

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE LORENA

THALES EDUARDO DE MORAIS FERREIRA

**DIMENSIONAMENTO DAS CAPACIDADES DA CALDEIRA
A VAPOR E TORRE DE RESFRIAMENTO PARA O
SISTEMA DE UTILIDADES DE UMA PLANTA QUÍMICA.**

Lorena – SP
2012

THALES EDUARDO DE MORAIS FERREIRA

**DIMENSIONAMENTO DAS CAPACIDADES DA CALDEIRA
A VAPOR E TORRE DE RESFRIAMENTO PARA O
SISTEMA DE UTILIDADES DE UMA PLANTA QUÍMICA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Escola de Engenharia de Lorena,
da Universidade de São Paulo

Curso de Engenharia Industrial Química

ORIENTADOR: Prof. Dr. Luiz Claudio Antunes Bastos

Lorena - SP

2012

À minha mãe e meu pai que com todo o carinho, apoio, dedicação e paciência fizeram com que esse importante passo tenha sido dado. Vocês sempre estiveram presentes.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus primeiramente, e também à minha família, pelo apoio durante a toda a minha jornada para a conclusão do curso de Engenharia Química e por me dar todas as condições para tal.

Ao Professor Luiz Claudio, que aceitou o desafio deste trabalho e que deu continuidade aos ensinamentos de Operações Unitárias.

Aos meus amigos pelos momentos de descontração, muito importantes também para o equilíbrio ideal de minha caminhada.

À Multitec Engenharia e Automação Ltda. pela oportunidade da execução desse trabalho e também ao consultor e colega Professor Paulo Magalhães Filho pela motivação e inspiração na escolha desse trabalho.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é o detalhamento das etapas necessárias para o dimensionamento e especificação de uma caldeira a vapor d'água e uma torre de refrigeração, dois equipamentos imprescindíveis no sistema de utilidades de uma planta química. O trabalho gira em torno de um projeto básico da instalação de uma nova planta de resinas no interior do estado de São Paulo. Para tal, com o objetivo de fazer a estimativa dos consumos totais, foram identificados todos os equipamentos consumidores de água fria e vapor d'água e os dados disponíveis dos mesmos. Foram usados conceitos de termodinâmica, fenômenos de transporte, e balanços de massa e energia para o levantamento dos consumos das utilidades citadas.

Palavras-chave: Fenômenos de transporte, torre de refrigeração, caldeira, vapor d'água, água fria.

ABSTRACT

The objective of this paper work is the detailment of the necessary steps to size and design the specification of one steam boiler and cooling tower, both indispensable equipments of a chemical plant's utilities system. This work is about the basic design of a new resin plant to be installed in São Paulo state. To accomplish, with the objective to estimate de total consumption of the fluids, all the equipments which consumes steam and cooling water were identified together with its data. Concepts of thermodynamics, transport phenomena, mass and energy balances were used to sum all the consumptions of these utilities.

Keywords: Transport phenomena, cooling tower, steam boiler, steam, cooling water.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVOS	10
2.1 Objetivo Geral	10
2.2 Objetivos específicos	10
3. JUSTIFICATIVA	11
4. REVISÃO DA LITERATURA	13
4.1 Torres de refrigeração	13
4.2 Caldeiras a vapor	18
4.3 Diagramas de tubulação e instrumentação	21
4.4 Escoamento de fluidos	22
4.5 Velocidades de escoamento	22
5. MATERIAIS E MÉTODOS	26
5.1 Análises dos fluxogramas de engenharia	26
5.2 Determinação das velocidades de escoamento	27
5.3 Contatos com os fornecedores de equipamentos	31
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32

6.1 Totalização do consumo de água de resfriamento	32
6.2 Elaboração da folha de especificação da torre	34
6.3 Dimensionamento do sistema de distribuição de água fria	36
6.4 Totalização do consumo de vapor saturado	38
6.5 Elaboração da folha de especificação da caldeira	40
6.6 Dimensionamento do sistema de distribuição de vapor	42
7. CONCLUSÃO	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

1. INTRODUÇÃO

Dentre todas as atividades que um engenheiro químico pode exercer no mercado de trabalho, a engenharia de projetos tem se mostrado uma área bastante promissora devido ao volume de investimentos internos e externos que o Brasil vem atraindo nos últimos anos. A grande necessidade de profissionais com conhecimento técnico para o desenvolvimento e detalhamento das novas instalações industriais é vista hoje como um dos entraves para o desenvolvimento sustentável da economia brasileira.

A planta de resinas estudada produzirá dois tipos de resinas, catiônica e acrílica, para uso na indústria automotiva. O processo gira em torno de reações de polimerização, num fluxo de processo “*blowdown*”, em que a planta química é verticalizada. A dosagem de reagente se dá no último nível do edifício e as posteriores etapas (pré-polimerização, polimerização e tratamentos de produto) do processo continuam nos níveis inferiores.

O projeto básico desta planta de resinas visou, principalmente, levantar o custo total da implantação de todos os benefícios da fábrica, incluindo custos de construção civil, instalação elétrica, mecânica, tubulação, instrumentação e automação. Portanto, embora os custos da caldeira a vapor e da torre de resfriamento representem uma ínfima parte de todos os investimentos, ambos os equipamentos têm uma importância significativa no que tange aos conhecimentos e conceitos da engenharia química e na funcionalidade do processo.

Basicamente, a geração de vapor está ligada ao transporte de energia necessária para iniciação de reações, aceleração de diluições e misturas e pré-aquecimento de reagentes, operações unitárias importantes dos processos químicos em geral. As torres de resfriamento são, por sua vez, responsáveis pela dissipação de calor gerado pelas reações e eventuais condensações de solventes para reaproveitamento, através da transferência de calor e evaporação.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Utilizar conceitos de transferência de calor, termodinâmica e mecânica dos fluidos nos balanços de massa e energia para os equipamentos consumidores de vapor e água fria.

2.2 Objetivos específicos

Fazer um levantamento, analisar e quantificar os consumos totais das utilidades citadas e posterior elaboração das folhas de especificações dos equipamentos, visando uma cotação acurada no mercado.

Relatar parte das etapas da execução de um projeto básico de engenharia de uma instalação industrial química, abordando os estudos conceituais do projeto, elaboração de documentos, contato com fornecedores para posterior cotação de equipamentos.

3. JUSTIFICATIVA

A empresa executante desse projeto básico, Multitec Engenharia e Automação, localizada em Guaratinguetá, recebeu um conjunto de fluxogramas (P&ID) completo do processo de produção de dois tipos de resina para a indústria automotiva. O conjunto, porém, não continha os fluxogramas das utilidades da fábrica (ar comprimido, água de resfriamento, vapor, nitrogênio, água gelada, óleo térmico e água desmineralizada) com suas capacidades e demais dados, embora nos fluxogramas da área produtiva indicassem a entrada desses fluidos nos mais diversos equipamentos do processo (Figura 1). O escopo do serviço contratado incluiu então a estimativa de consumo de todas as utilidades, dentre elas, a água de resfriamento e o vapor d'água (*Cooling Water & High Pressure Steam*).

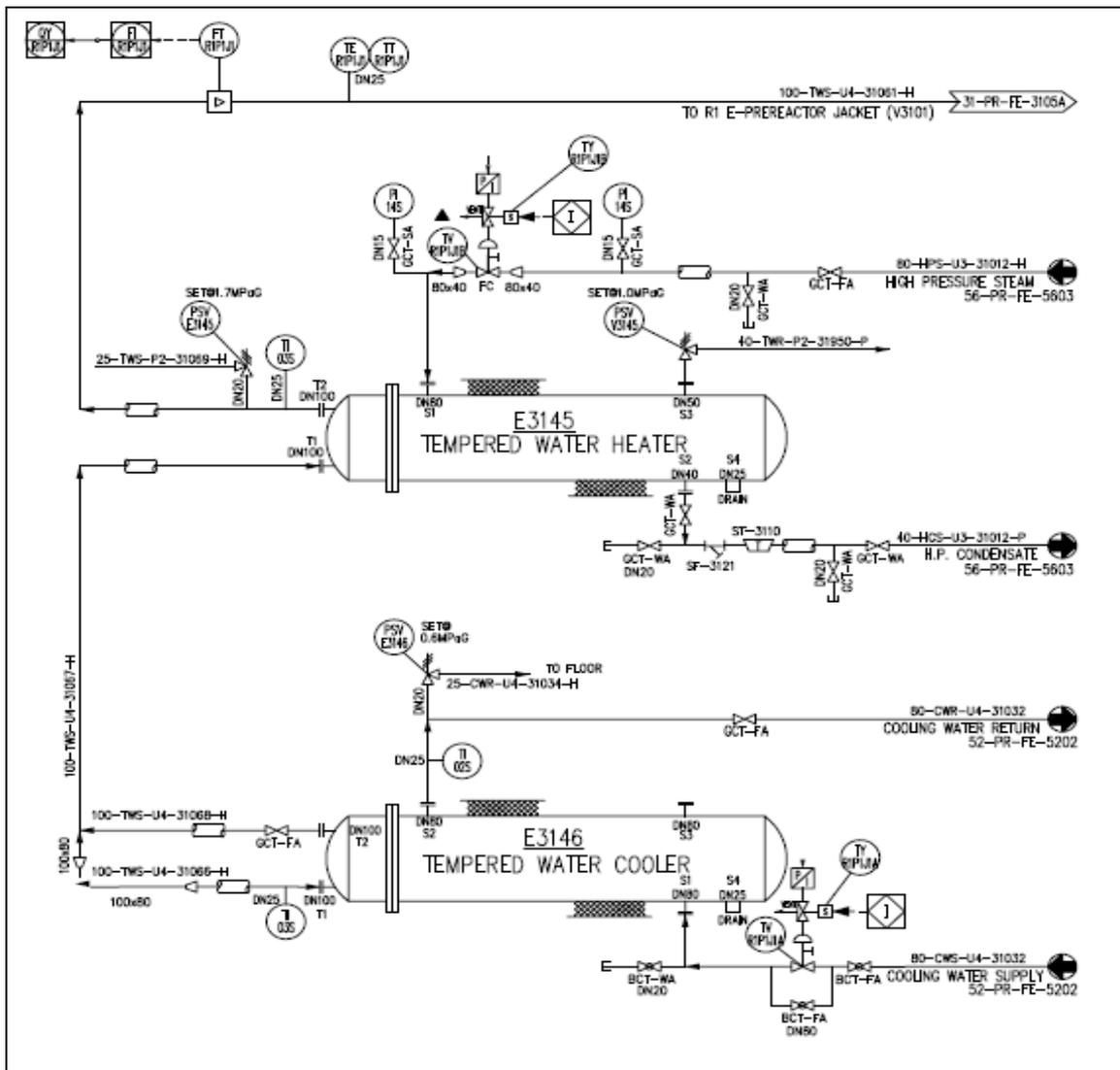


Figura 1 - Exemplo de equipamentos consumidores (Multitec Engenharia e Automação Ltda)

O transporte desses fluidos é efetuado por uma rede de tubulações e equipamentos de bombeamento. O controle de grandezas tais como temperatura, pressão e vazão, dentre outras, é feito por um sistema de medição e controle, que quando dimensionados utilizando modelos teóricos bem próximos de valores reais, fará com que o custo do material e a energia necessária para a operação desse sistema de utilidades fiquem dentro do orçamento pretendido pela empresa.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Será feita a seguir uma breve revisão bibliográfica sobre conceitos e definições fundamentais que estarão ligados à execução deste trabalho.

