâmetros inerentes ao acompanhamento destas atividades. Para cada produto é gerado um protocolo com os critérios de aceitação e o relatório final para aprovação.

O sucesso de um programa de validação depende de conhecimentos adquiridos a respeito do desenvolvimento do produto e do processo. Este conhecimento e entendimento é a base para se estabelecer uma abordagem para controlar o processo de produção o qual resulte em produtos com os atributos de qualidades desejados.

A principal motivação da elaboração deste relatório é descrever as atividades realizadas pelo acadêmico Elvis Martini, graduando em Engenharia Mecânica pela UDESC – Universidade Estadual de Santa Catarina, durante o período de estágio curricular obrigatório desenvolvido na Robert Bosch GmbH – Unidade de Bühl, Alemanha. Assim sendo, o presente relatório apresenta algumas das atividades desenvolvidas pelo time responsável pelo desenvolvimento e validação do produto, do qual o estagiário fez parte e teve a oportunidade e responsabilidade de participar.

O texto que compõe este relatório traz primeiramente uma apresentação da Empresa concedente, contemplando as informações mais importantes da mesma. Logo após, segue uma breve introdução sobre a importância de um processo de validação dentro de uma empresa como também uma breve descrição deste o qual o estagiário teve a oportunidade de acompanhar durante o estágio. Dentro de cada um destes capítulos, encontra-se uma breve descrição de cada etapa, que contextualiza o leitor, seguida da apresentação das atividades realizadas pelo estagiário dentro de cada uma delas.

## 2 ROBERT BOSCH GMBH

### 2.1. BREVE HISTÓRICO

Robert Bosch GmbH (conhecida apenas por Bosch) é uma empresa alemã fundada em Estugarda (*Stuttgart*) em 1886, por Robert Bosch (1861-1942) como Oficina de Mecânica de Precisão e Eletrotécnica. A matriz (sede mundial) da empresa fica em Gerlingen, Alemanha. Franz Fehrenbach é o presidente do Conselho de Supervisão desde 1 de julho de 2012.



Figura 1: Logotipo da Bosch em Stuttgart. Fonte [www.bosch.de](http://www.bosch.de) Acessado em 25/06/2014.

A Bosch no Brasil é filial do Grupo Bosch, uma das maiores sociedades industriais privadas a nível mundial. O grupo Bosch opera em varias áreas de tecnologia automobilística, tecnologia industrial (automação e equipamentos de embalagem), tecnologias de construção



(ferramentas elétricas) e na produção de bens de consumo (termotecnologia, electrodomésticos e sistemas de segurança).

O grupo Bosch é detido em 92% pela Fundação Robert Bosch. Tem a seu cargo as atividades filantrópicas e sociais tal como estipulou o seu fundador, no sentido de cumprir com os seus objetivos de corresponder à sociedade moderna. A fundação utiliza os seus fundos para apoio a atividades interculturais, de carácter social e investigação médica.

Segundo números de 2011 a sociedade empregava 302.500 colaboradores mundialmente com um volume de negócios mundial de 51,5 bilhões de euros. O setor de desenvolvimento beneficiou-se de um investimento de 4,2 bilhões de euros.

O Grupo Bosch está presente na América do Sul desde 1924, chegando ao Brasil em 1954 e sua sede localiza-se em Campinas, São Paulo, Sorocaba, Simões Filho. Está presente em 10 localidades e emprega cerca de 11.000 colaboradores, faturando cerca de R\$ 4,5 bilhões anuais no país.

Entre os negócios da Bosch estão:

- Fabricação de produtos automotivos (para o automóvel, como freios ABS).
- Fabricação de produtos para o consumidor final (eletrodomésticos, ferramentas elétricas, aquecedores etc).
- Engenharia de serviços industriais.
- Tecnologia de embalagem, motores elétricos, ferramentas pneumáticas
- Sistemas de segurança.



Figura 2: Setores de atuação da Robert Bosch GmbH. Fonte [www.bosch.com.br](http://www.bosch.com.br) Acessado em 25/06/2014.

## 2.2. DESCRIÇÃO DA PLANTA DE BÜHL

A planta da Robert Bosch GmbH em Bühl é responsável por vários produtos da divisão de ED - *Electrical Drives*. Aproximadamente 3500 empregados nas áreas de desenvolvimento, compras, vendas e produção em uma área de 130000 m<sup>2</sup> são responsáveis pelo sucesso e qualidade dos produtos da empresa.

A divisão de ED desenvolve e produz motores elétricos pequenos para muitas aplicações em automóveis, tais como: atuadores para elevação de vidro de janela, ajuste do banco, e acionamento de teto solar; motores para ventilador de ar e arrefecimento de motores; bombas e válvulas para o sistema de arrefecimento do motor; componentes para aplicações em HVAC; limpadores de vidros dianteiros e traseiros; motores para direção elétrica, motores para sistemas ABS, ESP e *eBikes*. Assim sendo são produzidos anualmente mais de 72 milhões de motores elétricos para suprir a demanda das diversas aplicações listadas anteriormente.



Figura 3: Planta da Bosch de Bühl, Baden-Württemberg, Alemanha.

### **3 DESCRIÇÃO DOS PROCEDIMENTOS DA ÁREA DE ESTÁGIO**

A área de atuação do estagiário é responsável pelo planejamento e execução de testes para validação de design e produção de motores elétricos utilizados em sistemas HVAC com aplicação em automóveis, além de fornecer a avaliação e documentação dos testes executados. Assim sendo, o capítulo propõe uma breve abordagem sobre o que é um processo de validação e sua importância. Porém este assunto não será abordado detalhadamente neste trabalho, porém entende-se ser válida a sua citação, por ser este o foco do relatório deste estagiário, que trata do acompanhamento de um plano de testes para o processo de validação de um motor elétrico comutado eletronicamente desenvolvido pela empresa. Por fim será descrito sucintamente o plano de alguns dos testes que o estagiário teve a oportunidade de acompanhar diretamente e desenvolver a maioria das suas atividades durante o estágio. Vale ressaltar que os testes e requerimentos específicos de aceitação não serão detalhados neste texto, uma vez que estes compõem norma de sigilo da empresa.

#### **3.1 UMA ABORDAGEM AO PROCESSO DE VALIDAÇÃO**

O processo de validação é parte dos requisitos de um sistema de gerenciamento de qualidade. É conduzido dentro de um sistema que leva em conta as seguintes atividades: controle de design e desenvolvimento de produto e processo, garantia de qualidade, controle de processo e ações preventivas e corretivas.

A inter-relação entre controle de design e desenvolvimento de processo é muito próxima. O produto deve ter um design suficientemente robusto para resistir às variações nos processos de manufatura, e estes devem ser capazes e estáveis para assegurar a continuidade de produtos seguros e de desempenho adequado. Frequentemente isso resulta em uma grande interação entre desenvolvimento de produtos e processos. Medições e atividades de monitoramento diárias são conduzidas de acordo com especificações determinadas pelo plano de controle de processo, as quais são largamente desenvolvidas durante o processo de validação. Ações corretivas devem ser tomadas quando da existência / descoberta de processos inadequados. Cada ação corretiva aplicada a um processo de manufatura ou modificação de especificação de produto deve considerar a execução de um novo processo de validação, ou revalidação.

