



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia Mecânica

**Concepção de uma instalação frigorífica com
atmosfera controlada para a conservação de uvas de
mesa**

RUI PEDRO LEITÃO BEITES
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Orientadores:

Prof. António Manuel Matos Guerra
Prof. Francisco Manuel Gonçalves dos Santos

Júri:

Presidente:

Prof. Doutor Jorge Filipe Mendonça e Costa

Vogais:

Prof. Especialista Eduardo António O. Vicente Nunes
Prof. Especialista Francisco Manuel Fernandes Severo
Prof. Especialista Francisco Manuel Gonçalves dos Santos
Prof. António Manuel Matos Guerra (aposentado)

Novembro de 2013

Agradecimentos

Aos professores António Manuel Matos Guerra e Francisco Manuel Gonçalves dos Santos, pela sua orientação, apoio e disponibilidade durante a execução do trabalho.

Aos meus amigos e á minha família pelo apoio, quer pelo seu incentivo quer pela colaboração.

Resumo

Este Trabalho Final de Mestrado consiste na concepção de uma instalação frigorífica com atmosfera controlada com o objectivo de armazenar uvas de mesa.

Em primeiro lugar estudou-se os factores que influenciam na concepção da instalação, quer a nível interno e externo. Também foi feito um estudo do produto, como o seu processo de amadurecimento, a sua respiração, e produção de etileno, factores fundamentais em atmosfera controlada.

De seguida foi dimensionada a instalação, com atenção ao seu revestimento térmico e foram desenhados os esquemas de princípio simples.

Foi feito o balanço térmico da instalação, assim como todos os cálculos que permitiram a selecção dos equipamentos das câmaras, do tanque de pré-arrefecimento, e da atmosfera controlada.

Por fim fez-se uma análise dos custos que uma atmosfera controlada tem, assim como o seu benefício em prolongar o estado são de produto, comparado ao que este duraria em atmosfera controlada.

Palavras-Chave

Atmosfera controlada, R134a, uva de mesa, instalação frigorífica, produto refrigerado.

Abstract

This final master's degree project consists on the design of a refrigeration facility on a controlled atmosphere, for storage of grapes for consumption.

First, it was studied the main factors that influence in the same design, internally or externally. It was studied the product as well, such as its maturation, breathing process, and ethylene production, crucial factors to the controlled atmosphere.

It was then dimensioned the facility, with special caution to its coating, and was drawn plain layout schemes.

Also, it was made the thermal balance of the facility, as well as all calculations to allow choosing all equipment related to the refrigeration chamber, the pre-cooling tank and the controlled atmosphere.

Finally, it was made an analysis on the costs of the controlled atmosphere, as well as its benefit of extend the consumption durability of the product, compared to what it would last in a normal atmosphere.

Key Words

Controlled atmosphere, R134a, consumption grape, refrigeration facility, refrigerated product.

Lista de abreviaturas

BOC – British Oxygen Company

CFC – Clorofluorcarbonato

RQ – Coeficiente de respiração

IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera

ANC – Aglomerado negro de cortiça

R134a – Tetrafluoroetano

CO_2 – Dióxido de carbono

O_2 – Oxigénio

N_2 – Azoto

AC – Atmosfera controlada

EDP – Energias de Portugal

Lista de símbolos

Cargas térmicas (geral) e outros cálculos

e – Espessura do painel [m]

Q – energia [J]

\dot{Q} – Carga térmica [kW]

m – massa de fluido frigorífico [kg]

c_p – Calor específico [J/kg.K]

Δt – Diferencial térmico de temperaturas [°C]

\dot{V} – Caudal volumétrico [m^3/s]

v – Volume específico [m^3/kg]

C – velocidade da tubagem [m/s]

A – secção da tubagem [m^2]

D – diâmetro da tubagem [pol]

U – coeficiente de transmissão de calor [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]

S – superfície da parede considerada [m^2]

v_f – Volume específico para a linha de líquido saturado [m^3/kg]

v_g – Volume específico para a linha de vapor saturado [m^3/kg]

\dot{x} – Grau de mistura

Cargas térmicas através das paredes, tecto e pavimento Q_1

$\sum_{i=1}^n \frac{e_i}{k_i}$ – Somatório das resistências térmicas de condução das diferentes

camadas de materiais que constituem a parede [$m^2 \cdot ^\circ C/W$]

K – condutividade térmica da parede [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]

$\frac{1}{h_i}$ – Resistência térmica de convecção na superfície interna [$m^2 \cdot ^\circ C/W$]

$\frac{1}{h_e}$ – Resistência térmica de convecção na superfície externa [$m^2 \cdot ^\circ C/W$]

Cargas térmicas devido à renovação do ar Q_2

Δh – Diferença entálpica entre o interior e exterior da câmara [J/kg]

V_{dia} – Caudal volumétrico diário de ar exterior [m^3/kg]

n – taxa de renovação do ar

V – volume da câmara [m^3]

Cargas térmicas devido á abertura das portas Q_3

t_{ab} – Tempo de abertura de portas [min/h]
 v_{int} – Volume específico do ar interior [m^3/kg]
 L – largura da porta [m]
 H – altura da porta [m]
 A – coeficiente de correcção
 C – coeficiente minorante devido á presença de Cortina de ar ou lamelas
 h_{ext} – Entalpia do ar exterior [kJ/kg]
 h_{int} – Entalpia do ar interior [kJ/kg]
 v_{ext} – Volume específico do ar exterior [m^3/kg]
 d_{ton} – Duração média de abertura das portas para permitir a passagem de uma tonelada [minutos]
 f_d – Fluxo diário de produto [toneladas]

Carga térmica devido a iluminação Q_4
 n – número de lâmpadas
 P – Potência de cada lâmpada [W]
 t – tempo de funcionamento das lâmpadas (horas/dia)

Carga térmica devido ao pessoal da estiva Q_5
 n – número de pessoas na estiva
 q – calor libertado por pessoa [W]
 t – tempo de permanência na câmara [horas/dia]

Carga térmica do empilhador Q_6
 n – número de empilhadores
 P – potência do empilhador [W]
 t – tempo de permanência na câmara [horas/dia]

Carga térmica devido á entrada de novo produto Q_7
 \dot{m} – Massa de produto introduzido por dia [kg]
 c_p – Calor específico da uva acima do ponto de congelação [J/kg.°C]
 Δt – Diferencial térmico entre o produto pré-arrefecido e a temperatura da câmara [°C]

Carga térmica derivada ao calor de respiração de produto Q_8
 \dot{m} – Massa do produto [tonelada]
 q_{resp} – Valor do calor de respiração da uva [J/ton.h]

Evaporadores

Q_{sm} – Capacidade do evaporador usando a diferença média aritmética de temperaturas (D_{tm}) [kW]

RC_m – Factor de correcção que relaciona DT_m com a temperatura da câmara

Q_{01} – Capacidade do evaporador usando a diferença de temperaturas técnica (DT_1) [kW]

RC_1 – Factor de correcção que relaciona a DT_1 com a temperatura de entrada no evaporador

FC_1 – Factor de correcção do refrigerante (R134a)

FC_2 – Factor de correcção do material das alhetas

h_g – Valor da entalpia na linha de vapor saturado [kJ/kg]

\dot{m} – Caudal de fluido [kg/s]

\dot{Q}_L – Potência total de evaporação [kW]

Condensadores

\dot{Q}_H – Potência do condensador [kW]

CTR – calor de rejeição total [kW]

Q – capacidade frigorífica [kW]

P_{abs} – Potência absorvida pelo compressor [kW]

FR – Coeficiente de correcção que relaciona a temperatura de condensação, a temperatura de evaporação e o tipo de compressor; hermético (H), aberto (A) e semi-hermético (S)

TC – temperatura de condensação [°C]

TE – temperatura de evaporação [°C]

Q_0 – Potência corrigida do condensador [kW]

$Q_{@DT=15k}$ – Capacidade nominal do condensador [kW]

TA – temperatura ambiente [°C]

FC1 – factor de correcção do refrigerante (R134a)

FC2 – factor de correcção do material das alhetas

FC3 – factor de correcção da temperatura ambiente

FC4 – factor de correcção da altitude

Compressores

\dot{Q}_C – Potência do compressor [kW]

\dot{V} – Caudal volumétrico [m^3/h]

v_1 – Volume específico do fluido no estado de compressão [m^3/kg]

Q_0 – Potência frigorífica [kW]

P_e – Potência absorvida [kW]

Índice

1. Objectivos	1
2. Introdução	2
2.1. História do frio	2
2.2. Objectivos da produção de frio	2
3. Factores de concepção da câmara frigorífica	4
3.1. Factores de concepção externos	4
3.2. Factores de concepção internos	5
3.3. Natureza do produto a conservar	7
3.3.1. Composição da uva	7
3.3.2. Fases de amadurecimento	8
3.3.3. Inibidores de respiração	9
4. Dimensionamento da instalação frigorífica	10
4.1. Planta da instalação	10
4.2. Diagrama da instalação	10
4.3. Características psicrométricas do local	11
4.4. Revestimentos	12
4.4.1. Espessura dos painéis	12
4.4.2. Pavimento	13
4.5. Cargas térmicas	14
4.5.1. Volume total e volume útil da câmara	15
4.5.2. Altura da paletização	15
4.5.3. Capacidade de produto da instalação frigorífica	16
4.5.4. Tanque de pré-arrefecimento	16
4.5.5. Dimensões do tanque	17
4.5.6. Altura do tanque	18
4.5.7. Área do tanque	18
4.6. Equipamento do tanque	20
5. Balanço térmico	24
5.1. Câmara 1	25
5.2. Câmara 2	35
5.3. Câmara 3	37

6. Selecção de equipamentos para as câmaras	39
6.1. Selecção de evaporadores.....	39
6.1.1. Caudal de fluido	47
6.2. Potência do condensador	48
6.3. Potência do compressor.....	48
6.4. Selecção do condensador	50
6.5. Selecção do compressor	54
6.6. Ciclo Teórico.....	56
6.7. Tubagens	58
6.7.1. Cálculo de velocidades e diâmetros nas tubagens.....	60
6.7.2. Velocidades corrigidas	63
6.8. Válvulas.....	67
6.8.1. Válvula solenoide.....	67
6.8.2. Válvulas de expansão	68
6.8.3. Válvulas de corte	69
6.8.4. Válvulas de retenção	70
6.8.5. Válvula de purga	72
6.9. Pressostatos	73
6.10. Visores de líquido.....	75
6.11. Filtro secador.....	76
6.12. Depósito de líquido	78
6.13. Separador de óleo	80
7. Atmosfera controlada	82
7.1. Funcionamento da AC.....	83
7.2. Equipamento da AC	83
7.2.1. Absorvedor de CO₂	83
7.2.2. Catalisador de etileno	84
7.2.3. Gerador de N₂ /queimador de O₂	85
7.2.4. Equipamento de controlo e gestão dos níveis de gases	86
7.2.5. Válvula equalizadora de pressão	88
8. Estudo comparativo.....	89
8.1. Custos da atmosfera controlada.....	89
8.2. Durabilidade e custo da fruta	90

8.3. Eficiência, vantagens e desvantagens.....	91
8.3.1. Eficiência.....	91
8.3.2. Vantagens e desvantagens.....	91
9. Bibliografia	93
ANEXOS.....	97

Índice de figuras

Figura 1 - Composição da uva.....	7
Figura 2- Caixa de fruta normalizada.....	14
Figura 3 - Palete normalizada.....	14
Figura 4 - Chiller para circuito de água do tanque de pré-arrefecimento.....	21
Figura 5 - Características técnicas do recirculador do tanque de pré-arrefecimento.....	22
Figura 6 - Exemplo de grua montada em empilhador	22
Figura 7 - Troços de parede e temperaturas adjacentes da câmara 1	26
Figura 8 - Potência do empilhador eléctrico.....	31
Figura 9 - Troços de parede e temperaturas adjacentes da câmara 2	35
Figura 10 - Troços de parede e temperaturas adjacentes da câmara 3.....	37
Figura 11 - Evaporador Centauro Gama MT.....	40
Figura 12 - Ilustração do diferencial de temperaturas	41
Figura 13 - Capacidade Q_{sm}	42
Figura 14 - Factor de correcção RC_m	42
Figura 15 - Factor de correcção FC_1	43
Figura 16 - Factor de correcção FC_2	43
Figura 17 - Capacidade do evaporador Q_{s1}	44
Figura 18 - Factor de correcção RC_1	44
Figura 19 - Selecção do evaporador	45
Figura 20 Dimensões do evaporador (valores).....	46
Figura 21 - Dimensões do evaporador (desenho).....	46
Figura 22 - Condensador Centauro Gama ACI.....	50
Figura 23 - Exemplo de cálculo de CTR	50
Figura 24 - Factor de correcção FR	51
Figura 25 - Exemplo de cálculo de Q_0	52
Figura 26 - Factores de correcção FC_1, FC_2, FC_3, FC_4	53
Figura 27 - Selecção do condensador	53
Figura 28 - Capacidade e potência absorvida do compressor	54
Figura 29 - Características técnicas do compressor.....	55
Figura 30 - Diagrama Ph da instalação.....	57
Figura 31 - Tubagens de cobre tipo K.....	58

Figura 32 - Selecção da válvula solenoide	68
Figura 33 - Selecção da válvula de expansão	69
Figura 34 - Dados técnicos das válvulas de corte.....	70
Figura 35 - Gamas das válvulas de corte.....	70
Figura 36 - Selecção das válvulas de retenção	71
Figura 37 - Selecção da válvula de purga.....	73
Figura 38 - Selecção de pressostatos de baixa pressão.....	74
Figura 39 - Selecção de pressostatos de alta pressão.....	75
Figura 40 - Selecção de visor de líquido	76
Figura 41 - Filtros secadores e gama de aplicações.....	76
Figura 42 - Selecção de filtro secador pela potência e pressão	77
Figura 43 - Selecção do filtro secador pela tubagem.....	78
Figura 44 - Ábaco para selecção de depósito de líquido	79
Figura 45 - Características técnicas do depósito de líquido	80
Figura 46 - Factor de correcção K para selecção do separador de óleo.....	81
Figura 47 - Selecção do separador de óleo	81
Figura 48 - Selecção do absorvedor de dióxido de carbono.....	84
Figura 49 - Ilustração do funcionamento do catalisador de etileno.....	84
Figura 50 - Selecção do catalisador de etileno	85
Figura 51 - Selecção do gerador de azoto/queimador de oxigénio	85
Figura 52 - Analisador de gases	86
Figura 53 - Controlador	87
Figura 54 - Armário de controlo de A.C.	87
Figura 55 - Válvula equalizadora de pressão.....	88

Índice de tabelas

Tabela 1 - Propriedades dos isolantes.....	12
Tabela 2 - Dimensões das câmaras frigoríficas	16
Tabela 3 - Dados para cálculo do circuito do tanque	20
Tabela 4 - Características da grua do tanque	23
Tabela 5 - Propriedades do ar interior e exterior	27
Tabela 6 - Duração média da abertura das portas para passagem de uma tonelada de produto.....	29
Tabela 7 - Calor libertado pelas pessoas na estiva	30
Tabela 8 - Calor libertado pelo produto.....	33
Tabela 9 - Soma das cargas térmicas intermédias da câmara 1	34
Tabela 10 - Soma das cargas intermédias da câmara 2	36
Tabela 11 - Soma das cargas térmicas intermédias da câmara 3.....	38
Tabela 12 - Potências a considerar	39
Tabela 13 - Dimensões do evaporador	46
Tabela 14 - Velocidades nas tubagens.....	59
Tabela 15 - Propriedades do fluido nas respectivas tubagens	59
Tabela 16 - Velocidades corrigidas e respectiva tubagem	66
Tabela 17 - Propriedades do fluido para tubagem da válvula solenoide	67
Tabela 18- Propriedades do fluido para tubagem da válvula de expansão.....	68
Tabela 19 - Selecção das válvulas de corte	70
Tabela 20 - Propriedades de algumas A.C.	82
Tabela 21 - Custos energéticos da A.C.	90

1. Objectivos

- Conceber uma câmara frigorífica com atmosfera controlada para conservação de uvas, integrada numa quinta de produção agrícola.
- Pesquisar, estudar e analisar os equipamentos, meios e processos para conceber uma câmara frigorífica com atmosfera controlada.
- Cálculo de balanços energéticos.
- Comparação de câmara frigorífica com atmosfera controlada e com atmosfera normal.
- Comparação de vantagens e desvantagens e mostrar qual é mais eficiente.

2. Introdução

2.1. História do frio

O método de conservação de alimentos através do frio é um processo relativamente antigo, que no caso específico de Portugal remonta ao final do século XVI, com a construção da Real fábrica do gelo de Montejunto. Devido á sua localização em altitude (Serra do Montejunto), era possível obter gelo armazenando a água em tanques rasos e durante a madrugada, antes de amanhecer, o gelo era partido e armazenado em silos até ao verão. O gelo era depois transportado em carros de bois, encoberto em palha e serapilheira (tecido grosso) que servia de isolante e levado desde a corte real até aos comerciantes.

Este método de produção de gelo foi abandonado em 1885, superado por novas formas de produção de gelo artificialmente, por invenções como a de Jacob Perkins ou a de James Harrison.

Estas primeiras máquinas, já usavam o conceito moderno de refrigeração, contudo o equipamento era rudimentar, assim como os fluidos refrigerantes, que só a partir de 1928, com o aparecimento dos fluidos frigoríficos clorofluorcarbonetos (CFC) é que os equipamentos de frio ganharam realmente importância.

2.2. Objectivos da produção de frio

O objectivo primordial de produzir frio será a de retirar o calor do compartimento onde o produto se encontra, de modo a retirar calor deste até temperaturas próximas ou abaixo de 0°C , de modo a controlar ou retardar o desenvolvimento de microrganismos, assim como faz com que as reacções químicas e biológicas se dêem de forma mais lenta, prolongando a vida do produto. Contudo, estes microrganismos e estas reacções, não são eliminadas pelo frio, somente atenuadas, logo o frio tem de ser aplicado de maneira eficiente e contínua. Uma subida de temperatura pode causar o desenvolvimento destes seres, e aumentar a produção de etileno, o que causa a destruição do produto, o que não é reversível com aplicação de frio.

Para controlar melhor estes factores foram adicionados às câmaras de frio as atmosferas controladas. Como o nome indica a atmosfera controlada permite controlar a concentração de gases presentes na câmara. Estudo feitos pela BOC (British Oxygen

Company), demonstram que os gases mais importantes para a conservação de produtos são; o Oxigênio, o Dióxido de Carbono, o Etileno, e o Azoto. Obviamente que cada produto terá a sua atmosfera com a sua respectiva percentagem de gases. De maneira geral o processo consiste em reduzir os níveis de oxigênio e repô-lo por outros como por exemplo o azoto. Sendo um gás inerte inibe a respiração do produto e impede o desenvolvimento de etileno, micróbios e fungos. A atmosfera controlada portanto, prolonga o tempo de vida útil do produto, ou seja faz com que este amadureça mais tarde e conseqüentemente mantém a sua textura, odor e aparência o que o tornam um bem com o mesmo valor comercial durante mais tempo.

3. Factores de concepção da câmara frigorífica

3.1. Factores de concepção externos

- Localização da instalação

Um dos factores mais importantes e condicionantes relativos à concepção de instalações frigoríficas industriais será a escolha do local onde ficará instalada.

Em primeiro lugar temos a atmosfera local. Daqui extrai-se informações relativas a esse mesmo ar, que influenciarão o cálculo a nível do balanço térmico. Temos também de ter em atenção à poluição e aos ventos dominantes que poderão trazer odores para a câmara, como por exemplo outras indústrias que operem na área. A localização da instalação é tão importante que afecta também todos os outros aspectos a seguir enunciados.

- Acessibilidades

Este ponto é importante, já que os custos associados ao transporte de matérias-primas, ou o transporte de produto acabado, são uma parcela do preço final do produto. Como tal existe a necessidade de estar próximo de fornecedores ou das respectivas zonas comerciais.

O transporte do produto exige regras de transporte, por gente especializada, de modo a lidar com o transporte destes bens e como tal deve conhecer aspectos técnicos como por exemplo, a circulação do ar, meios de arrefecimento do produto, e as temperaturas e humidades relativas a que este deve estar sujeito.

- Características do terreno

Antes de iniciar o projecto, deve-se saber as características do terreno de modo a assegurar a sua viabilidade, assim como evitar custos desnecessários para qualquer imprevisto. Posto isto tem de se saber que tipo de solo está em causa, os desníveis deste, o nível freático e obviamente se existe espaço para futuras alterações como ampliações da instalação.

3.2.Factores de concepção internos

- Materiais e equipamento

Os materiais e equipamento dependem do que se pretende da instalação. Estes dependem de factores tecnológicos, factores económicos e dos meios que se dispõem para a sua utilização.

Dentro deste equipamento temos as paredes, tectos e pavimentos, com a sua respectiva perda térmica e material usado, o equipamento inerente aos circuitos de frio e o fluido usado, as tubagens, o seu isolamento e perdas de carga.

- Mão-de-obra

A mão-de-obra especializada é fundamental para o funcionamento de qualquer entreposto ou complexo industrial. Neste caso ter-se-á pessoal para manobrar as máquinas, tratar da manutenção do equipamento de frio e também pessoal apto para o processo industrial do produto.

- Distribuição das câmaras

Tratando-se de uma instalação pequena a concepção da câmara não será difícil. As câmaras serão dispostas umas ao lado das outras e tratando-se só de refrigerados não há a necessidade de dividir a instalação em zonas. Sendo assim a distribuição das tubagens fica facilitada assim como existe uma perda de carga menor, sendo até desprezável.

- Sala de máquinas

Esta deve ser equidistante de todas as câmaras frigoríficas, assim como deve estar localizada numa extremidade do edifício de modo a não bloquear futuras expansões e acessos.

- Áreas de processamento

A área de processamento envolve todo o processo relativo ao produto, desde a sua colheita, conservação até á sua expedição. Esta área tem de estar enquadrada com o tipo de produto que a instalação irá receber, tem de ter uma ligação lógica onde haja fácil

acesso e evitar cruzamento de tarefas ou produtos, tem de ter espaço suficiente e ter as condições de temperatura, renovação de ar, iluminação higiene e segurança adequadas.

- Armazém

O armazém existe na instalação para armazenar todos os equipamentos necessários ao funcionamento da instalação. Estes equipamentos são entre vários; paletes, embalagens, caixas, empilhadores, ferramentas, peças suplentes, etc. O armazém tem de ter acesso ao exterior de maneira a que se aceda a este sem que se perturbe o funcionamento da instalação. Este deve também ser fechado, de maneira a que os materiais não se deteriorem, mas deve ser ventilado e equipado com bocas-de-incêndio e equipamento anti-insecto e anti-roedor. Deve ser feito em material facilmente lavável e com portas adequadas à sua movimentação.

- Serviços sociais e administrativos

Esta parte da instalação contém a parte dos serviços sociais que incluem áreas de apoio ao pessoal das linhas de produção como salas de convívio, casas de banho e vestiários. Em relação aos serviços administrativos, contém áreas de contacto com o público e clientes como salas de reunião e gabinetes de gerência e administração.

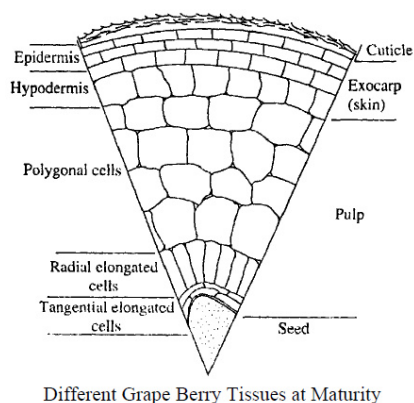
3.3. Natureza do produto a conservar

3.3.1. Composição da uva

As sementes representam até 6% do bago e contém 35% de hidrocarbonetos 15% a 20% de óleo.

A casca representa 8% a 20% do peso do bago dependendo da variedade. A casca contém grandes quantidades de ácidos e aromas.

A polpa contém a maior fração da uva. Esta representa 75% a 85% da uva. Esta é feita de um líquido rico em açúcares, especialmente fructose e glucose. A concentração de açúcar nas uvas varia entre 150 a 240 g/L.



Different Grape Berry Tissues at Maturity

Fonte: <https://people.ok.ubc.ca/>

Figura 1 - Composição da uva

É esta concentração de açúcar e dissipação de ácidos que cria o etileno, derivado do amadurecimento e desenvolvimento da uva. Sabe-se que as uvas produzem pouco ou nenhum etileno (no caso de algumas variedades), contudo a sua respiração e taxa de oxigénio consumido causam a sua maturação o que pode ser travado de modo a prolongar a sua vida de produto perecível.

3.3.2.Fases de amadurecimento

De acordo com estudos feitos por J.M. Harris, P.E. Kriedmann e J.V. Possingham, pelo CSIRO, Division of horticultural Research, foram comparados quatro tipos de uva, sabendo que demoram em média 100 dias para amadurecer, que inclui duas fases. Foi estudado a sua taxa de oxigénio (oxigénio consumido pela fruta), o coeficiente de respiração (coeficiente que relaciona a respiração do produto e o seu amadurecimento com consequente ganho no peso) e o respectivo efeito de agentes inibidores. O amadurecimento é feito em duas fases e nota-se por uma mudança de cor e pigmentação.

A 1ª fase é de acumulação de ácido, uma taxa elevada de oxigénio e um coeficiente de respiração (R.Q) de valor 1.

A 2ª fase é a combinação de dissipação de ácido e acumulação de açúcar, que é acompanhado por um decréscimo da taxa de oxigénio e uma subida do coeficiente de respiração para valores superiores a 1.

Para o estudo do controlo destes factores foram testados em quatro tipos de uva, vários inibidores. Estes testes mostraram os seguintes resultados:

- Amadurecimento e coeficiente de respiração.

Nos quatro casos existe uma separação óbvia de fases que ocorre por volta dos 40 dias desde a colheita. Conforme esperado, o ganho de “peso fresco” da uva é maior a partir da 2ª fase, assim como um aumento do coeficiente de respiração (R.Q.).

- Taxa de oxigénio

Todos os quatro tipos de uva mostraram um declínio na taxa de oxigénio mais acentuada na 1ª fase (até aos 40 dias após colheita). O resultado com base em peso fresco durante a maturação será o mais apropriado para o caso e não com base por bagas.

3.3.3. Inibidores de respiração

Nesta experiência foram testados vários inibidores:

- Dinitrofenol

O Dinitrofenol é um veneno metabólico celular que mostrou ser eficaz na redução da taxa de oxigénio independentemente da fase de amadurecimento/crescimento.

Contudo as amostras mostram sinais evidentes de metabolismo alterado devido à acção deste inibidor.

- Azida de sódio ou trinitreto de sódio

Este inibidor mostrou-se ineficiente em qualquer das fases de amadurecimento/crescimento das amostras de uva. As uvas mostram ser permeáveis a este inibidor.

- Cianeto de potássio

Este inibidor foi testado em somente numa espécie de uva. Contudo o inibidor mostrou-se ineficiente e causou até o efeito contrário ao que se queria nos valores da taxa de oxigénio.

- Níveis de azoto

Os níveis de azoto insolúvel expressos em (mg/100g de peso) não mostraram mudanças significativas.

Pode-se concluir então que em atmosfera controlada, o dado preocupante acerca da uva é a sua respiração e não tanto o etileno, já que há espécies que têm uma produção muito reduzida. O estudo mostra também que se pode usar o azoto para inibir a respiração da uva, sem efeitos secundários nesta.

4.Dimensionamento da instalação frigorífica

Apresenta-se de seguida a configuração da instalação frigorífica, com dimensionamento das câmaras frigoríficas, assim como todas as outras divisões inerentes ao processo.

