

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE LORENA

RENAN ONGARO BIANCHI

**Estudo técnico para a substituição dos tubos
ASTM A671CC60 CI32 CC por tubos ASTM A333 Gr.6 SC**

LORENA

2014

RENAN ONGARO BIANCHI

**Estudo técnico para a substituição dos tubos
ASTM A671CC60 CI32 CC por tubos ASTM A333 Gr.6 SC**

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Bacharel em engenharia de materiais.

Área de concentração: Engenharia de materiais.

Orientadora: Prof. Dr. Katia Cristiane Gandolpho Candioto

LORENA

2014

DEDICATÓRIA

*Primeiramente
a Deus. A meus pais Lineu e Simony, aos meus avós
Nelson e Hayde, ao meu irmão Rodolfo e minha
namorada Juliana pelo incentivo durante toda minha
graduação e o incansável apoio ao longo do período
de elaboração deste trabalho.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos aqueles que de alguma forma contribuíram na minha formação pessoal e profissional. Aos engenheiros Sergio Lunardi e Osvaldo Boro por terem me dado a oportunidade de trabalhar em uma empresa reconhecida pela excelência.

Aos meus amigos Pedro Posso, Jessé Macedo, Alice Pinto, Natalie Gamberini, Rafael Toma, Camila Castro e Cláudio Moraes, com quem convivi durante meu estágio e aprendi muito com cada um.

Não posso esquecer-me dos amigos que fiz durante a graduação que estiveram comigo sempre (Robson Joiner, Rodrigo Cabrini, Thales Augusto e Giovani Barros) e também me ensinaram que na vida devemos escolher aqueles que queremos ao nosso lado.

A toda minha família que sempre torceu por mim e me apoiou quando preciso.

À aqueles que contribuíram de alguma forma com este trabalho só tenho a agradecer e desejar tudo em dobro a vocês.

Espero não ter esquecido ninguém, mas caso tenha cometido este equívoco, saibam que apesar de não estarem aqui citados, jamais esquecerei o que fizeram por mim.

RESUMO

Durante a realização de um projeto de uma Unidade de processamento de gás natural (UPGN) há tubulações para o transporte de gases liquefeitos de petróleo refrigerado, para este serviço geralmente é especificado o tubo ASTM A333 Gr.6 SC para diâmetros até 14 polegadas e o tubo ASTM A671CC60 cl32 CC para diâmetros a partir de 16 polegadas. Porém notou-se que fornecedores ofertavam o tubo ASTM A333 Gr.6 SC para diâmetros até 24 polegadas. A partir disto, os dois tubos foram comparados tecnicamente a partir de suas normas de fabricação e foi discutido o custo de cada um. Para isto foi feito uma análise das normas de fabricação de cada tubo e uma consulta no mercado de fornecimento dos mesmos para a avaliação. Desta forma o tubo ASTM A333 Gr.6 SC mostrou-se economicamente mais interessante na faixa de diâmetro em que os dois são fornecidos (16", 18", 20" e 24").

Palavras-chave: ASTM A671 CC60, ASTM A333 Gr.6, tubulação, baixa temperatura, gases liquefeitos de petróleo, Unidade de processamento de gás natural.

ABSTRACT

During a project's development of a Natural-Gas Processing Plant pipes are used to transport liquefied natural gas then for this service are usually specified the ASTM A333 Gr.6 SC tube for up to 14 inches diameter and the ASTM A333 Gr.6 SC tube for diameters from 16 inches. However it was noted that the suppliers used to offer the ASTM A333 Gr.6 SC tube for up to 24 inches diameter. From this, both tubes were technically compared by their standards and was discussed each cost through a consultation within their supply markets. Thus the ASTM A333 Gr.6 SC tube was more economically interesting in the diameter range in which the two are provided (16", 18", 20" and 24").

Key-words: ASTM A671 CC60, ASTM A333 Gr.6, pipe, low-temperature, liquefied gases of petroleum, Natural-Gas Processing Plant.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Fabricação de tubos por laminação - Laminador oblíquo "Mannesmann", (Cortesia da Cia. Siderúrgica Mannesmann). Fonte: (SILVA TELLES, 2001, p. 5) ...	14
Figura 2 - Fluxograma das etapas de fabricação de tubos com costura a partir de chapas. (Cortesia Confab Industrial S.A.). Fonte: (SILVA TELLES, 2001 p. 8).....	15
Figura 3 - Gráfico da temperatura de tratamento térmico. Adaptado: MSPC - Informações Técnicas (2009)	16
Figura 4 - Fluxograma esquemático do processamento de gás natural. Fonte: ENGEZER	17
Figura 5- Gráfico para a seleção da temperatura mínima para a utilização dos materiais de tubos sem teste de impacto. Extraído da Fig. 323.2.2A da norma ASME B31.3.....	21
Figura 6 – Especificação de tubos proposta.....	39
Figura 7 - Avaliação da necessidade do ensaio Charpy	45

ÍNDICE DE TABELAS

.....	
Tabela 1 - Composição e aplicação dos gases liquefeitos de petróleo. Fonte: PETROBRAS	18
Tabela 2 - Trecho da tabela A-1 da norma ASME B31.3 com propriedades dos materiais por ela coberta.	20
Tabela 3 - Requisitos adicionais para teste de impacto além dos incluídos na especificação do material do tubo. Extraído da Table 323.2.2da norma ASME B31.3	22
Tabela 4 - Especificação das chapas para a fabricação de tubos ASTM A671/A671M de acordo com o grau do tubo. Extraído da norma ASTM A671/A671M.....	24
Tabela 5 - Especificação das classes utilizadas na fabricação de tubos ASTM A671/A671M. Extraído da norma ASTM A671/A671M.....	25
Tabela 6 - Especificação da composição química das chapas ASTM A516/A516M de acordo com o grau selecionado. Extraído da norma ASTM A516/A516M	26
Tabela 7 - Especificação das propriedades mecânicas mínimas a serem atingidas na fabricação de chapas ASTM A516/A516M de acordo com o grau selecionado. Extraído da norma ASTM A516/A516M	26
Tabela 8 - Normas contempladas pela norma de padronização ASTM A20/A20M. Extraído da norma ASTM A20/A20M	27
Tabela 9 - Quantidade de alguns elementos de liga nas chapas de aço padronizadas pela norma ASTM A20/A20M. Extraído da norma ASTM A20/A20M.....	28
Tabela 10 – Valores mínimos de energia absorvida no ensaio Charpy para as chapas de aço padronizadas pela norma ASTM A20/A20M. Extraído trecho da tabela A1.15 da norma ASTM A20/A20M.....	29
Tabela 11 - Composição química dos tubos ASTM A333/A333M de acordo com o grau selecionado. Extraído da norma ASTM A333/A333M	30
Tabela 12 - Valores mínimos de energia absorvida no ensaio Charpy dos tubos ASTM A333/A333M. Extraído da norma ASTM A333/A333M.....	30
Tabela 13 – Propriedades mecânicas mínimas requeridas dos tubos ASTM A333/A333M de acordo com o grau selecionado. Extraído da norma ASTM A333/A333M.....	31

Tabela 14 – Valores padronizados de espessura de parede para tubos. Extraído da norma ASME B36.10M.....	32
Tabela 15 - Composição química do tubo ASTM A333/A333M Gr.6. Extraído da norma ASTM A333/A333M.....	33
Tabela 16 - Propriedades mecânicas requeridas para o tubo ASTM A333/A333M ..	34
Tabela 17 - Especificação da composição química da chapa ASTM A516/A516M Gr. 60. Extraído da norma ASTM A516/A516M	36
Tabela 18 - Temperatura de tratamento térmico do tubo ASTM A671/A671M CC60. Extraído da norma ASTM A671/A671M	37
Tabela 19 - Resultados da Eq. 1 para o caso proposto	41
Tabela 20 - Valores de espessura da parede para tubos de diâmetros 16”, 18”, 20” e 24” para os Schedule 60 e 80 segundo a norma ASME B36.10M.....	41
Tabela 21- Valores mínimos de espessura da parede para tubos de diâmetros 16”, 18”, 20” e 24” para os Schedule 60 e 80 que podem ser fornecidos segundo considerando-se a tolerância de fabricação de cada tubo.	42
Tabela 22 – Seleção preliminar do Schedule para cada caso analisado considerando-se a tolerância da norma de cada tubo.....	43
Tabela 23 - Seleção do Schedule para cada caso analisado considerando-se a tolerância de 12,5% para os dois tubos.....	44
Tabela 24 - Valores de espessura nominal dos tubos selecionados na seção 4.2.1	45
Tabela 25 - Trecho de interesse da Tabela 10.....	46
Tabela 26- Comparativo entre os tubos ASTM A671 CC60 cl32 CC e ASTM A333 Gr.6 SC	46

SUMÁRIO

OBJETIVO	12
1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1. Tubos	14
2.1.1. Processos de fabricação.....	14
2.1.2. Tratamentos térmicos	16
2.2. Unidade de processamento de gás natural.....	17
2.3. Gases liquefeitos de petróleo.....	18
2.4. Padronização de tubulações.....	18
2.4.1. Norma ASME B31.3.....	18
2.4.2. N – 0076 - “Materiais de Tubulação para Instalações de Refino e Transporte” (PETROBRÁS)	22
2.4.3. Norma ASTM A671/A671M.....	23
2.4.4. Norma ASTM A516/516M.....	25
2.4.5. Norma ASTM A20/A20M.....	27
2.4.6. Norma ASTM A333/A333M.....	29
2.4.7. Norma ASME B36.10M.....	32
2.5. Especificação do tubo ASTM A333 Gr. 6 SC	33
2.6. Especificação do tubo ASTM A671 CC60 cl32 CC	35
3 MATERIAIS E MÉTODOS	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	39
4.1. Necessidades impostas pelo processo e cliente	39
4.2. Elaboração da especificação de tubos para linhas de gases liquefeitos de petróleo.....	39
4.2.1. Cálculo da espessura	40
4.2.2. Requisito adicional para serviço em baixa temperatura.....	44
4.3. Comparativo dos tubos	46
4.4. Preços e prazos dos tubos ASTM A333 Gr.6 SC e ASTM A671 CC60 cl32 CC com teste de impacto.....	47
5 CONCLUSÕES	49

REFERENCIAS.....	50
ANEXO A.....	51

OBJETIVO

Identificar qualificações na adoção dos diferentes tipos de tubos para linhas de gases liquefeitos de petróleo refrigerado (temperatura mínima de projeto é -45°C).

Realizar estudo técnico da viabilidade da substituição do tubo ASTM A671 CC60 cl32 CC pelo tubo ASTM A333 Gr.6 SC em linhas de gases liquefeitos de petróleo refrigerado em Unidade de processamento de gás natural com base em normas fabricação.

Comparar o custo na adoção das alternativas utilizadas.

1 INTRODUÇÃO

A área de Materiais de Tubulações de empresas de projetos complexos de engenharia é responsável por elaborar todas as especificações técnicas das tubulações industriais que serão utilizadas nos projetos. Estas especificações obedecem às normas internacionais como exemplo *ASME - American Society of Mechanical Engineers*, e *ASTM - American Society for Testing and Materials* e normas nacionais como ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Um dos maiores clientes destas empresas é a Petrobrás. Este cliente possui algumas normas e especificações de tubulações internas que devem ser respeitadas.

Em alguns casos de tubos para transporte de gases liquefeitos de petróleo refrigerado a temperatura de projeto pode atingir -45°C . É indicada a utilização de tubos de aço carbono acalmado com grãos refinados e tratamento térmico posterior para alívio de tensão residual para suportar esta temperatura. Conforme a norma ASME B31.3, que rege as linhas de tubulações das plantas de processos, foram especificados os materiais dos tubos e seu dimensional. Um tubo usualmente utilizado nas especificações Petrobrás destas linhas é o ASTM A333 Gr.6 SC, mas dentro da mesma especificação para diâmetros maior ou igual a 16” é especificado o tubo ASTM A671 CC60 cl32 CC. Ou seja, até 14” é usado o tubo ASTM A333 Gr.6 SC e para diâmetros maiores, 16” em diante, é utilizado o tubo ASTM A671 CC60 cl32 CC.

O fator custo e benefício nos projetos de engenharia é decisivo cada vez mais incorporado. É considerado estratégico para as empresas a otimização do valor do projeto, visto que possibilita maximizar os lucros ao fim do projeto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Tubos

2.1.1. Processos de fabricação

Laminação, extrusão e fundição são processos de fabricação para obtenção de tubos sem costura. Já os tubos com costura são fabricados por soldagem a partir de chapas (SILVA TELLES, 2001, p. 5). Para a fabricação de tubos de aço carbono os processos mais utilizados são os processos de laminação e por soldagem.

O processo de fabricação de tubos sem costura por laminação mais importante é conhecido como “Mannesmann”, onde um lingote cilíndrico de diâmetro externo próximo ao do tubo que será fabricado é aquecido a aproximadamente 1200°C e levado a um laminador composto por dois rolos oblíquos. Depois disto é levado a um segundo laminador oblíquo para redução da espessura e por fim feita o desempenamento e calibragem das medidas finais.

A Figura 1 traz a ilustração esquemática do processo.

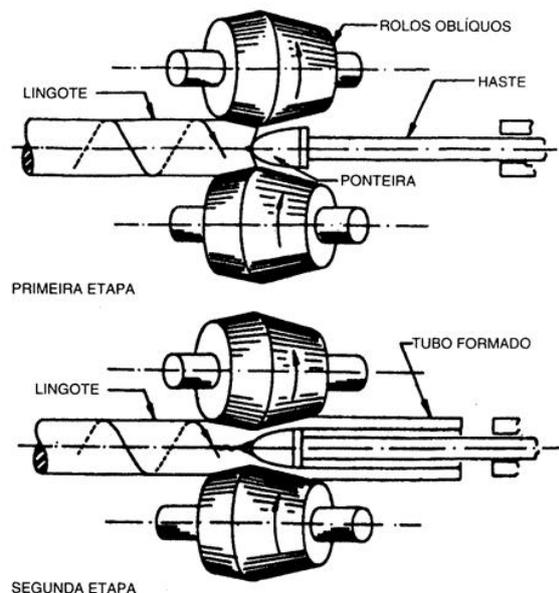


Figura 1 - Fabricação de tubos por laminação - Laminador oblíquo "Mannesmann", (Cortesia da Cia. Siderúrgica Mannesmann). Fonte: (SILVA TELLES, 2001, p. 5)

Um dos principais processos de soldagem que é utilizado para obtenção de tubos com costura a partir de chapas está descrito na Figura 2.

