UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
PROJETO DE GRADUAÇÃO

PEDRO XAVIER LOIOLA JUNIOR
VINÍCIUS VIEIRA PEREIRA FILHO

ENGENHARIA BÁSICA DO LABORATÓRIO DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA LGT-UFES

VITÓRIA
2017

PEDRO XAVIER LOIOLA JUNIOR
VINÍCIUS VIEIRA PEREIRA FILHO

ENGENHARIA BÁSICA DO LABORATÓRIO DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA LGT-UFES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Mecânico.

Orientador: João Luiz Marcon Donatelli.

VITÓRIA
2017

PEDRO XAVIER LOIOLA JUNIOR
VINÍCIUS VIEIRA PEREIRA FILHO

ENGENHARIA BÁSICA DO LABORATÓRIO DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA LGT-UFES

Projeto de Graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Mecânico.

Aprovado em __/__/2017

COMISSÃO EXAMINADORA

_____
Prof. Dr. José Joaquim Conceição Soares Santos
Universidade Federal do Espírito Santo – UFES

_____
Prof. Dr. Elias Antônio Dalvi
Universidade Federal do Espírito Santo – UFES

_____
Profa. Dra. Carla César Martins Cunha
Universidade Federal do Espírito Santo – UFES

AGRADECIMENTOS

Agradecemos, primeiramente, a Deus, por ter dado saúde e perseverança para superar todas as dificuldades e conseguir chegar onde estamos. A esta universidade, Universidade Federal do Espírito Santo, e todo seu corpo docente, além da direção e administração, que realizaram um excelente trabalho ao longo de todo o curso. Ao nosso orientador, Professor Doutor João Luiz Marcon Donatelli, por toda a atenção, dedicação, e esforço para que pudéssemos ter confiança e segurança na realização deste projeto. Por último, mas não menos importante, aos nossos amigos e familiares, por estarem sempre presentes e colaborarem para a apresentação deste trabalho.

RESUMO

Usinas termelétricas a motores de combustão interna, principalmente a óleo combustível, foram concebidas como usinas de despacho. Entretanto, com a escassez de chuvas e atrasos de obras no sistema elétrico brasileiro, muitas dessas usinas vêm sendo constantemente despachadas. Assim, entender melhor os parâmetros que afetam seu desempenho se torna ainda mais importante. Portanto, o objetivo básico deste trabalho é a concepção básica de um laboratório com características do ambiente de uma usina termelétrica equipada com motor de combustão interna a óleo, que serviria tanto para estudos e pesquisas quanto para treinamentos. Numa concepção inicial um motor de combustão interna a óleo combustível, com características específicas desejadas, é devidamente especificado. Uma célula teste é então dimensionada para alojar o referido motor com seu gerador de energia elétrica. Uma unidade de condicionamento do ar de combustão é prevista para investigar a influência deste no desempenho do motor. Também se prevê uma adequada instrumentação, com aquisição automática de dados, para um monitoramento adequado dos parâmetros do motor, em uma sala de controle e análise de dados, na qual computadores com softwares apropriados devem ser disponibilizados para esses estudos e pesquisas. Vários outros subsistemas, como sala elétrica, tanques de combustível, unidades de condicionamento de combustível, radiadores a ar remotos, dentre outros, também são abordados para permitir o funcionamento do motogerador. Além disso, nesta primeira concepção, um sistema de recuperação de calor dos gases de combustão utilizando a tecnologia de ciclo Rankine orgânico é também previsto. O tamanho e flexibilidade das instalações do laboratório são idealizados já prevendo futuras expansões, incluindo a instalação de sistemas de recuperação de calor, como recuperadoras de calor a ciclo Rankine orgânico, *chiller* por absorção, caldeira de recuperação de calor, dentre outros.

PALAVRAS-CHAVE: Geração Termelétrica, Motores de Combustão Interna, Laboratório, Engenharia Básica.

ABSTRACT

Thermoelectric plants operating with internal combustion engines, mainly the ones supplied by fuel oil, were designed as secondary plants. However, due to the rainfall shortage and delays in the Brazilian electrical system refurbishment work, many of these plants have being used constantly. Thus, the need for a better understanding of the parameters that affect their performance becomes even more important. Therefore, the objective of this work is a basic design of a laboratory with characteristics of the environment of a thermoelectric plant equipped with internal combustion engine oil, intended for studies and research as for training. At an initial concept of an internal combustion engine with fuel oil, with specific characteristics desired, is specified. A test cell is design to locate the engine with its electric generator. A combustion air conditioning unit is predicted to investigate its influence on engine performance. Adequate instrumentation, with automatic data acquisition, is also foreseen for monitoring the motor parameters in a control and data analysis room bearing computers with appropriate software may be available for such studies and research. Several other subsystems, such as electric room, fuel tanks, fuel conditioning units, remote air radiators, among others, are also considered to allow the operation of the motor generator. Furthermore, in this first design, an exhaust gas heat recovery system using organic Rankine cycle technology is also recommended. The size and flexibility of the laboratory facilities are idealized foreseeing future expansions, including the installation of heat recovery systems such as organic Rankine cycle heat recovery, absorption chiller, heat recovery boiler, among others.

KEY-WORDS: Thermoeletric Generation, Internal Combustion Engines, Laboratory, Basic Engineering.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 10
1.1. Motivação 10
1.2. Objetivo 10
1.3. Estrutura 11
2. O LABORATÓRIO 12
2.1. Localização 12
2.2. Descrição do Laboratório 13
3. MOTOGERADOR 18
3.1. Critério da menor potência 19
3.2. Critério do tipo de combustível 19
3.3. Critério do radiador a ar remoto 20
3.4. Critério da turboalimentação de ar de combustão 20
3.5. Escolha do motogerador 20
3.6. Gerador 22
4. UNIDADE DE CONDICIONAMENTO DO AR DE COMBUSTÃO 24
5. SISTEMA DE ÓLEO COMBUSTÍVEL 28
5.1. Armazenamento de combustível 30
5.2. Unidade condicionadora de combustível 31
6. SISTEMA DE AR COMPRIMIDO 33
7. SISTEMA DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO 34
7.1. Circuito de alta temperatura (HT) 34
7.2. Circuito de baixa temperatura (LT) 34
7.3. Radiador remote resfriado a ar 35
8. SISTEMA DE EXAUSTÃO DE GASES 37
8.1. Recuperador de calor operando com ciclo Rankine orgânico, ORC 37

8.2. Chaminé 41
9. A CÉLULA DE TESTE 42
9.1. Ventilação da célula teste 42
9.2. Vibração e ruído 43
9.3. Sistema de combate a incêndios 44
9.4. Sistema de vídeo monitoramento 47
10. INSTRUMENTAÇÃO E AQUISIÇÃO DE DADOS 49
11. SALA ELÉTRICA 51
12. COMENTÁRIOS FINAIS 52
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA 54
ANEXO 1 – Dados técnicos motores Wärtsilä
ANEXO 2 - Dados técnicos do modelo AirCon da FEV
ANEXO 3 - Dados técnicos da recuperadora de calor WB1 Power da Tri-o-gen

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Infográfico da participação dos tipos de geração elétrica em operação e para implantação no sistema elétrico nacional. 10
Figura 2 - Área prevista para implantação do LGT-UFES. 13
Figura 3 - Posicionamento do laboratório 14
Figura 4 - Primeiro andar da área frontal do laboratório 15
Figura 5 - Vista 01 do acesso ao galpão pela recepção 15
Figura 6 - Segundo andar da área frontal do laboratório 16
Figura 7 - Layout do Galpão 16
Figura 8 - Imagem ilustrativa do motor Wärtsilä A20-685W4L20. 21
Figura 9 - Principais dimensões da linha de motogeradores Wärtsilä Auxpac 20. 21
Figura 10 - Módulo ilustrativo de uma unidade condicionadora de ar. 24
Figura 11 - Unidade condicionadora de ar de admissão AirCon. 26
Figura 12 - Imagem ilustrativa de tanque suspenso horizontal. 30
Figura 13 - Radiador a ar remoto Fincoil Alfa Blue Junior DG 35
Figura 14 - Imagem ilustrativa do modelo da recuperadora de calor escolhida, Triogen WB1 100 Power. 40
Figura 15 - Tela acústica em uma célula teste. 44
Figura 16 - Sensor ultravioleta para detecção de chama. 45
Figura 17 - Sensores infravermelho para detecção de chama. 46
Figura 18 - Tanque de Supressor de chamas F 200. 47
Figura 19 - Câmeras instaladas dentro da célula teste. 48
Figura 20 - Imagens de vídeo monitoramento da célula teste na sala de aquisição de dados 48
Figura 21 - Grupo de sensores localizados acima do motor no Instituto Tecnológico de Aeronáutica. 50
Figura 22 - Módulo de controle e aquisição de dados AVL. 50

ÍNDICE DE TABELAS

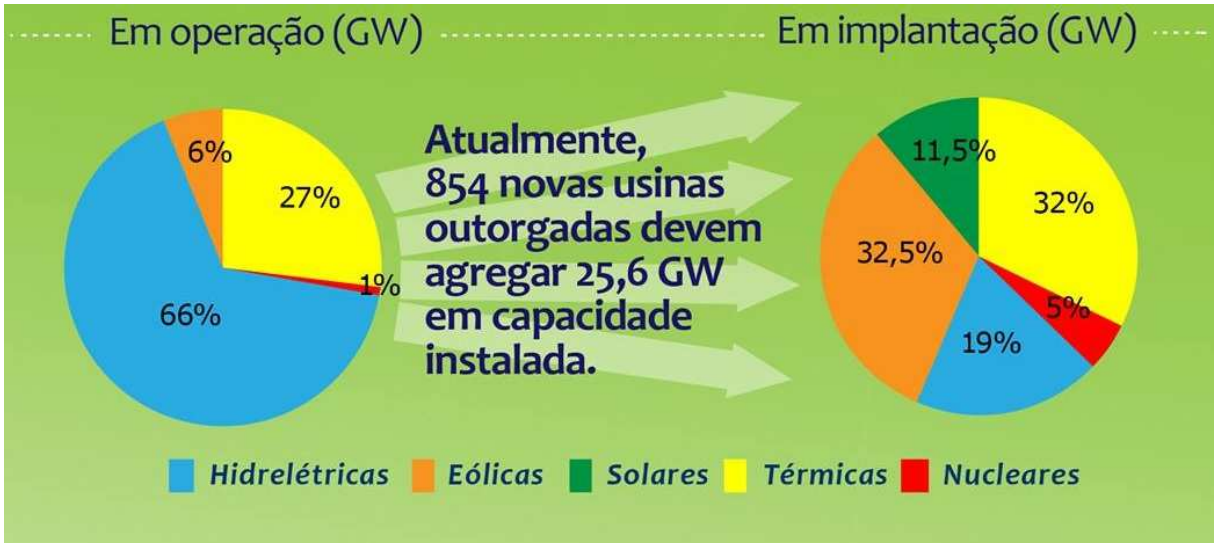
Tabela 1 - Modelos de motogeradores analisados no processo de escolha deste equipamento.....19
Tabela 2 - Principais dimensões do motor selecionado, A20-685W4L20. 21
Tabela 3 - Principais dados técnicos do motor Wärtislä Auxpac A20-685W4L20. ..22
Tabela 4 - Dados do gerador acoplado ao motor Wätsilä Auxpac A20-685W4L20.23
Tabela 5 - Lista de unidades condicionadoras de ar analisadas.....26
Tabela 6 - Principais características de óleos pesados regulamentados pela ANP para plantas de geração elétrica. 28
Tabela 7 - Dados do motor para balanço de energia. 37
Tabela 8 - Fabricantes de recuperadoras de calor por ORC.....39
Tabela 9 - Dimensões e dados técnicos de recuperadora de calor WB-1 100 Power. 39
Tabela 10 - Custo em R$/kW instalado em usinas termelétricas. 52

1. INTRODUÇÃO

1.1. Motivação

Usinas termelétricas a motores de combustão interna, principalmente a óleo combustível, foram concebidas como usinas de disponibilidade. Entretanto, com a escassez de chuvas e atrasos de obras no sistema elétrico brasileiro, muitas dessas usinas vêm sendo constantemente utilizadas. A motivação deste trabalho se deve à necessidade de um melhor entendimento dos parâmetros que afetam o desempenho de plantas geradoras de energia elétrica movida a motores de combustão interna, uma vez que este tipo de geração se torna cada vez mais influente na matriz energética brasileira, como ilustrado no infográfico disponibilizado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Figura 1.

Figura 1 - Infográfico da participação dos tipos de geração elétrica em operação e para implantação no sistema elétrico nacional.



Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica

1.2. Objetivo

Este trabalho tem por objetivo a concepção básica de um laboratório de geração termelétrica utilizando-se de apenas um motor de combustão interna, que serviria tanto para estudos e pesquisas acadêmicas quanto para treinamentos.

1.3. Estrutura

Além do capítulo introdutório tem-se:

No Capítulo 2 as premissas do laboratório e seus equipamentos são listados. Posteriormente, são propostas uma localização para o laboratório e a disposição de seus ambientes.

No Capítulo 3 são apresentados os critérios de escolha do motogerador e o motogerador escolhido juntamente com seus dados técnicos.

No Capítulo 4 é selecionada uma unidade condicionadora de ar de admissão a partir de seus dados técnicos.

No Capítulo 5, o sistema de óleo combustível do motogerador, o tipo de combustível, seu armazenamento e condicionamento são apontados.

No Capítulo 6 é indicado o sistema de ar comprimido de partida do motogerador.

No Capítulo 7 é descrito o sistema de água de resfriamento do motogerador, bem como, os critérios de escolha de um radiador remoto.

No Capítulo 8, o sistema de gases de exaustão do motogerador, bem como uma possível introdução de um recuperador de calor por ciclo Rankine orgânico e seu percurso até sua liberação para o ambiente externo por uma chaminé são expostos.

No Capítulo 9 uma célula de teste e seus sistemas de ventilação, combate a incêndio, acústica e monitoramento são comentados.

No Capítulo 10 é proposto um sistema de instrumentação baseado em laboratórios de testes de motores semelhantes.