### 3.1.1 Recomendações gerais

O processo de validação é definido como a coleta e avaliação de dados, desde o estágio de design até a comercialização do produto, a qual estabelece evidências científicas de que o processo é consistentemente capaz de fornecer um produto de qualidade. Este envolve uma série de atividades que acontecem durante o ciclo de vida do produto e processo. Essas atividades podem ser divididas em três fases.

Fase 1 – Design do processo: O processo de produção comercial é definido durante esta fase com base no conhecimento adquirido por meio de atividades de desenvolvimento.

Fase 2 – Qualificação do processo: Durante esta fase, a concepção (design) do processo é avaliada para determinar se este é comercialmente reproduzível.

Fase 3 - Verificação contínua do processo: Fase na qual se adquire a garantia de que o processo permanece em um estado de controle.

Na prática, algumas atividades podem ocorrer em múltiplas fases. Antes que qualquer lote de produtos seja distribuído comercialmente para utilização pelos consumidores, um fabricante deve conquistar um grau elevado de confiabilidade do desempenho do processo de fabricação de tal modo que ele irá produzir de forma consistente produtos que vão ao encontro de todos os atributos de qualidade. A garantia deve ser obtida a partir de informações objetivas, ou seja, dados coletados em laboratório, estudos-piloto, e / ou em escala comercial.

Um programa de validação bem-sucedido depende de informação e conhecimento de desenvolvimento de produto e processos. Este conhecimento e compreensão é a base para o estabelecimento de uma abordagem para o controle do processo de fabricação que resulta em produtos com os atributos de qualidade desejados. Os fabricantes deverão:

- Compreender as fontes de variação.
- Detectar a presença e o grau de variação.
- Compreender o impacto da variação no processo bem como sobre os atributos do produto.
- Controlar a variação de uma maneira proporcional ao risco que esta representa para o processo e produto.

Cada fabricante deve julgar se ele ganhou o entendimento suficiente para fornecer um alto grau de segurança em seu processo de fabricação para justificar a distribuição comercial do produto. Focar exclusivamente em esforços de qualificação, sem também a compreensão do processo de fabricação e respectivas variações, não basta para conduzir a uma garantia



adequada de qualidade do produto. Depois de estabelecer e confirmar o processo, os fabricantes devem mantê-lo em estado de controle ao longo do ciclo de vida do produto, mesmo quando da mudança de materiais, equipamentos, ambiente de produção, pessoal e procedimentos de fabricação.

Os fabricantes devem utilizar programas em curso para coletar e analisar dados a respeito de produtos e processos para avaliar o estado de controle do processo em si. Estes programas podem identificar problemas nos processos ou produtos, além de identificar oportunidades de melhorias de processos que podem ser avaliadas e implementadas.

### **3.1.2 Conduta de uma validação**

Deve ser considerada a formação de uma equipe multifuncional para planejar e supervisionar as atividades de validação. A abordagem da equipe deve ser tal de modo a assegurar que os processos de validação sejam bem elaborados, que os protocolos sejam abrangentes e que os resultados finais sejam bem documentados e de fácil compreensão. A equipe deve alertar para "o que pode dar errado." A equipe também oferece uma oportunidade para que as principais áreas funcionais se comuniquem cedo sobre importantes alterações nos produtos e processos promovendo uma maior cooperação entre elas.

Como membros da equipe de validação podem estar incluídos representantes de ou pessoal com experiência em:

- Controle de qualidade
- Engenharia
- Manufatura
- Laboratório
- Pesquisa e Desenvolvimento
- Compras/Planejamento

Uma vez que a equipe de validação foi formada, o próximo passo é planejar a abordagem e definir os requisitos. Muitos fabricantes desenvolvem o que é conhecido como um plano de validação principal, o qual identifica os processos a serem validados, o cronograma de validações, as inter-relações entre os processos que necessitam de validação e o tempo disponível para revalidações. Uma vez que estes foram criados, o propósito e o escopo para validações são claramente estabelecidos e conhecidos, o desenvolvimento de

protocolo pode começar. Uma lista de atividades que podem ser utilizados como uma lista de verificação para avaliar e rever a atividade de validação deve conter:

- Formar a equipe multifuncional para validação.
- Planejar a abordagem e definir os requisitos.
- Identificar e descrever os processos.
- Especificar parâmetros de processo e de saída desejado.
- Criar um plano de validação mestre.
- Selecionar métodos e ferramentas para validação.
- Criar protocolos de validação.
- Determinar controles contínuos de processo.

### **3.1.3 Desenvolvimento do Plano de Validação**

O plano de validação nada mais é do que um documento que estabelece como a validação deverá ser conduzida, incluindo plano de testes, características de produtos, equipamentos de manufatura e pontos de decisão sobre o que constitui critérios aceitáveis de aceitação de resultados.

Planos de validação devem incluir os seguintes elementos:

- Título/escopo: Descrição do produto, processo e itens a serem avaliados.
- Objetivos ou propósitos: Razão para se implementar a validação. Estabelecer critérios objetivos e mensuráveis para uma validação bem sucedida. Determinar a duração da validação.
- Documentos de referência: Lista de documentos chaves que serão utilizados durante a validação.
- Requerimentos das amostras: Detalhar as amostras a serem utilizadas e a razão para escolher tais amostras.
- Procedimentos: Detalhar os procedimentos padrões que serão aplicados. Estabelecer os parâmetros do processo a serem monitorados, e os métodos de controle e monitoramento.

- Saída esperada: Detalhar claramente os resultados esperados. Definir métodos estatísticos para a coleta e análise de dados. Definir o que constitui uma não conformidade.
- Descrição de testes: Definir os testes a serem conduzidos, os parâmetros de teste, frequência e quantidades de amostras a serem utilizadas.
- Ciclo de vida das amostras: Detalhar o ciclo de vida das amostras durante a validação.

Devem ser utilizadas técnicas estatisticamente válidas para chegar à conclusão de quantas amostras deverão ser medidas. A utilização de métodos de ensaio normalizados fornecem orientações sobre a forma de se executar os testes e medir parâmetros específicos. Além disso, é importante que os métodos de ensaio sejam capazes de reproduzir as condições de utilização reais. Os equipamentos de medição e inspeção devem ser calibrados e devem apresentar uma rastreabilidade a padrões pré-estabelecidos de como a calibração é atingida e mantida.

Durante a condução das diferentes fases de validação, o plano deve também abordar a resolução de discrepâncias. Cada discrepância deve ser abordada e avaliada a fim de se obter uma conclusão quanto à aceitação ou rejeição dos resultados. Assim sendo, procedimentos de controle de processo podem ser alterados e essas modificações devem ser validadas como parte do processo global.