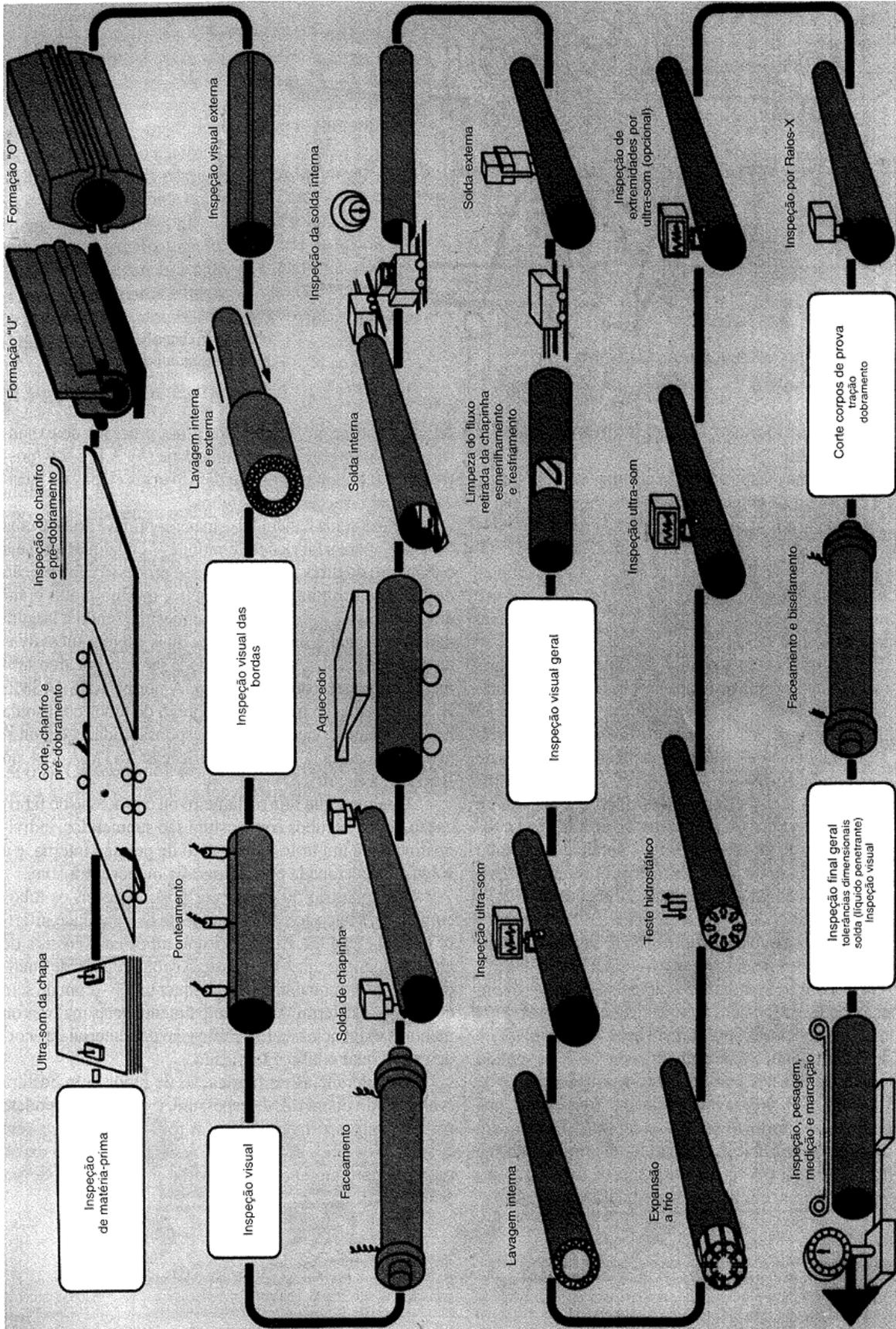


Figura 2 - Fluxograma das etapas de fabricação de tubos com costura a partir de chapas. (Cortesia Confab Industrial S.A.). Fonte: (SILVA TELLES, 2001 p. 8)

2.1.2. Tratamentos térmicos

Os tratamentos térmicos visam melhorar e/ou alterar certas propriedades nos materiais conforme sua descrição e procedimento.

O Reozimento e normalização são tratamentos que visam aliviar as tensões residuais do tratamento mecânico, ajustar o tamanho de grão, remover defeitos, melhorar a usinabilidade, regularizar a textura, diminuir a dureza, etc. (CHIAVERINI, 2008, p. 87).

Os dois processos consistem em aquecer o aço acima da zona crítica durante tempo suficiente para ter-se a solução de carbono ou dos elementos de liga no ferro gama, seguido de resfriamento controlado. No caso do reozimento o resfriamento ocorre geralmente no interior do forno (resfriamento lento) e na normalização ao ar.

Além disto, também pode ser feito o resfriamento subcrítico que visa o alívio de tensões do material. Abaixo, na Figura 3, estão a quais faixas de temperaturas são aquecidos os aços para cada tratamento.

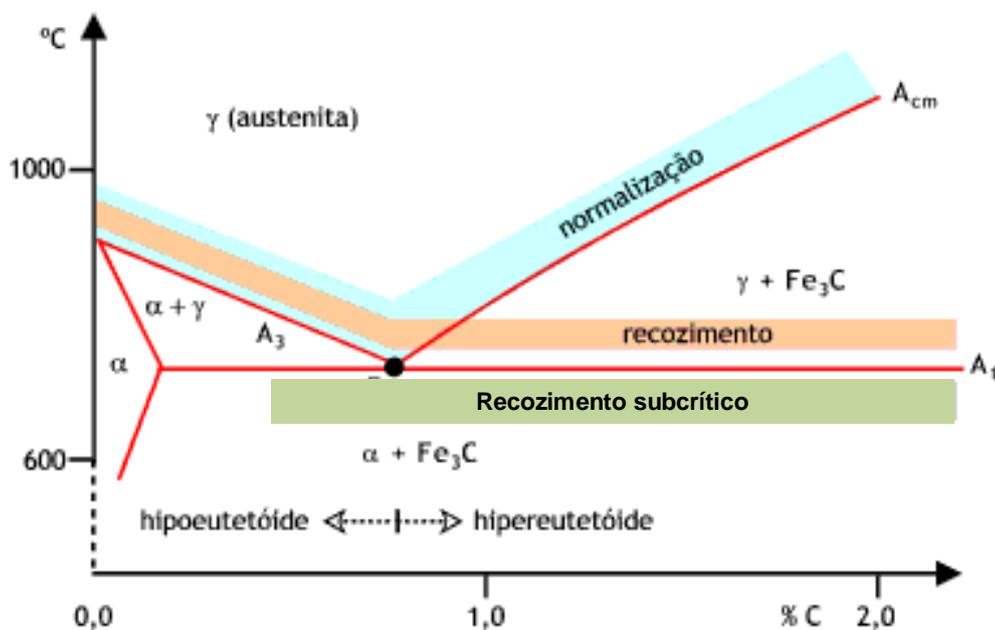


Figura 3 - Gráfico da temperatura de tratamento térmico. Adaptado: MSPC - Informações Técnicas (2009)

O tratamento de têmpera consiste no aquecimento do aço até sua temperatura de austenitização, seguido de resfriamento rápido. E o revenimento é o

tratamento térmico que normalmente acompanha a têmpera, responsável por remover as tensões internas, corrigir a excessiva dureza e fragilidade do material. (CHIAVERINI, 2008, p. 103).

2.2. Unidade de processamento de gás natural

Uma unidade de processamento de gás natural (UPGN) é responsável por processar o gás natural proveniente dos poços de extração.

O gás natural é um combustível fóssil que se encontra na natureza, associado ou não ao petróleo, formado por hidrocarbonetos com predominância de metano, e à temperatura ambiente e pressão atmosférica permanece em estado gasoso. Trata-se de uma importante fonte de energia para prover eletricidade e calor, além de ser utilizado como combustível em automóveis e como matéria-prima na indústria química. (ABRACE)

A partir do gás natural bruto extraído, são obtidos hidrocarbonetos mais pesados chamados de líquidos de gás natural (LGN). Desses líquidos retira-se o gás liquefeito de petróleo (GLP), por exemplo.

A seguir é apresentado um fluxograma esquemático do processamento de gás natural (Figura 4).

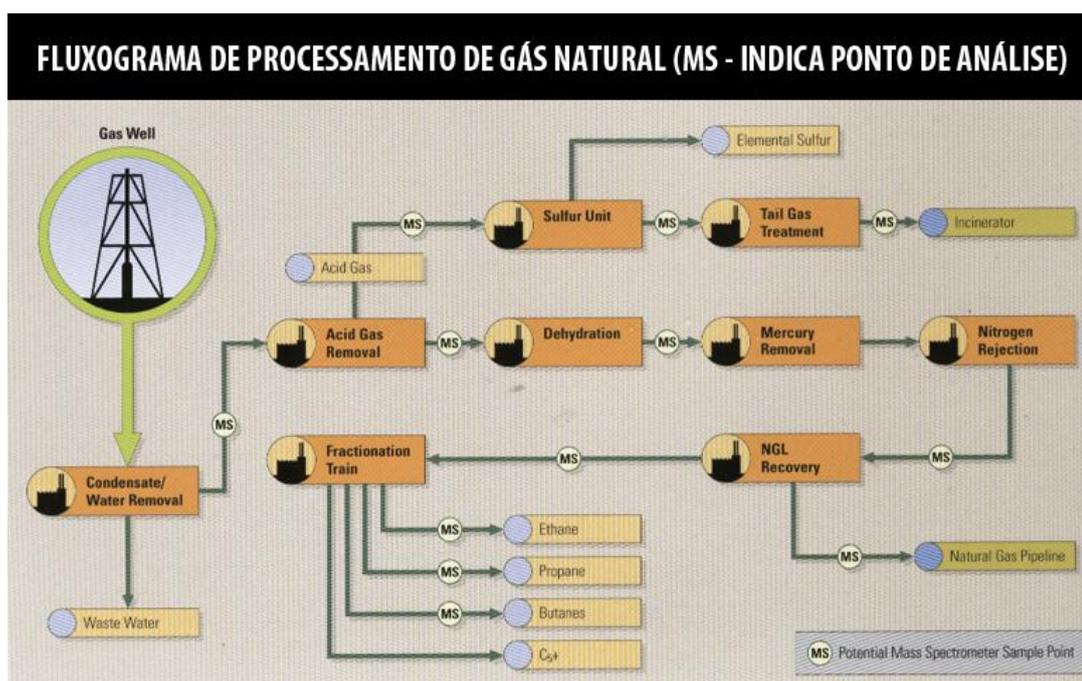


Figura 4 - Fluxograma esquemático do processamento de gás natural. Fonte: ENGEZER

2.3. Gases liquefeitos de petróleo

Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), Propano Comercial, Propano Especial, Butano Comercial e Butano Especial são os cinco tipos de gases liquefeitos de petróleo. (PETROBRAS, 2013).

A composição química e a aplicação destes produtos estão na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição e aplicação dos gases liquefeitos de petróleo. Fonte: PETROBRAS

Nome Comercial	Composição	Aplicação
GLP	Proporção variável de propano/propeno e butanos/butenos	Cozimento de alimentos em uso residencial ou comercial Sistemas de combustão industrial que não necessitem de composição fixa do produto Combustível automotivo em máquinas empilhadeiras Combustível para tratamento térmico e galvanização
Propano Comercial	Mistura contendo predominantemente propano e/ou propeno ($C_4^+ \leq 2,5\%$)	Indicado para sistemas que necessitam de alta volatilidade do produto além de composição e pressão de vapor bem definidas
Propano Especial	Mistura contendo no mínimo 90% de propano (volume) e no máximo 5% de propeno (volume) ($C_4^+ \leq 2,5\%$)	Recomendado para aplicações onde o teor de olefinas é fator limitante.
Butano Comercial	Mistura contendo predominantemente butanos e/ou butenos ($C_5^+ \leq 2,5\%$)	Indicado para sistemas de combustão com pré-vaporizadores e que necessitam de composição/pressão de vapor estáveis.
Butano Especial	Mistura contendo no mínimo 96% de butano (volume) e no máximo 2% de buteno (volume) ($C_4^+ \leq 0,5\%$)	Propelente

2.4. Padronização de tubulações

2.4.1. Norma ASME B31.3

A norma ASME B31.3 intitulada “*Process Piping*” abrange as tubulações dentro de uma unidade de processamento, como por exemplo para uma unidade de processamento de derivados de petróleo.

Seu escopo cita as normas para os componentes de uma tubulação que deverão ser utilizadas.

A norma apresenta a especificação do cálculo para a espessura mínima do tubo submetido à pressão interna. São apresentadas duas equações para o cálculo. A primeira equação é definida quando a espessura for menor do que um sexto do diâmetro externo (Eq. 1) e a segunda equação, quando a espessura for maior ou igual do que um sexto do diâmetro externo ou quando a razão da pressão interna pelo produto do valor de tensão do material e o fator de propriedade for maior do que 0,385 (Eq. 2).

$$t_m = \frac{P \cdot D}{2 \cdot (S_h \cdot E \cdot W + P \cdot Y)} + c \quad t < \frac{D}{6} \quad (\text{Eq. 1})$$

$$t_m = \frac{P \cdot (d + 2c)}{2 \cdot [S_h \cdot E \cdot W + P \cdot (1 - Y)]} + c \quad t \geq \frac{D}{6} \text{ ou } \frac{P}{S \cdot E} > 0,385 \quad (\text{Eq. 2})$$

c = Soma das tolerâncias mecânicas, margens para corrosão ou erosão, profundidade de rosca e tolerâncias de fabricação.

D = Diâmetro externo do tubo.

d = Diâmetro interno do tubo. Para o cálculo da pressão de projeto, o diâmetro interior do tubo é o valor máximo permitido abaixo da especificação de compra.

E = Coeficiente de eficiência de junta.

P = Pressão interna de projeto.

S_h = Tensão admissível do material na temperatura de projeto.

T_m = Espessura mínima requerida

W = Fator de redução de resistência de solda.