4.1 Torres de refrigeração

Na maioria dos processos é observada a necessidade de remover a carga térmica dos equipamentos e geralmente o fluido refrigerante é a água que, por motivos de economia e ambientais, deve ser reaproveitada, circulando num sistema fechado, promovendo-se apenas pequenas reposições esporádicas, devidas a possíveis vazamentos ou principalmente à evaporação parcial de pequenas quantidades de água (MACINTYRE, 1997).

As torres de refrigeração ou resfriamento são usadas para o resfriamento da água previamente aquecida nas mais diversas operações unitárias de um processo químico industrial. A torre recebe então um montante proveniente de condensadores, trocadores de calor ou unidades de refrigeração, serpentinas de reatores, tanques de diluição e de mistura. A Figura 2 exemplifica um sistema típico utilizando torre de refrigeração.

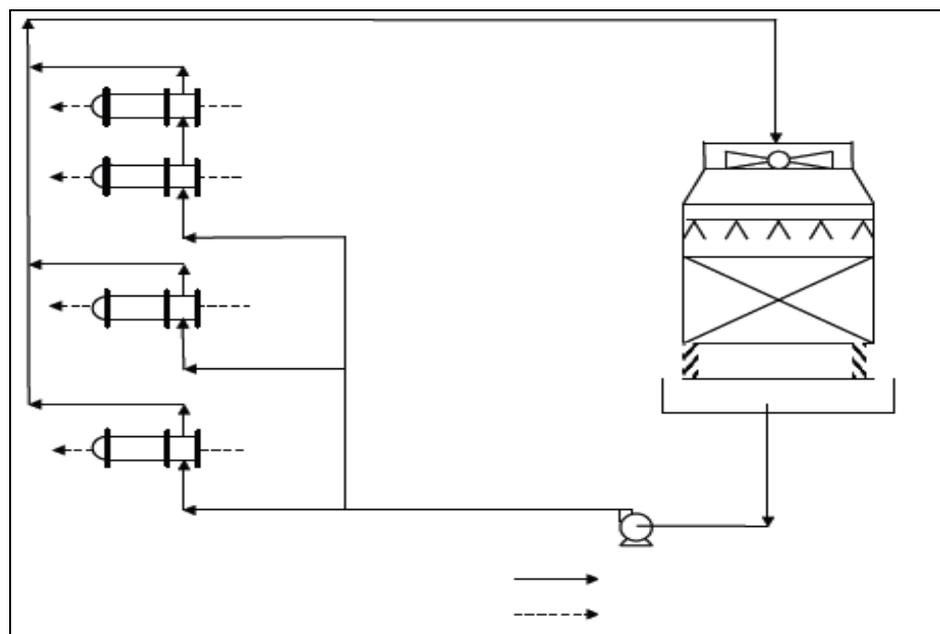


Figura 2 – Sistema de resfriamento (OMNI Grupo Industrial Equipamentos Ltda)

O mecanismo de dissipação do calor se dá na descendente da coluna de transferência de massa e calor que constitui a torre (Figura 3). A água quente é aspergida por bicos pulverizadores no topo da torre e desce lentamente através do enchimento contra uma corrente de ar ambiente. Através desse contato líquido-gás, o calor é arrastado, parte da água é evaporada e tem-se assim o abaixamento da temperatura. É importante ressaltar que a perda do calor latente é a maior responsável pelo resfriamento.



Figura 3 - Exemplo de uma torre de resfriamento (Alpina Equipamentos)

A vantagem da pulverização é proporcionar uma maior superfície de contato água/ar, favorecendo assim a troca térmica. O ar, como se mostrará a seguir, pode circular natural ou forçadamente. Percebe-se, então, a participação de um tipo de transferência de calor por mistura, em que a água quente atinge, após um contato teórico infinito, uma temperatura limite diferente da temperatura inicial do ar, mas igual à temperatura de bulbo úmido, que é tão menor quanto for a umidade relativa do ar (ARAÚJO, 1982).

4.1.1 Tipos de torres de resfriamento

As torres de resfriamento empregadas atualmente permitem que se faça uma classificação da seguinte maneira:

- Torres atmosféricas com circulação natural de ar
- Torres com corrente de ar induzida
- Torres com corrente de ar forçada

Nas torres atmosféricas, a parte superior do equipamento é fechada para compelir o ar à circulação no sentido horizontal (fluxo cruzado) enquanto a água é pulverizada e distribuída pelo topo. Apresentam baixo custo de manutenção, mas são geralmente altas e demandam maiores espaços de instalação e bombas de grande potência para levar a água até os distribuidores na parte superior (ARAÚJO, 1982).

As torres com corrente de ar induzida possuem ventiladores posicionados na saída de ar na parte superior do equipamento (Figura 4). Desse modo o ar é direcionado verticalmente de baixo para cima enquanto a água é distribuída pelo topo (fluxo contracorrente). Apresenta maior eficiência de troca térmica e aproximação à temperatura de bulbo úmido quando comparado às torres atmosféricas.

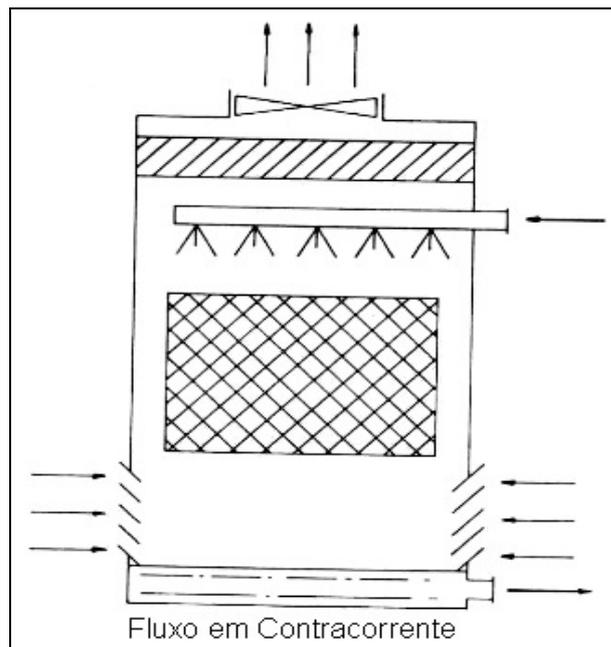


Figura 4 - Torre com corrente de ar induzida

Nas torres com corrente de ar forçada, os ventiladores são posicionados na entrada de ar, na parte inferior do equipamento. A circulação do ar também se dá de baixo para cima (fluxo contracorrente) e embora haja maior eficiência, a potência para os ventiladores e o nível de ruído é maior (Figura 5).

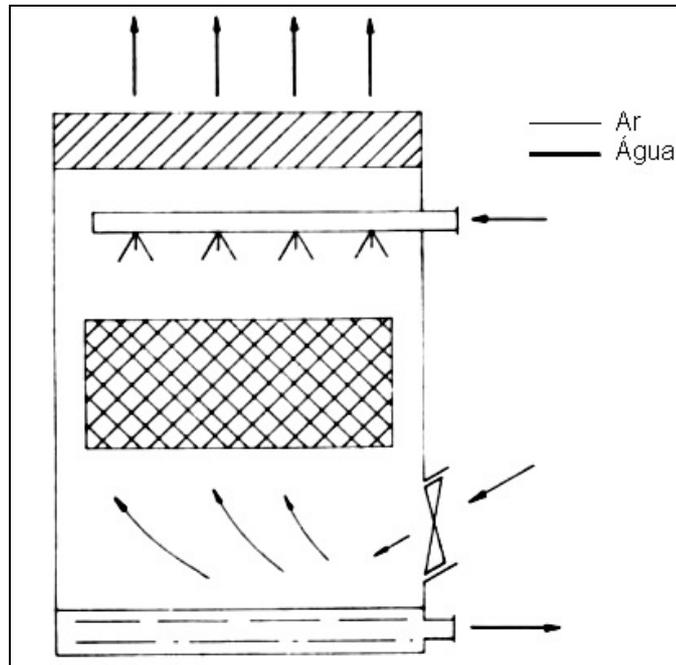


Figura 5 - Torre com corrente de ar forçada

4.1.2 Enchimentos de torres

O enchimento interno das torres constitui-se de bandejas perfuradas ou blocos em forma de “colmeia” podendo ser de material plástico ou metálico. Em resumo, os bicos pulverizadores e o enchimento são elementos responsáveis pelo aumento da área e o tempo de contato entre a água e o ar.

O enchimento da torre de refrigeração pode ser do tipo “respingo”, que consiste de diferentes arranjos, dependendo do fabricante. Nele, a água passa de um nível para um próximo mais baixo, com o ar se movendo verticalmente. O aumento do tempo de exposição da água ao ar é assegurado pela repetição da interrupção da queda da água que respinga em gotículas que se espalham em tábuas horizontais e produzem novos respingos (Figura 6).

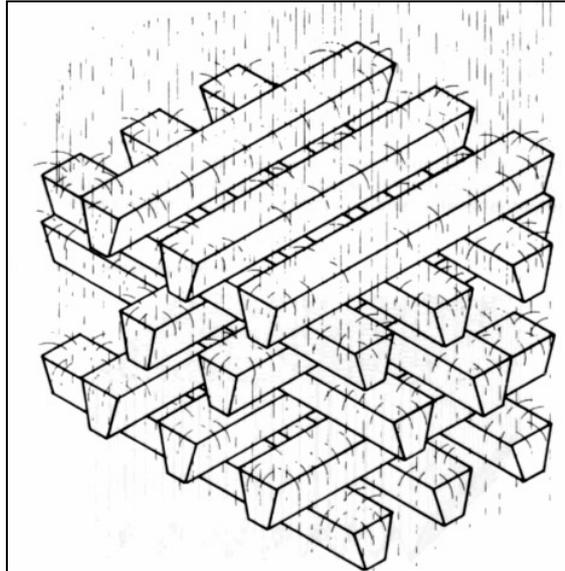


Figura 6 - Enchimento tipo respingo ou gotejamento

Outro tipo de enchimento usado para as torres é o tipo "filme". É de custo mais elevado que do tipo "respingo" e sua eficiência depende da capacidade de espalhar a água em finos filmes escorrendo sobre grandes áreas, ocasionando a máxima exposição da água à corrente de ar. A Figura 7 exemplifica um enchimento tipo "filme" usado nas torres de resfriamento.

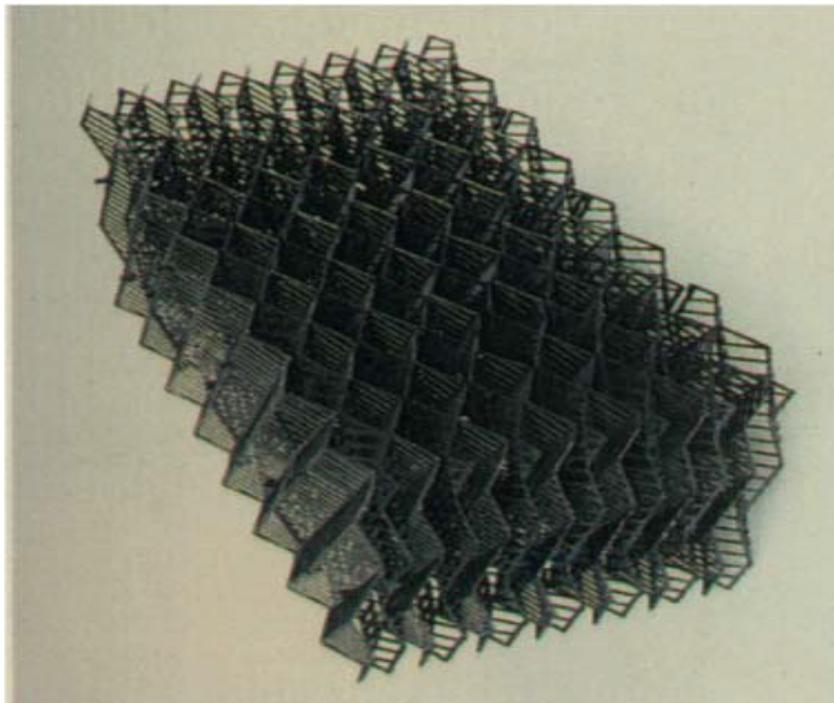


Figura 7 - Enchimento tipo filme (OMNI Grupo Industrial Equipamentos Ltda)

4.1.3 Temperatura de bulbo úmido

É importante ter-se em mente que a mínima temperatura de água resfriada que se pode conseguir com o equipamento é função direta das condições climáticas do local de instalação. A mais importante variável é a temperatura de bulbo úmido, que parametriza, uma idéia de quanto calor o ar pode retirar de certa massa de água a ele exposta.