### 3.2 PLANO DE TESTES DE VALIDAÇÃO

Testes de validação de engenharia são primeiramente conduzidos em protótipos, para assegurar que as unidades básicas tenham um desempenho adequado aos objetivos e especificação das metas de concepção do produto. Essa informação é usada para validar a concepção do produto em si, ou identificar áreas que precisam ser modificadas.

Identificar problemas e solucioná-los quando possível já nos ciclos de design do produto é a chave para manter projetos dentro de prazos e orçamentos. Frequentemente muitos problemas de design e desempenho não são, ou são somente muito tarde, detectados no ciclo de desenvolvimento do produto – quando o produto já está pronto para ser distribuído. Mudanças de engenharia/design são mais baratas do que mudanças feitas na fase de produção, e são definitivamente mais baratas do que quando o produto está em campo.

Assim sendo a próxima etapa é a validação de produção do produto, o qual consiste em um intenso programa de testes que são executados no sentido de se fornecer evidências documentadas claras e objetivas de que o produto atende às especificações de qualidade. Corresponde às seguintes áreas de testes: Testes funcionais, de desempenho, de confiabilidade, mecânicos, durabilidade, segurança, climáticos, entre outros.

Esse capítulo propõe uma breve descrição a respeito dos testes que foram conduzidos durante a validação do motor elétrico comutado eletronicamente dos quais o estagiário teve um maior contato.

Vale ressaltar que os testes e requerimentos específicos de aceitação não serão detalhados neste texto, uma vez que estes compõem norma de sigilo da empresa e seus clientes.

Primeiramente são definidos parâmetros básicos de operação que os testes são conduzidos, como tensão (V), corrente (A) e temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ). Além disso, são definidas as tolerâncias para determinadas grandezas gerais as quais serão monitoradas durante os testes.

<b>Abreviatura</b>	<b>Nome</b>	<b>Valor padrão</b>
$U_N$	Tensão nominal	$13\text{V} \pm 0,2\text{V}$
$U_{B\min}$	Limite mínimo de tensão de operação	$9\text{V} \pm 0,2\text{V}$
$U_B$	Tensão de operação	$13\text{V} \pm 0,2\text{V}$
$U_{B\max}$	Limite máximo de tensão de operação	$16\text{V} \pm 0,2\text{V}$
$T_{RT}$	Temperatura ambiente	$23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$
$T_{\max}$	Temperatura máxima	$85^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$
$T_{\text{op.max}}$	Temperatura máximo de operação à $U_N$	$60^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$
$T_{\min}$	Temperatura mínima	$-40^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$
$T_{\text{op.min}}$	Temperatura mínima de operação	$-40^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$

Tabela 1: Parâmetros básicos de operação.

Ao menos que sejam indicadas, as tolerâncias aplicadas para as condições de um teste em geral estão de acordo com a seguinte tabela. As tolerâncias referem-se ao valor de medição requerido.



Frequência	$\pm 1\%$
Temperatura	$\pm 2^{\circ}\text{C}$
Umidade	$\pm 5\%$
Tempo/duração	$+ 5\%; - 0\%$
Vibração	$\pm 5\%$
Tensão	$\pm 2\%$
Corrente	$\pm 2\%$
Velocidade do motor	$\pm (2\%+40) \text{ rpm}$

Tabela 2: Tolerâncias aplicadas para as condições de testes.

### 3.2.1 Definição do ponto de trabalho de amostras

A definição do ponto de trabalho de uma amostra é o primeiro passo do seu ciclo de vida dentro do plano de testes. Uma correta preparação do ponto de trabalho é essencial para uma boa condução dos testes a fim de se obter resultados mais apropriados.

Na grande maioria dos testes os módulos são montados em *scrolls* ao invés de serem conduzidos com a unidade HVAC completa. Tendo em vista que as unidades HVAC são de grande porte, o grande intuito disto é de facilitar a preparação e condução dos testes com as amostras em geral, uma vez que seria gasto um maior tempo para realizá-los e dificilmente seriam encontradas plataformas de testes (câmeras climáticas em sua grande maioria) com espaço suficiente para conduzi-los. A figura 4 abaixo trás um exemplo de uma unidade HVAC completa.

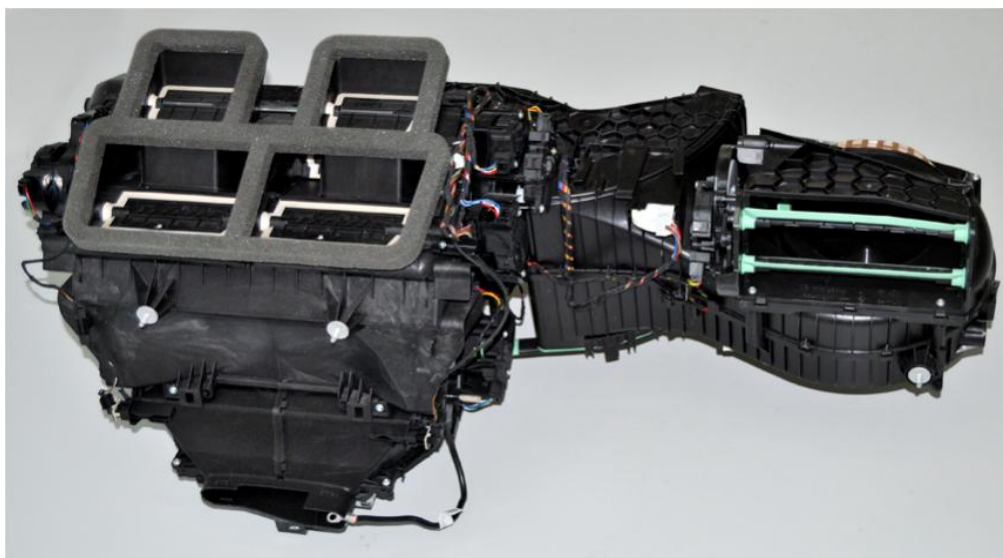


Figura 4: Unidade HVAC completa. Fonte [www.valeo.com](http://www.valeo.com). Acessado em 28/06/2104.