No Capítulo 11 são abordadas características de uma sala elétrica para controlar e proteger a planta, além de sincronizar a geração com a rede elétrica externa.

No Capítulo 12 são apontados os comentários finais.

2. O LABORATÓRIO

O projeto conceitual do Laboratório de Geração Termelétrica da UFES (LGT-UFES) tem como escopo permitir a realização de pesquisas em instalações e equipamentos comumente usados em plantas de geração termelétrica. Para isso, o laboratório deve prover recursos para análise de diferentes condições de operação dos equipamentos e gerar dados capazes de fornecer informações para estudos do processo. Além da realização de pesquisas, tais instalações são adequadas para complementar o ensino de engenharia da universidade e treinamento de profissionais deste setor.

Numa concepção inicial, o LGT-UFES deve ser equipado de forma mais semelhante possível às plantas de geração termelétrica operando com motores de combustão interna, que utilizam como combustível óleo pesado (HFO – *Heavy Fuel Oil*), sendo utilizado o óleo diesel para procedimentos de partida e parada.

Dessa forma, em primeira instância, o projeto do LGT-UFES prevê a instalação de um motor de combustão interna capaz de queimar óleo pesado, do tipo OCB-1, um gerador elétrico acoplado ao motor, unidade de condicionamento de ar de combustão, tanque de armazenamento de combustível, unidade condicionadora de combustível, radiador remoto resfriado a ar, chaminé, sistema de aquisição de dados e sala de controle. Com esses equipamentos é possível operar a instalação para geração de energia elétrica a partir de um motor de combustão interna e observar o desempenho do motor em função de parâmetros controláveis.

2.1. Localização

O laboratório prevê utilizar uma área de 625 m^2 (25m x 25m) do estacionamento dos alunos do Centro Tecnológico da UFES, conforme mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Área prevista para implantação do LGT-UFES.

Fonte: Google Maps

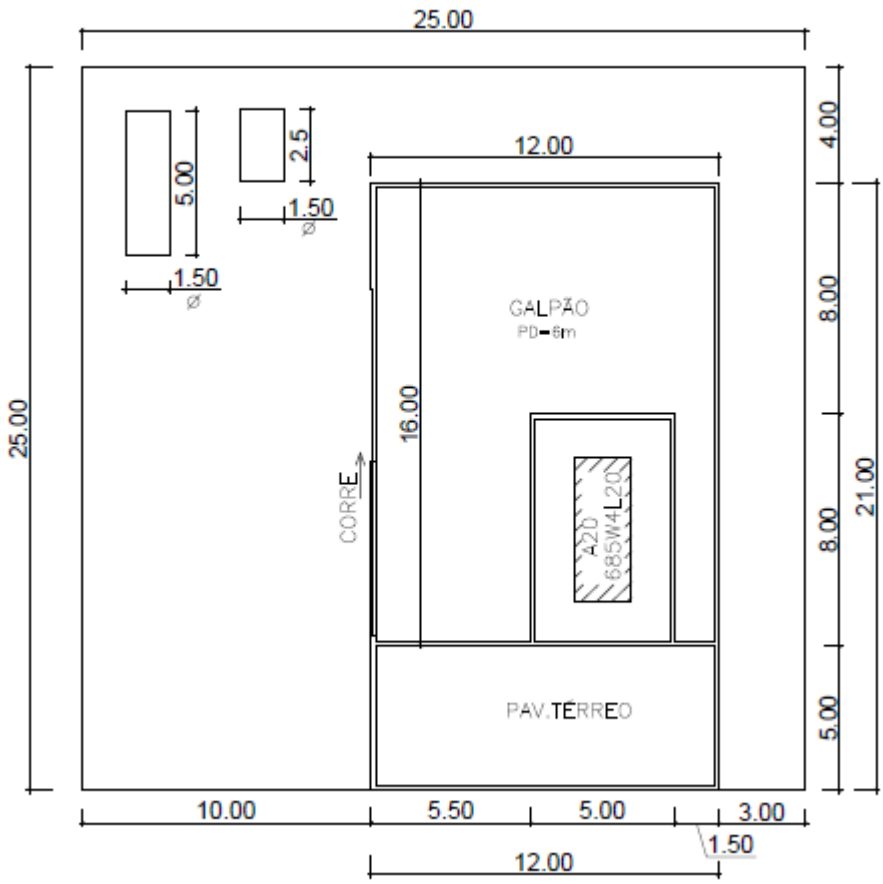
A área foi escolhida por fazer parte do Centro Tecnológico e conta com uma topografia plana e totalmente aterrada, sendo a maior parte pavimentada com bloquetes hexagonais. Entretanto, dada as características do laboratório e do terreno, prevê a necessidade de estaqueamento para construção do mesmo, serviço que deve ser previsto em um estudo posterior.

A frente do laboratório dá acesso ao anel viário da UFES, favorecendo a logística de entrega de equipamentos e materiais, bem como o acesso de pessoas. Isso inclui fornecimento de combustíveis, lubrificante e materiais de consumo diversos, bem como a retirada de resíduos para uma adequada destinação. Além disso, a localização auxilia nas necessidades operacionais para a construção e montagem do laboratório. Ao fundo do laboratório se encontra uma área de reserva natural constituída por um manguezal, a qual não será afetada. Todos os possíveis contaminantes gerados no laboratório devem ter uma destinação adequada atendendo todas as normas ambientais pertinentes.

2.2. Descrição do Laboratório

A área construída do laboratório, isto é, uma edificação de 12 metros de largura por 21 metros de comprimento e 6 metros de altura, o que corresponde a uma área de 252 m² a ser ocupada em uma área total de 625 m² (25 x 25 m). Assim, a área externa corresponde a 373 m^2. O posicionamento do laboratório pode ser visto na Figura 3.

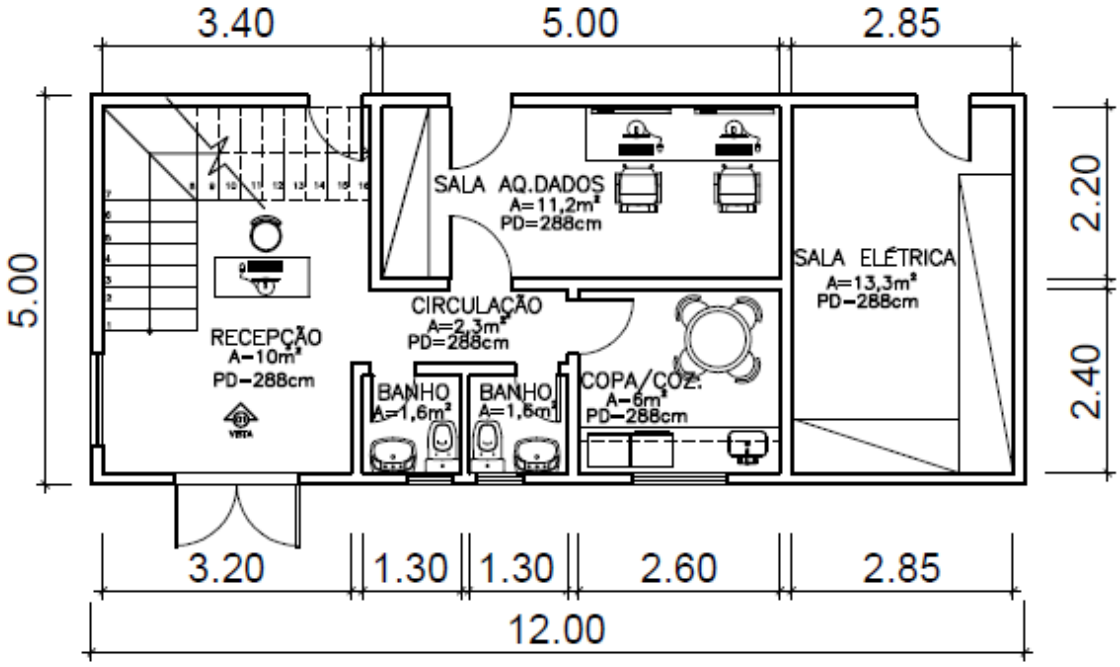
Figura 3 - Posicionamento do laboratório



Fonte: Produção do próprio autor.

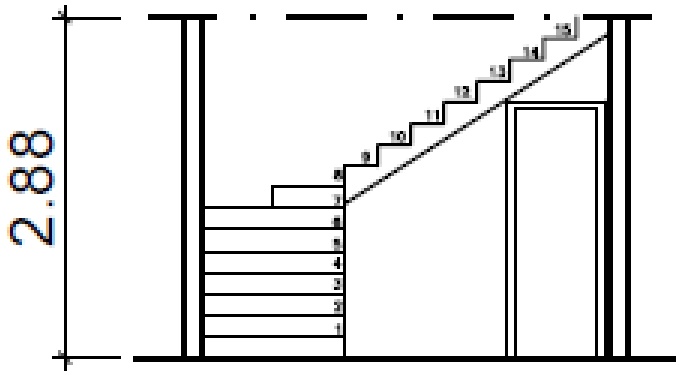
A edificação do laboratório é dividida em dois ambientes. A área frontal possui 12 metros de largura por 5 metros de comprimento com 2 andares de 3 metros de pé direito cada. No primeiro andar desta área frontal, mostrado na Figura 4, localiza-se a recepção com acesso ao galpão para cadastro e credenciamento (Vista 01), dois banheiro, uma copa-cozinha, a sala de controle e aquisição de dados e uma sala elétrica. A sala elétrica tem acesso, apenas, a partir do galpão. A Vista 01 está disponibilizada pela Figura 5.

Figura 4 - Primeiro andar da área frontal do laboratório



Fonte: Produção do próprio autor.

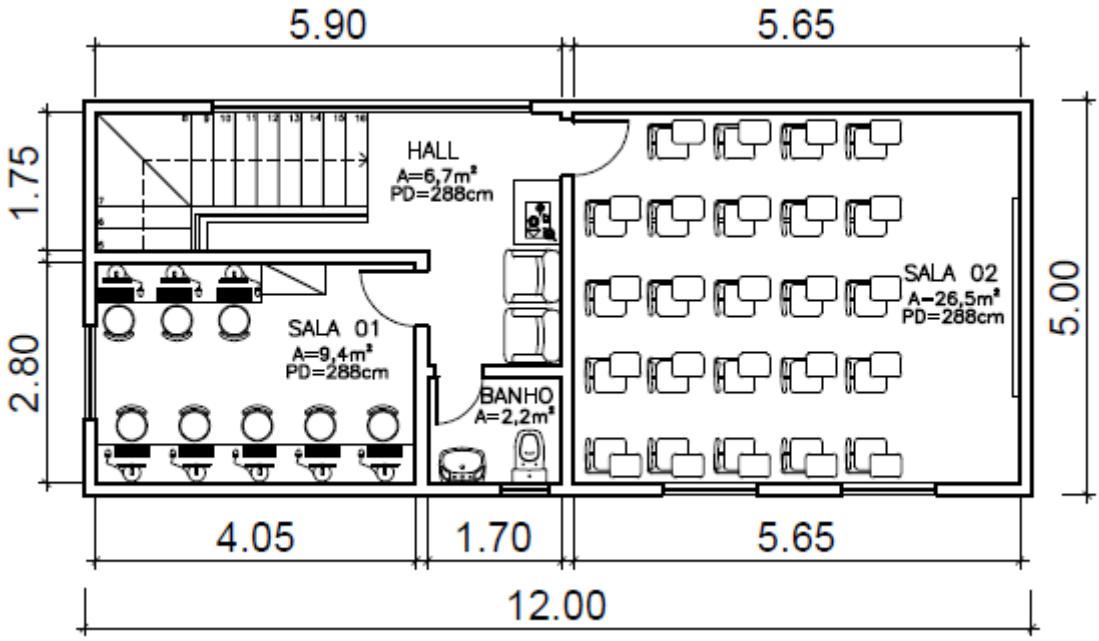
Figura 5 - Vista 01 do acesso ao galpão pela recepção



Fonte: Produção do próprio autor

No segundo andar desta área frontal se prevê um hall de espera, um banheiro, uma sala para pesquisadores e estudantes com capacidade para oito pessoas, além de uma sala aula para 20 alunos, apresentado na Figura 6.

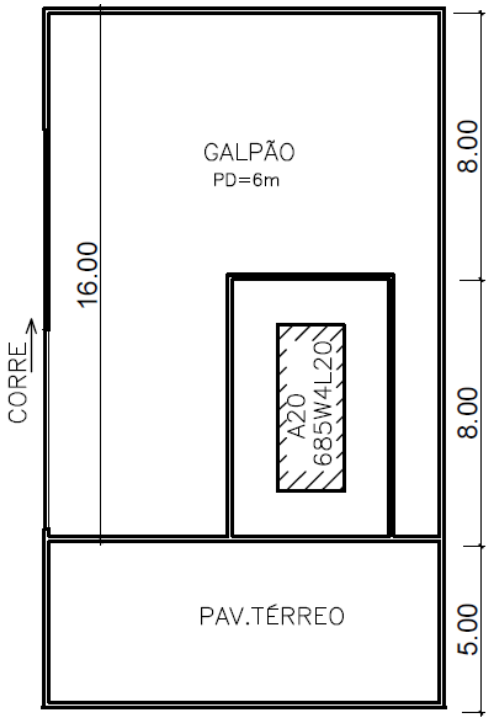
Figura 6 - Segundo andar da área frontal do laboratório



Fonte: Produção do próprio autor.

O galpão, que é a área destinada aos equipamentos, possui 12 metros de largura por 16 metros de comprimento e 6 metros de altura, como apresentado na Figura 7.

Figura 7 - Layout do Galpão



Fonte: Produção do próprio autor.

Nesta área, em uma concepção inicial, prevê-se a instalação da célula de teste com o motogerador, do condicionador de ar de combustão (sobre a célula de teste do motor), do condicionador de combustível, do sistema de recuperação de calor residual dos gases de exaustão com tecnologia de ciclo Rankine orgânico e futuros equipamentos. Também deverá ser alojado neste galpão, um almoxarifado, ferramentaria e uma pequena oficina. Um portão com dimensões adequadas (6 x 4 m) na lateral do galpão deve permitir a passagem dos principais equipamentos.