Se a umidade relativa do ambiente é 100%, a temperatura do bulbo úmido é igual à temperatura de bulbo seco (temperatura ambiente), pois neste caso não há evaporação de água. Para umidades relativas mais baixas, têm-se consequentemente temperaturas de bulbo úmido mais baixas. Por esse motivo é que se conseguem águas resfriadas abaixo das temperaturas ambientes.

O limite teórico de temperatura de água fria é a temperatura de bulbo úmido, porém na prática, recomenda-se uma folga de 3°C, ou seja, se numa determinada região a uma temperatura de bulbo úmido de 23°C, a mínima temperatura de água fria deverá situar-se em torno de 26°C (RODRIGUES, 2008). A temperatura de bulbo úmido afeta diretamente o tamanho da torre e sua eficiência depois de instalada, sendo a época mais crítica nos dias quentes e úmidos de verão.

4.2 Caldeiras a vapor

Geradores de vapor ou caldeiras a vapor, são equipamentos que produzem vapor d'água, o qual vem sendo utilizado como transportador de energia nas indústrias desde os primórdios da revolução industrial, e várias razões o levam a ser utilizado da mesma maneira até os dias atuais. Ele é gerado a partir da água, recurso de grande disponibilidade nas áreas industriais, que permite o ajuste da temperatura pela pressão, facilmente transportado por tubulação, com alta densidade energética (muita energia com pouca massa). A Tabela 1 ilustra o comportamento da temperatura com a pressão para a água. O vapor utilizado nos processos químicos em geral é o vapor saturado, já que o vapor superaquecido é mais utilizado para geração de potência.

Tabela 1 - Dados termodinâmicos para a água

Pressão relativa	Pressão absoluta	Temp.	Calor sensível	Calor latente	Calor total	Volume específico
kgf/cm ²	kgf/cm ²	°C	kcal/kg	kcal/kg	kcal/kg	m ³ /kg
0	1	99,1	99,1	539,4	638,5	1,725
1	2	119,6	119,9	525,9	645,8	0,902
2	3	132,9	133,4	516,9	650,3	0,616
3	4	142,9	143,6	509,8	653,4	0,470
4	5	151,1	152,1	503,7	655,8	0,381
5	6	158,1	159,3	498,5	657,8	0,321
6	7	164,2	165,6	493,8	659,4	0,277
7	8	169,6	171,3	489,5	660,8	0,244
8	9	174,5	176,4	485,6	662,0	0,218
9	10	179,0	181,2	481,8	663,0	0,198
10	11	183,2	185,6	478,3	663,9	0,180
11	12	187,1	189,7	475,0	664,7	0,166
12	13	190,7	193,5	471,9	665,4	0,154
13	14	194,1	197,1	468,9	666,0	0,143
14	15	197,4	200,6	466	666,6	0,134

Fonte: Spirax Sarco

A Figura 8 apresenta um esquema genérico de geração e distribuição de vapor.

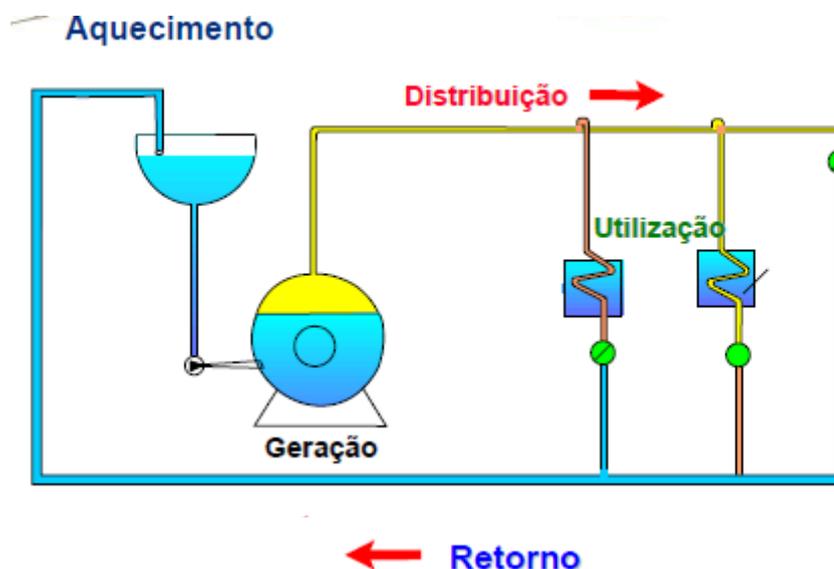


Figura 8 - Esquema de geração e distribuição de vapor (Spirax Sarco)

Caldeiras a vapor são equipamentos destinados a produzir e acumular vapor sob pressão superior à atmosférica, utilizando qualquer fonte de energia,

excetuando-se os refeedores e equipamentos similares utilizados em unidades de processo (NR-13, 2006).

Pode-se classificar as caldeiras em dois tipos básicos:

- Flamotubulares: onde os gases de combustão circulam por dentro de tubos, vaporizando a água que fica por fora dos mesmos, Figura 9, e
- Aquatubulares: onde os gases circulam por fora dos tubos, e a vaporização da água se dá dentro dos mesmos, Figura 10.

As caldeiras flamotubulares horizontais constituem-se de um vaso de pressão cilíndrico horizontal, com dois tampos planos (os espelhos) onde estão afixados os tubos e a fornalha (BIZZO, 2003).

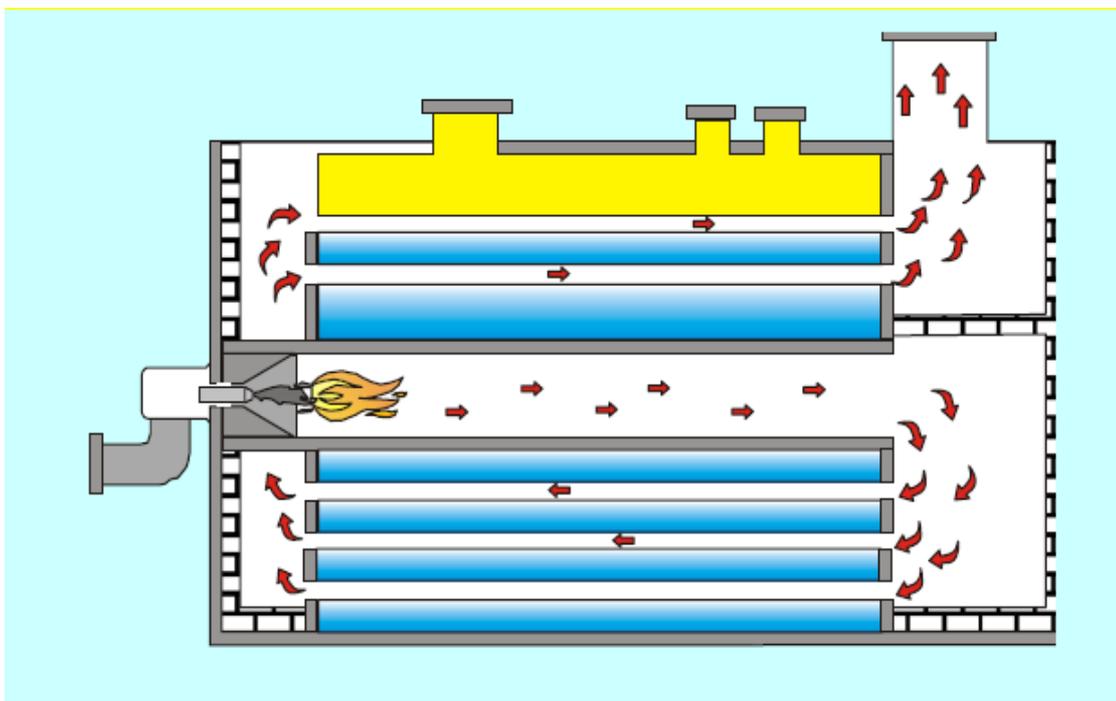


Figura 9 - Caldeira flamotubular (Spirax Sarco)

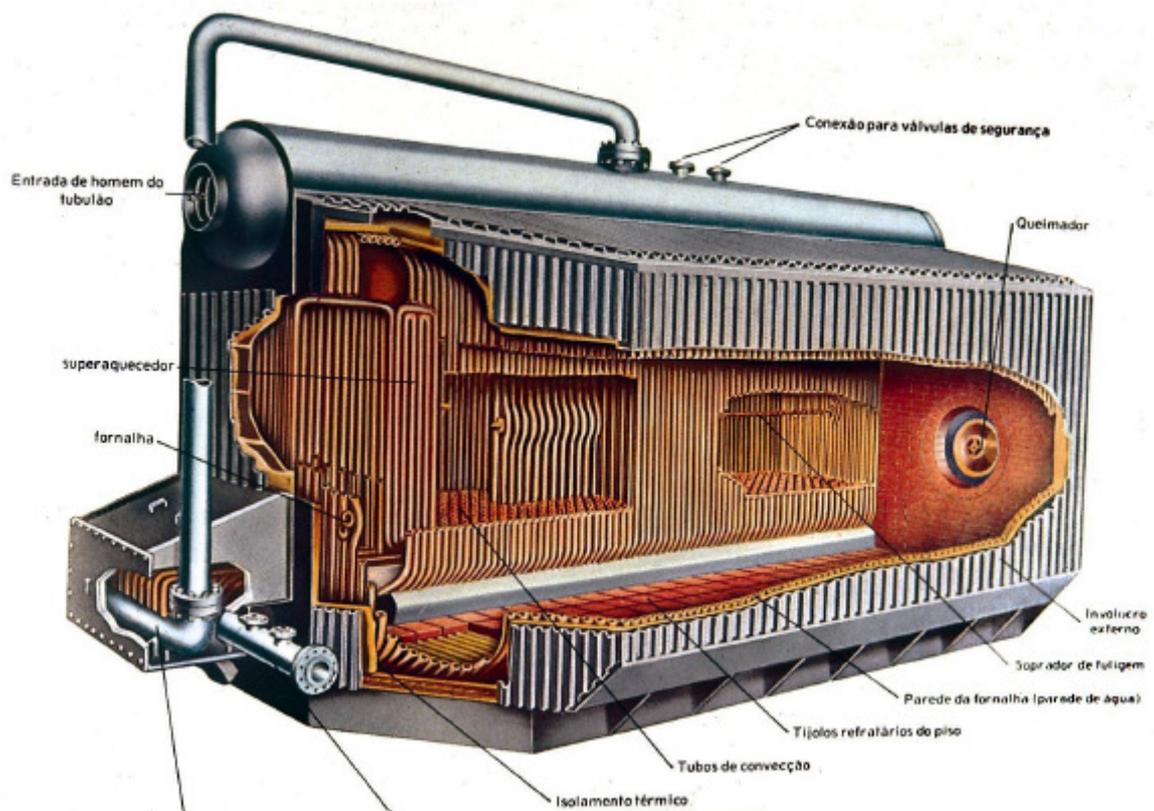


Figura 10 - Caldeira aquatubular (Spirax Sarco)

4.3 Diagramas de tubulação e instrumentação (P&ID)

Os fluxogramas de engenharia (P&ID - *Piping and Instrumentation Diagram*) são diagramas de processos industriais que mostram as linhas de tubulação no fluxo do processo juntamente com os equipamentos instalados e instrumentação. O fluxograma mostra as interconexões entre os equipamentos do processo e suas interfaces com a instrumentação usada no controle do processo produtivo (ANSI/ISA, 1984).