O nome *scroll* é atribuído ao conjunto módulo (motor elétrico + ventoinha) acoplado ao *blower unit* o qual é separado (cortado) da unidade HVAC completa. A figura 5 abaixo ilustra a *blower unit* (em verde) parte que é separada da unidade HVAC completa. A grande maioria dos testes é conduzida com os *scrolls* dispostos ou alterados para atingirem um determinado ponto de trabalho. Essa alteração é feita unicamente para que as condições reais de trabalho de uma unidade de HVAC completa dentro de um veículo possam ser reproduzidas durante os testes. Para atingir esta meta são cuidadosamente colocadas “folhas” de metal perfuradas na saída de ar do *scroll*. A folha de metal cobre a saída de ar no sentido de se ter um consumo de corrente próximo àquele que seria obtido caso o módulo estivesse montado em uma unidade HVAC completa e na condição de operação de ventilação/resfriamento de 100%. Os parâmetros de operação para essa condição são de:

$U = 13 \text{ V}$  (tensão);  $n = 3640 \text{ rpm}$  (rotação);  $I = 26.5 \text{ A}$  (corrente)

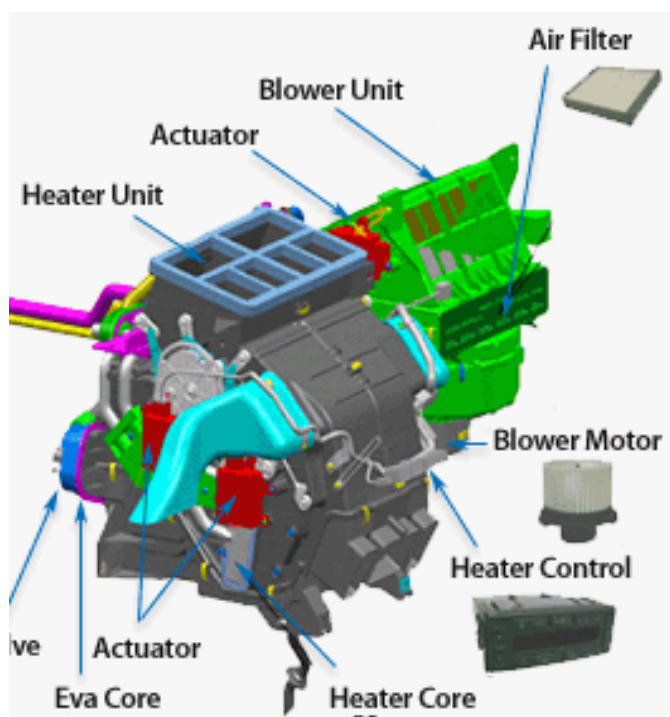


Figura 5: *Blower unit*, em verde. Fonte [www.uriman.com](http://www.uriman.com). Acessado em 28/06/2104.

A preparação do ponto de trabalho de amostras para testes era uma atividade cuja execução cabia ao estagiário. Vale destacar a importância de uma boa preparação do ponto de trabalho no sentido de se obter melhores resultados nos testes.

A atividade consistia basicamente em dispor a folha de metal na saída do *scroll* mantendo o consumo de corrente em constante monitoramento, para que uma vez estabelecido o ponto do trabalho a folha de metal pudesse ser fixada à saída do *scroll* através de abraçadeiras de plástico. Muitas vezes era preciso cobrir a folha de metal com uma fita térmica (resistente a temperaturas médias) para obter-se um ajuste mais preciso do consumo de corrente.

Os equipamentos necessários são:

- Fonte de alimentação.
- Multímetro.
- *Shunt* (necessária para ligar o multímetro em paralelo ao circuito).
- Controlador eletrônico LIN-BUSMASTER (desenvolvido pela Bosch).
- Folhas de metal perfuradas.
- Fita térmica.
- Abraçadeiras de plástico (com resistência térmica).

O módulo disposto no *scroll* é conectado à fonte de alimentação, sendo que o multímetro é inserido paralelamente ao circuito para medir a corrente de consumo do motor. O controlador eletrônico também é conectado à fonte e diretamente ao motor por meio de um cabo para informação digital.

### 3.3 PRÉ E PÓS-TESTES

Assim como da definição do ponto de trabalho, os testes de parâmetro e de desempenho são inerentes ao ciclo de vida de todas as amostras, ou seja, as amostras devem passar por estes testes antes de seguirem para os demais subsequentes testes.

#### 3.3.1 Testes de parâmetros

Os principais objetivos de se realizar pré e pós-testes de parâmetros são de se avaliar as seguintes propriedades:

- Habilidade de fornecer uma determinada vazão de ar em condições específicas tais como pressão, velocidade e consumo de corrente.
- Habilidade de armazenar informações na memória.
- Conteúdo do contador de memória de falha.
- Desempenho das funcionalidades dos sensores embutidos no ECU (controlador eletrônico do motor), tais como: monitoramento de pré-carga (tensão), velocidade do motor, corrente fornecida e temperatura dos componentes eletrônicos.
- Desempenho das funcionalidades dos atuadores do ECU (pré-carga, troca de relai, saída de tensão da fase do motor).
- Desempenho das fases de saída do ECU.
- Habilidade do ECU de direcionar o motor a uma velocidade pré-definida, e habilidade do motor de se manter nessa velocidade.
- Consumo de corrente do motor em condições especificadas.
- Corrente quiescente.

Todos os testes são executados em amostras montadas em *scrolls* e consistem em medir/executar o teste em três temperaturas TRT, T<sub>max</sub>, T<sub>min</sub> (23°C, 85°C e -40°C) e três níveis de voltagens UB<sub>min</sub>, UB, UB<sub>max</sub> (9 V, 13 V e 16 V) o que representa um total de 9 medições para cada amostra. Para tanto os testes são conduzidos dentro de uma câmara climática para ser atingido estes níveis de temperatura - exceto para a temperatura ambiente (TRT) que poderia ser executado ao ar livre.

Além da utilização de uma câmara climática os equipamentos necessários consistem

O procedimento consiste em:

- Primeiramente colocar as amostras dentro da câmara climática.
- Conectar os cabos à fonte de alimentação.

- É necessário o uso de um cartão especial de comunicação entre o motor e o computador que também é ligado à fonte de alimentação.

Na sequência os seguintes passos são repetidos para cada temperatura TRT, T<sub>max</sub>, T<sub>min</sub>

- Estabelecer a temperatura da câmara climática e aguardar até que a temperatura se estabilize
- Estabelecer a fonte de tensão para a tensão mínima.
- Repetir os passos anteriores para cada amostra em todos os níveis de tensão (9V, 13V e 16V).
- Rodar o programa para execução do teste com as definições apropriadas.
- Medir a corrente quiescente.
- Salvar os resultados.

A interface com o software de controle dos testes é de fácil compreensão. Os dados que merecem atenção quanto à sua entrada no software dizem respeito ao padrão/critério de avaliação do teste bem como a direção de rotação do motor. Os dados de entrada de tensão e temperatura devem ir de encontro àqueles que foram utilizados durante os testes.

O resultado é entregue na forma de um documento em pdf. Nele se encontram as tolerâncias e critérios de aceitação para cada parâmetro avaliado, bem como aquele referente ao valor obtido deste. Se o campo for preenchido em verde, o critério foi avaliado positivamente caso contrário o campo será preenchido com a cor vermelha.

### 3.3.2 Teste de desempenho

O teste subsequente ao teste de parâmetro é o teste de desempenho básico. Este teste é executado com o módulo acoplado à uma unidade HVAC completa, e seu maior objetivo é de avaliar o consumo de corrente para uma determinada rotação/velocidade. Este teste relaciona-se de certa forma com a capacidade que o módulo (motor elétrico + ventoinha) tem de fornecer uma determinada vazão de ar para uma determinada velocidade especificada. Assim sendo é também denominado de teste de *performance* da ventoinha.