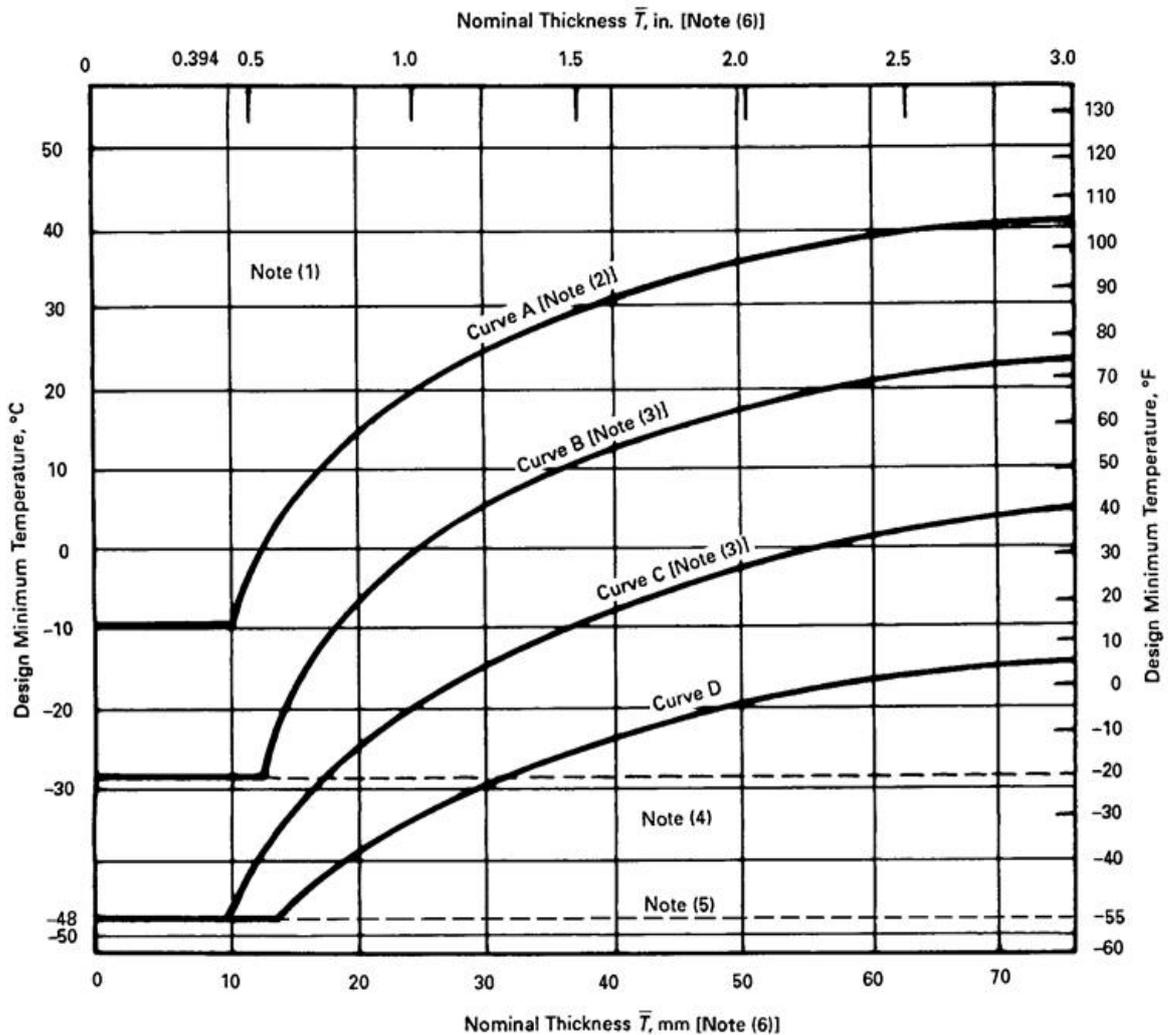
Y = Coeficiente de redução dependente do material.

A ASME B31.3 especifica a temperatura mínima de utilização de cada material assim como descreve informações para a utilização dos materiais em determinada temperatura e seus limites de resistência e tração na Tabela 2.

Tabela 2 - Trecho da tabela A-1 da norma ASME B31.3 com propriedades dos materiais por ela coberta.

Material	Spec. No.	Type/ Grade	UNS No.	Class/ Condition/ Temper	Size, in.	P-No. (5)	Notes	Min. Temp., °F (6)	Specified Min. Strength, ksi			Min. Temp.		
									Tensile	Yield	to 100	200	300	
Carbon Steel														
Pipes and Tubes (2)														
A285 Gr. A	A134	...	...	...	...	1	(8b)(57)	B	45	24	15.0	14.7	14.2
A285 Gr. A	A672	A45	K01700	...	...	1	(57)(59)(67)	B	45	24	15.0	14.7	14.2
Butt weld Smls & ERW	API 5L	A25	...	...	...	1	(8a)	-20	45	25	15.0	15.0	14.7
	API 5L	A25	...	...	...	1	(57)(59)	B	45	25	15.0	15.0	14.7
...	A179	...	K01200	...	...	1	(57)(59)	-20	47	26	15.7	15.7	15.3
Type F	A53	A	K02504	...	...	1	(8a)(77)	20	48	30	16.0	16.0	16.0
...	A139	A	...	...	...	1	(8b)(77)	A	48	30	16.0	16.0	16.0
...	A587	...	K11500	...	...	1	(57)(59)	-20	48	30	16.0	16.0	16.0
...	A53	A	K02504	...	...	1	(57)(59)	B	48	30	16.0	16.0	16.0
...	A106	A	K02501	...	...	1	(57)	B	48	30	16.0	16.0	16.0
...	A135	A	...	...	...	1	(57)(59)	B	48	30	16.0	16.0	16.0
...	A369	FPA	K02501	...	...	1	(57)	B	48	30	16.0	16.0	16.0
...	API 5L	A	...	...	...	1	(57)(59)(77)	B	48	30	16.0	16.0	16.0
A285 Gr. B	A134	...	...	...	...	1	(8b)(57)	B	50	27	16.7	16.5	15.9
A285 Gr. B	A672	A50	K02200	...	...	1	(57)(59)(67)	B	50	27	16.7	16.5	15.9
A285 Gr. C	A134	...	...	...	...	1	(8b)(57)	A	55	30	18.3	18.3	17.7
...	A524	II	K02104	...	...	1	(57)	-20	55	30	18.3	18.3	17.7
...	A333	1	K03008	...	...	1	(57)(59)	-50	55	30	18.3	18.3	17.7
...	A334	1	K03008	...	...	1	(57)(59)	-50	55	30	18.3	18.3	17.7
A285 Gr. C	A671	CA55	K02801	...	...	1	(59)(67)	A	55	30	18.3	18.3	17.7
A285 Gr. C	A672	A55	K02801	...	...	1	(57)(59)(67)	A	55	30	18.3	18.3	17.7
A516 Gr. 55	A672	C55	K01800	...	...	1	(57)(67)	C	55	30	18.3	18.3	17.7
A516 Gr. 60	A671	CC60	K02100	...	...	1	(57)(67)	C	60	32	20.0	19.5	18.9
A515 Gr. 60	A671	CB60	K02401	...	...	1	(57)(67)	B	60	32	20.0	19.5	18.9
A515 Gr. 60	A672	B60	K02401	...	...	1	(57)(67)	B	60	32	20.0	19.5	18.9
A516 Gr. 60	A672	C60	K02100	...	...	1	(57)(67)	C	60	32	20.0	19.5	18.9

Para o caso onde os materiais não apresentam na tabela um valor de temperatura mínima de utilização faz-se necessário sua determinação através do gráfico de temperatura mínima x espessura nominal (Figura 5)



NOTES:

- (1) Any carbon steel material may be used to a minimum temperature of -29°C (-20°F) for Category D Fluid Service.
- (2) X Grades of API 5L, and ASTM A381 materials, may be used in accordance with Curve B if normalized or quenched and tempered.
- (3) The following materials may be used in accordance with Curve D if normalized:
 - (a) ASTM A516 plate, all grades
 - (b) ASTM A671 pipe made from A516 plate, all grades
 - (c) ASTM A672 pipe made from A516 plate, all grades
- (4) A welding procedure for the manufacture of pipe or components shall include impact testing of welds and HAZ for any design minimum temperature below -29°C (-20°F), except as provided in Table 323.2.2, A-3(b).
- (5) Impact testing in accordance with para. 323.3 is required for any design minimum temperature below -48°C (-55°F), except as permitted by Note (3) in Table 323.2.2.
- (6) For blind flanges and blanks, \bar{T} shall be $\frac{1}{4}$ of the flange thickness.

Figura 5- Gráfico para a seleção da temperatura mínima para a utilização dos materiais de tubos sem teste de impacto. Extraído da Fig. 323.2.2A da norma ASME B31.3

Em alguns tipos de tubo são especificados requisitos adicionais devido ao seu emprego o qual se encontram listados na Tabela 3.

Tabela 3 - Requisitos adicionais para teste de impacto além dos incluídos na especificação do material do tubo. Extraído da Table 323.2.2da norma ASME B31.3

Type of Material	Column A Design Minimum Temperature at or Above Min. Temp. in Table A-1 or Fig. 323.2.2A		Column B Design Minimum Temperature Below Min. Temp. in Table A-1 or Fig. 323.2.2A
	1 Gray cast iron	A-1 No additional requirements		B-1 No additional requirements
2 Malleable and ductile cast iron; carbon steel in accordance with Note (1)	A-2 No additional requirements		B-2 Materials designated in Box 2 shall not be used.
	(a) Base Metal	(b) Weld Metal and Heat Affected Zone (HAZ) [Note (2)]	
3 Other carbon steels, low and intermediate alloy steels, high alloy ferritic steels, duplex stainless steels	A-3 (a) No additional requirements	A-3 (b) Weld metal deposits shall be impact tested in accordance with para. 323.3 if design min. temp. < -29°C (-20°F), except as provided in Notes (3) and (5), and except as follows: for materials listed for Curves C and D of Fig. 323.2.2A, where corresponding welding consumables are qualified by impact testing at the design minimum temperature or lower in accordance with the applicable AWS specification, additional testing is not required.	B-3 Except as provided in Notes (3) and (5), heat treat base metal in accordance with applicable ASTM specification listed in para. 323.3.2; then impact test base metal, weld deposits, and HAZ in accordance with para. 323.3 [see Note (2)]. When materials are used at design min. temp. below the assigned curve as permitted by Notes (2) and (3) of Fig. 323.2.2A, weld deposits and HAZ shall be impact tested [see Note (2)].

NOTES:

- (1) Carbon steels conforming to the following are subject to the limitations in Box B-2: plates in accordance with ASTM A36, A283, and A570; pipe in accordance with ASTM A134 when made from these plates; structural shapes in accordance with ASTM A992; and pipe in accordance with ASTM A53 Type F and API 5L Gr. A25 butt weld.
- (2) Impact tests that meet the requirements of Table 323.3.1, which are performed as part of the weld procedure qualification, will satisfy all requirements of para. 323.2.2, and need not be repeated for production welds.
- (3) Impact testing is not required if the design minimum temperature is below -29°C (-20°F) but at or above -104°C (-155°F) and the stress ratio defined in Fig. 323.2.2B does not exceed 0.3.
- (4) Tests may include tensile elongation, sharp-notch tensile strength (to be compared with unnotched tensile strength), and/or other tests, conducted at or below design minimum temperature. See also para. 323.3.4.
- (5) Impact tests are not required when the maximum obtainable Charpy specimen has a width along the notch of less than 2.5 mm (0.098 in.). Under these conditions, the design minimum temperature shall not be less than the lower of -48°C (-55°F) or the minimum temperature for the material in Table A-1.
- (6) Impact tests are not required when the maximum obtainable Charpy specimen has a width along the notch of less than 2.5 mm (0.098 in.).

2.4.2. N – 0076 - “Materiais de Tubulação para Instalações de Refino e Transporte” (PETROBRÁS)

A especificação de material de um projeto rege todos os componentes padronizados inseridos no mesmo

Para elaboração da especificação de materiais são utilizados como referência os seguintes documentos:

- Especificações básicas do cliente quando existente;

- Especificações básicas aplicadas em processo similar, quando existentes para serviços de processo;
- Especificações padrões para serviços de utilidades;
- Dados de processo para definição, condições máximas de operação (pressão, temperatura);
- Fluxogramas básicos de processo e ou lista de produtos utilizados no projeto;
- Normas do cliente quando existentes;
- Normas convencionais (Ex.: ABNT, ASME, ASTM, API, AWWA, MSS, BSI, DIN, ISO, NACE).

A norma N-0076 – “Materiais de Tubulação para Instalações de Refino e Transporte” da Petrobrás padroniza como é elaborada uma especificação em suas plantas. O “ANEXO A” traz um exemplo de uma especificação de materiais segundo a norma N-76 (PETROBRAS, 2013).

2.4.3. Norma ASTM A671/A671M

A Norma ASTM A671/671M “*Standard Specification for Electric-Fusion-Welded Steel Pipe for Atmospheric and Lower Temperatures*” especifica tubos soldados por eletrofusão com diâmetro nominal externo a partir de 16 polegadas (400 milímetros) e espessura maior ou igual a ¼ polegada (6 milímetros).

A norma abrange uma pequena gama de tubos, estes são classificados por grau e classe. Assim, o nome do tubo é composto pela norma dele, mais seu grau, mais sua classe.

O grau é definido pela composição química da chapa usada na fabricação do tubo conforme a Tabela 4.

Tabela 4 - Especificação das chapas para a fabricação de tubos ASTM A671/A671M de acordo com o grau do tubo. Extraído da norma ASTM A671/A671M

Pipe Grade	Type of Steel	ASTM Specification	
		No.	Grade / Class / Type
CA 55	plain carbon	A285/A285M	Gr C
CB 60	plain carbon, killed	A515/A515M	Gr 60
CB 65	plain carbon, killed	A515/A515M	Gr 65
CB 70	plain carbon, killed	A515/A515M	Gr 70
CC 60	plain carbon, killed, fine grain	A516/A516M	Gr 60
CC 65	plain carbon, killed, fine grain	A516/A516M	Gr 65
CC 70	plain carbon, killed, fine grain	A516/A516M	Gr 70
CD 70	manganese-silicon, normalized	A537/A537M	Cl 1
CD 80	manganese-silicon, quenched and tempered	A537/A537M	Cl 2
CF 65	nickel steel	A203/A203M	Gr A
CF 70	nickel steel	A203/A203M	Gr B
CF 65	nickel steel	A203/A203M	Gr D
CF 70	nickel steel	A203/A203M	Gr E
CG 100	9 % nickel	A353/A353M	
CH 115	9 % nickel	A553/A553M	Type 1
CJA 115	alloy steel, quenched and tempered	A517/A517M	Gr A
CJB 115	alloy steel, quenched and tempered	A517/A517M	Gr B
CJE 115	alloy steel, quenched and tempered	A517/A517M	Gr E
CJF 115	alloy steel, quenched and tempered	A517/A517M	Gr F
CJH 115	alloy steel, quenched and tempered	A517/A517M	Gr H
CJP 115	alloy steel, quenched and tempered	A517/A517M	Gr P
CK 75	carbon-manganese-silicon	A299/A299M	Gr A
CP85	alloy steel, age hardening, quenched and precipitation heat treated	A736/A736M	Gr A, Class 3

A classe do tubo é dada por dois algarismos, o primeiro está relacionado ao tratamento térmico a ser realizado durante a manufatura do tubo, ou seja, após a soldagem para a união das extremidades da chapa. Já o segundo algarismo está relacionado a dois testes de inspeção no tubo: exame de radiografia na solda e teste de pressão, conforme a Tabela 5.