Os P&ID's tem um papel significativo na manutenção e nas modificações do processo no dia-a-dia de uma planta química. É imprescindível a demonstração da sequência física dos equipamentos e sistemas, bem como a conexão entre eles. Durante a fase de projeto, os P&ID's também fornecem a base para o desenvolvimento dos sistemas de controle e estudos de riscos e operacionalidade do processo.

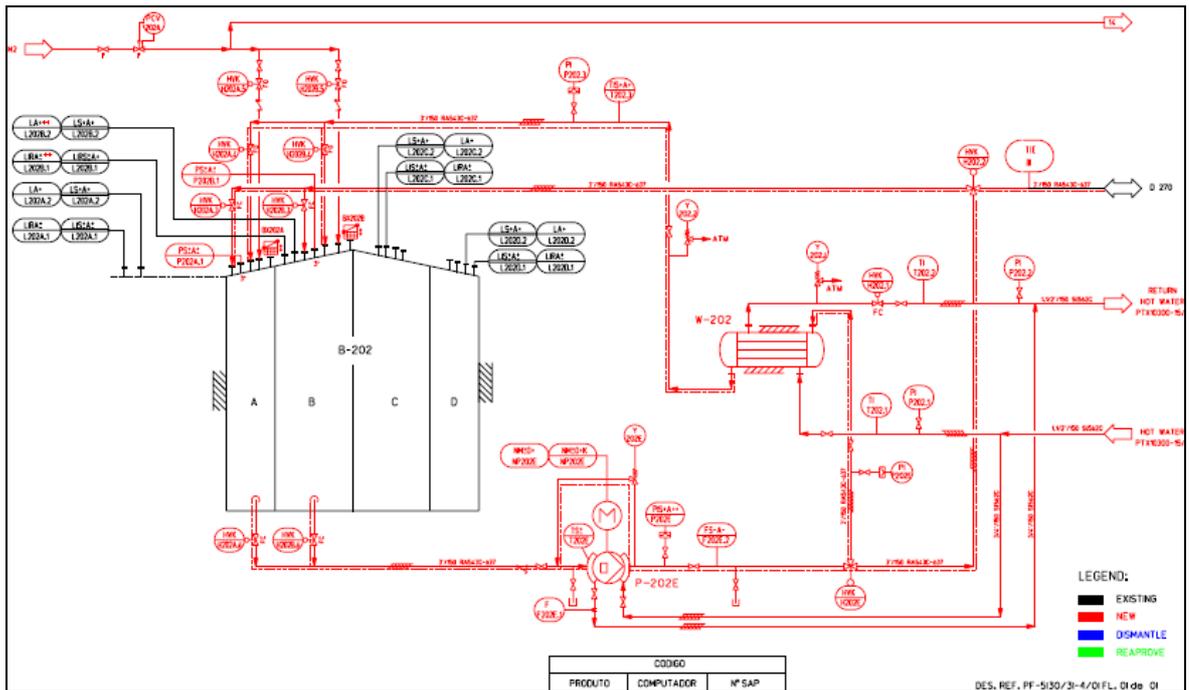


Figura 11 - Exemplo de P&ID (Multitec Engenharia e Automação Ltda)

4.4 escoamento de fluidos

A equação de Bernoulli modificada (balanço de energia) pode ser usada para analisar o escoamento de fluidos incompressíveis:

$$P_1/\rho g + V_1^2/2g + Z_1 + H_f = P_2/\rho g + V_2^2/2g + Z_2 + h \quad (1)$$

onde P_1 , P_2 , v_1 , v_2 , z_1 e z_2 , são respectivamente, as pressões, as velocidades médias e as alturas nos respectivos pontos. H_f é a carga fornecida pela máquina de fluxo, h é o somatório de todas as perdas de carga no sistema, ρ a densidade do fluido e g a aceleração da gravidade (FOX; MCDONALD; PRICHTARD, 2006). A unidade dos termos dessa equação, no SI, é metro de coluna de fluido na temperatura que é transportado.

4.5 Velocidades de escoamento

O transporte de fluidos em tubulações fechadas está intimamente relacionado com a velocidade com que esse fluido é movimentado. A perda de carga relacionada a esse transporte é proporcional ao quadrado dessa

velocidade, que é definida como as perdas de energia envolvidas no escoamento. Essas perdas podem ser divididas em duas classes: perdas de carga maiores ou distribuídas, geradas pelo atrito interno do fluido e/ou rugosidade das paredes da tubulação e perdas de cargas menores ou localizadas, causadas por peças e acessórios, mudanças de direção, entre outras (FOX; MCDONALD; PRICHTARD, 2006). Seu conhecimento é fundamental na determinação do dimensionamento dos sistemas de distribuição e cálculos de velocidades econômicas. Entende-se por velocidade econômica aquela que minimiza os gastos com canalização e a energia gasta para o transporte.

As velocidades médias econômicas em tubulações podem ser determinadas por vários métodos, dependendo da situação (tipo de processo e fluido envolvido). No caso de sistemas de bombeamento de líquidos, podemos citar as equações de Generaux e Sarchett, equação de Forchheimer, método de Vilbrandt e Dryden, método das perdas de carga e método de velocidade econômica (MORAES JR., 1988).

Em geral os valores econômicos situam-se entre valores máximos e mínimos (AZEVEDO NETO, ALVAREZ, 1973). Como exemplo, para o caso da água, para evitar deposições, a velocidade mínima geralmente é fixada entre 0,25 e 0,40 m/s, dependendo de sua qualidade. Em caso de esgotos, não deve ser inferior a 0,60 m/s.

As velocidades máximas dependem de outros fatores como surgimento de ruídos desagradáveis, limitações de perda de carga, controle de corrosão e erosão, entre outros. O limite máximo é, por isso, recomendado para cada caso em especial. Listam-se alguns a seguir (v em m/s e D em m)

- a) Sistemas de abastecimento de água: $v = 0,60 + 1,5D$
- b) Canalizações prediais: $v = 15D^{0,5}$, com restrição de máximo de 4 m/s.
- c) Linhas de recalque de bombas (água): raramente ultrapassa 2,4 m/s. A determinação segue conforme mencionado em parágrafo anterior.
- d) Canalizações em usinas hidrelétricas: em geral entre 1,5 e 4,5 m/s.
- e) Instalações industriais (água): entre 1 e 2 m/s.
- f) Canalizações de gás: 5 a 10 m/s (em alguns casos até 20 m/s).
- g) Ar comprimido: 15 a 25 m/s.
- h) Vapor: 10 a 20 m/s (em alguns casos até 40 m/s).

Informações adicionais podem ser encontradas na literatura (R. B. Silva, Tubulações, 6ªed, São Paulo, Edusp, 1978; P. C. S. Telles, Tubulações Industriais, 6ªed, Rio de Janeiro, LTC editora, 1982).

A Tabela 2 apresenta alguns valores de velocidades adequadas para escoamentos típicos relacionados a este trabalho.

Tabela 2 - Velocidades máximas recomendadas para escoamentos de alguns fluidos

Fluido	Material do conduto	Velocidade (m/s)
Água fria: alimentação de caldeiras	Aço-carbono	4,0 a 8,0
Água fria: aspiração de bombas centrífugas	Aço-carbono	1,0 a 1,5
Água fria: descarga de bombas centrífugas	Aço-carbono	2,0 a 3,0
Água fria: linhas de abastecimento por gravidade	Aço-carbono	0,5 a 1,5
Água fria: linhas de recalque	Aço-carbono	1,0 a 2,5
Água fria: linhas industriais	Aço-carbono	2,0 a 3,0
Vapor d'água saturado até 10 bar	Aço-carbono	15 a 30
Vapor d'água saturado acima de 10 bar	Aço-carbono	30 a 45
Vapor d'água superaquecido	Aço-carbono	45 a 60

Fonte: Multitec Engenharia e Automação Ltda

A equação da continuidade é desenvolvida a partir do princípio geral da conservação da massa, que afirma que a massa de um sistema é constante com o tempo. Considerando então, o escoamento permanente num trecho de tubo de corrente, o volume de controle é limitado pelas paredes do tubo, entre as seções

(1) e (2), e pelas áreas destas (STREETER, WYLIE, 1982), exemplificado na Figura 12.

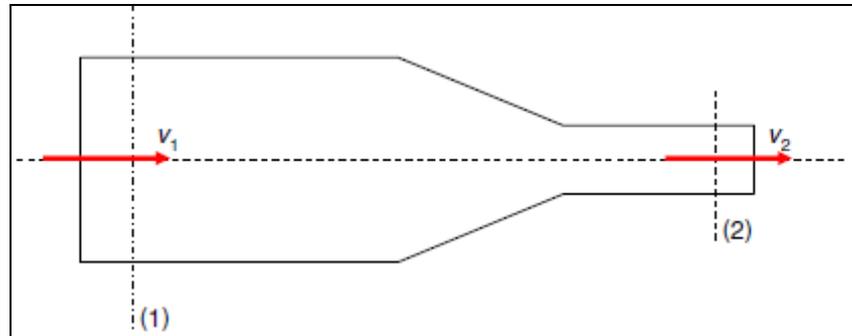


Figura 12 - Escoamento permanente por um tubo de corrente

Já que o escoamento é permanente tem-se:

$$m = \rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2 \quad (2)$$

Para um escoamento permanente de fluido incompressível:

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad (3)$$

A área da seção transversal do tubo é dada por:

$$A = \pi D_i^2 / 4 \quad (4)$$

5 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia deste trabalho é de natureza aplicada e de abordagem quantitativa, no qual conceitos da engenharia serão utilizados para dimensionamento de equipamentos envolvendo operações unitárias.

5.1 Análises dos fluxogramas de engenharia

A primeira parte do trabalho consistiu em uma análise cuidadosa dos fluxogramas de engenharia (P&ID's) para produção de dois tipos de resina (catiônica e acrílica), os quais foram denominados sistemas R1 e R2 respectivamente, e o levantamento de todos os equipamentos que são alimentados por ambos os fluidos envolvidos no seu dimensionamento, ou seja, vapor d'água e água de resfriamento. A especificação dos equipamentos dependeu totalmente do montante das respectivas vazões.

A planta química alvo do estudo é uma réplica de uma fábrica de resinas já instalada na China. Portanto, os fluxogramas recebidos da empresa contratante eram a representação de algo que já está instalado e funcionando e, o que o projeto básico gerou foi o custo Brasil para esse empreendimento.