4.1.Planta da instalação

A planta da instalação encontra-se no [Anexo 1].

A instalação irá ter três câmaras refrigeradas de igual área, com respectiva sala de máquinas na parte traseira destas, já que a proximidade e centralização do equipamento evita custos de tubagens superiores, custos de manutenção e perdas de carga.

Existe também um armazém, já que todo o equipamento pode e deve ser guardado lá, quer ao fim de um dia de trabalho ou em período de não utilização da câmara. Temos também uma área de vestiários e instalações sanitárias que como indica, está reservada aos funcionários, para se equiparem para a laboração e para fazer as suas necessidades fisiológicas.

Temos por fim a restante área destinada á triagem, lavagem e calibragem do produto, de modo a ser pré-arrefecido e desinfectado no tanque, para posteriormente ser posto nas câmaras frigoríficas, para conservação final.

4.2.Diagrama da instalação

Em anexo encontra-se desenhado o diagrama da instalação. [Anexo 2].

4.3.Características psicrométricas do local

Em Portugal, as regiões onde se cultivam uvas, são maioritariamente o Douro (Porto) e o Alentejo. Irá ser escolhido o Porto como área de localização para a construção da câmara frigorífica.

Analisando o quadro de temperaturas do IPMA, tem-se para os meses de armazenamento (considerados entre Setembro e os 4 seguintes), a temperatura de 36,8°C. Esta temperatura é a máxima registada e como tal nunca entraria para o cálculo, já que estaríamos a sobredimensionar o equipamento para uma temperatura que acontece esporadicamente por um curto período de tempo. Analisando os quantis de temperatura e excluindo 5% da amostra chegamos a uma temperatura máxima de 31°C.

Em relação à humidade relativa, voltando aos quadros das normais, e retirando os valores médios das três alturas do dia em que foram medidos, respectivamente 81%, 64%, 85%, chega-se a um valor médio de 77% de humidade relativa.

Os dados estudados são relativos às datas de 1951 até 1980. Estudos demonstram que a temperatura média do nosso planeta aumentou 0,76°C de 1850 a 2005 (estudo realizado pela organização meteorológica mundial), o que significa que o aumento de temperatura demora décadas a ser significativo, logo estes dados podem ser considerados válidos e actuais.

As condições psicrométricas exteriores para o local em causa irão ser de 31°C, para a temperatura seca exterior e uma humidade relativa HR=77%.

4.4.Revestimentos

O revestimento é uma parte crucial da câmara frigorífica. Este é responsável por isolar a câmara, de modo a minimizar as trocas de calor. Aquando na selecção do revestimento, tem de se ter em atenção o seu custo, eficácia, durabilidade e a espessura.

As paredes e tecto da câmara, serão construídos em painéis isotérmicos pré-fabricados (sanduíche), com isolante de poliuretano, com barreira de vapor.

O chão da câmara será construído em ANC (aglomerado negro de cortiça). Este revestimento é um isolamento térmico extremamente eficaz e consequentemente economiza energia, tem uma durabilidade ilimitada, reduz a transmissão de vibrações, não absorve água, é reciclável e ao ser um produto natural é amigo do ambiente. Convém salientar também que o fluxo unitário máximo admissível, para o caso de câmaras de refrigerados é de $10 W/m^2 \cdot ^\circ C$. De seguida na tabela estão descritos as propriedades dos materiais isolantes em estudo:

Isolante	Condutividade Térmica [K]
Poliuretano	0,020 a 0,022 $W/m^2 \cdot ^\circ C$
Aglomerado Negro de Cortiça	0,037 a 0,040 $W/m^2 \cdot ^\circ C$

Tabela 1 - Propriedades dos isolantes

4.4.1.Espessura dos painéis

A espessura do painel é dada pela seguinte expressão:

$$e = \frac{k}{q} \Delta T$$

Naturalmente a condutividade térmica não é igual para todos os tipos de produto, podendo ser diferente consoante o fabricante e ate com a própria matéria-prima, logo são considerados uma gama de valores.

Usada essa gama de valores, chegamos a espessuras de paredes diferentes e para efeitos de cálculo consideramos a parede mais espessa (o revestimento que permite uma maior condutividade térmica ou seja, pior qualidade).

- Espessura do painel (Poliuretano)

$$e = \frac{k}{q} \Delta T = \frac{0,020}{10} (31 - 2) = 0,058 = 58mm$$

$$e = \frac{k}{q} \Delta T = \frac{0,022}{10} (31 - 2) = 0,063 = 63mm$$

O que significa que tendo em conta os valores médios, se o revestimento for feito em poliuretano, este tem de ter uma espessura compreendida, na teoria, entre 58 e 63mm.

O que acontece na prática para espessuras desta gama, é que devem ser usadas para câmaras de 2,5m de altura. Como a câmara tem 6, deve-se ter um isolamento com espessura de 100mm, de modo a evitar danos estruturais, especificamente curvaturas nos painéis.

4.4.2.Pavimento

Em relação ao pavimento o critério é o mesmo usado para as paredes e tecto, considerando aglomerado negro de cortiça. A temperatura do solo, segundo informação extraída do IPMA, é de 16°C para a região em causa.

A gama de espessuras do ANC será:

$$e = \frac{k}{q} \Delta T = \frac{0,037}{10} (16 - 2) = 0,0518 = 52mm$$

$$e = \frac{k}{q} \Delta T = \frac{0,040}{10} (16 - 2) = 0,056 = 56mm$$

A espessura do revestimento do chão terá de estar compreendido entre 52 e 56mm. Esta câmara como não tem como finalidade a conservação de congelados, poderá ter ou não um vazio sanitário.

4.5.Cargas térmicas

Para o cálculo de cargas térmicas é fundamental saber a quantidade de produto a conservar.

Sabe-se que as câmaras têm $15m \times 10m \times 6m$. Este volume não será totalmente preenchido por produto, já que tem de se deixar espaço para o ar circular, assim como tem de haver espaço para colocar os evaporadores, assim como as paletes, de modo a que possa haver transporte através de um empilhador.

As paletes têm um tamanho de $0,8m \times 1,2m \times 0,15m$ e as caixas de plástico têm um tamanho de $0,6m \times 0,4m \times 0,2m$. Ambas são as medidas normalizadas.



Fonte: <http://www.rotom.pt/>

Figura 2- Caixa de fruta normalizada



Fonte: <http://www.rotom.pt/>

Figura 3 - Pallet normalizada

Posto isto e sabendo pelas boas práticas de manuseamento de empilhadores, tem-se:

- Não se deve exceder os cinco metros de empilhamento (limitados a dois metros e meio pela porta seleccionada).
- Deve ser imposto nível máximo de empilhamento de sete níveis, neste caso sete caixas, de modo a evitar que a estrutura caia durante o transporte, causando destruição de material e/ou produto.

- Não ultrapassar três graus de empilhamento, ou seja, os sete níveis de empilhamento usado no transporte com mais duas paletes de sete caixas empilhadas cada, de modo a deixar espaço para o ar circular assim como, ser possível manobrar o empilhador dentro da câmara.

4.5.1. Volume total e volume útil da câmara

A câmara terá 10 metros de largura, 15 metros de comprimento e 6 metros de altura, o que lhe dá um volume de $900m^3$.

Como dito anteriormente é necessário saber a quantidade de produto (uva) que as câmaras conseguem armazenar, de modo a determinar também, a dimensão requerida pelo tanque de modo a que todo o produto diariamente recebido seja pré arrefecido no mesmo.

Respeitando então as condições previamente estabelecidas e usando as medidas normalizadas tem-se a disposição das caixas e paletes na câmara, conforme [Anexo 3].

Posto isto tem-se oito fileiras, com doze paletes cada, com um corredor central de 2,8 metros, espaçamento lateral de 0,4 metros e espaçamento longitudinal de 0,3 metros.

4.5.2. Altura da paletização

O cálculo da altura da paletização é útil, visto que permite saber o espaço livre que fica na câmara assim como a sua capacidade útil em produto (uva).

Tem-se então a dimensão em altura da paleta (0,150m) mais a altura de sete caixas empilhadas (0,2 m x 7).

$$0,150 + 0,2 \times 7 = 1,55m$$

Esta altura representa um nível de empilhamento e será esta a altura a transportar pelo empilhador. Tendo a câmara 6 metros de altura, pode-se colocar ao todo, três destes níveis.

$$1,55 \times 3 = 4,65m$$

Como a câmara tem 6 metros de altura, logo:

$$6 - 4,65 = 1,35m$$

Esta altura de 1,35m será a folga em altura que a câmara terá para a circulação do ar. [Anexo 3].

4.5.3. Capacidade de produto da instalação frigorífica

Tendo a disposição das caixas e paletes, consegue-se saber facilmente qual a capacidade de produto da instalação frigorífica.

Largura	$0,8 \times 8 = 6,4m$
Comprimento	$1,2 \times 12 = 14,4m$
Altura	$0,2 \times 21 = 4,2m$
Volume	$6,4 \times 14,4 \times 4,2 = 387,1m^3$

Tabela 2 - Dimensões das câmaras frigoríficas

Tendo o volume de produto para o qual a câmara tem capacidade, e sabendo que a densidade de refrigerados é de $150kg/m^3$, consegue-se extrair o volume em toneladas.

$$\begin{aligned} 150kg &\rightarrow 1m^3 \\ x &\rightarrow 387,1m^3 \end{aligned}$$

Logo tem-se um valor de 58065 kg ou 59 toneladas aproximadamente, de produto por câmara. Sabendo que a vindima dura cerca de 20 dias, são admitidos 2,95 toneladas de produto por dia em cada uma das câmaras. Com isto pode-se dimensionar um tanque de pré-arrefecimento com a capacidade de 9 toneladas diárias.

4.5.4. Tanque de pré-arrefecimento

O tanque de pré-arrefecimento está situado na mesma sala onde é feito a triagem, a lavagem e a calibragem de produto. Como estas fases não operam ao mesmo tempo, (a recolha da uva é feita durante o dia e o tanque pré-arrefece a uva durante a noite, devido aos custos energéticos), podem ser tratados como zonas isoladas, já que um não afecta o outro.

Para evitar fungos que se criam no pé da uva, durante o pré-arrefecimento do produto no tanque são usados químicos com propriedades para o efeito. Em 1968 era introduzida no mercado uma substância chamada Benomyl (nome comercial Benelate

da DuPont), extremamente eficaz contra microrganismos, mas devido a casos de malformações em fetos de pessoas que estiveram em contacto com a substância, foi cancelada a sua produção em 2001. Hoje em dia usa-se o metabissulfito de sódio, um composto inorgânico de fórmula química $Na_2S_2O_5$, que entre várias aplicações, a principal é a de servir como esterilizante, antioxidante e conservante.

Tendo em conta o caso extremo do ar exterior, que apresenta uma temperatura de 31°C , o diferencial térmico é de $\Delta T = (31^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C}) = 21^\circ\text{C}$. Da mesma maneira tem-se o produto a ser refrigerado (uva), com um calor específico acima da congelação de $3,6\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$. Logo o calor a retirar de 9 toneladas de produto será:

$$Q = m \times c_p \times \Delta T = 9000 \times 3600 \times 21 = 680,4 \times 10^6 \text{J}$$

Como dito anteriormente, o tanque irá funcionar durante a noite, devido ao custo de energia, já que nesse período vigora a tarifa em “vazio”. Admitindo que este se encontra em funcionamento durante 12 horas, convertendo para potência (J/s):

$$\dot{Q} = \frac{J}{s} = \frac{680,4 \times 10^6}{43200} = 15750 \text{W} = 15,8 \text{kW}$$

Esta potência representa a potência necessária que o chiller terá de ter para ao fim das 12 horas ter o produto à temperatura desejada de 10°C .

4.5.5. Dimensões do tanque

Como anteriormente estipulado o tanque terá de ter aproximadamente 9 toneladas de produto, de modo a que toda a recolha diária seja pré-arrefecida neste. Voltando á questão da densidade de refrigerados:

$$150\text{kg} \rightarrow 1\text{m}^3$$

$$9000\text{kg} \rightarrow x$$

O tanque será dimensionado para ter no mínimo uma capacidade de 60m^3 , com um nível de paletização, com eventuais folgas laterais para o manuseamento das paletes, assim como uma altura de água acima do nível das caixas de 10 centímetros.

O tanque não pode ser muito alto, daí ter somente um nível de paletização. Como há espaço a nível horizontal, não faz sentido dimensionar um tanque muito alto, já que com isso será necessário um dispositivo de elevação de cargas maior, e com isso virão os riscos associados a transporte de cargas em altura. [Anexo 4].

4.5.6. Altura do tanque

Tendo em conta que o tanque terá de ter capacidade para pelo menos um nível de paletização e tendo em conta a capacidade de fruta diária a pré-arrefecer:

$$h = 0,15 + 0,2 \times 7 + 0,10 = 1,65m$$

4.5.7. Área do tanque

Se se considerar uma área de 8×7 , sendo o lado da paleta maior (1,2m) virado para o lado de 8 metros e o lado menor (0,8m) para o lado de 7 metros, de modo a rentabilizar o espaço. De acordo com o [Anexo 3], esta configuração permite ter 8×6 paletes, com respectivamente folgas de $0,375m$ e $0,3m$, de cada lado do tanque. Isto permite a manobra do dispositivo de elevação, assim como um agitador para não haver a estagnação da água.

Posto isto pode-se calcular então com exactidão a máxima quantidade expectável de produto para o tanque de pré-arrefecimento. Como visto atrás, pode-se colocar no tanque 48 paletes. Podendo cada paleta levar até 7 caixas em altura e 4 dispostas na horizontal:

$$48 \times 7 \times 4 = 1344$$

Contabiliza-se um total de 1344 caixas por dia e sabendo que cada uma tem de dimensões $0,6 \times 0,4 \times 0,2m$:

$$1344 \times 0,6 \times 0,4 \times 0,2 = 65m^3$$

Convertendo este valor para toneladas:

$$\begin{aligned} 150kg &\rightarrow 1 \\ x &\rightarrow 65m^3 \end{aligned}$$

O que dá uma capacidade de 9750kg de produto (uva), o que satisfaz as 9 toneladas de entrada diárias assim como dá uma folga para eventuais excessos de produto. Contudo estes $65m^3$ são somente de produto, mas o tanque também contém água. Logo o volume total do tanque será de:

$$8 \times 7 \times 1,65 = 92,4m^3$$

Para saber o volume de água faz-se naturalmente o volume total do tanque que já inclui os 10cm de água “extra” ao volume de produto introduzido neste:

$$92,4 - 65 = 27,4m^3$$

Para efeitos de cálculo energético será preciso converter este volume em quilogramas:

$$1m^3 \rightarrow 1000kg$$

$$27,4m^3 \rightarrow x$$

Posto isto sabe-se que a água do tanque pesa cerca de 27400kg.

Para concluir faz-se o balanço térmico do tanque. Em relação ao produto (uva) tem-se:

$$Q = m \times cp \times \Delta T = 9750 \times 3600 \times 21 = 737,1 \times 10^6 J$$

$$\dot{Q} = \frac{J}{s} = \frac{737,1 \times 10^6}{43200} = 17063W = 17,1kW$$

Em relação à água sabe-se que esta tem ser proveniente da rede e em média tem uma temperatura de $15^\circ C$, que obrigatoriamente tem de passar pelo chiller para ser arrefecida até aos $10^\circ C$. De maneira análoga ao cálculo anterior tem-se:

$$Q = m \times cp \times \Delta T = 27400 \times 4190 \times 5 = 574 \times 10^6 J$$

$$\dot{Q} = \frac{J}{s} = \frac{574 \times 10^6}{43200} = 13288W = 13,3kW$$

A potência total do tanque de pré-arrefecimento será a soma destas duas anteriores ou seja:

$$\dot{Q} = 17,1 + 13,3 = 30,4kW$$

4.6.Equipamento do tanque

Devido ao facto do tanque ter um funcionamento somente durante o período de colheita da uva, este terá um circuito á parte do resto da instalação.

O circuito será um sistema simples com um chiller para produção de água fria. O tanque contará também com um agitador para evitar estagnações de água. [Anexo 7].

O produto ao entrar na instalação arrefece naturalmente ate uma temperatura de 25°C ($\Delta t = (25 - 10)$), tendo em conta que o edifício é climatizado. Também se sabe que a velocidade máxima nas tubagens de água não deve exceder 1m/s e que o calor específico da água é de 4,187 kJ/kg.K.

Volume específico água	v	0,001m ³ /kg
Varição térmica	ΔT	(25 - 10)°C
Calor específico água	cp	4,187kJ/kg.K
Velocidade da tubagem	C	1m/s

Tabela 3 - Dados para cálculo do circuito do tanque

$$\dot{Q} = \dot{m} \times cp \times \Delta t \Leftrightarrow \dot{m} = \frac{30,4 \times 10^3}{4,187 \times 10^3 \times (25 - 10)} = 0,484kg/s$$

$$\dot{V} = \dot{m} \times v = 0,484 \times 0,001 = 4,84 \times 10^{-4}m^3/s$$

$$C = \frac{\dot{V}}{A} \Leftrightarrow A = \frac{4,84 \times 10^{-3}}{1} = 4,84 \times 10^{-3}m^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 4,84 \times 10^{-4}}{\pi}} = 25mm = 1'$$

Para o efeito tem-se que as tubagens (25mm) terão de acordo com as medidas normalizadas 1'.

Para a selecção do chiller tem de se ter em conta a sua capacidade de retirar calor da água tendo em conta o volume de água a arrefecer. Naturalmente esta água não será arrefecida toda ao mesmo tempo e como tal haverá um fluxo de caudal associado ás

tubagens do aparelho. Conforme demonstrado pelos cálculos, este não excede os $2m^3/h$. Para isso, pode-se seleccionar o Chiller da Carrier, modelo 19 XR 10, conforme figura seguinte.

19XR,XRV HEAT EXCHANGER WEIGHTS — DRIVE END ENTERING COOLER WATER

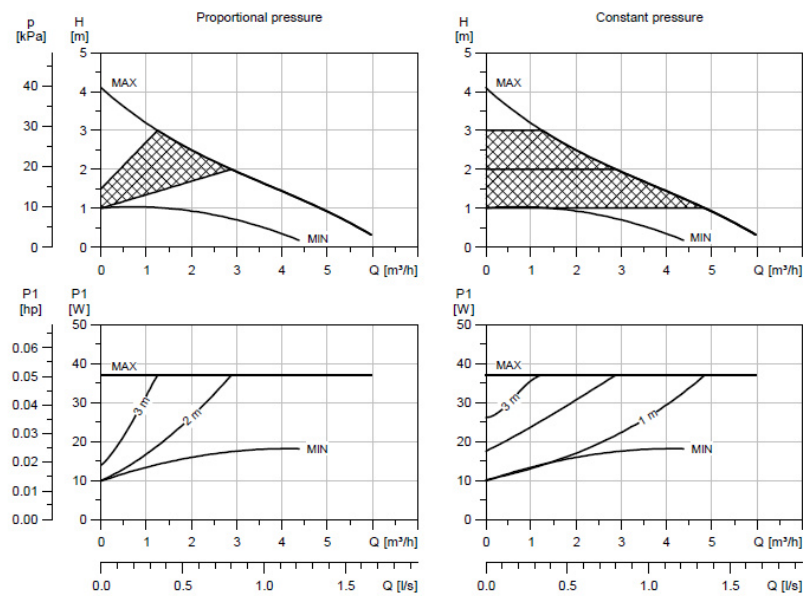
Code#	English						Metric (SI)					
	Dry Rigging Weight (lb) ^a		Machine Charge				Dry Rigging Weight (kg) ^a		Machine Charge			
	Cooler Only	Condenser Only	Refrigerant Weight (lb)		Water Weight (lb)		Cooler Only	Condenser Only	Refrigerant Weight (kg)		Water Weight (kg)	
			Cooler	Condenser	Cooler	Condenser			Cooler	Condenser	Cooler	Condenser
10	2707	2704	328	226	283	348	1229	1228	149	103	128	158
11	2777	2772	357	226	309	374	1261	1258	162	103	140	170
12	2848	2857	387	226	335	407	1293	1297	176	103	152	185
15	2968	2984	405	275	327	402	1346	1355	184	125	148	183
16	3054	3068	441	275	359	435	1387	1393	200	125	163	197
17	3141	3173	477	275	391	475	1426	1441	217	125	178	216
20	3407	3373	416	252	402	398	1547	1531	189	114	183	181
21	3555	3540	459	252	456	462	1614	1607	208	114	207	210
22	3711	3704	505	252	514	526	1685	1682	229	114	233	239
30	4071	3694	510	308	464	464	1848	1677	232	140	211	211
31	4253	3899	565	308	531	543	1931	1770	257	140	241	247
32	4445	4100	626	308	601	621	2018	1861	284	140	273	282
35	4343	4606	577	349	511	513	1972	2091	262	158	232	233
36	4551	4840	639	349	587	603	2066	2197	290	158	266	274
37	4769	5069	709	349	667	692	2165	2301	322	158	303	314
40	4908	5039	726	338	863	915	2228	2288	330	153	392	415
41	5078	5232	783	338	930	995	2305	2375	355	153	422	452
42	5226	5424	840	338	990	1074	2373	2462	381	153	449	488
45	5363	5602	821	383	938	998	2435	2543	373	174	426	453
46	5559	5824	874	383	1014	1088	2524	2644	397	174	460	494
47	5730	6044	949	383	1083	1179	2601	2744	431	174	492	535
50	5713	6090	897	446	1101	1225	2594	2765	407	202	500	556
51	5940	6283	974	446	1192	1304	2697	2852	442	202	541	592
52	6083	6464	1021	446	1248	1379	2762	2935	464	202	567	626
53	6141	6529	1010	446	1277	1409	2788	2964	459	202	580	640
54	6192	6591	987	446	1302	1439	2811	2992	448	202	591	653

Fonte: <http://www.carrier.com/>

Figura 4 - Chiller para circuito de água do tanque de pré-arrefecimento

Como se trata de um circuito de água e também devido a não se tratar de uma instalação com grandes dimensões (considerar perdas de carga desprezáveis), opta-se por colocar um recirculador no circuito. Tendo em conta uma tubagem de 1', pode-se optar pelo recirculador Grunfos, modelo magna 25-40, cujo caudal máximo pode atingir os $5m^3/h$.

MAGNA 25-40 (N)



Fonte: <http://pt.grundfos.com/>

Figura 5 - Características técnicas do recirculador do tanque de pré-arrefecimento

Como será óbvio não teremos uma porta nem passagem para o tanque, já que este é enchido com água. A maneira de colocar o produto no tanque será por via aérea. Como existem empilhadores na instalação para transporte de paletes com produto, pode-se optar por guas instaláveis em empilhadores, que servirão para o caso. Conforme calculado anteriormente cada paletização equivale a aproximadamente 250kg e sendo assim a grua terá de suportar este mesmo peso.

Consultando o fabricante espanhol “Novodinámica” encontra-se uma grua montável em empilhadores com as seguintes especificações:



Fonte: <http://www.novodinamica.com>

Figura 6 - Exemplo de grua montada em empilhador

Referência	10277
Capacidade (kg)	3000
Braço Extensível (mm)	1460 até 3700
Dimensões (mm)	2570x525x620
Peso (kg)	300

Tabela 4 - Características da grua do tanque

A grua tem uma inclinação de braço que vai de 0° a 45° e aliado ao facto de estar acoplada ao mastro do empilhador eleva-a ainda mais em altura, o que faz a altura do tanque mais a altura de empilhamento facilmente superável:

$$\text{sen}45 = \frac{\text{Altura}}{3,7} \leq \text{Altura} = \text{sen}45 \times 3,7 = 2,16\text{m}$$

Como a grua suporta um peso de 3000kg, será esta a seleccionada para a instalação.

5. Balanço térmico

Para o balanço térmico da instalação frigorífica tem de se ter em conta as cargas térmicas internas e externas relativas a esta. Como cargas térmicas externas tem-se:

- Transmissão de calor através das paredes, tectos e pavimentos.

Carga térmica da renovação do ar.

Carga térmica da abertura de portas.

Em relação as cargas térmicas internas, existem dois tipos. As cargas térmicas internas dependentes do produto e independentes do produto.

- Dependentes do produto:

Carga térmica devida à entrada de produto.

Carga térmica devido à respiração de produto.

- Independentes do produto:

Carga térmica dos ventiladores dos evaporadores.

Carga térmica da iluminação.

Carga térmica dos empilhadores, porta-paletes ou outro equipamento.

Carga térmica do pessoal da estiva.

Para fazer o balanço térmico tem de se saber todas as temperaturas inerentes ao processo. Já foi dito anteriormente, aquando do dimensionamento do tanque, que a temperatura exterior (da rua) é de 31°C, sendo a uva pré-arrefecida neste tanque até à temperatura de 10°C. Daqui seguem para as câmaras que se encontram a 2°C.

A uva deve ser conservada com uma temperatura mínima entre os 0 e os 5°C. Outras fontes sugerem que deve ser conservada entre os 0 e os 2°C. Há que ter cuidado em aproximar muito a temperatura de conservação de 0°C e isto porque, a esta temperatura chega-se ao limiar da congelação e poderá haver a formação de cristais de forma lenta, devido ao alto teor de água que a uva tem e no processo de descongelação destruiria o produto. Logo, posto esta situação a câmara opera à temperatura de 2°C e 95% de humidade relativa.

Nas paredes e tecto o calor será propagado por condução e convecção, por convecção pelo próprio ar, quer dentro e fora da câmara, e por condução, através da parede. Esta carga térmica pode ser representada por:

$$\dot{Q}_1 = U \times S \times \Delta T$$

O coeficiente de transmissão de calor é dado por:

$$U = \frac{1}{R}$$

Sendo R a soma das resistências térmicas de condução e convecção:

$$R = \frac{1}{h_i} + \sum_{i=1}^n \frac{e_i}{k_i} + \frac{1}{h_e}$$

Como os isolamentos das câmaras são bastante eficazes, na parcela relativa ao calor por condução será necessário somente considerar a camada de isolante, desprezando o resto do material que faz parte da parede. Como a câmara em estudo está exclusiva somente para refrigerados deve-se considerar um fluxo máximo (q) de 10 W/m^2 .

Os valores típicos para, h_i e h_e , respectivamente são de 30 e $15 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

5.1. Câmara 1

- **Carga térmica através das paredes, tecto e pavimento Q_1**

Por razões de natureza da câmara, as câmaras não terão a mesma carga térmica proveniente das paredes. Isto deve-se ao facto da divisão partilhada em causa, que pode ser o exterior, outra câmara, ou uma divisão interior da instalação, que se considera climatizada e logo com 24°C e 50% de humidade relativa.

$$R = \frac{1}{h_i} + \sum_{i=1}^n \frac{e_i}{k_i} + \frac{1}{h_e} = \frac{1}{15} + \frac{0,063}{0,022} + \frac{1}{30} = 2,96 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{2,96} = 0,337 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

Este será o nosso coeficiente de transmissão de calor para a parede da instalação no caso de ser construída em poliuretano.