O teste é conduzido somente em um nível de tensão (13 V) e à temperatura ambiente TRT (23°C). Os valores de consumo de corrente são lidos com o auxílio de um multímetro para 3 rotações/velocidades diferentes: máxima de trabalho (3640 rpm), 3000 rpm e 1500 rpm.

O procedimento consiste em:

- Acoplar as amostras à unidade HVAC.
- Conectar os cabos à fonte de alimentação.
- Conectar o multímetro em paralelo no circuito.
- Conectar o controlador ao motor e à fonte de alimentação.
- Aguardar até que a temperatura de trabalho do ECU se estabeleça para se efetuar as medições de correntes para as rotações especificadas.

### 3.4 TESTES DE RESISTÊNCIA

Compõem os testes principais para avaliação do desempenho do motor quanto aos quesitos de resistência e durabilidade. Destes merecem destaque o teste de resistência hidráulica dinâmica e o teste de resistência a altas temperaturas os quais o estagiário obteve um contato mais direto durante a validação.

#### 3.4.1 Teste dinâmico de resistência hidráulica

Como o próprio nome já menciona é um teste que tem por finalidade avaliar a resistência e durabilidade do módulo sob condições adversas. O teste é conduzido de acordo com especificações estabelecidas a priori com o cliente.

Os módulos são acoplados em *scrolls* com o ponto de trabalho previamente ajustado. A posição do motor é a mesma da posição de funcionamento dentro de uma unidade HVAC dentro de um veículo.

Os equipamentos a serem utilizados são:



- Câmera climática.
- Equipamento de medida de tensão e corrente.
- Microfone para gravar o ruído a baixas temperaturas.
- Controlador eletrônico LIN-BUSMASTER.
- Dispositivo para prover comunicação via LIN.

Os parâmetros a serem monitorados e gravados e respectivos equipamentos de medição consistem em:

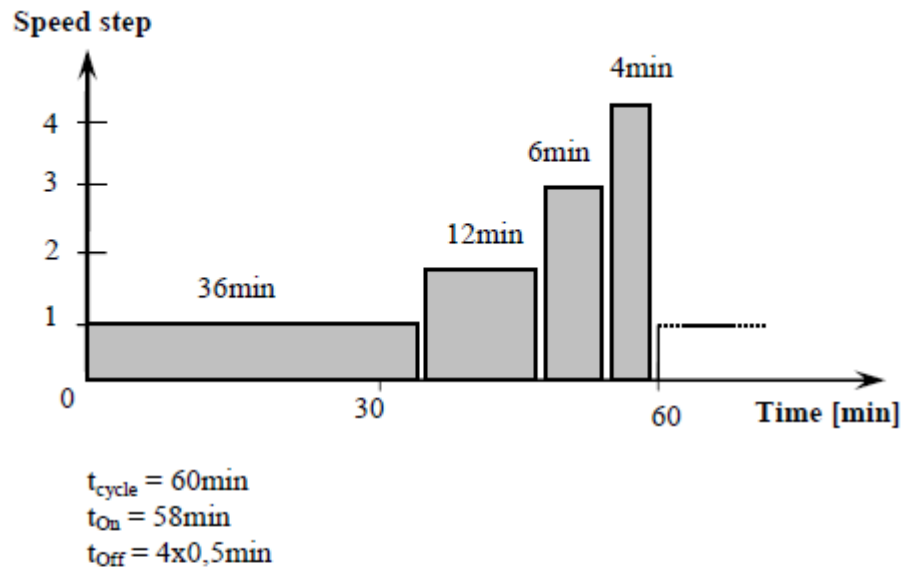
- Temperatura da câmara climática, através do seu sensor de temperatura.
- Tensão de operação, por meio de um dispositivo de medição calibrado.
- Consumo de corrente, por meio de um dispositivo de medição calibrado.
- Velocidade de rotação, reportado via comunicação LIN.
- Temperatura de componentes eletrônicos, reportado via comunicação LIN.
- Tensão de operação, consumo de corrente e mensagens de falha reportados via comunicação LIN.

A duração total do teste corresponde a 2000 horas. Assim sendo o teste é conduzindo repetindo o perfil conforme mostra a tabela 3 abaixo.

Test temperature	Duration
RT	400h
-40°C ± 2K	120h
+40°C ± 2K	1300h
+75°C ± 2K	160h
+80°C ± 2K	20h

Tabela 3: Relação de temperatura e tempo para cada temperatura de teste. Fonte Bosch.

O ciclo de operação elétrico corresponde à uma hora, e o perfil de velocidade do módulo é dinâmico, ou seja, varia conforme o tempo, conforme ilustra a figura 6 abaixo.



Speed step	Motor speed [rpm]
0	0
1	800
2	1860
3	2680
4	3600

Figura 6: Perfil dinâmico de velocidades do teste dinâmica de resistência hidráulica e velocidade de rotação para cada *step*. Fonte Bosch.

O teste deve ser interrompido para que o *chirp noise* (ruído a baixa temperatura) possa ser gravado em uma sequência de tempo pré-estabelecida conforme a tabela abaixo.

Cycle @ $T_{\text{Amb}}$	Chirp noise measuring after hour
400h RT	250
120h -40°C	520
1300h +40°C	750 / 1000 / 1250 / 1500 / 1820
160h +75°C	--
20h +80°C	2000

Tabela 4: Sequência de tempo para medição de *chirp noise*. Fonte Bosch.

Para cada gravação do *chirp noise* o perfil de temperatura ilustrado pela figura W se repete abaixo. As amostras amostras devem ser montadas em uma câmara climática, com o

microfone já previamente instalado. O *chirp noise* é gravado primeiramente a uma temperatura de  $-30^{\circ}\text{C}$  e posteriormente a  $-40^{\circ}\text{C}$ . Entre uma gravação e outra o motor deve rodar a uma velocidade de 1860 rpm durante uma hora. O procedimento de gravação do *chirp noise* consiste em se estabelecer uma rampa de velocidade com o módulo saindo de 0 rpm até 3600 rpm durante 2 min e alimentado com uma tensão de 13 V. Para tanto é utilizado um outro software de comunicação via LIN, denominada *CAN-Analyser*. O software é utilizado no sentido de se obter uma rampa de velocidade de 0 a 3600 rpm com incrementos de velocidade controlados, facilitando a gravação e o entendimento do *chirp noise*. A interface do software é de simples compreensão.

