

Processos de Fabrico I

Licenciatura em Engenharia Mecânica

Análise de Preparação para Fabrico de uma Estrutura Soldada

Trabalho Realizado Por:

- | | |
|--------------------|-------------|
| • André Gomes | up202105883 |
| • Diogo Cabral | up202208849 |
| • Eduardo da Cunha | up202007657 |
| • Francisco Santos | up202205995 |
| • Rodrigo Ribeiro | up202206617 |
| • Tiago Pires | up202206568 |

Docente:

- | | |
|-------------------|-------------------|
| • Eduardo Marques | emarques@fe.up.pt |
|-------------------|-------------------|

Dezembro de 2024

Resumo

No âmbito da Unidade Curricular de Processos de Fabrico I, realizamos um estudo para a preparação do trabalho de uma estrutura soldada, com o objetivo de definir os processos de soldadura mais adequados às diversas juntas presentes na estrutura proposta.

Antes de iniciar qualquer processo de soldadura, considerámos essencial realizar uma análise detalhada para garantir o cumprimento dos objetivos do projeto. Este estudo inclui o desenvolvimento da sequência de montagem e soldadura, a seleção do processo e dos materiais, a preparação dos procedimentos operacionais, o tratamento das juntas e o cálculo das temperaturas de pré-aquecimento necessárias.

O relatório começa com uma revisão dos processos de soldadura abordados na unidade curricular, incluindo: Soldadura manual com eletrodo revestido (SMAW), Arco submerso (SAW), TIG (GTAW), MIG/MAG (GMAW) e MIG/MAG com fio fluxado (FCAW). Esta revisão foi realizada para compreender as vantagens e limitações de cada processo, bem como suas aplicações ideais.

Posteriormente, focamo-nos na sequência de montagem da estrutura soldada. Utilizando o software SolidWorks, foi possível definir a ordem de montagem mais adequada, considerando os tipos e posições das juntas presentes na estrutura.

Após termos definido a sequência de montagem, foi necessário selecionar os processos de soldadura mais apropriados para cada situação. Esta escolha foi orientada por diversos critérios, buscando alcançar juntas de alta qualidade com custos razoáveis.

Adicionalmente, foi realizada a seleção do material de adição, assegurando a compatibilidade química com o material base das juntas e propriedades mecânicas superiores.

Por fim, antes da execução da soldadura, foi conduzido um estudo para determinar as temperaturas de pré-aquecimento necessárias, quando aplicável. O pré-aquecimento tem como objetivo prevenir o temperamento indesejado da estrutura e depende de fatores como o carbono equivalente, a espessura combinada, o potencial de hidrogénio e a energia térmica do arco.

Agradecimentos

Para a realização deste trabalho, gostaríamos de expressar o nosso profundo agradecimento ao professor Eduardo Marques, por nos ter introduzido ao tema da soldadura assim como por ter disponibilizado os textos de apoio teóricos do tema. O seu apoio, disponibilidade e empenho foram fundamentais no esclarecimento de todas as dúvidas e questões que surgiram ao longo do desenvolvimento deste trabalho. A sua orientação contínua permitiu-nos superar os desafios encontrados e contribuiu de forma decisiva para o sucesso desta atividade.

Índice

Resumo.....	ii
Agradecimentos.....	iii
Índice de Figuras.....	vi
Índice de Tabelas.....	vii
1. Introdução.....	1
2. Revisão Bibliográfica.....	2
2.1. Soldadura Manual com Eléctrodo Revestido (SMAW)	2
2.2. Arco Submerso (SAW).....	3
2.3. Soldadura TIG (GTAW)	5
2.4. MIG/MAG (GMAW), MIG/MAG com Fio Fluxado (FCAW).....	6
3. Sequência de Montagem.....	8
4. Escolha do Processo de Soldadura	13
4.1. Material Base	13
4.2. Custos	14
4.3. Controlo de Desenhos.....	14
4.4. Controlo de Qualidade	15
4.5. Escolha do Processo Mais Indicado Para Cada Junta~	15
4.5.1. Juntas 1 a 4	15
4.5.2. Juntas 5 a 10.....	18
4.5.3. Juntas 11 a 14	18
4.6. Resumo.....	18
5. Escolha dos materiais de adição adequados.....	19
5.1. Composições e características dos materiais de base:	20
5.2. Juntas 1, 2, 3 e 4	20
5.3. Juntas 5 e 6	20
5.4. Juntas 7 e 8.....	21
5.5. Juntas 9 e 10.....	21
5.6. Juntas 11, 12, 13 e 14	21
6. Preparação das juntas.....	23
6.1. Juntas 1,2,3,11,12 e 13.....	23

6.2.	Junta 4	23
6.3.	Juntas 5 e 6	23
6.4.	Juntas 7 e 8	23
6.5.	Juntas 9 e 10	23
6.6.	Junta 14	23
7.	Temperatura de pré-aquecimento	24
7.1.	Espessura combinada	25
7.2.	Potencial de Hidrogénio	26
7.3.	Energia térmica do arco	27
7.4.	Resultados	28
8.	Conclusão	31
9.	Bibliografia	32
10.	Anexos	34

Índice de Figuras

Figura 1 – Crescimento do mercado de soldadura.....	1
Figura 2 – Processo SMAW.....	3
Figura 3 – Processo SAW.....	4
Figura 4 – Processo TIG.....	6
Figura 5 – Processo FCAW vs. GMAW.....	6
Figura 6 – Processo GMAW.....	7
Figura 7 – Processo FCAW.....	7
Figura 8 – Junta Longitudinal.....	9
Figura 9 – Junta Entre Tubo e Flange	9
Figura 10 – Junta Entre Tubo e Virola.....	9
Figura 11 – Junta 7.....	10
Figura 12 – Junta 8 (Vista em Corte)	10
Figura 13 – Junta 9.....	11
Figura 14 – Junta 10.....	11
Figura 15 – Juntas 11 e 12.....	12
Figura 16 – Juntas 13 e 14.....	12
Figura 17 – Massa de Metal Depositado por Hora de Deposição para Diferentes Processos de Soldadura.....	16
Figura 18 – Custo Total dos Diferentes Processos de Soldadura.....	17
Figura 19 – SA 516 Gr. 70 - segundo o ASME (aço de placas) (elementos: 1;2;3;4;5;6;7).....	20
Figura 20 – SA 106 Gr. A - segundo o ASME (aço de extrusão a frio para tubos) (elemento: 9;10).....	20
Figura 21 – SA 105 - segundo o ASME (aço para flanges) (elemento: 8;11)	20
Figura 22 – Cálculo de espessura combinada.....	26
Figura 23 – Escala H2.....	29
Figura 24 – Relação entre energia e temperatura	30

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Identificação de Juntas.....	8
Tabela 2 - Composições Químicas.....	13
Tabela 3 - Tabela Propriedades.....	13
Tabela 4 - Espessura de penetração máxima de cada processo de soldadura.....	14
Tabela 5 - Espessura das Juntas 1 a 4.....	15
Tabela 6 - Resumo Agradecimentos.....	18
Tabela 7 - Tabela das características de OK Autrod 12.10 com o fluxo OK Flux 10.71.....	20
Tabela 8 - Tabela das características de OK Autrod 12.58.....	21
Tabela 9 - Tabela das características de OK Autrod 12.58.....	21
Tabela 10 - Tabela das características de OK Autrod 12.58	21
Tabela 11 - Tabela das características de OK Autrod 12.10 e o OK Flux 10.71	21
Tabela 12 - Tabela das características de OK Autrod 12.58	22
Tabela 13 - Espessuras combinadas.....	26
Tabela 14 - Relação entre a voltagem e a intensidade.....	28
Tabela 15 - Resultados do pré-aquecimento.....	iii0

1. Introdução

A soldadura moderna começou a ser amplamente utilizada no início do século XIX, oficializada em 1808 pelo inglês Humphry Davy. Baseado na transmissão de uma corrente elétrica entre duas hastes de carbono, este modelo marcou o momento da invenção da soldagem por arco elétrico.

Hoje em dia, a indústria de soldadura forma o pilar central de outros setores como a indústria automóvel, construção, energia e aeroespacial. Uma das técnicas mais usadas para união permanente de metais, desempenha um papel crucial no fabrico de inúmeros componentes e produtos finais.

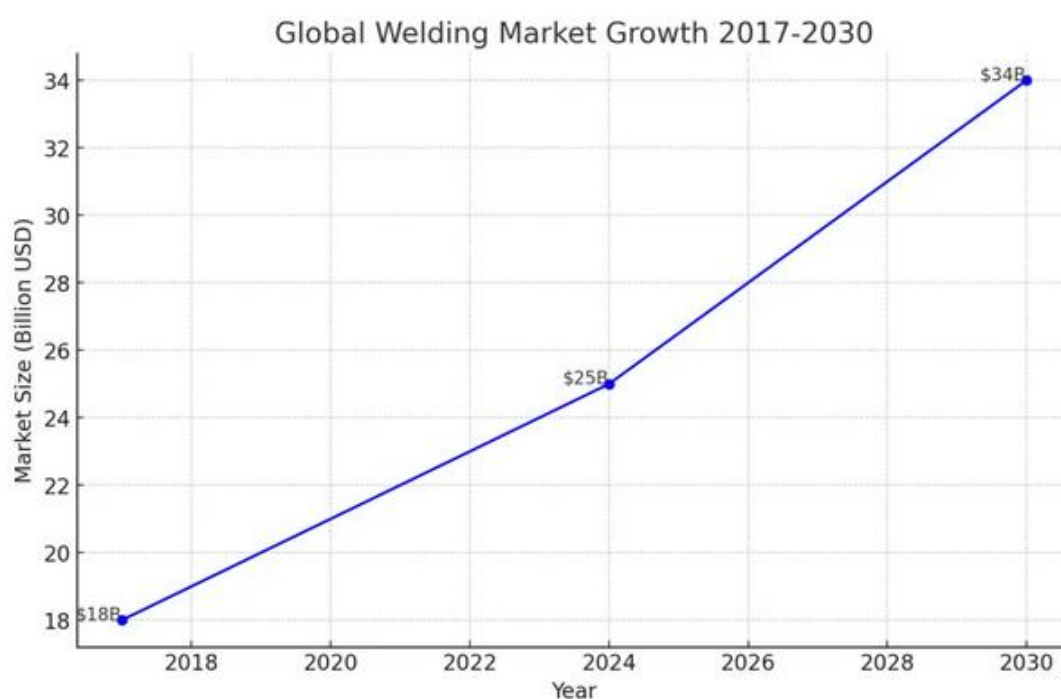


Figura 1 - Crescimento do mercado de soldadura

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Soldadura Manual com Eléctrodo Revestido (SMAW)

Soldadura manual em eléctrodo revestido, é uma forma de soldadura também chamada de “Stick Welding”, amplamente usada em indústrias de construção e reparação, pois oferece flexibilidade e portabilidade. Este método usa um eléctrodo consumível revestido com uma camada protetora chamada fluxo de solda, um material que protege a união dos metais. Durante a soldadura, o revestimento é queimado e liberta gás de proteção que evita a contaminação provocada por gases atmosféricos, como o hidrogénio e o oxigénio, que podem causar defeitos como fissuras e porosidade.

Vantagens:

- Menos custo de equipamento comparativamente a outros métodos.
- Facilidade de troca de materiais.
- Versatilidade em espaços reduzidos e diferentes posições.
- Não requer gás de proteção externo, o que o torna adequado para uso ao ar livre e na presença de ventos leves.
- Permite maior mobilidade por não precisar de garrafas ou alimentadores de arame.
- Alguns eléctrodos especiais podem ser usados para corte ou desbaste.

Desvantagens:

- Menor eficiência de deposição comparativamente com outros métodos.
- Maior custo por solda devido ao motivo anterior.
- Menor produtividade por mudanças frequentes de eléctrodos e necessidade de remoção de escória.
- Exige maior coordenação motora e remoção manual de escória, ao contrário de outros métodos.