Tendo em conta a vista da câmara e enumerados os troços de parede tem-se:

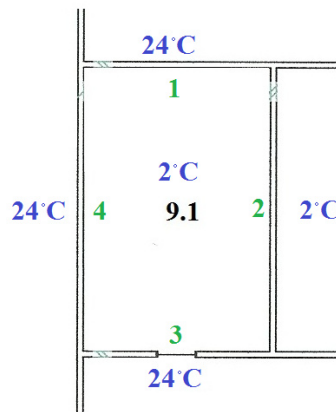


Figura 7 - Troços de parede e temperaturas adjacentes da câmara 1

$$Q_1 = U \times S \times \Delta T$$

$$Q_{11} = U \times S \times \Delta T = 0,337 \times 60 \times (24 - 2) = 444,84 \text{ W}$$

$$Q_{12} = U \times S \times \Delta T = 0,337 \times 90 \times (2 - 2) = 0 \text{ W}$$

$$Q_{13} = U \times S \times \Delta T = 0,337 \times 60 \times (24 - 2) = 444,84 \text{ W}$$

$$Q_{14} = U \times S \times \Delta T = 0,337 \times 90 \times (24 - 2) = 667,26 \text{ W}$$

$$Q_{1paredes} = Q_{11} + Q_{12} + Q_{13} + Q_{14} = 444,84 + 0 + 444,84 + 667,26 = 1556,94 \text{ W}$$

Em relação ao pavimento não existirá parcela $\frac{1}{h_e}$, já que não existe convecção exterior, só interior. Isto deve-se ao facto do pavimento ter contacto directo com a superfície onde assenta a estrutura e como tal tem somente calor transmitido por condução.

$$R = \frac{1}{h_i} + \sum_{i=1}^n \frac{e_i}{k_i} + \frac{1}{h_e} = \frac{1}{15} + \frac{0,056}{0,022} = 1,467 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$$

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{1,467} = 0,682 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

$$Q_{1\text{pavimento}} = U \times S \times \Delta T = 0,682 \times 150 \times (16 - 2) = 1432,2 \text{ W}$$

$$Q_1 = 2989,14 \text{ W}$$

- **Cargas térmicas devidas à renovação do ar Q_2**

De maneira análoga aos sistemas de climatização, uma instalação frigorífica necessita que haja uma certa renovação de ar no interior da câmara, que basicamente é a substituição de ar tratado, por ar exterior novo, que terá de ser novamente arrefecido. Esta necessidade deve-se ao facto do produto respirar e como tal, se o ar não for renovado, este chega a um nível de saturação e causa alterações no produto.

$$Q_2 = m \times \Delta h$$

	Exterior	Interior
Temperatura de bolbo seco	31 °C	2 °C
Humidade relativa	77 %	95 %
Entalpia	87 kJ/kg.K	12 kJ/kg.K
Humidade absoluta	0,0219 g/kg	0,0045 g/kg
Volume específico	$v = 0,89 \text{ m}^3/\text{kg}$	$v = 0,78 \text{ m}^3/\text{kg}$
Temperatura de bolbo húmido	27,5 °C	1,7 °C

Tabela 5 - Propriedades do ar interior e exterior

$$m = \frac{V_{dia}}{v \times 86400}$$

$$V_{dia} = n \times V$$

$$n = \frac{70}{\sqrt{V}} \text{ ou } n = \frac{100}{\sqrt{V}}$$

70 = A taxa de renovação depende da movimentação de máquinas produtos e pessoas do exterior para o interior da câmara, sendo que neste caso será de pouca movimentação.

100 = Descrição igual à anterior mas com movimentação intensa.

Substituindo:

$$n = \frac{70}{\sqrt{900}} = 2,33$$

$$V_{dia} = n \times V = 2,33 \times 900 = 2097 m^3 / dia$$

$$m = \frac{V_{dia}}{v \times 86400} = \frac{2097}{0,89 \times 86400} = 0,0273 kg/s$$

$$Q_2 = 0,0273 \times (8700 - 1200) = 204,53W$$

- **Cargas térmicas devido a abertura de portas Q_3**

Esta carga térmica deve-se ao facto de ser necessário abrir a porta quando, se coloca ou remove produto, deixando entrar ar não refrigerado e não tratado na câmara. Logo é uma carga térmica importante a ter em conta. Tendo a porta em questão 2,5m x 2m e considerando um C=1 (porta sem cortina de ar ou lamelas), tem-se:

$$Q_3 = 8 + (0,067 \times \Delta T) \times \frac{t_{ab}}{v_{int}} \times L \times H \times A \times C$$

$$A = (h_{ext} - h_{int}) \times [H \times \left(1 - \frac{v_{int}}{v_{ext}}\right)^{\frac{1}{2}}]$$

$$T_{ab} = d_{ton} \times \frac{f_d}{24}$$

Substituindo:

$$A = (87 - 12) \times [2,5 \times \left(1 - \frac{0,78}{0,89}\right)^{\frac{1}{2}}] = 41,7$$

Considerando as 9 toneladas iniciais diárias, que dividindo por 3 câmaras e considerando uma porta de abertura normal, sendo os produtos dentro da câmara, paletizados tem-se:

Tipo de Porta	Tipo de Produto	dt (mn/ton.)
Porta de abertura manual	Carcaças de animais suspensas	15
	Produtos paletizados	6
Porta de abertura automática	Carcaças de animais suspensas	1
	Produtos paletizados	0.8

Fonte: Guerra, Matos, UC de Instalações Frigoríficas

Tabela 6 - Duração média da abertura das portas para passagem de uma tonelada de produto

$$T_{ab} = 6 \times \frac{3}{24} = 0,75 \text{ min/h}$$

Considerando $C = 1$, devido a não ter portas com cortinas de ar ou lamelas, substitui-se na equação:

$$Q_3 = 8 + (0,067 \times 24 - 2) \times \frac{0,75}{0,78} \times 2 \times 2,5 \times 41,7 \times 1 = 303,51W$$

- **Carga térmica da iluminação Q_4**

A iluminação das câmaras frigoríficas deve ser protegida com armadura, ser estanque à água e resistente à humidade. Pode-se considerar uma carga térmica de $6 W/m^2$.

Considerar para a câmara, 9 armaduras de 4 lâmpadas cada, com 25W de potência, que funcionam 2 horas por dia.

$$Q_4 = n \times P \times \frac{t}{24}$$

Substituindo na equação:

$$Q_4 = 36 \times 25 \times \frac{2}{24} = 75W$$

- **Carga térmica devido ao pessoal da estiva Q_5**

Para o pessoal da estiva conta-se apenas o operador do empilhador, e o operário que o ajudará com as manobras. O resto do pessoal trabalhará no exterior, na recolha do produto propriamente dito e não entrará no cálculo. Posto isto, o número de pessoas na estiva é somente de 2. As pessoas ao respirarem emitem calor, como demonstra a figura seguinte:

Temperatura da câmara (°C)	Quantidade de calor libertado pelas pessoas (Watt)
+15	200
+5	240
0	270
-20	390
-25	420

Fonte: Guerra, Matos, UC de Instalações Frigoríficas

Tabela 7 - Calor libertado pelas pessoas na estiva

Como a câmara opera a 2°C, é necessário fazer uma interpolação para saber o valor exacto de calor libertado pelos dois operários. Este valor é de 258W.

$$Q_5 = n \times q \times \frac{t}{24}$$

Substituindo na equação:

$$Q_5 = 2 \times 258 \times \frac{2}{24} = 43W$$

- **Carga térmica do empilhador Q_6**

Tendo em conta que se trata de uma instalação frigorífica relativamente pequena, não é necessário ter mais que um empilhador. Este empilhador contudo, tem de ser eléctrico e não com motor de combustão interna, devido ao facto que este último emite gases poluentes, o que contaminaria a câmara e o respectivo produto. Logo, por este motivo o empilhador tem de ser eléctrico e suportar o peso de uma paletização.

O volume de uma paletização será:

$$(0,6 \times 0,4 \times 0,2) \times 4 \times 7 = 1,344m^3$$

$$150kg \rightarrow 1m^3$$

$$X \rightarrow 1,344m^3$$

O que quer dizer que o produto por palete pesará 202kg. Adicionando um peso por palete de 25kg, e sabendo que cada uma leva 28 caixas, cada uma pesando 0,750kg:

$$P_{total} = 202 + 25 + 0,7 \times 28 = 248 \text{ kg}$$

$$P_{total} = 248 \text{ kg}$$

Logo tem de se escolher um empilhador, que tenha capacidade superior a 250kg.

Após uma pesquisa de mercado relativo aos empilhadores eléctricos, para a carga em causa encontrou-se o modelo da Mitsubishi FB16NT, com capacidade máxima de carga de 1600 kg.

Electric motors						
6.1	Drive motor capacity (60 min. short duty)		kW	5.0x2	5.0x2	5.0x2
6.2	Lift motor output at 15% duty factor		kW	14	14	14
6.3	Battery to DIN 43 531/35/36 A/B/C/no			-	-	-
6.4	Battery voltage/capacity at 5-hour discharge	V /Ah		48 V 600Ah	48V 720Ah	48V 720Ah
6.5	Battery weight	kg		865	1000	1000
6.6	Energy consumption according to VDI 60 cycle	kWh/h		-	-	-

Fonte: <http://www.empilhoelectrico.pt/>

Figura 8 - Potência do empilhador eléctrico

Para o cálculo que se segue tem-se em consideração a máxima potência do empilhador, ou seja a de 14kW. Essa escolha deve-se ao facto de se considerar a situação mais desfavorável. Neste caso o motor do empilhador tem uma potência de 5kW × 2 = 10kW e o mastro de 14kW. Como estes dois não operam ao mesmo

tempo, como manda as boas práticas de manuseamento de empilhadores, daí a escolha dos $14kW$.

$$Q_6 = n \times P \times \frac{t}{24}$$

Substituindo na equação:

$$Q_6 = 1 \times 14000 \times \frac{2}{24} = 1167W$$

- **Carga térmica devido á entrada de novo produto Q_7**

O tanque de pré-arrefecimento terá uma capacidade de 9 toneladas de produto. Pode-se optar por distribuir o produto pelas 3 câmaras, ou então colocar a produção diária numa das câmaras, ate esta encher, passar para a seguinte e por aí adiante. Aquando da saída de produto, o primeiro a sair será o primeiro que entrou. Logo, quer para os dois casos, tem-se em conta o pior deles (a nível térmico), que será a entrada de 9 toneladas de produto de uma só vez na câmara. Desta forma o cálculo e o dimensionamento da câmara prevê o uso extremo desta.

$$Q_7 = \frac{m \times c_p \times \Delta T}{86400}$$

Substituindo na equação:

$$Q_7 = \frac{9000 \times 3,6 \times 10^3 \times (10 - 2)}{86400} = 3000W$$

- **Carga térmica derivada ao calor de respiração de produto Q_8**

As frutas e os vegetais, tratando-se de seres vivos, emitem calor latente quando conservados acima do ponto de congelação. No caso específico das uvas temos o calor libertado dado pela seguinte tabela:

Produtos	0°C	5°C	15°C
Uva	175	360	850

Tabela 8 - Calor libertado pelo produto

Fazendo uma interpolação linear para a temperatura desejada de 2°C, chega-se a um valor médio de 249 W/ton. 24. h, que convertido para as unidades requeridas pela fórmula, chega-se a um valor de 69,2 kJ/ton. h.

$$Q_8 = \frac{m \times q_{resp} \times 24}{86400}$$

Substituindo na equação:

$$Q_8 = \frac{59 \times 69200 \times 24}{86400} = 1134,1W$$

O valor de produto em causa é o máximo de capacidade para a câmara. Conforme calculado anteriormente este valor é de 59 toneladas por cada câmara. Este valor é o caso mais desfavorável, já que é à capacidade máxima que se vai verificar a maior carga derivada da respiração do produto.

- **Potência total a considerar para selecção do evaporador**

Para seleccionar o evaporador tem obviamente de se ter em conta todas as cargas térmicas inerentes à câmara quer sejam interiores ou exteriores.

Para a câmara 1, a carga térmica intermédia será a soma de todas as cargas térmicas acima calculadas.

- **Carga térmica intermédia**

$$Q_{int} = \sum_{i=0}^n Q_i = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8$$

Carga Térmica Intermédia	
Q_1	2989,14 W
Q_2	204,53 W
Q_3	303,51 W
Q_4	75 W
Q_5	43 W
Q_6	1167 W
Q_7	3000 W
Q_8	1134 W
Q_{int}	8916,18 W

Tabela 9 - Soma das cargas térmicas intermédias da câmara 1

- **Potência intermédia**

A potência intermédia será a potência que os evaporadores terão de retirar da câmara para que esta mantenha a temperatura desejada. Este cálculo térmico é feito para um período de 24 horas, já que temos que ter em conta que destas 24 horas o evaporador funcionará apenas 20. Logo temos para a potência intermédia:

$$P_{int} = \frac{Q_{int} \times 24}{20}$$

$$P_{int} = \frac{8916,18 \times 24}{20} = 10699,41 \text{ W}$$

- **Potência previsionál**

A potência previsionál consiste em aplicar um coeficiente de segurança de 20% ao valor da potência intermédia. Será este valor final que se usará para a selecção de evaporadores.

$$P_{prev} = P_{int} \times 1,2$$

$$P_{prev} = 10699,41 \times 1,2 = 12839,3 \text{ W}$$

$$P_{prev} = 13 \text{ kW}$$

5.2. Câmara 2

Para a câmara 2, tem-se de recalculár as cargas das paredes, já que estas não têm as mesmas fronteiras que a câmara 1. De igual maneira, tratando-se do mesmo revestimento o coeficiente de transmissão da parede será igual, ou seja, tem-se um $U = 0,337 \text{ W/m}^2\text{°C}$.

- **Carga térmica através das paredes, tecto e pavimento**

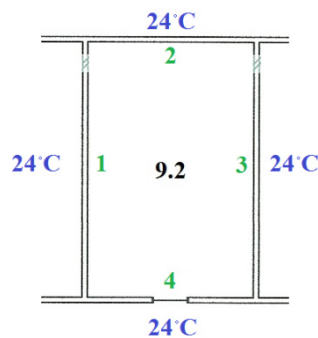


Figura 9 - Troços de parede e temperaturas adjacentes da câmara 2

$$Q_1 = U \times S \times \Delta T$$

$$Q_{11} = U \times S \times \Delta T = 0,337 \times (15 \times 6) \times (2 - 2) = 0 \text{ W}$$

$$Q_{12} = U \times S \times \Delta T = 0,337 \times (10 \times 6) \times (24 - 2) = 444,84 \text{ W}$$

$$Q_{13} = U \times S \times \Delta T = 0,337 \times (15 \times 6) \times (2 - 2) = 0 \text{ W}$$

$$Q_{14} = U \times S \times \Delta T = 0,337 \times (10 \times 6) \times (24 - 2) = 444,84 \text{ W}$$

$$Q_{1paredes} = Q_{11} + Q_{12} + Q_{13} + Q_{14} = 0 + 444,84 + 0 + 444,84 = 889,68 \text{ W}$$

Juntando a este valor a carga térmica do pavimento tem-se:

$$Q_1 = 889,68 + 1432,2 = 2321,88 \text{ W}$$

Em relação às cargas térmicas, as restantes (Q_2 a Q_8), permanecem iguais à câmara anterior. Isto deve-se ao facto que a única diferença entre câmaras ser as divisões com que faz fronteira, ou seja o calor proveniente das salas/câmaras adjacentes. Tudo o resto é considerado igual e conseqüentemente as cargas térmicas também o serão. Logo para a câmara 2 tem-se:

- **Carga térmica intermédia**

$$Q_{int} = \sum_{i=0}^n Q_i = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8$$

Carga Térmica Intermédia	
Q_1	2321,88 W
Q_2	204,53 W
Q_3	303,51 W
Q_4	75 W
Q_5	43 W
Q_6	1167 W
Q_7	3000 W
Q_8	1134 W
Q_{int}	8248,92 W

Tabela 10 - Soma das cargas intermédias da câmara 2

- **Potência intermédia**

Da mesma maneira para a potência intermédia tem-se que:

$$P_{int} = \frac{Q_{int} \times 24}{20}$$

$$P_{int} = \frac{8248,92 \times 24}{20} = 9898,70 \text{ W}$$

- **Potência Previsional**

A potência previewal para a câmara 2 será:

$$P_{prev} = P_{int} \times 1,2$$

$$P_{prev} = 9898,70 \times 1,2 = 11878,44 \text{ W}$$

$$P_{prev} = 11,9 \text{ kW}$$

5.3. Câmara 3

Em semelhança às outras câmaras e como já explicado, a câmara fica sujeita às cargas térmicas das salas ou outras câmaras na sua fronteira. Logo tem-se para a câmara 3:

- **Carga térmica através das paredes, tecto e pavimento**

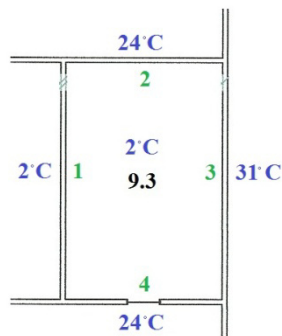


Figura 10 - Troços de parede e temperaturas adjacentes da câmara 3

$$Q_1 = U \times S \times \Delta T$$

$$Q_{11} = U \times S \times \Delta T = 0,337 \times (90) \times (2 - 2) = 0 \text{ W}$$

$$Q_{12} = U \times S \times \Delta T = 0,337 \times (60) \times (24 - 2) = 444,84 \text{ W}$$

$$Q_{13} = U \times S \times \Delta T = 0,337 \times (90) \times (31 - 2) = 879,57 \text{ W}$$

$$Q_{14} = U \times S \times \Delta T = 0,337 \times (60) \times (24 - 2) = 444,84 \text{ W}$$

$$Q_{1paredes} = Q_{11} + Q_{12} + Q_{13} + Q_{14} = 0 + 444,84 + 879,57 + 444,84 = 1769,3 \text{ W}$$

Juntando a este valor a carga térmica do pavimento tem-se:

$$Q_1 = 1769,3 + 1432,2 = 3201,45 \text{ W}$$

- **Carga térmica intermédia**

$$Q_{int} = \sum_{i=0}^n Q_i = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8$$

Carga Térmica Intermédia	
Q_1	3201,45 W
Q_2	204,53 W
Q_3	303,51 W
Q_4	75 W
Q_5	43 W
Q_6	1167 W
Q_7	3000 W
Q_8	1134 W
Q_{int}	9137,5 W

Tabela 11 - Soma das cargas térmicas intermédias da câmara 3

- **Potência intermédia**

Da mesma maneira para a potência intermédia tem-se que:

$$P_{int} = \frac{Q_{int} \times 24}{20}$$
$$P_{int} = \frac{9137,5 \times 24}{20} = 10965 \text{ W}$$

- **Potência Previsional**

A potência previsional para a câmara 3 será:

$$P_{prev} = P_{int} \times 1,2$$
$$P_{prev} = 10965 \times 1,2 = 13158 \text{ W}$$
$$P_{prev} = 13,2 \text{ kW}$$

6. Seleccção de equipamentos para as câmaras

6.1. Seleccção de evaporadores

Para seleccionar os evaporadores, tem de se ter em conta a potência necessária para cada câmara, assim como o número de evaporadores que se irá colocar em cada uma. Neste caso ir-se-á colocar dois evaporadores em cada câmara.

Sabe-se pelos cálculos anteriores que:

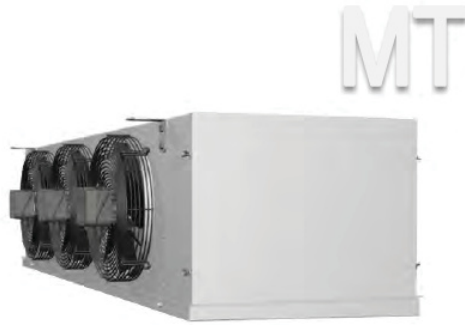
Câmara	Potência da câmara	Potência por evaporador
1	13 kW	6,5 kW
2	11,9 kW	5,95 kW
3	13,2 kW	6,6 kW

Tabela 12 - Potências a considerar

Tendo em conta a câmara onde existe maior carga térmica, que será a câmara 3 de 13,9 kW, e sabendo também que serão colocados dois evaporadores por câmara, terá de se seleccionar um evaporador que tenha no mínimo uma capacidade de 6,6 kW. Por razões de simplicidade em termos de garantia, manutenção, reparações, e até identificação de problemas semelhantes, os evaporadores seleccionados serão todos iguais.

- **Evaporadores Centauro MT, DD, BXN e BXL**

Recorrendo aos catálogos da marca Centauro, chegou-se aos modelos de evaporadores MT, DD, BXN e BXL. Todos possuem as mesmas características técnicas e como tal o critério de exclusão será as potências e temperaturas de operação. Posto isto, e tendo em mãos uma câmara de refrigerados, excluimos imediatamente a gama de evaporadores DD e BXL, devido a terem temperaturas de operação na ordem dos -34°C . Já em relação aos BXN, excluem-se devido a terem uma gama de potências curta, na ordem dos 9,91 kW, o que ao fim da aplicação dos coeficientes de correcção, pode não haver margem de segurança. Resta-nos portanto a gama de evaporadores MT.



Fonte: <http://www.centauro.pt>

Figura 11 - Evaporador Centauro Gama MT

Para o cálculo da nossa potência corrigida usar-se-á as seguintes expressões que vêm implícitas no respectivo catálogo.

- **Potência corrigida Q_{0m}**

$$Q_{0m} = Q_{sm} \times RC_m \times FC_1 \times FC_2$$

- **Potência corrigida Q_{01}**

$$Q_{01} = Q_{s1} \times RC_1 \times FC_1 \times FC_2$$

- **Diferença de temperaturas técnica (DT_1)**

Esta diferença de temperaturas é calculada simplesmente pela diferença entre a temperatura de entrada no evaporador (T_e) e a temperatura de evaporação deste (T_{evap}).

$$DT_1 = T_e - T_{evap}$$

- **Diferença média aritmética de temperatura (DT_m)**

Esta diferença baseia-se no mesmo princípio da anterior, contudo em vez de considerar o valor de entrada no evaporador, considera-se um valor médio entre o valor de entrada e de saída (T_s) deste.

$$DT_m = \frac{T_e + T_s}{2} - T_{evap}$$

Para entender melhor este conceito, encontra-se de seguida, o diagrama das temperaturas e o esquema do evaporador na câmara.

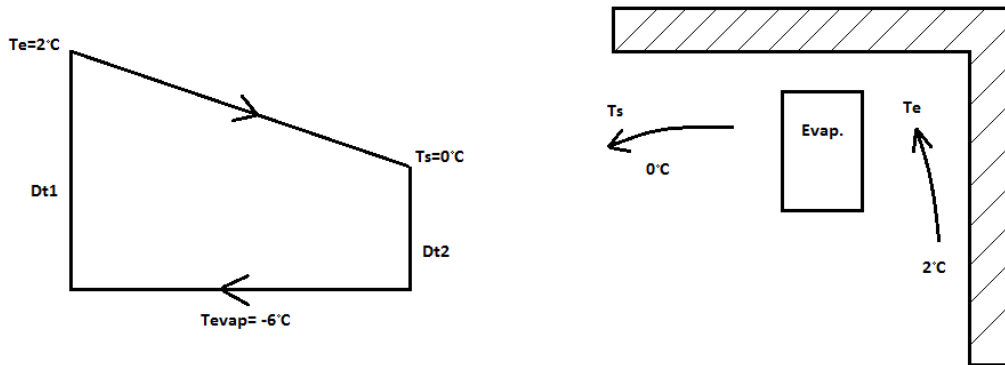


Figura 12 - Ilustração do diferencial de temperaturas

Como o gráfico indica e logicamente, a condição ($DT_m < DT_1$), terá de ser cumprida, já que o valor médio das temperaturas nunca poderá ser maior que o seu máximo.

Sabemos pelo catálogo, que o evaporador, tem uma temperatura de evaporação de -6°C , a temperatura de entrada no evaporador será de 2°C , já que é à temperatura que se quer a câmara, e a temperatura de saída, ou de insuflação neste caso, não poderá ser abaixo dos 0°C , o que, devido ao alto teor de água da uva, poderá causar um congelamento não desejado, o que causará a sua deterioração.

Substituindo nas equações:

$$DT_1 = T_e - T_{evap} = 2 + 6 = 8$$

$$DT_1 = 8^\circ\text{C}$$

$$DT_m = \frac{T_e + T_s}{2} - T_{evap} = \frac{2 + 0}{2} + 6 = 7$$

$$DT_m = 7^\circ\text{C}$$

$$DT_m < DT_1 \Leftrightarrow 7 < 8$$

A condição confirma-se, logo os cálculos estão correctos e pode-se prosseguir para a selecção do evaporador.

De salientar que os valores de potência corrigida irão ser confirmados pelos dois métodos para não haver dúvidas. Como sabemos que a potência mínima do evaporador a seleccionar é de 6,6 kW, conforme calculado anteriormente e sabendo também que os factores de correcção para as especificações em causa irão fazer descer esse valor, apontar-se-á para uma potência ligeiramente superior.

Escolhendo o evaporador da Centauro MT4E2/10, temos para a capacidade corrigida Q_{0m} em DT_m :

$$Q_{0m} = Q_{sm} \times RC_m \times FC_1 \times FC_2$$

- $Q_{sm} = 9,73 \text{ kW}$

DADOS DE DESEMPENHO PERFORMANCE DATA DATOS DE DESEMPEÑO										
Modelo Type Modelo	Superfície Surface Superficie	Volume interno Internal Volume Volumen interno	Espaçamento de aletas Fin spacing Separación de aletas	Capacidade QSm Capacity QSm Capacidad QSm (TC=2°C / DTm=8K)	Capacidade Capacity Capacidad (TC=18°C / DTm=8K)	Capacidade QS1 Capacity QS1 Capacidad QS1 (Tese=4°C / DTI=10K)	Condições Conditions Conditions ENV328			
							Capacidade 1,35 x SC1 Capacity 1,35 x SC1 Capacidad 1,35 x SC1 (Tese=10°C / DTI=10K)	Capacidade 1,15 x SC2 Capacity 1,15 x SC2 Capacidad 1,15 x SC2 (Tese=9°C / DTI=8K)	Capacidade 1,05 x SC3 Capacity 1,05 x SC3 Capacidad 1,05 x SC3 (Tese=8°C / DTI=7K)	Capacidade 1,01 x SC4 Capacity 1,01 x SC4 Capacidad 1,01 x SC4 (Tese=25°C / DTI=8K)
MT 4C1/3	12,43	3,25	4,2	3,33		3,17	3,24	2,21		
MT 4E1/5	17,76	3,60	4,2	4,91		4,58	4,79	3,26		
MT 4C2/6	24,80	5,77	4,2	6,44		5,13	5,27	4,27		
MT 4C3/8	29,84	6,63	4,2	8,28		7,89	8,07	5,50		
MT 4E2/9	29,60	6,00	4,2	8,90		8,48	8,68	5,91		
MT 4E2/10	35,52	7,20	4,2	9,73		9,27	9,48	6,46		
MT 4C3/10	44,76	9,10	4,2	10,43		9,93	10,16	6,92		
MT 4E3/13	44,28	8,60	4,2	13,39		12,75	13,04	8,89		
MT 4E3/16	71,05	14,40	4,2	15,53		14,79	15,13	10,31		
MT 4E4/18	59,04	11,50	4,2	17,91		17,06	17,45	11,89		
MT 4E4/20	71,05	14,40	4,2	19,51		18,68	19,11	13,02		
MT 4G2/20	86,21	19,10	4,2	19,45		18,52	18,55	12,91		
MT 4G3/23	80,66	17,40	4,2	23,15		22,05	22,56	15,37		
MT 4J2/24	98,09	21,84	4,2	24,09		22,94	23,47	15,99		
MT 4G3/29	129,31	27,84	4,2	28,94		27,56	28,19	19,21		
MT 4L2/36	143,10	31,13	4,2	36,35		34,62	35,42	24,13		
MT 4J4/49	196,83	41,80	4,2	48,87		46,54	47,61	32,44		
MT 4L3/53	214,85	45,64	4,2	53,20		50,67	51,84	35,32		
MT 4L4/68	250,66	52,64	4,2	67,92		64,69	66,18	45,09		
MT 4L4/72	286,30	60,16	4,2	72,31		68,87	70,45	48,00		

(1) Pressão sonora a 3m, em campo livre sem reflexões Sound pressure level at 3m, in free field conditions, without reflections Pression sonora a 3m, en campo libre sin reflexión.