Com isso, tinha-se em mãos três conjuntos de P&ID's: da fábrica de resina 1 (R1 - catiônica); da fábrica de resina 2 (R2 - acrílica) e de áreas comuns (sistemas que serviam às duas fábricas). A tarefa então foi procurar nesse conjunto de fluxogramas todas as linhas de utilidades alimentadas nos equipamentos. Uma vez identificados os equipamentos consumidores, procedeu-se a fase de busca de informações de consumo ou obtenção das folhas de dados completa dos equipamentos as quais acompanham o fluxograma de processo. No entanto, devido ao estágio de projeto básico, o fluxograma geralmente não fornece todos os dados de processo para empresa que vai projetar o *lay-out*. Isso somente se dará numa etapa posterior, na fase de detalhamento do projeto executivo.

A Tabela 3 lista o total de P&ID's recebidos da fábrica de resinas tal qual ela foi instalada na China.

Tabela 3 - Lista de P&ID's da fábrica de resinas

nº P&ID	Descrição	Sistema	nº P&ID	Descrição	Sistema
3101	Raw Material Charging System	R1	3201	R2 Shortstop System	R2
3102	R1 Pumping Station	R1	3202	Monomer Pumping Station	R2
3103	Weigh Tanks #1 / #2	R1	3203	Weigh Tank	R2
3104A	X-Linker Pre-reactor	R1	3204	Monomer Tank	R2
3104B	X-Linker <u>Tempered Water System (TWS)</u>	R1	3205	Initiator Tank	R2
3104C	X-Linker <u>Overhead System (OHS)</u>	R1	3206	Solids Feeder System	R2
3104D	X-Linker <u>Solid Feeder System (SFS)</u>	R1	3207A	R2 Reactor	R2
3104E	Weigh Tank #6	R1	3207B	R2 Reactor Oil Circulating System	R2
3104F	Weigh Tank #7	R1	3208	R2 Reactor OHS	R2
3105A	Epoxy (E) Prereactor	R1	3209	Think Tank #1 TWS	R2
3105B	E-Prereactor TWS	R1	3210	Think Tank #2 TWS	R2
3105C	E-Prereactor OHS	R1	3211	Think Tank #1	R2
3105D	E-Prereactor SFS	R1	3212	Think Tank #2	R2
3106	Solvent Recovery	R1	3213	R2 Vent System	R2
3107	Weigh Tank #4	R1	3214	R2 Fillout Transfer System	R2
3108A	R1 Reactor	R1	3215	Filling Manifold	R2
3108B	R1 Reactor TWS	R1	3216	Filling Machine System	R2
3108C	Reactor Reclaimed Solvent Tank	R1	3217	Batch Tanks #1/ #2	R2
3108D	R1 Reactor SFS	R1	3218	Batch Tanks #3/ #4	R2
3109	R1 Reactor OHS	R1	3219	Surge Tank #1	R2
3110	Thin Tank #1 TWS	R1	3220	Surge Tank #2	R2
3111A	Thin Tank #1	R1	3008	Relief Tank	A. Comum
3111B	Thin Tank #1 SFS	R1	3011A	R1 Vacuum System	A. Comum
3111C	Thin Tank #2 SFS	R1	3011B	R2 Vacuum System	A. Comum
3112	Thin Tank #2	R1	3012	Monomer Manifold	A. Comum
3113	Thin Tank #2 TWS	R1	3014A	R1 DI Water Manifold	A. Comum
3114	R1 Stripping Tank	R1	3014B	R2 DI Water Manifold	A. Comum
3115	R1 Stripping Tank OHS	R1	3015A	Charge Manifold R1A	A. Comum
3116	Finished Resin Storage	R1	3015B	Cleaning Solvent Manifold	A. Comum
3117	R1 Vent System	R1	3016A	R1 Resin Solvent Manifold	A. Comum
3118	Fillout Transfer System	R1	3016B	R2 Resin Solvent Manifold	A. Comum
3119	Batch Tank #1/ #2	R1	3017	Resin Dirt Storage	A. Comum
3120	Batch Tank #3/ #4	R1	3018	Dust Collection System	A. Comum
3121	Filling Machine System	R1	-	-	-
3122	R1 Filling Manifold	R1	-	-	-

Fonte: Multitec Engenharia e Automação Ltda

5.2 Determinação das velocidades de escoamento

Era esperado que se recebessem apenas os consumos exatos de água fria e vapor dos equipamentos “chave” do processo, os mais caros, que não permitem margem na estimativa de custos, porém não foi possível durante a execução do projeto.

Como se obteve apenas os diâmetros das tubulações de alimentação, a estimativa dos consumos foi obtida através de um trabalho de “engenharia

reversa”, onde a partir da área de seção transversal dos tubos, foi estipulada uma velocidade recomendada para os fluidos a fim de se obter a vazão de cada equipamento. A Figura 13 demonstra a alimentação de uma linha de vapor na serpentina interna de um vaso de pressão

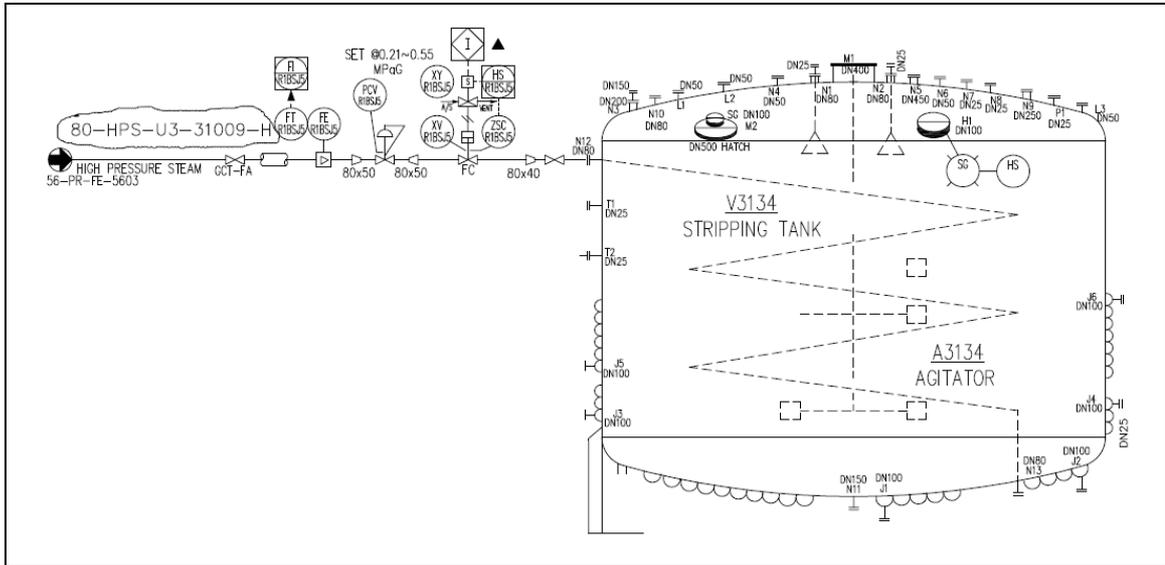


Figura 13 - Exemplo de linha de alimentação de vapor (Multitec Engenharia e Automação Ltda)

A Figura 14 demonstra a alimentação de água de resfriamento no condensador do reator R2.

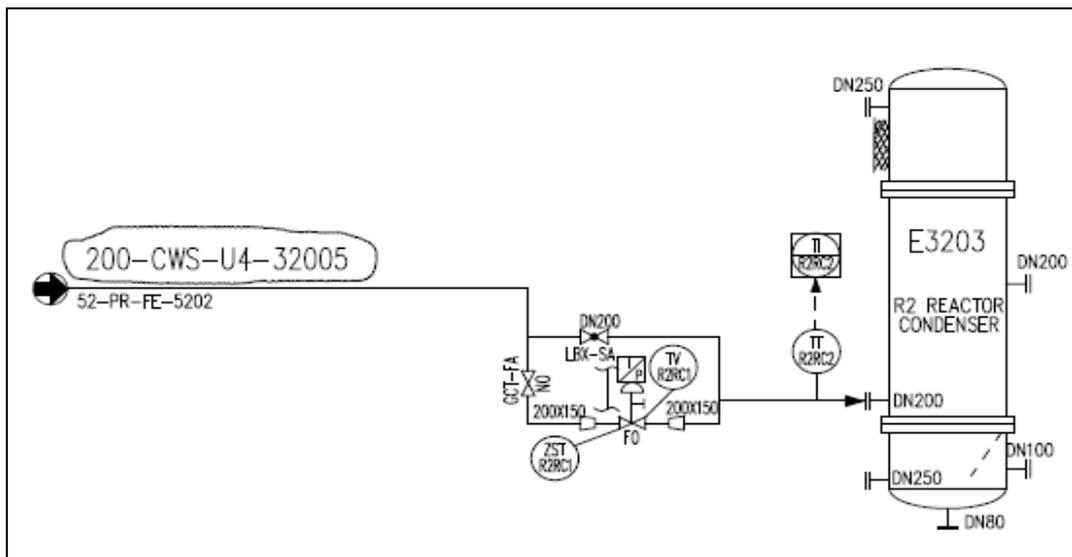


Figura 14 - Exemplo de linha de alimentação de água fria (Multitec Engenharia e Automação Ltda)

O número da linha indicado nas Figuras 13 e 14 é de grande importância para a identificação do fluido transportado, material do duto e do diâmetro nominal da tubulação. Através dessa codificação pode-se acessar as tabelas da norma ASME para obter-se a espessura dos tubos e seus diâmetros internos.

Para o vapor d'água tem-se: 80-HPS-U3-31009-H, onde:

- 80 - Diâmetro nominal da tubulação em mm
- HPS - Fluido transportado (Vapor de alta pressão ou *High Pressure Steam*)
- U3 - Classificação de serviço da tubulação (código da empresa contratante)
- 31009 - Número sequencial da linha
- H - Classe do isolamento térmico (código da empresa contratante).

A análise para a água de resfriamento ou *Cooling Water Supply* (200-CWS-U4-32005) é análoga, notando-se apenas diferenças na classificação de serviço da tubulação (U4) e que não há necessidade de isolamento térmico. A Tabela 4 define a classificação de serviço para as linhas de utilidades da empresa contratante.

Tabela 4 - Classificação de materiais de tubulação

Classe de serviço	Fluido (Serviço)	Pressão de projeto (Mpa)	Temp. de projeto (°C)	Material do tubo	DN (pol)	Espessura (Sch)
U1	Ar comprimido	1,0	60	A.Carbono Galvanizado	1/2"- 2"	80
					3"- 6"	40
U2	Gás natural	1,6	60	A.Carbono	1/2"-1.1/2" 2"- 6"	80 40
U3	Vapor e condensado	1,6	220	A.Carbono	1/2"-1.1/2" 2"- 12"	80 40
U4	Água fria	1,0	0 - 60	A.Carbono	1/2"-1.1/2" 2"- 28"	80
	Água potável					40
	Água Gelada					
	Nitrogênio					

Fonte: Não divulgada

Como se pode observar, para as linhas de utilidades, o material usado é o aço carbono e as espessuras da parede dos tubos variam entre Sch 40 (Schedule) ou Sch 80. A Tabela 5 mostra a variação dos diâmetros internos dos tubos de acordo com as espessuras normalizadas pela norma ANSI B. 36.10 e B.