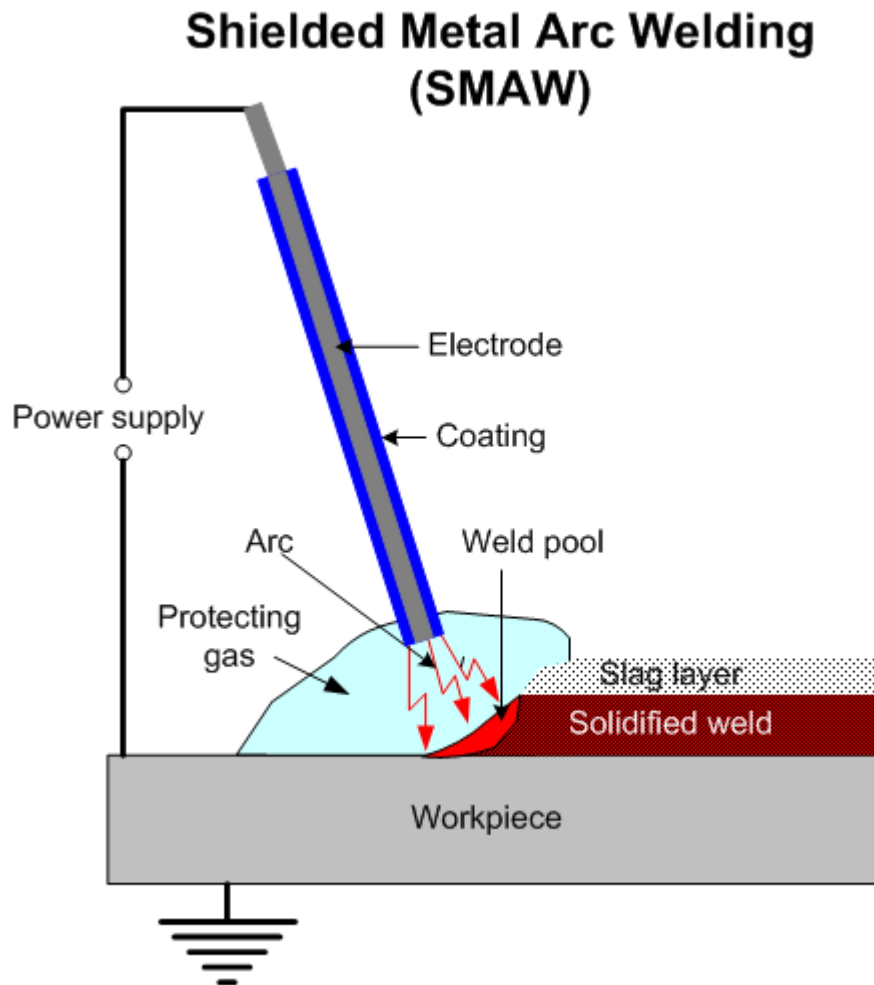


Figura 2 - Processo SMAW

2.2. Arco Submerso (SAW)

O princípio do processo de arco submerso baseia-se numa fonte de energia colocada através do bocal de contacto onde encontra a peça que será trabalhada. A fonte de energia pode ser um transformador no caso de soldagem AC ou um retificador para soldagem DC. Os materiais necessários a este método incluem um eletrodo contínuo, possivelmente revestido de cobre, e um fluxo granular conectado no ponto de solda por uma mangueira. Para evitar o superaquecimento do eletrodo, a corrente de solda é transferida para o eletrodo perto do arco.

Vantagens:

- Alta qualidade de processo de soldagem.
- Grande velocidade da tocha relativamente a outros processos.
- O fluxo granular reduz o fumo provocado pela soldagem, o que minimiza o investimento em proteção e equipamento de aspiração, para além de tornar o ambiente de trabalho mais seguro.
- Maior rendimento, já que não há perda de material durante a deposição, permitindo também soldagem com grandes espessuras.
- Compatibilidade com a maioria dos aços e espessuras, tornando-o ideal para tanques, grandes tubulações e vigas.
- O fluxo granular pode ser reutilizado em outros processos, embora haja um limite para o número de reutilizações.
- A solda resultante apresenta alta resistência ao impacto e boa aparência.

Desvantagens:

- Devido ao grande banho de fusão, a soldagem deve ser feita em posição horizontal.
- O processo exige mais treino por parte dos operadores devido à maior complexidade.

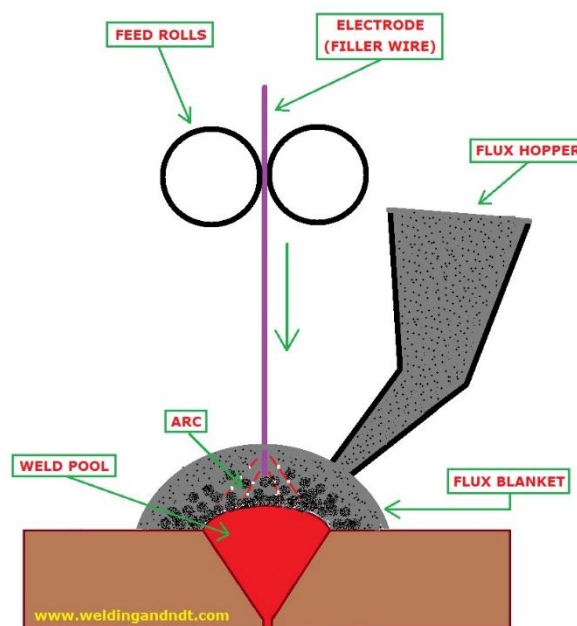


Figura 3 - Processo SAW

2.3. Soldadura TIG (GTAW)

TIG, Tungsten Inert Gas, é um processo no qual durante a soldadura, um arco é mantido entre um eletrodo de tungsténio e a peça de trabalho numa atmosfera inerte (ex.: Ar (árgon), He (hélio), ou uma mistura dos dois). Dependendo da espessura da peça e da preparação da solda, pode-se trabalhar com ou sem metal de enchimento, o qual pode ser introduzido manual ou automaticamente. O processo pode ser manual, parcialmente ou totalmente automatizado e a fonte de energia pode ser tanto em corrente contínua ou alternada. Sob as condições adequadas à soldagem, o eletrodo de tungsténio não se funde e é considerado não consumível.

Vantagens:

- Cria juntas duráveis, resistentes a fraturas e fissuras.
- Permite grande ajuste da temperatura, velocidade e deposição do material, ideal para materiais finos e juntas detalhadas.
- Pode soldar aço inoxidável, alumínio, cobre, titânio e magnésio.
- O gás inerte evita oxidação, resultando em soldas mais fortes e esteticamente mais apelativas.

Desvantagens:

- A precisão reduz a velocidade, podendo ser menos eficiente para peças que priorizam quantidade.
- Requer operadores com excelente coordenação e técnica para evitar defeitos.
- Pode não ser ideal para aplicações pesadas, sendo mais demorado.
- Fontes de energia, tochas e gases, mais caros que outros métodos.
- Necessita de superfícies limpas, exigindo preparação cuidadosa para evitar falhas na solda.

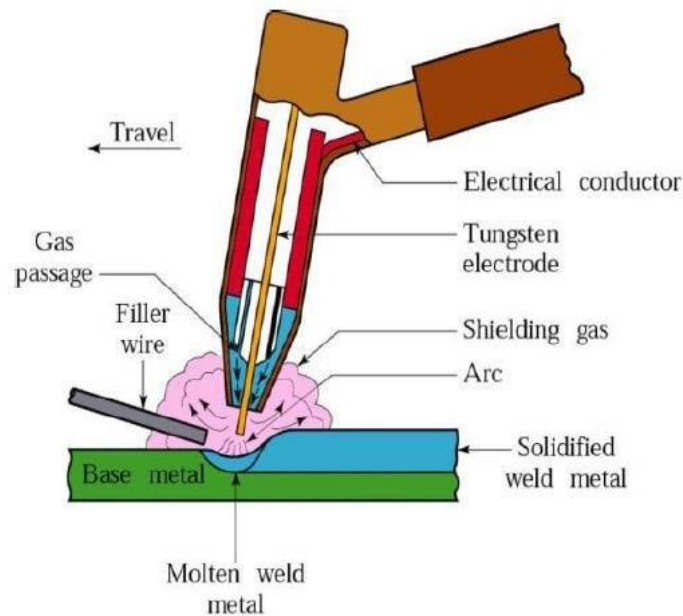


Figura 4 - Processo TIG

2.4. MIG/MAG (GMAW), MIG/MAG com Fio Fluxado (FCAW)

Atualmente, ambos os processos GMAW e FCAW são amplamente usados em fabrico estrutural, tanto o equipamento como os procedimentos operacionais são muito semelhantes nos dois processos. No entanto, o uso de metal de adição com fluxo no processo FCAW torna-o especialmente adequado para grandes estruturas, como plataformas petrolíferas e componentes de cascos navais. Na maioria dos casos o processo FCAW oferece um rendimento ligeiramente maior, o que é contrabalançado pela maior produção de escória e fumaça de soldadura.

FCAW

Uses a flux-filled tubular electrode

Creates a shielding gas from the flux inside the electrode

Can be used in a variety of positions

Can be used to weld thicker materials

Higher deposition rates

More efficient process

GMAW

Uses a wire electrode

Uses a separate shielding gas

Best used in flat or horizontal positions

Best used to weld thin materials

Lower deposition rates

Cleaner process

Figura 5 - FCAW vs. GMAW

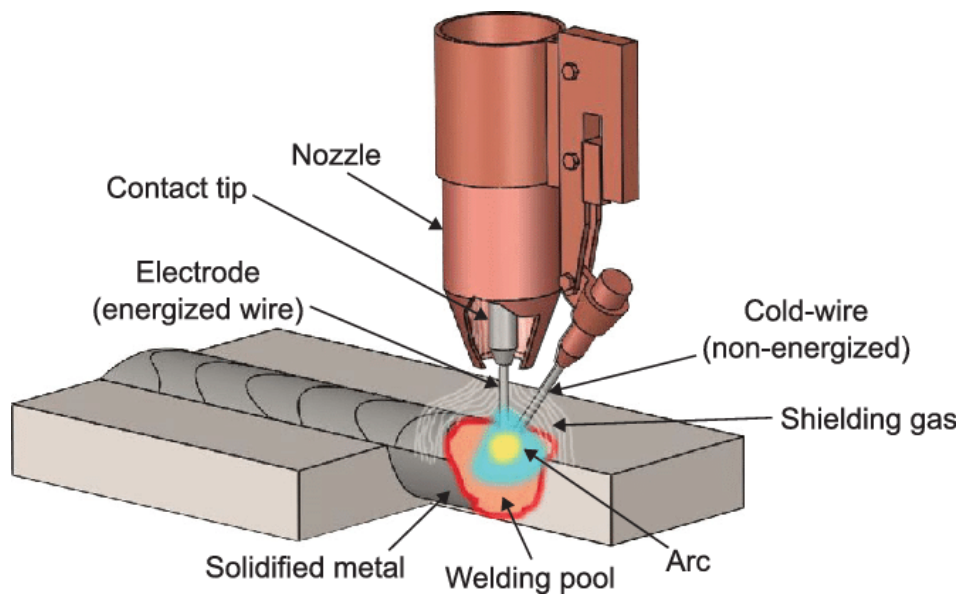


Figura 6 - Processo GMAW

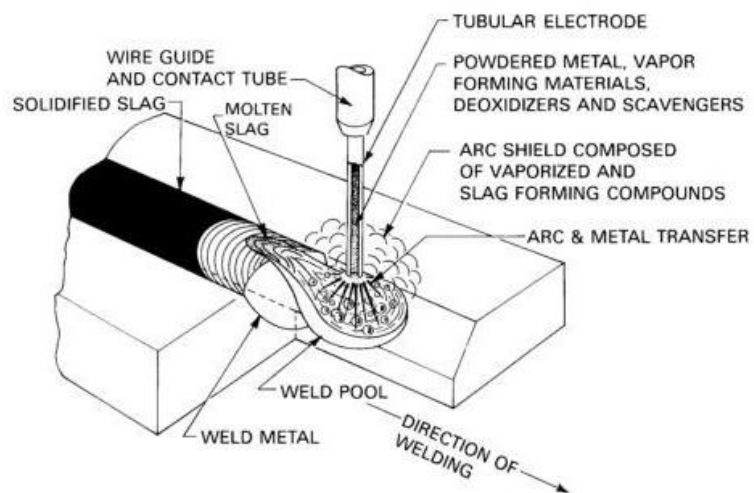


Figura 7 - Processo FCAW

3. Sequência de Montagem

Para a descrição desta secção foi-nos atribuída um desenho técnico de um tanque alto, com o qual foi feito um desenho em CAD 3D com o auxílio do software SolidWorks, para ajudar na identificação e numeração das diferentes juntas presentes na estrutura.

Conforme foi referido nas secções anteriores do relatório, a soldadura é um processo que permite a união de várias partes, criando uma estrutura compacta e segura. A qualidade final deste processo depende significativamente da competência e habilidade do técnico responsável. A estrutura que nos foi proposta consiste praticamente de elementos cilíndricos, os quais apresentam maior dificuldade em soldar comparativamente a chapas metálicas planas.

Esta complexidade geométrica obriga a que haja uma maior precisão e atenção ao detalhe, especialmente na parte interna da estrutura. Tendo isto em conta, estamos bastante seguros a afirmar que a peça a soldar é de dificuldade considerável.