Fonte: <http://www.centauro.pt>

Figura 13 - Capacidade Qsm

- RC_m

Usando um $DT_m = 7$ e uma temperatura da câmara de $TC = 2^\circ\text{C}$, obtém-se um $RC_m = 0,875$.

RCm	DTm [K]							
	10	9	8	7	6	5	4	
TC [°C]	+5	1,298	1,168	1,039	0,909	0,781	0,679	0,564
	+2	1,200	1,080	1,000	0,857	0,741	0,638	0,517
	0	1,140	1,026	0,912	0,797	0,682	0,585	0,470
	-2	1,111	1,001	0,909	0,794	0,680	0,582	0,466

Fonte: <http://www.centauro.pt>

Figura 14 - Factor de correcção RCm

- FC_1

Sendo a temperatura de evaporação de -6°C e o fluido refrigerante $R134a$, fazendo uma interpolação linear, chega-se a um valor de $FC_1 = 0,974$.

FC1	TE [°C]			
	+5	0	-5	-10
R134a	1,02	1,00	0,98	0,95
R22 (DT1≤8K)		0,98	1,00	1,00
R22 (DT1>8K)		1,02	1,02	1,02

Fonte: <http://www.centauro.pt>

Figura 15 - Factor de correcção FC1

- FC_2

Considerando as alhetas em alumínio, tem-se um $FC_2 = 1$

FC2	Alumínio Aluminium Aluminio	Al. revestido Coated aluminium Al. revestido	Cobre Copper Cobre
Factor	1,00	0,97	1,03

Fonte: <http://www.centauro.pt>

Figura 16 - Factor de correcção FC2

Substituindo na equação:

$$Q_{0m} = 9,73 \times 0,857 \times 0,974 \times 1$$

$$Q_{0m} = 8,12 \text{ kW}$$

Para a capacidade corrigida Q_{01} , usando o mesmo evaporador:

$$Q_{01} = Q_{s1} \times RC_1 \times FC_1 \times FC_2$$

- Q_{s1}

Recorrendo ao catálogo da centauru, chega-se a um valor $Q_{s1} = 9,27 \text{ kW}$.

DADOS DE DESEMPENHO PERFORMANCE DATA DATOS DE DESEMPEÑO												
Modelo Type Modelo	Superfície Surface Superfície	Volume Interno Internal Volume Volumen Interno	Espaçamento de aletas Fin spacing Separación de aletas	Capacidade QSm Capacity QSm Capacidad QSm (T _C =+2°C / DT1=8K)	Capacidade Capacity Capacidad (T _C =+18°C / DT1=8K)	Capacidade Qs1 Capacity Qs1 Capacidad Qs1 (T _{se} =+4°C / DT1=10K)	Condições Conditions Condiciones ENV328			kW		
							Capacidade 1,35 x SC1 Capacity 1,35 x SC1 Capacidad 1,35 x SC1 (T _{se} =+10°C / DT1=10K)	Capacidade 1,15 x SC2 Capacity 1,15 x SC2 Capacidad 1,15 x SC2 (T _{se} =0°C / DT1=8K)	Capacidade 1,05 x SC3 Capacity 1,05 x SC3 Capacidad 1,05 x SC3 (T _{se} =+18°C / DT1=7K)			
MT 4C1/3	12,43	3,25	4,2	3,33		3,17	3,24	2,21				
MT 4E1/5	17,76	3,60	4,2	4,91		4,88	4,79	3,26				
MT 4C2/6	24,80	5,77	4,2	6,44		6,13	6,27	4,27				
MT 4C3/8	29,84	6,63	4,2	8,28		7,89	8,07	5,50				
MT 4E2/9	29,60	6,00	4,2	8,90		8,48	8,68	5,91				
MT 4E2/10	35,52	7,20	4,2	9,73		9,27	9,48	6,46				
MT 4C3/10	44,76	9,10	4,2	10,43		9,93	10,16	6,92				
MT 4E3/13	44,28	8,60	4,2	13,39		12,75	13,04	8,89				
MT 4E3/16	71,05	14,40	4,2	15,53		14,79	15,13	10,31				
MT 4E4/18	59,04	11,50	4,2	17,91		17,06	17,45	11,89				
MT 4E4/20	71,05	14,40	4,2	19,61		18,68	19,11	13,02				
MT 4G2/20	86,21	19,10	4,2	19,45		18,52	18,95	12,91				
MT 4G3/23	80,66	17,40	4,2	23,15		22,05	22,56	15,37				
MT 4J2/24	98,09	21,84	4,2	24,09		22,94	23,47	15,99				
MT 4G3/29	129,31	27,84	4,2	28,94		27,56	28,19	19,21				
MT 4L2/36	143,10	31,13	4,2	36,35		34,62	35,42	24,13				
MT 4L4/49	196,83	41,80	4,2	48,87		46,54	47,61	32,44				
MT 4L3/53	214,85	45,64	4,2	53,20		50,67	51,84	35,32				
MT 4L4/68	250,66	52,64	4,2	67,92		64,69	66,18	45,09				
MT 4L4/72	286,50	60,16	4,2	72,31		68,87	70,45	48,00				

(1) Pressão sonora a 3m, em campo livre sem reflexões Sound pressure level at 3m, in free field conditions, without reflections Pressión sonora a 3m, en campo libre sin reflexión.

Fonte: <http://www.centauru.pt>

Figura 17 - Capacidade do evaporador Qs1

- RC_1

Usando $DT_1 = 8$ e uma temperatura seca da câmara de $T_{se} = 2$, tem-se um $RC_1 = 0,758$.

RC1	DT1 [K]							
	10	9	8	7	6	5	4	
Tse [°C]	+10	1,023	0,921	0,818	0,716	0,614	0,512	0,410
	+8	1,016	0,914	0,812	0,710	0,609	0,506	0,406
	+6	1,008	0,907	0,806	0,705	0,604	0,503	0,402
	+4	1,000	0,900	0,800	0,700	0,600	0,500	0,400
	+2	0,947	0,852	0,758	0,663	0,568	0,474	0,379
0	0,871	0,784	0,697	0,610	0,523	0,436	0,348	

Fonte: <http://www.centauru.pt>

Figura 18 - Factor de correcção RC1

Substituindo na equação:

$$Q_{01} = Q_{s1} \times RC_1 \times FC_1 \times FC_2$$

$$Q_{01} = 9,27 \times 0,758 \times 0,974 \times 1$$

$$Q_{01} = 6,84 \text{ kW}$$

Pelos valores calculados podemos concluir que o valor de 6,84 kW satisfaz a condição mínima de potência que é necessário, que é de 6,6 kW. Contudo, este valor não trás grande margem de segurança, logo o evaporador MT4E2/10 está excluído. A hipótese será obviamente seleccionar o evaporador acima.

Escolhendo então o modelo MT4C3/10 temos as seguintes potências:

DADOS DE DESEMPEÑO PERFORMANCE DATA DATOS DE DESEMPEÑO														
Modelo Type Modelo	Superficie Surface Superficie	Volume Interno Internal Volume Volumen Interno	Empaqueamento de alídeas Fin spacing Separación de alídeas	Capacidade OSm Capacity OSm Capacidad OSm (TC=2°C / DT=8K)	Capacidade Capacity Capacidad (TC=18°C / DT=8K)	Capacidade OS1 Capacity OS1 Capacidad OS1 (Tse=4°C / DT=10K)	Condições Conditions Condiciones ENV328							
							Capacidade 1,35 x SC1 Capacity 1,35 x SC1 Capacidad 1,35 x SC1 (Tse=10°C / DT=10K)	Capacidade 1,15 x SC2 Capacity 1,15 x SC2 Capacidad 1,15 x SC2 (Tse=9°C / DT=8K)	Capacidade 1,05 x SC3 Capacity 1,05 x SC3 Capacidad 1,05 x SC3 (Tse=18°C / DT=7K)	Capacidade 1,01 x SC4 Capacity 1,01 x SC4 Capacidad 1,01 x SC4 (Tse=25°C / DT=6K)				
	mm	cm	mm				kW							
MT 4C1/3	12,43	3,25	4,2	3,33		3,17	3,24					2,21		
MT 4E1/6	17,76	3,60	4,2	4,91		4,88	4,79					3,26		
MT 4C2/6	24,80	5,77	4,2	6,44		6,13	6,27					4,27		
MT 4C3/8	29,84	6,63	4,2	8,28		7,89	8,07					5,50		
MT 4E2/9	29,60	6,00	4,2	8,90		8,48	8,68					5,91		
MT 4E2/10	35,52	7,20	4,2	9,73		9,27	9,48					6,46		
MT 4C3/10	44,76	9,10	4,2	10,43		9,93	10,16					6,92		
MT 4E3/13	44,28	8,60	4,2	13,39		12,75	13,04					8,39		
MT 4E3/16	71,05	14,40	4,2	15,53		14,79	15,13					10,31		
MT 4E4/18	59,04	11,50	4,2	17,91		17,06	17,45					11,89		
MT 4E4/20	71,05	14,40	4,2	19,61		18,68	19,11					13,02		
MT 4G2/20	86,21	19,10	4,2	19,45		18,52	18,95					12,91		
MT 4G3/23	80,66	17,40	4,2	23,15		22,05	22,56					15,37		
MT 4J2/24	93,09	21,84	4,2	24,09		22,94	23,47					15,99		
MT 4G3/29	129,31	27,84	4,2	28,94		27,56	28,19					19,21		
MT 4L2/36	143,10	31,13	4,2	36,35		34,62	35,42					24,13		
MT 4J4/49	196,83	41,80	4,2	48,87		46,54	47,61					32,44		
MT 4L3/53	214,85	45,64	4,2	53,20		50,67	51,84					35,32		
MT 4L4/68	250,66	52,64	4,2	67,92		64,69	66,18					45,09		
MT 4L4/72	286,50	60,16	4,2	72,31		68,87	70,45					48,00		

(1) Pressão sonora a 3m, em campo livre sem reflexões Sound pressure level at 3m, in free field conditions, without reflections Pressión sonora a 3m, en campo libre sin reflexión.

Fonte: <http://www.centauro.pt>

Figura 19 - Seleção do evaporador

Sendo os coeficientes os mesmos usados anteriormente, as novas capacidades serão:

$$Q_{sm} = 10,43 \text{ kW}$$

$$Q_{s1} = 9,93 \text{ kW}$$

Substituindo nas expressões:

$$Q_{om} = Q_{sm} \times RC_m \times FC_1 \times FC_2 = 10,43 \times 0,857 \times 0,974 \times 1$$

$$Q_{om} = 8,71 \text{ kW}$$

$$Q_{o1} = Q_{s1} \times RC_1 \times FC_1 \times FC_2 = 9,93 \times 0,758 \times 0,974 \times 1$$

$$Q_{o1} = 7,33 \text{ kW}$$

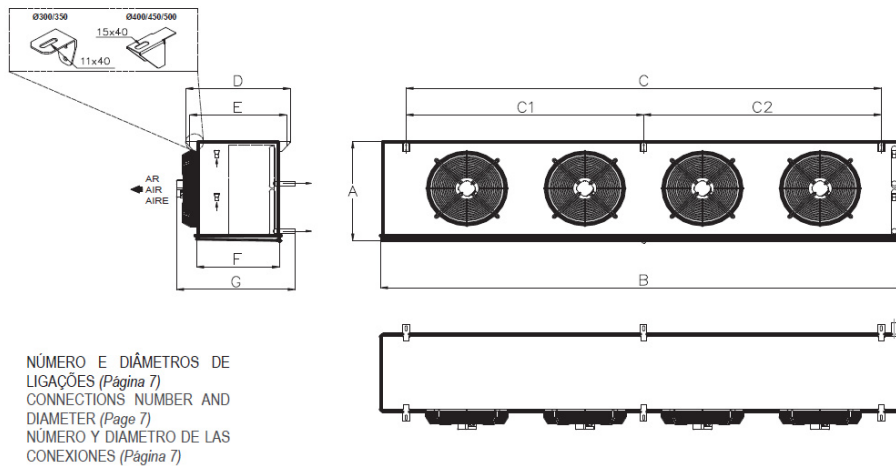
Este evaporador já satisfaz com segurança as potências necessárias à instalação em causa. Logo o evaporador Centauro MT4C3/10 (6 unidades), será o evaporador escolhido para a instalação.

Existe outro factor importante no que diz respeito ao evaporador, que é o seu tamanho. Consultando de novo ao catálogo, como se mostra de seguida, tem-se as dimensões deste.

DADOS DIMENSIONAIS DIMENSIONAL DATA DATOS DIMENSIONALES													
Dimensões Dimensions Dimensiones												Modelo Type Modelo	
A	A1	B	C	C1	C2	C3	C4	D	E	F	G		H
mm													
449		753	450					615	540	490	720		MT 4C1/3
449		833	525					615	540	490	700		MT 4E1/5
449		1173	870					615	540	490	720		MT 4C2/6
449		1596	1290					615	540	490	720		MT 4C3/8
449		1333	1025					615	540	490	700		MT 4E2/9
449		1333	1025					615	540	490	700		MT 4E2/10
449		1596	1290					615	540	490	720		MT 4C3/10
449		1833	1525					615	540	490	700		MT 4E3/13
449		1833	1525					615	540	490	700		MT 4E3/16
449		2333	2025	1013	1013			615	540	490	700		MT 4E4/18
449		2333	2025	1013	1013			615	540	490	700		MT 4E4/20
615		1693	1330					680	625	525	780		MT 4G2/20
615		2343	1980					680	625	525	780		MT 4G3/23
690		1693	1330					680	625	525	780		MT 4J2/24
615		2343	1980					680	625	525	780		MT 4G3/29
765		2123	1710					747	690	590	845		MT 4L2/36
690		2993	2630	1315	1315			680	625	525	780		MT 4J4/49
765		2963	2550					747	690	590	845		MT 4L3/53
765		3803	3390	1695	1695			747	690	590	845		MT 4L4/68
765		3803	3390	1695	1695			747	690	590	845		MT 4L4/72

Fonte: <http://www.centauro.pt>

Figura 20 - Dimensões do evaporador (valores)



Fonte: <http://www.centauro.pt>

Figura 21 - Dimensões do evaporador (desenho)

Dimensões do evaporador	
Altura	499mm
Comprimento	1596mm
Largura	720mm

Tabela 13 - Dimensões do evaporador

Como se calculou anteriormente a folga que ficava por cima das caixas até ao tecto, que é de 1,35 metros, e sabendo também que a parede onde o aparelho vai ser colocado tem 15 metros, este evaporador não terá qualquer problema em ser instalado na câmara.

6.1.1.Caudal de fluido

De acordo com a expressão da termodinâmica $Q = m \times c_p \times \Delta T$ é necessário saber o caudal de fluido presente na instalação para saber as potências dos restantes equipamentos. Deste modo consultando o diagrama Ph, obtemos:

$$h_5 = 251 \text{ kJ/kg}$$

$$h_g = 396 \text{ kJ/kg}$$

Substituindo:

$$\dot{Q}_L = \dot{m}(h_g - h_5)$$

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_L}{h_g - h_5} = \frac{45,48}{396 - 251} = 0,314 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m} = 0,314 \text{ kg/s}$$

Este caudal será para a entrada dos evaporadores, ou seja para a potência total da instalação. Posteriormente para cada evaporador, será calculado o caudal para cada um deste. Com isto podemos seleccionar todos os acessórios e dimensionar as tubagens.

6.2. Potência do condensador

O condensador vai ser um único aparelho. Podia-se optar por três assim como os compressores, mas devido a estes terem a opção para desligar os grupos de ventiladores e também pelo facto de que uma unidade será mais barata que três, opta-se somente por um condensador. De seguida tem-se o cálculo teórico da potência do condensador. Este não será o valor utilizado para a selecção do condensador, tratando-se de um valor teórico. O valor a usar será extraído do catálogo do fabricante, o CTR.

$$h_2 = 440 \text{ kJ/kg}$$

$$h_3 = 265 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{Q}_H = \dot{m}(h_2 - h_3)$$

$$\dot{Q}_H = 0,314(440 - 265) = 54,89 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_H = 54,89 \text{ kW}$$

6.3. Potência do compressor

A solução para os compressores será um grupo de três compressores que alimentarão cada um respectivamente dois evaporadores, ou seja uma câmara. Isto permite racionar o consumo de energia, quer seja pelo facto da câmara não estar cheia ou requerer de momento potências diferentes. Os compressores serão de embolo (pistão, de 4 ou 6), semi-herméticos e de um andar.

Em relação aos compressores falta ainda saber o caudal volumétrico necessário, ou seja a quantidade de fluido em m^3 no período de uma hora.

Retirando do diagrama Ph:

$$v_1 = 0,096 m^3/kg$$

E sabendo que o caudal de fluido do circuito é de:

$$\dot{m} = 0,314 \text{ kg/s}$$

O caudal volumétrico necessário para o compressor a escolher será:

$$\dot{V} = \dot{m} \times v_1$$

$$\dot{V} = 0,314 \times 0,096 = 0,0301m^3/s$$

$$\dot{V} = 0,0301 \times 3600 = 108,5m^3/h$$

Tratando-se de três compressores:

$$\dot{V} = \frac{108,5}{3} = 36,2m^3/h$$

$$\dot{V} = 36,2m^3/h$$

Cada compressor terá de ter a capacidade de 15kW, já que cada um alimenta uma câmara.

6.4. Seleccção do condensador

Recorrendo aos catálogos da Centauro para a selecção do condensador, concluiu-se que, dentro dos modelos disponíveis da marca, e como foi optado pela solução de apenas um condensador, teremos de optar por uma gama de grande capacidade. Escolhe-se então os condensadores da gama ACI, com capacidades que vão de 26 kW até 279 kW. Indo então para a gama ACI:



Fonte: <http://www.centauro.pt>

Figura 22 - Condensador Centauro Gama ACI

Antes de escolher a modelo do condensador e da mesma maneira como foi feito para o evaporador, será necessário calcular os factores de correcção.

Para começar e de acordo com o catálogo, calcula-se o calor total de rejeição CTR.

Cálculo CTR	CTR calculation	Cálculo CTR
Compressor semi-hermético		$CTR = Q + P_{abs}$
Semi hermetic compressor		$CTR = Q \times FR$
Compressor semi-hermético		
TC=+45°C		
TE=-10°C		
Q=63,0 kW		$CTR = 63,0 \text{ kW} + 29,7 \text{ kW} = 92,7 \text{ kW}$
Pabs=19,7kW		$CTR = 63,0 \text{ kW} \times 1,45 = 91,4 \text{ kW}$

Fonte: <http://www.centauro.pt>

Figura 23 - Exemplo de cálculo de CTR

$$CTR = Q + P_{abs}$$

$$CTR = Q \times FR$$

- **FR**

Para a instalação, considera-se uma temperatura de condensação de 46°C e uma temperatura de evaporação de -6°C. O compressor será um compressor semi-hermético de pistão. Posto isto e interpolando no quadro acima, chega-se a um factor de correcção de $FR = 1,424$.

FR		TC [°C]														
		+35			+40			+45			+50			+55		
		H	A	S	H	A	S	H	A	S	H	A	S	H	A	S
TE [°C]	+5	1.26	1.20	1.22	1.30	1.23	1.26	1.35	1.27	1.31	1.41	1.32	1.37	1.48	1.38	1.44
	0	1.31	1.23	1.26	1.35	1.27	1.30	1.40	1.31	1.35	1.47	1.36	1.42	1.55	1.43	1.49
	-5	1.36	1.26	1.30	1.41	1.30	1.34	1.47	1.35	1.40	1.55	1.41	1.47	1.64	1.48	1.55
	-10	1.43	1.30	1.34	1.49	1.35	1.39	1.56	1.40	1.45	1.65	1.46	1.52	1.76	1.55	1.61
	-15	1.52	1.34	1.39	1.59	1.39	1.44	1.67	1.45	1.51	1.77	1.52	1.59	1.90	1.62	1.68
	-20	1.64	1.39	1.44	1.71	1.44	1.50	1.80	1.51	1.57	1.91	1.60	1.66	2.01		
	-25	1.68	1.44	1.50	1.76	1.51	1.56	1.86	1.58	1.64	1.98	1.68	1.73	2.11		
	-30	1.75	1.51	1.57	1.84	1.58	1.64	1.95	1.67	1.72	2.08	1.79	1.82	2.21		
-35	1.83	1.58	1.65	1.92	1.67	1.73	2.04	1.79	1.82	2.18	1.94	1.93	2.32			

Fonte: <http://www.centauro.pt>

Figura 24 - Factor de correcção FR

Substituindo na expressão do catálogo, sabendo que Q é a capacidade frigorífica tem-se:

$$CTR = Q \times FR$$

$$CTR = 45 \times 1,424 = 64,08 \text{ kW}$$

$$CTR = 64,08 \text{ kW}$$

Sabendo o valor real da potência do condensador, a selecção deste terá se ser feita em conta com um valor igual ou superior a 64,08 kW.

- **Capacidade corrigida Q_0**

Capacidade corrigida	Corrected capacity	Capacidad corregida
ACP/M 380/202T R404A TA = +35°C Alumínio Aluminium Aluminio		$Q_0 = Q_{@DT=15K} \times FC1 \times FC2 \times FC3 \times FC4$
Nível do mar Sea level Nivel del mar		$Q_0 = 201,71 \text{ kW} \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 = 201,71 \text{ kW}$

Fonte: <http://www.centauro.pt>

Figura 25 - Exemplo de cálculo de Q_0

A capacidade corrigida para o condensador calcula-se através da seguinte expressão:

$$Q_0 = Q_{@DT=15K} \times FC1 \times FC2 \times FC3 \times FC4$$

- **Factores de correcção $FC1$, $FC2$, $FC3$, $FC4$**

Recorrendo á tabela da figura 26, respectivamente, para o fluido da instalação (R134a), o factor de correcção $FC1 = 0,93$.

Da mesma maneira, sendo as alhetas em alumínio, tem-se que $FC2 = 1$.

Em relação a $FC3$, relativo á temperatura ambiente faz-se uma interpolação com o valor de 31°C, considerado para a região e obtém-se $FC3 = 1,024$.

Para o coeficiente da altitude do local, através de uma interpolação obtém-se $FC4 = 0,934$.

FC1	R404A	R134a	R407C	R22					
Factor	1.00	0.93	0.87	0.96					
FC2	Aluminio Aluminium Aluminio	Aluminio revestido Coated aluminium Aluminio revestido	Cobre Copper Cobre						
Factor	1.00	0.97	1.03						
FC3	TA [°C]								
	+15	+20	+25	+30	+35	+40			
Factor	1.06	1.05	1.03	1.02	1.00	0.98			
FC4	A [m]								
	0	300	600	900	1200	1500	1800	2100	2400
Factor	1.00	0.99	0.96	0.94	0.92	0.90	0.88	0.85	0.84

Fonte: <http://www.centauro.pt>

Figura 26 - Factores de correcção FC1, FC2, FC3, FC4

Consultando o catálogo para a selecção do condensador, opta-se pelo modelo ACIM 263/96.9T, que tem uma capacidade nominal $Q_{@DT=15K} = 75,81 \text{ kW}$

DADOS TÉCNICOS TECHNICAL DATA DATOS TÉCNICOS															
Modelo Type Modelo	Capacidade Capacity Capacidad (DT=15K) kW	Superfície Surface Superficie m²	Volume interno Internal volume Volumen interno dm³	N.º. Nr. Nº	Diámetro Diameter Diámetro mm	Caudal de ar Air flow Caudal de aire m³/h	Rotação Revolutions Revoluciones rpm	Ventiladores Fans Ventiladores		Ruído (1) Noise level (1) Ruido (1) dB(A)	Potência total Total power Potencia total W	Corrente total Total current Corriente total A	Alimentação MPS Voltaje V / F / Hz	Ligeiras standard Standard conexions Conexiones estándar	
								Entrada Inlet Entrada m	Saída Outlet Salida m						
ACIM							6-6 PÓLOS	6-6 POLES	6-6 POLOS						
ACIM 163/38.6T	31.50	76.71	8.10	1	630	10800	850	37	740	1.38	Δ 400/3/50	1 3/8	1 1/8		
ACIM 163/38.6Y	25.94	76.71	8.10	1	630	8200	620	32	440	0.76	Y 400/3/50	1 3/8	1 1/8		
ACIM 163/46.6T	36.96	114.90	11.50	1	630	10200	850	37	740	1.38	Δ 400/3/50	1 3/8	1 1/8		
ACIM 163/46.6Y	30.24	114.90	11.50	1	630	7800	620	32	440	0.76	Y 400/3/50	1 3/8	1 1/8		
ACIM 163/54.5T	42.00	153.40	16.10	1	630	9900	850	37	740	1.38	Δ 400/3/50	1 3/8	1 1/8		
ACIM 163/54.5Y	32.97	153.40	16.10	1	630	7400	620	32	440	0.76	Y 400/3/50	1 3/8	1 1/8		
ACIM 263/77.5T	63.00	153.41	16.10	2	630	21600	850	40	1480	2.76	Δ 400/3/50	1 5/8	1 3/8		
ACIM 263/77.5Y	51.98	153.41	16.10	2	630	16400	620	35	880	1.52	Y 400/3/50	1 5/8	1 3/8		
ACIM 263/96.9T	75.81	230.10	24.20	2	630	20400	850	40	1480	2.76	Δ 400/3/50	1 5/8	1 3/8		
ACIM 263/96.9Y	61.64	230.10	24.20	2	630	15600	620	35	880	1.52	Y 400/3/50	1 5/8	1 3/8		
ACIM 263/112T	85.26	306.82	32.30	2	630	19800	850	40	1480	2.76	Δ 400/3/50	2 1/8	1 5/8		
ACIM 263/112Y	66.57	306.82	32.30	2	630	14800	620	35	880	1.52	Y 400/3/50	2 1/8	1 5/8		
ACIM 363/116T	91.25	230.12	24.20	3	630	32400	850	42	2220	4.14	Δ 400/3/50	2 1/8	1 5/8		
ACIM 363/116Y	76.02	230.12	24.20	3	630	24600	620	37	1320	2.28	Y 400/3/50	2 1/8	1 5/8		
ACIM 363/153T	118.34	345.20	36.30	3	630	30600	850	42	2220	4.14	Δ 400/3/50	2 1/8	1 5/8		
ACIM 363/153Y	95.24	345.20	36.30	3	630	23400	620	37	1320	2.28	Y 400/3/50	2 1/8	1 5/8		
ACIM 363/171T	129.57	460.20	48.40	3	630	29700	850	42	2220	4.14	Δ 400/3/50	2 1/8	1 5/8		

Fonte: <http://www.centauro.pt>

Figura 27 - Selecção do condensador

Substituindo na expressão:

$$Q_0 = Q_{@DT=15K} \times FC1 \times FC2 \times FC3 \times FC4$$

$$Q_0 = 75,81 \times 0,93 \times 1 \times 1,024 \times 0,934 = 67,43 \text{ kW}$$

$$Q_0 = 67,43 \text{ kW}$$

Logo este condensador satisfaz as necessidades energéticas requeridas pela instalação, ou seja os 64,08kW calculados por CTR.

6.5. Seleção do compressor

De acordo com os cálculos anteriores tem-se que:

- O caudal volumétrico para cada compressor conforme calculado anteriormente terá de ser superior a: $\dot{V} = 36,2m^3/h$.
- Como cada compressor alimentará 2 evaporadores ele necessitará de produzir uma potência frigorífica de $\cong 45kW$ repartido por 3 ou seja $\cong 15kW$.