A cobertura de toda edificação do laboratório é constituída por uma laje com resistência adequada para instalação de equipamentos, tais como, radiadores a ar remoto para resfriamento do motor, torre de resfriamento, dentre outros.

Na área externa prevê-se uma pavimentação na lateral do galpão para entrada de automóveis e caminhões. Também nesta área externa devem ser instalados os tanques aéreos para o armazenamento de combustível (diesel e OCB-1), com bacias de contenção, a chaminé e a subestação elétrico.

3. MOTOGERADOR

Os principais equipamentos a serem especificados para o laboratório de geração de energia termelétrica é o conjunto motor e gerador. A partir da escolha do motogerador, podem-se determinar os outros equipamentos necessários para a operação do mesmo.

Inicialmente é proposto que o conjunto seja o de menor potência possível, mas com todas as características dos motores de combustão interna utilizados nas termelétricas equipadas com este tipo de acionador primário.

O motor a se especificar deve ser capaz de operar a óleo pesado do tipo OCB-1, que é autorizado pela ANP (Agência Nacional do Petróleo) para geração de energia elétrica, sendo comumente utilizado nas usinas termelétricas.

Outra característica desejada do motor é que seja turboalimentado, como ocorre na maioria dos motores usados em termelétricas. Uma última premissa estabelecida para a escolha do motor é a possibilidade do circuito de água de resfriamento do motor passar por um radiador remoto resfriado a ar.

Para isso, foram levantados modelos de motores de três diferentes empresas, *Wärtsilä*, *Caterpillar*, e *Man Diesel & Turbo*. Essas empresas são conhecidas no mercado por fornecer o conjunto completo de motores com gerados acoplados para geração de energia elétrica.

A linha da Caterpillar é de motogeradores que usualmente são utilizados para fornecer energia a pequenas edificações e como apoio a canteiros de grandes obras. As linhas da *Wärtsilä* e da *Man Diesel & Turbo* são de uso comum naval e plataformas *offshore*, tanto para sistemas principais de fornecimento de energia, quanto reservas. Além disso, essas duas últimas empresas têm um grande impacto na área de geração, uma vez que trabalham com fornecimento de plantas de geração elétrica completas. Essas linhas de motogeradores são capazes de atender aos objetivos do laboratório e são apresentadas na Tabela 1. Para a determinação de qual o motogerador que melhor atende o laboratório comparam-se as linhas de motogeradores fazendo o uso das premissas, detalhadas a seguir, como critérios de escolha.

Tabela 1 - Modelos de motogeradores analisados no processo de escolha deste equipamento.

MODELO	FABRICANTE	POTÊNCIA (kW)	TRABALHA COM OCB-1	RADIADOR REMOTO	TURBO ALIMENTADO
C15	CATERPILLAR	440	NÃO	NÃO	SIM
C18	CATERPILLAR	520	NÃO	NÃO	SIM
3412C	CATERPILLAR	635	NÃO	NÃO	SIM
C27	CATERPILLAR	725	NÃO	SIM	SIM
A16-525W5L16	WÄRTSILÄ	525	SIM	SIM	SIM
A16-630W6L16	WÄRTSILÄ	630	SIM	SIM	SIM
A16-735W7L16	WÄRTSILÄ	735	SIM	SIM	SIM
A20-520W4L20	WÄRTSILÄ	520	SIM	SIM	SIM
A20-685W4L20	WÄRTSILÄ	685	SIM	SIM	SIM
A20-760W6L20	WÄRTSILÄ	760	SIM	SIM	SIM
A20-875W6L20	WÄRTSILÄ	875	SIM	SIM	SIM
A20-975W6L20	WÄRTSILÄ	975	SIM	SIM	SIM
L16/24 6C	MAN & DIESEL TURBO	570	SIM	NÃO	SIM
L16/24 7C	MAN & DIESEL TURBO	665	SIM	NÃO	SIM
L16/24 8C	MAN & DIESEL TURBO	760	SIM	NÃO	SIM
L16/24 9C	MAN & DIESEL TURBO	855	SIM	NÃO	SIM

Fonte: Dados coletados de WÄRTSILÄ, CATERPILLAR, MAN & DIESEL TURBO.

3.1. Critério da menor potência

O motogerador deve ter a menor potência possível, mas com todas as características dos motores de combustão interna normalmente utilizados nas termelétricas.

3.2. Critério do tipo de combustível

O motor deve ser capaz de usar óleo pesado do tipo OCB-1, cujas características se encontram descritas no Capítulo 5. De acordo com a Tabela 1, os modelos de motogeradores da *Caterpillar* não trabalham com esse tipo de combustível, mas somente com diesel. No entanto, as linhas da *Wärtsilä* e da *MAN Diesel & Turbo* atendem a esse critério de especificação de escolha.

3.3. Critério do radiador a ar remoto

Por este critério, o motor deve rejeitar calor de resfriamento por meio de um radiador resfriado a ar remoto. Os modelos de motores ofertados pela *Man Diesel & Turbo* não atendem este critério. Logo, restam somente os motores da *Wärtsilä.*

3.4. Critério da turboalimentação de ar de combustão

O último critério refere-se à alimentação de ar de combustão para o motor. Foi estabelecido que o motor deve ser turboalimentado. Neste caso, todos os motores atendem a esse critério.

3.5. Escolha do motogerador

Considerando os motores listados na Tabela 1, apenas seis atendem todos os requisitos, a saber, os modelos A16-525W5L16, A16-630W6L16, A16-735W7L16, A20-520W4L20, A20-685W4L20, A20-760W6L20 da *Wärtsilä*. Assim, pelo critério da menor potência possível, seria escolhido o modelo A20-520W4L20 com potência de 520 kW. Contudo, visto que os gases de combustão devem ser suficientes para alimentar o ORC especificado (detalhado no Item 8.1), optou-se por um motor de maior potência (A20-685W4L20). Na Tabela 1 existem outros motores com potência suficiente para também alimentar o ORC, porém, um critério de desempate adotado foi o número de cilindros, que promove economia na quantidade de sensores a serem instalados, isto é, em todo o sistema de medição e aquisição de dados.

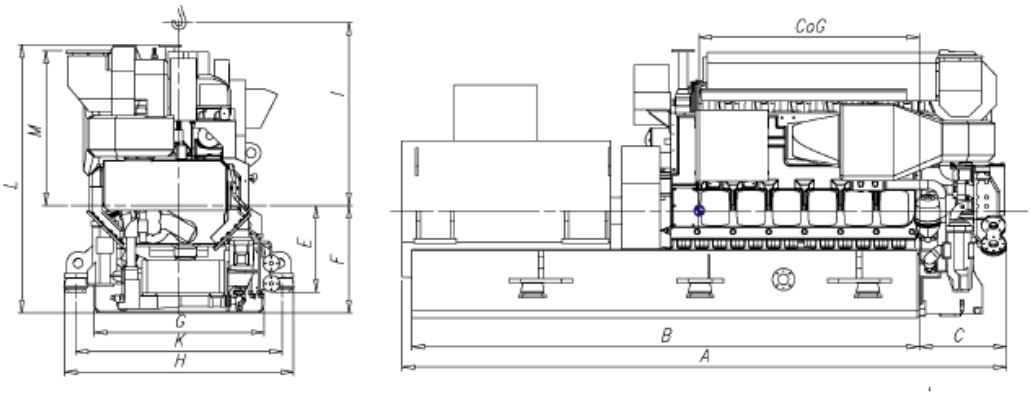
O catálogo da *Wärtsilä* oferece dois motogeradores A20-685W4L20 diferenciados pela legislação de emissão marítima que obedecem, *IMO Tier 2* ou *IMO Tier 3*. *IMO Tier* é uma norma da Organização Marítima Internacional que rege a emissão de gases de veículos navais. Para o laboratório, não se deve preocupar quanto a essa norma internacional, porém as normas reguladoras nacionais como por exemplo a resolução 382 da CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) devem ser levados em conta. Uma vez que as normas navais não se aplicam ao uso do laboratório, a escolha foi definida pelo consumo de combustível durante a operação, sendo selecionado o motor com menor consumo de combustível por kWh.

Na Figura 8 é tem-se uma imagem ilustrativa do motor escolhido, A20-685W4L20, e suas principais dimensões são apresentadas na Figura 9 e na Tabela 2.

Figura 8 - Imagem ilustrativa do motor Wärtsilä A20-685W4L20.

Fonte: WÄRTSILÄ, 2017.

Figura 9 - Principais dimensões da linha de motogeradores Wärtsilä Auxpac 20.



Fonte: WARTSILA, 2017.

Tabela 2 - Principais dimensões do motor selecionado, A20-685W4L20.

Type	A	B	C	E	F	G	H	I	K	L	M
520W4L20	4634	3600	732	725	900	1420	1920	1800	1730	2248	1207
685W4L20	4764	3725	732	725	900	1420	1920	1800	1730	2248	1207

Fonte: WÄRTSILÄ, 2017.

Selecionado o motogerador, A20-685W4L20 / 60 Hz, seus principais dados técnicos serão apresentados na Tabela 3. Essas especificações estão disponibilizadas pelo catálogo do produto presente no sítio eletrônico da *Wärtsilä* (Anexo 1).

Tabela 3 - Principais dados técnicos do motor Wärtislä Auxpac A20-685W4L20.

Dados técnicos Wärtsilä Auxpac 685W4L20 / 60 Hz		
Velocidade de rotação	rpm	900
Potência do motor	kW	721
Sistema de ar de combustão		
Vazão de ar operando a 100%	kg/s	1,45
Temperatura na entrada com turbocompressor	°C	45
Temperatura depois do resfriador de ar	°C	50...70
Sistema de gases de axaustão		
Vazão operando a 100%	kg/s	1,49
Temperatura após o turbocompressor (a 100%)	°C	340
Calor dissipado pelo motor operando a 100%		
Água de resfriamento do bloco do motor	kW	155
Água de resfriamento Turbocompressor	kW	237
Óleo lubrificante	kW	115
Radiação, etc.	kW	32
Sistema de Combustível		
Pressão antes dos bicos injetores	kPa	700±50
Viscosidade do OCP antes dos bicos injetores	cSt	1000±50
Máxima temperatura do OCP antes dos bicos injetores	°C	14
Consumo de combustível operando a 100%	g/kWh	196,8
Sistema de resfriamento (HT)		
Temperatura antes dos cilindros	°C	83
Temperatura depois dos cilindros	°C	91
Sistema de resfriamento (LT)		
Temperatura antes do motor	°C	25...38
Sistema de ar de partida		
Pressão	kPa	3000
Consumo de ar	Nm^3	1,2

Fonte: WÄRTSILÄ, 2017.

3.6. Gerador

Os geradores são equipamentos fabricados para ter alta eficiência e uma longa vida útil. Um dos parâmetros mais importantes de um gerador é sua eficiência que é definida pelo comissionamento de testes realizados pelo fabricante (Ribeiro, 2014).

Os geradores padrão utilizados pela *Wärtsilä* são de média tensão. Eles são conectados diretamente aos volantes do motor com acoplamentos flexíveis e resfriados a ar por ventilação forçada.

Além disso, possui um aquecedor elétrico que evita a condensação de vapor d'água no gerador quando o mesmo permanece parado. (SACRAMENTO, 2011). A Tabela 4 apresenta os dados referentes ao gerador do motor selecionado retirados do catálogo da *Wärtsilä* (Anexo 1).

Tabela 4 - Dados do gerador acoplado ao motor Wätsilä Auxpac A20-685W4L20.

Dados técnicos Wärtsilä Auxpac 685W4L20 / 60 Hz		
Gerador		
Marca do gerador		Fenxi
Frequência	Hz	60
Potência Aparente	kVa	856
Tensão	V	450
Corrente	A	1098
Fator de potência		0,8
Calor dissipado no ar pelo gerador	kW	35

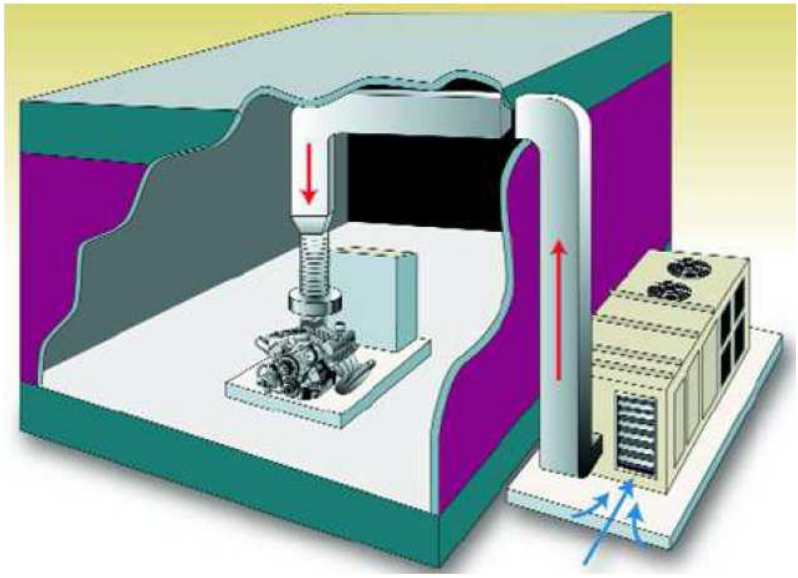
Fonte: WÄRTSILÄ, 2017.

4. UNIDADE DE CONDICIONAMENTO DO AR DE COMBUSTÃO

Um dos principais fatores que afetam o rendimento e potência do motor de combustão interna operando com ciclo diesel é o ar de admissão. As características do ar de admissão, a saber temperatura, pressão e umidade, principalmente, afetam diretamente na qualidade da queima, na potência desenvolvida pelo motor e também nas características dos gases de exaustão (MARTYR; PLINT, 2007).

Em um motor de combustão interna operando no ciclo Diesel não há dificuldades em introduzir a quantidade certa de combustível no cilindro de trabalho, mas a potência é limitada pela quantidade de ar que pode ser aspirada (Martyr e Plint, 2007). Dessa forma o controle das condições do ar de admissão é de suma importância para o estudo de motores desse tipo (Silva, 2004). Um módulo ilustrativo é apresentado, na Figura 10.