Junta	Descrição
1	Junta Longitudinal: Virola 1
2	Junta Longitudinal: Virola 2
3	Junta Longitudinal: Virola 3
4	Junta Longitudinal: Virola 6
5	Junta: Tubo 9 – Flange 8
6	Junta: Tubo 10 – Flange 11
7	Junta: Tubo 9 – Virola 1
8	Junta: Tubo 10 – Peça 5
9	Junta: Virola 6 – Peça 7
10	Junta: Virola 6 – Peça 5
11	Junta: Virola 2 – Virola 3
12	Junta: Virola 2 – Virola 1
13	Junta: Virola 1 – Peça 4
14	Junta: Peça 5 – Virola 3

Tabela 1 - Identificação de Juntas

A soldadura terá início com a união das chapas, 1,2,3 e 6, calandradas, através de uma soldadura longitudinal de penetração total, para fechar a virola.

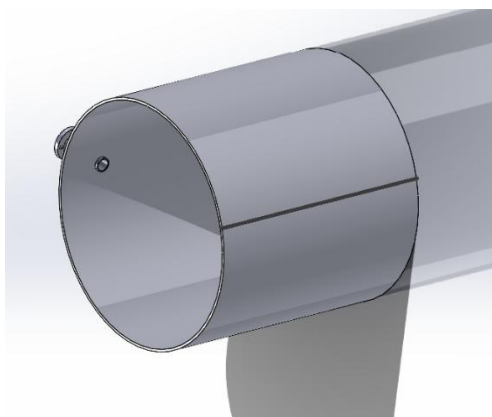


Figura 6 - Junta Longitudinal

Quando as virolas estiverem prontas, passamos então para a junta 5 e 6, que representam a união entre um tubo e uma flange. Deve ter-se em consideração que em termo sequencial é preferível que estas juntas sejam soldadas antes de unir o tubo com a virola, este processo é representado pela junta 7, nesta estrutura a podemos ver que esta junta é penetrante, o que implica uma soldadura com um cordão exterior e interior à virola.

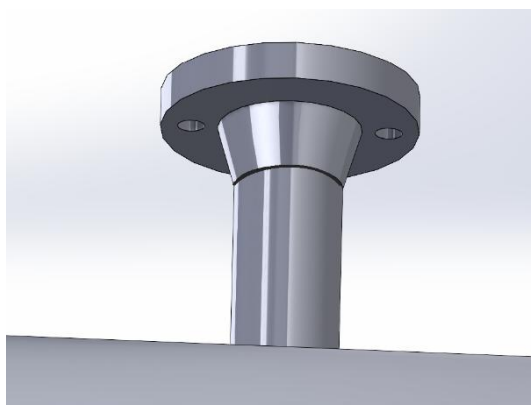


Figura 7 - Junta Entre Tubo e Flange

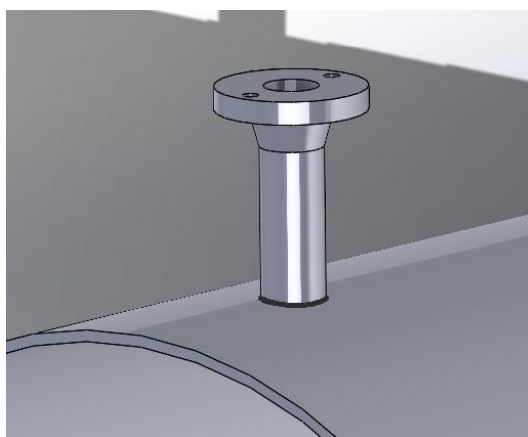
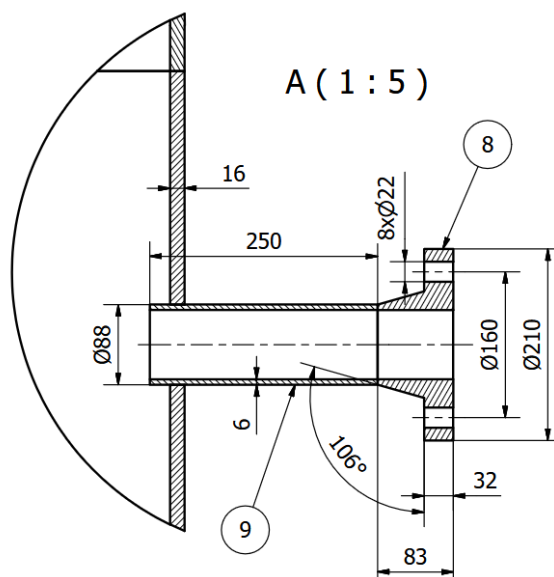


Figura 8 - Junta Entre Tubo e Virola



De forma similar, procede-se à ligação entre as peças 10 e 11, seguida da soldadura entre o tubo 10 e a peça 5, conforme ilustrado na Figura 10. Diferentemente da junta 7, esta última não é do tipo penetrante.

É importante destacar que as juntas 7 e 8 devem ser realizadas antes do fecho do corpo do depósito. Esta sequência é crucial, uma vez que a execução dessas juntas, após o fechamento, apresentaria maior dificuldade devido à limitação na observação da parte interna das peças e ao desafio no alinhamento geométrico das juntas. Esses fatores tornam o trabalho do soldador consideravelmente mais complexo.

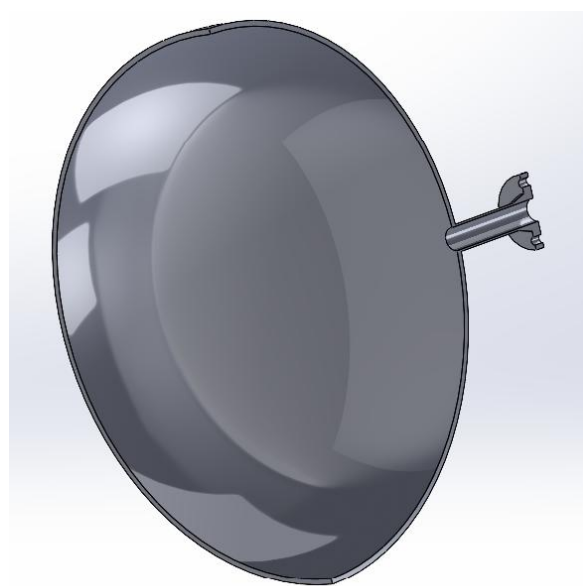


Figura 10 - Junta 8 (Vista em Corte)

Seguindo a numeração apresentada na Tabela 1, procede-se às juntas 9 e 10. A junta 9 refere-se à união entre a peça 7 e a virola 6, enquanto a junta 10 corresponde à união entre a virola 6 e a peça 5. Ambas as juntas não são do tipo de penetração total, devido à geometria das peças ser bastante semelhante.

No caso da junta 9, é fundamental ter cuidado com a orientação das peças, de forma a garantir a sua ortogonalidade. Caso contrário pode resultar em deformações na estrutura. Relativamente à junta 10, também é necessário obter um paralelismo entre as duas peças, considerando que a virola 6 possui uma geometria cilíndrica, enquanto a peça 5 apresenta uma forma semiesférica.

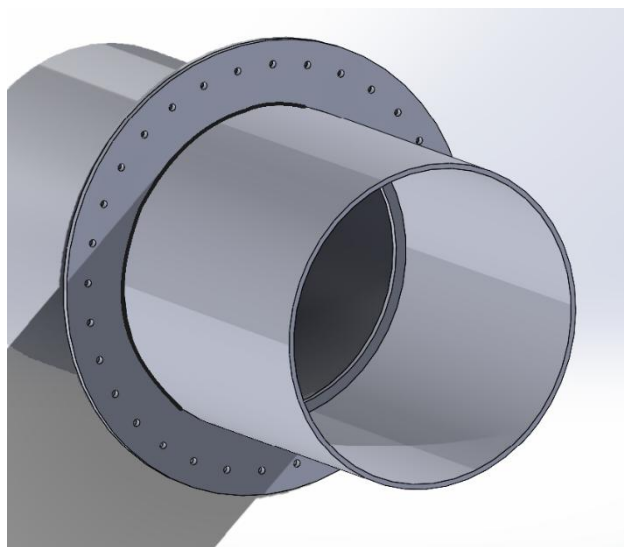


Figura 11 - Junta 9

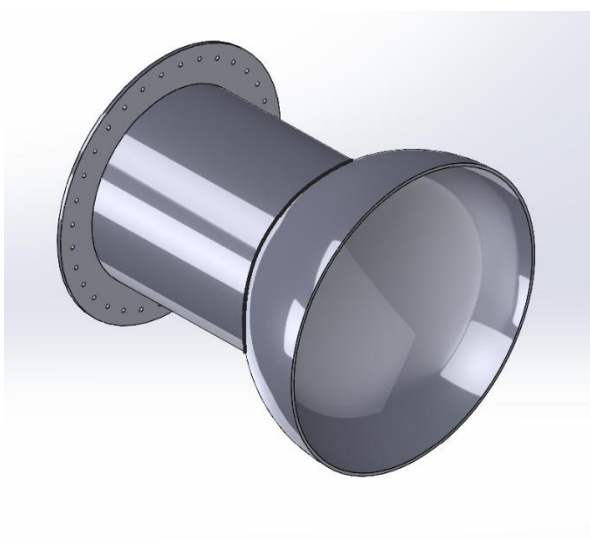


Figura 12 - Junta 10

Segue-se a soldadura entre as virolas que constituem o corpo do depósito. As juntas 11 e 12, que devem ser executadas na posição horizontal, são realizadas nesta ordem com o objetivo de minimizar tensões residuais e deformações na estrutura. Estas juntas estão representadas na Figura 12. Por fim, procede-se ao “fecho” do depósito. Nesse processo, a junta 13 corresponde à união entre a virola 1 e a peça 4, enquanto a junta 14 refere-se à união entre a virola 3 e a peça 5, que previamente foi soldada à peça 6 e, anteriormente, à peça 7.

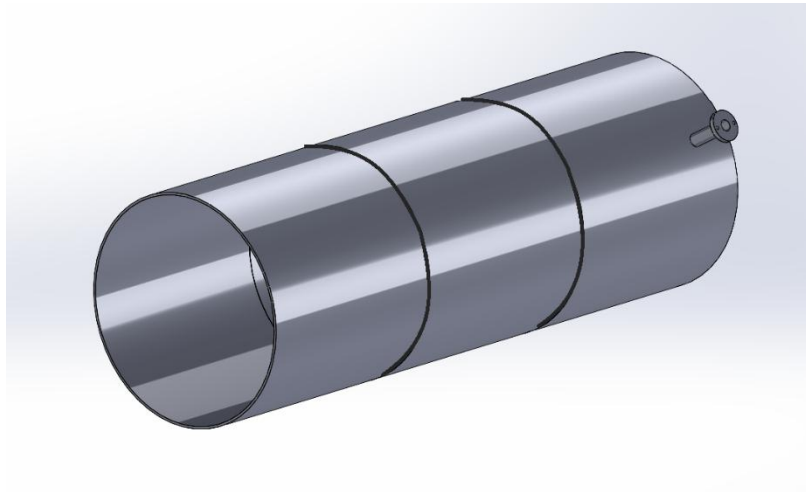


Figura 15 – Juntas 11 e 12

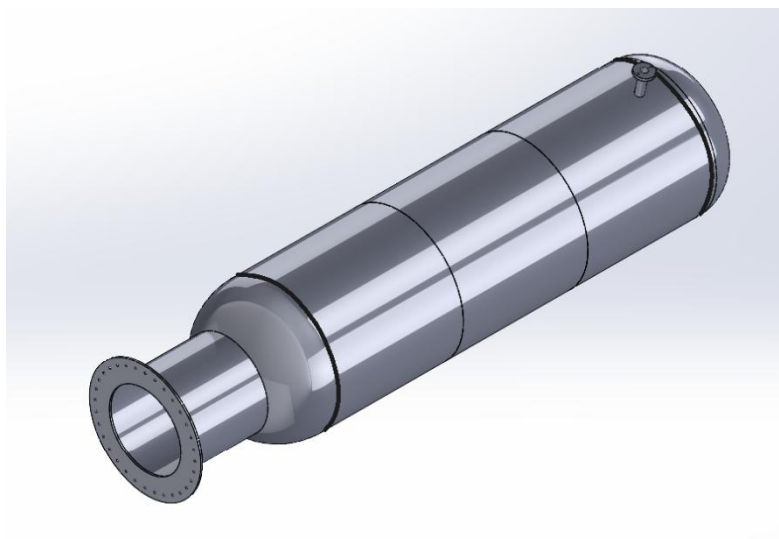


Figura 16 – Juntas 13 e 14

4. Escolha do Processo de Soldadura

A escolha do processo de soldadura pende de fatores tais como: material a ser soldado, aditivo a utilizar, comprimento do cordão, ambiente e custo de produção.

Assim, existem vários tipos de soldadura, entre os quais o processo a utilizar deverá ser escolhido com base em fatores tais como aqueles enumerados acima. Alguns dos processos de soldadura mais utilizados são:

- Soldadura Manual com Eléttodos Revestidos SMAW (Submerged Metal Arc Welding);
- Soldadura MIG/MAG e GMAW (Metal Inert/Active Gas e Gas Metal Arc Welding);
- Soldadura TIG e GTAW (Tungsten Inert Gas e Gas Tungsten Arc Welding);
- Soldadura por Resistência RW (Resistance Welding);
- Soldadura por Arco Submerso SAW (Submerged Arc Welding);
- Soldadura com Fio Puxado (FCAW).