Recorrendo ao catálogo da Bitzer para o modelo 4NES-12Y, especificamente para R134a tem-se os seguintes valores:

Interpolando os valores para a potência frigorífica que o compressor tem capacidade para produzir chegamos a um valor de $Q_0 = 19762,4W$, o que satisfaz a condição requerida.

Em relação à potência absorvida (P_e), para posterior cálculo, chega-se a um valor de $P_e = 6,05kW$.

Verdichter Type Compressor type Compresseur type	Verf. Temp. Cond. temp. Temp. de cond. °C	Kälteleistung Cooling capacity Puissance frigorifique					Leistungsaufnahme Power consumption Puissance absorbée							
		Q_0 [Watt]					P_e [kW]							
		Verdampfungstemperatur °C					Evaporating temperature °C					Température d'évaporation °C		
		12,5	10	5	3	0	-5	-10	-15	-20	-25			
4NES-12Y	30	Q				36900	32350	25700	20100	15430	11520	8290		
		P				6,43	6,30	5,97	5,51	4,95	4,32	3,63		
	40	Q				31900	27950	22150	17230	13080	9620	6760		
		P				7,59	7,30	6,74	6,07	5,32	4,51	3,67		
	50	Q				23650	23650	18640	14380	10770	7750	5240		
		P				8,09	8,09	7,30	6,43	5,50	4,53	3,55		

Fonte: <http://www.bitzer.de>

Figura 28 - Capacidade e potência absorvida do compressor

Para finalizar tem-se esta figura com as características do compressor, entre as quais o seu caudal volumétrico. Pode-se ver que o caudal volumétrico deste compressor para 50 Hz e 1450 RPM é de $56,25\text{m}^3/\text{h}$, o que satisfaz os $36,2\text{m}^3/\text{h}$.

Piston compressors

Data Sheet: 4NES-12Y



Abb. ähnlich / Fig. similar, © Bitzer

BITZER ECOLINE // R134a

- [Leaflet: KP-103 \(50Hz / SI\)](#)
- [Manufacturers Declaration // Decl. of Conformity // Decl. of Incorporation: KC-001](#)
- [Manufacturers Declaration // Decl. of Conformity // Decl. of Incorporation: KC-104](#)
- Technical Information:
[KT-100](#) [KT-110](#) [KT-122](#) [KT-140](#) [KT-150](#) [KT-180](#) [KT-400](#) [KT-410](#) [KT-420](#) [KT-510](#) [KT-600](#)
- [Download CAD drawing](#)

Technical Data		
	SI	IP
Motor version	2	2
Displacement (1450 RPM 50Hz)	56,25 m ³ /h	1986.5 CFH
Displacement (1750 RPM 60Hz)	67,89 m ³ /h	2397.5 CFH
Frequency range	30..70 Hz	30..70 Hz
No. of cylinder x bore x stroke	4 x 70 mm x 42 mm	4 x 2.76 inch x 1.65 inch
Motor voltage (more on request)	380..420V PW - 3 - 50 Hz	380..420V PW - 3 - 50 Hz
Selection current for 70 Hz FI operation	25.2 A	25.2 A
Winding ratio	50/50 (PW)	50/50 (PW)
Max operating current	16.2 A	16.2 A
Starting current (Rotor locked)	69.0 A Y / 113.0 A YY	69.0 A Y / 113.0 A YY
Weight	141 Kg	311 lb
Maximum pressure (LP/HP)	19 / 28 bar	275 / 403 psi
Connection suction line	35 mm - 1 3/8"	35 mm - 1 3/8"
Connection discharge line	28 mm - 1 1/8"	28 mm - 1 1/8"
Oil charge	2.6 dm ³	91.5 fl oz
Oil type R134a	tc<60°C: BSE32 / tc>60°C: BSE55 (Option)	tc<140°F: BSE32 / tc>140°F: BSE55 (Option)
Crankcase heater	0..140 W PTC (Option)	0..140 W PTC (Option)
Oil level monitoring	OLC-K1 (Option)	OLC-K1 (Option)
Oil service valve	Option	Option
Discharge gas temperature sensor	Option	Option
Motor protection	SE-B1	SE-B1
Enclosure class	IP65	IP65
Start unloading	Option	Option
Capacity control	100-50% (Option)	100-50% (Option)
Additional fan	Option	Option
Vibration dampers	Standard	Standard
Sound power level (-10°C / 45°C)	76,5 dB(A) // 50 Hz	79.0 dB(A) // 60 Hz
Sound pressure level @ 1m (-10°C / 45°C)	68,5 dB(A) // 50 Hz	71.0 dB(A) // 60 Hz
// Subject to change //	// All data subject to change //	// Toutes les données sans garantie //

Fonte: <http://www.bitzer.de>

Figura 29 - Características técnicas do compressor

6.6.Ciclo Teórico

Para fazer o diagrama teórico, de maneira a conseguir seleccionar o resto do equipamento, analisa-se a potência total dos evaporadores. Segundo as duas expressões de cálculo corrigido, selecciona-se o caso mais desfavorável, ou seja a expressão onde os coeficientes mais fazem cair a potência do evaporador ou seja, $7,58 \text{ kW}$.

Esta potência por evaporador significa portanto, que se terá $15,16 \cong 15 \text{ kW}$ por câmara e conseqüentemente a instalação total terá $45,48 \cong 45 \text{ kW}$. Será esta a potência a usar para o cálculo do circuito teórico.

Para efectuar o gráfico PH, consideram-se os seguintes critérios:

- Temperatura de condensação – Como a temperatura do exterior é de 31°C , somando 15°C , temos uma temperatura de condensação de 46°C .
- Temperatura de evaporação – Como informação dada pelo catálogo do evaporador escolhido, a temperatura de evaporação do ciclo será de -6°C .
- Sub-arrefecimento – É tido em conta normalmente com valores à volta de 5°C e será este o valor utilizado. O sub-arrefecimento ocorre, de modo a que devido às perdas de carga da tubagem, vindas do condensador, não façam a válvula de expansão receber fluido em mistura, que causa o efeito de cavitação.
- Sobreaquecimento – Os valores de sobreaquecimento rondam normalmente entre os 5°C e os 15°C . Para este caso, considerar-se-á um sobre-aquecimento de 10°C . O sobre-aquecimento ocorre de modo a que da mesma maneira para o sub-arrefecimento, também aqui ocorrem perdas de carga antes do fluido chegar ao compressor. Deve-se evitar portanto que cheguem gotículas de fluido ao compressor, que causam a sua destruição e desgaste prematuros.

Para se ter uma melhor aproximação real do volume específico do fluido frigorífico, aproxima-se a compressão á real, usando o rendimento isentrópico. Admitindo que o rendimento isentrópico é de $\eta_i = 90\%$ tem-se:

$$\eta_i = \frac{\text{Energia compressor ideal}}{\text{Energia compressor real}} = \frac{m \times \Delta h_{ideal}}{m \times \Delta h_{real}} = \frac{h_2 - h_1}{h_2' - h_1}$$

Substituindo:

$$h_1 = 409 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = 440 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_i = 90\%$$

$$0,9 = \frac{440 - 409}{h_2' - 409} \Leftrightarrow h_2' = 443,4 \text{ kJ/kg}$$

Tendo este valor, que significa o valor de entalpia real à saída do compressor, pode-se desenhar o diagrama Ph, de maneira a ser mais aproximado á realidade, excluindo a perdas de carga que vão ser desprezadas.

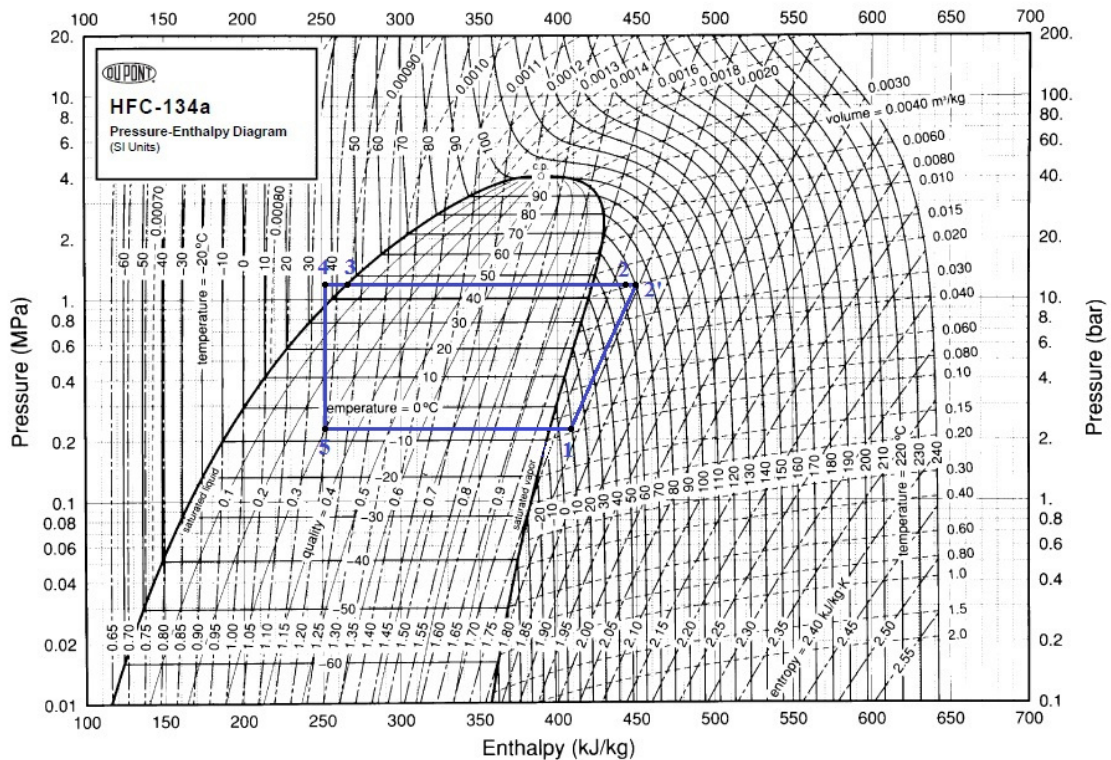


Figura 30 - Diagrama Ph da instalação

6.7. Tubagens

Tendo em conta que se trata de uma instalação de pequena dimensão, e a sala de máquinas se situa logo na parede adjacente às câmaras, as perdas de carga nas tubagens serão desprezáveis [Anexo 5]. Um factor importante a ter em conta será a velocidade dentro destas, que têm de respeitar valores recomendados, que no caso de atingir valores muito altos, pode causar distúrbios a níveis de tubagens, como vibrações e ruído, que afectam a estrutura da instalação. As tubagens serão normalizadas, em cobre do tipo K. A tabela a seguir mostra os valores tabelados mais comuns.

Dimensions and Physical Characteristics of Copper Tube TYPE K								
Nominal or standard size (inches)	Nominal dimensions (inches)			Calculated values (based on nominal dimensions)				
	Outside diameter	Inside diameter	Wall thickness	Cross sectional area of bore (square inches)	Weight of tube only (pounds per linear foot)	Weight of tube & water (pounds per linear foot)	Contents of tube (per linear foot)	
							Cubic feet	Gallon
1/4	0.375	0.305	0.035	0.073	0.133	0.177	0.00051	0.00379
3/8	0.500	0.402	0.049	0.127	0.269	0.324	0.00088	0.00660
1/2	0.625	0.527	0.049	0.218	0.344	0.438	0.00151	0.0113
5/8	0.750	0.652	0.049	0.334	0.418	0.562	0.00232	0.0174
3/4	0.875	0.745	0.065	0.436	0.641	0.829	0.00303	0.0227
1	1.125	0.995	0.065	0.778	0.837	1.18	0.00540	0.0404
1-1/4	1.375	1.245	0.065	1.22	1.04	1.57	0.00847	0.0634
1-1/2	1.625	1.481	0.072	1.72	1.36	2.10	0.0119	0.0894
2	2.125	1.959	0.083	3.01	2.06	3.36	0.0209	0.156
2-1/2	2.625	2.435	0.095	4.66	2.92	4.94	0.0324	0.242
3	3.125	2.907	0.109	6.64	4.00	6.87	0.0461	0.345
3-1/2	3.625	3.385	0.120	9.00	5.12	9.01	0.0625	0.468
4	4.125	3.857	0.134	11.7	6.51	11.6	0.0813	0.608
5	5.125	4.805	0.160	18.1	9.67	17.5	0.126	0.940
6	6.125	5.741	0.192	25.9	13.9	25.1	0.180	1.35
8	8.125	7.583	0.271	45.2	25.9	45.4	0.314	2.35
10	10.125	9.449	0.338	70.1	40.3	70.6	0.487	3.64
12	12.125	11.315	0.405	101	57.8	101	0.701	5.25

Fonte: <http://www.engineeringtoolbox.com/>

Figura 31 - Tubagens de cobre tipo K

De seguida estão representados no quadro os valores recomendados para as diferentes linhas do circuito:

Linha	Velocidade recomendada	Velocidade adoptada
Aspiração	10 a 12 m/s	10 m/s
Descarga	6 a 10 m/s	8 m/s
Líquido	0,5 a 1 m/s	1 m/s
Dreno	0,5 a 1 m/s	1 m/s

Tabela 14 - Velocidades nas tubagens

Para calcular a velocidade das tubagens, usar-se-ão as seguintes expressões:

$$\frac{\dot{V}}{v} = \dot{m} \Leftrightarrow \dot{V} = \dot{m} \cdot v$$

$$\dot{V} = C \cdot A \Leftrightarrow A = \frac{\dot{V}}{C}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}}$$

Estado	Linha	T [°C]	Entalpia (kJ/kg)	Caudal mássico (kg/s)	v (m ³ /kg)	Velocidade (m/s)
1 _c	Aspiração (compressor)	8	409	0,105	0,096	10
2' _c	Descarga (compressor)	70	443,4	0,105	0,0195	8
2'	Descarga (comum)	70	443,4	0,314	0,0195	8
3	Dreno (comum)	46	265	0,314	0,00090	1
4	Líquido (comum)	38	251	0,314	0,00086	1
4 _{2e}	Líquido (2 evaporadores)	38	251	0,105	0,00086	1
4 _e	Líquido (evaporador)	38	251	0,0525	0,00086	1

Tabela 15 - Propriedades do fluido nas respectivas tubagens

6.7.1.Cálculo de velocidades e diâmetros nas tubagens

- Aspiração, (1_c) compressor

A velocidade para a aspiração terá de ser calculada para um caudal de 0,105 kg/s, já que é o caudal da tubagem principal dividido por três representando respectivamente cada compressor.

$$\dot{V} = \dot{m} \cdot v = 0,105 \times 0,096 = 0,0101m^3/s$$

$$\dot{V} = 0,0101m^3/s$$

$$A = \frac{\dot{V}}{C} = \frac{0,0101}{10} = 0,00101m^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,00101}{\pi}} = 0,0359m$$

$$d = 35,9 \text{ mm} = 1,41in = 1 - 1/2'$$

- Descarga (2'c) linha compressor

A descarga terá duas linhas, de cada compressor e a linha comum, que transportará o fluido até ao condensador.

$$\dot{V} = \dot{m} \cdot v = 0,105 \times 0,0195 = 0,00205m^3/s$$

$$\dot{V} = 0,00205m^3/s$$

$$A = \frac{\dot{V}}{C} = \frac{0,00205}{8} = 2,56 \times 10^{-4}m^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 2,56 \times 10^{-4}}{\pi}} = 0,0181m$$

$$d = 18,1 \text{ mm} = 0,709in = 3/4'$$

- Descarga (2') linha comum

$$\dot{V} = \dot{m} \cdot v = 0,314 \times 0,0195 = 0,00612m^3/s$$

$$\dot{V} = 0,00612m^3/s$$

$$A = \frac{\dot{V}}{C} = \frac{0,00612}{8} = 7,65 \times 10^{-4}m^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 7,65 \times 10^{-4}}{\pi}} = 0,0312m$$

$$d = 31,2 \text{ mm} = 1,23in = 1 - 1/4'$$

- Dreno (3) linha comum

$$\dot{V} = \dot{m} \cdot v = 0,314 \times 0,00090 = 2,83 \times 10^{-4}m^3/s$$

$$\dot{V} = 2,83 \times 10^{-4}m^3/s$$

$$A = \frac{\dot{V}}{C} = \frac{2,83 \times 10^{-4}}{1} = 2,83 \times 10^{-4}m^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 2,83 \times 10^{-4}}{\pi}} = 0,019m$$

$$d = 19 \text{ mm} = 0,75in = 1'$$

- Liquido (4) Linha comum

$$\dot{V} = \dot{m} \cdot v = 0,314 \times 0,00086 = 2,7 \times 10^{-4}m^3/s$$

$$\dot{V} = 2,7 \times 10^{-4}m^3/s$$

$$A = \frac{\dot{V}}{C} = \frac{2,7 \times 10^{-4}}{1} = 2,7 \times 10^{-4}m^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 2,7 \times 10^{-4}}{\pi}} = 0,0185m$$

$$d = 18,5 \text{ mm} = 0,73in = 3/4'$$

- Líquido (4_{2e}) Linha (2 evaporadores)

$$\dot{V} = \dot{m} \cdot v = 0,105 \times 0,00086 = 9,03 \times 10^{-5} m^3/s$$

$$\dot{V} = 9,03 \times 10^{-5} m^3/s$$

$$A = \frac{\dot{V}}{C} = \frac{9,03 \times 10^{-5}}{1} = 9,03 \times 10^{-5} m^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 9,03 \times 10^{-5}}{\pi}} = 0,0107 m$$

$$d = 10,7 \text{ mm} = 0,42 \text{ in} = 1/2'$$

- Líquido (4_e) Linha (evaporador)

$$\dot{V} = \dot{m} \cdot v = 0,0525 \times 0,00086 = 4,515 \times 10^{-5} m^3/s$$

$$\dot{V} = 4,515 \times 10^{-5} m^3/s$$

$$A = \frac{\dot{V}}{C} = \frac{4,515 \times 10^{-5}}{1} = 4,515 \times 10^{-5} m^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 4,515 \times 10^{-5}}{\pi}} = 0,00758 m$$

$$d = 7,6 \text{ mm} = 0,299 \text{ in} = 1/4'$$

6.7.2. Velocidades corrigidas

Como referido anteriormente, as tubagens têm valores normalizados e como tal é necessário corrigir a velocidade tendo em conta estas medidas. Temos então:

- Aspiração (1)

Valor calculados: 35,9 mm = 1,41 in = 1-1/2'

Valor normalizado: 1-1/2' = 1,481 in = 37,62 mm = 0,03762 m

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \times 0,03762^2}{4} = 0,001111m^2$$

$$C = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{0,0101}{0,00111} = 9,1m/s$$

$$C = 9,1m/s$$

- Descarga (2'_c) linha compressor

Valor calculado: 18,1 mm = 0,709 in = 3/4'

Valor normalizado: 3/4' = 0,745 in = 18,92 mm = 0,01892 m

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \times 0,01892^2}{4} = 2,81 \times 10^{-4}m^2$$

$$C = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{0,00205}{2,81 \times 10^{-4}} = 7,29m/s$$

$$C = 7,29m/s$$

- Descarga (2') linha comum

Valor calculado: 31,2 mm = 1,23 in = 1-1/4'

Valor normalizado: 1-1/4' = 1,245 in = 31,62 mm = 0,03162 m

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \times 0,03162^2}{4} = 7,85 \times 10^{-4} m^2$$

$$C = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{0,00612}{7,85 \times 10^{-4}} = 7,80 m/s$$

$$C = 7,80 m/s$$

- Dreno (3) Linha comum

Valor calculado: 19 mm = 0,75 in = 1'

Valor normalizado: 1' = 0,995 in = 25,27 mm = 0,02527 m

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \times 0,02527^2}{4} = 5,02 \times 10^{-4} m^2$$

$$C = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{2,83 \times 10^{-4}}{5,02 \times 10^{-4}} = 0,56 m/s$$

$$C = 0,56 m/s$$

- Líquido (4) linha comum

Valor calculado: 18,5 mm = 0,73 in = 3/4'

Valor normalizado: 3/4' = 0,745 in = 18,92 mm = 0,01892 m

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \times 0,01892^2}{4} = 2,81 \times 10^{-4} m^2$$

$$C = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{2,7 \times 10^{-4}}{2,81 \times 10^{-4}} = 0,96 m/s$$

$$C = 0,96 m/s$$

- Líquido (4_{2e}) Linha (2 evaporadores)

Valor calculado: 10,7 mm = 0,42 in = 1/2'

Valor normalizado: 1/2' = 0,527 in = 14,53 mm = 0,01453 m

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \times 0,01453^2}{4} = 1,65 \times 10^{-4} m^2$$

$$C = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{9,03 \times 10^{-5}}{1,65 \times 10^{-4}} = 0,55 m/s$$

$$C = 0,55 m/s$$

- Líquido (4_e) Linha (evaporador)

Valor calculado: 7,6 mm = 0,299 in = 1/4'

Valor normalizado: 1/4' = 0,305 in = 7,747 mm = 0,00775 m

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \times 0,00775^2}{4} = 4,71 \times 10^{-5} m^2$$

$$C = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{4,515 \times 10^{-5}}{4,71 \times 10^{-5}} = 0,95 m/s$$

$$C = 0,95 m/s$$

Linha	Velocidade corrigida [m/s]	Tubagem [in]	Tubagem [mm]
Aspiração, (1 _c) compressor	9,1	1-1/2'	37,62
Descarga, (2' _c) compressor	7,29	3/4'	18,92
Descarga (2') comum	7,80	1-1/4'	31,62
Dreno (3)	0,56	1'	25,27
Líquido (4) comum	0,96	3/4'	18,92
Líquido (4 _{2e}) 2 evaporadores	0,55	1/2'	14,53
Líquido (4 _e) evaporador	0,95	1/4'	7,75

Tabela 16 - Velocidades corrigidas e respectiva tubagem

Tendo as tubagens dimensionadas, pode-se então seleccionar as válvulas e restante equipamento.

6.8. Válvulas

6.8.1. Válvula solenóide

A válvula solenóide é uma válvula controlada electricamente que tem como objectivo o controlo do fluxo de caudal. Serão colocadas uma válvula deste tipo antes de cada evaporador ou seja, 6 válvulas de solenóide no total. Neste caso será o estado 4_e . Para a selecção da válvula, é necessário saber a gama de pressões de operação, assim como o diâmetro da tubagem onde esta vai trabalhar e também o caudal volumétrico.

Tem-se então para estes segmentos as seguintes características:

Estado	Gama de pressões	Diâmetro tubagem	Caudal volumétrico
4_e	2,2 a 12 bar	1/4'	$0,163 \text{ m}^3/h$

Tabela 17 - Propriedades do fluido para tubagem da válvula solenóide

Consultando o catálogo de válvulas da Danfoss e cumprindo as propriedades acima, escolhe-se o modelo EV220A 6 com o número de código 042U4053.

EV220A servo-operated 2/2-way solenoid valves, brass, NO



Type	Connection	Kv m ³ /h	Water 120°C	Media		Seal material	Differential pressure bar	Code number
				Water 90°C	Oil / Air			
EV220A 6	G 1/4	1		✓	✓	NBR	0.2 → 16	042U4053
EV220A 10	G 3/8	1.6		✓	✓	NBR	0.2 → 16	042U4063
EV220A 14	G 1/2	4		✓	✓	NBR	0.3 → 16	042U4074
EV220A 18	G 3/4	7		✓	✓	NBR	0.3 → 16	042U4082
EV220A 22	G 1	7		✓	✓	NBR	0.3 → 16	042U4092

Fonte: <http://www.danfoss.com/>

Figura 32 - Seleção da válvula solenóide

6.8.2. Válvulas de expansão

Esta válvula tem como objectivo expandir o fluido frigorífico antes de entrar no evaporador. Como tal, da mesma maneira como para as válvulas de solenóide, instala-se uma válvula deste tipo antes de cada evaporador. O circuito irá ter 6 válvulas de expansão.

Para a selecção desta válvula é necessário ter em conta a gama de operação de temperaturas, o diâmetro da tubagem e o caudal volumétrico da tubagem onde opera a válvula.

Tem-se então para estes segmentos as seguintes características:

Estado	Gama de temperaturas	Diâmetro tubagem	Caudal volumétrico
4 _e	46 a 38 °C	1/4'	0,163 m ³ /h

Tabela 18- Propriedades do fluido para tubagem da válvula de expansão

Esta temperatura é a proveniente do depósito de líquido, que quando chega á válvula em causa, situa-se a 38°C.

Consultando o catálogo da Danfoss para este tipo de válvula e cumprimento os requisitos acima escolhe-se o modelo AVTA10 com o número de código 003N1132.

Para instar a válvula na tubagem usa-se um adaptador de 3/8 para 1/4.

Universal charge. Brass valve body

Type	Connection	Temperature setting range °C	Max sensor temperature °C	Kv m ³ /h	Sensor dimensions Ø x L mm	Capillary tube, length m	Code number
AVTA 10	G 3/8	0 → 30	57	1.4	18 x 210	2	003N1132
AVTA 15	G 1/2	0 → 30	57	1.9	18 x 210	2	003N2132
AVTA 20	G 3/4	0 → 30	57	3.4	18 x 210	2	003N3132
AVTA 25	G 1	0 → 30	57	5.5	18 x 210	2	003N4132
AVTA 10	G 3/8	25 → 65	90	1.4	18 x 210	2	003N1162
AVTA 15	G 1/2	25 → 65	90	1.9	18 x 210	2	003N2162
AVTA 20	G 3/4	25 → 65	90	3.4	18 x 210	2	003N3162
AVTA 25	G 1	25 → 65	90	5.5	18 x 210	2	003N4162
AVTA 10	G 3/8	50 → 90	125	1.4	18 x 210	2	003N1182
AVTA 15	G 1/2	50 → 90	125	1.9	18 x 210	2	003N2182
AVTA 20	G 3/4	50 → 90	125	3.4	18 x 210	2	003N3182
AVTA 25	G 1	50 → 90	125	5.5	18 x 210	2	003N4182



Fonte: <http://www.danfoss.com/>

Figura 33 - Selecção da válvula de expansão

6.8.3. Válvulas de corte

Este é o tipo de válvula mais utilizada na instalação. É responsável pelo corte total do fluido na instalação, o que serve para operações de manutenção ou reparação.

Para a selecção destas válvulas tem de se ter em atenção os seguintes factores:

- O refrigerante com que a válvula pode operar (R134a).
- A gama de temperatura a que pode operar (-50 a 150°C)
- A gama de pressão a que pode operar (até 40 bar).
- A dimensão da tubagem (variável conforme tabela 19).

Conhecendo estes 4 elementos, temos condições de seleccionar as válvulas de corte. Irá recorrer-se ao catálogo Danfoss para a gama SVA-ST em linha.

Dados Técnicos

	SVA 6 - 10 e SVA-ST	SVA-HS	SVA-DL e SVA-DH	SVA - SS
Refrigerantes	Para todos os refrigerantes comuns não inflamáveis incluindo R717 e todos os gases/líquidos não corrosivos.	Para todos os refrigerantes comuns incluindo hidrocarbonetos inflamáveis e todos os gases/líquidos não corrosivos.	Para todos os refrigerantes comuns não inflamáveis incluindo R717 e todos os gases/líquidos não corrosivos.	Para todos os refrigerantes comuns não inflamáveis incluindo R717 e todos os gases/líquidos não corrosivos.
Gama de temperatura	-50/+150°C	-60/+150°C	-60/+150°C	-60/+150°C
Gama de pressão	As válvulas foram concebidas para a pressão máxima de funcionamento de 40 bar g. Válvulas para pressões de funcionamento superiores estão disponíveis a pedido.	As válvulas foram concebidas para a pressão máxima de funcionamento de 40 bar g. Válvulas para pressões de funcionamento superiores estão disponíveis a pedido.	As válvulas foram concebidas para a pressão máxima de funcionamento de 40 bar g. Válvulas para pressões de funcionamento superiores estão disponíveis a pedido.	Concebidas para pressão máxima de funcionamento de 52 bar.