Figura 10 - Módulo ilustrativo de uma unidade condicionadora de ar.



Fonte: Acervo pessoal

A pressão do ar de admissão é um dos principais fatores que influenciam na potência do motor. A massa de ar que pode ser aspirada ou forçada no motor varia diretamente com sua densidade. Em uma rápida análise, considerando o ar como um gás ideal, hipótese comumente usada para análise de motores que trabalham a ciclo diesel, tem-se a lei dos gases ideais (Equação 1) (MORAN ET AL., 2000):

$$pv = Rt \tag{1}$$

Para uma temperatura fixa, quando se aumenta a pressão, a tendência é diminuir o volume especifico do ar, aumentando, dessa forma, a massa de ar que é admitida no cilindro.

A temperatura do ar de admissão é tão influente quanto a pressão, uma vez que ela também afeta a densidade do ar, porém, inversamente. Em ambientes muito quentes a quantidade de ar admitida é menor devido às altas temperaturas. Analogamente à análise feita com a pressão, usando a lei dos gases ideias, pode-se aferir que, para uma pressão fixa, o valor da temperatura aumenta junto com valor do volume específico do ar, diminuindo a quantidade de ar admitido no cilindro.

A umidade relativa do ar é uma condição que influência menos, em relação às duas anteriores, na potência do motor. Porém pode interferir consideravelmente na lubrificação do pistão. O ar é uma mistura de gases incluindo vapor d'água, e em casos onde o ar de admissão possui uma umidade relativa alta, quando resfriado para entrar no cilindro, gotículas de água podem precipitar no óleo de lubrificação, afetando assim suas propriedades (KUIKEN,2012).

De acordo com o objetivo do laboratório LGT-UFES, que é de proporcionar estudos acerca da geração de energia baseada na queima de combustíveis, faz-se necessário o uso de um condicionador do ar de admissão. Esta unidade condicionadora deve ser capaz de alterar os parâmetros de pressão, temperatura e umidade relativa (ASHRAE, 2007).

Dessa forma, sete unidades de condicionamento de ar foram selecionadas a fim de comparar seus aspectos técnicos de controle das propriedades de pressão, temperatura e umidade relativa. Sendo dada prioridade às duas primeiras propriedades, visto que são mais influentes. A comparação se deu pelos limites de temperatura, pressão e umidade relativa que as proponentes poderiam fornecer ao motor. Também foram levadas em consideração as condições mínimas e máximas, além da incerteza na medição.

A Tabela 5 apresenta os modelos selecionados e as principais especificações técnicas que afetam o rendimento e potência do motor.

Tabela 5 - Lista de unidades condicionadoras de ar analisadas

Unidade Condicionadora de AR para Combustão										
Modelo		**Temperatura (°C)**			**Pressão (mbar)**			**Umidade Relativa**		
	Fabricante	**Mín.**	**Max.**	**Inc.**	**Mín.**	**Máx.**	**Incert.**	**Mín**	**Máx**	**Incertez a**
Dynoair - 2000 CMF	SEI	-29	46	0,14				0	100	2,5
ChargeCO M	FEV	20	130	1		1300	20			
RaceCon	FEV	20	60	1	980	1020	1	8 (abs)	12(abs)	5
AirCon	FEV	20	60	1	900	1100	1	8 (abs)	12(abs)	3
AVL ConsysAir	AVL	15	70	0,5	900	1100	1			
Sierra CAHU	Sierra	15	40	1	960	1050	1	6 (abs)	18 (abs)	3
Weiss ACU	Weiss									

Fonte: FEV, AVL, SIERRA.

Segundo os dados expostos somente uma das opções apresenta informações sobre as especificações necessárias, portanto inicialmente o módulo AirCon fabricado pela FEV (Figura 11) foi selecionado.

Figura 11 - Unidade condicionadora de ar de admissão AirCon.

Fonte: FEV,2016.

De acordo com o folheto de produto disponível sítio eletrônico da FEV (Anexo 2) a unidade condicionadora de ar de admissão *AirCon* é fabricado para ter boa reprodutibilidade de resultados em testes de motores. O controle e ajustes do sistema são realizados por um controle *onboard* que pode ser montado na sala de controle.

Além disso, a unidade já vem equipada com interfaces para comunicação com computadores remotos. Entre as interfaces disponíveis estão *TCP/IP-CSM, TCP/IP-AK, EtherCat, CANraw* e *ProfiBus*.

A própria empresa tem um serviço de instalação do equipamento no local de uso e instalação inicial dos sistemas de aquisição de dados para garantir a qualidade dos resultados gerados pelo produto.

O modelo *AirCon* é capaz de fornecer o ar em temperaturas entre 20°C e 60°C, com uma incerteza de 1°C, pressão entre 100 mbar acima e abaixo das condições ambientes com uma incerteza de 1 mbar e umidade absoluta entre 8 e 12 gH_2O/kg_{ar}.

Quanto à vazão de ar, o modelo *AirCon* pode fornecer de 180 kg/h a 3000 kg/h de ar ao motor, porém abaixo da quantidade de ar demandada pelo motor a plena carga.

A unidade condicionadora de ar de admissão tem uma limitação de distância até o motor, a tubulação que levará o ar de admissão até o motor deve ser de no máximo dez metros a fim de garantir que as condições geradas e passadas à sala de controle sejam a mesma que estão sendo admitidas no motor. O Anexo 2 apresenta os dados técnicos citados no texto, dentre outros.

Assim, qualitativamente esta unidade de condicionamento de ar faz o controle da condição do ar de admissão. Portanto, uma unidade deste tipo, mas de maior capacidade deve ser especificada.

5. SISTEMA DE ÓLEO COMBUSTÍVEL

O sistema de óleo combustível deve prever a armazenagem e condicionamento do mesmo na planta do laboratório. O uso de óleos combustíveis em plantas de geração elétrica é regulamentado pela ANP. A Resolução ANP n°48/2007 estabelece os tipos de óleo combustíveis que podem ser utilizados nas plantas termelétricas. Complementar a essa resolução, a Resolução ANP n°3/2016 rege a especificação e controle de qualidade destes óleos combustíveis, eles são classificados de acordo com os limites de viscosidade e teor de enxofre. Dentre eles estão os OCA-1, OCA-2, OCB-1, OCB-2, OC3 além do óleo diesel (ANP,2016a). Dentre as qualidades de óleos combustíveis para operar centrais de geração termelétrica, pode citar:

- Combustão adequada, minimizando a formação de resíduos e emissão de poluentes;
- Escoamento adequado nas temperaturas de operação;
- Minimizar o desgaste de refratários e de tubos dos fornos;
- Oferecer segurança no manuseio e estocagem. (ANP, 2016b)

A Tabela 7 a seguir contém parâmetros e referências normativas de algumas das principais características dos óleos combustíveis regulamentados pela ANP para queima em centrais geradoras.

Tabela 6 - Principais características de óleos pesados regulamentados pela ANP para plantas de geração elétrica.

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	MÉTODO		TIPO			
		ABNT	ASTM	OCB1	OCA1	OCB2	OCA2
Viscosidade Cinemática a 60°C, máx. ou Viscosidade Saybolt Furol a 50°C, máx.	mm^2/s (cSt) SSF	NBR 10441 NBR 5847 MB 326	D445 / D2171 D88	620 600	620 600	960 900	960 900
Enxofre, máx.	% massa	MB 902	D1552/ D2622/ D4294	1,0	2,5	1,0	2,5
Água e Sedimentos, máx. (2)	% volume	MB 37 e MB294	D95 e D473	2,0	2,0	2,0	2,0
Ponto de Fulgor, mín.	°C	MB 48	D93	66	66	66	66

Fonte: ANP, 2017

Uma das premissas definidas para a escolha do motor foi a utilização do óleo combustível do tipo OCB-1, por apresentar menor concentração de enxofre e menor viscosidade em relação aos outros combustíveis (Tabela 6), na operação do laboratório durante estudos e geração de energia nos horários de pico. O OCB-1,

como mostrado na Tabela 9, atende os parâmetros de qualidade referente a limite de viscosidade e teor de enxofre regulamentado pela ANP.

A viscosidade de um fluido é a característica associada à resistência ao escoamento (FOX, MCDONALDS, 2000). Para uma boa queima de combustível, o mesmo deve ter escoamento adequado durante a operação da planta. A fluidez de um óleo é importante para que o combustível possa escoar sem cristalizar, tornando o ponto de fluidez um dos itens que classificam os combustíveis líquidos (PETROBRAS, 2013). Para o OCB-1, não é possível armazenar ou utilizar o óleo combustível sem um tratamento adequado para manter a qualidade de fluidez. Faz-se necessário o uso de um pré-aquecedor e uma unidade condicionadora de combustível para manter a temperatura do óleo OCB-1 adequada para seu armazenamento e utilização.

O teor de enxofre é o indicador de qualidade no uso de óleo diesel como combustível (ANP,2016b). O enxofre no combustível, além de reduzir a vida útil do motor, é o principal contribuinte na geração de gases que atacam o meio ambiente. Um teor alto de enxofre presente no combustível aumenta as emissões de óxidos de enxofre, principais formadores das chuvas ácidas (PETROBRAS, 2013). O óleo OCB-1 é conhecido por ter um baixo teor de enxofre e atender aos requisitos de regulamentação para uso em plantas de geração termelétricas.

Adicionalmente ao óleo combustível OCB-1, prevê-se que o motor também opere com óleo diesel para partida e para final de operação. O uso de óleo diesel nas etapas de partida e parada do motor é importante para regulagem da temperatura do OCB-1 e limpeza dos pistões.

Em início de operação, é possível que o óleo combustível OCB-1 não esteja nas condições adequadas para a queima. A planta do laboratório deve prever um pré-aquecedor para manter o óleo combustível com uma viscosidade adequada a fim de enviá-lo para o motor. O uso de óleo diesel na partida do motor deve dar o tempo necessário para garantir o devido condicionamento do óleo combustível OCB-1. Outra serventia do óleo diesel na partida e parada do motor é a limpeza dos pistões. Óleos pesados podem deixar resíduos nos pistões se, por algum motivo, não sejam admitidos na qualidade apropriada para queima. Dessa forma, o uso do óleo diesel na parada do motor proporciona uma limpeza desses resíduos que possam estar no sistema de combustível. Adicionalmente, o óleo diesel pode servir como uma reserva em caso de ausência no fornecimento de OCB-1.

5.1. Armazenamento de combustível

Para a armazenagem do óleo combustível é necessário seguir as normas estipuladas na Norma Regulamentadora 20 – Líquidos Combustíveis e Inflamáveis. Esta norma classifica o OCB-1 como líquido combustível classe II, pois seu ponto de fulgor é abaixo de 70 °C e é superior a 37,7 °C (BRASIL, 2012).

Para atender as normas deve-se atentar para algumas importantes premissas de armazenagem: os tanques de armazenamento devem ser construídos de aço ou concreto, com distância mínima a vias e propriedades adjacentes dependente da quantidade a ser armazenada, e a distância entre dois tanques de combustíveis não deve ser menor que 1 metro. Adicionalmente, deve ser previsto uma bacia de contenção para o caso de um possível derramamento de óleo não afetar o ambiente externo.

O laboratório irá prever dois tanques de armazenamento, um para o óleo OCB-1 e outro menor para o óleo diesel. Os tanques devem ser suspensos e horizontais, com uma bacia de contenção como ilustra a Figura 12. As dimensões básicas são calculadas baseadas no tempo de operação e consumo de combustível do motor.

Figura 12 - Imagem ilustrativa de tanque suspenso horizontal.

Fonte: MF RURAL, 2015.

Para o dimensionamento do tanque para o combustível OCB-1, prevê-se que o laboratório possua uma autonomia de 8 horas de testes durante duas semanas com o motor em regime contínuo. Para esse cálculo, foi utilizado o consumo de combustível do motogerador A20-685W4L20 / 60 Hz operando a 100% dado nos dados técnicos do motor supracitados, Tabela 3, para a formulação da Equação 2:

$$\frac{Consumo\ em \left[\frac{g}{kWh}\right] x\ Potência\ do\ motor\ [kW]\ x\ tempo\ de\ autonomia\ [h]}{1000\ x\ Densidade\ do\ combustível \left[\frac{kg}{L}\right]} \quad (2)$$

Utilizando os dados apresentados por Menezes et al (2015) para densidade do OCB-1 e os dados técnicos da Tabela 3 de especificação do motogerador tem-se a Equação 3:

$$consumo = \frac{196{,}8 \left[\frac{g}{kWh}\right] x\ 721\ [kW] x\ 8\ [h] x\ 14\ [dias]}{1000 \times 0{,}98} \quad (3)$$

$$consumo = 16216{,}32\ L$$

De acordo com os cálculos, para o laboratório possuir a autonomia desejada, deve-se ter um tanque de, aproximadamente, 17000 litros. Para esse dimensionamento é necessário que os tanques fiquem a uma distância mínima de 4,5 metros de outras propriedades e 1,5 metros de vias públicas (BRASIL, 2012).

5.2. Unidade condicionadora de combustível

O óleo combustível OCB-1 não pode ser queimado em qualquer condição. Se faz necessário um condicionador de combustível que controle a temperatura e pressão do óleo combustível para se obter a condição ideal de queima possível. A fim de estudos é necessário controlar esses parâmetros do combustível para avaliar os testes realizados.

É necessária a utilização de condicionador de combustível a fim analisar a influência da temperatura do combustível injetado no motor na potência gerada. Aliado a isso, o condicionador deve conter um filtro para evitar um mau funcionamento do motor,

devido a impurezas ou resíduos do óleo pesado. O condicionador pode evitar entupimento dos bicos injetores, desgaste dos cilindros e pistões (GEA, 2017).

Também é importante que o condicionador tenha uma interface de controle para que a instrumentação seja facilitada, ou mesmo desnecessária dependente do alcance do sistema do condicionador.

O condicionador pode utilizar algum tipo de resíduo térmico do próprio sistema para o pré-aquecimento do combustível, porém deve-se também utilizar outro método de aquecimento para os casos de início ou término de atividades.

6. SISTEMA DE AR COMPRIMIDO

O sistema de ar comprimido é necessário para a partida de motores visando fornecer energia de atuação para dispositivos de segurança e controle.