Tabela 5 - Especificação das classes utilizadas na fabricação de tubos ASTM A671/A671M. Extraído da norma ASTM A671/A671M

Class	Heat Treatment on Pipe	Radiography, see Section	Pressure Test, see:
10	none	none	none
11	none	9	none
12	none	9	8.3
13	none	none	8.3
20	stress relieved, see 5.3.1	none	none
21	stress relieved, see 5.3.1	9	none
22	stress relieved, see 5.3.1	9	8.3
23	stress relieved, see 5.3.1	none	8.3
30	normalized, see 5.3.2	none	none
31	normalized, see 5.3.2	9	none
32	normalized, see 5.3.2	9	8.3
33	normalized, see 5.3.2	none	8.3
40	normalized and tempered, see 5.3.3	none	none
41	normalized and tempered, see 5.3.3	9	none
42	normalized and tempered, see 5.3.3	9	8.3
43	normalized and tempered, see 5.3.3	none	8.3
50	quenched and tempered, see 5.3.4	none	none
51	quenched and tempered, see 5.3.4	9	none
52	quenched and tempered, see 5.3.4	9	8.3
53	quenched and tempered, see 5.3.4	none	8.3
70	quenched and precipitation heat treated	none	none
71	quenched and precipitation heat treated	9	none
72	quenched and precipitation heat treated	9	8.3
73	quenched and precipitation heat treated	none	8.3

Note que, no caso de haver a necessidade do exame de radiografia e/ou fia e teste de pressão a norma já indica a seção da mesma onde localizam-se padronizados estes procedimentos.

Requisitos adicionais também podem ser pedidos pelo cliente, ou necessidades de projeto conforme os apêndices da norma.

2.4.4. Norma ASTM A516/516M

A norma ASTM A516/516M - *“Standard Specification for Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, for Moderate- and Lower-Temperature Service”* abrange a especificação para a fabricação de chapas de aço carbono para vasos de pressão para serviços com temperatura moderada e baixa.

São especificadas quatro composições químicas diferentes na Tabela 6, cada uma equivale a um grau diferente, e seu valor corresponde ao valor mínimo de resistência a tração da chapa, em ksi.

Tabela 6 - Especificação da composição química das chapas ASTM A516/A516M de acordo com o grau selecionado. Extraído da norma ASTM A516/A516M

Elements	Composition, %			
	Grade 55 [Grade 380]	Grade 60 [Grade 415]	Grade 65 [Grade 450]	Grade 70 [Grade 485]
Carbon, max ^{A,B} :				
½ in. [12.5 mm] and under	0.18	0.21	0.24	0.27
Over ½ in. to 2 in. [12.5 to 50 mm], incl	0.20	0.23	0.26	0.28
Over 2 in. to 4 in. [50 to 100 mm], incl	0.22	0.25	0.28	0.30
Over 4 to 8 in. [100 to 200 mm], incl	0.24	0.27	0.29	0.31
Over 8 in. [200 mm]	0.26	0.27	0.29	0.31
Manganese ^B :				
½ in. [12.5 mm] and under:				
Heat analysis	0.60–0.90	0.60–0.90 ^C	0.85–1.20	0.85–1.20
Product analysis	0.55–0.98	0.55–0.98 ^C	0.79–1.30	0.79–1.30
Over ½ in. [12.5 mm]:				
Heat analysis	0.60–1.20	0.85–1.20	0.85–1.20	0.85–1.20
Product analysis	0.55–1.30	0.79–1.30	0.79–1.30	0.79–1.30
Phosphorus, max ^A	0.025	0.025	0.025	0.025
Sulfur, max ^A	0.025	0.025	0.025	0.025
Silicon:				
Heat analysis	0.15–0.40	0.15–0.40	0.15–0.40	0.15–0.40
Product analysis	0.13–0.45	0.13–0.45	0.13–0.45	0.13–0.45

^A Applies to both heat and product analyses.

^B For each reduction of 0.01 percentage point below the specified maximum for carbon, an increase of 0.06 percentage point above the specified maximum for manganese is permitted, up to a maximum of 1.50 % by heat analysis and 1.60 % by product analysis.

^C Grade 60 plates ½ in. [12.5 mm] and under in thickness may have 0.85–1.20 % manganese on heat analysis, and 0.79–1.30 % manganese on product analysis.

A Tabela 7 apresenta as especificações das propriedades mecânicas mínimas a serem atingidas na fabricação de chapas ASTM A516/A516M de acordo com o grau selecionado

Tabela 7 - Especificação das propriedades mecânicas mínimas a serem atingidas na fabricação de chapas ASTM A516/A516M de acordo com o grau selecionado. Extraído da norma ASTM A516/A516M

	Grade			
	55 [380]	60 [415]	65 [450]	70 [485]
Tensile strength, ksi [MPa]	55–75 [380–515]	60–80 [415–550]	65–85 [450–585]	70–90 [485–620]
Yield strength, min, ^A ksi [MPa]	30 [205]	32 [220]	35 [240]	38 [260]
Elongation in 8 in. [200 mm], min, % ^B	23	21	19	17
Elongation in 2 in. [50 mm], min, % ^B	27	25	23	21

^A Determined by either the 0.2 % offset method or the 0.5 % extension-under-load method.

^B See Specification A20/A20M for elongation adjustment.

A máxima espessura para estas chapas está limitada somente pela capacidade das propriedades mecânicas serem satisfeitas, mas usualmente limita-se a espessura em 8 polegadas (205 milímetros).

O tratamento térmico também é especificado na norma, as chapas devem ser acalmadas e grão austenítico refinado:

- i. Chapas com até 1 ½ polegada (40 milímetros) de espessura são normalmente fornecidas na condição de bobinas laminadas. As chapas devem ser fornecidas normalizadas ou com alívio de tensões ou os dois.

- ii. Chapas acima de 1 ½ polegada (40 milímetros) de espessura devem ser normalizadas.
- iii. Quando ensaio de impacto for requerido em chapas com até 1 ½ polegada (40 milímetros) de espessura, estas chapas deverão ser normalizadas salvo indicação contrária por parte do comprador.
- iv. Se aprovado pelo comprador, maiores taxas de resfriamento das quais são atingidas ao ar são permitidas para o aumento da dureza. Providenciar chapas com subsequente revenimento em uma faixa de temperatura de 595°C à 705°C.

2.4.5. Norma ASTM A20/A20M

A norma ASTM A20/A20M – “*Standard Specification for General Requirements for Steel Plates for Pressure Vessels*” padroniza os requisitos para chapas de aço utilizadas em vasos de pressão.

As normas de fabricação dos tubos contemplados são apresentados pela Tabela 8.

Tabela 8 - Normas contempladas pela norma de padronização ASTM A20/A20M. Extraído da norma ASTM A20/A20M

I. Scope*		Title of Specification	ASTM Designation ^A
1.1 This general requirements specification ² covers a group of common requirements that, unless otherwise specified in the applicable product specification, apply to rolled steel plates for pressure vessels covered by each of the following product specifications issued by ASTM:		Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, Manganese-Titanium for Glass or Diffused Metallic Coatings	A562/A562M
		Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, High Strength, for Moderate and Lower Temperature Service	A612/A612M
		Pressure Vessel Plates, Five Percent Nickel Alloy Steel, Specially Heat Treated	A645/A645M
		Pressure Vessel Plates, Carbon-Manganese, for Moderate and Lower Temperature Service	A662/A662M
		Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, Quenched and Tempered, for Welded Layered Pressure Vessels	A724/A724M
		Pressure Vessel Plates, Alloy Steel and High-Strength Low-Alloy Steel, Quenched and Tempered	A734/A734M
		Pressure Vessel Plates, Low-Carbon Manganese-Molybdenum-Columbium Alloy Steel, for Moderate and Lower Temperature Service	A735/A735M
		Pressure Vessel Plates, Low-Carbon Age-Hardening Nickel-Copper-Chromium-Molybdenum-Columbium Alloy Steel	A736/A736M
		Pressure Vessel Plates, High-Strength Low-Alloy Steel	A737/A737M
		Pressure Vessel Plates, Heat-Treated, Carbon-Manganese-Silicon Steel, for Moderate and Lower Temperature Service	A738/A738M
		Pressure Vessel Plates, Alloy Steel, Chromium-Molybdenum-Vanadium	A832/A832M
		Pressure Vessel Plates, Produced by the Thermo-Mechanical Control Process (TMCP)	A841/A841M
		Pressure Vessel Plates, 9 % Nickel Alloy, Produced by the Direct-Quenching Process	A844/A844M
		Pressure Vessel Plates, 9 % Nickel Alloy, Produced by the Direct-Quenching Process	A844/A844M
		Pressure Vessel Plates, 9 % Nickel Alloy, Produced by the Direct-Quenching Process	A844/A844M
		Pressure Vessel Plates, Alloy Steel, Chromium-Molybdenum-Tungsten	A1017/A1017M
		Pressure Vessel Plates, Alloy Steel, Higher Strength Chromium-Molybdenum-Tungsten	A1041/A1041M
		Pressure Vessel Plates, Alloy Steel, Nickel	A203/A203M
		Pressure Vessel Plates, Alloy Steel, Molybdenum	A204/A204M
		Pressure Vessel Plates, Alloy Steel, Manganese-Vanadium	A225/A225M
		Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, Low- and Intermediate-Tensile Strength	A285/A285M
		Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, Manganese-Silicon	A299/A299M
		Pressure Vessel Plates, Alloy Steel, Manganese-Molybdenum and Manganese-Molybdenum-Nickel	A302/A302M
		Pressure Vessel Plates, Alloy Steel, 9 Percent Nickel Double-Normalized and Tempered	A353/A353M
		Pressure Vessel Plates, Alloy Steel, Chromium-Molybdenum	A387/A387M
		Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, High Strength Manganese	A455/A455M
		Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, for Intermediate- and Higher-Temperature Service	A515/A515M
		Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, Moderate- and Lower-Temperature Service	A516/A516M
		Pressure Vessel Plates, Alloy Steel, High-Strength, Quenched and Tempered	A517/A517M
		Pressure Vessel Plates, Alloy Steel, Quenched and Tempered Manganese-Molybdenum and Manganese-Molybdenum-Nickel	A533/A533M
		Pressure Vessel Plates, Heat-Treated, Carbon-Manganese-Silicon Steel	A537/A537M
		Pressure Vessel Plates, Alloy Steel, Quenched and Tempered Chromium-Molybdenum	A542/A542M
		Pressure Vessel Plates, Alloy Steel, Quenched and Tempered Nickel-Chromium-Molybdenum	A543/A543M
		Pressure Vessel Plates, Alloy Steel, Quenched and Tempered 8 and 9 Percent Nickel	A553/A553M

^A These designations refer to the latest issue of the respective specification which appears in the *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 01.04.

A quantidade de alguns elementos de liga nas chapas de aço também é especificada, conforme apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 - Quantidade de alguns elementos de liga nas chapas de aço padronizadas pela norma ASTM A20/A20M. Extraído da norma ASTM A20/A20M

Copper, max % ^A	Heat analysis	0.40
	Product analysis	0.43
Nickel, max % ^A	Heat analysis	0.40
	Product analysis	0.43
Chromium, max % ^{A, B}	Heat analysis	0.30
	Product analysis	0.34
Molybdenum, max % ^{A, B}	Heat analysis	0.12
	Product analysis	0.13
Vanadium, max % ^C	Heat analysis	0.03
	Product analysis	0.04
Columbium, max % ^D	Heat analysis	0.02
	Product analysis	0.03
Titanium, max % ^E	Heat analysis	0.03
	Product analysis	0.04
Boron, max %	Heat analysis	0.0010
	Product analysis	0.0015

^A In addition for each heat, based upon the heat analysis, the sum of copper, nickel, chromium, and molybdenum shall not exceed 1.00 %, unless one or more of those elements are specified or restricted by the applicable product specification for the applicable grade, class, and type.

^B In addition for each heat, based upon the heat analysis, the sum of chromium and molybdenum shall not exceed 0.32 %, unless one or both of those elements are specified or restricted by the applicable product specification for the applicable grade, class, and type.

^C By agreement between the purchaser and the supplier, the heat analysis limit for vanadium is permitted to be increased to a value not higher than 0.10 %, and the product analysis limit for vanadium is permitted to be increased to a value not higher than 0.11 %.

^D By agreement between the purchaser and the supplier, the heat analysis limit for columbium is permitted to be increased to a value not higher than 0.05 %, and the product analysis limit for columbium is permitted to be increased to a value not higher than 0.06 %.

^E By agreement between the purchaser and the supplier, the heat analysis limit for titanium is permitted to be increased to a value not higher than 0.04 %, and the product analysis limit for titanium is permitted to be increased to a value not higher than 0.05 %.

Um total de vinte e oito requisitos adicionais das chapas, que podem ser solicitados pelo cliente, são padronizados. Dentre estes requisitos, há a menção do ensaio Charpy com entalhe em V normatizando a quantidade de amostras, orientação da amostra, dimensional, valor mínimo de energia absorvida, etc. A Tabela 10 apresenta os requisitos mínimos para o ensaio Charpy.

Tabela 10 – Valores mínimos de energia absorvida no ensaio Charpy para as chapas de aço padronizadas pela norma ASTM A20/A20M. Extraído trecho da tabela A1.15 da norma ASTM A20/A20M

NOTE 1—The minimum temperatures listed are for longitudinal tests. For transverse tests, the available minimum temperature may be somewhat higher.

Acceptance Criteria Charpy V-Notch			Test Temperature, °F for Plate Thicknesses (Unless Otherwise Agreed Upon)							
Class [#]	Energy Absorption		Specification and Grade ^A	1 in. and Under	Over 1 in. to 2 in., incl.	Over 2 in. to 3 in., incl.	Over 3 in. to 5 in., incl.			
	Minimum For 3 Specimens ^C	Minimum For 1 Specimen ^C								
I	10	7	A285 Grade A	+40	+60	...	...	
			A285 Grade B	+50	+70	...	...	
			A285 Grade C	+60	+80	...	...	
II	13	10	A455	+25	...	...	...
III	13	10	A203 Grade A	-90	-90	-75	...			
			A203 Grade D	-150	-150	-125	...			
			A442 Grade 55 (1½ in. max thickness)	...	-20	...	...	
			A442 Grade 60 (1½ in. max thickness)	...	-15	...	...	
			A516 Grade 55	-60	-60	-50	-50			
			A516 Grade 60	-60	-50	-50	-50			
			A516 Grade 65	-60	-50	-40	-25			
			A537 Class 1 (Over 2½ -4 in.)	...	...	-75	-50	
			A662 Grade A	-75	-75	...	...	
			A662 Grade B	-60	-60	...	...	
			IV	15	12	A203 Grade B	-90	-90	-75	...
						A203 Grade E	-150	-150	-125	...
						A203 Grade F (4 in. max)	-160	-160
						A299	+20	+30	+30	+40
						A516 Grade 70	-50	-40	-30	-20
A537 Class 1 (2½ in. max)	-80	-75				-75	...			
V	20	15	A537 Class 2 (Over 2½ -4 in.)	...	...	-75	-50	
			A662 Grade C	-50	-50	...	...	
			A203 Grade F	-160	-160	...	...	
			A537 Class 2 (2½ in. max)	-90	-90	-90	...			
			A612	-50	...	...	...
			A724 Grade A	-50	...	...	...
Lateral Expansion Mils. Minimum Each Specimen Transverse Test										
VI		15	A353	-320	-320	...	...	
			A553 Type I	-320	-320	...	...	
			A553 Type II	-275	-275	...	...	
			A645	-275	-275	...	...	
			A517 all (2½ in. max thickness)	^d	^d	...	...	
			A724 Grade B	-50	...	...	...