Fonte: <http://www.danfoss.com/>

Figura 34 - Dados técnicos das válvulas de corte

Válvulas de corte SVA-ST:

DIN		Em ângulo		DIN		Em linha	
Dimensão mm	pol.	Tipo	Códigos	Dimensão mm	pol.	Tipo	Códigos
15	½	SVA-ST 15 D ANG Cap	148B3362	15	½	SVA-ST 15 D STR Cap	148B3402
20	¾	SVA-ST 20 D ANG Cap	148B3442	20	¾	SVA-ST 20 D STR Cap	148B3482
25	1	SVA-ST 25 D ANG Cap	148B3522	25	1	SVA-ST 25 D STR Cap	148B3562
32	1¼	SVA-ST 32 D ANG Cap	148B3602	32	1¼	SVA-ST 32 D STR Cap	148B3642
40	1½	SVA-ST 40 D ANG Cap	148B3682	40	1½	SVA-ST 40 D STR Cap	148B3712
50	2	SVA-ST 50 D ANG Cap	148B3033	50	2	SVA-ST 50 D STR Cap	148B3039
65	2½	SVA-ST 65 D ANG Cap	148B3045	65	2½	SVA-ST 65 D STR Cap	148B3051
80	3	SVA-ST 80 D ANG Cap	148B3062	80	3	SVA-ST 80 D STR Cap	148B3082
100	4	SVA-ST 100 D ANG Cap	148B3102	100	4	SVA-ST 100 D STR Cap	148B3122
125	5	SVA-ST 125 D ANG Cap	148B3142	125	5	SVA-ST 125 D STR Cap	148B3162
150	6	SVA-ST 150 D ANG Cap	148B3182	150	6	SVA-ST 150 D STR Cap	148B3202
200	8	SVA-ST 200 D ANG Cap	148B3222	200	8	SVA-ST 200 D STR Cap	148B3242

Fonte: <http://www.danfoss.com/>

Figura 35 - Gamas das válvulas de corte

Estado	Nº de válvulas	Dimensão	Modelo
2 _c '	3	3/4'	SVA-ST 20 D STR Cap
3	1	1'	SVA-ST 25 D STR Cap
4	4	3/4'	SVA-ST 20 D STR Cap

Tabela 19 - Selecção das válvulas de corte

6.8.4. Válvulas de retenção

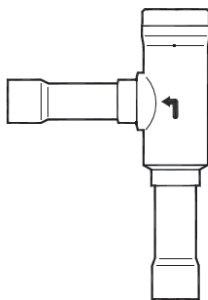
Esta válvula tem como objectivo permitir a passagem de fluido numa direcção, ou seja a válvula permite a passagem de fluido numa direcção, mas fecha-se automaticamente no caso do fluido circular no sentido contrário. Esta característica é especialmente útil no caso do compressor, que não pode de maneira nenhuma admitir fluido no estado líquido, sob pena de causar a sua própria destruição. O fluido em estado líquido (condensados) que provém do condensador, pode causar esta situação, assim também como evita o golpe de aríete.

Sendo assim é necessário a instalação destas válvulas. Posto isto tem-se então 3 válvulas de retenção, situadas a jusante do compressor.

Para a selecção destas válvulas é necessário ter em atenção os seguintes aspectos.

- A queda de pressão (desprezável neste caso).
- O caudal volumétrico da tubagem em causa ($7,38m^3/s$).
- Dimensão da tubagem (3/4').
- Potência dos evaporadores afectos á tubagem (15 kW por câmara).

Como a válvula de 3/4' não tem capacidade suficiente de caudal para o caso, opta-se por uma válvula angular de 7/8 como se mostra pelo excerto seguinte do catálogo da Danfoss, de onde se escolhe o modelo NRVH 22s com o código número 020-1032.



Angleway Solder ODF Version

Type	Pressure drop across valve Δp ²⁾	k_v -value ³⁾	Connection [in.]		Connection [mm]	
	[bar]		[m ³ /h]	Size	Code no.	Size
NRV 22s	0.04	8.50	7/8	020-1020	22	020-1020
NRVH 22s	0.30	8.50	7/8	020-1032	22	020-1032
NRV 22s ¹⁾	0.04	8.50	1 1/8	020-1060	28	020-1055
NRVH 22s ¹⁾	0.30	8.50	1 1/8	020-1072	28	020-1067
NRV 28s	0.04	16.50	1 1/8	020-1021	28	020-1025
NRVH 28s	0.30	16.50	1 1/8	020-1029	28	020-1033
NRV 28s ¹⁾	0.04	16.50	1 3/8	020-1056	35	020-1056
NRVH 28s ¹⁾	0.30	16.50	1 3/8	020-1068	35	020-1068
NRV 35s	0.04	29.0	1 3/8	020-1026	35	020-1026
NRVH 35s	0.30	29.0	1 3/8	020-1034	35	020-1034
NRV 35s ¹⁾	0.04	29.0	1 5/8	020-1061	42	020-1027
NRVH 35s ¹⁾	0.30	29.0	1 5/8	020-1073	42	020-1035

Fonte: <http://www.danfoss.com/>

Figura 36 - Selecção das válvulas de retenção

Para a válvula poder ser usada na tubagem em questão é necessário usar um adaptador. Para o caso interessa-nos colocar a válvula de 7/8' no tubo de 3/4'.

6.8.5. Válvula de purga

As válvulas de purga têm como objectivo proteger o circuito, no caso de a pressão ser superior à pressão normal de trabalho, ou seja pressão excessiva.

Estas válvulas situam-se no separador de líquido e conforme indicado no catálogo deste mesmo equipamento, existe uma conexão para instalar este tipo de válvulas. Para a selecção, tem de se ter em conta a pressão a que as válvulas operam (10 a 40 bar), dentro dos 12 bar do circuito, temperatura de (-30 a 100°C), dentro dos (-6 a 46°C) do circuito, assim como são próprias para R134a. Posto isto, temos as válvulas da gama SFA da Danfoss como mostra a figura seguinte. A válvula seleccionada opera a uma de pressão de 12 bar, exactamente a pressão máxima do circuito, que não deve ser ultrapassada. Logo a válvula será a SFA 15T 212.

Size		Type	Set pressure bar g (psi g)	Code number
mm	in.			
15	½	SFA 15 T 210	10 (145)	148F3210
15	½	SFA 15 T 211	11 (160)	148F3211
15	½	SFA 15 T 212	12 (174)	148F3212
15	½	SFA 15 T 213	13 (189)	148F3213
15	½	SFA 15 T 214	14 (203)	148F3214
15	½	SFA 15 T 215	15 (218)	148F3215
15	½	SFA 15 T 216	16 (232)	148F3216
15	½	SFA 15 T 217	17 (247)	148F3217
15	½	SFA 15 T 218	18 (261)	148F3218
15	½	SFA 15 T 219	19 (276)	148F3219
15	½	SFA 15 T 220	20 (290)	148F3220
15	½	SFA 15 T 221	21 (305)	148F3221
15	½	SFA 15 T 222	22 (319)	148F3222
15	½	SFA 15 T 223	23 (334)	148F3223
15	½	SFA 15 T 224	24 (348)	148F3224
15	½	SFA 15 T 225	25 (363)	148F3225
15	½	SFA 15 T 226	26 (377)	148F3226
15	½	SFA 15 T 227	27 (392)	148F3227
15	½	SFA 15 T 228	28 (406)	148F3228
15	½	SFA 15 T 229	29 (421)	148F3229
15	½	SFA 15 T 230	30 (435)	148F3230
15	½	SFA 15 T 231	31 (450)	148F3231
15	½	SFA 15 T 232	32 (464)	148F3232
15	½	SFA 15 T 233	33 (479)	148F3233
15	½	SFA 15 T 234	34 (493)	148F3234
15	½	SFA 15 T 235	35 (508)	148F3235
15	½	SFA 15 T 236	36 (522)	148F3236
15	½	SFA 15 T 237	37 (537)	148F3237
15	½	SFA 15 T 238	38 (551)	148F3238
15	½	SFA 15 T 239	39 (566)	148F3239
15	½	SFA 15 T 240	40 (580)	148F3240

Fonte: <http://www.danfoss.com/>

Figura 37 - Selecção da válvula de purga

6.9.Pressostatos

Para a selecção dos pressostatos tem de se ter em conta a gama de pressões a que estes operam. Neste caso para a baixa pressão tem-se uma pressão de operação de 2,2 bar e uma pressão de alta de 12 bar.

Os pressostatos serão 6, 3 colocados antes da linha do compressor e 3 colocados depois desta, de maneira a controlar a pressão do circuito.

Tendo em conta que o R134a é um fluido frigorífico fluorado não inflamável, pode-se seleccionar os pressostatos Danfoss da gama KP.

Para a gama de pressão baixa selecciona-se o pressostato KP1 060-1112, que satisfaz a condição de pressão exigida tendo uma gama regulável, assim como que é instalado com 1/4 ‘de solda em cobre o que, sendo do mesmo material da tubagem evita corrosões nas tubagens e no acessório. Este pressostato é de controlo e deste modo influencia a paragem e o arranque do compressor.

Pressostatos Tipos KP, com proteções IP 33, IP 44 ou IP 55

Especificações



Pressão	Tipo	Baixa pressão (LP)		Alta pressão (HP)		Rearme		Sistema de contatos	Nº de código		
		Faixa de regulagem - bar	Diferencial Δp bar	Faixa de regulagem - bar	Diferencial Δp bar	Baixa pressão LP	Alta pressão HP		1/4 pol. 6 mm rosca	1/4 pol. solda de cobre ODF	6 mm solda de cobre ODF

Para refrigerantes fluorados

Baixa	KP 1	-0,2 → 7,5	0,7 → 4,0			Automático			060-1101	060-1112	060-1110
Baixa	KP 1	-0,2 → 7,5	0,7 → 4,0			Automático			060-1141 1)		
Baixa	KP 1	-0,9 → 7,0	Fixo 0,7			Manual			060-1103	060-1111	060-1109
Baixa	KP 2	-0,2 → 5,0	0,4 → 1,5			Automático			060-1120		060-1123
Alta	KP 5			8 → 32	1,8 → 6,0		Automático		060-1171	060-1179	060-1177
Alta	KP 5			8 → 32	Fixo 3		Manual		060-1173	060-1180	060-1178
Duplo	KP 15	-0,2 → 7,5	0,7 → 4,0	8 → 32	Fixo 4	Automático	Automático		060-1241	060-1254	
Duplo	KP 15	-0,2 → 7,5	0,7 → 4,0	8 → 32	Fixo 4	Automático	Manual		060-1243		
Duplo	KP 15	-0,2 → 7,5	0,7 → 4,0	8 → 32	Fixo 4	Automático	Manual		060-1148		
Duplo	KP 15	-0,9 → 7,0	Fixo 0,7	8 → 32	Fixo 4	Manual	Manual		060-1245		
Duplo	KP 15	-0,9 → 7,0	Fixo 0,7	8 → 32	Fixo 4	Conv. 2)	Conv. 2)		060-1261		
Duplo	KP 15	-0,2 → 7,5	0,7 → 4,0	8 → 32	Fixo 4	Automático	Automático		060-1265	060-1299	060-
Duplo	KP 15	-0,2 → 7,5	0,7 → 4,0	8 → 32	Fixo 4	Automático	Manual		1264	060-1284	
Duplo	KP 15	-0,2 → 7,5	0,7 → 4,0	8 → 32	Fixo 4	Conv. 2)	Conv. 2)		060-1154	060-0010	
Duplo	KP 15	-0,9 → 7,0	Fixo 0,7	8 → 32	Fixo 4	Conv. 2)	Conv. 2)		060-1220		

Fonte: <http://www.danfoss.com/>

Figura 38 - Seleção de pressostatos de baixa pressão

De maneira análoga ao de baixa pressão, selecciona-se para a alta, o pressostato KP5 060-1179 com uma gama de pressão dos 8 aos 32bar. É instalado em solda de cobre de 1/4 ‘ que evita corrosões quer no metal da tubagem quer no metal do acessório. Este pressostato é de segurança e como tal faz disparar o sistema em caso de pressão excessiva, que possa causar dano em algum equipamento.

Pressostatos
Tipos KP, com proteções IP 33, IP 44 ou IP 55

Especificações



Pressão	Tipo	Baixa pressão (LP)		Alta pressão (HP)		Rearme		Sistema de contatos	Nº de código		
		Faixa de regulação - bar	Diferencial Δp bar	Faixa de regulação - bar	Diferencial Δp bar	Baixa pressão LP	Alta pressão HP		1/4 pol. 6 mm rosca	1/4 pol. solda de cobre ODF	6 mm solda de cobre ODF

Para refrigerantes fluorados

Baixa	KP 1	-0,2 → 7,5	0,7 → 4,0			Automático		SPDT	060-1101	060-1112	060-1110
Baixa	KP 1	-0,2 → 7,5	0,7 → 4,0			Automático			060-1141 1)		
Baixa	KP 1	-0,9 → 7,0	Fixo 0,7			Manual			060-1103	060-1111	060-1109
Baixa	KP 2	-0,2 → 5,0	0,4 → 1,5			Automático			060-1120		060-1123
Alta	KP 5			8 → 32	1,8 → 6,0		Automático		060-1171	060-1179	060-1177
Alta	KP 5			8 → 32	Fixo 3		Manual		060-1173	060-1180	060-1178
Duplo	KP 15	-0,2 → 7,5	0,7 → 4,0	8 → 32	Fixo 4	Automático	Automático	SPDT+ sinais LP	060-1241	060-1254	
Duplo	KP 15	-0,2 → 7,5	0,7 → 4,0	8 → 32	Fixo 4	Automático	Manual		060-1243		
Duplo	KP 15	-0,2 → 7,5	0,7 → 4,0	8 → 32	Fixo 4	Automático	Manual		060-1148		
Duplo	KP 15	-0,9 → 7,0	Fixo 0,7	8 → 32	Fixo 4	Manual	Manual		060-1245		
Duplo	KP 15	-0,9 → 7,0	Fixo 0,7	8 → 32	Fixo 4	Conv.?)	Conv.?)		060-1261		
Duplo	KP 15	-0,2 → 7,5	0,7 → 4,0	8 → 32	Fixo 4	Automático	Automático	SPDT+ sinais LP e HP	060-1265	060-1299	060-
Duplo	KP 15	-0,2 → 7,5	0,7 → 4,0	8 → 32	Fixo 4	Automático	Manual		1264	060-1284	
Duplo	KP 15	-0,2 → 7,5	0,7 → 4,0	8 → 32	Fixo 4	Conv.?)	Conv.?)		060-1154	060-0010	
Duplo	KP 15	-0,9 → 7,0	Fixo 0,7	8 → 32	Fixo 4	Conv.?)	Conv.?)		060-1220		

Fonte: <http://www.danfoss.com/>

Figura 39 - Selecção de pressostatos de alta pressão

6.10. Visores de líquido

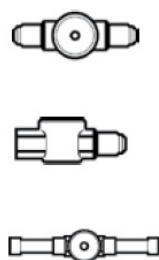
De igual maneira a qualquer acessório seleccionado para esta instalação, este convém ser próprio para refrigerantes fluorados, como é o caso.

Em relação ao visor de líquido este dá-nos a informação sobre a humidade no circuito. Como o fluido da instalação se trata do R134a sendo um HFC o modelo próprio de visores será o SGN da Danfoss.

Como indicação do catálogo estes visores funcionam numa gama de -50°C a 80°C, a pressão máxima de trabalho é de 35bar, e as cores indicam a humidade no circuito. Nestes visores o verde significa um fluido frigorífico seco, enquanto o amarelo significa um fluido frigorífico húmido e é nesta altura que é aconselhável a troca de filtro secador.

Como a tubagem onde o visor será instalado tem 3/4' tem-se o modelo SGN19s 014-0185 com solda ODF de 3/4', próprio para a tubagem em causa.

HFC



SGN6 SGN10 SGN12 SG116 SG119	Rosca externa x externa.	1/4 x 1/4 3/8 x 3/8 1/2 x 1/2 5/8 x 5/8 3/4 x 3/4	014-0161 014-0162 014-0163 014-0165 014-0166
SGN6 SGN10 SGN12 SGN16 SGN19	Rosca interna x externa ¹⁾	1/4 x 1/4 3/8 x 3/8 1/2 x 1/2 5/8 x 5/8 3/4 x 3/4	014-0171 014-0172 014-0173 014-0174 014-0175
SGN6s SGN10s SGN12s SGN16s SGN19s	Solda ODF X ODF	1/4 x 1/4 3/8 x 3/8 1/2 x 1/2 5/8 x 5/8 3/4 x 3/4	014-0181 014-0182 014-0183 014-0184 014-0185
SGN22s SGN22s		7/8 x 7/8 1 1/8 x 1 1/8	014-0186 014-0187
SGN6s SGN10s SGN12s SGN16s SGN22s	Solda ODF x ODM	1/4 x 1/4 3/8 x 3/8 1/2 x 1/2 5/8 x 5/8 7/8 x 7/8	014-0201 014-0202 014-0203 014-0204 014-0206
SGRN SGRN	Rosca	1/2 - 14 NPT M24x1	014-0006 014-1155

Fonte: <http://www.danfoss.com/>

Figura 40 - Selecção de visor de líquido

6.11. Filtro secador

Este equipamento tem como objectivo retirar a humidade presente no circuito. Esta humidade provém dos condensados e tem de ser retirado do circuito. Conforme informação do catálogo:

Type selection is made considering the application

		DCL	DML
Refrigerant	HFC	Can be used	Recommended
	HCFC	Recommended	Can be used
	CFC	Recommended	Not recommended ¹⁾
Oil	Mineral or AB	Recommended	Can be used
	POE or PAG, pure	Can be used	Recommended
	POE or PAG, with additives	Not recommended ²⁾	Recommended

Fonte: <http://www.danfoss.com/>

Figura 41 - Filtros secadores e gama de aplicações

Os filtros DML são os recomendados para os fluidos HFC como é o caso do R134a. Em relação aos óleos, os filtros DML podem ser usados com qualquer tipo de óleo e compressor.

Posto isto, o que se tem de ter em conta na selecção deste filtro será:

- Capacidade de “secagem” do fluido em kg
- Capacidade frigorífica do fluido em kW (45 kW)
- Pressão máxima de trabalho em bar (12bar)

DML

Drying and liquid capacity - Type DML

R134a, R507, R404A, R22, R407C, R410A

Type	Drying capacity [kg refrigerant] ¹⁾						Liquid capacity [kW] ²⁾			Max Working Pressure PS [bar]
	R134a		R404A R507		R22, R407C R410A		R134a	R404A R507	R22 R407C R410A	
	24°C	52°C	24°C	52°C	24°C	52°C				
DML 032/032s	5.5	5	7.5	4.5	4.5	4	7	5	7	46
DML 032.5s	5.5	5	7.5	4.5	4.5	4	9	7	10	46
DML 033/033s	5.5	5	7.5	4.5	4.5	4	17	13	19	46
DML 034s	5.5	5	7.5	4.5	4.5	4	24	17	26	46
DML 052/052s	8.5	8	13	7.5	8	7	7	5	8	46
DML 052.5s	8.5	8	13	7.5	8	7	9	7	10	46
DML 053/053s	8.5	8	13	7.5	8	7	18	14	19	46
DML 054s	8.5	8	13	7.5	8	7	25	18	27	46
DML 055s	8.5	8	13	7.5	8	7	34	25	38	46
DML 082/082s	12.5	12	20	11.5	12.5	11	7	5	8	46
DML 082.5s	12.5	12	20	11.5	12.5	11	10	8	11	46
DML 083/083s	12.5	12	20	11.5	12.5	11	19	14	21	46
DML 084/084s	12.5	12	20	11.5	12.5	11	26	20	29	46
DML 085/085s	12.5	12	20	11.5	12.5	11	42	31	46	46
DML 162/162s	27	25.5	43.5	24	27	23	7	5	8	46
DML 162.5s	27	25.5	43.5	24	27	23	10	8	11	46
DML 163/163s	27	25.5	43.5	24	27	23	22	16	24	46
DML 164/164s	27	25.5	43.5	24	27	23	30	22	33	46
DML 165/165s	27	25.5	43.5	24	27	23	43	30	47	46
DML 166/166s	27	25.5	43.5	24	27	23	44	31	48	35
DML 167s	27	25.5	43.5	24	27	23	44	31	48	35
DML 303/303s	57	54	92.5	51	57	48.5	21	15	23	46
DML 304/304s	57	54	92.5	51	57	48.5	31	22	34	46
DML 305/305s	57	54	92.5	51	57	48.5	45	27	40	46
DML 306/306s	57	54	92.5	51	57	48.5	62	45	68	35
DML 307s	57	54	92.5	51	57	48.5	62	45	68	35
DML 309s	57	54	92.5	51	57	48.5	62	45	68	30

Fonte: <http://www.danfoss.com/>

Figura 42 - Selecção de filtro secador pela potência e pressão

Posto estas condições pode-se seleccionar o filtro DML 306 ou 306s. Escolheu-se para o caso o DML 306, já que respeita a condição de capacidade frigorífica do fluido (62kW) para os 45kW da instalação, (35 bar) para, os 12 bar máximos da instalação. O facto de se ter escolhido o DML 306 em detrimento do DML 306s é pelo facto de que o modelo “s” é soldado á tubagem, enquanto o anterior é de rosca o que faz com que o filtro seja de muito mais fácil manutenção. O filtro DML 306 tem o tamanho de rosca da tubagem, não sendo preciso adaptadores.

Flare

DML

Type	Conn.		Multipack	Industrialpack for OEM only	
	in.	mm	Code no.	Code no.	Qty.
DML 032	1/4	6	023Z5035*	023Z8035*	28
DML 033	3/8	10	023Z5036*	023Z8036*	
DML 033	3/8	10	023Z5090	023Z8090	
DML 052	1/4	6	023Z5037	023Z8037	16
DML 053	3/8	10	023Z5038	023Z8038	
DML 082	1/4	6	023Z5039	023Z8039	16
DML 083	3/8	10	023Z5040	023Z8040	
DML 084	1/2	12	023Z5041	023Z8041	
DML 085	5/8	16	023Z5073	023Z8073	
DML 162	1/4	6	023Z5042	023Z8042	12
DML 163	3/8	10	023Z5043	023Z8043	
DML 164	1/2	12	023Z5044	023Z8044	
DML 165	5/8	16	023Z5045	023Z8045	
DML 166	3/4	19	023Z5046	023Z8046	
DML 303	3/8	10	023Z0049	023Z3049	8
DML 304	1/2	12	023Z0050	023Z3050	
DML 305	5/8	16	023Z0051	023Z3051	
DML 306	3/4	19	023Z0193	023Z3193	
DML 413	3/8	10	023Z0108	023Z3108	6
DML 414	1/2	12	023Z0109	023Z3109	
DML 415	5/8	16	023Z0110	023Z3110	

* Wire mesh in filter drier outlet

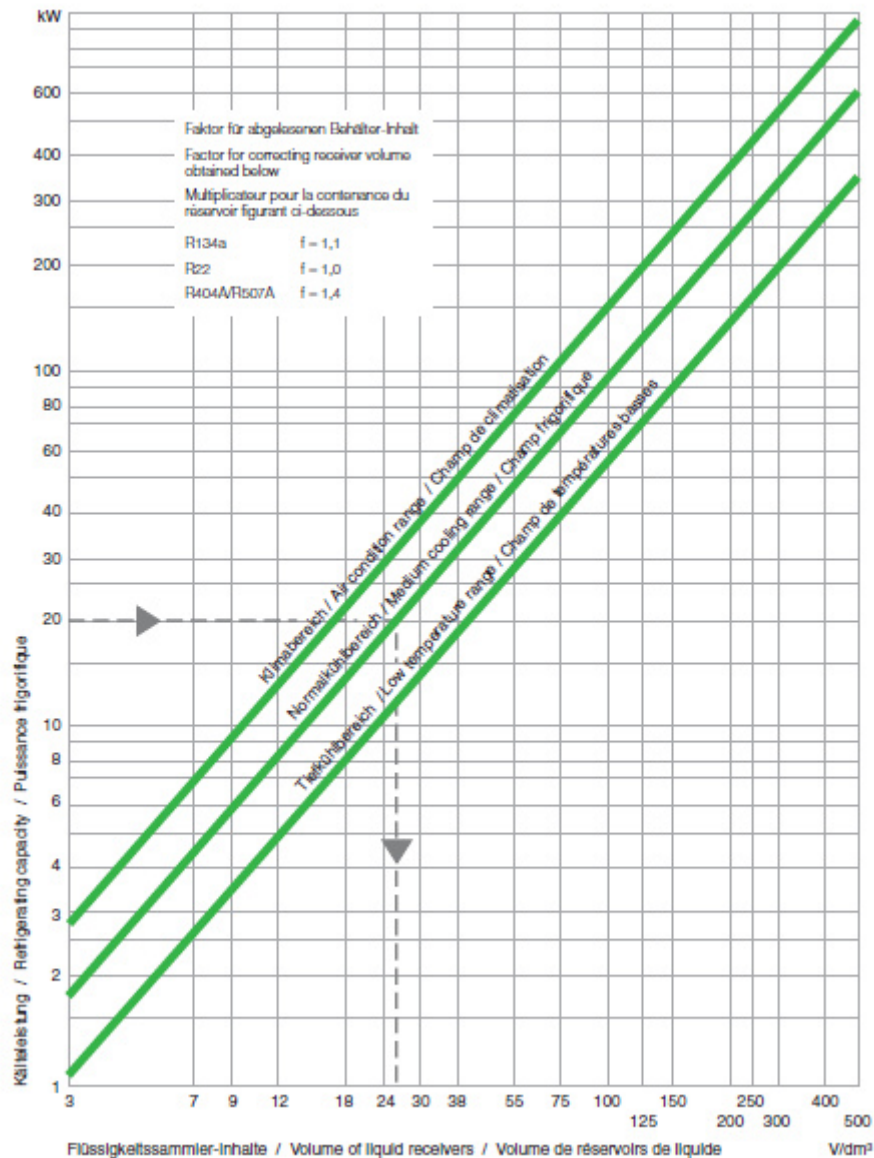
Fonte: <http://www.danfoss.com/>

Figura 43 - Seleção do filtro secador pela tubagem

6.12. Depósito de líquido

O depósito de líquido é único na instalação, logo tem de se ter em conta a potência total dos evaporadores para a sua selecção. Deste modo tem-se que a potência total dos evaporadores, de acordo com os cálculos anteriores é de 45kW.

Recorrendo à marca Bitzer, e usando o respectivo ábaco de selecção de depósitos de líquido.



Fonte: <http://www.bitzer.de>

Figura 44 - Ábaco para selecção de depósito de líquido

Usando a linha central de “medium cooling range” ou seja apropriado para casos de refrigeração, obtém-se um valor de 51 dm^3 . Como a instalação funciona com fluido R134a aplica-se um factor de correcção de 1,1. Com isto chega-se a um valor final de $56,1 \text{ dm}^3$.

Tendo de cumprir este requisito, optou-se pelo modelo F732N horizontal, com uma capacidade máxima de 73 dm^3 , e com as especificações técnicas da figura seguinte.