A pressão nominal do ar de partida é de 3 MPa (30 bar), Tabela 3. Para os motores WA20, esta pressão é reduzida a uma pressão adequada com um regulador de pressão montado no motor.

A fim de assegurar a funcionalidade dos componentes no sistema de ar comprimido, este sistema deve estar livre de partículas sólidas e de partículas de óleo. Além disso, o fornecimento de ar comprimido não deve ser fechado durante a operação.

Portanto para iniciar a operação do motor deve ser previsto um compressor de ar com recipientes de ar capaz de fornecer 3 MPa para o motor durante toda a operação. O sistema também deve prever um filtro para capturar óleo e água para evitar que os mesmos possam danificar os bicos injetores (WÄRTSILÄ, 2017).

A própria Wärtsilä possui um sistema de compressores com filtros e recipientes que se recomenda adquirir como um pacote adicional na compra do motogerador.

7. SISTEMA DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

O sistema de água de resfriamento do motor A20-685W4L20 / 60 Hz é um circuito fechado que utiliza água tratada com aditivos para evitar a corrosão (WÄRTSILÄ, 2017).

Esse sistema é responsável por retirar o calor do bloco de motor, cabeça dos pistões, compressor de ar de admissão e do sistema de óleo lubrificante (RIBEIRO, 2014). Uma vez retirado esse calor, se prevê o uso de um radiador a ar remoto para fechar o circuito e retornar a água para o motor. Para que isso aconteça, uma bomba deve ser instalada para a recirculação da água.

O sistema pode ser divido em dois subsistemas, o circuito de alta temperatura (HT) e o circuito de baixa temperatura (LT). O motor possui válvulas termostáticas para o controle das temperaturas de saída da água destes circuitos.

7.1. Circuito de alta temperatura (HT)

O circuito de alta temperatura é responsável pelo resfriamento do bloco do motor e das cabeças dos pistões. A temperatura da água no circuito é controlada por uma válvula termostática que mantém a temperatura na saída do motor em condições apropriadas (RIBEIRO, 2014). A água sai do bloco do motor com uma temperatura de 91°C e deve entrar no sistema com uma temperatura em torno de 83°C de acordo com o fabricante.

Como visto anteriormente na Tabela 3 a água do circuito de alta temperatura é responsável por retirar do motor 154 kW. Essa água então é bombeada para o radiador a ar remoto para voltar ao motor.

7.2. Circuito de baixa temperatura (LT)

O circuito de baixa temperatura é responsável pelo resfriamento do sistema de óleo lubrificante do motor e pelo resfriamento do compressor de ar de admissão. Similarmente ao circuito de alta temperatura, a temperatura da água no circuito é controlada por uma válvula termostática que mantém a temperatura na entrada do circuito mantendo ela entre 25 e 38 °C. Após passar resfriar os sistemas dos quais é responsável, a água do circuito é destinada ao radiador remoto.

De acordo com a Tabela 3 a água é responsável por retirar 237 kW do compressor de ar e 115 kW do sistema de óleo lubrificante.

7.3. Radiador remote resfriado a ar

A função do radiador a ar remoto previsto para esse laboratório é de resfriar a água proveniente dos circuitos de alta e baixa temperatura do sistema de água de resfriamento. O radiador possui um trocador de calor aquatubular e o fluído de baixa temperatura é o ar que passa entre os tubos.

Comumente, estes radiadores utilizam de ventiladores acoplados aos mesmos que conduzem as correntes de ar para uma maior transferência de calor com a água do processo. O radiador remoto é previsto a ocupar parte do espaço da laje do laboratório, utilizando o ar do ambiente externo para resfriar a água. A Figura 13 apresenta um radiador remoto resfriado a ar da Fincoil, mesma companhia que fornece radiadores remotos à estação UTE-VIANA, no Espírito Santo.

Figura 13 - Radiador a ar remoto Fincoil Alfa Blue Junior DG.

Fonte : FINCOIL, 2017.

O radiador a ser especificado deve ser capaz de retirar da água a mesma quantidade de calor que o sistema de resfriamento do motor retira a fim de fechar o balanço de energia do circuito de resfriamento. Dessa forma o radiador remoto deve ser capaz de retirar 506 kW, correspondente a soma da energia dissipada em forma de calor pelo bloco do motor, cabeça dos pistões, compressor do ar de admissão e sistema de óleo

lubrificante. Além disso, deve ser capaz de receber água de dois diferentes circuitos resfriando separadamente os circuitos.

8. SISTEMA DE EXAUSTÃO DE GASES

O sistema de gases de exaustão compreende o trajeto dos gases de exaustão do motor desde os cilindros do motor até a chaminé. Durante esse trajeto, os gases de exaustão passam pelo acionamento do turbo compressor, filtros de ar e silenciadores até a saída da chaminé. Além desses sistemas os gases de combustão podem acionar outros equipamentos como recuperadores de calor.

8.1. Recuperador de calor operando com ciclo Rankine orgânico, ORC

Segundo Cataldo et al.(2014), o ciclo Rankine orgânico, ORC, está se provando uma das tecnologias mais promissoras na conversão de energia de fontes de calor de baixa temperatura. Ele pode ser composto por turbinas mais simples, uma vez que trabalha com um fluido a uma reduzida entalpia na expansão, oferecendo menores custos e maior vida útil. Além disso, o ORC apresenta um ganho significativo na eficiência, devido ao reduzido calor de evaporação dos fluidos orgânicos.

Dá-se então a análise dos gases de exaustão para reaproveitamento térmico em recuperadoras de calor que trabalham com o ciclo de Rankine orgânico. Inicialmente, deve-se dar prioridades a recuperadores de calor que utilizam diretamente os gases de exaustão.Com base nos dados retirados da especificação técnica do motor, Tabela 7 pode-se calcular qual é a energia disponível nos gases de exaustão que servirá como base para uma futura especificação de um recuperador de calor.

Tabela 7 - Dados do motor para balanço de energia.

Vazão mássica de gases de exaustão	Kg/s	1,49
Temperatura dos gases de exaustão	°C	340
Potência do Motor (mecânica) (W_{motor})	Kw	721
Calor Dissipado no bloco do motor (Q_{bloco})	kW	155
Calor Dissipado óleo lubrificante ($Q_{Oleo\ Lub}$)	kW	115
Calor dissipado por Radiação do motor (Q_{rad})	kW	32
Calor dissipado no turbo compressor (Q_{tc})	kW	237

Fonte: WÄRTSILÄ, 2017.

Fazendo um balanço de energia usando o motor como volume de controle (Equação 2) tem-se que toda energia que entra com o combustível deve sair como trabalho mecânico, energia dissipada em forma de calor e energia nos gases de exaustão. Logo teremos

$$Q_{comb} = W_{motor} + Q_{bloco} + Q_{Oleo\ Lub} + Q_{tc} + Q_{rad} + Q_{gases} \qquad (2)$$

Para o cálculo da energia que será fornecida pelo combustível utilizaremos a Equação 3:

$$Q_{comb} = \dot{m}_{comb} \times PCI_{OCB-1} \qquad (3)$$

De acordo com a Resolução N°36 da ANP, tem-se o seguinte valor para o PCI do combustível OCB-1

$$PCI_{OCB-1} = 43000\ {}^{kJ}/_{kg}$$

Para o cálculo da vazão de massa de combustível, é necessário utilizar o consumo por KW de energia elétrica do motor, como mostrado na Equação 4:

$$\dot{m}_{comb} = \frac{196{,}8 \times 721}{3600 \times 1000} \left[{}^{kg}/_{s}\right] \qquad (4)$$

$$\dot{m}_{comb} = 0{,}039 \left[{}^{kg}/_{s}\right]$$

Com estes dados disponíveis já é possível calcular a energia disponível nos gases de exaustão baseado na Equação 2:

$$Q_{comb} = W_{motor} + Q_{bloco} + Q_{Oleo\ Lub} + Q_{tc} + Q_{rad} + Q_{gases}$$

$$\dot{m}_{comb} \times PCI_{OCB-1} = W_{motor} + Q_{bloco} + Q_{Oleo\ Lub} + Q_{tc} + Q_{rad} + Q_{gases}$$

$$0{,}039 \times 43000 = 721 + 155 + 115 + 237 + 32 + Q_{gases}$$

$$Q_{gases} = 417\ kW$$

Portanto tem-se 417 kW de energia disponível nos gases de exaustão. Essa é a energia disponível a ser utilizada em um recuperador de calor com ciclo Rankine Orgânico.

Quoilin et al. (2013) apresentam onze fabricantes de recuperadoras de calor por ciclo Rankine orgânico, representados na Tabela 8. Esta tabela foi utilizada a fim de buscar modelos de ORC que aceitam a vazão e as temperaturas dos gases de exaustão do modelo de motor escolhido para o laboratório.

Tabela 8 - Fabricantes de recuperadoras de calor por ORC

Manufacturer	Applications	Power range [kWe]	Heat source temperature [°C]	Technology
ORMAT, US	Geo., WHR, solar	200–70,000	150–300	Fluid : *n*-pentane and others, two-stage axial turbine, synchronous generator
Turboden, Italy	Biomass-CHP, WHR, Geo.	200–2000	100–300	Fluids : OMTS, Solkatherm, Two-stage axial turbines
Adoratec/Maxxtec, Germany	Biomass-CHP	315–1600	300	Fluid: OMTS
Opcon, Sweden	WHR	350–800	< 120	Fluid: Ammonia, Lysholm Turbine
GMK, Germany	WHR, Geo., Biomass-CHP	50–5000	120–350	3000 rpm Multi-stage axial turbines (KKK)
Bosch KWK, Germany	WHR	65–325	120–150	Fluid: R245fa
Turboden PureCycle, US	WHR, Geo.	280	91–149	Radial inflow turbine, Fluid: R245fa
GE CleanCycle	WHR	125	> 121	Single-state radial inflow turbine, 30,000 rpm, Fluid: R245fa
Cryostar, France	WHR, Geo.	n/a	100–400	Radial inflow turbine, Fluids: R245fa, R134a
Tri-o-gen, Netherlands	WHR	160	> 350	Radial turbo-expander, Fluid: Toluene
Electratherm, US	WHR, Solar	50	> 93	Twin screw expander, Fluid: R245fa

Fonte: QUOILIN, 2013

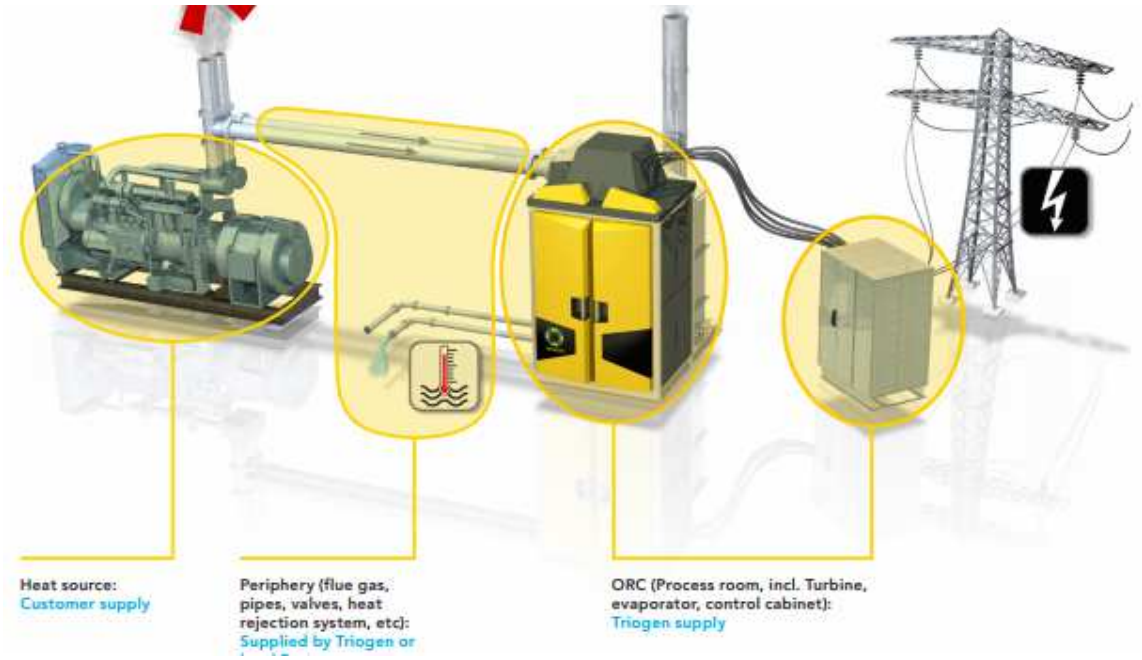
Analisando os fabricantes disponíveis, apenas um fabricante apresenta unidades recuperadoras por admissão direta dos gases de exaustão, Tri-o-gen. Comparando os modelos disponibilizados pela fabricante, foi selecionado o modelo Triogen WB1 100 Power, por necessitar a menor quantidade de calor possível com relação à temperatura e vazão dos gases de exaustão. As dimensões e principais detalhes técnicos do ORC estão representados na Tabela 9, bem como, uma imagem ilustrativa do modelo escolhido pela Figura 14.

Tabela 9 - Dimensões e dados técnicos de recuperadora de calor WB-1 100 Power.

Dados técnicos WB-1 100 Power		
Dimensões		
Comprimento	m	4
Largura	m	2,4
Altura	m	2
Peso	kg	6000
Dados de performance		
Temperatura dos gases na entrada	°C	350 - 530
Temperatura dos gases na saída	°C	180 - 220
Calor transferido para ORC	kW	590
Potência gerada	kW	100
Potência elétrica	kW	95
Eficiência do conjunto	%	17

Fonte: TRIOGEN, 2016.

Figura 14 - Imagem ilustrativa do modelo da recuperadora de calor escolhida, Triogen WB1 100 Power.



Fonte: TRIOGEN, 2016.