^A Testing temperature as specified in the purchase order, but no higher than 32°F.

[#] Class I is *Other Than Killed* with a specified minimum tensile strength of 65 ksi or lower.

Class II is *Other Than Killed* with a specified minimum tensile strength of over 65 ksi to 75 ksi.

Class III is *Killed* with a specified minimum tensile strength of 65 ksi or lower.

Class IV is *Killed* with a specified minimum tensile strength of over 65 ksi to 75 ksi.

Class V is *Killed* with a specified minimum tensile strength of over 75 ksi to but not including 95 ksi.

Class VI is *Killed* with a specified minimum tensile strength of 95 ksi or over.

^C Full size (10 by 10 mm) specimens.

2.4.6. Norma ASTM A333/A333M

A Norma ASTM A333/A333M - “Standard Specification for seamless and Welded Steel Pipe for Low-Temperature Service and Other Applications with Required Notch Toughness” especifica tubos já com teste de impacto para aplicações em baixa temperatura.

Os tubos podem ser feitos sem costura ou com costura sem adição de metal de enchimento na região soldada.

Há onze diferentes graus de tubos no escopo da norma. De acordo com o grau do tubo, temos uma diferente composição química listada na Tabela 11.

Tabela 11 - Composição química dos tubos ASTM A333/A333M de acordo com o grau selecionado. Extraído da norma ASTM A333/A333M

Element	Composition, %								
	Grade 1 ^A	Grade 3	Grade 4	Grade 6 ^A	Grade 7	Grade 8	Grade 9	Grade 10	Grade 11
Carbon, max	0.30	0.19	0.12	0.30	0.19	0.13	0.20	0.20	0.10
Manganese	0.40–1.06	0.31–0.64	0.50–1.05	0.29–1.06	0.90 max	0.90 max	0.40–1.06	1.15–1.50	0.60 max
Phosphorus, max	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.035	0.025
Sulfur, max	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.015	0.025
Silicon	... ^B	0.18–0.37	0.08–0.37	0.10 min	0.13–0.32	0.13–0.32	...	0.10–0.35	0.35 max
Nickel	...	3.18–3.82	0.47–0.98	0.40 max	2.03–2.57	8.40–9.60	1.60–2.24	0.25 max	35.0–37.0
Chromium	...	...	0.44–1.01	0.30 max	...	...	...	0.15 max	0.50 max
Copper	...	...	0.40–0.75	0.40 max	...	...	0.75–1.25	0.15 max	...
Aluminum	...	...	0.04–0.30	...	...	...	...	0.06 max	...
Vanadium, max	...	...	...	0.08	...	...	...	0.12	...
Columbium, max	...	...	...	0.02	...	...	...	0.05	...
Molybdenum, max	...	...	...	0.12	...	...	...	0.05	0.50 max
Cobalt	...	...	...	...	...	...	...	...	0.50 max

^A For each reduction of 0.01 % carbon below 0.30 %, an increase of 0.05 % manganese above 1.06 % would be permitted to a maximum of 1.35 % manganese.

^B Where an ellipsis (...) appears in this table, there are no reporting requirements for those elements.

A norma contempla o teste de impacto Charpy com entalhe em V. O procedimento padronizado é descrito brevemente na norma, e os valores mínimos de energia absorvida média dos corpos de prova e de um único corpo de prova são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Valores mínimos de energia absorvida no ensaio Charpy dos tubos ASTM A333/A333M. Extraído da norma ASTM A333/A333M

Size of Specimen, mm	Minimum Average Notched Bar Impact Value of Each Set of Three Specimens ^A		Minimum Notched Bar Impact Value of One Specimen Only of a Set ^A	
	ft·lbf	J	ft·lbf	J
10 by 10	13	18	10	14
10 by 7.5	10	14	8	11
10 by 6.67	9	12	7	9
10 by 5	7	9	5	7
10 by 3.33	5	7	3	4
10 by 2.5	4	5	3	4

^A Straight line interpolation for intermediate values is permitted.

TABLE 4 Impact Temperature

Grade	Minimum Impact Test Temperature	
	°F	°C
1	–50	–45
3	–150	–100
4	–150	–100
6	–50	–45
7	–100	–75
8	–320	–195
9	–100	–75
10	–75	–60
11	–320	–195

As propriedades mecânicas estão descritas na Tabela 13.

Tabela 13 – Propriedades mecânicas mínimas requeridas dos tubos ASTM A333/A333M de acordo com o grau selecionado. Extraído da norma ASTM A333/A333M

	Grade 1		Grade 3		Grade 4		Grade 6		Grade 7		Grade 8		Grade 9		Grade 10		Grade 11		
	psi	MPa	psi	MPa	psi	MPa	psi	MPa	psi	MPa	psi	MPa	psi	MPa	psi	MPa	psi	MPa	
Tensile strength, min	55 000	380	65 000	450	60 000	415	60 000	415	65 000	450	100 000	690	63 000	435	80 000	550	65 000	450	
Yield strength, min	30 000	205	35 000	240	35 000	240	35 000	240	35 000	240	75 000	515	46 000	315	65 000	450	35 000	240	
	Longi- tudinal	Trans- verse	Longi- tudinal	Trans- verse	Longi- tudinal	Trans- verse	Longi- tudinal	Trans- verse	Longi- tudinal	Trans- verse	Longi- tudinal	Trans- verse	Longi- tudinal	Trans- verse	Longi- tudinal	Trans- verse	Longi- tudinal	Trans- verse	
Elongation in 2 in. or 50 mm, (or 4D), min, %: Basic minimum elongation for walls $\frac{3}{16}$ in. [8 mm] and over in thickness, strip tests, and for all small sizes tested in full section When standard round 2-in. or 50-mm gage length or proportionally smaller size test specimen with the gage length equal to 4D (4 times the diameter) is used For strip tests, a deduction for each $\frac{1}{32}$ in. [0.8 mm] decrease in wall thickness below $\frac{3}{16}$ in. [8 mm] from the basic minimum elongation of the following percentage	35	25	30	20	30	16.5	30	16.5	30	22	22	...	28	...	22	...	18 ^A	...	
	28	20	22	14	22	12	22	12	22	14	16	16
	1.75 ^B	1.25 ^B	1.50 ^B	1.00 ^B	1.25 ^B	...	1.50 ^B	...	1.25 ^B						
Wall Thickness	Elongation in 2 in. or 50 mm, min, % ^C																		
	Grade 1		Grade 3		Grade 4		Grade 6		Grade 7		Grade 8		Grade 9		Grade 10				
	in.	mm	Longi- tudinal	Trans- verse	Longi- tudinal	Trans- verse	Longi- tudinal	Trans- verse	Longi- tudinal	Trans- verse	Longi- tudinal	Trans- verse	Longi- tudinal	Trans- verse	Longi- tudinal	Trans- verse	Longi- tudinal	Trans- verse	
$\frac{3}{16}$ (0.312)	8	35	25	30	20	30	16	30	16	30	22	22	...	28	...	22	...	...
$\frac{1}{4}$ (0.250)	6.4	32	23	27	18	27	15	27	15	27	20	20	...	25	...	20	...	...
$\frac{5}{32}$ (0.219)	5.6	30	...	26	...	26	...	26	...	26	...	18	...	24	...	18	...	...
$\frac{3}{16}$ (0.188)	4.8	28	...	24	...	24	...	24	...	24	...	17	...	22	...	17	...	...
$\frac{9}{32}$ (0.156)	4	26	...	22	...	22	...	22	...	22	...	16	...	20	...	16	...	...
$\frac{1}{8}$ (0.125)	3.2	25	...	21	...	21	...	21	...	21	...	15	...	19	...	15	...	...
$\frac{7}{32}$ (0.094)	2.4	23	...	20	...	20	...	20	...	20	...	13	...	18	...	13	...	...
$\frac{1}{16}$ (0.062)	1.6	21	...	18	...	18	...	18	...	18	...	12	...	16	...	12	...	...

^A Elongation of Grade 11 is for all walls and small sizes tested in full section.

^B The following table gives the calculated minimum values.

^C Calculated elongation requirements shall be rounded to the nearest whole number.

Note—The preceding table gives the computed minimum elongation values for each $\frac{1}{32}$ -in. [0.80-mm] decrease in wall thickness. Where the wall thickness lies between two values shown above, the minimum elongation value is determined by the following equation:

Grade	Direction of Test	Equation
1	Longitudinal	$E = 56 t + 17.50$ [$E = 2.19t + 17.50$]
	Transverse	$E = 40 t + 12.50$ [$E = 1.56t + 12.50$]
3	Longitudinal	$E = 48 t + 15.00$ [$E = 1.87t + 15.00$]
	Transverse	$E = 32 t + 10.00$ [$E = 1.25t + 10.00$]
4	Longitudinal	$E = 48 t + 15.00$ [$E = 1.87t + 15.00$]
	Transverse	$E = 32 t + 6.50$ [$E = 1.25t + 6.50$]
6	Longitudinal	$E = 48 t + 15.00$ [$E = 1.87t + 15.00$]
	Transverse	$E = 32 t + 6.50$ [$E = 1.25t + 6.50$]
7	Longitudinal	$E = 48 t + 15.00$ [$E = 1.87t + 15.00$]
	Transverse	$E = 32 t + 11.00$ [$E = 1.25t + 11.00$]
8 and 10	Longitudinal	$E = 40 t + 9.50$ [$E = 1.56t + 9.50$]
	Longitudinal	$E = 48 t + 13.00$ [$E = 1.87t + 13.00$]

where:

E = elongation in 2 in. or 50 mm, in %, and

t = actual thickness of specimen, in. [mm].

2.4.7. Norma ASME B36.10M

A Norma ASME B36.10M “Welded and Seamless Wrought Steel Pipe” apenas especifica o dimensional da seção circular de tubos (Tabela 14).

Tabela 14 – Valores padronizados de espessura de parede para tubos. Extraído da norma ASME B36.10M

NPS [Note (1)]	Customary Units			Identification [Standard (STD), Extra-Strong (XS), or Double Extra Strong (XXS)]	Schedule No.	DN [Note (2)]	SI Units		
	Outside Diameter, in.	Wall Thickness, in.	Plain End Weight, lb/ft				Outside Diameter, mm	Wall Thickness, mm	Plain End Mass, kg/m
16	16.000	1.062	169.59	...	...	400	406.4	26.97	252.37
16	16.000	1.125	178.89	...	...	400	406.4	28.58	266.30
16	16.000	1.188	188.11	...	...	400	406.4	30.18	280.01
16	16.000	1.219	192.61	...	120	400	406.4	30.96	286.66
16	16.000	1.250	197.10	...	...	400	406.4	31.75	293.35
16	16.000	1.438	223.85	...	140	400	406.4	36.53	333.21
16	16.000	1.594	245.48	...	160	400	406.4	40.49	365.38
18	18.000	0.165	31.46	...	5	450	457	4.19	46.79
18	18.000	0.188	35.80	...	...	450	457	4.78	53.31
18	18.000	0.219	41.63	...	...	450	457	5.56	61.90
18	18.000	0.250	47.44	...	10	450	457	6.35	70.57
18	18.000	0.281	53.23	...	...	450	457	7.14	79.21
18	18.000	0.312	58.99	...	20	450	457	7.92	87.71
18	18.000	0.344	64.93	...	...	450	457	8.74	96.62
18	18.000	0.375	70.65	STD	...	450	457	9.53	105.17
18	18.000	0.406	76.36	...	...	450	457	10.31	113.58
18	18.000	0.438	82.23	...	30	450	457	11.13	122.38
18	18.000	0.469	87.89	...	...	450	457	11.91	130.73
18	18.000	0.500	93.54	XS	...	450	457	12.70	139.16
18	18.000	0.562	104.76	...	40	450	457	14.27	155.81
18	18.000	0.625	116.09	...	...	450	457	15.88	172.75
18	18.000	0.688	127.32	...	...	450	457	17.48	189.47
18	18.000	0.750	138.30	...	60	450	457	19.05	205.75
18	18.000	0.812	149.20	...	...	450	457	20.62	221.91
18	18.000	0.875	160.18	...	...	450	457	22.23	238.35
18	18.000	0.938	171.08	...	80	450	457	23.83	254.57
18	18.000	1.000	181.73	...	...	450	457	25.40	270.36
18	18.000	1.062	192.29	...	...	450	457	26.97	286.02
18	18.000	1.125	202.94	...	...	450	457	28.58	301.96
18	18.000	1.156	208.15	...	100	450	457	29.36	309.64
18	18.000	1.188	213.51	...	...	450	457	30.18	317.68
18	18.000	1.250	223.82	...	...	450	457	31.75	332.97
18	18.000	1.375	244.37	...	120	450	457	34.93	363.58
18	18.000	1.562	274.48	...	140	450	457	39.67	408.28
18	18.000	1.781	308.79	...	160	450	457	45.24	459.39
20	20.000	0.188	39.82	...	5	500	508	4.78	59.32
20	20.000	0.219	46.31	...	...	500	508	5.56	68.89
20	20.000	0.250	52.78	...	10	500	508	6.35	78.56
20	20.000	0.281	59.23	...	...	500	508	7.14	88.19
20	20.000	0.312	65.66	...	...	500	508	7.92	97.68
20	20.000	0.344	72.28	...	...	500	508	8.74	107.61
20	20.000	0.375	78.67	STD	20	500	508	9.53	117.15
20	20.000	0.406	85.04	...	...	500	508	10.31	126.54
20	20.000	0.438	91.59	...	...	500	508	11.13	136.38
20	20.000	0.469	97.92	...	...	500	508	11.91	145.71
20	20.000	0.500	104.23	XS	30	500	508	12.70	155.13
20	20.000	0.562	116.78	...	...	500	508	14.27	173.75

A nomenclatura *Schedule*, ou série, é obtida através da seguinte expressão (SILVA TELLES, 2001, p 14):

$$\text{Série} = \frac{1000 \cdot P}{S}$$

Onde:

P = pressão interna de trabalho em psig

S = tensão admissível do material em psi.

2.5. Especificação do tubo ASTM A333 Gr. 6 SC

Este tubo é especificado na norma ASTM A333/A333M - “*Standard Specification for seamless and Welded Steel Pipe for Low-Temperature Service and Other Applications with Required Notch Toughness*”.