36.19. As espessuras Sch 5S e Sch 10S são usadas para fabricação de tubos de aço inox (SILVA TELLES, BARROS, 1998).

Tabela 5 - Diâmetros internos de tubos de acordo com as normas ANSI B. 36.10 e B.36.19

DN (pol)	DN (mm)	D_i (Sch 5S) (mm)	D_i (Sch 10S) (mm)	D_i (Sch 40) (mm)	D_i (Sch 80) (mm)
1/2	15	18,0	17,1	15,8	13,9
3/4	20	23,4	22,5	21,0	18,8
1	25	30,1	27,9	26,6	24,3
1 1/2	40	45,0	42,7	40,9	38,1
2	50	57,0	54,8	52,5	49,2
2 1/2	65	68,8	66,9	62,7	59,0
3	80	84,7	82,8	77,9	73,7
4	100	110,1	108,2	102,3	97,2
6	150	162,7	161,5	154,1	146,3
8	200	213,5	211,6	202,7	193,7
10	250	266,2	264,7	254,5	242,9
12	300	315,9	314,7	303,3	288,9
14	350	347,7	346,0	333,3	317,5
16	400	398,0	396,8	381,0	363,6
18	450	448,8	447,6	428,7	409,6
20	500	498,7	496,9	477,8	455,6
24	600	598,5	596,9	574,6	547,7

Fonte: Silva Telles, Barros

De posse das informações dos diâmetros nominais das linhas de alimentação e seus diâmetros internos, foi possível estimar as vazões de consumo dos fluidos em questão.

Assim como os números de linha explicados anteriormente, os equipamentos também possuem uma codificação para identificá-los. Para os equipamentos consumidores de vapor e água fria têm-se as seguintes letras de identificação

- Letra E - Indica trocadores de calor, condensadores e colunas de enchimento.
- Letra P - Indica todos os equipamentos de bombeamento.
- Letra V - Indica todos os vasos de pressão.
- Letra R - Indicam os reatores do processo.

- Letra T - Indica torres de resfriamento e colunas de destilação e retificação. A numeração que acompanha a letra segue um sequencial de acordo com o sistema ao qual o equipamento pertence:

- 31xx - Sistema R1
- 32xx - Sistema R2
- 30xx - Área Comum
- 52xx - Sistema de água de resfriamento
- 56xx - Sistema de distribuição de vapor saturado

5.3 Contatos com os fornecedores de equipamentos

Outra parte importante da execução do projeto foi o trabalho em conjunto com os fornecedores de equipamentos, que alinhados no interesse de fornecer uma estimativa de custo atrativa para o investidor, ofereceu todo o suporte técnico necessário para o dimensionamento das capacidades de seus equipamentos.

Para essa situação em que o detentor da tecnologia de processo de produção forneceu apenas o diâmetro das tubulações que alimentam os equipamentos consumidores, os projetistas das empresas fornecedoras dos equipamentos tiveram de utilizar seus conhecimentos e as bibliografias especializadas para quantificar as cargas térmicas envolvidas. Para isso teve-se como base a pressão do vapor indicada pelo contratante no bocal de entrada dos consumidores ($P_{abs}=11\text{bar}/T=183,2^\circ\text{C}$), a temperatura de bulbo úmido no município de instalação da fábrica ($T_{bu} = 24^\circ\text{C}$) e um ΔT de 10°C da torre, também indicado pelo contratante.

Uma vez obtido o montante dos consumos das utilidades, foram feitas as folhas de especificação para cada equipamento e encaminhadas para os fornecedores para devida cotação.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Totalização do consumo de água de resfriamento

A Tabela 6 mostra todos os equipamentos consumidores de água fria da fábrica com os seus respectivos diâmetros internos da linha de alimentação, já listados na Tabela 5.

Pode-se observar que as velocidades tendem a aumentar juntamente com a bitola da tubulação. A prática dos projetos de tubulação e sistemas de distribuição indica esse caminho, pois velocidade mais alta nas tubulações menores leva a um maior gasto com energia.

O critério de escolha das velocidades visou à vazão, evidentemente, mas também a diferença entre elas nos diferentes diâmetros. Houve uma preocupação de não haver significativas diferenças de vazão entre uma bitola e as outras adjacentes.

De acordo com a totalização feita, a torre de resfriamento e suas bombas de distribuição deveriam ser projetadas para uma vazão de 1000 m³/h. Porém, esta situação não existe. De acordo com a empresa contratante, deve ser empregado um “fator de utilização”, que segundo ela gira em torno de 50% da vazão total. Para isso são levados em conta os tempos de batelada, paradas para limpeza dos reatores (tempo morto) e a própria sequência em cadeia do processo, na qual enquanto uma pré-polimerização está em curso, a subsequente está em espera.

Com isso, foi obtida uma vazão nominal de água de resfriamento de 500 m³/h para uma torre com ΔT de 10°C, fixado pelo contratante.

Tabela 6 - Somatória do consumo de água de resfriamento

Equip. N°	Sistema	n° P&ID	Descrição	D_i linha (mm)	Vel. (m/s)	Vazão (m³/h)
V3104	R1	3103	Weigh tank 1	38,1	1,02	4,2
E3120	R1	3104B	X-linker tempered water cooler	77,9	1,31	22,5
P3130	R1	3104B	X-linker tempered water pump	18,8	1,00	1,0
E3121	R1	3104B	X-linker prereactor decanter	52,5	1,18	9,2
E3146	R1	3105B	E-prereactor tempered water cooler	77,9	1,31	22,5
P3145	R1	3105B	E-prereactor tempered water pump	18,8	1,00	1,0
E3147	R1	3105C	E-prereactor condenser	154,1	1,49	100,0
E3116	R1	3108B	Reactor tempered water cooler	77,9	1,31	22,5
P3105	R1	3108B	Reactor tempered water pump	18,8	1,00	1,0
E3103	R1	3109	Reactor condenser	154,1	1,49	100,0
E3105	R1	3110	Thin Tank #1 tempered water cooler	77,9	1,31	22,5
P3107	R1	3110	Thin Tank #1 tempered water pump	18,8	1,00	1,0
E3107	R1	3111A	Thin tank 1 - Condenser	77,9	1,31	22,5
E3108	R1	3112	Thin tank 1 - Condenser	77,9	1,31	22,5
E3110	R1	3113	Thin tank #2 tempered water cooler	77,9	1,31	22,5
P3135	R1	3113	Thin tank #2 tempered water pump	18,8	1,00	1,0
V3134	R1	3114	Stripping Tank	102,3	1,35	40,0
E3118	R1	3115	Stripping condenser	154,1	1,49	100,0
V3203	R2	3204	R2 monomer tank	52,5	1,18	9,2
E3203	R2	3208A	R2 reactor condenser	202,7	1,75	203,0
E3202	R2	3208A	R2 packed column	154,1	1,49	100,0
E3221	R2	3209	Tempered water cooler	77,9	1,31	22,5
P3221	R2	3209	Tempered water pump	18,8	1,00	1,0
E3223	R2	3210	Tempered water cooler	77,9	1,31	22,5
P3222	R2	3210	Tempered water pump	18,8	1,00	1,0
E3224	R2	3211	Vent condenser	154,1	1,49	100,0
E3225	R2	3212	Vent condenser	77,9	1,31	22,5
P3003	Comum	3011A	Vacuum pump	24,3	1,08	1,8
P3005	Comum	3011B	Vacuum pump	24,3	1,08	1,8
Consumo total						1001,2

6.2 Elaboração da folha de especificação da torre

O projeto básico de fábrica em questão previa levantar os custos de construção civil com áreas construídas extras, prevendo uma possível ampliação para um sistema R3 de resina poliéster. E isso foi transferido no momento de cotar a torre de resfriamento.

Ao invés de se fazer uma cotação simples de uma torre de 500 m³/h, foi pedido que se aumentasse a capacidade em 60% do total. A fim de minimização de desperdícios durante a espera de uma futura ampliação, foi sugerida por um dos fornecedores a cotação de duas torres de 400 m³/h ao invés de uma de 800 m³/h. Uma trabalharia a carga total e a outra a 25% minimizando gastos excessivos de potência dos ventiladores. A Figura 15 mostra parte da folha de especificação enviada aos fornecedores.

Especificação geral		n°	MT-PG-0001-52-ME-FD-001
Cliente	MULTITEC Eng. e Automação	Item	T-5201 A/B
Nº Projeto	MULTITEC: PG-0001		
Título / Ref.	New Resin Plant Facilities		
Unidade			
Página 2 de 4	Data 13.03.2012	Rev.	-0"

Equipamento: T-5201 A/B – TORRE DE RESFRIAMENTO
Quantidade: 02 unidades
Utilização: SISTEMA DE RESFRIAMENTO

1. DADOS DO PROJETO:

- ❖ Capacidade: *peço fornecedor*
- ❖ Vazão de água total: 400 m³/h
- ❖ Δt da água de refrigeração: 10 °C
- ❖ Temperatura da água make-up: 25 °C
- ❖ Temperatura da água quente (entrada): 35 °C
- ❖ Temperatura da água fria (saída): 25 °C
- ❖ Local de Instalação: estado São Paulo
- ❖ Altitude média do local de instalação: 583 m
- ❖ Temperatura média de Bulbo Úmido do local de instalação: *peço fornecedor* (°C)
- ❖ Temperatura média do local de instalação: *peço fornecedor* (°C)
- ❖ Umidade relativa do ar média: *peço fornecedor* (%)
- ❖ Ventilador: Motor elétrico WEG, tipo TFVE, classe F, IP - 55 (com placa de bornes), 380 V / 60Hz.
- ❖ Nível de ruído admitido a 2,0 metros da fonte: 85 dB.

2. CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS:

- ❖ Modelo da torre: Evaporativa
- ❖ Tipo de tiragem do ar: *peço fornecedor*
- ❖ Número de células: *peço fornecedor*
- ❖ Tipo e dados do enchimento: *peço fornecedor*
- ❖ Dimensões do ventilador: *peço fornecedor*
- ❖ Rotação do ventilador: *peço fornecedor*
- ❖ Potência nominal do motor: *peço fornecedor*
- ❖ Perda de água por evaporação: *peço fornecedor*
- ❖ Perda de água por arraste: *peço fornecedor* Materiais de construção dos itens a serem fornecidos:

Figura 15 - Folha de especificação para a torre de resfriamento

Como se pode observar, em destaque, foram passados os dados conhecidos para o fabricante juntamente com localização do empreendimento. Um dado, porém, foi rebatido pelo fabricante devido ao fato de a temperatura de bulbo úmido do local de instalação ser 24 °C. Segundo eles, a temperatura mínima da água fria é 27 °C. Com isso, foi mantido o $\Delta T=10^{\circ}\text{C}$ e foi recebida a seguinte especificação (Figura 16) com as características técnicas preliminares da torre de resfriamento deste empreendimento. Como já se previa a torre é do tipo de tiragem de ar induzida, o mais usado nos mais diversos processos industriais químicos.

