Diseño de procedimientos de soldadura para la unión de elementos estructurales de una casa bote

Camilo Rangel Piedrahita

Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Modalidad de practica
Trabajo de Grado

Docente
Edwar Andrés Torres López, Doctor (PhD) en Ingeniería Mecánica

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Mecánica
Medellín, Antioquia, Colombia

2024

Cita	(Piedrahita Rangel, 2025)
Referencia **Estilo APA 7 (2020)**	Piedrahita Rangel C. (2025). *Diseño de procedimientos de soldadura para la unión de elementos estructurales de una casa bote* [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.







Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: http://bibliotecadigital.udea.edu.co

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado con toda gratitud a mis padres, quienes han sido el pilar fundamental en mi vida. A mi mamá, por su infinita dedicación, amor y apoyo incondicional, y a mi papá, por ser siempre mi guía y ejemplo para seguir. Gracias por creer en mí y por impulsarme a alcanzar mis sueños. A mi hermana, por estar siempre a mi lado, brindándome su apoyo y amistad incondicional. Su compañía y ánimo constante han sido esenciales en este camino. A mi tía Cristina y a mis tíos, Ramiro, Mauricio y Roberto, quienes han sido una segunda familia para mí. Su cariño y apoyo absoluto me han acompañado a lo largo de este proceso, y por ello, les estoy eternamente agradecido. Quiero también dedicar este logro a todos los profesores del pregrado, quienes con su dedicación, conocimientos y pasión por la enseñanza han sido una guía constante en mi formación académica y personal. Sus enseñanzas han dejado una huella imborrable en mi camino y han sido fundamentales para la realización de este trabajo.

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han sido fundamentales en la realización de este trabajo de grado. A todos mis profesores, por su dedicación, conocimientos y pasión por la enseñanza, que han sido una guía constante en mi formación académica y personal. Al profesor Pedro, por todo su apoyo y orientación durante este proceso. Al profesor Edwar, mi tutor, quien con su pasión por lo que sabe, ha sido una fuente de inspiración constante. Al profesor Jhon Ramiro, por su humildad y su excepcional manera de enseñar, especialmente durante los tiempos difíciles de la pandemia. Quiero extender mis agradecimientos a Createch, Galco y Proyemetal, empresas que han confiado en mis conocimientos y en las cuales he podido aplicar todo el conocimiento que he adquirido durante mis estudios y en las cuales he logrado aprender cómo funciona la industria metalmecánica. Por último, un agradecimiento especial a Melissa Trujillo, quien más que una amiga, ha sido una parte importante de mi familia, a Santiago Arenas y Jeisson Bedoya con quienes siempre pude contar. Su apoyo y amistad han sido fundamentales en mi vida académica y personal. A todos ustedes, les estoy eternamente agradecido. Sus enseñanzas y apoyo han sido esenciales para alcanzar este logro.

Tabla de contenido

Resumen 12

Abstract 13

1. Introducción 14

2. Objetivos 16

2.1 Objetivo general 16

2.2 Objetivos específicos 16

3. Marco teórico 17

3.1 Casa bote y sistemas que lo conforman 17

3.1.1 Sistema de flotación 18

3.1.2 Estructura 19

3.1.3 Tanques de almacenamiento 20

3.1.4 Sistema de impulsión 21

3.2 Soldadura por arco eléctrico 22

3.2.1 Soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido 23

3.2.2 Soldadura por arco de tungsteno con gas 24

3.2.3 Soldadura por arco eléctrico con gas 25

3.3 Estandarización de los procesos de soldadura 27

4. Metodología 29

4.1 Revisión bibliográfica 29

4.2 Determinación de las características de las juntas 29

4.2.1 Estructura de la casa bote 30

4.2.2 Sistema de flotación de la casa bote 31

4.2.3 Tanques 32

4.2.4 Diseño del soporte para el motor 32
4.3 Identificación de las juntas a las cuales se puede aplicar WPS precalificados 33
4.4 Diseño de WPS precalificados 33
4.4.1 Verificación de materiales base 34
4.4.2 Selección del metal de aporte 34
4.4.3 Verificación de tipo de junta.....34
4.4.4 Preparación de la junta.....35
4.4.5 Parámetros de soldadura 35
4.4.6 Métodos de soldadura 35
4.5 Recomendaciones de soldadura para las juntas no precalificadas 35
5. Análisis de resultados.....36
5.1 Determinación de las características de las juntas 36
5.1.1 Construcción el pontón en aluminio 36
5.1.2 Construcción de los tanques en acero inoxidable 41
5.1.3 Construcción e componentes estructurales en acero al carbono.....48
.....48
5.2 Identificación de las juntas a las cuales se puede aplicar WPS precalificados 52
5.3 Selección de parámetros operativos para PWPS y recomendaciones de soldadura.....52
5.3.1 Parámetros recomendados para la soldadura de las juntas de aluminio 52
5.3.2 Diseño de WPS precalificados en soldaduras de acero inoxidable.....56
5.3.3 Diseño de WPS precalificado para juntas en acero al carbono.....58
6. Conclusiones y recomendaciones.....64
Referencias 65
Anexos..... **¡Error! Marcador no definido.**

Lista de tablas

Tabla 1 45
Tabla 2 47
Tabla 3 52
Tabla 4 53
Tabla 5 55
Tabla 6 55
Tabla 7 56
Tabla 8 57
Tabla 9 57
Tabla 10 59
Tabla 11 60
Tabla 12 60
Tabla 13 61
Tabla 14 62
Tabla 15 62
Tabla 16 63

Lista de figuras

Figura 1 17

Figura 2 18

Figura 3 19

Figura 4 21

Figura 5 22

Figura 6 23

Figura 7 25

Figura 8 26

Figura 9 30

Figura 10 31

Figura 11 32

Figura 12 37

Figura 13 37

Figura 14 38

Figura 15 38

Figura 16 39

Figura 17 39

Figura 18 40

Figura 19 40

Figura 20 41

Figura 21 42

Figura 22 42

Figura 23 43

Figura 24 43

Figura 25 44
Figura 26 44
Figura 27 45
Figura 28 46
Figura 29 46
Figura 30 48
Figura 31 48
Figura 32 49
Figura 33 49
Figura 34 50
Figura 35 50
Figura 36 51
Figura 37 51
Figura 38 58

Siglas, acrónimos y abreviaturas

AWS	American Welding Society
ASME	American Society of Mechanical Engineers
WPS	Welding Procedure Specifications
DC	Corriente directa
AC	Corriente alterna
DCEP	Corriente directa con electrodo positivo
DCEN	Corriente directa con electrodo negativo
PTS	Perfil estructural rectangular
UdeA	Universidad de Antioquia

Resumen

Para los entusiastas de la navegación las casa botes representan una excelente combinación entre la comodidad del hogar y la libertad de la navegar sin restricciones. Dichas estructuras deben brindar todas las comodidades de un hogar tradicional al mismo tiempo que garanticen la integridad del inmueble. Esta propuesta evalúa los diferentes procesos de soldadura involucrados en la fabricación estructural de una casa bote, la cual es fabricada empleando acero al carbono, una aleación de aluminio y acero inoxidable. Es fundamental garantizar la calidad de dichas uniones soldadas, para lo cual se tendrá en consideración recomendaciones y el diseño de procedimientos precalificados para la construcción de las juntas soldadas que así lo ameriten. Para la definición de las juntas soldadas y los procedimientos se tendrán en cuenta los requerimientos estructurales establecidos por el diseñador de la embarcación y las recomendaciones de las normativas establecidas por la Sociedad Americana de Soldadura (AWS, por sus siglas en inglés). Con el diseño de la casa bote definido se analizarán cada una de las uniones, teniendo en cuenta las características geométricas de las juntas y los materiales empleados, para establecer el método de unión adecuado. Esta información también permitirá agrupar las juntas soldadas y establecer a cuáles es posible construir procedimientos de soldadura precalificados, y en cuales solo es posible establecer recomendaciones para la ejecución.