4.1. Material Base

Um dos fatores mais importantes a ter em conta no momento da escolha do processo de soldadura é a composição química do material base e as suas propriedades mecânicas, devendo a escolha do processo ser compatível com as mesmas.

Norma	% C	% Si	% Mn	% P	% S	Elementos
SA 516 Gr. 70	0.27	0.13-0.45	0.79 - 1.3	0.035	0.04	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7
SA 106 Gr. A	0.25	0.1	0.27 - 0.93	0.048	0.058	9, 10
SA 105	0.35	0.35	0.6 – 1.5	0.04	0.05	8, 11

Tabela 2 - Composições Químicas

Norma	Rp02 (Mpa)	Rm (Mpa)	%A
SA 516 Gr. 70	295 - 356	450 - 630	22
SA 106 Gr. A	250 - 300	400 - 450	-
SA 105	207 - 248	414 - 482	22-25

Tabela 3 - Tabela Propriedades

Uma vez que os materiais que constam da tabela se tratam invariavelmente de ligas ferrosas, não irá ser utilizado o processo MIG, que pressupõe que a liga em questão é ferrosa e daí recorrer-se à utilização de uma liga não ferrosa.

4.2. Custos

Na seleção de um processo de soldadura é também preciso ter em conta os custos inerentes ao mesmo, que advém da mão de obra, espaço, material usado, entre outros fatores. Assim, deve-se optar pelo processo de soldadura mais barato que respeite os requisitos selecionados.

A peça a soldar irá ter, no total, 14 juntas de soldadura, com comprimentos entre 276.46 e 4869.47mm e espessuras entre 6 e 16mm.

Deste modo, irá ser necessário optar pela utilização do processo “Soldadura em Arco Submerso SAW (Submerged Arc Welding)”, uma vez que é o único capaz de penetrar espessuras superiores a 6mm.

Processo de Soldadura	Espessura de Penetração Máxima
SMAW	3mm
MIG/MAG	4mm
TIG	6mm
SAW	14mm

Tabela 4 - Espessura de penetração máxima de cada processo de soldadura

4.3. Controlo de Desenhos

Uma das características desta peça que também é limitadora no que se trata da escolha do processo de soldadura é o facto da mesma ter cordões de soldadura que apenas poderão ser executados do lado exterior do reservatório.

Esta limitação dificulta a utilização de processos com baixa capacidade de penetração e obriga a preparação de juntas únicas, pelo que o processo “Soldadura em Arco SAW (Submerged Arc Welding)” continua a ser o mais indicado.

Caso fosse possível realizar o processo de soldadura através do interior da peça, poder-se-ia optar pelo processo “Soldadura MAG”, pelas suas características tais como a facilidade de automatização do mesmo, alta velocidade de trabalho e possibilidade de soldar em qualquer posição.

4.4. Controlo de Qualidade

A obtenção de um acabamento com alta precisão é altamente dificultada pelo facto de este se tratar de um cordão com uma quantidade de soldadura alta. Conquanto isto seja, é possível evitar a existência de defeitos significativos e ter uma baixa deposição de resíduos materiais, sendo, mais uma vez, o processo ideal para que ambas estas condições se verifiquem o “Soldadura em Arco SAW (Submerged Arc Welding)”, pelo facto de este ser ideal para peças com cordões de soldadura uniformes e de espessura elevada (pela sua elevada capacidade de penetração). Também é de destacar o facto da escolha deste processo possibilitar a reutilização da parte do fluxo que não é fundida, o que minimiza os gastos.

4.5. Escolha do Processo Mais Indicado Para Cada Junta~

4.5.1. Juntas 1 a 4

Dada a elevada espessura de soldadura, é necessária a utilização de um processo de soldadura com alta capacidade de penetração.

Junta	1	2	3	4
Espessura	16mm	16mm	16mm	8mm

Tabela 5 - Espessura das Juntas 1 a 4

Assim, dada a espessura das juntas, o processo mais adequado é a soldadura em Arco Submerso, dada a sua capacidade de penetração.

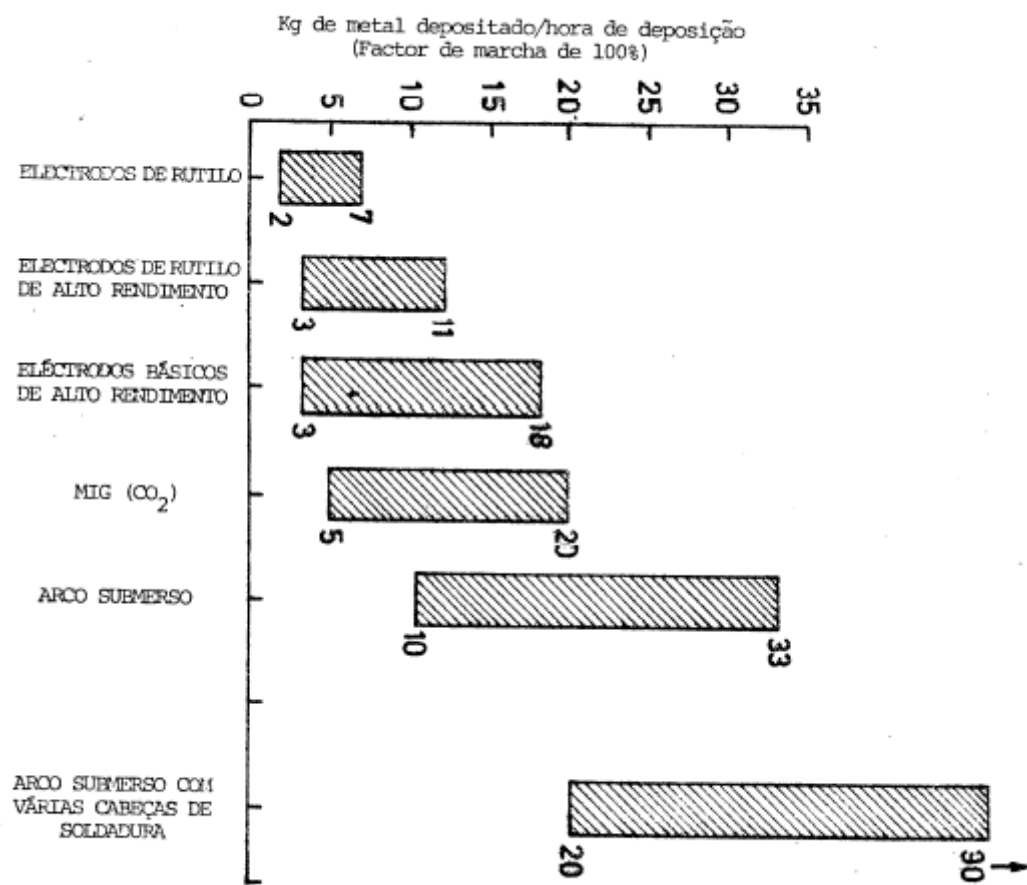


Figura 13 - Massa de Metal Depositado por Hora de Deposição para Diferentes Processos de Soldadura

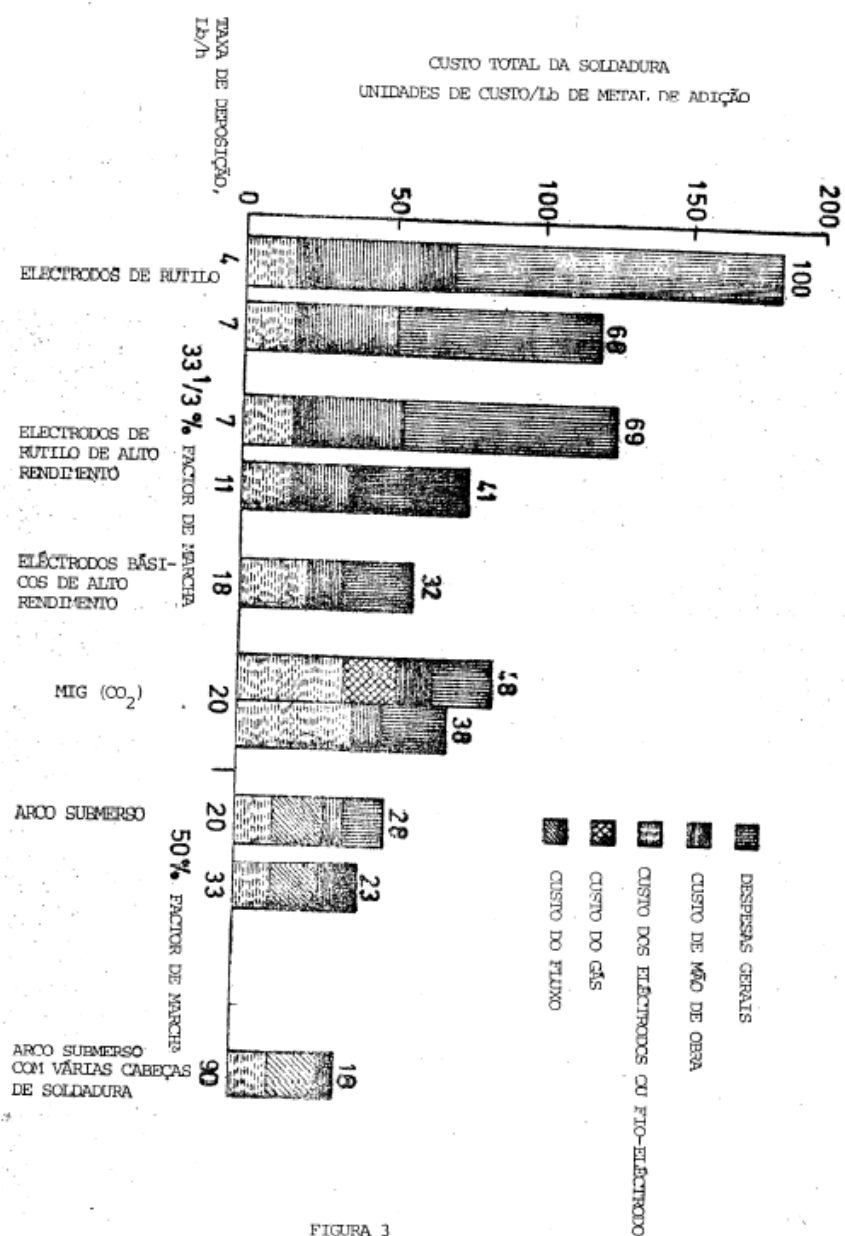


Figura 14 - Custo Total dos Diferentes Processos de Soldadura

Também são de destacar os factos de o processo de soldadura por Arco Submerso ser dos mais económicos e com maior velocidade de trabalho, ambas características desejáveis.

4.5.2. Juntas 5 a 10

Estas juntas, por possuírem uma espessura menor que as anteriores, possibilitam a utilização de processos de soldadura com menor capacidade de penetração mas, no entanto, com outras mais valias.

De facto, o processo mais adequado para estas é o “MAG”, pela sua alta velocidade e tendo em conta as propriedades geométricas das peças. Adicionalmente, uma vez que as juntas 9 e 10 são juntas de canto, a utilização do processo “Soldadura em Arco SAW (Submerged Arc Welding)” poderá levar a defeitos tais como mordedura ou bordas queimadas.

4.5.3. Juntas 11 a 14

Estas, por terem uma elevada espessura e altos comprimentos de soldadura, terão de ter a sua soldadura executada através do processo de soldadura por Arco Submerso, dada a sua capacidade de penetração.

No que se trata especificamente da última junta (décima-quarta), uma vez que a mesma será a última a ser implementada e tal impedirá o acesso de ambos os lados à mesma, deve-se optar por uma soldadura de duplo passo, com um primeiro passo feito pelo processo MAG e um segundo pelo processo de soldadura do Arco Submerso, de forma a garantir a penetração total da peça.

4.6. Resumo

	Juntas			
Processo	1 a 4	5 a 10	11 a 13	14
SAW	X		X	X
MIG/MAG		X		X

Tabela 6 - Resumo

5. Escolha dos materiais de adição adequados

Para garantir a qualidade de uma soldadura, não basta selecionar o processo mais apropriado ou assegurar a preparação correta das juntas. É igualmente necessário escolher o material de adição mais adequado, considerando o processo de soldagem e o tipo de junta em questão. A escolha inadequada do material de adição pode comprometer a integridade da solda, sendo, como tal, fundamental levar em conta os seguintes fatores:

- A composição química do material de adição deve ser o mais compatível possível com a do material base, de forma a evitar descontinuidades ou zonas de fraqueza na junta;
- As propriedades mecânicas do material de adição, como a tensão de rotura e a tensão de cedência, devem ser iguais ou superiores às do material base, assegurando a resistência e durabilidade da solda.