Cliente: **MULTITEC ENGENHARIA E AUTOMAÇÃO S/C Ltda.**

1. DADOS DE PROJETO :

Carga térmica	2 x 2.000.000	kcal/h
Vazão de água total	4 x 200,0	m ³ /h
Temperatura de água quente	37,0	°C
Temperatura de água fria	27,0	°C
Temperatura de bulbo úmido	24,0	°C
Altitude local	583	mNM
Nível de ruído	Standard	
Pressão sonora por ventilador, a 2 m	84 ± 2	dB(A)
Entrada de ar por	04	lados

2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS :

SELEÇÃO : 02 Torre(s) de resfriamento de água modelo 200/3-W20-I-E

Tiragem do ar tipo	Induzida	
Tipo de enchimento	Blocos de chapas de PVC, de canais verticais, laváveis	
Modelo do ventilador	9EM2 2.5 KPF10	
Diâmetro do ventilador	2500	mm
Rotação do ventilador	418	rpm
Velocidade periférica	54,6	m/s
Transmissão tipo	Correias e Polias (1:2,79)	
Potência consumida (BHP)	22,8	cv
Potência nominal do motor	25,0	cv
Motor elétrico WEG / Siemens tipo	TFVE, IPW-55, Classe F, 6 pólos, 60 Hz,	
Tensão de ligação do motor	220/380/440	V
Perda de água por evaporação	1,76	%
Perda de água por arraste	0,01	%
Pressão requerida na entrada de água	2,0	mCA
Dimensões externas	4930 x 4170 x 4870	mm

Figura 16 - Especificação do fabricante

6.3 Dimensionamento do sistema de distribuição de água fria

Para dimensionar o diâmetro da linha principal de alimentação (*header* de alimentação) e linhas secundárias (*subheaders*), foi feito o contrário da “engenharia reversa” usada para estimar as vazões. Agora, de posse das vazões foi feito o dimensionamento direto usando as velocidades recomendadas para escoamento, abordadas no Capítulo 4.

Tabela 7 - Dimensionamento de *headers*

Headers	Vazão (m ³ /h)	Vel. (m/s)	D _i linha (mm)	DN linha (mm)
Principal	800	1,95	381	400
Térreo	90	1,34	154,1	150
1º Andar	309	1,69	254,5	250
2º Andar	140	1,21	202,7	200
3º Andar	462	1,78	303,3	300
Chiller	64	2,16	102,3	100

É observado acima que a linha de distribuição principal, que transporta toda a vazão fornecida pela bomba, tem a maior velocidade e as linhas secundárias, entrantes nos andares do prédio produtivo, tem menores velocidades, ou seja, são menos pressurizadas. Isso vai ao encontro do que é praticado nos projetos de sistemas de distribuição. O consumo dos andares foi tirado dos equipamentos distribuídos no *lay-out* do prédio produtivo.

Observa-se também que há um *chiller* “pendurado” no sistema. Ele será de uso esporádico e serve a um sistema de refrigeração já existente, mas está representado no fluxograma (Figura 17).

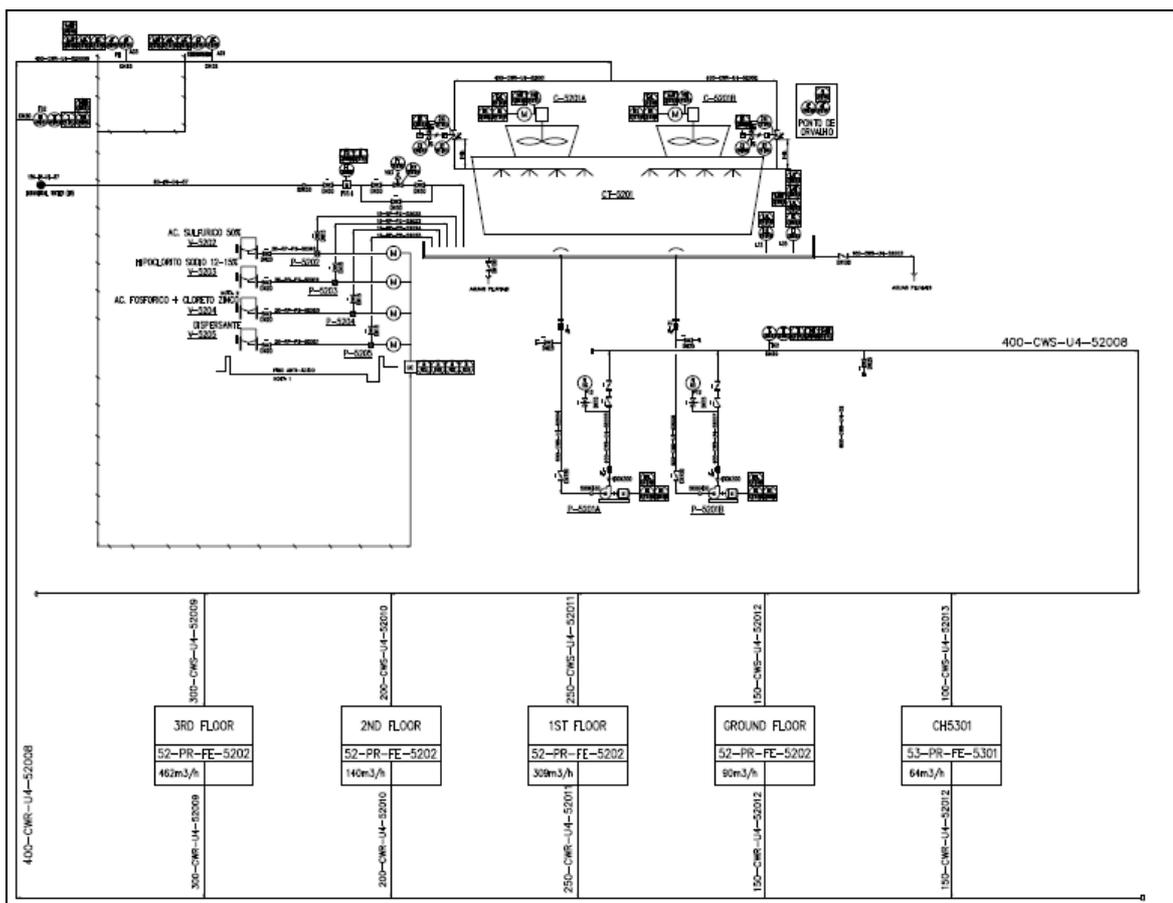


Figura 17 - Fluxograma de distribuição de água de resfriamento

6.4 Totalização do consumo de vapor saturado

A Tabela 8 mostra todos os equipamentos consumidores de vapor d'água saturado a 10 bar_g da fábrica com os seus respectivos diâmetros internos da linha de alimentação, já listados na Tabela 5.

Diferentemente do critério usado para a água de resfriamento, para o vapor não houve preocupação em escalonar as velocidades de acordo com a bitola da tubulação, já que não há gasto de energia elétrica no transporte do fluido e a perda de carga não é significativa no escoamento do vapor em curtas distâncias.

O critério de escolha das velocidades visou à vazão, evidentemente, mas também a uniformidade dos valores e coerência com as velocidades recomendadas na Tabela 2. A velocidade ficou entre 15 m/s e 20 m/s, como é recomendado para escoamento em linhas secundárias. Para as linhas principais as velocidades ficam mais próximas do valor máximo de 30 m/s.

Tabela 8 - Somatória do consumo de vapor saturado

Equip. N°	Sistema	n° P&ID	Descrição	D _i linha (mm)	Vel. (m/s)	Vazão (kg/h)
V3104	R1	3103	Weigh tank 1	24,3	21,79	200,0
E3119	R1	3104B	X-linker tempered water heater	77,9	15,38	1450,0
E3145	R1	3105B	E-prereactor tempered water heater	77,9	15,38	1450,0
E3115	R1	3108B	Tempered water heater	77,9	15,38	1450,0
E3104	R1	3110	Tempered water heater	77,9	15,38	1450,0
E3109	R1	3113	Tempered water heater	77,9	15,38	1450,0
V3134	R1	3114	Stripping tank	77,9	15,38	1450,0
V3701	R1	3701	Solvent vaporizer	77,9	15,38	1450,0
V3202	R2	3203	Steam High R2 weigh tank	52,5	17,51	750,0
E3220	R2	3209	Steam High Tempered water heater	77,9	15,38	1450,0
E3222	R2	3210	Steam High tempered water heater	77,9	15,38	1450,0
R3201	R2	3207A	R2 Reactor	77,9	15,38	1450,0
V3001	Comum	3008	Inlet duct relief tank	24,3	21,79	200,0
V3001	Comum	3008	Outlet duct relief tank	24,3	21,79	200,0
E3001	Comum	3014A	Di water heat exchanger 1	77,9	15,38	1450,0
E3002	Comum	3014B	Di water heat exchanger 2	77,9	15,38	1450,0
Consumo total						18750,0

Na Tabela 8 observa-se que o consumo total dos equipamentos soma 18.750 kg/h de vapor a 10 bar_g. Da mesma maneira que a água fria, a empresa detentora da tecnologia utiliza também um “fator de utilização” de 50% para o consumo, pelos mesmos motivos citados anteriormente.

Para o projeto em questão, foi utilizado o tipo de caldeira flamotubular, pois a vazão de vapor a pressão requeridas, resultaram em valores que convergiram para um custo previsto no orçamento básico dedicado a esse projeto. As caldeiras flamotubulares permitem melhor aproveitamento de calor, pois assim se utiliza a energia que de outro modo se perderia pelas paredes da fornalha, além de proporcionar maior vida ao revestimento refratário interior.

6.5 Elaboração da folha de especificação da caldeira

A já citada futura ampliação da fábrica, não convergiu para uma especificação além da capacidade calculada. Os motivos para tal são: o espaço reduzido que a caldeira ocupa no *lay-out* da nova fábrica e também por não haver diferença significativa de preço entre uma caldeira grande e duas menores, sendo que no caso do consumo extra, este poderia ser suprido por uma caldeira já existente no *site* da empresa.

Ficou acordado então com o fabricante do equipamento, que seria orçado uma caldeira para uma capacidade de 10.000 kg/h, um valor padrão que não traria alguma diferença de preço. A Figura 18 mostra parte da folha de especificação enviada aos fornecedores.

Especificação geral		N°	MT-PG-0001-52-ME-FD-001
Cliente	MULTITEC ENGENHARIA E AUTOMAÇÃO	Item	SG-5601
N° Projeto	MT-PG-0001		
Título / Ref.	NEW RESIN PLANT FACILITIES		
Unidade		Página	2 de 2

Equipamento: **SG-5601 – CALDEIRA DE VAPOR**
Quantidade: **01 unidade**
Utilização: **SISTEMA DE GERAÇÃO DE VAPOR**

- Capacidade de produção: **10000Kg/h - vapor d'água saturado**
- Pressão de fornecimento do vapor: **11 Kgf/cm² (PMO)**; informar PMTA
- Informar as condições de de água de alimentação a ser fornecida pelo cliente
- Combustível: **Óleo BPF e/ou gás GLP** – Informar a capacidade necessária para 05 dias de consumo / reabastecimento.
- Enviar descritivo de funcionamento do sistema.
- Enviar descritivo da lógica de operação e segurança da caldeira.
- Enviar lista dos equipamentos, tubulações, isolamento térmico, acessórios e componentes à serem fornecidos, informando suas características e especificações, incluindo fornecimento do tanque de óleo BPF.
- Enviar lista de equipamentos opcionais.
- Fornecer fluxograma completo com diâmetros de linha, instrumentação e intertravamentos
- Fornecer sistema de controle completo via PLC em painel separado com conexão para o sistema de controle da planta via DEVICE-NET para supervisão e controle da Caldeira.

Informar:

- Performance da caldeira;
- Consumo de óleo combustível (tipo e temperatura de armazenamento)
- Materiais de construção dos equipamentos à serem fornecidos;
- Dimensões gerais e peso dos equipamentos principais;
- Acabamento superficial externo;
- Bitola na saída do fornecimento de vapor;

Figura 18 - Folha de especificação para a caldeira

Nota-se que na folha de especificação foi informada pressão máxima de operação (PMO) de 11 kgf/cm² que corresponde a 10,8 barg. Essa folga na pressão é importante quando se tem em mente que a temperatura requerida pelo processo depende da pressão com que o vapor chega ao bocal de entrada do equipamento e qualquer perda de carga inesperada pode prejudicar a eficiência do processo. O combustível de alimentação da caldeira será preferencialmente gás GLP com o uso de óleo BPF somente em caso de emergências. De posse dessas informações foi recebida então e seguinte folha de dados do fabricante (Figura 19).