De acordo com a Tabela 9, é necessário 590 kW de quantidade de calor na entrada da recuperadora de calor, ORC. Para tanto, seria necessária uma vazão dos gases de exaustão equivalente a 3,07 kg/s, como mostrado a seguir na Equação 5.

$$\dot{m}_{gases} = \left(\frac{\dot{Q}_{necessário}}{c_{p_{gases}} x \left(T_{s_{gases}} - T_{s_{ORC}}\right)}\right) \qquad (5)$$

$$\dot{m}_{gases} = \left(\frac{590}{1{,}2\ x(340 - 180)}\right)$$

$$\dot{m}_{gases} = 3{,}07\ kg/s$$

Isso só poderia ser atingido por motogeradores acima de1400 kW da mesma fabricante do motor escolhido, Wärtsilä.

Assim, qualitativamente uma recuperadora de calor ORC desse modelo é requisitada pela planta. Portanto, uma unidade com essas características, mas de menor capacidade deve ser especificada.

8.2. Chaminé

A chaminé é responsável por conduzir os gases de exaustão à uma altura onde as emissões desses gases de combustão estejam de acordo com regulamentações ambientais. A altura da chaminé é determinada pelo formato da chaminé, topografia do local, condições ambientais e motor da planta (RIBEIRO, 2014).

A chaminé do laboratório deve ser equipada com silenciador, filtros e instrumentação necessária para medir as características dos gases de exaustão como temperatura e composição. Também deve ser projetada para emitir os gases a uma velocidade entre 20 e 30 m/s.

Dois pontos a serem considerados são a temperatura nas paredes interiores da chaminé e a temperatura dos gases. As paredes devem estar a uma temperatura maior que a de orvalho para os gases de exaustão a fim de evitar depósito de resíduos ácidos e desgaste da mesma. A temperatura dos gases deve estar de acordo com o teor de enxofre do mesmo, a fim de evitar a formação de óxidos de enxofre como SO_2 e SO_3. Essa temperatura para o óleo combustível OCB1 está em torno de 180 °C para óleos pesados (RIBEIRO, 2014).

9. A CÉLULA DE TESTE

Segundo Martyr e Plint (2007), uma célula teste é um conjunto de máquinas, equipamentos, instrumentação e serviços trabalhando pelo mesmo propósito. O objetivo de uma célula teste pode variar desde produção energética a análises específicas como o estudo da vibração, do ruído, da lubrificação ou da concentração dos gases de exaustão. Para atingir essa meta, as células testes devem conter uma instrumentação eficiente gerando uma boa aquisição de dados.

As células teste citadas por Martyr e Plint (2007) normalmente são utilizadas para testar diferentes motores de combustão interna, os quais são acoplados a dinamômetros que controlam a carga do motor e permitem variar a rotação do motor durante os testes. No entanto, de uma forma um pouco diferente, a célula teste deste laboratório destina-se a alojar um motogerador específico, nesse caso o A20-685W4L20 / 60 Hz. Assim, a rotação do motor deve ser mantida constante para gerar energia elétrica a 60 Hz de frequência e a carga é controlada pelo carregamento elétrico do gerador, sendo a energia gerada entregue à rede elétrica. Logo na célula teste do laboratório será instalado o motor, o gerador acoplado ao motor e a instrumentação adequada.

Para o estudo da célula teste do laboratório deve-se prever o sistema de segurança da célula, composta por extintores, tela de proteção das paredes e proteção acústica, a instalação de um sistema de monitoramento por câmeras e a ventilação da célula.

9.1. Ventilação da célula teste

Para manter condições de operação aceitáveis para o funcionamento do motor, deve-se prever um sistema de ventilação da célula teste onde o motor será alojado.

Devem-se dimensionar sopradores e extratores de ar da célula teste para retirar o calor gerado pela operação do motor. É aconselhável que esse ar retirado do galpão seja à parte externa do galpão, no meio ambiente.

A quantidade de ar necessária para a ventilação é estimada a partir da emissão de calor total Φ para evacuar. Para determinar Φ, todas as fontes de calor dentro da célula teste devem ser consideradas, por exemplo:

- Perdas por radiação do motor e auxiliares;
- Tubulação de gases de escape;
- Gerador;

- Iluminação;
- Tubulação de vapor e condensado

Recomenda-se considerar uma temperatura do ar exterior não inferior a 35 ° C e um aumento de temperatura de 11 ° C para o ar de ventilação como um coeficiente de segurança a fim de garantir a eficiência do sistema de ventilação.

Em Martyr e Plint (2007), tem-se que a quantidade de ar necessária para a ventilação pode ser calculada usando a Equação 6:

$$q_v = \frac{\Phi}{\rho \times c \times \Delta T} \qquad (6)$$

Onde:

q_v = fluxo de ar [m³ / s]

Φ = emissão de calor total a ser evacuada [kW]

ρ= densidade do ar 1,13 kg / m³

C = capacidade calorífica específica do ar de ventilação 1,01 kJ / kgK

ΔT = aumento da temperatura na sala do motor [°C], 11°C como recomendado anteriormente.

Considerando somente o motogerador dentro da célula teste, o cálculo de ventilação da célula teste somente considerará a dissipação de calor por radiação proveniente do mesmo. Essas taxas estão discriminadas na Tabela 3 e 4 onde tem-se uma dissipação de radiação do motor de 32 kW e do gerador de 35 kW.

Os valores de cada item foram retirados do guia do motogerador fornecido pelo fabricante. Logo, tem-se que para a célula teste do motor deve ser capaz de retirar 67 KW de calor. Aplicando esse dado na fórmula descrita anteriormente tem-se que o sistema de ventilação da célula teste deve ser capaz de fornecer 5,336 m^3/s de ar para resfriar a célula de teste.

$$q_v = \frac{67}{1{,}13 \times 1{,}01 \times 11}$$

$$q_v = 5{,}336 \ {}^{m^3}/_{s}$$

9.2. Vibração e ruído

Na maioria das células testes o próprio motor é a maior fonte de vibração e ruído (MARTYR E PLINT, 2007). Além disso, outras fontes como o sistema de ventilação,

bombas e sistemas de circulação são suprimidas em decorrência do motor (BLANKENSHIP, 2015).

Assim, a fim de atenuar os efeitos de vibração e ruído do motor será usada uma tela acústica em todas as paredes internas da célula teste, como visto na Figura 15, respeitando a NBR-10152 - Níveis de Ruído para Conforto Acústico.

Figura 15 - Tela acústica em uma célula teste.

Fonte: Acervo pessoal.

9.3. Sistema de combate a incêndios

O sistema de combate ao incêndio proteção deve prever uma forma automática de detecção de incêndio e combate ao mesmo. Para tal é necessário que dentro da célula teste exista detectores de chama. Um detector de calor não seria viável, pois o calor de radiação dos equipamentos instalados dentro da sala teste poderia acionar o sistema.

Um detector de chama é um tipo de dispositivo que utiliza sensores ópticos a fim de detectar calor em forma de chamas. São separados por detecção ultravioleta e infravermelha. A ultravioleta consegue detectar em poucos segundos uma chama,

porem pode ser ativadas falsamente por radiação e arcos. Os infravermelhos usam uma câmera térmica para detectar gases quentes. Porém fontes de gases quentes podem disparar o sistema. A solução então é usar um sistema que combine os dois, capaz de detectar as chamas assim que iniciadas (ENESENS, 2017).

As Figuras 15 e 16 mostram um sistema de combate a incêndio instalado no laboratório de teste de motores do IPT.

Figura 16 - Sensor ultravioleta para detecção de chama.

Fonte: Acervo pessoal.

Figura 17 - Sensores infravermelho para detecção de chama.

Fonte: Acervo pessoal.

O laboratório do IPT conta com extintores do tipo F200, Figura 18, um supressor de chamas que utilizado para combater incêndios em áreas industriais. Recomenda-se que o LGT-UFES utilize o mesmo tipo de supressor dada a eficácia do mesmo no laboratório de teste de motores da IPT.

Figura 18 - Tanque de Supressor de chamas F 200.

Fonte: Acervo pessoal.

9.4. Sistema de vídeo monitoramento

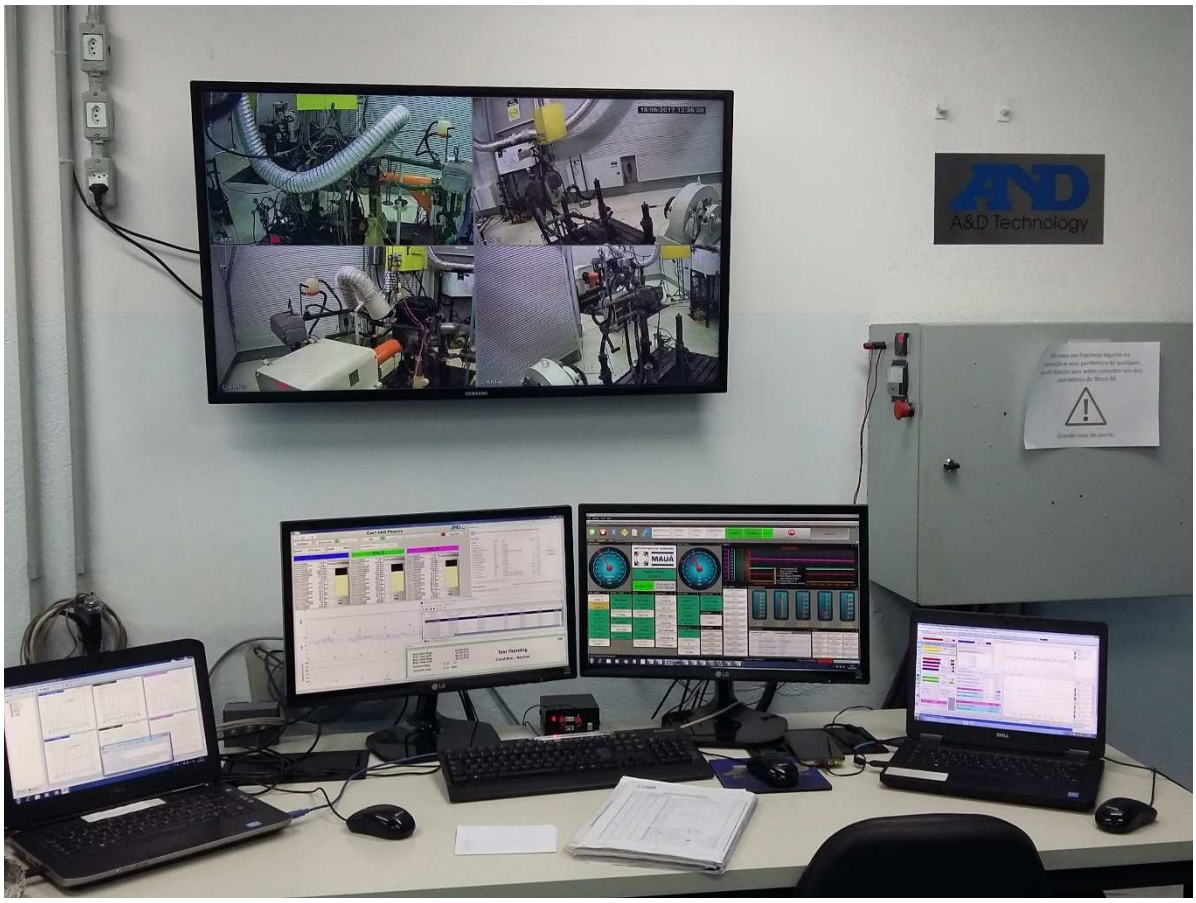
Usualmente a célula teste possui em uma das paredes uma janela para a sala de controle e aquisição de dados onde técnicos e pesquisadores podem acompanhar o processo dentro da célula teste. Porém, esta janela gera efeitos indesejáveis em relação à proteção acústica e segurança. Uma das possíveis soluções, normalmente é instalar uma camada dupla de vidro, ou uma combinação de vidros que gere uma maior proteção.

A solução proposta neste trabalho é a instalação de câmeras na célula teste que gerem imagens em uma televisão dentro da sala de controle e aquisição de dados. Com essas imagens os técnicos e pesquisadores poderão acompanhar o que acontece dentro da célula teste com proteção e a sala poderá conter todos o máximo de proteção acústica possível. As Figuras 19 e 20 mostram esse sistema de vídeo monitoramento em um laboratório de teste de motores semelhante n o Instituto Mauá, em São Paulo.

Figura 19 - Câmeras instaladas dentro da célula teste.

Fonte: Acervo pessoal.

Figura 20 - Imagens de vídeo monitoramento da célula teste na sala de aquisição de dados



Fonte: Acervo pessoal.

10. INSTRUMENTAÇÃO E AQUISIÇÃO DE DADOS

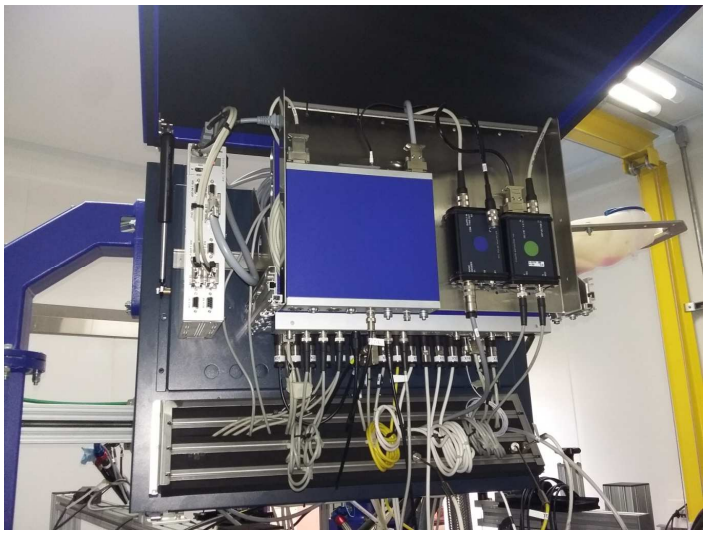
Nos laboratórios de testes de motor é necessário trabalhar com o motor em condições diferentes, seja de modo a comprovar estas alterações na diferença dos resultados, seja a buscar melhorias no desempenho da célula teste. Portanto, para submeter o motor a diversas condições, é fácil de imaginar que é mais eficiente controlar e levantar dados por um módulo de aquisição automática de dados. Além disso, alguns parâmetros não são perceptíveis a um operador comum, bem como demandaria um número muito maior de operadores trabalhando para juntar todas as informações necessárias (ATKINS, 2009).