Palabras clave: Sistemas de una casa bote, Procesos de Soldadura, Procedimiento de soldadura precalificado, Juntas soldadas.

Abstract

For boating enthusiasts, houseboats represent an excellent combination of the comfort of home and the freedom of unrestricted sailing. Such structures must provide all the comforts of a traditional home while ensuring the integrity of the property. This proposal evaluates the different welding processes involved in the structural fabrication of a houseboat, which is manufactured using carbon steel, aluminium alloy and stainless steel. It is essential to guarantee the quality of these welded joints, for which recommendations and the design of pre-qualified procedures for the construction of the welded joints will be taken into consideration. For the definition of the welded joints and procedures, the structural requirements established by the boat designer and the recommendations of the regulations established by the American Welding Society (AWS) will be considered. With the boathouse design defined, each of the joints will be analyzed, taking into account the geometric characteristics of the joints and the materials used, to establish the appropriate joining method. This information will also allow the welded joints to be grouped and establish which ones it is possible to construct pre-qualified welding procedures for, and which ones it is only possible to establish recommendations for execution.

Keywords: Boat house systems, Welding process, Pre-qualified welding procedure, Welded joints

1. Introducción

Las casas flotantes representan una innovadora combinación de las comodidades del hogar con la pasión por la navegación. La fabricación de estas estructuras requiere el uso de diversos materiales ensamblados mediante uniones que deben garantizar en todo momento la integridad estructural. En este contexto, la soldadura ofrece una solución rápida, segura y económica para muchas de las juntas entre materiales.

El punto de inicio es el diseño de la estructura de la embarcación, para establecer espesores y tipos de juntas, así como la resistencia necesaria en cada junta. Estos elementos estructurales pueden ser determinados por medio del software, como por ejemplo el AutoDesk Inventor, el cual permite determinar las condiciones específicas de cada junta, así como para construir los planos de fabricación de la casa bote. A partir de esto elementos se desprende una serie de decisiones como los materiales empleados, los procesos a ser utilizados, el tipo y la geometría de junta. Todas estas decisiones deben estar enmarcadas en fundamentos técnicos, muchos de ellos ya establecidos a nivel industrial por distintas instituciones que velan por las buenas prácticas en el sector metalmecánico.

El presente informe se centra en determinar los parámetros de soldadura necesarios para garantizar juntas que cumplan con los estándares de calidad y seguridad establecidos por la Sociedad Americana de Soldadura (AWS). La aplicación de las normas AWS D1.1, AWS D1.2 y AWS D1.6 para estructuras en acero al carbono, aluminio y acero inoxidable, es fundamental en este proyecto. A partir de estos estándares es posible definir los requerimientos de fabricación de estructuras soldadas en estos materiales. Estos estándares ofrecen la información necesaria para la selección de los procesos, definir características de las juntas, establecer parámetros de soldadura que garantizan la integridad de la unión soldada.

Es así como a parir del riguroso seguimiento de los estándares es posible construir procedimientos de soldadura que alcancen los objetivos especificados. Estos procedimientos, denominados WPS (Welding Procedure Specification), son ya bien conocidos en la industria, y garantizan tanto la aplicación correcta de los procesos de soldadura, así como la consecución de juntas soldadas sin defectos, que respondan a las exigencias durante la puesta en servicio del elemento soldado. La elaboración de WPSs implica además del empleo de recursos físicos y financieros, conocimiento por parte del personal responsable por su elaboración. Es necesario

realizar una serie de pruebas preliminares que posteriormente son evaluadas mediante distintas técnicas para evidenciar que las soldaduras son adecuadas para la aplicación; todos estos elementos quedan registrados en un documento denominado especificación de procedimiento de soldadura (PQR, de sus siglas en inglés). En este caso los procedimientos se conocen como WPS calificados.

Los desafíos inherentes a la construcción del PQR y el WPS calificado lleva a que en muchas industrias sean descartados y se apele al conocimiento empírico de sus soldadores e ingenieros para la realización de uniones soldadas sin WPS. Sin embargo, existen algunos estándares que permiten transitar una vía más expedita, pues posibilitan la elaboración de procedimientos de soldadura precalificados, la cual también requiere de conocimientos en el área, pero omiten la realización de ensayos de soldadura y pruebas en los sistemas soldados, lo cual reduce significativamente los costos y el tiempo hasta la obtención de un WPS, el cual se denomina WPS precalificado.

Es importante señalar que, debido a ciertas características particulares de algunas juntas, es probable que no todas puedan ser cubiertas por un WPS precalificado según la norma correspondiente. Por tanto, no sería necesario realizar las pruebas que conduzcan a procedimientos de soldadura calificados, lo que además de ahorrar tiempo, reduce significativamente el tiempo fabricación.

Es en este contexto donde el siguiente informe construirá los procedimientos precalificados necesarios para la construcción de la casa bote, en aquellas condiciones que lo permitan. Donde no sean admisibles procedimientos precalificados, se proveerá recomendaciones para la selección de los parámetros de soldadura que permitan una aproximación para una futura realización de procedimientos calificados. Sin embargo, esto no implica que dichas recomendaciones garantizan la obtención de juntas soldadas adecuados para el sistema en cuestión, pues deben ser corroborados por un PQR.

Con este informe, se busca tanto asegurar la calidad de las uniones soldadas en una casa flotante, proporcionando una guía clara y precisa para los procesos de soldadura que se deben seguir, garantizando integridad, eficiencia y seguridad en la integridad de estas estructuras.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Diseñar procedimientos precalificados, así como hacer recomendaciones de soldadura, para la construcción de la estructura de una casa bote.

2.2 Objetivos específicos

•Determinar los procesos de unión necesarios para las uniones de los elementos estructurales.

•Diseñar los WPS precalificados de las juntas que así lo permitan, bajo los estándares de la AWS.

•Hacer propuestas de condiciones de soldadura para las juntas que no puedan ser precalificadas, a modo de recomendaciones para un futuro registro de calificación de procedimiento (PQR, por sus siglas en inglés).

•Diseñar planos de fabricación con toda la información de las juntas a soldar.

3. Marco teórico

3.1 Casa bote y sistemas que lo conforman

Las viviendas flotantes o casas botes (Figura 1) son estructuras diseñas para brindar las comodidades de un hogar junto con las ventajas de la navegación por cuerpos de agua como ríos, lagos o represas. Dichas estructuras han sido utilizadas históricamente por comunidades con acceso a grandes cuerpos de agua navegables brindando la posibilidad de tener un hogar sostenible y adaptable a diferentes regiones. Las casas botes o casas flotantes requieren de algún sistema que pueda flotar y servir de cimientos sobre los cuales se ensamble la estructura del hogar. Cuando se desea poder navegar se adecua algún tipo de motor [1].

Figura 1

a) Partes de una casa bote – b) plataforma flotante



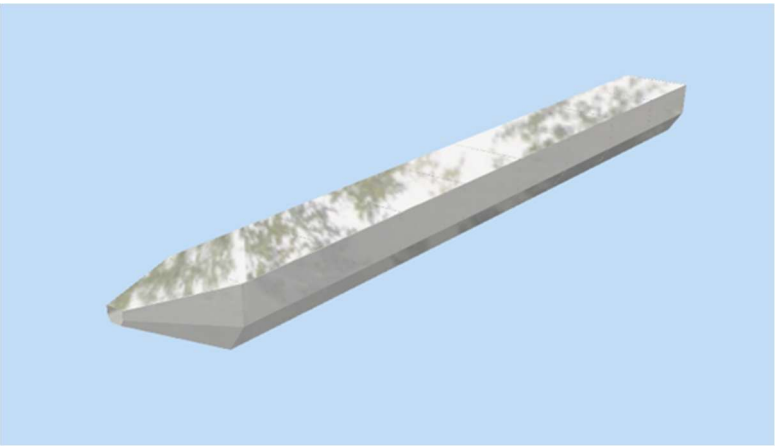
Para ensamblar una casa flotante es necesario tener una plataforma flotante similar a un muelle (Figura 1b) el cual brinda un espacio firme sobre el que se pueda ensamblar cada una de las partes. Históricamente las primeras viviendas flotantes se diseñaban con maderas de alta flotabilidad unidas entre si mediante fibras naturales, pero en la actualidad se utilizan materiales metálicos, plásticos e incluso fibras sintéticas para crear estructuras que aparte de ser más resistentes y duraderas requieren de menor mantenimiento.