No processo de soldagem por arco submerso (SAW), utilizado em algumas juntas do componente em análise, o material de adição é uma combinação de fio e fluxo. Diferentes combinações de fios e fluxos resultam em variações nas propriedades mecânicas e na composição química do material depositado, evidenciando a importância de selecionar adequadamente o par fio-fluxo mais apropriado para cada aplicação.

Nos tópicos seguintes, foi adotada a utilização do mesmo eletrodo para as juntas soldadas pelo processo MIG/MAG. Esta decisão não apenas garante a adequação técnica do material de adição a cada tipo de junta, mas também contribui para a padronização do processo, permitindo ao soldador trabalhar com um único material de adição, o que torna o procedimento mais eficiente e prático.

5.1. Composições e características dos materiais de base:

Composição química:

%C ≤ 0,27	%Si = 0,13 – 0,45	%Mn = 0,79 - 1,30	%P ≤ 0,035	%S ≤ 0,040
-----------	-------------------	-------------------	------------	------------

Propriedades mecânicas:

R _{p02} = 295-356 MPa	R _m = 450-630 MPa	A = 22%
--------------------------------	------------------------------	---------

Figura 15 - SA 516 Gr. 70 - segundo o ASME (aço de placas) (elementos: 1;2;3;4;5;6;7)

Composição química:

%C ≤ 0,25	%Si ≥ 0,10	%Mn = 0,27- 0,93	%P ≤ 0,048	%S ≤ 0,058
-----------	------------	------------------	------------	------------

Propriedades mecânicas:

R _{p02} = 250-300 MPa	R _m = 400-450 MPa
--------------------------------	------------------------------

Figura 16 - SA 106 Gr. A - segundo o ASME (aço de extrusão a frio para tubos) (elemento: 9;10)

Composição química:

%C ≤ 0,35	%Si ≤ 0,35	%Mn = 0,6 – 1,05	%P ≤ 0,040	%S ≤ 0,050
-----------	------------	------------------	------------	------------

Propriedades mecânicas:

R _{p02} = 207-248 MPa	R _m = 414-482 MPa	A = 22 - 25%
--------------------------------	------------------------------	--------------

Figura 17 - SA 105 - segundo o ASME (aço para flanges) (elemento: 8;11)

5.2. Juntas 1, 2, 3 e 4

Estas juntas são longitudinais e envolvem todas o mesmo material base. Uma vez que o processo escolhido foi o arco submerso (SAW), e tendo em conta as composições químicas e as propriedades mecânicas escolhemos o eletrodo OK Autrod 12.10 com o fluxo OK Flux 10.71.

%C	%Si	%Mn	R _{p02} (MPa)	R _m (MPa)
0.04	0.3	1.0	360	465

Tabela 7 - Tabela das características de OK Autrod 12.10 com o fluxo OK Flux 10.71

5.3. Juntas 5 e 6

As seguintes juntas são entre dois materiais diferentes, o SA 106 Gr. A e o SA 105. Neste caso, considerámos que o eletrodo mais adequado é o OK Autrod 12.58, pois é o que apresenta maior semelhança quer a nível da composição química quer nas propriedades mecânicas (com a exceção da percentagem de Si).

%C	%Si	%Mn	R _{p02} (MPa)	R _m (MPa)
0.074	0.55	1.05	410/430	500/515

Tabela 8 - Tabela das características de OK Autrod 12.58

5.4. Juntas 7 e 8

Estas juntas tratam-se de juntas circunferências que unem uma peça constituída por **SA 106 Gr.**, a uma peça constituída por **SA 516 Gr. 70**. O eletrodo **OK Autrod 12.58** também, nesta situação, apresenta-se como o mais apropriado material de adição devido às suas semelhanças com os materiais base em questão.

%C	%Si	%Mn	R _{p02} (MPa)	R _m (MPa)
0.074	0.55	1.05	410/430	500/515

Tabela 9 - Tabela das características de OK Autrod 12.58

5.5. Juntas 9 e 10

O processo de soldadura MIG/MAG requer a utilização de um eletrodo com propriedades e composição química semelhantes ao material base, o **SA 516 Gr. 70**, levando, assim, à escolha do eletrodo **OK Autrod 12.58**.

%C	%Si	%Mn	R _{p02} (MPa)	R _m (MPa)
0.074	0.55	1.05	410/430	500/515

Tabela 10 - Tabela das características de OK Autrod 12.58

5.6. Juntas 11, 12, 13 e 14

O **SA 516 Gr. 70**, é o mesmo material para todas as peças envolvidas. O processo de soldadura utilizado é o arco submerso (SAW) nas mesmas condições que nas juntas 1, 2, 3 e 4, sendo o conjunto eletrodo-fluxo, respetivamente, o **OK Autrod 12.10** e o **OK Flux 10.71**.

%C	%Si	%Mn	R _{p02} (MPa)	R _m (MPa)
0.04	0.3	1.0	360	465

Tabela 11 - Tabela das características de OK Autrod 12.10 e o OK Flux 10.71

Como a junta 14 é a última a ser soldada, é necessário, antes do processo do arco submerso, fazer um passo com recurso ao método MIG/MAG com o eletrodo OK Autrod 12.58 para assegurar a penetração total.

%C	%Si	%Mn	R _{p02} (MPa)	R _m (MPa)
0.074	0.55	1.05	410/430	500/515

Tabela 12 - Tabela das características de OK Autrod 12.58

6. Preparação das juntas

A preparação das juntas é essencial para se obter um bom cordão de soldadura, e para realizar a mesma é necessário ter em conta as limitações dos processos selecionados. Sendo assim, a penetração máxima do processo de soldadura por arco submerso é 14mm e a do processo MAG é de 4mm.

6.1. Juntas 1,2,3,11,12 e 13

Nestas juntas o processo selecionado foi o SAW. Uma vez que a espessura destas chapas é de 16mm e que este valor excede a penetração máxima do processo, terá de ser realizada a preparação em Y e fazer um passe de retoma no interior de forma a garantir a total penetração. A soldadura é realizada topo a topo a baixo.

6.2. Junta 4

Apesar de também ser empregue o processo SAW, a junta apresenta uma espessura de apenas 8mm, pelo que não é necessária preparação e as bordas podem ser retas.

6.3. Juntas 5 e 6

Estas juntas irão ser soldadas através do processo MAG. São as juntas que unem as flanges ao tubo e apresentam uma espessura de 6mm, que é superior á penetração do processo. Devido a isso, e uma vez que necessitam de penetração total e que as juntas são apenas acessíveis pelo exterior, devido ao reduzido diâmetro da cavidade interior, será empregue uma preparação em Y com soldadura topo a topo ao baixo(1G) com mais de uma passagem.

6.4. Juntas 7 e 8

Estas juntas unem o tubo ao reservatório e irão ser soldadas na posição de canto horizontal 2F. O processo empregue é o MAG e é necessário penetração total, pelo que, uma vez que ambas as espessuras são superiores á penetração máxima, deve ser feita uma preparação em K, soldada uma vez no interior e outra no exterior.

6.5. Juntas 9 e 10

O processo a realizar é o MAG, contudo em contraste com as outras juntas deste tipo não é necessária penetração total, pelo que não exigem a utilização de chanfros. Ambas as juntas serão soldadas na posição 2F, sendo a 9 executada de ambos os lados (canto horizontal) e a 10 apenas do lado de fora.

6.6. Junta 14

Esta junta á semelhança das outras que serão soldadas com o processo SAW, requer uma penetração total e terá uma preparação em Y, contudo não é possível realizar um passe de retoma no interior. Devido a isso, deverá ser inicialmente soldada através do processo MAG sendo posteriormente pelo processo SAW, ambas na posição 1G

7. Temperatura de pré-aquecimento

Antes da soldadura ser realizada, deve-se fazer um pré-aquecimento da peça. Este processo evita a fissuração a frio induzida por hidrogénio, que resulta da acumulação de tensões residuais a temperatura ambiente, diminuindo a velocidade de arrefecimento da peça e evitando a formação de martensite.

Se a velocidade de arrefecimento for demasiado acentuada serão geradas tensões térmicas excessivas e criada uma zona temperada, aumentando assim exponencialmente o risco de fratura. Estes problemas potencialmente poderiam ser resolvidos com um tratamento térmico posterior á soldadura, contudo devido às dimensões da peça isto seria muito menos economicamente viável.

Para definir a temperatura de pré-aquecimento, é essencial definir os seguintes parâmetros:

- Carbono equivalente do material utilizado;
- Espessura combinada;
- Potencial de H₂ do processo adaptado;
- Energia térmica do arco.

Carbono equivalente

O cálculo do Carbono equivalente do material serve para descrever resumidamente a temperabilidade e composição química do mesmo. Para realizar esta tarefa existem diversas fórmulas, contudo no contexto deste trabalho iremos empregar a seguinte:

$$CE\% = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

Aço SA 516 Gr. 70:

$$CE\% = 0.27 + \frac{1.3}{6} + 0 + 0 = 0.49\%$$

Aço SA 106 Gr. A (elementos 9 e 10):

$$CE = 0.25 + \frac{0.93}{6} + 0 + 0 = 0.41\%$$

Aço SA 105 (elementos 9 e 11):

$$CE = 0.25 + \frac{1.05}{6} + 0 + 0 = 0.53\%$$

7.1. Espessura combinada

Este parâmetro descreve a capacidade de escoamento de calor da junta e consiste na soma das espessuras dos componentes que convergem na zona do cordão da soldadura (numa distância de 75mm). Quanto maior a espessura combinada, menor a velocidade de arrefecimento e por consequência, menor risco de o metal temperar e fraturar.

$$\text{Espessura combinada} = t1 + t2 + t3$$

$t1$ = média da espessura num comprimento superior a 75 mm

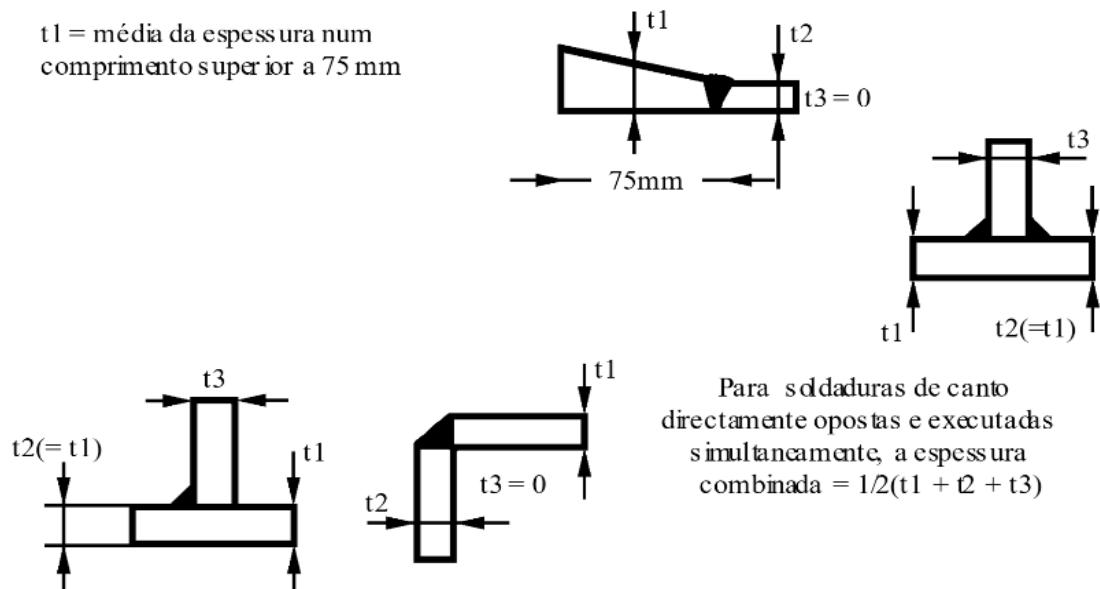


Figura 18 - Cálculo de espessura combinada

Como podemos observar na figura, em juntas topo a topo as espessuras devem somente ser somadas, contudo nas juntas de canto deve ser realizada a média das espessuras.

Tipo de soldadura	Junta	Espessura peça 1(mm)	Espessura peça 2(mm)	Espessura combinada(mm)
Topo a topo	1	16	16	32
	2	16	16	32
	3	16	16	32
	4	8	8	16
	5	6	6	12
	6	6	6	12
	11	16	16	32
	12	16	16	32
	13	16	16	32
	14	16	16	32
Canto	7	16	6	11
	8	16	6	11
	9	8	20	14
	10	16	8	12

Tabela 13 – Espessuras combinadas

7.2. Potencial de Hidrogénio

O potencial de hidrogénio consiste numa “escala” representativa do teor de hidrogénio presente no material depositado. O mesmo vai variar consoante o material de adição e o processo de soldadura.