Não menos importante, o módulo é programado e conectado a outros sensores para alertar, ou desligar o motor, em caso de emergências como o acionamento do alarme de fogo, quando alguns parâmetros atingem um valor crítico, ou quando alguma comporta está aberta deixando o operador vulnerável (MARTYR E PLINT, 2007)

Neste laboratório deve ser previsto um módulo de aquisição de dados da AVL, onde um grupo de sensores para medição de temperatura e pressão nos cilindros do motor selecionado, localizados dentro da célula teste sobre o motor escolhido (Figura 21), recolhe e envia os dados coletados para a sala de controle.

Um módulo foi proposto com base no Laboratório de Motores da Instituição Tecnológica de Aeronáutica (ITA), no qual se utiliza do módulo AVL PUMA COMPACT, como pode ser visto pela Figura 22.

Figura 21 - Grupo de sensores localizados acima do motor no Instituto Tecnológico de Aeronáutica.



Fonte: Acervo pessoal.

Figura 22 - Módulo de controle e aquisição de dados AVL.

Fonte: Acervo pessoal.

11. SALA ELÉTRICA

Sistemas elétricos em plantas de geração de energia elétrica utilizam de painéis de comando central a fim de gerenciar geradores, painéis de comando locais, disjuntores do sistema de distribuição de energia, bem como, a sincronização na rede local (SACRAMENTO, 2011). O painel de comando comum utiliza-se, principalmente, de um Controlador Lógico Programável (CLP), que é responsável por controlar e supervisionar toda a parte elétrica do laboratório, com a ajuda de painéis locais.

Neste laboratório é previsto uma sala elétrica de 13,11 m², conforme mostra a Figura 3, com acesso direto ao galpão. A sala elétrica deve conter painéis locais para os equipamentos do processo, ligações para remotas, quando necessário, e painel de sincronismo para abastecimento da rede externa.

Também deve ser previsto um sistema de proteção, formado por sensores, relés e sistemas de alarme para o desligamento do motor em caso de iminência de falhas ou falhas graves (SACRAMENTO, 2011).

Também é necessário se fazer o sincronismo para que o laboratório possa ser interligado à rede externa, ou seja, a rede de 11,4 kV da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Este sistema de sincronismo é provido de equipamentos que fazem todo o processo de regulação da tensão, frequência e fase da geração para que esses parâmetros sejam idênticos aos da rede.

Um painel de sincronismo é energizado e identifica a tensão e a frequência da rede. Após identificação desses parâmetros a velocidade de rotação do motogerador deve ser ajustada para que a frequência fique próxima à da rede, e a excitação da máquina é ajustada para que a tensão também se aproxime do sistema ao qual se quer fornecer energia. Esses ajustes podem ser manuais ou feitos por um controle interligado entre o painel de sincronismo e o motogerador.

Uma vez que a tensão e frequência são reguladas, é necessário que a sequência de fases seja idêntica à da rede para sincronizar. Para tal é necessário o uso de um sequenciador de fases, aparelho que irá ler a sequência de fases da rede e direcionar o ajuste da máquina geradora para o gerador atingir as mesmas características da rede.

12. COMENTÁRIOS FINAIS

Este é uma concepção inicial do Laboratório de Geração Termelétrica LGT-UFES. Como tal, é necessário estudos posteriores para o detalhamento de alguns equipamentos, sistemas e subsistemas supracitados para a continuação do projeto do laboratório.

Neste trabalho é detalhado o possível motogerador, unidade condicionadora de ar de admissão e uma unidade recuperadora de calor proveniente dos gases de exaustão por ciclo Rankine orgânico, determinados como principais pontos de estudo para avaliação do uso de motores de combustão interna na geração de energia elétrica.

É difícil de se estabelecer um custo de implantação de forma concreta para usinas termelétricas, porém a tabela 10 apresentada pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, apresenta alguns custos de implantação mais recentes de algumas usinas termelétricas.

Tabela 10 - Custo em R$/kW instalado em usinas termelétricas.

Usina UTE	Potência - MW	Investimento Total R$ Milhões	Custo em R$/kW instalado	Combustível
Passa Tempo	67,8	139,71	2.061,0	Biomassa
Interlagos	40,0	70,00	1.750,0	Biomassa
Candiota III	350,0	1.500,0	2.857,0	Carvão
Baixada Fluminense	530,0	986,30	1.861,0	Gás
Maranhão III	499,2	1.100,00	2.204,0	Gás
Custo Médio em R$/kW			**2.147,0**	

Fonte: Elaboração própria com base em dados coletados da CCEE (2011).

Usando como base o valor de custo médio apresentado, R$2147,00, para o laboratório que visa gerar 685 kWh, tem-se um custo de implantação igual a R$ 1.470.695,00. Esse valor é somente indicativo devido às diversas configurações e especialidades que as usinas podem ter. Um orçamento detalhado dos equipamentos é necessário para um valor consolidado.

Portanto, para a continuação do mesmo, é necessária a especificação dos equipamentos seguindo as orientações apresentadas neste projeto conceitual, como a unidade condicionadora de combustível, o tanque de armazenamento de combustível, o radiador a ar remoto, o módulo de instrumentação e aquisição de dados, as condições da célula-teste e a sala elétrica.

Além disso, deixa-se em aberto a possibilidade do uso de outros recuperadores de calor, como *chillers* de absorção, torres de resfriamento, bem como, de estudos posteriores da utilização de fontes alternativas de energia como placas solares e energia eólica.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ANP, **Óleo Combustível**, 2016a. Disponível em <http://www.anp.gov.br/wwwanp/petroleo-derivados/155-combustiveis/1858-oleo-combustivel>. Acesso em: 23 de junho de 2017

ANP, **Óleo Diesel**, 2016b. Disponível em <http://www.anp.gov.br/wwwanp/petroleo-derivados/155-combustiveis/1857-oleo-diesel>. Acesso em: 23 de junho de 2017

ATKINS, Richard D. **An introduction to engine testing and development**. SAE Technical Paper, 2009.

ASHRAE, Handbook. **HVAC Applications**. Cap. 15, 2007.

BLANKENSHIP, G. Wesley. **Engine test cell** U.S. Patent Application No. 14/676,910., 2015.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Secretaria de Inspeção do Trabalho. Departamento de Segurança e Saúde no Trabalho. **Segurança e saúde no trabalho com inflamáveis e combustíveis: NR-20**. Brasília. SIT/DSST, 2012

CATALDO, F., MASTRULLO, R., MAURO, A. W., VANOLI, G. P. **Fluid selection of Organic Rankine Cycle for low-temperature waste heat recovery based on thermal optimization.** Energy. 2014. Disponível em www.elsevier.com/locate/energy. Acesso em: 8 abr. 2017.

ENESENS, **Detectores de chamas e suas Tecnologias**, 2017. Disponível em <http://www.enesens.com.br/detectores-de-chamas-e-suas-tecnologias/>. Acesso em: 13 de junho de 2017.

FEV™. **AirCon – Combustion Air Conditioning System**. 2016

FOX, Robert W. Pritchard, P. J., and McDonald, A. T. **Introdução À Mecânica Dos Fluidos .** Grupo Gen-LTC, 2000.

GEA, **Fuel Oil Treatment and Conditioning for Engine-Based Power Plants**, 2017, Disponível em <http://www.gea.com/en/applications/utilities/power/diesel-engine-power-plants_fuel-oil-treatment%20and%20Conditioning.jsp>. Acesso em: 03 de abril de 2017.

KUIKEN, Kees. **Diesel Engines: for ship propulsion and power plants from 0 to 100,000 kW.** Target Global Energy Training, 2012.

MARTYR, A. J., PLINT, M. A. **Engine Testing Theory and Practice**. Oxford: Elsevier, 2007.

MENEZES, L.C. OLIVEIRA, D. S., SILVA, M. A. P., SILVA, G. C., MARQUES, E. P., ROLEMBERG, M. P., MARQUES, A. L. B., LACERDA, C. A. **Avaliação da qualidade de óleos combustíveis pesados utilizados em usinas termelétricas**. 2015.

MORAN, M. J., SHAPIRO, H. N., BOETTNER, D. D. **Princípios de termodinâmica para engenharia**. Grupo Gen-LTC, 2000.

PETROBRÁS, **Óleo Combustível: Informações Técnicas**. 2013

QUOILIN, Sylvain et al. **Techno-economic survey of Organic Rankine Cycle (ORC) systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 22, p. 168-186, 2013.

RIBEIRO, C. C. **Desenvolvimento de um sistema de informação para monitoramento e diagnóstico de desempenho termodinâmico de uma central termelétrica com motores de combustão interna**. 2014

SACRAMENTO, J. M. **Estudo de uma usina termelétrica com motor de combustão interna Wärtsilä**. 2011

SILVA, José Antônio da. **Estudo dos processos de admissão e exaustão utilizando ensaio experimental e simulação de um motor de combustão interna**

a etanol aspirado e turbo alimentado. 2004. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

TRIOGEN™. **Triogen Specification: Engine Application**. Netherlands. 2016

WÄRTSILÄ™. **Wärtsilä Auxpac 20 Product Guide**. Finland. 2017

ANEXO 1 – Dados técnicos motores *Wärtsilä*

3.1.2 Wärtsilä Auxpac 20, 900 rpm / 60 Hz

Wärtsilä Auxpac		520W4L20 / 60 Hz	520W4L20 / 60 Hz	685W4L20 / 60 Hz	685W4L20 / 60 Hz	760W6L20 / 60 Hz	760W6L20 / 60 Hz
Engine speed	rpm	900	900	900	900	900	900
Engine output	kW	548	548	721	721	800	800
Mean effective pressure	MPa	2.08	2.08	2.73	2.73	2.02	2.02
IMO compliance		IMO Tier 2	IMO Tier 3	IMO Tier 2	IMO Tier 3	IMO Tier 2	IMO Tier 3
Combustion air system (Note 1)							
Flow of air at 100% load	kg/s	1.15	1.15	1.45	1.45	1.68	1.87
Temperature at turbocharger intake, max	°C	45	45	45	45	45	45
Temperature after air cooler (TE 601)	°C	50...70	50...70	50...70	50...70	50...70	50...70
Exhaust gas system (Note 2)							
Flow at 100% load	kg/s	1.18	1.18	1.49	1.49	1.72	1.91
Flow at 85% load	kg/s	1.02	1.02	1.29	1.28	1.48	1.66
Temp. after turbocharger at 100% load (TE 517)	°C	336	340	340	340	322	340
Temp. after turbocharger at 85% load (TE 517)	°C	344	344	334	340	331	340
Backpressure, max.	kPa	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Calculated exhaust diameter for 35 m/s	mm	271	272	306	306	324	346
Heat balance at 100% load (Note 3)							
Jacket water	kW	130	130	155	154	192	193
Charge air (LT-circuit)	kW	137	137	237	237	197	197
Lubricating oil	kW	104	104	115	115	138	138
Radiation, etc	kW	32	32	32	32	45	45
Fuel system (Note 4)							
Pressure before injection pumps (PT 101)	kPa	700±50	700±50	700±50	700±50	700±50	700±50
Pressure before injection pumps, unifuel system	kPa	1000±50	1000±50	1000±50	1000±50	1000±50	1000±50
HFO viscosity before injection pumps	cSt	16...24	16...24	16...24	16...24	16...24	16...24
HFO viscosity before injection pumps, unifuel system	cSt	12...24	12...24	12...24	12...24	12...24	12...24
Max. HFO temperature before engine (TE 101)	°C	140	140	140	140	140	140
MDF viscosity, min.	cSt	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
Max. MDF temperature before engine (TE 101)	°C	45	45	45	45	45	45
Fuel consumption at 100% load	g/kWh	196.6	198.2	196.8	197.8	191.6	193.2
Fuel consumption at 85% load	g/kWh	200.6	201.1	195.4	197.3	193.8	194.8
Fuel consumption at 75% load	g/kWh	204.9	204.9	196.9	198.2	196.0	196.0
Fuel consumption at 50% load	g/kWh	216.6	217.6	209.0	209.0	204.2	205.2
Clean leak fuel quantity, HFO at 100% load	kg/h	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6
Lubricating oil system							
Pressure before engine, nom. (PT 201)	kPa	450	450	450	450	450	450
Priming pressure, nom. (PT 201)	kPa	80	80	80	80	80	80
Temperature before bearings, nom. (TE 201)	°C	66	66	66	66	66	66
Temperature after engine, about	°C	78	78	78	78	78	78
Pump capacity (main), engine driven	m³/h	25	25	25	25	32	32