Pressure vessels

Data Sheet: F732N



- [Leaflet: DP-300](#) (50Hz / SI)
- [Leaflet: DP-341](#) (50Hz / SI)
- [Operating Instruction: DB-300](#)
- [Spare Part List: DE-110](#)
- [Manufacturers Declaration // Decl. of Conformity // Decl. of Incorporation: DC-300](#)
- [Download CAD drawing](#)

Abb. ähnlich / Fig. similar, © Bitzer

Technical Data		
	SI	IP
Weight	57,0 kg	125.7 lb
Total width	1214 mm	47.8'
Total depth	349 mm	13.7'
Total height	408mm	16.1'
Receiver volume refrigerant	73,0 l	2569.24 fl.oz
Max. refrigerant charge 90% at 20°C	20°C	68°F
R22	79,5 kg	175.3 lb
R134a	80,5 kg	177.6 lb
R407C	76,1 kg	167.9 lb
R404A // R507A	70,2 kg	154.7 lb
Connection inlet KL	35mm - 1 3/8"	35mm - 1 3/8"
Connection thread/ -flange	2 1/4" - 12 UN	2 1/4" - 12 UN
Connection outlet FL	28mm - 1 1/8"	28mm - 1 1/8"
Gauge	7/16" 20UNF	7/16" 20UNF
Connection for pressure relief valve	1 1/4"-12UNF	1 1/4"-12UNF
Adapter for pressure relief valve	Option	Option
Minimum level control	Option	Option
Maximum level control	Option	Option
Electric liquid level control	Option	Option
Approval according PED 97/23/EC	Standard	Standard
Special Approvals (on request)	Option	Option

Fonte: <http://www.bitzer.de>

Figura 45 - Características técnicas do depósito de líquido

6.13. Separador de óleo

De modo a que a instalação não seja contaminada com óleo lubrificante do compressor, é necessário que exista um separador de óleo. Como a instalação tem 3 compressores, será necessário um separador por cada. A potência frigorífica afecta a cada compressor será de 15 kW, uma temperatura de condensação de 46°C e uma

temperatura de evaporação de -6°C , tem-se pelo catálogo da Emerson Climate Technologies:

Refrigerant	Condensing Temperature $^{\circ}\text{C}$	Correction factor K_t					
		Evaporating temperature $^{\circ}\text{C}$					
		10	0	-10	-20	-30	
R 134a	25	1,31	1,36	1,39	1,43	1,50	
	30	1,18	1,21	1,24	1,28	1,35	
	35	1,06	1,08	1,11	1,15	1,21	
	40	0,95	0,98	1,01	1,05	1,10	
	45	0,86	0,88	0,92	0,95	1,02	
	50	0,80	0,81	0,85	0,89	0,97	

Fonte: <http://www.emersonclimate.com>

Figura 46 - Factor de correcção K para selecção do separador de óleo

Para o caso do fluido da instalação, fazendo a interpolação linear, obtém-se um factor de correcção de 1,078.

Escolhendo o modelo OSH (H de hermético da mesma maneira que o compressor) tem-se conforme figura seguinte a potência e a conexão do separador de óleo.

Selection table

Type	Part No.	Connection ODF	Conformity Assessment Category	Conformity Assessment Procedure	Nominal capacity (kW)			Volume Lit.
					R 22 / R 407C	R 134a	R 404A / R 507	
OSH-404	881 598	1/2"			7.0	4.9	7.3	2.0
OSH-405	881 599	5/8"			18.7	13.1	19.4	2.4
OSH-407	881 600	7/8"	Cat. I	Module A*	28.1	19.7	29.0	2.8
OSH-409	881 792	1-1/8"			37.4	26.2	38.7	3.0
OSH-411	881 794	1-3/8"			46.8	32.8	48.4	3.6
OSH-413	881 856	1-5/8"			65.5	45.9	67.8	3.6
OSH-611	881 940	1-3/8"	Cat. II	Module D1	51.5	36.1	53.3	6.5
OSH-613	881 953	1-5/8"			65.5	45.9	67.8	7.9
OSH-642	889 022	42 mm			65.5	45.9	67.8	7.9
OSH-617	881 970	2-1/8"			105.3	73.8	108.9	7.9
OST-404	881 860	1/2"	Cat. I	Module A*	7.0	4.9	7.3	1.8
OST-405	881 861	5/8"			18.7	13.1	19.4	2.6
OST-407	881 862	7/8"			28.1	19.7	29.0	3.2
OST-409	881 863	1-1/8"			37.4	26.2	38.7	3.8
OST-411	881 938	1-3/8"			46.8	32.8	48.4	3.8
OST-413	881 939	1-5/8"			65.5	45.9	67.8	3.8
OSB-613	881 971	1-5/8"	Cat. II	Module D1	65.5	45.9	67.8	7.8
OSB-617	881 972	2-1/8"			105.3	73.8	108.9	7.8

Fonte: <http://www.emersonclimate.com>

Figura 47 - Selecção do separador de óleo

Corrigindo o valor do separador em causa de 19,7 kW com o factor de correcção calculado, obtém-se uma potência de 21,23kW o que satisfaz as necessidades em causa. O separador tem uma conexão de 7/8' ajustável com adaptador para a tubagem de 3/4'.

7. Atmosfera controlada

Como foi explicado para o caso do produto em causa, a uva, e o seu funcionamento biológico, com a atmosfera controlada podemos prolongar a sua vida útil comercial ou seja, alterar o limite da sua putrefacção, maturação, e alteração de condições para as quais se considera um produto são.

Os gases de maior importância para as atmosferas controladas em câmaras frigoríficas são o oxigénio, o dióxido de carbono, o azoto e o etileno. A tabela seguinte mostra exemplos de atmosferas controladas para diferentes tipos de produtos:

Produto	Oxigénio	Dióxido de carbono	Azoto
Carne Vermelha	80%	20%	-
Carne cozinhada	-	30%	70%
Peixe branco	30%	30%	40%
Óleo de peixe	-	40%	60%
Pastelaria	-	100%	-
Paté	-	60%	40%
Frutas e vegetais	5%	5%	90%
Produtos secos	-	-	100%
Queijo	-	100%	-

Tabela 20 - Propriedades de algumas A.C.

Para o caso em estudo, será as frutas e vegetais com uma atmosfera que 5% de oxigénio, 5% de dióxido de carbono e 90% de azoto.

Para as frutas e vegetais cada caso é um caso e tem de ser estudado cuidadosamente, devido á fragilidade e sensibilidade dos produtos em questão.

A grande vantagem deste tipo de atmosferas é, como já foi dito aumentar o período de vida útil do produto perecível, podendo em alguns casos duplicar e até triplicar este período.

A degradação do produto tem várias origens assim como vários efeitos.

- As alterações microbiológicas, alteram o cheiro, o sabor, a textura e o aspecto. Influenciam também a toxicidade do produto.
- A oxidação química “ranço” provoca alterações a nível de cheiro, sabor, textura e aspecto assim como provoca uma perda de valor nutricional, o sabor a “ranço”.
- A oxidação enzimática, altera essencialmente a cor do produto e finalmente o endurecimento que causa a secagem do produto.

As soluções para evitar estes problemas passam exactamente pela atmosfera controlada como a injeção na atmosfera de CO₂ ou mistura com CO₂ e estabilização de microrganismos, ou a injeção de azoto ou outro gás inerte não oxidante.

Como principais vantagens da utilização da atmosfera controlada tem-se que, aumenta a vida útil do produto (2 a 5 vezes mais que em atmosfera normal), redução na utilização de aditivos e um baixo custo do gás em relação ao produto (ordem de 1 para 100).

Como desvantagens tem-se que, a atmosfera controlada apenas controla a deterioração mas não a elimina, ou seja a qualidade inicial não melhora com a aplicação desta, e apresenta limitações em produtos com elevada taxa de respiração.

7.1. Funcionamento da AC

De maneira geral as atmosferas controladas têm baixos teores de oxigénio e dióxido de carbono, no caso específico das frutas e vegetais 5% de oxigénio, 5% de dióxido de carbono e 90% de azoto.

A atmosfera controlada é constituída por:

- Absorvedor de dióxido de carbono.
- Catalisador de etileno.
- Gerador de azoto.
- Equipamento de controlo e gestão dos níveis de gases.
- Válvula equalizador de pressão.

7.2. Equipamento da atmosfera controlada

No [Anexo 6] encontra-se o esquema de princípio da atmosfera controlada.

7.2.1. Absorvedor de CO₂

Este equipamento tem como função eliminar o dióxido de carbono de modo a ter as quantidades desejadas. Este funciona com carvão activo que é regenerado pelo ar ambiente. Geralmente são compostos por duas torres. Enquanto uma absorve o ar da câmara, este é pressurizado durante 3 a 5 minutos até á saturação do dióxido de

carbono. Ao mesmo tempo a outra torre regenera o carvão com ar exterior eliminando o dióxido de carbono presente. Esta técnica é usada de modo a que seja possível haver um funcionamento contínuo.

Para a instalação em causa poder-se-á optar por uma unidade pequena como é o caso do modelo 400 de potência 0,9 kW.

		Longueur (mm)	Largeur (mm)	Hauteur (mm)	Poids (Kg)	Puissance (KW)	Capacité de traitement (tonnes) à 2% de O2 et 1°C	
							1 % CO2	3 % CO2
simple cuve	400	650	650	1700	150	0,9	200	400
	600	650	650	1700	190	0,9	300	600
	1000	760	760	1800	220	1,6	500	1000
	1200	760	760	1800	240	1,6	600	1200
	1500	860	860	2000	290	2,2	750	1500
double cuve	2000	1000	1000	2000	360	2,2	1000	2000
	1000 D	1300	650	1700	300	1,8	500	1000
	1500 D	1300	650	1700	380	1,8	750	1500
	2500 D	1600	760	1800	480	3,2	1250	2500
	3000 D	1750	860	2000	580	4,4	1500	3000
double cuve	4000 D	2000	1000	2000	720	4,4	2000	4000
	5000 D	2030	1060	2000	1050	8	2500	5000
	6000 D	2030	1060	2000	1160	8	3000	6000
	7000 D	2030	1060	2350	1340	11	3500	7000
	8000 D	2030	1060	2350	1470	11	4000	8000

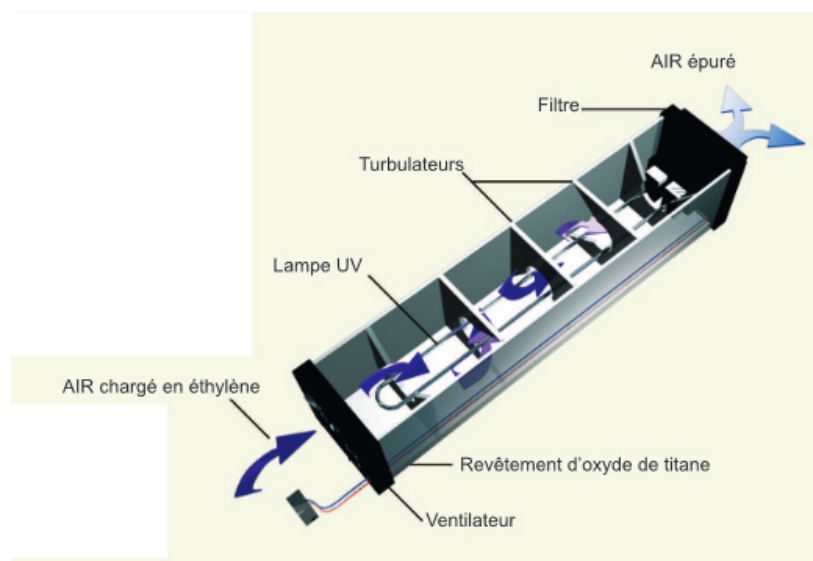


Fonte: <http://www.absoger-controlled-atmosphere-nitrogen-generator.com>

Figura 48 - Selecção do absorvedor de dióxido de carbono

7.2.2. Catalisador de etileno

O método utilizado neste caso será a eliminação do etileno por luz ultra violeta. Como demonstrado na figura o ar contaminado passa por um ventilador onde é projectado para as lâmpadas ultra violeta. No fim do processo é filtrado e colocado de volta na câmara. Para a instalação em questão pode-se usar o modelo PCE 50 com a potência de 100W/h.



Fonte: <http://www.absoger-controlled-atmosphere-nitrogen-generator.com>

Figura 49 - Ilustração do funcionamento do catalisador de etileno

REFERENCES	Treated volume	Ethylene level	Power	Dimensions
Photo Catalyst	m3/h	ppm (Kiwifruits)	Watt/h	cm
PCE 50	150	> 0,02	100	40 x 80 x 15
PCE 100	300	> 0,02	200	80 x 80 x 15
PCE 200	600	> 0,02	400	80 x 80 x 30

Fonte: <http://www.absoger-controlled-atmosphere-nitrogen-generator.com>

Figura 50 - Selecção do catalisador de etileno

7.2.3. Gerador de N_2 /Queimador de O_2

Inicialmente, este equipamento consistia na queima catalítica do oxigénio a temperaturas perto dos 650°C. Esta tecnologia foi abandonada devido a terem aparecido outras mais eficientes, como por exemplo a membrana separadora de azoto ou o PSA (Pressure swing adsorption).

Nesta ultima, é usado um fluxo de azoto produzido pelo equipamento, que dilui o oxigénio da câmara. Trata-se de um processo de adsorção através duma peneira molecular. O ar é comprimido e levado até á peneira molecular entre 6 a 9 bar. Esta peneira é constituída por um carvão activado especial, onde numa das extremidades é adsorvido o vapor de água, o dióxido de carbono, monóxido de carbono e oxigénio, enquanto, na outra, flui uma mistura rica em azoto (cerca de 99,5%). Este ciclo repete-se duas vezes a cada 60 segundos. De maneira a existir um fluxo contínuo existem dois reservatórios, um produz azoto e o outro regenera com ar atmosférico. Esta técnica fica 30 a 50% mais barata que a queima catalítica.

Para a instalação, pode-se considerar o modelo CE 200 M, com a potência de 2,6 kW.

							Capacité (tonnes) de traitement
		Largeur (mm)	Profondeur (mm)	Hauteur (mm)	Poids (Kg)	Puissance (KW)	
CE 200 M	230 V	500	550	1600	180	2,6	200
CE 400 M	230 V	700	720	1600	250	3,6	400
CE 400 F	400 V	700	720	1600	300	5,5	400
CE 600 F	400 V	760	800	1900	430	6,2	600

Fonte: <http://www.absoger-controlled-atmosphere-nitrogen-generator.com>

Figura 51 - Selecção do gerador de azoto/queimador de oxigénio

7.2.4. Equipamento de controlo e gestão dos níveis de gases

Para o controlo dos gases em atmosfera controlada, usam-se hoje em dia analisadores electrónicos de fluxo contínuo, que são de leitura rápida, na ordem de 1 a 2 minutos. Por serem electrónicos, possuem saídas que os ligam directamente aos controladores automáticos da atmosfera controlada. Os analisadores de oxigénio mais comuns utilizam dois princípios de medição: o paramagnético e o electroquímico. O paramagnético é mais preciso e o electroquímico, necessita da renovação da célula, normalmente entre 3 a 8 anos.

Os analisadores de dióxido de carbono usam os princípios de luz infra-vermelha ou de captação sonora. Os de luz infravermelha são os mais comuns e mais utilizados.

No caso do equipamento seleccionado tem-se:

- Um analisador de oxigénio e dióxido de carbono, que contém para o caso do oxigénio, uma célula de óxido de zircónio com uma vida superior a 3 anos e para o caso do dióxido de carbono o analisador de gás por luz infravermelha.



Fonte: <http://www.absoger-controlled-atmosphere-nitrogen-generator.com>

Figura 52 - Analisador de gases

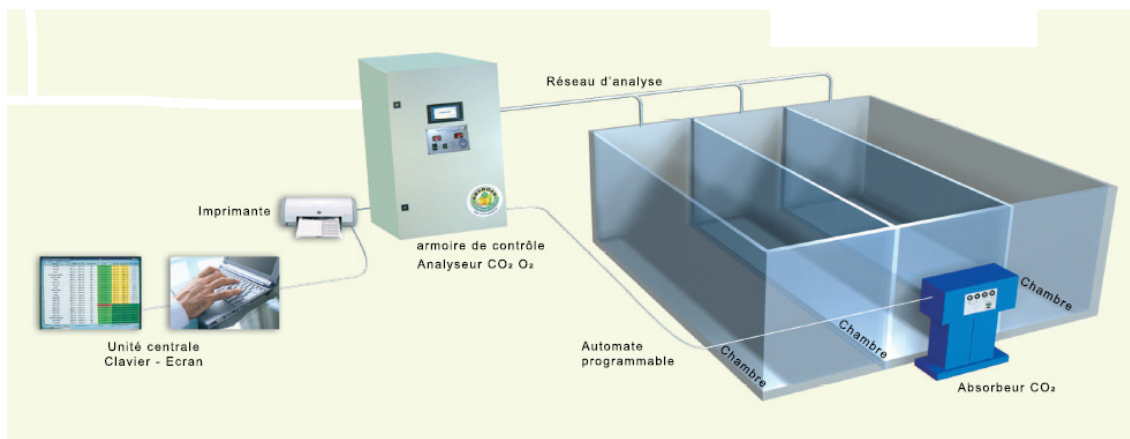
- Um controlador, no qual está inserido o analisador e onde é possível calibrar as taxas dos gases.



Fonte: <http://www.absoger-controlled-atmosphere-nitrogen-generator.com>

Figura 53 - Controlador

- Um armário de controlo da atmosfera controlada, o qual tem a vantagem de poder ser controlado remotamente. Este equipamento é independente e guarda em memória, todos os valores relativos a taxas de gases durante o período de armazenamento.



Fonte: <http://www.absoger-controlled-atmosphere-nitrogen-generator.com>

Figura 54 - Armário de controlo de A.C.

7.2.5. Válvula equalizadora de pressão

Em atmosfera controlada irá existir um diferencial de pressão criado pela operação dos respectivos equipamentos. Para evitar danos catastróficos para a instalação, deve-se usar uma válvula equalizador de pressão. Esta deve reagir rapidamente á sobrepessão ou vácuo da câmara para evitar estes mesmos danos. Dentro do mercado, existem dois tipos de válvulas equalizadoras de pressão:

Válvula accionada pela pressão e depressão da câmara: estas válvulas contêm anéis de borracha no seu sistema de vedação, o que obriga a vistorias semanais caso haja o colamento da tampa da válvula.

Válvula com sistema de sifão de água: esta válvula funciona com uma extremidade de uma conduta mergulhada em 10mm de água. Esta altura nunca deve exceder os 15mm, já que dificulta a entrada e saída de gases. Em condições normais esta altura varia entre 5 e 7mm, no caso de chegar aos 30mm, ocorrem danos na câmara.

A Absoger oferece-nos uma solução de válvula equalizadora de pressão, com sifão de água, conforme figura:



Fonte: <http://www.absoger-controlled-atmosphere-nitrogen-generator.com>
Figura 55 - Válvula equalizadora de pressão

8. Estudo comparativo

8.1. Custos da atmosfera controlada

Quando se tem de implementar uma tecnologia ou fazer uma actualização de equipamento, a primeira pergunta que se coloca é o seu custo. A atmosfera controlada tem obviamente um custo extra, quer a nível de equipamento, pessoal técnico e energético.

A manutenção e apoio técnico serão feitos através de “outsourcing”, ou seja pessoal externo á instalação.

A parte relativa ao equipamento será um valor fixo, ou seja o custo do equipamento em si, que será um investimento que se virá ser retornado num determinado período de tempo.

O custo de energia eléctrica depende das tarifas impostas pela companhia que fornece o serviço.

Sabendo que o custo de uma câmara frigorífica deste género ronda os 300.000€ (comparado com custo de outras câmaras frigoríficas semelhantes) e dando um extra de 20% para o equipamento de atmosfera controlada, sendo portanto 60.000€ tem-se:

- Custo inicial do investimento: 60.000€

Valor estimado dentro dos valores de construção de uma câmara frigorífica.

- Custos de manutenção e apoio técnico: 2000€/ano

Tendo em conta o preço de mão-de-obra especializada mais as horas de trabalho mais uma margem de lucro.

- Energia eléctrica: 1646,87€/tempo de exploração anual (4 meses)

Para o custo da energia eléctrica teve-se em conta a tarifa de média tensão da EDP, assim como a duração do consumo, que no caso da atmosfera controlada para uvas será de 4 meses (120 dias).

Equipamento	Potência	Custo energético	Total Custo energético
Absorvedor de CO_2	900W	251,21€	1646,87€
Gerador de Azoto	2600W	725,74€	
Catalisador Etileno	100W/h	669,92€	

Tabela 21 - Custos energéticos da A.C.

O que quer dizer que neste caso o custo total da implementação da atmosfera controlada fica em 63646,87€.

8.2. Durabilidade e custo da fruta

Pela experiência sabe-se que a uva conservada em atmosfera normal dura cerca de um mês. Em contrapartida em atmosfera controlada dura cerca de 4 a 5 meses. Isto quer dizer que em atmosfera controlada se consegue com segurança prolongar as condições ideais de consumo da uva em 4 vezes, com segurança.

Tendo como base os preços da uva para o ano de 2013 e tendo sido um ano chuvoso, isto provocou o atraso e estragou muitas colheitas de uvas, o que provocou o seu encarecimento. O preço da uva deste ano ronda os 2€ por quilograma e tendo a instalação capacidade para 59 toneladas de produto tem-se que o valor do produto contido na câmara será de 118.000€.

O prolongamento do estado de conservação da uva em 4 vezes não traz mais-valias monetárias directas nenhuma, a não ser que se aumentasse a produção de uva na quinta de produção agrícola. Contudo por fazer com que seja um produto consumido fora de época, pode fazer dele um produto “gourmet” e aí sim encarecer o produto. Outro aspecto importante na prolongação da conservação do produto é que existe a segurança que ele será todo escoado, ao contrário da atmosfera normal onde a uva ao ter um período útil curto, pode haver lotes que se deteriorem e consequentemente não estarem aptos para consumo.

8.3. Eficiência, vantagens e desvantagens

8.3.1. Eficiência

A eficiência da câmara neste contexto prende-se não pela sua eficiência térmica, já que em ambos os casos a câmara será hermética fechada, com perdas mínimas e também com o mesmo equipamento responsável pela produção de frio. O importante a nível comercial será o dinheiro investido e o retorno que isso poderá trazer.

Como se viu no exemplo atrás o custo da atmosfera controlada para este caso específico é inferior ao custo do produto. Como o preço dum fruto sazonal como é a uva, oscila bastante, poder-se-á não ter o retorno do investimento logo no primeiro ano, se por exemplo a uva for vendida a 1€/kg, o que dá um valor de produto de 59.000€.

Do custo total da atmosfera controlada (63.646,87), 2,58% deste valor (1646,87€) será energia eléctrica, o que representa 1,39% da produção total.

Este valor deve-se ao facto de se tratar de aparelhos de baixa potência comparativamente a uma instalação industrial e como tal não é significativo para o caso.

A nível de consumo energético a atmosfera controlada não acrescenta valores significativos, contudo o investimento inicial tem de ser tido em conta.

8.3.2. Vantagens e desvantagens

Para além de todas as vantagens e desvantagens descritas anteriormente para a atmosfera controlada em relação ao produto temos claro o aspecto económico.

A principal desvantagem será obviamente a do custo inicial do equipamento de atmosfera controlada, assim como o custo da sua manutenção e o custo energético extra.

Outra desvantagem tem a ver com o tempo de vida útil do produto, que comparativamente a frutos com a maçã é relativamente curto.

As vantagens porém podem ser maiores como a preservação máxima do produto e lucro de vendas 100% garantido. Podemos ter como exemplo o seguinte: Suponhamos que não conseguimos escoar todo o produto no 1º mês em atmosfera normal. Como a uva em atmosfera normal só mantém as suas condições de produto são durante um mês, íamos ter um prejuízo 29.500€, mesmo vendendo 3/4 do produto armazenado. Vendendo somente 1/4 da produção o prejuízo já será de 88.500€.

Por outro lado se se tiver um bom escoamento de produto, pode-se evitar a atmosfera controlada, evita-se os custos inerentes a esta, com o mesmo produto nas mesmas condições.

Concluindo, antes de implementar a atmosfera controlada é necessário um estudo de mercado, de modo a prever a sua rentabilidade de uso.