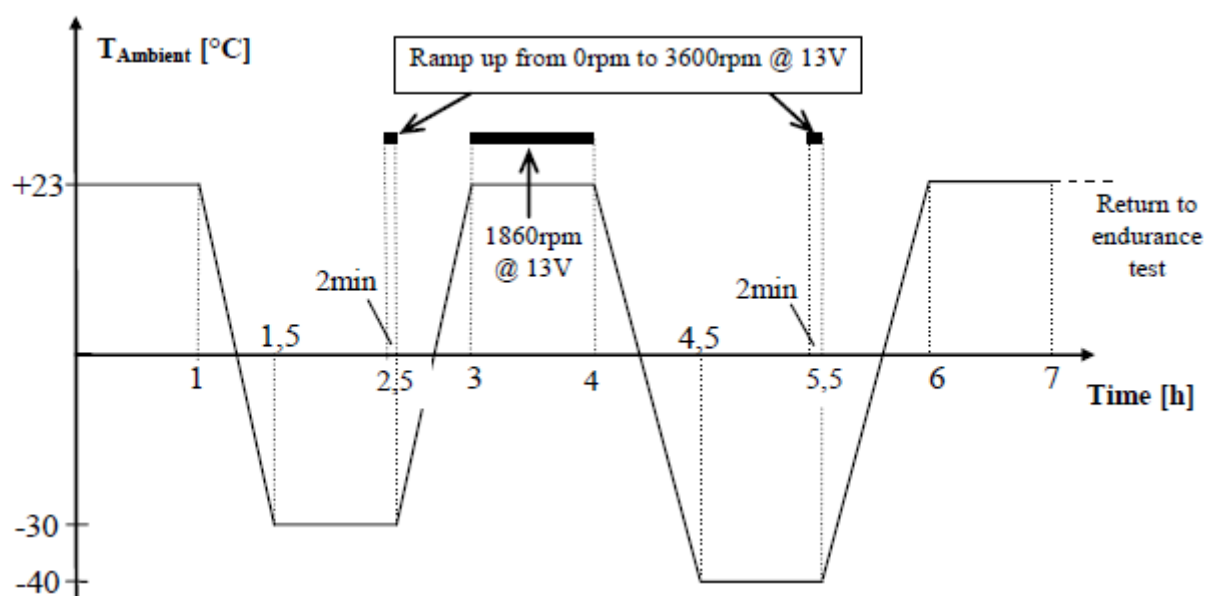


Figura 7: Perfil de temperatura para medição de *chirp noise*. Fonte Bosch.

Após a gravação de cada *chirp noise* as amostras devem ser removidas da câmara climática para o jateamento de 500 ml de água, durante aproximadamente 10 min, diretamente na entrada de ar do *scroll*, enquanto que o módulo gira a uma velocidade de 1860 rpm.

Antes de voltarem para o teste de resistência as amostras devem voltar à câmara climática para serem “secadas” a uma temperatura de  $40^{\circ}\text{C}$  durante 2 horas a uma velocidade de 1860 rpm.

O procedimento de execução consiste em:

- Fazer a inspeção visual das amostras, no sentido de certificar-se da não existência de danos mecânicos e avarias.
- Colocar as amostras na câmara climática.

- Executar o ciclo de operação elétrico, como descrito anteriormente.
- Estabelecer a temperatura da câmara para Trt (23°C) e aguardar durante uma hora.
- Remover as amostras da câmara e novamente fazer inspeção visual.
- Tirar fotos das amostras durante a análise.
- Executar o teste de parâmetro após a realização completa do teste de acordo com o plano de validação.

O conteúdo do relatório de testes deve abranger:

- Parecer sobre o estado de funcionamento das amostras, baseado na avaliação dos resultados do monitoramento de parâmetros e o resultado do pré e pós-teste de parâmetro.
- Diagrama de temperatura da câmara climática, de tensão de alimentação, de consumo de corrente, de rotação do motor (reportado via comunicação LIN), de temperatura dos componentes eletrônicos (reportado via comunicação LIN) para todas as amostras.

### **3.4.2 Teste de resistência a altas temperaturas**

Como o próprio nome já menciona é um teste que tem por finalidade avaliar a resistência e durabilidade do módulo (componentes mecânicos em geral e ventoinha) sob altas temperaturas de operação. O teste é conduzido de acordo com especificações estabelecidas a priori com o cliente.

Os módulos são acoplados em *scrolls* com o ponto de trabalho previamente ajustado. A posição do motor é a mesma da posição de funcionamento dentro de uma unidade HVAC dentro de um veículo.

Os equipamentos utilizados compreendem:

- Câmara climática.
- Equipamento de medição de voltagem e consumo de corrente.
- Controlador eletrônico LIN-BUSMASTER.
- Dispositivo para prover comunicação via LIN.

Os parâmetros a serem monitorados e gravados e respectivos equipamentos de medição consistem em:

- Temperatura da câmara climática, através do seu sensor de temperatura.
- Tensão de operação, por meio de um dispositivo de medição calibrado.
- Consumo de corrente, por meio de um dispositivo de medição calibrado.
- Velocidade de rotação, reportado via comunicação LIN.
- Temperatura de componentes eletrônicos, reportado via comunicação LIN.
- Tensão de operação, consumo de corrente e mensagens de falha reportados via comunicação LIN.

O teste é conduzindo repetindo o perfil de temperatura conforme mostra a tabela Z abaixo.

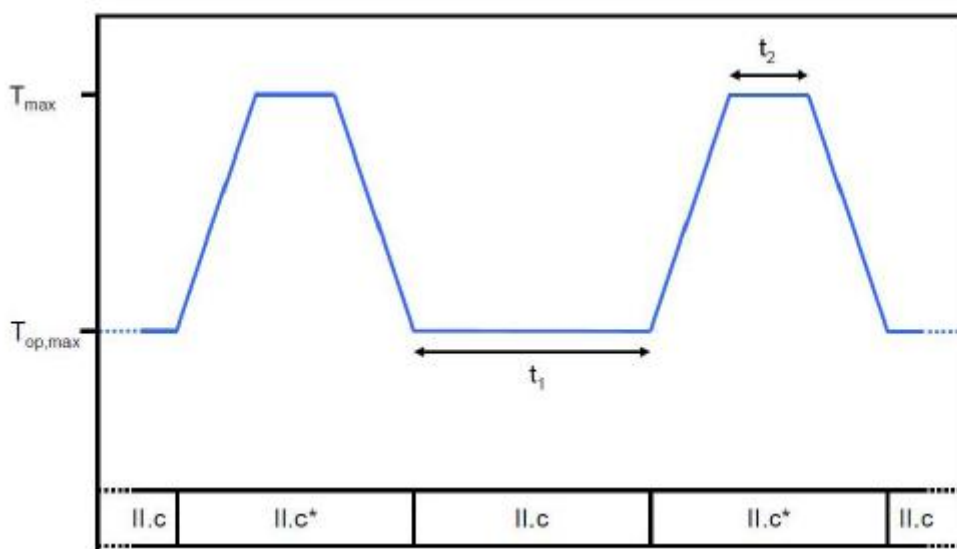


Figura 8: Perfil de temperatura do teste de resistência a altas temperaturas. Fonte Bosch.

O modo de operação **II.c** descrito na figura diz respeito a uma velocidade máxima de 3640 rpm.

As temperaturas ilustradas no gráfico correspondem à:  $T_{op,max} = 60^{\circ}\text{C}$  e  $T_{max} = 80^{\circ}\text{C}$ .