Al realizar la distribución de espacios dentro de la casa hay que tener en cuenta que el peso debe de distribuirse uniformemente tanto en el eje longitudinal como el eje transversal con el fin de prevenir que algún extremo de la embarcación pueda sufrir de inclinaciones potencialmente peligrosas al desplazarse en el agua [2] Los espacios para distribuir son básicamente los de un hogar común y corriente: habitaciones, cocina, baño, sala, mientras que para la electricidad es necesario instalar alguna fuente que no esté conectada a la red eléctrica, así mismo con el agua potable y aguas negras, las cuales requieren de tanques y bombas. Algunos de estos sistemas son descritos a continuación.

3.1.1 Sistema de flotación

La flotación de la casa se produce mediante la implementación de pontones (o pontoon en inglés) el cual técnicamente, se define como un cuerpo hueco, generalmente de forma cilíndrica u ovalada, fabricado en materiales como aluminio, plástico o acero (Figura 2) Los pontones se integran a la estructura de las casas flotantes colocándolos debajo de la base de la vivienda otorgando la flotabilidad necesaria para mantener la estructura a flote y garantizar su estabilidad y seguridad. Comercialmente se les conoce a las embarcaciones con dos pontones como catamaranes y cuando se integran un tercero trimarán [3].

Figura 2
Pontón en aluminio

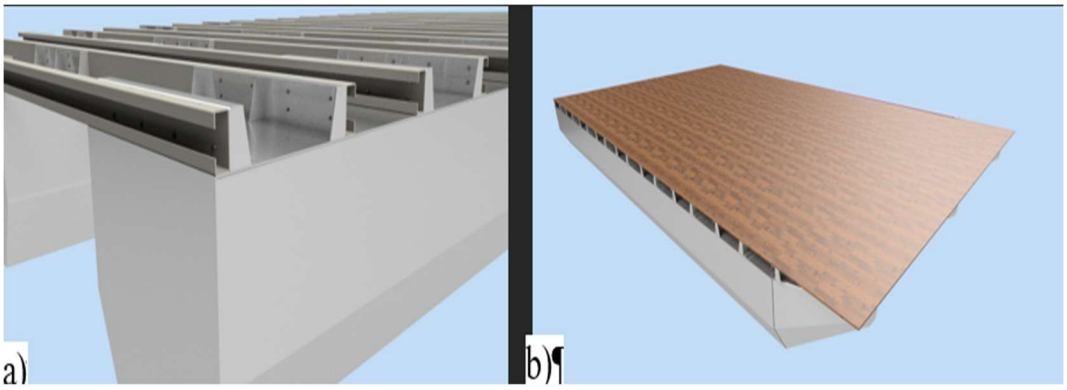


3.1.2 Estructura

Una vez definido el uso de pontones para la flotación es necesario la instalación de perfiles de acero galvanizado (los cuales resisten la corrosión) para poder unirlos y generar una superficie plana sobre la cual se puedan instalar el piso de la casa. Como el acero galvanizado y el aluminio son metales con diferente composición y propiendas no es posible realizar una soldadura convencional que los una exitosamente, por lo que es necesario el uso de tornillos. Sobre la parte superior de los pontones deben diseñarse apoyos en aluminio, tipo pie amigos, con perforaciones en las que se instalan tornillos de acero galvanizado de 3/8 de pulgada con los que se logra ensamblar los pontones (Figura 3a). Los perfiles de acero tienen forma de C y son de 4 mm de espesor, se instalan intercalados para brindar una mayor resistencia a la torción (Figura 3a). En la cara superior de los perfiles se instalan paneles de madera de 1,22 x 244 m, los cuáles se ensamblan con tornillos autoperforantes en acero galvanizado (Figura 3b).

Figura 3

a) Pontones con pie amigos y perfiles en acero galvanizado - b) Ensamble de los tres pontones



La distribución del peso en una casa flotante es crucial para garantizar la estabilidad y seguridad durante la navegación. Se debe evitar la acumulación de peso en un solo punto, ya que esto podría generar inestabilidades peligrosas. Por ello, la planificación de los espacios, tanto en el primero como en el segundo piso, debe realizarse con criterio, asegurando una distribución equilibrada. El peso debe distribuirse uniformemente entre los lados izquierdo y derecho de la casa

flotante para mantener el balance lateral. De igual manera, el peso debe homogéneo en dirección longitudinal, evitando colocar demasiada carga en la proa (frontal) o en la popa (trasera).

Mantener el centro de gravedad bajo es esencial para la estabilidad; por lo tanto, los elementos pesados deben ubicarse en los niveles inferiores, siempre que sea posible. Algunos de estos sistemas son los tanques de agua y los equipos de almacenamiento de energía, que por norma deben ubicarse en el primer nivel, mientras que las áreas de ocio y habitaciones pueden estar en niveles superiores. Además, la simetría en la colocación de muebles y equipos es vital para mantener un balance adecuado, evitando distribuciones asimétricas que podrían afectar la navegabilidad de la casa flotante [4]

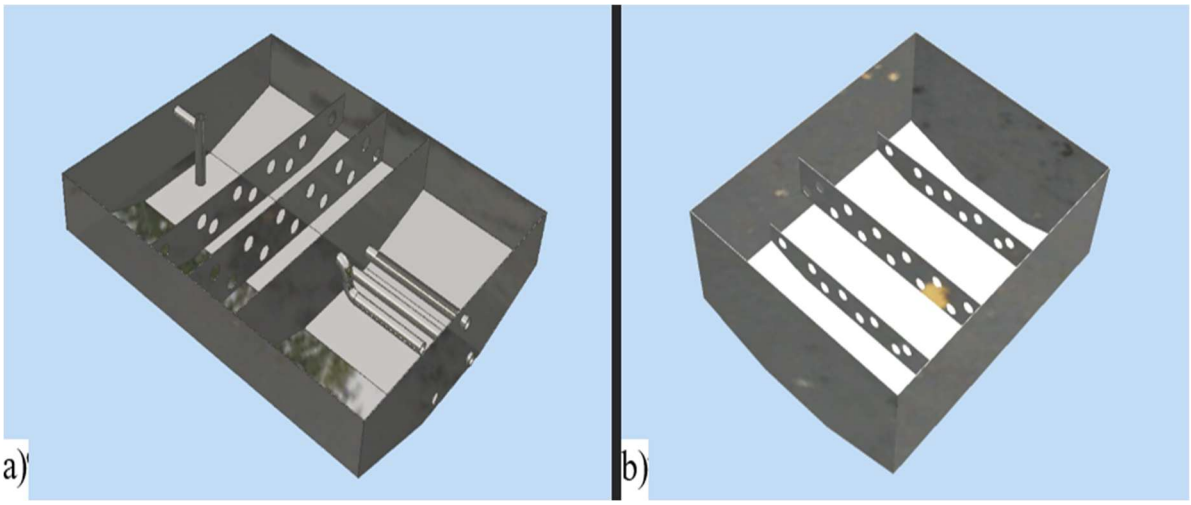
3.1.3 Tanques de almacenamiento

La instalación de tanques de almacenamiento de agua potable y sistemas de tratamiento de aguas negras es esencial para garantizar la autosuficiencia y seguridad ambiental. Los tanques de agua dulce permiten almacenar agua potable para el consumo diario, la cocina y la higiene personal, lo cual es crucial cuando se está lejos de fuentes de agua corriente. Además, los sistemas de tratamiento de aguas negras aseguran que los desechos sean procesados adecuadamente, evitando la contaminación del entorno acuático y cumpliendo con las regulaciones ambientales.