Wärtsilä Auxpac		520W4L20 / 60 Hz	520W4L20 / 60 Hz	685W4L20 / 60 Hz	685W4L20 / 60 Hz	760W6L20 / 60 Hz	760W6L20 / 60 Hz
Priming pump capacity	m³/h	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5
Oil volume, nom.	m³	0.41	0.41	0.41	0.41	0.76	0.76
Filter fineness, mesh size	mi-crons	25	25	25	25	25	25
Oil consumption at 100% load, about	g/kWh	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Crankcase ventilation flow rate at full load	l/min	520	520	520	520	780	780
Crankcase ventilation backpressure, max.	kPa	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
High temperature cooling water system							
Pressure at engine, after pump, nom. (PT 401)	kPa	200 + static	200 + static	200 + static	200 + static	200 + static	200 + static
Pressure at engine, after pump, max. (PT 401)	kPa	500	500	500	500	500	500
Temperature before cylinders, approx. (TE 401)	°C	83	83	83	83	83	83
Temperature after engine, nom.	°C	91	91	91	91	91	91
Capacity of engine driven pump, nom.	m³/h	19.5	19.5	19.5	19.5	29.0	29.0
Pressure drop over engine	kPa	90	90	90	90	90	90
Pressure drop in external system, max.	kPa	120	120	120	120	120	120
Pressure from expansion tank	kPa	70...150	70...150	70...150	70...150	70...150	70...150
Engine water volume	m³	0.08	0.08	0.08	0.08	0.105	0.105
Low temperature cooling water system							
Pressure at engine, after pump, nom. (PT 451)	kPa	200 + static	200 + static	200 + static	200 + static	200 + static	200 + static
Pressure at engine, after pump, max. (PT 451)	kPa	500	500	500	500	500	500
Temperature before engine (TE 451)	°C	25...38	25...38	25...38	25...38	25...38	25...38
Capacity of engine driven pump, nom.	m³/h	22.5	22.5	22.5	22.5	34.0	34.0
Pressure drop over charge air cooler	kPa	30	30	30	30	30	30
Pressure drop over thermostatic valve	kPa	30	30	30	30	30	30
Pressure drop over oil cooler	kPa	30	30	30	30	30	30
Pressure drop in the external system, max.	kPa	120	120	120	120	120	120
Pressure from expansion tank	kPa	70...150	70...150	70...150	70...150	70...150	70...150
Starting air system							
Pressure, nom.	kPa	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Pressure, max	kPa	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Pressure, min	kPa	1800	1800	1800	1800	1800	1800
Starting air consumption, start (successful)	Nm³	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
Generator data (Note 5)							
Generator brand		Fenxi	Fenxi	Fenxi	Fenxi	Fenxi	Fenxi
Frequency	Hz	60	60	60	60	60	60
Rated output	kVa	650	650	856	856	950	950
Voltage	V	450	450	450	450	450	450
Rated current	A	834	834	1098	1098	1219	1219
Power factor		0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
CT/Ratio		1500/5 5P10, 20 VA	1500/5 5P10, 20 VA			1500/5 5P10, 20 VA	1500/5 5P10, 20 VA
Temperature rise		F	F	F	F	F	F
Insulation class		F	F	F	F	F	F
Xd (Unsaturated)	p.u	3.69	3.69	3.18	3.18	4.22	4.22
X'd (Saturated)	p.u	0.23	0.23	0.18	0.18	0.21	0.21

Wärtsilä Auxpac		520W4L20 / 60 Hz	520W4L20 / 60 Hz	685W4L20 / 60 Hz	685W4L20 / 60 Hz	760W6L20 / 60 Hz	760W6L20 / 60 Hz
X"d (Saturated)	p.u	0.13	0.13	0.11	0.11	0.11	0.11
Td'	s	0.081	0.081	0.085	0.085	0.084	0.084
Td''	s	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
Ta	s	0.021	0.021	0.025	0.025	0.0209	0.0209
Heat dissipation of air cooled generator	kW	34	34	35	35	46	46

Notes:

Note 1 At ISO 15550 conditions (ambient air temperature 25°C, LT-water 25°C) and 100% load. Flow tolerance 5%.

Note 2 At ISO 15550 conditions (ambient air temperature 25°C, LT-water 25°C). Flow tolerance 5% and temperature tolerance 10°C.

Note 3 At ISO 15550 conditions (ambient air temperature 25°C, LT-water 25°C) and 100% load. Tolerance for cooling water heat 10%, tolerance for radiation heat 30%. Fouling factors and a margin to be taken into account when dimensioning heat exchangers.

Note 4 At ambient conditions according to ISO 15550. Lower calorific value 42 700 kJ/kg. With engine driven pumps (two cooling water + one lubricating oil pump). Tolerance 5%.

Note 5 Acc. to IEC 34.

Subject to revision without notice.

ANEXO 2 – Dados técnicos do modelo AirCon da FEV

AirCon

Combustion Air Conditioning System

Combustion air pressure, temperature and humidity have a significant influence on an internal combustion engine's power output and exhaust emissions. To gain a good reproducibility of measuring results, and with this an increased test cell utilization these conditions have to be kept constant within narrow limits.

The combustion air conditioning system FEV AirCon meets this demand by controlling the combustion air temperature, pressure and humidity (option) independently of climatic and engine operating conditions.

The control and regulation of the system is performed by an on-board controller mounted in the control cabinet. For communication with the test bench computer several interfaces (TCP/IP-CSM, TCP/IP-AK, EtherCat, CANraw, ProfiBus) are available which enable direct connection to test bench computers that support these interfaces. A discrete interface (option) enables simple communication with the system by means of analogue and digital signals.

For quality assurance we supply the FEV AirCon pre-commissioned and with pre-defined PID parameters to guarantee quick and easy installation on site.

Your benefits

- Stable experimental conditions reduce test cell time
- Wheel base enables flexible use at different test cells
- Simple operation
- Low maintenance
- Wide range of application

CONTACT
FEV GmbH
Neuenhofstraße 181
52078 Aachen, Germany
phone +49 241 5689-0
fax +49 241 5689-119
e-mail marketing@fev.com

AirCon/E/SOFTWARE AND TESTING SOLUTIONS/I/2016

AirCon

Combustion Air Conditioning System

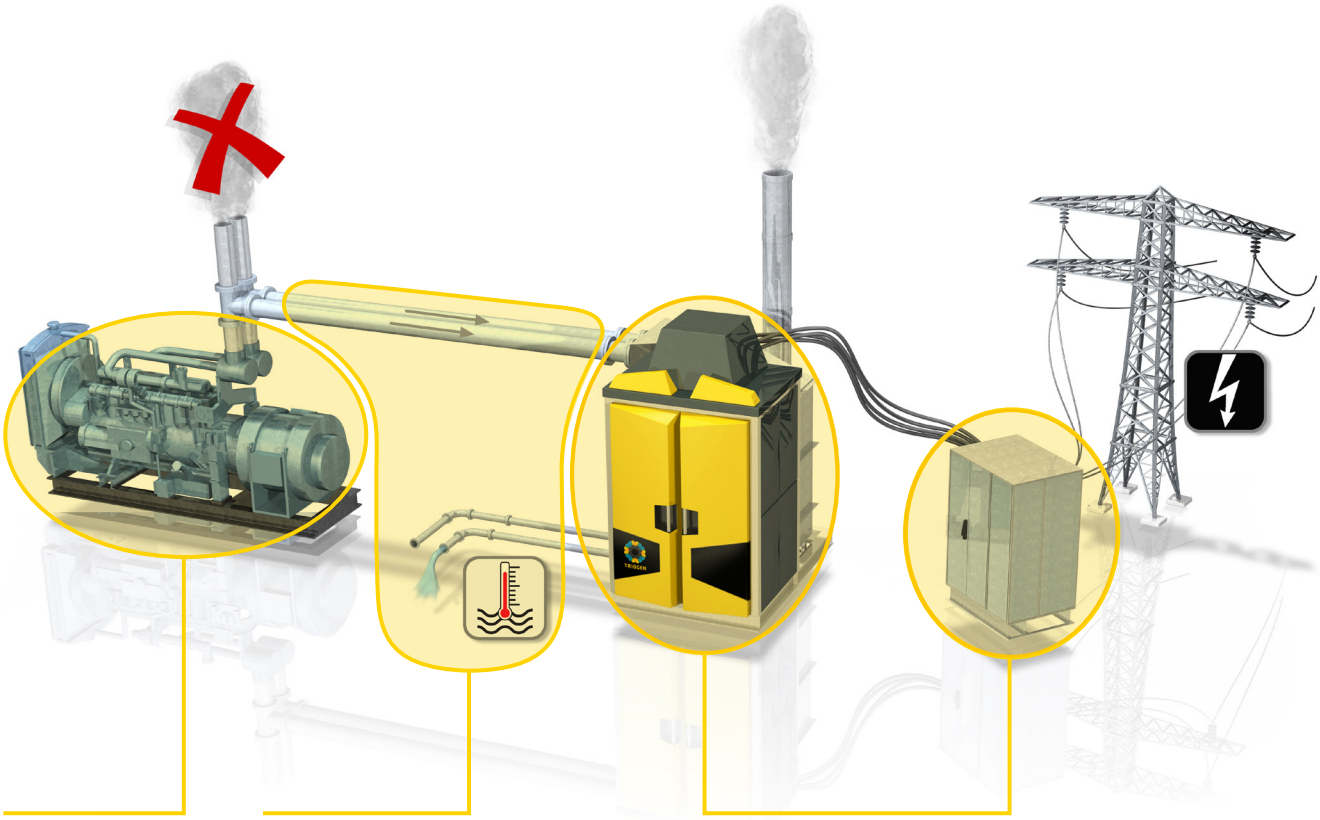
Technical Data

AirCon capacity	
Air flow[1)2)]	60 … 800 kg/h 120 … 1.500 kg/h 150 … 2.400 kg/h 180 … 3.000 kg/h
Ambient Conditions	
Temperature range Max. humidity at 35°C Min. humidity	10°C… 35 °C[3] 40% r.H. (14 g H_2O/kg air) 7,5 g H_2O/kg air
Combustion air temperature	
Adjustable temperature range[4] Temperature setting accuracy[6] Max. stabilization time after a flow change of 75% of max. flow; no setpoint change	20°C… 60 °C[5] ± 1 K < 60 sec
Pressure (only AirCon -TP und -H)	
Adjustable pressure range Pressure setting accuracy Max. stabilization time after a flow change of 75% of max. flow; no setpoint change	Ambient pressure +/- 100 mbar ± 1 mbar < 30 sec
Humidity (only AirCon -H)	
Adjustable humidity range Humidity setting accuracy Max. stabilization time after a flow change of 75% of max. flow; no setpoint change	8… 12 g H_2O/kg air[7] ± 3 % r. H. < 120 sec
Engine Adaptation	
Max. length of intake air course	10 m
Dimensions (depending on AirCon capacity)	
Length Width Height Weight [kg]	1.500 to 3.600 mm 855 to 1.000 mm 1.920 to 2.005 mm approx. 1.000 to 2.800 kg
Media supply	
Electrical power supply[8] (400V/50Hz) Chilled water supply 6/12°C[9] , approx. Water supply for humidity control Demineralised water Compressed air	Up to 108 kW 1,7 to 30 m^3/h 10 to 40 kg/h 100 l/min at 6 bar; dry and free of oil

[1)] Other ranges on request
[2)] Lower flow ranges possible with bypass module
[3)] Temperature range expansion to -15°C upon request
[4)] Cooling media 6°C
[5)] Expansible upon request
[6)] AirCon outlet, under steady state conditions
[7)] Expansible upon request
[8)] 480V, 60Hz on request
[9)] Glykol mixture (40% Glykol/60% Water)

ANEXO 3 – Dados técnicos da recuperadora de calor WB1 Power da Tri-o-gen

SPECIFICATION: ENGINE APPLICATION



Heat source:
Customer supply

Periphery (flue gas, pipes, valves, heat rejection system, etc):
Supplied by Triogen or local Partner

ORC (Process room, incl. Turbine, evaporator, control cabinet):
Triogen supply

DIMENSIONS

Triogen ORC (all versions)/ Process Room	
Height	4 m
Width	2.4 m
Length	2 m
Weight	≈ 6000 kg

Triogen Evaporator	
Height	Customer specific (up to 5m)
Width	2.4 m
Length	Customer specific (up to 2m)
Weight	3000–7000 kg

Control Cabinet	
Height	2.2 m
Width	1.8 m
Length	1.2 m
Weight	2000 kg

CODES AND STANDARDS

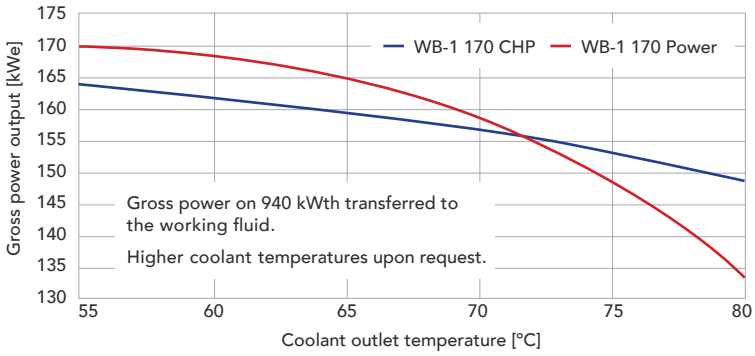
The Triogen ORC is CE marked, it complies to:

- The Pressure Equipment Directive (PED) – third party, notified body: Lloyds' Register
- The Machinery Directive (MD)
- The Low Voltage Directive (LVD)
- The Electromagnetic Compability directive (EMC)

TECHNICAL DATA TRIOGEN ORCs
ENGINE APPLICATION

PERFORMANCE	WB-1 170 Power	WB-1 170 CHP	WB-1 100 Power
Thermal input:			
Flue gas temperature in	350–530 °C	350–530 °C	350–530 °C
Flue gas temperature out	180–220 °C	180–220 °C	180–220 °C
Thermal input (heat transferred to ORC):	940 kW	940 kW	590 kW
Thermal output:			
Temperature in/out	35 °C/55 °C	60 °C/80 °C variable	35 °C/55 °C
Thermal output	680 kW	680 kW	400 kW
Electrical Performance:			
Gross power	170 kW	145 kW	100 kW
Own consumption in ORC	5 kW	5 kW	5 kW
Net power	165 kW	140 kW	95 kW
Gross efficiency	18.1%	15.4%	17%

Power production for the WB-1 170 CHP and WB-1 170 Power configurations (indicative values)



SYSTEM CHARACTERISTICS	
Heat source	Flue gas, hot air or fumes
Heat rejection	Liquid: water/glycol mixture
Turbine	Radial, single stage 18,000–28,000 rpm
Working fluid	Toluene (C_7H_8)
Bearing	Hydrodynamically lubricated with working fluid
Placement	Indoors or outdoors (IP55/UV protected); water level floor
Operating Pressure	32 bar
Control	Sophisticated control system with redundant PLC for unsupervised operation
Monitoring	Remote and locally controlled and monitored (SCADA system)
Generator	High speed asynchronous, variable speed
Inverter	Active front end
Electrical connection	400V, 50Hz, 400 A, 3 phase Grid code compliance (G59, CEI 0–16 etc.)
Exhaust gas pressure drop	ORC: under 15 mbar Max system back pressure on engine <40 mbar
Engine interaction	No implication on engine performance and maintenance intervals; Fully compatible with all major engine brands, engine warranties remain valid

December 2016

TRIOGEN BV • Nieuwenkampsmaten 6-01 • 7472 DE Goor • P.O. Box 25 • 7470 AA Goor • The Netherlands
Tel: +31(0)547 820900 • Fax: +31(0)547 820919 • info@ triogen.nl • www.triogen.nl