Estudou-se um tubo sem costura obtido por extrusão de Grau 6 da norma com composição química definida conforma especificação apresentada na Tabela 15.

Tabela 15 - Composição química do tubo ASTM A333/A333M Gr.6. Extraído da norma ASTM A333/A333M

Element	Grade 6 ^A
Carbon, max	0.30
Manganese	0.29–1.06
Phosphorus, max	0.025
Sulfur, max	0.025
Silicon	0.10 min
Nickel	0.40 max
Chromium	0.30 max
Copper	0.40 max
Aluminum	...
Vanadium, ma	0.08
Columbium, max	0.02
Molybdenum, max	0.12
Cobalt	...

^A For each reduction of 0.01 % carbon below 0.30 %, an increase of 0.05 % manganese above 1.06 % would be permitted to a maximum of 1.35 % manganese.

Apenas é permitido adicionar elementos de desoxidação do aço caso requerido pelo consumidor.

As propriedades mecânicas mínimas requeridas também são tabeladas, de acordo com o trecho reproduzido pela Tabela 16.

Tabela 16 - Propriedades mecânicas requeridas para o tubo ASTM A333/A333M

	Grade 1		Grade 3		Grade 4		Grade 6	
	psi	MPa	psi	MPa	psi	MPa	psi	MPa
Tensile strength, min	55 000	380	65 000	450	60 000	415	60 000	415
Yield strength, min	30 000	205	35 000	240	35 000	240	35 000	240
	Longi- tudinal	Trans- verse	Longi- tudinal	Trans- verse	Longi- tudinal	Trans- verse	Longi- tudinal	Trans- verse
Elongation in 2 in. or 50 mm, (or 4D), min, %: Basic minimum elongation for walls $\frac{3}{16}$ in. [8 mm] and over in thickness, strip tests, and for all small sizes tested in full section When standard round 2-in. or 50-mm gage length or proportionally smaller size test specimen with the gage length equal to 4D (4 times the diameter) is used	35	25	30	20	30	16.5	30	16.5
For strip tests, a deduction for each $\frac{1}{32}$ in. [0.8 mm] decrease in wall thickness below $\frac{3}{16}$ in. [8 mm] from the basic minimum elongation of the following percentage	1.75 [#]	1.25 [#]	1.50 [#]	1.00 [#]	1.50 [#]	1.00 [#]	1.50 [#]	1.00 [#]

Nesta norma já está incorporado o teste de impacto Charpy com entalhe em V.

O procedimento é descrito brevemente na norma, e os valores mínimos de energia absorvida média dos corpos de prova e de um único corpo de prova são, respectivamente 18J e 14J conforme a Tabela 12.

Os cinco tratamentos térmicos possíveis para um tubo grau 6 sem costura são:

- Normalizar por aquecimento a uma temperatura uniforme não inferior a 815 ° C e resfriado ao ar ou na câmara de um forno com atmosfera controlada.
- Normalizar como no item anterior e, a critério do fabricante, aquecer novamente até uma temperatura de revenimento adequada.
- Reaquecer e controlar o trabalho a quente e a temperatura da operação a quente de acabamento para uma faixa de temperatura de 845-945° C.

Resfriar ao ar ou em forno com atmosfera controlada com uma temperatura inicial de pelo menos 845 °C.

- Tratar termicamente como o item anterior e, a critério do fabricante, aquecer novamente até uma temperatura de revenimento adequada.
- Pode ser aquecido uniformemente acima de 815°C, seguido de um resfriamento brusco em meio líquido e reaquecido até uma temperatura de revenimento adequada.

Pode-se realizar qualquer um destes tratamentos térmicos, desde que as propriedades mecânicas mínimas exigidas sejam atingidas.

2.6. Especificação do tubo ASTM A671 CC60 cI32 CC

Este tubo segue a Norma ASTM A671/671M *“Standard Specification for Electric-Fusion-Welded Steel Pipe for Atmospheric and Lower Temperatures”*.

O grau é definido pelo material da chapa usado para a fabricação do tubo, e no caso deste estudo é utilizado o grau CC60.

Como podemos ver na Tabela 4, a chapa de aço carbono usado neste caso segue a especificação ASTM A516/A516M Grau 60. É um aço do tipo acalmado com grãos refinados.

Esta norma ASTM A516/516M - *“Standard Specification for Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, for Moderate- and Lower-Temperature Service”* de fabricação de chapas de aço carbono especifica detalhadamente as variáveis de processo.

A composição da liga para o grau 60, que é do nosso interesse, está na Tabela 17. A chapa leva este número de grau por ter que apresentar resistência a tração maior ou igual a 60ksi (415MPa), para ser mais exato a norma especifica limite de 60ksi à 80ksi (415MPa a 550MPa) segundo a Tabela 7.

Tabela 17 - Especificação da composição química da chapa ASTM A516/A516M Gr. 60. Extraído da norma ASTM A516/A516M

Elements	Composition, %			
	Grade 55 [Grade 380]	Grade 60 [Grade 415]	Grade 65 [Grade 450]	Grade 70 [Grade 485]
Carbon, max ^{A,B} :				
½ in. [12.5 mm] and under	0.18	0.21	0.24	0.27
Over ½ in. to 2 in. [12.5 to 50 mm], incl	0.20	0.23	0.26	0.28
Over 2 in. to 4 in. [50 to 100 mm], incl	0.22	0.25	0.28	0.30
Over 4 to 8 in. [100 to 200 mm], incl	0.24	0.27	0.29	0.31
Over 8 in. [200 mm]	0.26	0.27	0.29	0.31
Manganese ^B :				
½ in. [12.5 mm] and under:				
Heat analysis	0.60–0.90	0.60–0.90 ^C	0.85–1.20	0.85–1.20
Product analysis	0.55–0.98	0.55–0.98 ^C	0.79–1.30	0.79–1.30
Over ½ in. [12.5 mm]:				
Heat analysis	0.60–1.20	0.85–1.20	0.85–1.20	0.85–1.20
Product analysis	0.55–1.30	0.79–1.30	0.79–1.30	0.79–1.30
Phosphorus, max ^A	0.025	0.025	0.025	0.025
Sulfur, max ^A	0.025	0.025	0.025	0.025
Silicon:				
Heat analysis	0.15–0.40	0.15–0.40	0.15–0.40	0.15–0.40
Product analysis	0.13–0.45	0.13–0.45	0.13–0.45	0.13–0.45

^A Applies to both heat and product analyses.

^B For each reduction of 0.01 percentage point below the specified maximum for carbon, an increase of 0.06 percentage point above the specified maximum for manganese is permitted, up to a maximum of 1.50 % by heat analysis and 1.60 % by product analysis.

^C Grade 60 plates ½ in. [12.5 mm] and under in thickness may have 0.85–1.20 % manganese on heat analysis, and 0.79–1.30 % manganese on product analysis.

Depois de conformada, a chapa agora em formato tubular foi soldada para manter-se em seu formato final.

A classe do tubo determina o tratamento térmico a ser realizado durante a manufatura do tubo (após a soldagem para a união das extremidades da chapa), se é feito exame de radiografia na solda e se há teste de pressão neste tubo.

Segundo a Tabela 5 este tubo é submetido a um tratamento normalização e para aprovação necessita ser radiografado e realizado teste de pressão.

A classe 32, de interesse, segue o seguinte tratamento térmico segundo a norma:

- Durante o tratamento o forno deve ter temperatura controlada ($\pm 15^{\circ}\text{C}$) e deve ser equipado com um pirômetro de gravação para que os registros estejam disponíveis.
- O tubo deve ser aquecido uniformemente até a faixa de austenitização e não exceder a temperatura de normalização indicada na Tabela 18 e subsequente a isto, resfriado ao ar a temperatura ambiente.

**Tabela 18 - Temperatura de tratamento térmico do tubo ASTM A671/A671M
CC60. Extraído da norma ASTM A671/A671M**

Pipe Grade ^a	ASTM Specification and Grade / Class / Type	Post-Weld Heat-Treatment Temperature Range °F [°C]	Normalizing Temperature, max, unless otherwise noted °F [°C]	Quenching Temperature, max, unless otherwise noted °F [°C]	Tempering Temperature, min, °F [°C]	Precipitation Heat Treatment Temperature Range °F [°C]
CA 55	A285/A285M (C)	1100–1250 [590–680]	1700 [925]	...	...	...
CB 60	A515/A515M (60)	1100–1250 [590–680]	1750 [950]	...	...	...
CB 65	A515/A515M (65)	1100–1250 [590–680]	1750 [950]	...	...	...
CB 70	A515/A515M (70)	1100–1250 [590–680]	1750 [950]	...	...	...
CC 60	A516/A516M (60)	1100–1200 [590–650] ^c	1700 [925]	1700 [925]	1100 [590] ^d	...
CC 65	A516/A516M (65)	1100–1200 [590–650] ^c	1700 [925]	1700 [920]	1100 [590] ^d	...
CC 70	A516/A516M (70)	1100–1200 [590–650] ^c	1700 [925]	1700 [925]	1100 [590] ^d	...
CD 70	A537/A537M (Cl 1)	1100–1250 [590–680]	1700 [925]	...	...	...
CD 80	A537/A537M (Cl 2)	1100–1250 [590–680] ^c	...	1650 [900]	1100 [590]	...
CF 65	A203/A203M (A)	1100–1175 [590–635]	1750 [950]	...	...	...
CF 70	A203/A203M (B)	1100–1175 [590–635]	1750 [950]	...	...	...
CF 65	A203/A203M (D)	1100–1175 [590–635]	1750 [950]	...	...	...
CF 70	A203/A203M (E)	1100–1175 [590–635]	1750 [950]	...	...	...
CG 100	A353/A353M	1025–1065 [550–580]	1650 ± 25 [900 ± 15] plus ^e 1450 ± 25 [790 ± 15]	...	1050–1125 [560–605]	...
CH 100	A553/A553M (Type 1)	1025–1065 [550–580]	...	1475–1700 [800–925]	1050–1175 [560–635] ^f	...
CJ 115	A517/A517M (A)	1000–1100 [540–590]	...	1650–1725 [900–940]	1150 [620]	...
CJ 115	A517/A517M (B)	1000–1100 [540–590]	...	1650–1725 [900–940]	1150 [620]	...
CJ 115	A517/A517M (E)	1000–1100 [540–590]	...	1650–1725 [900–940]	1150 [620]	...
CJ 115	A517/A517M (F)	1000–1100 [540–590]	...	1650–1725 [900–940]	1150 [620]	...
CJ 115	A517/A517M (H)	1000–1100 [540–590]	...	1650–1725 [900–940]	1150 [620]	...
CJ 115	A517/A517M (P)	1000–1100 [540–590]	...	1650–1725 [900–940]	1150 [620]	...
CK 75	A299/A299M	1100–1250 [590–680]	1700 [925]	...	...	...
CP85	A736/A736M (A, Class 3)	1000–1175 [540–635]	...	1725 [940]	...	1000–1225 [540–665]

^aWhere ellipses (.) appear in this table, there is no requirement.

^bNumbers indicate minimum tensile strength in ksi.

^cIn no case shall the post-weld heat-treatment temperature exceed the mill tempering temperature.

^dTempering range 1100 to 1300 [590 to 705], if accelerated cooling utilized per Specification A516/A516M.

^eIf hot forming is performed after heating to a temperature in the range from 1650 to 1750°F [900 to 955°C], the first normalize may be omitted.

^fPrior to the tempering treatment, the plates may be subjected to an intermediate heat treatment consisting of heating to a temperature in the range from 1165 to 1290°F [630 to 700°C] and either air-cooled or water quenched. See Specification A553/A553M for hold times and cooling instructions.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A execução do trabalho baseou-se nas seguintes etapas:

- 1) Identificação das necessidades impostas pelo processo de acordo com o produto a ser transportado e definições impostas pelo cliente para projeto.
- 2) Especificação do tubo segundo o projeto com base na norma ASME B31.3.
- 3) Identificação das propriedades e características técnicas dos tubos ASTM A333 Gr.6 SC e ASTM A671 CC60 cl32 CC com base nas normas.
- 4) Análise de caso para substituição dos tubos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Necessidades impostas pelo processo e cliente

As necessidades impostas pelo processo observadas foram as seguintes:
Especificar os materiais de tubulação capazes de transportar Gases Liquefeitos Petróleo (LGN) com 100 Kg/cm² de pressão interna submetida à faixa de temperatura de -45°C a 300°C sendo exigido material base aço carbono e corrosão admissível de 1,6mm.

4.2. Elaboração da especificação de tubos para linhas de gases liquefeitos de petróleo

De acordo com a pressão e temperatura de trabalho do processo (100 Kg/cm², -45 ~ 300°C) os tubos indicados são os ASTM A333 Gr.6 SC para diâmetros até 14 pol e tubo ASTM A671 CC60 cl32 CC a partir de 16 pol (Figura 6).

		NORMA BÁSICA ASME B31.3	CLASSE 300 FR	MATERIAL DO TUBO Aço Carbono	ESPECIFICAÇÃO
TEMP. MÁXIMA: 300°C TEMP. MÍNIMA: -45°C					
SERVIÇOS: Gases liquefeitos de petróleo refrigerados.					CORROSÃO ADM 1,6 mm
MAT.	DIÂMETRO		CLASSE OU ESP	EXTR.	DESCRIÇÃO
	DE	ATÉ			
TUBOS	½"	1½"	SCH 160	PL	AC ASTM A333 Gr 6, SC, ASME B36.10.
	2"	10"	SCH 40	PC	Idem
	12"	14"	0.375"	PC	Idem
	16"	20"	Calcular	PC	AC ASTM A671 Gr CC60 CL32, CC, c/ requisito suplementar S2, ASME B36.10.
	24"	-	Calcular	PC	Idem

Figura 6 – Especificação de tubos proposta

Tendo em vista que o processo de fabricação de tubos com costura e sem costura se diferem na matéria prima ser chapa ou tarugo, isto sugere que os tubos sem costura apresentam uma tendência de maior facilidade de fabricação quando

em maiores diâmetros, por esta razão o tubo ASTM A671 CC60 Cl32 CC é mais indicado para grandes diâmetros.

4.2.1. Cálculo da espessura

Conforme o estudo presente ser a substituição do tubo ASTM A671CC60 Cl32 CC pelo tubo ASTM A333 Gr.6 SC os resultados de cálculo de espessura foram realizados para os diâmetros a partir de 16 pol onde o tubo ASTM A333 Gr.6 SC não é o recomendado.