El tanque de aguas negras está diseñado con acero inoxidable de 3 mm de espesor y esta divido en dos partes, unidas entre sí por medio de tubería de 1,25” Schedule 40 y que cumplen la función de transportar las aguas negras de la primera recamara del tanque a la segunda donde se termina de hacer el tratamiento de aguas para su disposición (Figura 4a). Cuentan con platinas internas perforadas que permiten romper la inercia del fluido dentro del tanque (pequeñas olas), cuando la casa está en movimiento. Sin embargo, ese movimiento ondulatorio ayuda a descomponer los desechos en tamaños más pequeños, por lo que esta agitación no se suprime por completo [5]

Figura 4

a) Tanque de aguas negras – b) Tanque de agua potable



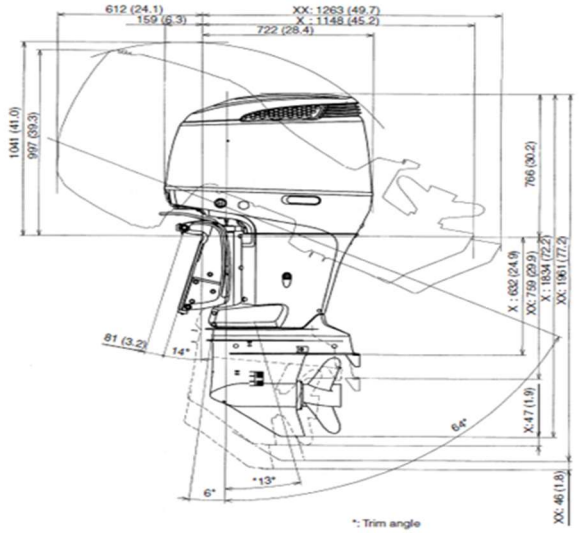
Para el almacenamiento de agua potable se tiene diseñado un tanque de aproximadamente 700 litros en acero inoxidable de 1/8 in 3 mm de espesor. En la parte superior tiene un acceso para una tubería encargada de bombear el fluido y otra para llenar el tanque, además también cuenta con platinas rompe olas.

3.1.4 Sistema de impulsión

La potencia para el desplazamiento de la casa bote se realiza el montaje adecuado de un motor fuera de borda Suzuki de 250 cm3 de referencia DF 250, y su montaje debe seguir las condiciones dadas en la Figura 5. Esto requiere atención, tanto por la altura como por el ángulo de inclinación. La altura correcta del motor es crucial para asegurar que la hélice opere eficientemente. Si el motor está montado demasiado alto, la hélice puede cavitar, perdiendo agarre en el agua, comprometiendo la eficiencia de propulsión y reduciendo su vida útil drásticamente. Por el contrario, si está demasiado bajo, aumenta la resistencia al agua, lo que puede disminuir la velocidad y el rendimiento general de la embarcación. El manual de montaje de Suzuki [6]recomienda ajustar la altura del motor para que la placa anti-cavitación esté nivelada con el fondo del casco o ligeramente por debajo.

Figura 5

Montaje del motor seleccionado



El ángulo de inclinación del motor también es fundamental para el rendimiento óptimo. Un ángulo incorrecto puede afectar la maniobrabilidad y la estabilidad del bote. Un motor inclinado demasiado hacia adentro puede hacer que la proa del bote se sumerja demasiado, mientras que un motor demasiado inclinado hacia afuera puede elevar la proa, causando inestabilidad y dificultades en el control. Ajustar el ángulo de inclinación para obtener el equilibrio adecuado ayuda a mejorar la eficiencia de combustible, la velocidad y la experiencia general de navegación. El manual de Suzuki proporciona directrices específicas para calibrar estos ajustes y asegurar un rendimiento óptimo y seguro del motor fuera de borda.

Una vez definidas las características básicas de los cuatro sistemas más destacados que conforman la casa bote, se procede con la descripción sucinta de los procesos de soldadura empleados en este proyecto.

3.2 Soldadura por arco eléctrico

La soldadura por arco eléctrico es un proceso de unión de metales en el que se utiliza un arco eléctrico como fuente de calor para fundir los materiales a unir. Este método implica el uso de un electrodo, que puede ser consumible o no consumible, para crear el arco eléctrico entre el

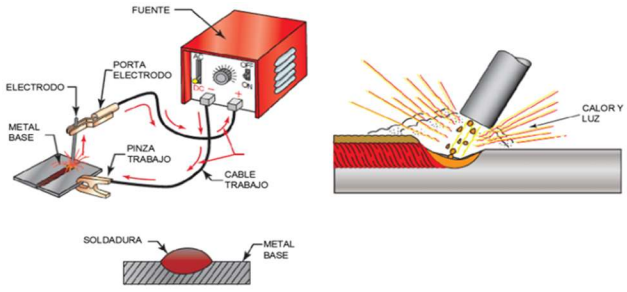
electrodo y la pieza de trabajo. La alta temperatura del arco funde el metal base y, en algunos casos, también el material del electrodo, permitiendo que los metales se mezclen y solidifiquen en una junta robusta. Este proceso es ampliamente utilizado debido a su capacidad para producir soldaduras fuertes y duraderas, siendo aplicable a una variedad de materiales, incluidos aceros al carbono, aceros inoxidables y aluminio. Además, existen diversas técnicas de soldadura por arco, como la soldadura con electrodo revestido (SMAW), la soldadura por arco con gas (GMAW), y la soldadura por arco de tungsteno con gas (GTAW), cada una con sus propias ventajas específicas en términos de control, precisión y adecuación para diferentes aplicaciones [7]

3.2.1 Soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido

La soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido, conocida técnicamente como SMAW (Figura 6), por sus siglas en inglés, funciona por medio de una fuente eléctrica, ya sea de corriente alterna o directa, la cual está conectada al metal base y a unas pizas que sostiene un electrodo revestido y consumible. El flujo de corriente inicia luego de un ligero toque entre la punta del electrodo y el metal base, dicha corriente genera el calor suficiente para fundir tanto el metal base como el electrodo, la temperatura del electrodo se eleva hasta el punto en que se forma una gota de metal fundido que cae sobre el metal base y sirve de unión. Durante este proceso el revestimiento también se consume y genera un ambiente gaseoso que protege las propiedades químicas de la zona fundida, posteriormente el revestimiento se enfría y produce una capa de escoria que también sirve de protección para la junta [8]

Figura 6

Esquema del proceso SMAW



El electrodo está constituido por un alma y un revestimiento, el alma (también conocida como núcleo) es básicamente un alambre que sirve para conducir la corriente y que como se mencionó con anterioridad al fundirse genera una gota de metal que sirve para unir el material a soldar. Por otro lado, está el recubrimiento, constituido principalmente por minerales cuyos componentes varían según el metal a soldar, su composición está dada de modo que genera el gas adecuado según la junta requerida. Adicionalmente su composición también altera la viscosidad de la soldadura, lo cual permite la aplicación de esta en posiciones complejas, también puede tener presencia de elementos que ayuden tanto a iniciar el arco como mantenerlo estable en el proceso [8].

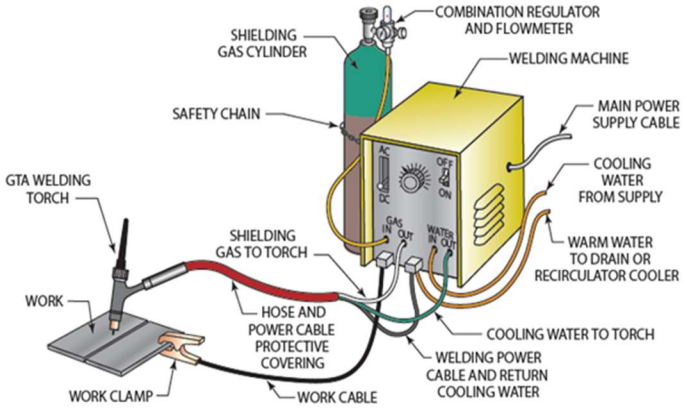
La soldadura SMAW ampliamente utilizada en la industria ya que los equipos son relativamente económicos, ligeros y de relativamente fácil utilización y mantenimiento. Adicionalmente tiene la ventaja de poderse utilizar para cualquier tipo de junta y posición, se pueden soldar gran variedad de materiales y permite lograr soldaduras de espesores delgados.