A escala é a seguinte:

- Escala A: material depositado com teor de $H_2 > 15 \text{ ml/100g}$;
- Escala B: metal depositado com $H_2 < 15 \text{ ml/100g}$;
- Escala C: metal depositado com $H_2 < 10 \text{ ml/100g}$;
- Escala D: metal depositado com $H_2 < 5 \text{ ml/100g}$;
- Escala E: metal depositado com $H_2 < 3 \text{ ml/100g}$.

Geralmente falando com os elétrodos básicos deve-se usar a escala B, no caso de MIG/MAG com arame sólido poderá se usar a escala C, contudo a escala a ser utilizada deve ser analisada caso a caso.

Sendo assim, após consulta do catálogo ESAB, chegou-se à conclusão que o OK FLUX 10.71, utilizado para a soldadura por arco submerso, pertence à escala D. Por sua vez, para os processos MIG/ MAG, foi escolhida a escala C para o arame (OK AristoRod 12.57).

7.3. Energia térmica do arco

Quanto maior a energia térmica do arco, menor a velocidade de arrefecimento do material, diminuindo desta maneira a necessidade de pré-aquecimento.

A energia térmica do arco, ou energia térmica específica do arco, pode ser calculada através da seguinte fórmula:

$$E \left[\frac{kJ}{mm} \right] = \eta * \frac{Tensão\ do\ arco\ [V] * Intensidade\ [A]}{Velocidade\ de\ soldadura\ \left[\frac{mm}{s} \right]} * 10^{-3}$$

Sendo que η é a eficiência térmica do processo, para o processo SAW a mesma é 100% e para o processo MAG 80%.

Materiais de adição:

- OK FLUX 10.71

Voltagem(V)	Kg de fluxo/fio consumido DC	Kg de fluxo/fio consumido AC
26	0.7	0.6
30	1.0	0.9
34	1.3	1.2
38	1.6	1.4

Intensidade(A)	Velocidade de soldadura (mm/s)
580	9.17

Podemos agora aplicar a fórmula:

$$E = 1 * \frac{30 * 580}{9.17} * 10^{-3} = 1.897 \left[\frac{kJ}{mm} \right]$$

- OK AristoRod 12.58

Diâmetro(mm)	Voltagem(V)	Intensidade (A)
0.6	15-20	30-100
0.8	18-24	60-200
0.9	18-26	70-250
1.0	18-32	80-300
1.2	18-34	120-380
1.6	28-38	225-550

Tabela 14 – Relação entre a voltagem e a intensidade

Uma vez que se trata de um processo manual de MAG, utilizar-se-á o valor de velocidade de referência de 25 cm/min (4.17 mm/s):

$$E = 0.8 * \frac{18 * 130}{4.17} * 10^{-3} = 0.449 \left[\frac{kJ}{mm} \right]$$

7.4. Resultados

Uma vez que todos os parâmetros estão obtidos podemos determinar a temperatura necessária de pré-aquecimento para cada processo. É relevante mencionar que todos os materiais base utilizados têm um carbono equivalente inferior a 0.6%.

Em juntas de materiais diferentes será utilizado o maior valor de Carbono equivalente uma vez que este representa a maior temperabilidade.

Junta 1:

Para a junta 1, temos um valor de CE de 0.49% e um potencial de H2 na escala D, como mencionado previamente.

Recorrendo á tabela fornecida, em que sabendo o potencial de H2 e o carbono equivalente do material podemos descobrir o gráfico de temperaturas a consultar.

		Escala H2			
		A	B	C	D
CE	-	0.32	0.35	0.43	
	0.33	0.38	0.41	0.46	► ver (b)
	0.38	0.41	0.43	0.48	► ver (c)
	0.41	0.43	0.45	0.50	► ver (d)
	0.43	0.45	0.47	0.53	► ver (e)
	0.45	0.47	0.49	0.55	► ver (f)
	0.47	0.49	0.51	0.57	► ver (g)
	0.49	0.51	0.53	0.58	► ver (h)
	0.51	0.53	0.55	-	► ver (i)
	0.53	0.55	0.57	-	► ver (j)

Figura 19 – Escala H2

Após consulta concluímos que o valor igual ou superior ao CE da junta na escala D é 0.50, pelo que temos que consultar o gráfico de temperaturas fornecido d), onde iremos utilizar a espessura combinada da junta (32 mm) e a energia térmica do arco ($1.897 \frac{kJ}{mm}$) para determinar a temperatura de pré-aquecimento.

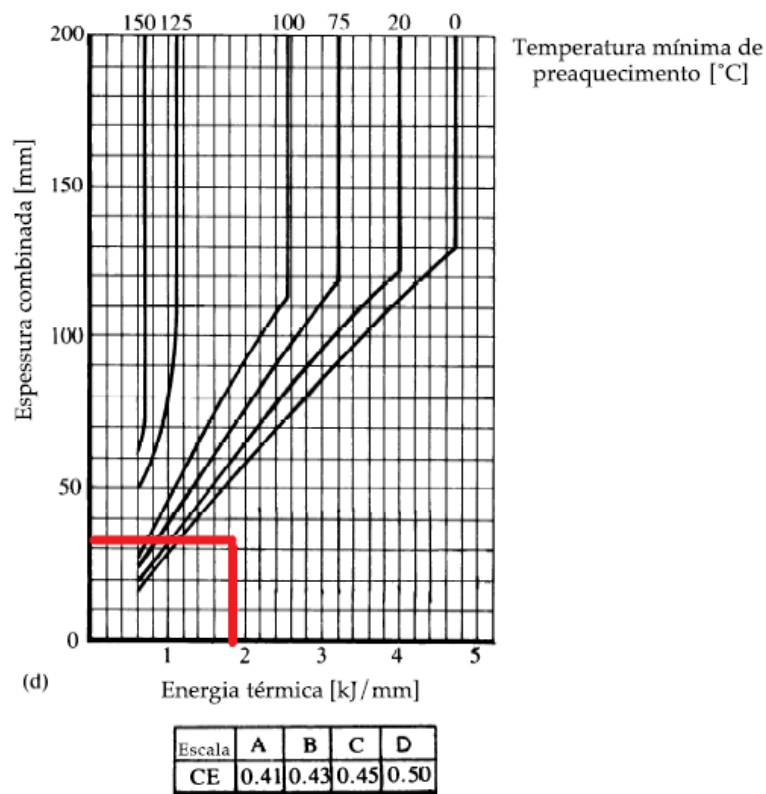


Figura 20 – Relação entre energia e temperatura

Uma vez que o ponto se encontra abaixo da linha de 0°C, conclui-se que neste caso não se aplica pré-aquecimento.

Realizou-se o mesmo processo para as outras juntas chegando-se á seguinte tabela.

Junta	%CE	Escala H2	Gráfico	Espessura combinada(mm)	Energia térmica (kJ/mm)	Pré aquecimento
1	0.49	D	d	32	1.897	Não
2	0.49	D	d	32	1.897	Não
3	0.49	D	d	32	1.897	Não
4	0.49	D	d	16	1.897	Não
5	0.53	C	h	12	0.844	Não
6	0.53	C	h	12	0.844	Não
7	0.44	C	d	32	0.844	Não
8	0.44	C	d	32	0.844	Não
9	0.49	C	f	32	0.844	Não
10	0.49	C	f	32	0.844	Não
11	0.49	D	d	11	1.897	Não
12	0.49	D	d	11	1.897	Não
13	0.49	D	d	14	1.897	Não
14	0.49	C	f	12	1.897	Não

Tabela 15 – Resultados do pré-aquecimento

8. Conclusão

Ao realizarmos este trabalho, ficámos a compreender a importância do preparo e do estudo detalhado que antecede o processo de soldadura, fundamentais para assegurar uma execução eficiente e de qualidade. Iniciamos o estudo com a modelação da estrutura proposta no SolidWorks, permitindo-nos visualizar a montagem e determinar a melhor sequência para sua execução. Este passo inicial foi essencial para minimizar a ocorrência de erros durante a fase final. De seguida, analisamos os materiais base e as juntas da estrutura, concluindo que os processos de soldadura mais adequados eram o MAG e o arco submerso. Com base no catálogo técnico disponível, selecionamos os materiais de adição, de forma a garantir compatibilidade química e desempenho mecânico satisfatório. Por fim, realizamos o cálculo das temperaturas de pré-aquecimento, essenciais para prevenir defeitos, como fissuração, decorrentes da formação de estruturas martensíticas frágeis provocadas por arrefecimento rápido. Contudo, concluímos que, para as juntas estudadas, o pré-aquecimento não foi necessário. Assim, este trabalho reforçou a importância de uma abordagem sistemática e criteriosa na preparação para processos de soldadura, destacando o impacto direto do planeamento nas etapas subsequentes e no resultado final e permitiu-nos aprofundar os conceitos abordados nas aulas de uma forma que de outro modo não seria possível.

9. Bibliografia

- [1] Bera, T. (n.d.). *The history of development of gas metal arc welding process*. Recuperado de <https://www.researchgate.net>
- [2] YesWelder. (n.d.). *Welding industry: Insights and growing trends*. Recuperado de <https://wholesale.yeswelder.com>
- [3] TAF Publications. (n.d.). *Effect of shielded metal arc welding (SMAW)*. Recuperado de <https://tafpublications.com>
- [4] Welding Classroom. (n.d.). *SMAW advantages and disadvantages*. Recuperado de <https://blog.weldingclassroom.com>
- [5] Substech. (n.d.). *Shielded metal arc welding (SMAW)*. Recuperado de <https://www.substech.com>
- [6] Lancaster, J. F. (1986). *Submerged-arc welding*. Recuperado de <https://books.google.pt>
- [7] Motofil. (n.d.). *Advantages and disadvantages of submerged arc welding*. Recuperado de <https://www.motofil.com>
- [8] Welding and NDT. (n.d.). *Submerged arc welding*. Recuperado de <https://www.weldingandndt.com>
- [9] D1Wqtxts1xzle7. (2011). *The parameters and equipment used in TIG welding*. Recuperado de <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net>
- [10] Norsemen Safety. (n.d.). *5 advantages and disadvantages of TIG welding*. Recuperado de <https://norsemensafety.co.uk>
- [11] ResearchGate. (n.d.). *TIG & MIG hybrid welded steel joint: A review*. Recuperado de <https://www.researchgate.net>
- [12] Springer. (2019). *Analysis of fatigue-related aspects of FCAW and GMAW butt-welded joints in a structural steel*. Recuperado de <https://link.springer.com>
- [13] Arc Captain. (n.d.). *Understanding the key differences in FCAW and GMAW welding techniques*. Recuperado de <https://www.arccaptain.com>
- [14] ResearchGate. (n.d.). *Residual stresses in cold-wire gas metal arc welding*. Recuperado de <https://www.researchgate.net>
- [15] Welding Is. (n.d.). *FCAW (Flux Core Arc Welding)*. Recuperado de <https://www.weldingis.com>
- [16] PDF *enunciado trabalho-soldadura-2023-24*. Disponível nos conteúdos da cadeira Processos de Fabrico I.
- [17] ESAB, "Welding Filler Metal Handbook", PDF *Filler_Metal_Handbook-global 2016-catalogo*. Disponibilizado pelo professor Miguel Figueiredo.

[18] Augusto Fernandes, António e Miguel Figueiredo. 2007. “Processos de Fabrico I”. Textos de apoio ao módulo de soldadura da LEM.

10. Anexos

MIG/MAG WIRES (GMAW)

MILD STEEL WIRES



OK Autrod 12.58

OK Autrod 12.58 is a copper-coated, Mn-Si-alloyed G2Si/ER70S-3 solid wire for the GMAW of non-alloyed steels, as used in general construction, pressure vessel fabrication and shipbuilding. The wire has a carefully controlled wire chemistry and a unique surface technology providing superior weld -metal quality at high wire feed speeds and at high welding currents. The wire can be used with both Ar/CO₂ mixed gas and pure CO₂ shielding gas.

Classifications Weld Metal:	EN ISO 14341-A:G 35 2 C1 2Si, EN ISO 14341-A:G 38 3 M21 2Si
Classifications Wire Electrode:	EN ISO 14341-A:G 2Si, SFA/AWS A5.18:ER70S-3
Approvals:	CE EN 13479, ABS 3YSA (M21), ABS 3YSA (C1), BV SA3YM (C1&M21), LR 3YS H15 (C1), LR 3YS H15 (M21), DB 42.039.17, GL 3YS (C1&M21), LR 3YM H15 (C1), LR 3YM H15 (M21), VdTÜV 07653

Approvals are based on factory location. Please contact ESAB for more information.