A duração total do teste corresponde a 1800 horas ( $37,5 \cdot (t_1 + t_2)$ ) sendo que  $t_1=37,5h$  e  $t_2=10,5h$ . O tempo de transição entre  $T_{op,Max}$  e  $T_{max}$  e vice e versa é de 5 min.

O procedimento de execução consiste em:

- Fazer a inspeção visual das amostras, no sentido de certificar-se da não existência de danos mecânicos e avarias.
- Colocar as amostras na câmara climática.
- Estabelecer a temperatura da câmara para  $T_{op,Max}$  durante uma hora sem que as amostras estejam funcionando (módulos operando).
- Conduzir o teste de acordo com o perfil de temperatura descrito acima.
- Depois de finalizado o teste, estabelecer a temperatura da câmara para  $T_{RT}$  e aguardar uma hora.
- Remover as amostras da câmara climáticas e fazer a inspeção visual.
- Executar o teste de parâmetro após a realização completa do teste de acordo com o plano de validação.

O conteúdo do relatório de testes deve abranger:

- Parecer sobre o estado de funcionamento das amostras, baseado na avaliação dos resultados do monitoramento de parâmetros e o resultado do pré e pós-teste de parâmetro.
- Diagrama de temperatura da câmara climática, de tensão de alimentação, de consumo de corrente, de rotação do motor (reportado via comunicação LIN), de temperatura dos componentes eletrônicos (reportado via comunicação LIN) para todas as amostras.
- Fotos da configuração do teste.
- Resultados da inspeção visual.

### **3.4.3 Análise do mecanismo de falha durante o teste de resistência a altas temperaturas**

Antes e depois de cada teste as amostras devem ser inspecionadas no sentido de se encontrar danos e deformações e até contaminações feitas pelas pessoas que estão executando os testes. A inspeção geralmente é feita a priori a olho nú. O que for encontrado deve ser



documentado de uma maneira cabível, ou seja, com fotos e/ou anotações escritas e devem estar contidas no relatório do teste em questão.

Assim sendo, quando da ocasião de um teste não passar nos critérios de aceitação ou quando as amostras falharem de uma maneira antecipada, cabe à equipe de engenharia reunir evidências claras e documentadas sobre o que pode ou não ter acontecido durante a execução do teste e causado a falha das respectivas amostras.

Abaixo será descrito os principais resultados encontrados pelo estagiário durante a análise do mecanismo de falha das seis amostras (todas) que foram submetidas ao teste de resistência a altas temperaturas.

O relatório é dividido em 4 sessões.

- *Issues* – Nesta etapa é descrita a situação, a motivação e as tarefas a respeito da análise em questão.
- *Results* – Nesta etapa são descritos os principais resultados encontrados durante a análise minuciosa de cada amostra. Posteriormente é descrito em outro capítulo (também nomeado de *results*) a descrição completa da desmontagem de todas as amostras, respectivas fotos e todas as informações reunidas a respeito dos mecanismos de falha. São explicadas de uma maneira geral as condições dos testes a que as amostras estavam submetidas, bem como o instante de falha destas.
- *Conclusions and consequences* – São expostas as principais evidências encontradas sobre a causa da falha das amostras, bem como são expostas medidas que podem ser tomadas futuramente no sentido de se evitar que as mesmas falhas aconteçam e/ou caminhos capazes de indicar alguma solução para o problema.

A abordagem para reunir informações consistia basicamente em desmontar as amostras passo a passo, tirando fotos e anotando as principais informações/evidências que pudessem levar a estabelecer uma linha de raciocínio a respeito dos possíveis motivos que levaram à falha das amostras.

As principais evidências encontradas pelo estagiário foram de que primeiramente o design da ventoinha não estava em conformidade com o uso em altas temperaturas. O anel superior que une as lamelas colidiu com a “língua” do *scroll* e quebrou. Além disso a alta temperatura promoveu um desgaste excessivo do óleo de lubrificação dos mancais, os quais fragmentaram e armazenaram-se no contato entre o eixo e as buchas, dificultando assim o seu giro. Assim sendo as conclusões encontradas foram de que os anéis superiores da ventoinha

deveriam ser reforçados, além de que o óleo utilizado para a lubrificação dos mancais deveria ser checado no sentido de se avaliar a sua estabilidade a altas temperaturas.

As figuras a seguir ilustram as primeiras páginas do relatório final de análise do mecanismo de falha do teste de resistência à alta temperatura desenvolvido pelo estagiário.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Neste relatório foram apresentadas algumas das mais importantes atividades que o estagiário desenvolveu na área de desenvolvimento de plataformas HVAC de engenharia.

Quando o estagiário começou as suas atividades na empresa tinha pouco conhecimento prático sobre a área de testes, instrumentação e desenvolvimentos de protótipos. Nesse sentido a empresa possibilitou um ótimo local de trabalho e dedicou tempo no treinamento do estagiário para capacitar o mesmo para realizar suas atividades.

A possibilidade de obter um conhecimento mais prático a respeito da execução, planejamento e instrumentação de testes para validação de produtos sem dúvida contribuiu fortemente para aumentar o “espírito do engenheiro” no estagiário. O período de estágio em si trouxe um enorme aprendizado e experiência profissional, não somente através da responsabilidade dos trabalhos realizados pelo estagiário, como também de todo o desafio cultural e de comunicação estabelecido ao longo do tempo de estágio, pelo fato deste ter sido realizado em outro país.

Tudo isso só foi possível pela estrutura muito bem desenvolvida, pela prontidão a responder dúvidas pelos professores, colegas de trabalho da Robert Bosch GmbH, colaboradores de outras áreas de desenvolvimento e por todos aqueles que estiveram, de alguma maneira, envolvidos com as atividades desenvolvidas durante o período de estágio.

## ANEXOS

### ANEXO A – Análise do mecanismo de falha do teste de Resistência a Altas Temperaturas

Electrical Drives



From  
ED-TS/ENP2

Our Reference  
Elvis Martini  
Igor Machado

Tel  
+49(7223)82-3530

Böhl  
13 May 2014  
Report Number  
F15PV.HTE01

R&D Report: **Final Report**

Security Class: **Internal**

Export control relevant:

**No**

Title: **Analysis of the failure mechanism during the high temperature endurance (HTE)**

#### 1. Issues (situation, motivation and tasks)

Six ECo2-sw blowers (4 CCW and 2 CW) have failed during the high temperature endurance (HTE) of the released validation.

#### 2. Results

- Five of six samples have no axial endplay and are rough-running, some of them very stiff. The sample R10 is lightly turning and has a big axial endplay (0,623mm).
- No collision marks were noticed on the magnets or on the windings.
- Noticeable in all samples, the oil was flowing out of the bearings more at a specific direction. In addition, there were oil particles (overheated fragments) in the bearings/shaft contact and also in the washer/shaft (bearing sit side) contact, also caused by the overheating of the bearing system.
- The coalescing of the shaft and sinter-bearings through particles might come from the pyrolyzed oil, friction washer and eroded sinter.
- The surface of the friction washer to the shaft has overheated as a consequence of dried turning of the shaft.
- The abrasion of the shaft/bearing is non-homogeneous.
- The stop discs showed some oxidation spots on the top surface.
- An electrical rupture on the PIN-contact from the ECU and the winding caused the motor failure in the sample R10.