3.2.2 Soldadura por arco de tungsteno con gas

La soldadura por arco de tungsteno con gas (GTAW) es un proceso mediante el cual el arco eléctrico de la soldadura se genera entre el metal a soldar y un electrodo no consumible de tungsteno, como aporte se puede utilizar un alambre delgado que manualmente se suministra sobre la gota de material fundido (Figura 8). En un principio se utilizaba gas helio como protección, pero posteriormente se encontraron mejores propiedades utilizando otros gases argón, CO2 y otras mezclas, dependiendo del espesor y tipo de metal base a ser soldado. El Ar es recomendado para trabajar con metales como el aluminio, titanio, magnesio y acero inoxidable, los cuales son susceptibles a sufrir de contaminación por el oxígeno, oxido, aceites, pinturas u otros contaminantes sin importar el espesor de la pieza [7].

Figura 7

Esquema de equipo GTAW



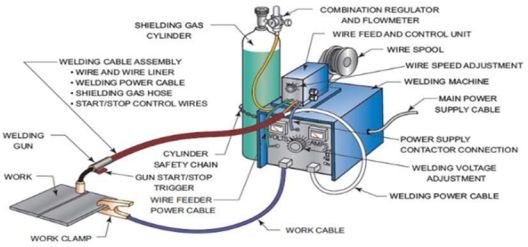
El metal base se conecta por medio de una pinza a la fuente eléctrica, una antorcha con un electrodo no consumible de tungsteno está conectada a la fuente y a una pipeta de gas, en algunos casos también puede tener una entrada de agua como refrigerante. El arco eléctrico se inicia luego de un rápido toque del electrodo en el metal base, un gas de protección, que suele ser argón, se usa para generar el plasma por donde fluyen los electrones y para mantener las propiedades químicas de la junta estables [7].

3.2.3 Soldadura por arco eléctrico con gas

El proceso de soldadura por arco metálico con gas de protección (GMAW) funciona gracias a un electrodo consumible que es suministrado automáticamente por una antorcha que se encuentra conectada a una fuente eléctrica la cual también se conecta al metal base por una pinza. El arco eléctrico se inicia por medio de la antorcha la cual tiene un botón que al activarse empieza a suministrar automáticamente el alambre al mismo tiempo que se abre una válvula por medio de la cual fluye el gas de protección para la junta [7].

Figura 8

Esquema de proceso GMAW



Con un sistema electrónico el equipo puede detectar si hay variación en la distancia entre la punta del electrodo y el metal base (longitud de arco) y puede modificar la velocidad a la que se suministra el alambre para mantener el voltaje del arco constante, lo que hace que iniciar y mantener el arco eléctrico sea más sencillo en comparación con otros procesos, además le brinda una gran adaptabilidad para crear procesos automatizados [8]

Una particularidad del proceso GMAW es que tiene tres mecanismos diferentes para transmitir el metal fundido de la punta del electrodo hasta el cordón de soldadura: corto circuito globular y aerosol (spray).

La trasferencia por corto circuito se produce cuando se opera con baja corriente y longitud de arco. Una vez se produce la gota, debido a la baja longitud de arco, antes del desprendimiento la gota y el charco hacen contacto, produciendo un pico de corriente que promueve el desprendimiento de la gota por medio de una fuerza de estricción electromagnética [8]. Este mecanismo forma un charco de soldadura pequeño el cual se enfrían rápidamente, por lo que se recomienda su empleo para soldar piezas de espesores delgados.

La transferencia globular se produce cuando el arco eléctrico entre la punta del electrodo y la junta alcanza a fundir una gota del diámetro suficiente para que se desprenda por su propio peso. Este proceso suele evitarse ya que hay relativamente poco control en la caída de las gotas y esto genera salpicaduras que dan mala presentación [8]

Finalmente, la transferencia por espray se caracteriza por la formación de pequeñas gotas que viajan desde su punta del electrodo hasta la junta a una tasa de cientos de gotas por segundo, con poca o mínima salpicadura. El desprendimiento de gotas muy pequeñas de metal se produce por una elevada fuerza de estricción electromagnética, similar a la generada por el pico de corriente en corto circuito, pero que en este caso se produce por una elevada corriente de soldadura [8].

3.3 Estandarización de los procesos de soldadura

Algo que tienen en común los procesos descritos es la cantidad de parámetros a tener en cuenta antes de realizar una soldadura: corriente, voltaje, velocidad de soldadura, tipo de electrodo, gas de protección, flujo de gas, tipo de varilla de aporte, etc. La selección impropia de alguno de estos puede derivar en fallas que comprometan la integridad estructural del sistema, por cuenta de fallas por cargas mecánicas o de tipo metalúrgico.

Con el fin de prevenir dichas fallas las soldaduras deben ser realizadas empleando procedimientos de soldadura, conocidos como WPS (Welding Procedure Specification). Estos son construidos siguiendo de forma rigurosa estándares de fabricación de productos como los definidos por la American Welding Society (AWS), la American Society of Mechanical Engineers (ASME), la American Petroleum Institute (API). Estas instituciones construyen estándares que rigen la fabricación de distintos productos como estructuras civiles, tanques de almacenamiento y procesamiento, estructuras para vehículos, poliductos, etc.

Entre los procedimientos de fabricación, se tienen capítulos especiales orientados a la fabricación por soldadura. Es el caso de los estándares de la AWS, los cuales se orientan en la fabricación de estructuras civiles en distintos materiales. Son el caso de los estándares AWS D1.1/D1.1M:2020 Structural Welding Code Steel [9], AWS D1.2/D1.2M:2018 - Structural Welding Code - Aluminum [10] y AWS D1.6/D1.6M:2017 Structural Welding Code - Stainless Steel [11], para fabricación de estructuras en acero al carbón, aleaciones de aluminio y acero inoxidable.

La construcción de un WPS requiere de una atapa preveía donde se ejecuta y evalúa una sería de parámetros de forma preliminar. Este proceso se registra en el denominado Registro de Calificación de Procedimiento (PQR de sus siglas en inglés). Si las soldaduras realizadas bajo estas condiciones son aprobadas, entonces a partir de los datos del PQR se construye el WPS consignando estas variables y sus magnitudes. De lo contrario, se procede a ajustar las variables en un nuevo PQR, lo cual se sucede hasta conseguir la junta soldada que cumpla con las exigencias de la aplicación. A esto se le conoce como calificación de un procedimiento de soldadura, el cual es una prenda de garantía en el sentido que al ser aplicado rigurosamente se logran juntas soldadas satisfactorias. Sin embargo, son pocas las industrias que operan de esta forma, pues además de no

contar con el personal calificado, se incurre en los gastos para la ejecución de las soldaduras, así como su evaluación, procesos que suelen hacerse a través de terceros especializados en el tema.

En el caso de los estándares de la AWS, es gracias a que se cuenta con décadas de experiencia en la realización de juntas soldadas exitosas, existen recomendaciones para la construcción de procedimientos de soldadura sin la etapa de calificación. Estos se denominan WPS precalificados, los cuales deben ser diseñados cumpliendo de forma rigurosa todos los pasos establecidos por el estándar en el capítulo o clausula respectivo.

No todas las soldaduras pueden ser realizadas mediante un procedimiento precalificado. Para ello, las juntas y los procesos de soldadura empleados deben cumplir con las exigencias definidas en las cláusulas de WPS precalificado.