As condições de projeto utilizadas foram:

P = Pressão de projeto: 1422 psi (100 kg/cm²)

Temperatura de projeto da linha: 102°C

E = Eficiência de junta: 1,00

W = Fator de redução de resistência de solda: 1,00

Fator Y: 0,4

Corrosão admissível: 0,07 polegadas (1,6mm)

S_h = Tensão admissível do tubo: 19999,44 psi (1406,1 kg/cm²) para o tubo A333

19406,33 psi (1364,4 kg/cm²) para o tubo A671

Para a definição dos cálculos de espessura seguiu-se os seguintes passos:

1º Passo: Verificado se $\frac{P}{S.E} > 0,385$

$$\frac{1208,98}{119406,47 \cdot 1} = 0,062298, \text{ portanto } \frac{P}{S.E} < 0,385$$

Assim utilizamos a Eq. 1.

2º Passo: Calculada a espessura mínima de projeto conforme a Eq. 1 abaixo:

$$t_m = \frac{P \cdot D}{2 \cdot (S_h \cdot E \cdot W + P \cdot Y)} + c$$

Os resultados obtidos de espessura mínima de projeto estão apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 - Resultados da Eq. 1 para o caso proposto

Diâmetro nominal	16"		18"		20"		24"	
Material do tubo	A333	A671	A333	A671	A333	A671	A333	A671
Espessura mínima de projeto (mm)	15,65	16,07	17,41	17,88	19,16	19,69	22,68	23,30

Observou-se nos resultados um aumento em 2,6% na espessura mínima de projeto para o tubo A671 devido à diferença da tensão admissível dos dois materiais.

3º Passo: Conforme a norma ASME B36.10M para a determinação do *Schedule* dos tubos segundo os parâmetros de espessura mínima calculados, chegou-se aos possíveis *Schedules* para os tubos (Tabela 20).

Tabela 20 - Valores de espessura da parede para tubos de diâmetros 16", 18", 20" e 24" para os Schedule 60 e 80 segundo a norma ASME B36.10M

Diâmetro	Schedule	Espessura (mm)
16"	60	16,66
	80	21,44
18"	60	19,05
	80	23,83
20"	60	20,62
	80	26,19
24"	60	24,61
	80	30,96

4º Passo: Calculada espessura mínima que o tubo poderá ser fornecido considerando a variação da tolerância de fabricação de cada um dos tubos.

Espessura mínima do tubo = Espessura do tubo – Tolerância de fabricação (Tabela 21).

Tabela 21- Valores mínimos de espessura da parede para tubos de diâmetros 16", 18", 20" e 24" para os Schedule 60 e 80 que podem ser fornecidos segundo considerando-se a tolerância de fabricação de cada tubo.

Diâmetro	Schedule	A333 Gr.6 SC		A671 CC60 cl32	
		Tolerância ² (mm)	Espessura mínima do tubo (mm)	Tolerância ¹ (mm)	Espessura mínima do tubo (mm)
16"	60	2,08	14,58	0,25	16,41
	80	2,68	18,76	0,25	21,19
18"	60	2,38	16,67	0,25	18,8
	80	2,98	20,85	0,25	23,58
20"	60	2,58	18,04	0,25	20,37
	80	3,27	22,92	0,25	25,94
24"	60	3,08	21,53	0,25	24,36
	80	3,87	27,09	0,25	30,71

¹0,25mm segundo o Parágrafo 11.2.4 da norma ASTM A671/A671A

²12,5%segundo o Parágrafo 18.1 da norma ASTM A530

Estes valores devem ser comparados com os valores obtidos para a espessura mínima de projeto (Tabela 19).

5º Passo: A comparação dos valores obtidos para a espessura mínima de projeto (Tabela 19) e dos valores da espessura mínima do tubo para cada *Schedule* é apresentada na Tabela 22, utilizando a seguinte condição:

$$\text{Espessura mínima do tubo} \geq \text{espessura mínima de projeto}$$

Tabela 22 – Seleção preliminar do Schedule para cada caso analisado considerando-se a tolerância da norma de cada tubo

Diâmetro nominal	16"		18"		20"		24"	
Material do tubo	A333	A671	A333	A671	A333	A671	A333	A671
Espessura mínima de projeto(mm)	15,65	16,07	17,41	17,88	19,16	19,69	22,68	23,30
Espessura mínima para o Schedule 60 (mm)	14,58	16,41	16,67	18,8	18,04	20,37	21,53	24,36
Espessura mínima para o Schedule 80 (mm)	18,76	21,19	20,85	23,58	22,92	25,94	27,09	30,71
Schedule escolhido	80	60	80	60	80	60	80	60

Observa-se na tabela acima que, a princípio, o *Schedule* adequado para o tubo ASTM A333 Gr.6 SC é o *Schedule* 80 e para o tubo ASTM A671 CC60 cl32 CC é o *Schedule* 60 em todos os diâmetros, indicando um possível impedimento na substituição do tubo.

6º Passo: Realizando análise técnica mais profunda notou-se que os outros componentes de tubulação, como curvas e niples, apresentavam tolerância de fabricação de 12,5 % em suas normas de fabricação.

Como a espessura destes componentes é determinada pelo tubo, poderiam ocorrer problemas. Desta forma, mesmo não contido na norma do tubo, utiliza-se a tolerância de fabricação de igual a 12,5 % por questões de segurança no desenvolvimento do projeto.

A Tabela 23 apresenta os valores da espessura para o tubo ASTM A671 CC60 cl32 com tolerância de fabricação de 12,5 % e o *Schedule* adequado.

Tabela 23 - Seleção do Schedule para cada caso analisado considerando-se a tolerância de 12,5% para os dois tubos

Diâmetro nominal	16"		18"		20"		24"	
Material do tubo	A333	A671	A333	A671	A333	A671	A333	A671
Espessura mínima (mm)	15,65	16,07	17,41	17,88	19,16	19,69	22,68	23,30
Schedule 60 (mm)	14,58	14,58	16,67	16,67	18,04	18,04	21,53	21,53
Schedule 80 (mm)	18,76	18,76	20,85	20,85	22,92	22,92	27,09	27,09
Schedule escolhido	80	80	80	80	80	80	60	80

Conforme apresentado na Tabela 23 o *Schedule* adequado para cada material é o mesmo. Portanto indica não haver neste caso impedimento de substituição, pois o *Schedule* 80 foi especificado para todos os tubos em todos os diâmetros.

4.2.2. Requisito adicional para serviço em baixa temperatura

Os requisitos adicionais podem ser solicitados conforme norma de projeto (ASME B31.3), como é caso do teste de impacto.

No caso do tubo ASTM A333/A333M não é necessário nenhum requisito adicional, entretanto para o tubo ASTM A671/A671M a temperatura mínima de utilização dada na norma ASME B31.3 é designada pela letra C, entretanto na nota 3 da Figura 5 é apresentado uma ressalva para o tubo A671, caso este seja normalizado, o tubo obedecerá a curva D. Com os dados da Tabela 24 foi consultada a Figura 5, onde estão sinalizados na Figura 7.

Tabela 24 - Valores de espessura nominal dos tubos selecionados na seção 4.2.1

Diâmetro	Schedule	Espessura nominal (mm)
16"	80	21,44
18"	80	23,83
20"	80	26,19
24"	80	30,96

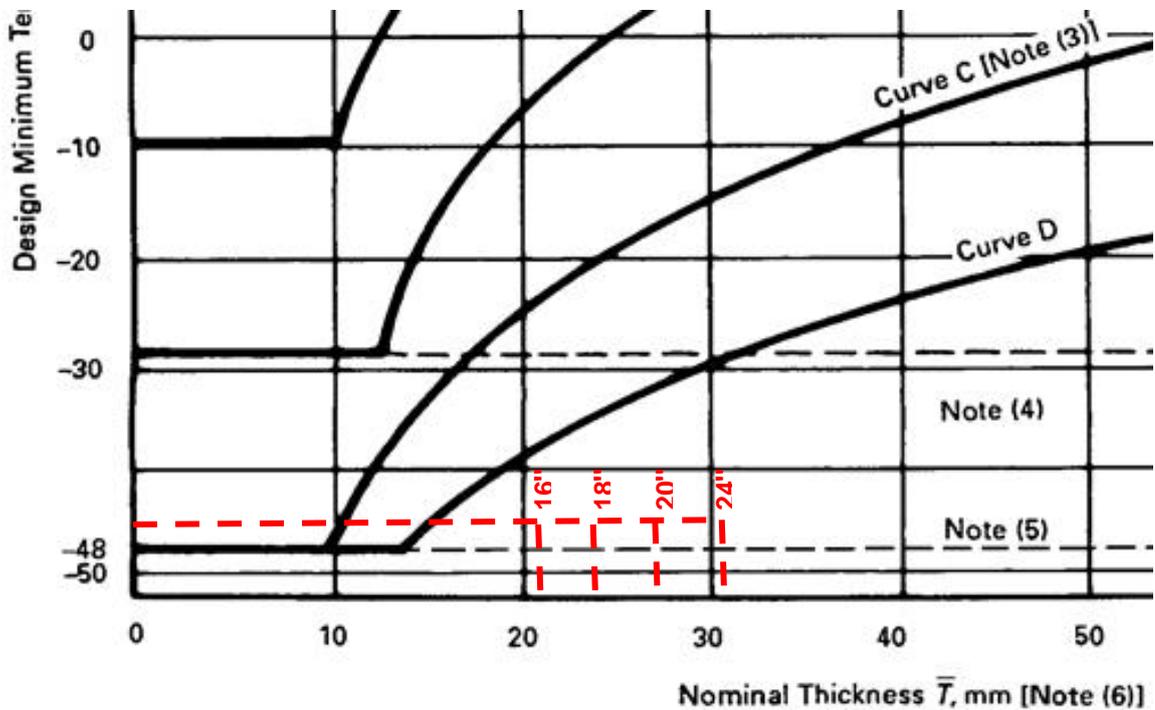


Figura 7 - Avaliação da necessidade do ensaio Charpy

Na Figura 7 observamos que a temperatura mínima para a utilização deste tubo obedece à curva D, portanto necessitará um requisito adicional de teste de impacto conforme a norma ASTM A20/A20M – “Standard Specification for General Requirements for Steel Plates for Pressure Vessels” e os valores mínimos de energia absorvida durante o ensaio Charpy com entalhe em V estão na Tabela 10 e enfatizado a seguir na Tabela 25.

Tabela 25 - Trecho de interesse da Tabela 10

Acceptance Criteria Charpy V-Notch			Specification and Grade ⁴	Test Temperature, °F for Plate Thicknesses (Unless Otherwise Agreed Upon)			
Class [#]	Energy Absorption			1 in. and Under	Over 1 in. to 2 in., incl.	Over 2 in. to 3 in., incl.	Over 3 in. to 5 in., incl.
	Minimum For 3 Specimens ^c ft-lbf	Average Minimum For 1 Specimen ^c ft-lbf					
I	10	7	A285 Grade A	+40	+60	...	...
			A285 Grade B	+50	+70	...	...
			A285 Grade C	+60	+80	...	...
II	13	10	A455	+25	...	...	...
III	13	10	A203 Grade A	-90	-90	-75	...
			A203 Grade D	-150	-150	-125	...
			A442 Grade 55 (1½ in. max thickness)	...	-20	...	...
			A442 Grade 60 (1½ in. max thickness)	...	-15	...	...
			A516 Grade 55	-60	-60	-50	-50
			A516 Grade 60	-60	-50	-50	-50

4.3. Comparativo dos tubos

O comparativo técnico foi composto de uma análise baseando-se em normas internacionais para a elaboração de projetos e as normas dos tubos ASTM A671 CC60 cI32 CC e ASTM A333 Gr.6 SC.

Para melhor visualização a comparação dos dois tubos é apresentada na Tabela 26. Os valores foram retirados das respectivas normas dos tubos.

Tabela 26- Comparativo entre os tubos ASTM A671 CC60 cI32 CC e ASTM A333 Gr.6 SC

		ASTM A333 Gr. 6 SC	ASTM A671 CC60 CC
Composição química	C (%)	0,30 máx.	0,23
	Mn (%)	0,50 - 1,05	0,79 - 1,03
	P (%)	0,025 máx.	0,025 máx.
	S (%)	0,025 máx.	0,025 máx.
	Si (%)	0,10 mín.	0,13 - 0,45
	Ni (%)	0,40 máx.	0,43 máx. ¹
	Cr (%)	0,30 máx.	0,34 máx. ¹
	Cu (%)	0,40 máx.	0,43 máx. ¹
	V (%)	0,08 máx.	0,04 máx. ¹
	Nb (%)	0,02 máx.	0,03 máx. ¹
	Mo (%)	0,12 máx.	0,13 máx. ¹
	B (%)	-	0,0015 máx. ¹
	Ti (%)	-	0,04 máx. ¹

Propriedades mecânicas	Tensão de escoamento (MPa)	240 Mpa mín.	220 Mpa mín.
	Resistência à tração (MPa)	415 MPa mín.	415 - 550 Mpa
Tenacidade a fratura	Média da energia absorvida nas 3 amostras	18 J mín.	18 J mín. ²
	Energia absorvida em cada amostra	14 J mín.	14 J mín. ²

¹ Retirado da TABELA 1 da norma ASTM A20/A20M.

² Retirado da TABELA A1.15 da norma ASTM A20/A20M.

É perceptível que podemos, em alguns casos, ao observarmos apenas a composição química não sermos capazes de distinguir qual dos dois tubos estamos tratando, já nos indicando uma possível equivalência dos dois materiais.

Os tratamentos térmicos realizados são semelhantes, provavelmente deve haver uma diferença na microestrutura decorrente do processo de fabricação do tubo, do tratamento térmico e da soldagem no caso do ASTM A671 CC60 cI32 CC, mas nos dois tubos há o mesmo requisito de grãos refinados e valores mínimos de absorção de energia do teste de impacto.

Desta forma, podemos sugerir que não indica risco do ponto de vista estrutural na substituição dos dois tubos para as condições de trabalho. Portanto, indica a equivalência dos dois tubos do ponto de vista técnico da engenharia.

4.4. Preços e prazos dos tubos ASTM A333 Gr.6 SC e ASTM A671 CC60 cI32 CC com teste de impacto

Para todo o esforço deste estudo ser viável necessitava-se da comprovação da melhor condição comercial do tubo ASTM A333 Gr.6 SC. Atualmente no mercado nacional foi encontrada apenas uma empresa que fabrica tubos sem costura, e estes são apenas até a bitola de 12 polegadas, mas os fabricantes internacionais produzem os mesmos com bitolas até 24 polegadas.

Em contato com os fornecedores, todos apresentaram o tubo ASTM A333 Gr.6 SC como a opção mais competitiva e flexível quanto à quantidade mínima de

fabricação por bitola e geralmente no prazo de entrega por ser um material que tem maior oferta.

O custo do tubo ASTM A333 Gr.6 SC internacional mostrou-se, em média, com o 50% do custo do tubo ASTM A671 CC60 cl32 CC nacional, e geralmente com melhor prazo de entrega, salvo a exceção de quando o fabricante nacional do tubo ASTM A671 CC60 cl32 possui disponível em seu estoque a chapa base para a fabricação do mesmo.