Alloy Type:	Carbon-manganese steel (Mn/Si-alloyed)
--------------------	--

Typical Tensile Properties

Condition	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation
EN 80Ar/20CO₂ (M21)			
As welded	430 MPa	515 MPa	26 %
EN CO₂ (C1)			
As welded	410 MPa	500 MPa	30 %

Typical Charpy V-Notch Properties

Condition	Testing Temperature	Impact Value
EN 80Ar/20CO₂ (M21)		
As welded	20 °C	140 J
As welded	-20 °C	130 J
As welded	-30 °C	90 J
EN CO₂ (C1)		
As welded	20 °C	125 J
As welded	-20 °C	90 J

Typical Wire Composition %

C	Mn	Si
0.074	1.05	0.55

OK Flux 10.71

OK Flux 10.71 is an agglomerated, basic flux for submerged arc welding. It is used for single and multi-run welding of all plate thicknesses. It can be combined with a wide range of solid wires and cored wires and thus it is suitable for all kinds of steels. OK Flux 10.71 combines good toughness values with excellent weldability. It is used for single and multiwire procedures such as tandem, twin-arc, tandem-twin welding and many more, for butt, overlap and fillet welds. It works equally well on DC and AC current. The good slag detachability and limited alloying of Si and Mn makes it well suited for multi-pass thick section welding. High welding speeds can be achieved producing a finely rippled weld metal, all this in combination with very good impact values. In general construction, OK Flux 10.71 is one of the most used SAW fluxes. Not just for structural steels and fine-grained steels, but also for weather resistant steels e.g. for bridges. Pressure vessels are welded with this flux, because it can be used for a wide range of steels including low temperature steels. This reduces the number of different fluxes a customer needs to have in stock. Wind tower production with plate thicknesses of greater than 50 mm require not only excellent slag detachability, particularly in the first run, and high deposition rates in all following runs, but also excellent toughness values. Since OK Flux 10.71 offers all this it is well established in this market segment. Other applications are in shipbuilding with approvals or in the production of pipes with steels up to X70 strength level. OK Flux 10.71 can also be combined with a number of SAW cored wires in order to increase the productivity and the mechanical properties of the weld metal.

Classifications:	EN ISO 14174:S A AB 1 67 AC H5
Approvals:	CE EN 13479, NAKS/HAKC RD 03-613-03, NAKS/HAKC RD 03-613-03, DB 51.039.05

Approvals are based on factory location. Please contact ESAB for more information.

Diffusible Hydrogen:	max 5 ml H/100g weld metal (Redried flux)
Slag Type:	Aluminate-basic
Alloy Transfer:	Slightly Silicon and moderately Manganese alloying
Density:	nom: 1.2 kg/dm ³
Basicity Index:	nom: 1.5
Grain Size (met):	0.2-1.6 mm (10x65 mesh) or 0.315 -2.0 mm (9x48 mesh)

Flux Consumption		
Volts	kg Flux / kg Wire DC+	kg Flux / kg Wire AC
26 V	0.7 kg	0.6 kg
30 V	1.0 kg	0.9 kg
34 V	1.3 kg	1.2 kg
38 V	1.6 kg	1.4 kg

Dimensions	Amps	Travel Speed
Ø 4.0 mm	580 A	55 cm/min

Classifications	Wire	Weld Metal		
Wire	AWS/EN	EN - As Welded	AWS - As Welded	AWS - PWHT
OK Autrod 12.10	A5.17:EL12/ 14171-A:S1	S 35 4 AB S1	A5.17: F6A4-EL12	A5.17: F6P5-EL12
OK Autrod 12.20	A5.17:EM12/ 14171-A:S2	S 38 4 AB S2	A5.17: F7A4-EM12	A5.17: F6P4-EM12
OK Autrod 12.22	A5.17:EM12K/ 14171-A:S2Si	S 38 4 AB S2Si	A5.17: F7A5-EM12K	A5.17: F6P5-EM12K

OK Flux 10.71

Classifications	Wire	Weld Metal		
Wire	AWS/EN	EN - As Welded	AWS - As Welded	AWS - PWHT
OK Autrod 12.24	A5.23:EA2/ 14171-A:S2Mo; 24598-A:S S Mo	S 46 2 AB S2Mo	A5.23: F8A2-EA2-A4	A5.23: F7P0-EA2-A4
OK Autrod 12.30	14171-A:S3	S 46 3 AB S3	-	-
OK Autrod 12.32	A5.17:EH12K/ 14171-A:S3Si	S 46 4 AB S3Si	A5.17: F7A5-EH12K	A5.17: F7P5-EH12K
OK Autrod 12.34	A5.23:EA4/ 14171-A:S3Mo; 24598-A:S S MnMo	S 50 3 AB S3Mo	A5.23: F8A4-EA4-A3	A5.23: F8P2-EA4-A3
OK Autrod 13.24	A5.23:ENi6/ 14171-A:S3Ni1Mo0,2	S 50 4 AB S3Ni1Mo0,2	A5.23: F8A5-ENi6-Ni6	A5.23: F8P4-ENi6-Ni6
OK Autrod 13.27	A5.23:ENi2/ 14171-A:S2Ni2	S 46 5 AB S2Ni2	A5.23: F8A6-ENi2-Ni2	A5.23: F7P6-ENi2-Ni2
OK Autrod 13.36	A5.23:EG/ 14171-A:S2Ni1Cu	S 46 3 AB S2Ni1Cu	A5.23: F8A2-EG-G	-
OK Autrod 13.64	A5.23:EA2TiB/ 14171-A:S2MoTiB	-	A5.23: F8TA6-EA2TiB	-

Approvals												
Wire	ABS	BV	DNV	GL	LR	DB	CE	PRS	RINA	RS	ClassNK	VdTÜV
OK Autrod 12.10	•	•	•	•	•	•	•	•	-	•	-	•
OK Autrod 12.20	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	-	•
OK Autrod 12.22	•	•	•	•	•	•	•	-	-	•	•	•
OK Autrod 12.24	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
OK Autrod 12.30	-	-	-	-	-	•	•	-	-	-	-	•
OK Autrod 12.32	-	-	-	-	-	•	•	-	-	-	-	•
OK Autrod 13.27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	•
OK Autrod 13.36	-	-	-	-	-	-	•	-	-	-	-	-

*Selected production units only. Please contact ESAB for more information.

Visit esab.com to download specific flux/wire combination fact sheets for more details.

Typical Mechanical Properties					
Wire	Condition	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation	Charpy V-Notch
OK Autrod 12.10	As Welded AWS DC+	360 MPa	465 MPa	30 %	125 J @ 0°C 95 J @ -20°C 75 J @ -30°C 65 J @ -40°C
OK Autrod 12.20	As Welded AWS DC+	410 MPa	510 MPa	29 %	135 J @ 20°C 125 J @ 0°C 80 J @ -20°C 55 J @ -40°C


OK Flux 10.71

Typical Mechanical Properties					
Wire	Condition	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation	Charpy V-Notch
OK Autrod 12.22	As Welded AWS DC+	425 MPa	520 MPa	29 %	140 J @ 0°C 100 J @ -20°C 60 J @ -40°C 40 J @ -46°C
OK Autrod 12.24	As Welded AWS DC+	500 MPa	580 MPa	24 %	125 J @ 20°C 100 J @ 0°C 60 J @ -18°C 40 J @ -29°C
OK Autrod 12.30	As Welded EN DC+	490 MPa	580 MPa	29 %	130 J @ 20°C 110 J @ 0°C 90 J @ -20°C 60 J @ -30°C
OK Autrod 12.32	As Welded AWS DC+	480 MPa	580 MPa	28 %	150 J @ 20°C 130 J @ 0°C 95 J @ -20°C 65 J @ -40°C 40 J @ -46°C
OK Autrod 12.34	As Welded AWS DC+	535 MPa	620 MPa	27 %	120 J @ 20°C 105 J @ 0°C 70 J @ -20°C 60 J @ -30°C 45 J @ -40°C
OK Autrod 13.24	As Welded AWS DC+	560 MPa	630 MPa	25 %	120 J @ 20°C 85 J @ -20°C 70 J @ -30°C 60 J @ -40°C 40 J @ -46°C
OK Autrod 13.27	As Welded AWS DC+	500 MPa	600 MPa	28 %	100 J @ -20°C 60 J @ -40°C 50 J @ -51°C
OK Autrod 13.36	As Welded AWS DC+	490 MPa	580 MPa	27 %	120 J @ 20°C 70 J @ -20°C 55 J @ -29°C
OK Autrod 13.64	Two-Run (acc. to AWS) Plate thickness 12mm Heat input 2.2kJ/mm 700A, 32V, 60cm/min DC+	550 MPa	650 MPa	28 %	40 J @ -51°C

Typical Weld Metal Analysis %						
C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	Cu
OK Autrod 12.10 DC+ , 580A, 29V						
0.04	1.0	0.3	-	-	-	-
OK Autrod 12.20 DC+, 580A, 29V						
0.05	1.35	0.3	-	-	-	-

OK Flux 10.71

Typical Weld Metal Analysis %						
C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	Cu
OK Autrod 12.22 DC+, 580A, 29V						
0.05	1.4	0.5	-	-	-	-
OK Autrod 12.24 DC+, 580A, 29V						
0.05	1.4	0.4	-	-	0.5	-
OK Autrod 12.30 DC+, 580A, 29V						
0.09	1.65	0.4	-	-	-	-
OK Autrod 12.32 DC+, 580A, 29V						
0.09	2.0	0.5	-	-	-	-
OK Autrod 12.34 DC+, 580A, 29V						
0.09	1.6	0.4	-	-	0.5	-
OK Autrod 13.24 DC+, 580A, 29V						
0.07	1.70	0.5	0.9	-	0.2	-
OK Autrod 13.27 DC+, 580A, 29V						
0.05	1.4	0.4	2.2	-	-	-
OK Autrod 13.36 DC+, 580A, 29V						
0.08	1.3	0.5	0.7	0.3	-	0.5

 FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO	PROCEDIMENTO DE SOLDADURA WPS - Welding Procedure Specification Segundo o código: ASME IX				REVISÕES:		Página:	
					Data:			
	DEMec - Departamento de Engenharia Mecânica				Data:			

Título: Rematão Vertical - Junta 5 a 10

Processo de soldadura: GMAW Tipo: Semi-Automática WPS N° 1 PQR N°

Características Eléctricas:

Tipo de corrente: ☐ AC
☒ DC

Polaridade: ☒ +
☐ -

Intensidade (gama): 120 - 380 (Ampere)

Dimensões e tipo do eléctrodo de Tungsténio:

Tipo de transferência de metal (GMAW): Auto - Circuito

Velocidade do fio eléctrodo (gama): 2,5 a 15 m/min Outros:

Técnicas operatórias:

☒ Corrido
 Passe: ☐ Balanceado

Dimensão do orifício do buse da tocha:

Limpeza inicial e de entre passes (desengordurantes, escova, rebarbadora, picadora, etc): Picadora

Retoma: ☐ Sim
☒ Não

Método: Oscilação: ☐ Sim
☐ Não

Passe: ☒ Simples
☐ Multipasse

Distância tubo de contacto/peça: (mm)

Eléctrodos: ☒ Simples
☐ Múltiplos

Velocidade de soldadura (gama): Martelagem: ☐ Sim
☐ Não

Outros (gás, caudal, etc):

Passe(s)	Processo	Metal de adição		Corrente			Tensão (Volt)	Velocidade de soldadura	Outros
		Classe (AWS)	Ø	AC/DC	+/-	Ampere			
	GMAW	ER70S-3	1,2	DC	+	250	26	25 m/min	

Observações:	Testes:	Exec. por:	
		Verif. por:	
		Cliente:	
		Inspeção:	

U. PORTO <small>FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO</small>	PROCEDIMENTO DE SOLDADURA WPS - Welding Procedure Specification Code: ASME IX	REVISÕES:	Página:
		Data:	
	DEMec - Departamento de Engenharia Mecânica	Data:	

Título: Reumotores Vertical - Junta 5 x 6

Processo de soldadura: GMAW Tipo: Semi-Automático WPS N° 1 PQR N°

Preparação de juntas:

Tipo de preparação: Cobrejunta:
 ☐ Sim
 ☒ Não
 Material da cobrejunta:

<p style="text-align: center;">Metal base:</p> <p>Especificação, tipo e grau: <u>SA 106 Gr A / SA 105</u></p> <p>P-n° <u>1</u> Gr. n° <u>1</u> / P-n° <u>1</u> Gr. n° <u>2</u></p> <p>Gama de espessuras:</p> <p>Metal base: <u>16 mm</u> <input checked="" type="checkbox"/> Topo a topo <input type="checkbox"/> Canto</p> <p>Metal depositado: <input type="checkbox"/> Topo a topo <input type="checkbox"/> Canto</p> <p>Diâmetro dos tubos:</p> <p>Outros:</p>	<p style="text-align: center;">Metal de adição:</p> <p>F-n° <u>6</u> A-n° <u>1</u></p> <p>N° da especificação (SFA): <u>AS 10</u></p> <p>Classificação AWS: <u>ER 70 S - 3</u></p> <p>Classificação do fio/fluxo:</p> <p>Dimensões do material de adição:</p> <p>Marca do material de adição:</p> <p>Observações:</p>
<p style="text-align: center;">Préaquecimento:</p> <p>Temperatura mínima de préaquecimento: (°C)</p> <p>Temperatura máxima de entre passes: (°C)</p> <p>Modo de aplicação do préaquecimento:</p>	<p style="text-align: center;">Tratamento térmico após soldadura:</p> <p>Intervalo de temperaturas: (°C) Tempo: (h)</p> <p>Velocidade de aquecimento: (°C/h)</p> <p>Velocidade de arrefecimento: (°C/h)</p>