Por último, ya definidos los parámetros fundamentales de soldadura se brindarán recomendaciones enfocadas en la prevención de las deformaciones térmicas, basados en el capítulo 10 del libro Ship Constructions de D.J Eyres, donde abordan prácticas que previenen la deformación en laminas para uso naval. Y las recomendaciones del libro de Minimization of welding distortion de Pan Michaleris, que se centra en la prevención de deformaciones para laminas delgadas.

4. Metodología

El proyecto pretende construir procedimientos precalificados y recomendaciones de soldadura para la construcción de juntas soldadas en los distintos sistemas que conforman la casa bote: estructura, sistema de flotación, tanques y sistema de impulsión. El proyecto fue abordado en las etapas descritas a continuación:

4.1 Revisión bibliográfica

La cual fue realizada empleando las bases de datos de la UdeA, así como la información abierta. Los temas por consultar fueron sobre los procesos de soldadura, procedimientos de soldadura, información sobre metales base, parámetros de soldadura, proveedores de insumos de soldadura, etc. Una vez realizada la revisión bibliográfica de los distintos temas alrededor del diseño de casa botes y procesos de soldadura, se procede a abordar los estándares de soldadura AWS para soldadura de aceros al carbono, aleaciones de aluminio y aceros inoxidables, empleado para el desarrollo de los procedimientos precalificados de soldadura, en los casos que sea posible. Antes de la construcción de los procedimientos y recomendaciones de soldadura debe ser identificados las uniones soldadas que pueden ser precalificadas bajo dicho estándar, por lo que es fundamental tener claro dichos requerimientos.

4.2 Determinación de las características de las juntas

Uno de los elementos importantes para el diseño de procedimientos de soldadura es establecer las características de cada una de las juntas que existen en el sistema que será fabricado. La determinación de las características de las juntas se realizó sobre el diseño de los cuatro sistemas de la casa bote, mediante el uso del software AutoDesk Inventor, con el cual se procede a estudiar las condiciones específicas de cada caso. En este proceso, se determinaron factores como la geometría, el tipo de material base, la longitud del cordón y demás factores específicos para tener en cuenta para la selección de los parámetros fundamentales en un WPS precalificado. Durante este proceso algunas juntas no van a cumplir con los parámetros dados por la norma, por lo cual

para dichos casos se procede a diseñar recomendaciones de parámetros de soldadura que ayuden a garantizar una adecuada unión de los materiales.

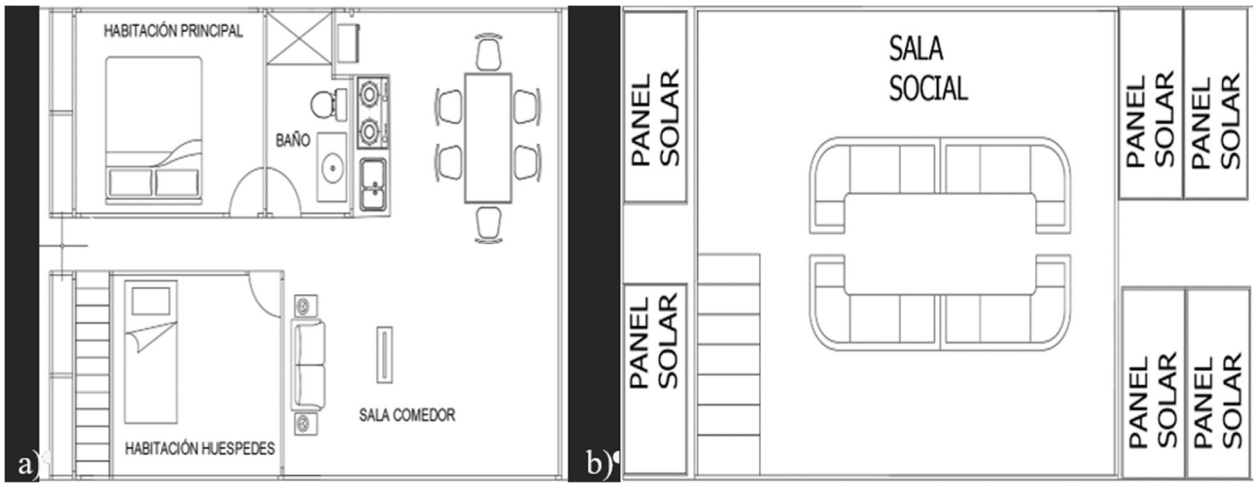
Como ya fue mencionado, la casa bote fue dividida en cuatro sistemas, los cuales serán descritos a continuación, presentando los detalles del diseño a partir de los cuales se llevó a cabo la identificación de las juntas a soldar.

4.2.1 Estructura de la casa bote

En la Figura 9 se aprecia la distribución de los dos pisos de la casa bote. El diseño de la estructura de la casa está hecho con PTS de acero al carbono, de 4”x2”, calibre 14, para las columnas, y de 4”x2” y 2”x2” calibre 16 para los demás elementos estructurales. El primer piso tiene dos habitaciones, una sala-comedor y un baño, el cual debe tener acceso por medio de la sala y del cuarto principal. La habitación de huéspedes debe tener escalas para acceder al segundo piso, el cual está constituido por dos espacios, uno central pensado para socializar y el otro reservado para instalar paneles solares. Para optimizar al máximo el espacio disponible del segundo piso y no comprometer la distribución del peso, se reparte la zona de paneles solares en dos, a cada extremo y una sala social ubicada en el centro.

Figura 9

a) Disposición del primer piso – b) Disposición del segundo piso

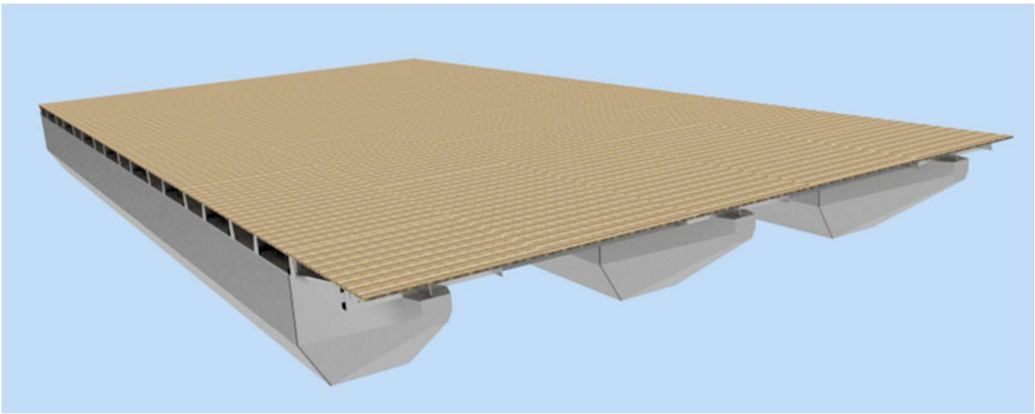


4.2.2 Sistema de flotación de la casa bote

El armado de la casa bote empieza por los cimientos, que corresponde al ensamble de los pontones y el piso, se arma el techo del primer piso y se instalan los pasamanos y los soportes para la lona del que protege el segundo piso. La fabricación del sistema de flotación implemento los pontones para la flotación, los cuales están diseñados con aluminio de 4 mm de espesor. En los extremos, se utilizan pontones de 12 m, mientras que en el centro hay uno de aproximadamente 10,5 m, todos con un ancho de 1 metro. En la parte superior de los pontones se instalan pie amigos perforados, con en la cuales se ensamblan perfiles en C de acero al carbono galvanizado de 4 mm de espesor, que cumplen la función de unir los tres pontones en una sola estructura. Sobre los perfiles se instalan láminas de madera de 1020 x 2040 mm que sirven de piso sobre el cual se monta la estructura de la casa. En la Figura 10 se poden apreciar el ensamble sin el piso de madera.