9. Bibliografia

- Creus, J. Alarcon, Tratado Prático de Refrigeração Automática, Dinalivro, 1978;
- Roy J. Dossat, Principles of Refrigeration, John Wiley & Sons Inc, 1961;
- W.H. Freeman, New York. P. H. Raven; R.F. Evert; S. E. Eichhorn, Biology of Plants, 7th edition, 2007;
- Guerra, Matos, Apontamentos da Unidade Curricular de Instalações Frigoríficas;
- Santos, Gonçalves, Sebenta da Unidade Curricular de Refrigeração;
- http://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-food-d_295.html (Consultado a 18/04/2013);
- <http://www.chep.com/Pallets/Wooden-Pallet-1200-x-800-mm-00003/pt-PT/> (Consultado a 26/04/2013);
- <http://www.logismarket.pt/rotom-portugal/caixa-plastica/2721548195-1757351570-p.html> (Consultado a 26/04/2013);
- <http://www.fremap.es/SiteCollectionDocuments/BuenasPracticasPrevencion/Manuales/018/DVD.018portugues.pdf> (Consultado a 26/04/2013);
- <http://www.knaufinsulation.pt/caracter-sticas-gerais-poliestireno-extrudido-polyfoam> (Consultado a 06/05/2013);
- <http://www.daikin.pt/industrial/applications/wineries/> (Consultado a 08/05/2013);
- <http://www.esb.ucp.pt/spiral/pdfs/Manual03a.pdf> (Consultado a 08/05/2013);
- <http://opac.iefp.pt:8080/images/winlibimg.exe?key=&doc=11431&img=73> (Consultado a 08/05/2013);
- http://www.absoger-controlled-atmosphere-nitrogen-generator.com/fruit/fruit_index.php?lang=2 (Consultado a 09/05/2013);
- <http://www.coldkit.com/cat/productos/portas-pt/porta-deslizante-comercial-1/> (Consultado a 13/05/2013);
- <http://www.novodinamica.com/pt/catalog/catalog.asp?cat=6&sec=36> (Consultado a 13/05/2013);
- http://www.aquapor.com/pt/lmpadas/fluorescente_-_t8/lmpada_fluorescente_25w.html (Consultado a 13/05/2013);
- <http://www.empilhoelctrico.pt/lista-empilhadoras-pecas-plataformas-de-elevacao.php> (Consultado a 13/05/2013);

- <http://www.tpn.as/wp-content/uploads/2013/01/1262765329.pdf> (Consultado a 13/05/2013);
- <http://www.fibrosom.com/materiais.aspx?art=10> (Consultado a 16/05/2013);
- <http://www.fibrosom.com/ficheiros/pdfs/AGLOMERADONEGRO.pdf> (Consultado a 16/05/2013);
- http://www.ipma.pt/pt/agrometeorologia/mapas/diario/index.jsp?page=dts5_co.xml (Consultado a 22/05/2013);
- <http://www.centauro.pt/index.php/pt/documentacao/catalogos-tecnicos> (Consultado a 23/05/2013);
- <http://centauro.pt/files/CT/CT-EV-0001-1.pdf> (Consultado 23/05/2013);
- <http://www.centauro.pt/index.php/pt/documentacao/catalogos-tecnicos/48-catalogos-tecnicos-acp> (Consultado a 14/06/2013);
- <http://www.docs.hvacpartners.com/idc/groups/public/documents/techlit/19xr-clt-11pd.pdf> (Consultado a 14/06/2013);
- http://pt.grundfos.com/content/dam/BGP/Products/catalogoMagna1_Magna3.pdf (Consultado a 14/06/2013);
- http://pt.wikipedia.org/wiki/Geografia_de_Portugal (Consultado 14/06/2013);
- <http://www.bitzer.de/eng/productservice/p2/1> (Consultado a 20/06/2013);
- <http://www.bitzer.de/eng/productservice/p4d/KP-104> (Consultado a 20/06/2013);
- <http://www.bitzer.de/eng/productservice/p3/874> (Consultado a 20/06/2013);
- http://www.lpr.eu/IMG/pdf/LPR_Folha_de_produtos_800x1200-2.pdf (Consultado a 21/06/2013);
- <http://www.novodinamica.com/pt/catalog/prod.asp?cat=6&sec=36&prod=244> (Consultado a 21/06/2013);
- http://pt.wikipedia.org/wiki/Metabissulfito_de_s%C3%B3dio
- <http://www.conservantesliquidos.com.br/produtos/antioxidantes/metabissulfito-de-sodio-antioxidante.htm> (Consultado a 21/06/2013);
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Benomyl> (Consultado a 21/06/2013);
- http://www.esac.pt/noronha/MEAL_Seg_Alimem/10_11/Trabalho%20Daniela_Exame.pdf (Consultado a 22/06/2013);
- http://pt.wikipedia.org/wiki/Real_F%C3%A1brica_do_Gelo (Consultado a 24/06/2013)

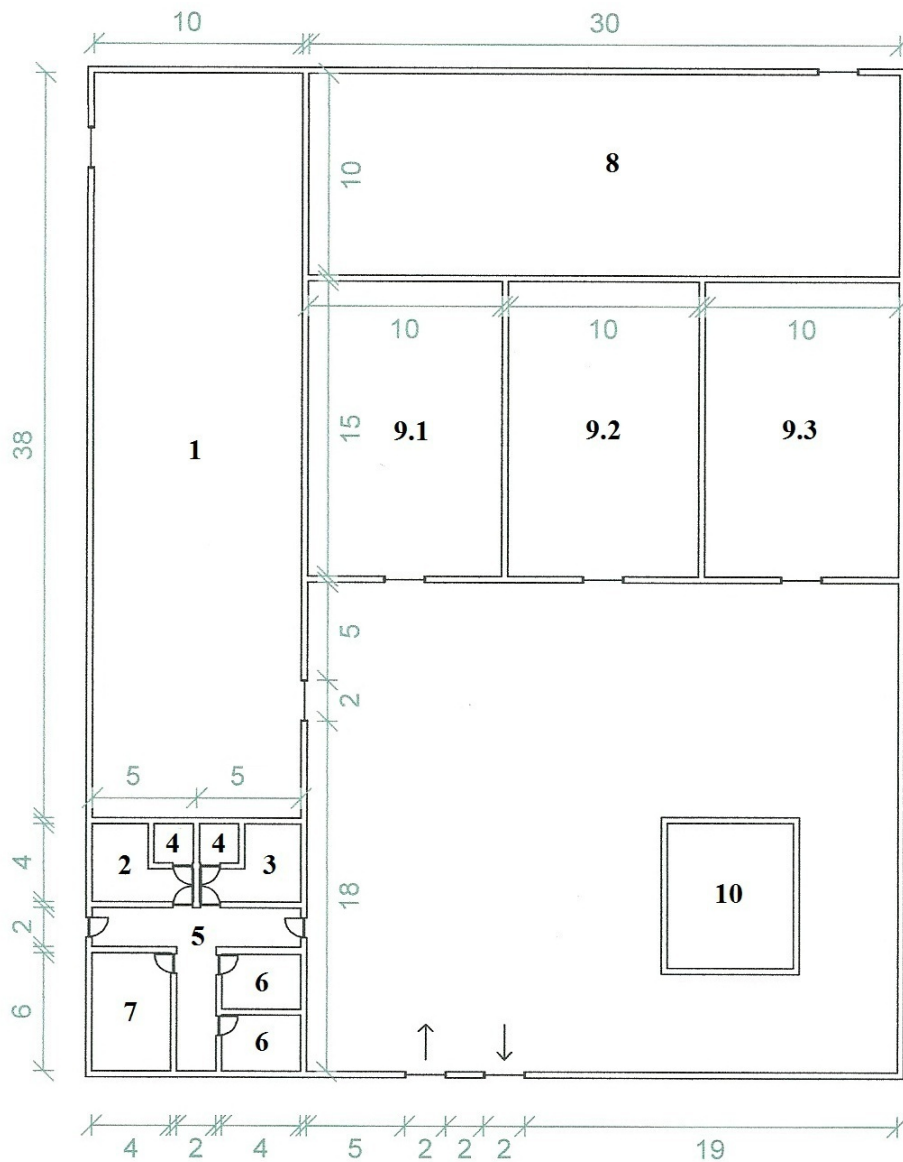
- ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM182/REFRIGERACAO/apostila/1_INTRO_DUCAO.pdf (Consultado a 24/06/2013);
- <http://www.bitzer.de/eng/productservice/p2/19> (Consultado a 05/07/2013);
- <http://www.danfoss.com/portugal/businessareas/refrigeration+and+air+conditioning/products/group/ra/solenoid-valves/fafc4d28-b314-4cb3-8e72-89e7b439f319.html> (Consultado a 12/07/2013);
- http://www.ra.danfoss.com/TechnicalInfo/Literature/Manuals/04/Wholesalercat_APA_2012_LOW-complete.pdf (Consultado a 20/07/2013);
- <http://unedserra-ehp.tripod.com/Aula06.pdf> (Consultado a 21/07/2013);
- http://web.ist.utl.pt/luis.roriz/MyPage/Equips_08.pdf (Consultado a 21/07/2013);
- <http://www.danfoss.com/Spain/BusinessAreas/Refrigeration+and+Air+Conditioning/Products/Literature/RA/Stop-and-Regulating-Valves/7c3664aa-1ac0-43ee-98d2-421dcceb6f33.html> (Consultado a 21/07/2013);
- http://www.danfoss.com/NR/rdonlyres/B6010A07-8809-4975-BD66-8DDBA4139CD7/0/SVA_V%C3%A1lvuladecorte_QR_05_09_PT.pdf (Consultado a 21/07/2013);
- <http://www.danfoss.com/Portugal/BusinessAreas/Refrigeration+and+Air+Conditioning/Products/Literature/RA/Line-Components/Line-Components-Commercial-Refrigeration/NRVNRVH-check-valves/5627035e-dd15-41cc-bd4e-2b6ea67456da.html> (Consultado a 21/07/2013);
- <http://www.ra.danfoss.com/TechnicalInfo/Literature/Manuals/01/DKRCC.PD.FE0.A4.02.pdf> (Consultado a 21/07/2013);
- <https://www.swagelok.com/downloads/WebCatalogs/PT/MS-01-140.pdf> (Consultado a 23/07/2013);
- <http://www.danfoss.com/NR/rdonlyres/C13929DF-3BAE-442A-AB6E-1D0082EDDBE9/0/Termostatocontroladepress%C3%A3o.pdf> (Consultado a 14/08/2013);
- http://www.danfoss.com/NR/rdonlyres/4FD7FCFA-D495-471E-BBBD-64997F893B89/0/quick_visores.pdf (Consultado a 14/08/2013);
- <http://www.ra.danfoss.com/TechnicalInfo/Literature/Manuals/01/DKRCCPDE00B402.pdf> (Consultado a 14/08/2013);

- http://www.ra.danfoss.com/TechnicalInfo/Literature/Manuals/RA/QSC_Master_E_520B5459.pdf (Consultado a 19/08/2013);
- http://www.emersonclimate.com/europe/ProductDocuments/AlcoLiterature/EN_OSx_fly_.pdf (Consultado a 27/08/2013);
- <https://people.ok.ubc.ca/neggers/Chem422A/THE%20GRAPE%20AND%20ITS%20MATURATION.pdf> (Consultado 29/08/2013);
- <http://www.absoger-atmosphere-controlee-azote.com/documents/plaquettes/FR/ULO-FR.pdf> (Consultado a 02/0/2013);
- http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/8ArmazenamentoAtmosferaControladaPoscolheita_000fid2bwq902wyiv80z4s473lwmh4d7.pdf (Consultado a 02/09/2013).

ANEXOS

Anexo 1

Planta da instalação

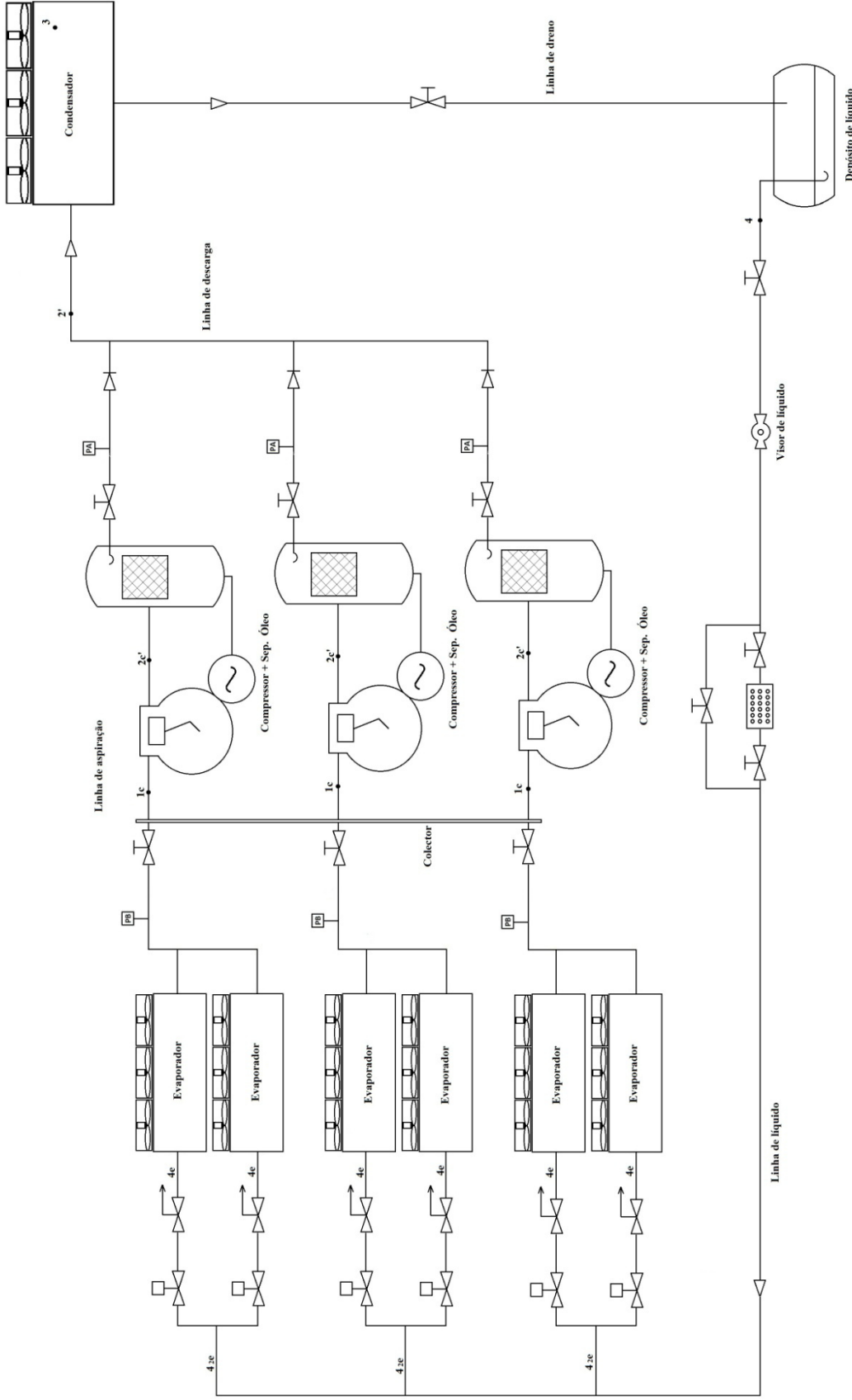


Legenda







- 1. Armazém
- 2. Vestiário Feminino
- 3. Vestiário Masculino
- 4. Instalações Sanitárias
- 5. Corredor
- 6. Gabinete
- 7. Sala de Reuniões
- 8. Sala das Máquinas
- 9.1. Câmara Frigorífica 1
- 9.2. Câmara Frigorífica 2
- 9.3. Câmara Frigorífica 3
- 10. Tanque de pré-arrefecimento

Anexo 2

Diagrama da instalação

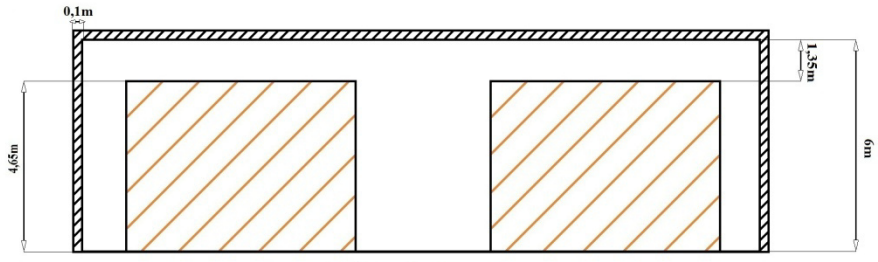


Legenda

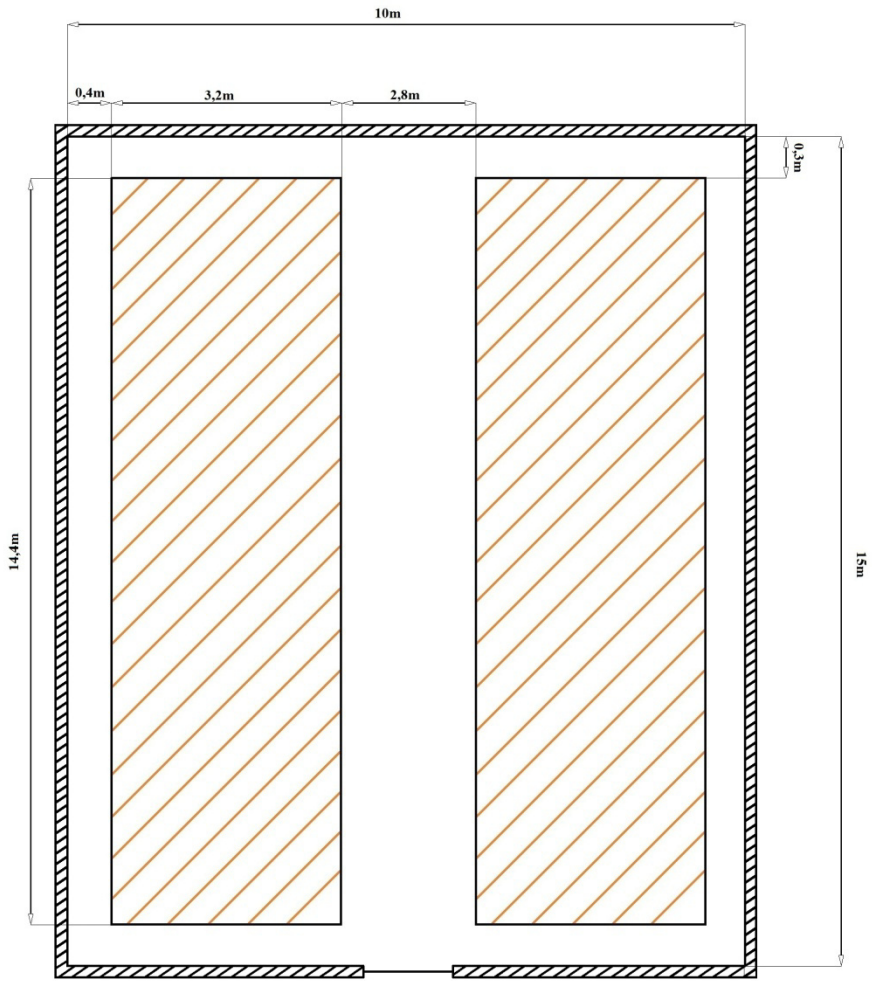
-  Válvula de expansão
-  Válvula de solenóide
-  Válvula de corte
-  Válvula de retenção
-  Pressostato de alta pressão
-  Pressostato de baixa pressão

Anexo 3

Dimensões interiores da câmara



Vista de Frente



Vista de Cima

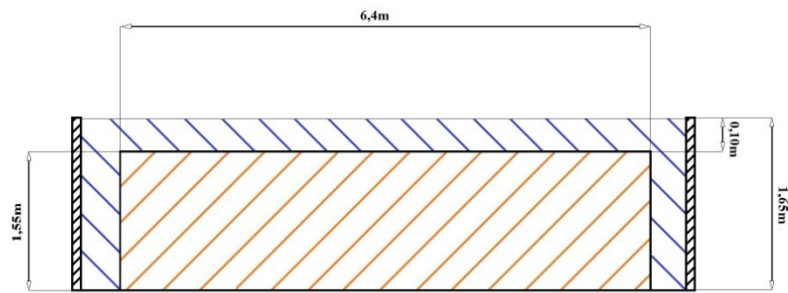
Legenda

 Paletes + Caixas

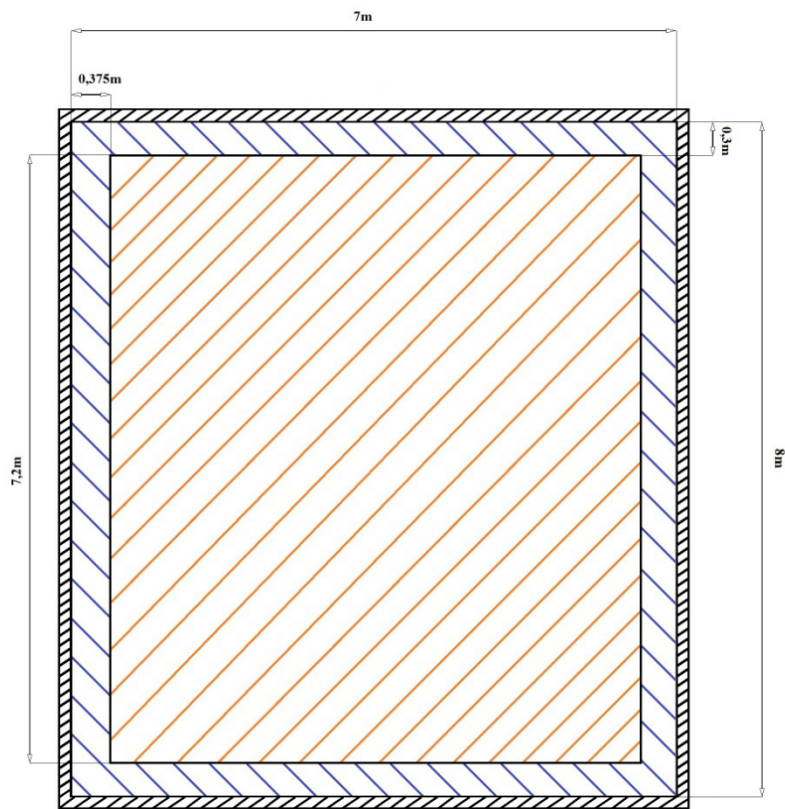
 Painél Isolante

Anexo 4

Dimensões interiores do tanque






Vista de Frente



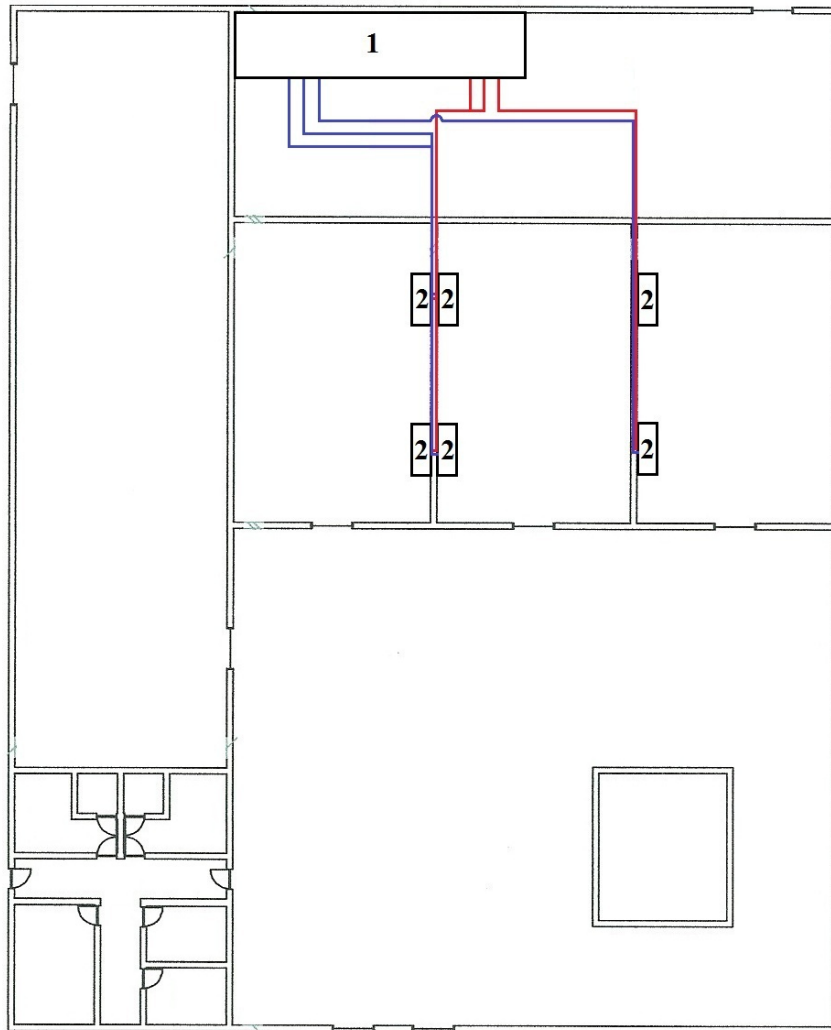
Vista de Cima

Legenda

-  Paletes + Caixas
-  Água
-  Parede do tanque

Anexo 5

Esquema de princípio da instalação

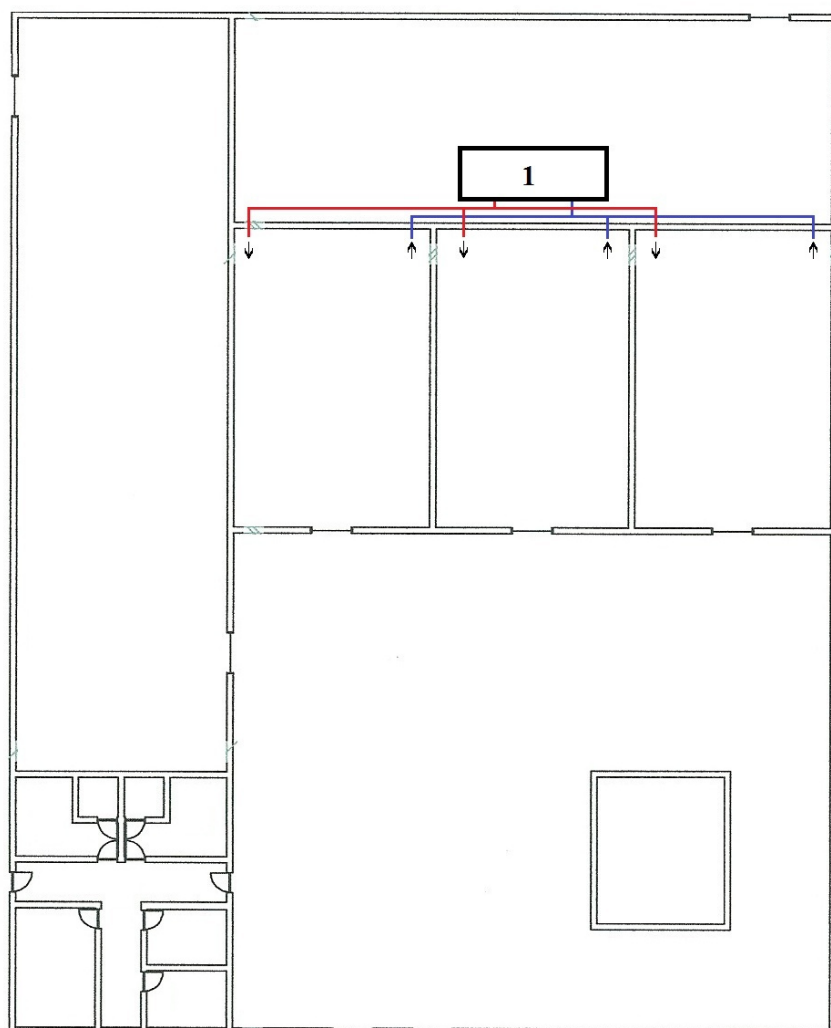


Legenda

- 1. Área Reservada a equipamentos**
- 2. Evaporador**

Anexo 6

Esquema de princípio da A.C.

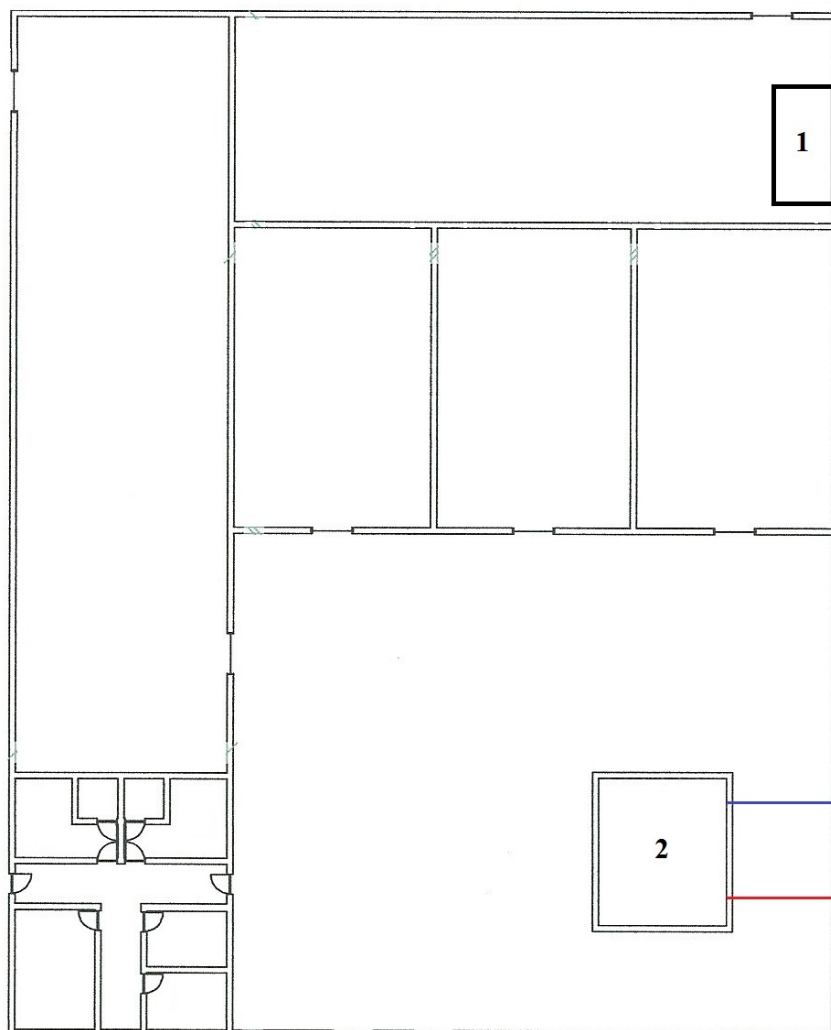


Legenda

- 1. Área reservada ao equipamento de AC
- Linha de fluxo do gerador de azoto
- Linha de fluxo do absorvedor de CO₂

Anexo 7

Esquema de princípio do tanque



Legenda

- 1. Área reservada ao equipamento do tanque**
- 2. Tanque de pré-arrefecimento**