#### 3. Conclusions and Consequences

According to the test condition, the blowers were overheated during the endurance.

At the start, with the F15 wheel, the mechanism of the blowers might have been worn, because the wheel design was not conformed to the high temperature. During the test, the wheel balance has permanently changed. At least, the wheel ring collided with the tongue of the scroll and broke.

At the restart, with the PL4 wheel, the reused blower could not work longer as a consequence of dried turning (insufficient oil lubrication). In addition, the flowing-out oil and its fragmented particles, as well as the washer material particles, blocked the bearing/shaft gap and hindered its turning.

As a result, the PL4 wheel could not withstand the strong test condition and broke after approximately 300h running.

The wheel design should be modified in a way that the upper ring will be strengthened. The oil lubrication should be checked by reason of its permanence against heating up by high

From  
ED-TS/ENP2

Our Reference  
Elvis Martini  
Igor Machado

Tel  
+49(7223)82-3530

BQH  
13 May 2014  
Report Number  
F15PV.HTE01

#### R&D Report: Final Report

Security Class: Internal

Export control relevant:

No

Title: Analysis of the failure mechanism during the high temperature endurance (HTE)

temperature testing as, in this case, it should have been used an oil with higher temperature stability.

#### 4. Results

##### 4.1 Endurance profile (test conditions and set-up)

The modules are mounted in scrolls and set to the following working point:

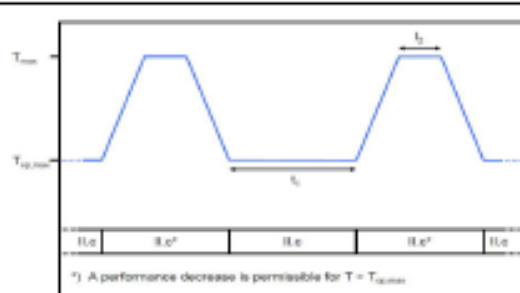
$U_{\text{bat}} = 13,0 \text{ V}$ ; Motor speed = 3640 rpm;  $I_{\text{bat}} = 26,5 \text{ A}$

Test position: horizontal motor shaft

The samples were submitted to the following test conditions:

Operating mode	<i>H.e</i>
Test temperature	$T_{\text{op, min}} = 60^\circ\text{C}$ $T_{\text{max}} = 80^\circ\text{C}$ (derating allowed, but not switched off or go in sleep mode)
Test duration	1800h net ( $37,5 \cdot (t_1 + t_2)$ with $t_1=37,5\text{h}$ and $t_2=10,5\text{h}$ )
Transition time	From $T_{\text{op, max}}$ to $T_{\text{min}}$ and vice versa: 5 min

The test was carried out according to the temperature profile as shown.



From  
ED-TS/ENP2

Our Reference  
Elvis Martini  
Igor Machado

Tel  
+49(7223)82-3530

Bosch  
13 May 2014  
Report Number  
F15PV.HTE01

#### R&D Report: Final Report

Security Class: Internal

Export control relevant: No

Title: Analysis of the failure mechanism during the high temperature endurance (HTE)

#### 4.2 Instant of the failure

The table below shows how long the duration with different fan wheels reached.

Blower	1 <sup>st</sup> start F15 wheel	2 <sup>nd</sup> start PL4 wheel	Duration
L18	350 h	307 h	657 h
L19	350 h	307 h	657 h
L20	350 h	282 h	632 h
L21	350 h	307 h	657 h
R10	—	300 h	300 h
R11	—	307 h	307 h

After the F15 wheel breaking, the motor was rebuilt with the PL4 fan wheel. The wheel was fixed to the shaft with an external Aluminium-ring. After approximately 300h the PL4 wheel of the blower R10 was broken and a little later some motors started turning stiff or not turning at all. The endurance was stopped.

Note: The PL4 wheel has an open design, while the F15 has a closed one.

#### 4.3 Analysis of each sample

The pictures below are going to show step by step as what have been observed during the disassembling of each motor. More emphasis will be given to the issues stated in the chapter 2. For all cases, E is referred to the ECU-side, and W is referred to the fan wheel-side.

##### 4.3.1 Sample L18

- Although the balancing clips showed no signs of displacement and there were also no indication of warps and collisions on the fan wheel, the motor could hardly be manually turned, showing a significant loss of axial end-play. The sample showed a radial play in the rotor.

## Electrical Drives



From  
ED-TS/ENP2

Our Reference  
Elvis Martini  
Igor Machado

Tel  
+49(7223)82-3530

Date  
13 May 2014  
Report Number  
F15PV.HTE01

R&D Report: **Final Report**

Security Class: **Internal**

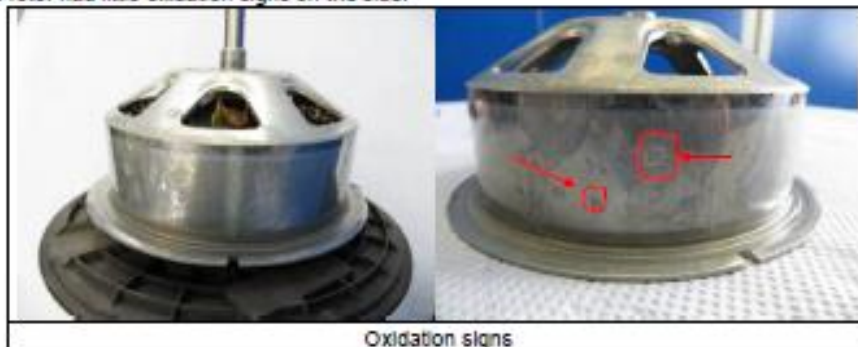
Export control relevant:

**No**

Title: **Analysis of the failure mechanism during the high temperature endurance (HTE)**



- The rotor had little oxidation signs on the side.





## REFERÊNCIAS

Electrical Drives. Disponível em <<http://www.bosch.de>> Acessado em 22/06/2014.

FDA Process Validation Guideline 2011 . Disponível em < <http://www.gmp-verlag.de/media/files/pdf/Process-Validation-2011-02-16.pdf>> Acessado em 23/06/2014.

Guideline on Process Validation for Finished Products. Disponível em <[http://www.ema.europa.eu/docs/en\\_GB/document\\_library/Scientific\\_guideline/2014/02/WC500162136.pdf](http://www.ema.europa.eu/docs/en_GB/document_library/Scientific_guideline/2014/02/WC500162136.pdf)> Acessado em 23/06/2014.

Process Validation: General Principles and Practice. Disponível em < <http://www.fda.gov/downloads/Drugs/Guidances/UCM070336.pdf>> Acessado em 23/06/2014.