Figura 10

Sistema de flotación por pontones



La estructura interna de cada pontón consta de recamaras de aproximadamente un metro de largo cada una, con la intención de que, en caso de un impacto que provoque una filtración de agua, solo se inunde una recamara y no todo el pontón, evitando así comprometer la flotabilidad de toda la estructura. El extremo frontal tiene una geometría diferente que permite una navegación cómoda en el agua.

4.2.3 Tanques

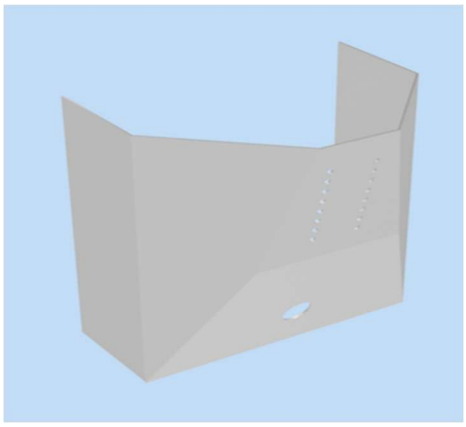
Para el armado de los tanques se procede inicialmente a realizar el montaje de las platinas por medio de puntos que ayuden a mantener el ensamble con las condiciones geométricas que requieren según los planos de diseño. Una vez realizado el proceso de armado se debe soldar. Para facilitar las soldaduras y aprovechando que el peso del ensamble es poco y que su longitud es fácil de manipular se diseñaran los WPS de modo que la posición de soldadura siempre sea plana, facilitando la técnica y disminuyendo la posibilidad de que se presenten errores durante

4.2.4 Diseño del soporte para el motor

El soporte para el motor está diseñado siguiendo las recomendaciones dadas por el manual de montajes de motores fuera de borda de Suzuki [6] Para su fabricación se utilizará el mismo aluminio de los pontones y se ensambla al pontón central el cual es ligeramente más corto que los laterales para poder suministrar el espacio necesario para su funcionamiento. El extremo posterior de dicho pontón tiene soldados unos ángulos de aluminio de 50x50 mm perforados para tornillos de 3/8” galvanizados. Estas perforaciones se utilizan para graduar la altura a la cual el motor está sumergido dependiendo de cuento sea la carga de la casa y el ángulo de inclinación fue determinado según el motor seleccionado. En la Figura 11 se aprecia el diseño del soporte para el motor.

Figura 11

Soporte para motor fuera de borda



4.3 Identificación de las juntas a las cuales se puede aplicar WPS precalificados

Una vez identificadas las uniones que serían soldadas en los cuatro sistemas ya mencionados, serán empleados los estándares de soldadura correspondientes a cada material de los sistemas de interés: para la estructura y el sistema de impulsión en acero al carbono fue empleado el estándar AWS D1.1, para el sistema de flotación en aluminio se requiere el uso del AWS D1.2 y finalmente para los tanques fue usado el AWS D1.6, correspondiente a aceros inoxidables. Con bases en los condicionamientos establecidos en cada estándar fueron determinadas las juntas que pueden ser soldadas empleando un WPS precalificado. Este proceso se hace comparando las características determinadas en el paso anterior con los valores limites estipulados por la norma.

4.4 Diseño de WPS precalificados

Siguiendo las directrices del estándar seleccionado, se consultan los capítulos específicos que tratan sobre WPS precalificados. Este proceso implica identificar y documentar los parámetros fundamentales de soldadura, tales como tipo de proceso (SMAW, GMAW, GTAW), material base, material de aporte, corriente, voltaje y posiciones de soldadura entre otros. Cada WPS precalificado se diseña meticulosamente para cumplir con los requisitos de la norma y las recomendaciones de fabricantes de estructuras, asegurando que las juntas soldadas mantengan la integridad y propiedades mecánicas deseadas. En los casos donde no es posible obtener un WPS precalificado, se emiten recomendaciones específicas basadas en la norma que ayuden a realizar la soldadura de manera segura.

Una vez se tiene definido la distribución de espacios, los materiales a utilizar y las condiciones de diseño de cada uno de los espacios y sistemas de la casa bote se debe desarrollar el proceso de armado y soldadura de la estructura. Con el fin de garantizar que dicho proceso cumpla con todos los requerimientos tanto de seguridad como integridad de cada una de las juntas es necesario seguir los requerimientos dados por las normas que rigen los procedimientos de soldadura requeridos para cada junta.

La AWS tiene normas para el uso de los procesos de soldadura de aceros al carbono, la cual es la AWS D1,1 [9] en dicha norma brindan indicaciones acerca tanto de los materiales que se pueden usar, como los parámetros de soldadura, técnicas e incluso métodos de ensayos para

garantizar su integridad, así mismo la AWS D 1,2 [10] brinda estos mismos parámetros para las juntas de aluminio y la AWS D1,6 [11] para aceros inoxidables.

Como para la casa bote ya se tiene definidos los materiales, tipos de juntas y procesos de soldadura (SMAW, GTAW y GMAW) el proceso para determinar los parámetros de soldadura es el siguiente:

4.4.1 Verificación de materiales base

En este proceso es necesario verificar si el material base seleccionado cumple con los requerimientos de la norma, donde se busca garantizar que su composición sea afín a la aplicación de soldadura. En cada una de las normas se encuentran tablas donde según la composición de material se indica si la norma puede abarcar el material utilizado y se pueden utilizar los parámetros de soldadura que posteriormente recomiendan.

4.4.2 Selección del metal de aporte

Adicionalmente también existe un apartado que permite definir que aporte se debe utilizar en los procesos de soldadura donde sea necesario el uso de este. Las propiedades metalográficas del aporte y el metal base deben de ser compatibles entre si pues de no serlo la junta puede ser frágil o simplemente no se fusionan en un solo material.

4.4.3 Verificación de tipo de junta

Las normas mencionadas también indican la preparación de la junta, paso de vital importancia pues permite garantizar que la penetración de la soldadura sea eficiente, evitar presencias de inclusiones o escorias y prevenir defectos geométricos que lleguen a comprometer la integridad de la soldadura.

4.4.4 Preparación de la junta

De mano al paso anterior también existe un apartado en las normas que indica como se debe preparar los bordes de las juntas, proceso en el que se indica el tipo de bisel, ángulos de la junta, apertura de raíz y ángulos de la junta donde dichos parámetros también permiten ayudan a garantizar la seguridad e integridad de la junta.

4.4.5 Parámetros de soldadura

Dependiendo el tipo de proceso de soldadura los parámetros cambian. Sin embargo, es recomendado el uso de los parámetros de soldadura recomendados por el fabricante del electrodo o metal de aporte. Por tanto, es necesaria la selección de este, y con base en los proveedores existentes determinar dichos parámetros. Adicionalmente se indica que tipo de corriente se debe utilizar (corriente o alterna) y que tipo de gas de protección es el adecuado (para procesos GTAW y GMAW).

4.4.6 Métodos de soldadura

En este apartado se brindan indicaciones que permiten determinar cómo se debe de aplicar la soldadura, como se debe de manipular tanto el electrodo como el aporte, en que posición se debe de soldar, secuencias de soldadura y prevención de deformaciones producto del calor aplicado el material.

Los demás parámetros necesarios para cada proceso serán abordados con mayor detalle en el capítulo relativo a los resultados.

4.5 Recomendaciones de soldadura para las juntas no precalificadas

Para los casos donde las juntas no pueden ser precalificadas se estudiarán cuáles fueron los parámetros que hicieron que la junta en cuestión no pudiera ser precalificada y mediante el análisis de esos factores y la teoría de cómo funciona el proceso en cuestión se darán recomendaciones que ayuden a abordar dicha soldadura.