II - CONDIÇÕES GERAIS DE FORNECIMENTO

II.1 - Escopo de fornecimento:

O escopo de fornecimento da Aalborg inclui o seguinte:

Equipamentos:

01 Caldeira Aalborg M3P-10 M - 225 Psig – Gás GLP / Óleo 1A-4A;

A) **01 Chaminé Ø 600mm x 6m - Direta;**

OPCIONAIS

B) **01 Kit-03 - Válvulas de Descarga de fundo Automática;**

C) **01 Abafador de ruído – 85 dB(A);**

D) **01 Economizador Aalborg – ECO – 8 x 1700 com by-pass;**

E) **01 Sistema de Controle de Carga e Nível via PLC / IHM e Inversores;**

F) **01 Sistema de Dosagem Química – Simple;**

III - DESCRIÇÃO DO ESCOPO DE FORNECIMENTO :

EQUIPAMENTOS:

III.1.A - CALDEIRA - AALBORG - MODELO M3P

Caldeira **AALBORG** modelo **M3P-10 M**, automática, de formato cilíndrico-horizontal, flama tubular, com três passagens de gases, **com 01 fornalha**, queimador de **fabricação AALBORG**, próprio para a utilização de **Gás GLP / Óleo 1A-4A** em seu sistema de combustão.

A Caldeira terá capacidade para produção de **10.000 kg/h** de vapor com água de alimentação à **20 °C**, pressão máxima de trabalho permitida (PMTP) de **225 psig**, pressão máxima de operação **203 psig**.

Figura 19 - Especificação do fabricante (Aalborg Industries)

Como podemos observar acima, o fornecedor indicou uma pressão máxima de operação de 203 psig ou 14 barg. Segundo o know-how da empresa, essa é a folga padrão com que se trabalha no mercado.

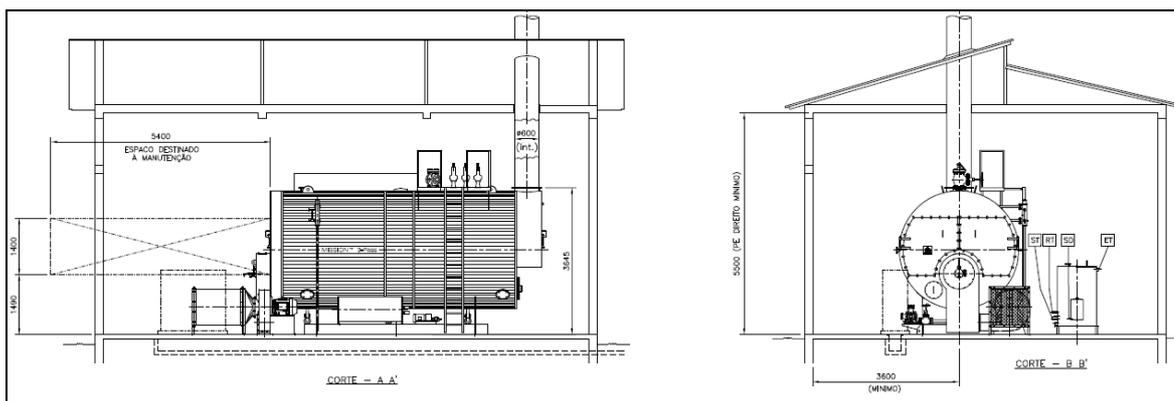


Figura 20 - Desenho preliminar da caldeira (Aalborg Industries)

6.6 Dimensionamento do sistema de distribuição de vapor saturado

Para dimensionar o diâmetro da linha principal de alimentação (*header* de alimentação) e linhas secundárias (*subheaders*), foi feito o contrário da “engenharia reversa” usada para estimar as vazões. Agora, de posse dos montantes das vazões, foi feito o dimensionamento direto usando as velocidades recomendadas para escoamento, contidas na Tabela 2.

Tabela 9 - Dimensionamento dos *headers* de vapor

Headers	Vazão (kg/h)	Vel. (m/s)	D _i linha (mm)	DN linha (mm)
Principal	10000	27,1	154,1	150
Térreo	6975	18,9	154,1	150
1º Andar	4575	28,1	102,3	100
2º Andar	6025	16,33	154,1	150
3º Andar	1175	27,4	52,5	50

Observa-se acima que não há a mesma variação de diâmetros que houve com água fria devido às naturezas distintas do escoamento dos fluidos.

A linha principal chegou a um valor coerente com o recomendado, bem como no 1º e 3º andares. Os *headers* piso térreo e o 2º andar ficaram com velocidades de linhas de alimentação (~15m/s), ou seja, abaixo do recomendado. Porém se fossem usados diâmetros menores as velocidades estariam muito acima das recomendadas (43 m/s e 39 m/s respectivamente).

A Figura 21 mostra a distribuição de vapor nos andares do prédio produtivo.

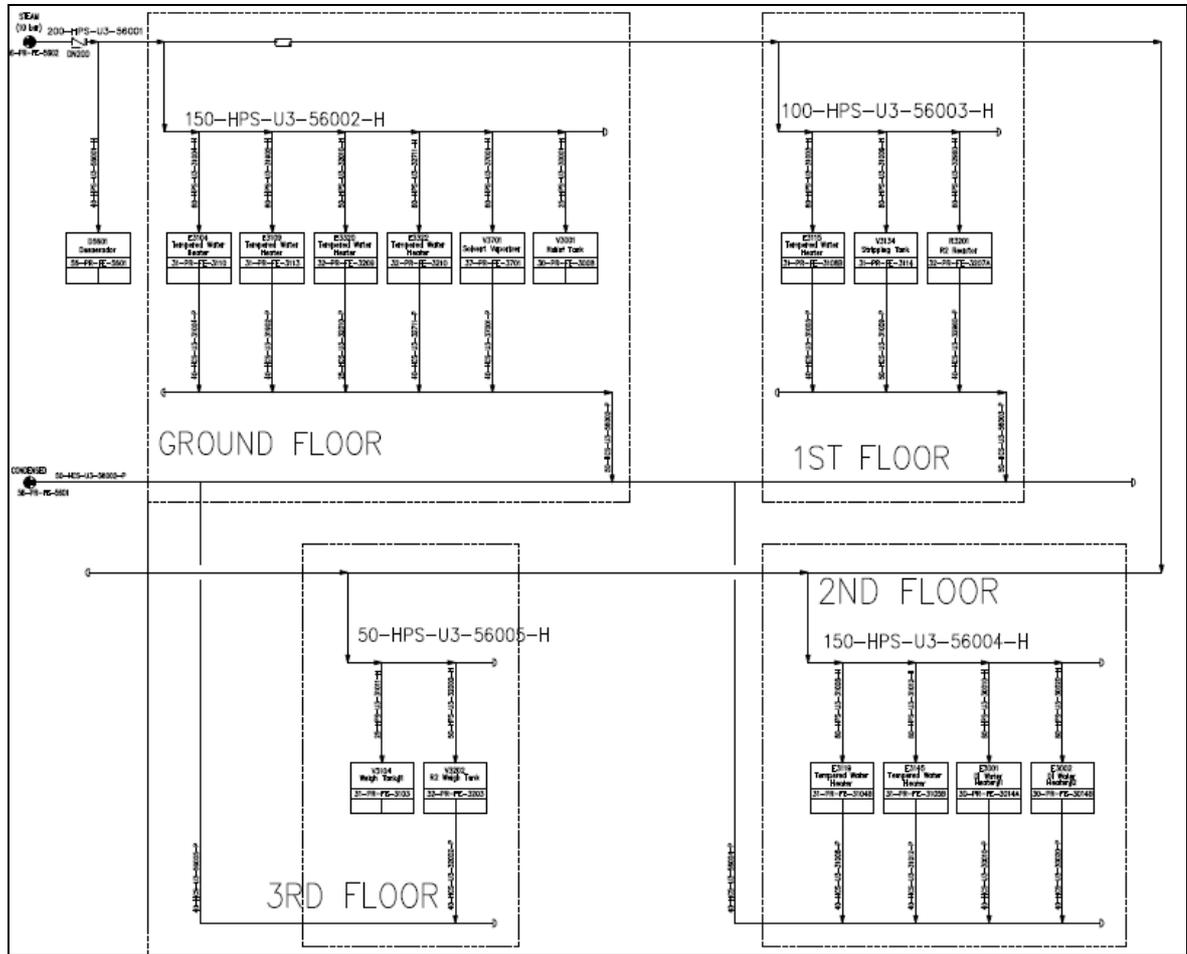


Figura 21 - Fluxograma de distribuição de vapor saturado.

7. CONCLUSÃO

Como era esperado, os resultados apresentados ao cliente foram ao encontro do que eles já tinham como base em plantas similares espalhadas em seus *sites* ao redor do mundo. Os valores de consumo de vapor e água fria, em especial, mostraram vazões que deveriam ter sido empregados na planta da China, que está superdimensionada, segundo eles.

É importante ressaltar, porém, que no caso de um futuro projeto de detalhamento, serão necessárias mais informações de processo para um correto dimensionamento. Há a possibilidade dos valores continuarem os mesmos, mas o pedido final de compra dos equipamentos só pode ser feito com dados reais e não estimados. Porém, os cálculos termodinâmicos e mecânicos dos equipamentos não fazem parte do escopo do serviço de uma firma de detalhamento de engenharia como a Multitec Engenharia.

Outro fator a ser ressaltado é a importância das documentações e suas normas e padrões para a boa execução de um projeto. Quando se tem uma documentação adequada, como fluxogramas bem detalhados, o projeto avança com maior facilidade.

Além disso, foi de grande importância observar e aprender o dia-a-dia de um projeto de engenharia e constatar o uso dos modelos teóricos aprendidos na universidade para modelar e solucionar problemas associando-os com a experiência e o bom senso de todas as pessoas envolvidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIZZO, W.A. Geradores de vapor. Disponível em:
<http://www.fem.unicamp.br/~em672/GERVAP4.pdf> . Acesso em 01 fevereiro 2011.

SILVA R. B., Tubulações, 6^{ed}, São Paulo, Edusp, 1978.

SILVA TELLES P. C., Tubulações Industriais, 6^{ed}, Rio de Janeiro, LTC editora, 1982

STREETER V. L., WYLIE E. B. Mecânica dos Fluidos, 7^a ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1982.

SILVA TELLES P. C., BARROS D. G. P. Tabelas e gráficos para projetos de tubulações, 6^a ed, Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 1998.

NR-13: Manual técnico de caldeiras e vasos de pressão. – Edição comemorativa 10 anos da NR-13. – 1^a reimpressão. – Brasília: MTE, SIT, DSST, 2006.

RODRIGUES A. P. Processos Industriais, Rev 7, Suzano: Colégio Cetés, 2008.

MORAES JR D. Transporte de líquidos e gases vol 1, São Carlos, UFSCar, 1988 (38p-52p).

AZEVEDO NETO J. M., ALVAREZ G. A. Manual de hidráulica volume 1: Editora Edgard Blucher 1973 176p- 183p

MACINTYRE J. M. Equipamentos Industriais de Processo : LTC Editora 1997

ARAÚJO C. de. Transmissão de Valor : LTC Editora 1982