Posição de soldadura:

Topo a topo: ☒ Canto: ☐

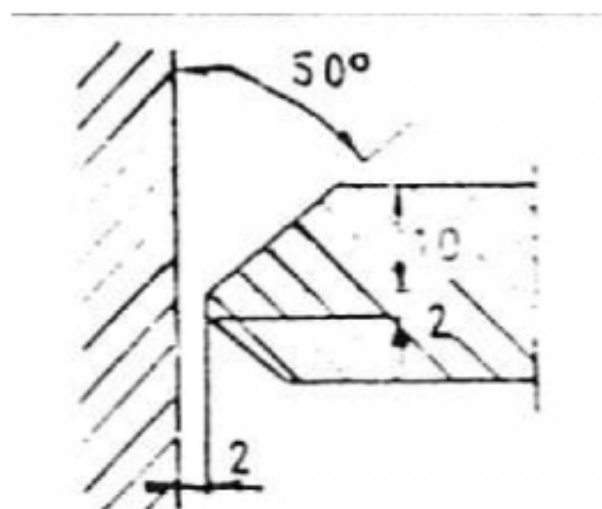
Progressão da soldadura: ☐ Ascendente ☐ Descendente

Título: Revisão Vertical - Junta 7 e 8

Processo de soldadura: GMAW Tipo: Semi-Automático WPS N° 1 PQR N°

Preparação de juntas:

Tipo de preparação: 12 Cobrejunta: ☐ Sim ☒ Não Material da cobrejunta:



Metal base:

Especificação, tipo e grau: SA 516 Gr. A / SA 516 Gr. A

P-n° 1 Gr. n° 1 / P-n° 1 Gr. n° 1

Gama de espessuras:

Metal base: ☐ Topo a topo

☒ Canto

Metal depositado:

Diâmetro dos tubos: ☐ Topo a topo

☐ Canto

Outros:

Metal de adição:

F-n° 6 A-n° 1

N° da especificação (SFA): A 5.18

Classificação AWS: ER305-3

Classificação do fio/fluxo:

Dimensões do material de adição:

Marca do material de adição:

Observações:

Préaquecimento:

Temperatura mínima de préaquecimento:(°C)

Temperatura máxima de entre passes:(°C)

Modo de aplicação do préaquecimento:

Tratamento térmico após soldadura:

Intervalo de temperaturas:(°C) Tempo:(h)

Velocidade de aquecimento:(°C/h)

Velocidade de arrefecimento:(°C/h)

Posição de soldadura:

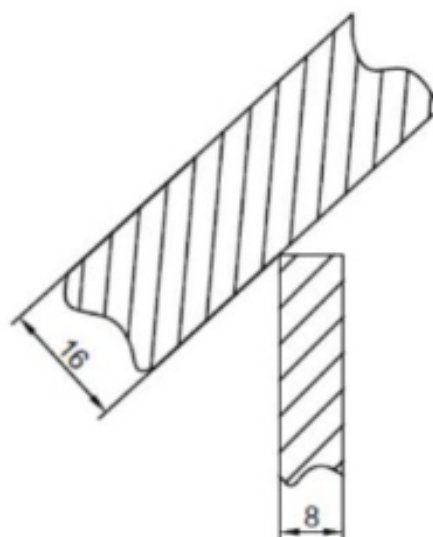
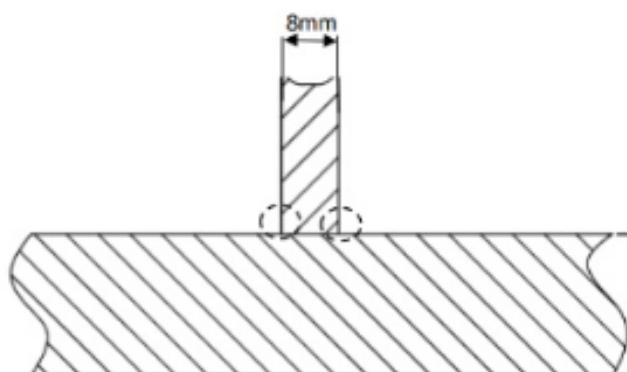
Topo a topo: ☐ Canto: ☒ 2F Progressão da soldadura: ☐ Ascendente ☐ Descendente

Título: Revolvendo Vertical - Junta 9 x 10

Processo de soldadura: GMAW Tipo: Semi-Automático WPS N° 1 PQR N°

Preparação de juntas:

Tipo de preparação: Cobrejunta: ☐ Sim ☐ Não Material da cobrejunta:



Metal base:

Especificação, tipo e grau: SA 516 Gr. 30 / SA 516 Gr. 30

P-n° 1 Gr. n° 1 / P-n° 1 Gr. n° 1

Gama de espessuras:

Metal base: ☐ Topo a topo ☒ Canto

Metal depositado:

Diâmetro dos tubos: ☐ Topo a topo ☐ Canto

Outros:

Metal de adição:

F-n° 6 A-n° 1

N° da especificação (SFA): AS 16

Classificação AWS: ER 305-3

Classificação do fio/fluxo:

Dimensões do material de adição:

Marca do material de adição:

Observações:

Préaquecimento:

Temperatura mínima de préaquecimento:(°C)

Temperatura máxima de entre passes:(°C)

Modo de aplicação do préaquecimento:

Tratamento térmico após soldadura:


Intervalo de temperaturas:(°C) Tempo:(h)

Velocidade de aquecimento:(°C/h)

Velocidade de arrefecimento:(°C/h)

Posição de soldadura:

Topo a topo: ☐ Canto: ☒ 2F Progressão da soldadura: ☐ Ascendente ☐ Descendente

 FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO	PROCEDIMENTO DE SOLDADURA WPS - Welding Procedure Specification Segundo o código: ASME IX DEMec - Departamento de Engenharia Mecânica					REVISÕES: Data: Data:		Página:	
	Título: <u>Receptor Vertical - Junta 1 a 4 e 11 a 14</u>								
	Processo de soldadura: <u>SAW</u> Tipo: <u>Automático</u> WPS Nº <u>1</u> PQR Nº								
Características Eléctricas:									
Tipo de corrente: <input type="checkbox"/> AC <input checked="" type="checkbox"/> DC		Polaridade: <input checked="" type="checkbox"/> + <input type="checkbox"/> -		Intensidade (gama): <u>580</u> (Ampere)					
Dimensões e tipo do eléctrodo de Tungsténio:									
Tipo de transferência de metal (GMAW):									
Velocidade do fio eléctrodo (gama): Outros:									
Técnicas operatórias:									
<input checked="" type="checkbox"/> Corrido Passe: <input type="checkbox"/> Balanceado Dimensão do orifício do buse da tocha:									
Limpeza inicial e de entre passes (desengordurantes, escova, rebarbadora, picadora, etc): <u>Picadora</u>									
Retoma: <input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não		Método: Oscilação: <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		Passe: <input checked="" type="checkbox"/> Simples <input type="checkbox"/> Multipasse <input checked="" type="checkbox"/> Simples <input type="checkbox"/> Múltiplos					
Distância tubo de contacto/peça: (mm)				Eléctrodos: <input checked="" type="checkbox"/> Simples <input type="checkbox"/> Múltiplos					
Velocidade de soldadura (gama): Martelagem: <input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não				Outros (gás, caudal, etc):					
Passe(s)	Processo	Metal de adição		Corrente			Tensão (Volt)	Velocidade de soldadura	Outros
		Classe (AWS)	Ø	AC/DC	+/-	Ampere			
	SAW	FGA4-EZ12	40mm	DC	+	580	29	55cm/min	
Observações:				Testes:				Exec. por:	
								Verif. por:	
								Cliente:	
								Inspeção:	

PROCEDIMENTO DE SOLDADURA

WPS - Welding Procedure Specification
Code: ASME IX

DEMec - Departamento de Engenharia Mecânica

REVISÕES:

Página:

Data:

Data:

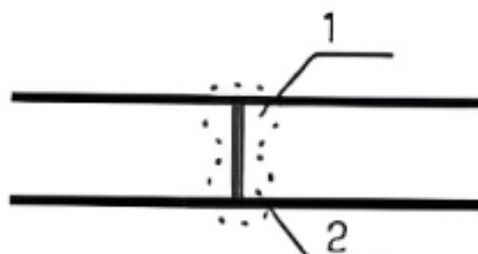
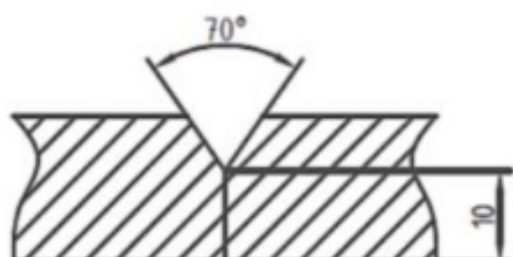
...../...../.....

Título: Revolvete Vertical - Juntas 1 a 4 e 11 a 14

Processo de soldadura: SAW Tipo: Automático WPS N° 1 PQR N°

Preparação de juntas:

Tipo de preparação: Y (1-3; 11-14) Cobrejunta: ☐ Sim ☒ Não Material da cobrejunta:



Metal base:

Especificação, tipo e grau: SA 516 Gr 70 / SA 616 Gr 30

P-n° 1 Gr. n° 1 / P-n° 1 Gr. n° 1

Gama de espessuras:

Metal base: ☒ Topo a topo

☐ Canto

Metal depositado:

Diâmetro dos tubos: ☐ Topo a topo

☐ Canto

Outros:

Metal de adição:

F-n° 6 A-n° 1

N° da especificação (SFA): A 5.17

Classificação AWS: F 6A4-EL12

Classificação do fio/fluxo: F20

Dimensões do material de adição:

Marca do material de adição:

Observações:

Préaquecimento:

Temperatura mínima de préaquecimento:(°C)

Temperatura máxima de entre passes:(°C)

Modo de aplicação do préaquecimento:

Tratamento térmico após soldadura:

Intervalo de temperaturas:(°C) Tempo:(h)


Velocidade de aquecimento:(°C/h)

Velocidade de arrefecimento:(°C/h)

Posição de soldadura:

Topo a topo: ☒ Canto: ☐ 1 G Progressão da soldadura: ☐ Ascendente

☐ Descendente

 FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO	PROCEDIMENTO DE SOLDADURA WPS - Welding Procedure Specification Segundo o código: ASME IX DEMec - Departamento de Engenharia Mecânica				REVISÕES: Data: Data:		Página:/.....		
	Título: <u>Revestimento Vertical - Junta 1 a 4 e 11 a 14</u>								
	Processo de soldadura: <u>SAW</u> Tipo: <u>Automático</u> WPS Nº <u>1</u> PQR Nº								
Características Eléctricas:									
Tipo de corrente: <input type="checkbox"/> AC <input checked="" type="checkbox"/> DC		Polaridade: <input checked="" type="checkbox"/> + <input type="checkbox"/> -		Intensidade (gama): <u>580</u> (Ampere)					
Dimensões e tipo do eléctrodo de Tungsténio:									
Tipo de transferência de metal (GMAW):									
Velocidade do fio eléctrodo (gama): Outros:									
Técnicas operatórias:									
Passe: <input checked="" type="checkbox"/> Corrido <input type="checkbox"/> Balanceado		Dimensão do orifício do buse da tocha:							
Limpeza inicial e de entre passes (desengordurantes, escova, rebarbadora, picadora, etc): <u>Picadora</u>									
Retoma: <input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não		Método:		Oscilação: <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		Passe: <input checked="" type="checkbox"/> Simples <input type="checkbox"/> Multipasse			
Distância tubo de contacto/peça: (mm)				Eléctrodos: <input checked="" type="checkbox"/> Simples <input type="checkbox"/> Múltiplos					
Velocidade de soldadura (gama):				Martelagem: <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		Outros (gás, caudal, etc):			
Passe(s)	Processo	Metal de adição		Corrente			Tensão (Volt)	Velocidade de soldadura	Outros
		Classe (AWS)	Ø	AC/DC	+/-	Ampere			
	SAW	FGA4-EZ12	40mm	DC	+	580	29	55m/min	
Observações:				Testes:				Exec. por:	
								Verif. por:	
								Cliente:	
								Inspeção:	