Assim sendo, o tubo ASTM A333 Gr.6 SC atualmente é mais interessante economicamente viabilizando a substituição, mas quando houver o fator limitante de um restrito prazo de entrega o tubo ASTM A671 CC60 cl32 CC nacional pode ser uma opção interessante.

5 CONCLUSÕES

. A partir da identificação das necessidades impostas pelo processo para o transporte de gases liquefeitos de petróleo dentro de uma UPGN os tubos ASTM A333 Gr.6 SC (até 14pol) e ASTM A671 CC60 cl32 CC (superiores a 16pol) são os especificados e recomendados segundo as normas. O assunto abrange a engenharia como um todo sendo necessária a análise técnica e econômica simultaneamente para a escolha do material mais adequado.

Com relação a viabilidade de substituição dos tubos na faixa de diâmetro no qual os dois coexistem no mercado (16, 18, 20 e 24 pol), como discutido anteriormente, em ambos os tubos, há o mesmo requisito de grãos refinados e valores mínimos de absorção de energia do teste de impacto, pode-se assumir que não indica haver risco do ponto de vista de resistência mecânica no uso e substituição do tubo. Também foi observado que através dos cálculos de espessura mínima, ambos os tubos apresentaram SCH 80 para todos os diâmetros não proporcionando diferenças em seu dimensionamento de projeto, Dessa forma, há a equivalência dos dois tubos do ponto de vista técnico da engenharia.

Segundo o levantamento de custos realizado neste trabalho, observou-se que este é um fator relevante na determinação da escolha do produto. E na maioria das vezes, o tubo ASTM A333 Gr. 6 SC, além de ser a opção economicamente mais atraente, também demonstrou-se na maioria das vezes apresentar menor prazo de entrega segundo pesquisa no mercado de tubos.

Portanto, se torna viável a utilização do tubo ASTM A333 Gr.6 SC quando o mesmo apresentar menor prazo de entrega comparado ao ASTM A671 CC60 cl32 CC e este não estiver especificado como único no projeto e especificação do tubo

REFERENCIAS

- ABRACE - Associação Brasileira de Grandes Consumidores Industriais de Energia e de Consumidores Livres. Conceitos e definições do setor de gás natural. Disponível em: <http://www.abrace.org.br/public/downloads/cartilha_gas.pdf>. Acesso em: 25 de mai. De 2014.
- ASME B31.3. *Process Piping Guide*. Rev. 2, 2009.
- ASME B36.10. *Welded and Seamless Wrought Steel Pipe*
- ASTM A20/A20M. *Standard Specification for General Requirements for Steel Plates for Pressure Vessels*. 2013.
- ASTM A333/A333M. *Standard Specification for Seamless and Welded Steel Pipe for Low-Temperature Service and Other Applications with Required Notch Toughness*. 2013.
- ASTM A516/A516M. *Standard Specification for Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, for Moderate- and Lower-Temperature Service*. 2010.
- ASTM A671/A671M. *Standard Specification for Electric-Fusion-Welded Steel Pipe for Atmospheric and Lower Temperatures*. 2014.
- CHIAVERINI, V. Aços e Ferros Fundidos. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais – ABM. 2008.
- ENGEZER. Análise de Gás Natural com Espetrômetros de Massa, 2010. Disponível em: <<http://blog.engezer.com.br/?p=213>>. Acesso em: 25 de mai. de 2014.
- MSPC - Informações Técnicas, 2009. Disponível em: <<http://www.mspc.eng.br/ciemat/aco140.shtml>>. Acesso em: 25 de mai. de 2014.
- PETROBRAS. Gás Liquefeito de Petróleo: Informações Técnicas, 2013. Disponível em: <<http://sites.petrobras.com.br/minisite/assistenciatecnica/public/downloads/manual-tecnico-gas-liquefeito-petrobras-assistencia-tecnica-petrobras.pdf>>. Acesso em: 25 de mai. de 2014.
- SILVA TELLES, P.C. Tubulações Industriais: Materiais, Projeto, Montagem. 10 Ed. LTC. 2001.

ANEXO A

-PÚBLICO-



N-76	REV.G	12 / 2012
------	-------	-----------

MATERIAIS DE TUBULAÇÃO Padronização : Cg

NORMA BÁSICA ASME B31.3		CLASSE 300 FR		MATERIAL DO TUBO Aço-carbono		TEMP. MÁXIMA: 300 °C (100) TEMP. MÍNIMA: -45 °C		CORROSÃO ADM. 1,6 mm	
SERVIÇO: Gases liquefeitos de petróleo refrigerados.									
MAT.	DIÂMETRO (NPS)		CLASSE OU ESP.	EXTR.	DESCRIÇÃO (Ver norma N-1693)	CÓDIGO			
	DE	ATÉ							
V Á L V U L A S (Anexo A)	BLOQUEIO (73)	1/2	1 1/2	800	ES	VES de AFO ASTM A350 Gr LF2 CL 1, obtur. AISI 304, sede resiliente, testada a fogo, ISO 17292. (90)	VES-800-04		
		2	4	300	FLG FR	VES de AFU ASTM A352 Gr LCB, obtur. AISI 304, sede resiliente, ISO 14313 (API 6D). (90)	VES-300-07		
		6	24	300	FLG FR	Idem, c/engr. de redução. (90)	VES-300-07		
		2	4	300	FLG FR	VES de AFU ASTM A352 Gr LCB, obtur. AISI 304, sede resiliente, testada a fogo, ISO 14313 (API 6D). (75)(90)	VES-300-08		
		6	24	300	FLG FR	Idem, testada a fogo, c/engr. de redução. (75)(90)	VES-300-08		
		1/2	1 1/2	800	ES	VGA de AFO ASTM A350 Gr LF2 CL 1, obtur-sede AISI 304 (CN 2), HARE, CA, ISO 15761 (API 602).	VGA-800-10		
	2	8	300	FLG FR	VGA de AFU ASTM A352 Gr LCB, obtur-sede AISI 304 (CN 2), HARE, CA, ISO 10434 (API 600).	VGA-300-04			
	10	24	300	FLG FR	Idem, c/engr. de redução.	VGA-300-04			
	REGULAGEM	1/2	1 1/2	800	ES	VGL de AFO ASTM A350 Gr LF2 CL 1, obtur-sede AISI 304 (CN 2), HARE, CA, ISO 15761 (API 602).	VGL-800-10		
		2	6	300	FLG FR	VGL de AFU ASTM A352 Gr LCB, obtur-sede AISI 304 (CN 2), HARE, CA, BS 1873.	VGL-300-04		
		8	-	300	FLG FR	Idem, c/engr. de redução.	VGL-300-04		
	RETENÇÃO	1/2	1 1/2	800	ES	VRE tipo pistão de AFO ASTM A350 Gr LF2 CL 1, obtur-sede AISI 304 (CN 2), TAP, ISO 15761 (API 602).	VRE-800-10		
2		24	300	FLG FR	VRE tipo portinhola de AFU ASTM A352 Gr LCB, obtur-sede AISI 304 (CN 2), TAP, BS 1868.	VRE-300-04			
TUBOS (Anexo B)	1/2	1 1/2	SCH 160	PL	AC ASTM A333 Gr 6, SC, ASME B36.10. (70)	T-05			
	2	10	SCH 40	PC	AC ASTM A333 Gr 6, SC ou CC, ASME B36.10.	T-05			
	12	14	0,375"	PC	AC ASTM A333 Gr 6, SC, ASME B36.10.	T-05			
	16	20	0,500"	PC	AC ASTM A671 Gr CC 60 CL 32 c/req. suplementar S2, CC, ASME B36.10.	T-99			
	24	-	Calcular	PC	Idem. (52)	T-99			
NIPLES (Anexo D)	1/2	1 1/2	SCH 160	AEP/UER	Reto, ASTM A333 Gr 6, ASTM A733. (92)	N-05			
	1/2	1 1/2	SCH 160	AEP	Red. C., ASTM A420 Gr WPL6, MSS SP-95.	N-06			
	1/2	1 1/2	SCH 160	AEP	Red. E., idem, MSS SP-95.	N-06			
CONEXÕES (Anexo C)	1/2	1 1/2	6000	ES	AFO ASTM A350 Gr LF2 CL 1, ASME B16.11/MSS SP-97. (84)	CXX-04			
	2	24	(8)	PC	AC ASTM A420 Gr WPL6, ASME B16.9. (8)(84)	CXX-05			
FLANGES (Anexo F)	1/2	1 1/2	300	ES FR	AFO ASTM A350 Gr LF2 CL 1, ASME B16.5. (8)	F-300-J3			
	2	24	300	PE FR	Idem. (8)	F-300-K3			
	1/2	24	300	CE FR	Idem.	F-300-L3			
	2	24	300	OR FR	Idem, ASME B16.36. (8)	F-300-M3			
PARAF. (Anexo E)	1/2	24	-	-	Tipo estojo, AL ASTM A320 Gr L7, porcas ASTM A194 Gr 4L, Hex. série pesada, ASME B16.5.	P-300-02			
JUNTAS (Anexo G)	1/2	24	4,4 mm	FR	Espiralada, AISI 304, enchim. grafite flexível, anel ext. AC/int. AISI 304, ASME B16.20.	J-300-02			

N-76		REV.G		12 / 2012		Cg																																						
TABELA DE DERIVAÇÕES	LINHA TRONCO (NPS)		<2	2	2½	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20	24	>24	RAMAIS																										
	CONVENÇÕES:		A	E			F											<2																										
	A - TÊ		A	A	A ou B	C ou G											2																											
	B - BOCA-DE-LOBO		A	A	A	H											2½																											
	C - COLAR DE TOPO		A	A	A	A ou C ou G											3																											
	D - COLAR ROSCADO		A	A	A	A											4																											
	E - COLAR DE ENCAIXE		A	A	A	A											6																											
	F - MEIA-LUVA		A	A	A	A											8																											
	G - BOCA-DE-LOBO COM REFORÇO		A	A	A	A											10																											
	H - CALCULAR		A	A	A	A											12																											
I - REFORÇO INTEGRAL		A	A	A	A											>12																												
LIMITES DE PRESSÃO E TEMPERATURA																																												
	<p>8- Espessura de acordo com o tubo de diâmetro correspondente.</p> <p>52- As espessuras dos tubos e reforços da boca-de-lobo, para essa faixa de diâmetros, devem ser calculadas para a pressão e temperatura de projeto da linha, conforme a norma básica de projeto (ASME B31.3/B31.4 ou B31.8), buscando minimizar a variedade de espessuras para um mesmo diâmetro. Essas espessuras devem ser necessariamente registradas na folha de dados de tubulação.</p> <p>70- Utilizar NPS 1/2 somente para conexões de flanges de orifício; NPS 3/4 para drenos e suspiros; NPS mínimo de 1 para tubulações de processo em serviços críticos e perigosos, conforme definido na PETROBRAS N-57.</p> <p>73- Utilizar o tipo da válvula de bloqueio definido no fluxograma de engenharia, seguindo os critérios da PETROBRAS N-1693.</p> <p>75- Onde requerido pela PETROBRAS N-2546 ou definido pelo projeto, usar válvulas testadas a fogo (fire type tested), conforme requisitos da ABNT NBR 15827.</p> <p>84- Códigos das conexões CXX-YY conforme N-76 Anexo C:</p> <table border="0"> <tr> <td>C01-04: Joelho 90° ES</td> <td>C07-04: Meia-Luva ES</td> <td>C13.3-04: Colar Curva ES</td> <td>C19-05: Red. Exc. PC</td> </tr> <tr> <td>C02-04: Joelho 45° ES</td> <td>C08-04: Luva Red. ES</td> <td>C14.3-04: Colar Lat. ES</td> <td>C20-05: Te PC</td> </tr> <tr> <td>C03-04: Te ES</td> <td>Não Usar Bujões</td> <td>C15-05: Curva 90° PC</td> <td>C21-05: Te Red. PC</td> </tr> <tr> <td>C04-04: Te Red. ES</td> <td>Não usar União</td> <td>C16-05: Curva 45° PC</td> <td>C22-05: Tampão PC</td> </tr> <tr> <td>C05-04: Cruzeta ES</td> <td>C11-04: Tampão R0/ES</td> <td>C17-05: Curva RC 90° PC</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C06-04: Luva ES</td> <td>C12.3/4-04: Colar ES/PC</td> <td>C18-05: Red. Conc. PC</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C25-01: Manipulo c/corrente e abraçadeira</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <p>90- O material da sede resiliente deve ser adequado para serviço com hidrocarbonetos e álcool com temperatura de trabalho até 150°C e limpeza com vapor até 180°C.</p> <p>92- Utilizar niples com uma extremidade roscada (UER) e tampões roscados apenas para drenos e suspiros.</p> <p>100- Faixa econômica da padronização: -45 °C a -29 °C. Todos os materiais linhas nessa faixa de aplicação devem ser adquiridas com teste de impacto em todas as corridas. Esse teste de impacto deve ser realizado no metal de base, metal de solda e Zona afetada pelo calor (ZAC), quando aplicável. A execução do teste deve ser conforme a especificação aplicável e deve atender ao requisito de energia da norma ASME B31.3. Para dimensionamento mecânico, foram utilizadas as tensões admissíveis (ASME B31.3) do ASTM A240 Gr 317L.</p>																	C01-04: Joelho 90° ES	C07-04: Meia-Luva ES	C13.3-04: Colar Curva ES	C19-05: Red. Exc. PC	C02-04: Joelho 45° ES	C08-04: Luva Red. ES	C14.3-04: Colar Lat. ES	C20-05: Te PC	C03-04: Te ES	Não Usar Bujões	C15-05: Curva 90° PC	C21-05: Te Red. PC	C04-04: Te Red. ES	Não usar União	C16-05: Curva 45° PC	C22-05: Tampão PC	C05-04: Cruzeta ES	C11-04: Tampão R0/ES	C17-05: Curva RC 90° PC		C06-04: Luva ES	C12.3/4-04: Colar ES/PC	C18-05: Red. Conc. PC		C25-01: Manipulo c/corrente e abraçadeira		
C01-04: Joelho 90° ES	C07-04: Meia-Luva ES	C13.3-04: Colar Curva ES	C19-05: Red. Exc. PC																																									
C02-04: Joelho 45° ES	C08-04: Luva Red. ES	C14.3-04: Colar Lat. ES	C20-05: Te PC																																									
C03-04: Te ES	Não Usar Bujões	C15-05: Curva 90° PC	C21-05: Te Red. PC																																									
C04-04: Te Red. ES	Não usar União	C16-05: Curva 45° PC	C22-05: Tampão PC																																									
C05-04: Cruzeta ES	C11-04: Tampão R0/ES	C17-05: Curva RC 90° PC																																										
C06-04: Luva ES	C12.3/4-04: Colar ES/PC	C18-05: Red. Conc. PC																																										
C25-01: Manipulo c/corrente e abraçadeira																																												
RELAÇÃO DE NOTAS																																												