5. Análisis de resultados

Para el desarrollo inicial del presente proyecto, es imperativo identificar los tipos de soldadura recurrentes en la fabricación y ensamblaje del bote antes de diseñar los WPS precalificados, esto con el objetivo de establecer los parámetros operativos específicos para cada tipo de soldadura. En el marco del presente proyecto, las normas AWS D1.1 y AWS D1.6 proporcionan directrices relacionadas con los parámetros de soldadura en el diseño de WPS precalificados para acero al carbono e inoxidable, respectivamente. Sin embargo, para las juntas estructurales de aluminio, la norma AWS D1.2 no ofrece información sobre WPS precalificados para este material. Por lo tanto, se formularán recomendaciones específicas de soldadura para este tipo de material.

5.1 Determinación de las características de las juntas

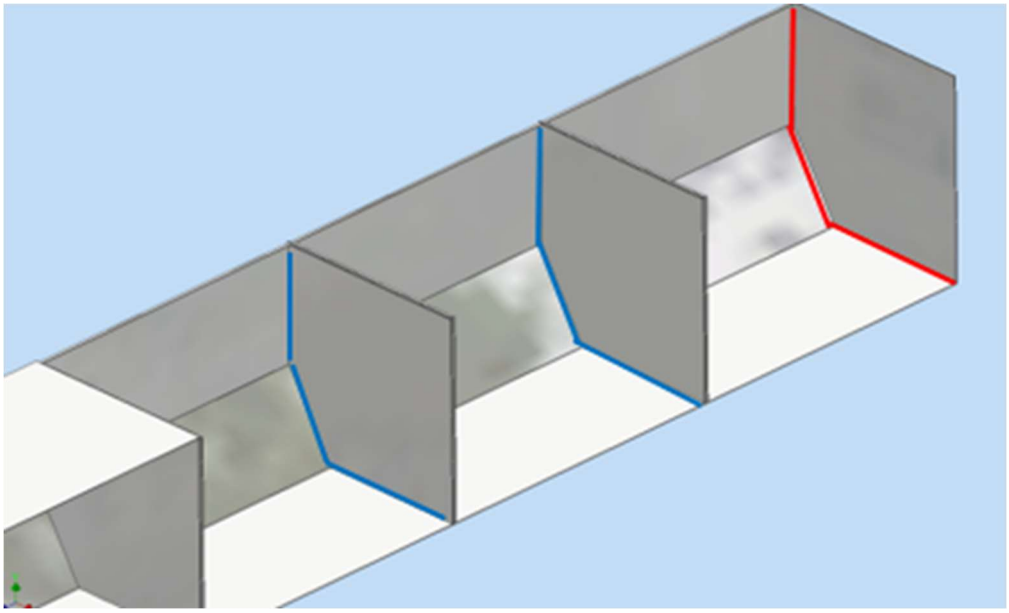
5.1.1 Construcción el pontón en aluminio

La fabricación del pontón implica la creación de cámaras de aluminio herméticamente selladas, unidas mediante soldadura para formar un conjunto de aproximadamente 10 m de longitud. La proa del ensamble se diseña con un perfil optimizado para mejorar la eficiencia del deslizamiento del pontón en el agua.

Cada sección del pontón está constituida por una platina de aluminio doblada en forma de U, junto con tapas trasera, delantera y superior. Utilizando el software Inventor, se puede visualizar el interior de los pontones, donde se identifican tres tipos de juntas de soldadura que se repiten a lo largo de toda la estructura interna, tal como se muestra en la Figura 12, donde la junta marcada en color rojo corresponde a la soldadura de la tapa trasera con el pontón, tratándose de una junta tipo filete que requiere una penetración completa. La junta marcada en color azul se utiliza para unir las tapas frontales con la base del pontón, creando cámaras herméticamente selladas. Similar a la junta roja, esta también es una soldadura de filete que exige penetración completa, aunque su geometría es ligeramente distinta.

Figura 12

Soldaduras internas de un pontón

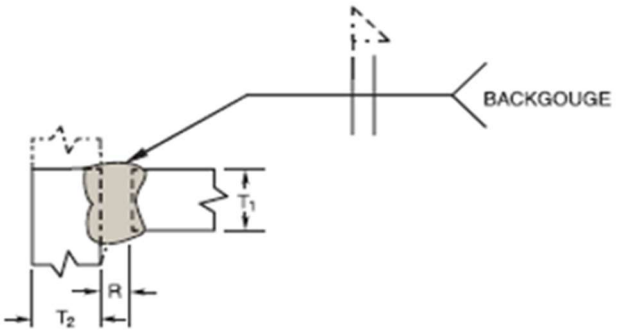


La junta correspondiente a la tapa trasera con el pontón, y señalizada en color rojo y azul en la Figura 12 tiene las siguientes características, según la norma mostrados en Figura 13.

Figura 13

Tipo de junta entre la base y la tapa trasera del pontón

Square-groove weld (1)
T-joint (T)
Corner joint (C)

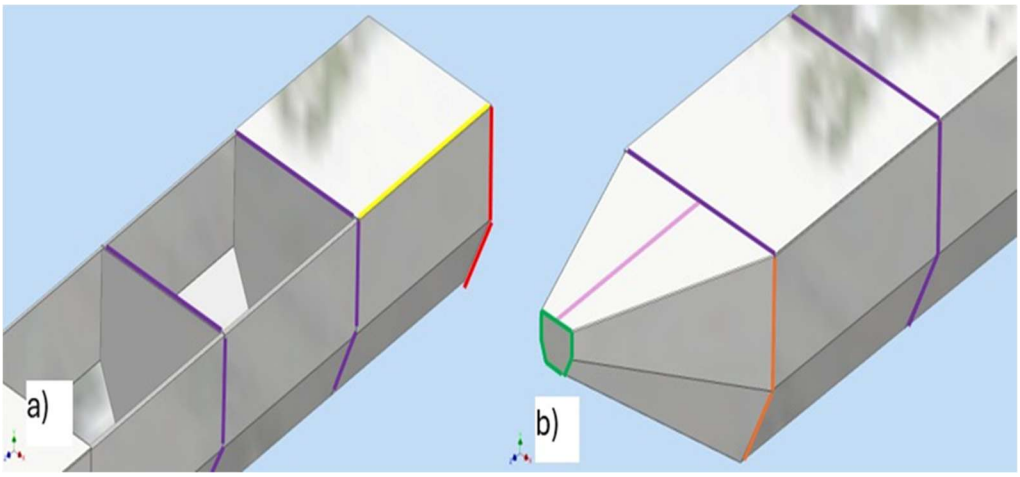


Welding Process	Joint Designation	Base Metal Thickness		Groove Preparation		Welding Positions	Notes
		T_1	T_2	Root Opening (R)	Fit-Up Tolerances		
GMAW	TC-L1c	3/8 max.	≤1/4	0 to 1/16	±1/16	F, V	a, b
			>1/4 to 3/8	1/16 to 3/32			
GTAW	TC-L1c	1/4 max.	≥1/2	0 to 1/8	±1/16	All	a, b

En la Figura 14, se presenta la disposición de la soldadura utilizada en el ensamble del pontón, señaladas con diferentes colores según el tipo de junta correspondiente.

Figura 14

a) *Sección trasera del pontón sin tapa y b) sección delantera tapada. Juntas en: rojo (Figura 13), amarillo (Figura 18), naranja (Figura 16), rosa (Figura 19), verde (Figura 17) y morado (Figura 15).*

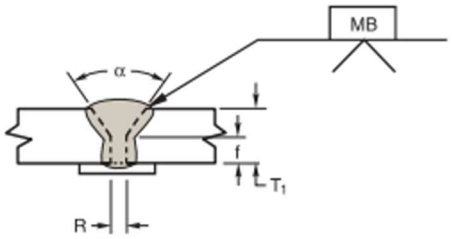


Para la unión entre secciones del pontón a través de soldadura GMAW, señalados en la Figura 14 en color morado, se tiene el tipo de junta mostrado en la Figura 15.

Figura 15

Tipo de junta entre las secciones del pontón

Single-V-groove weld (2)
Butt joint (B)



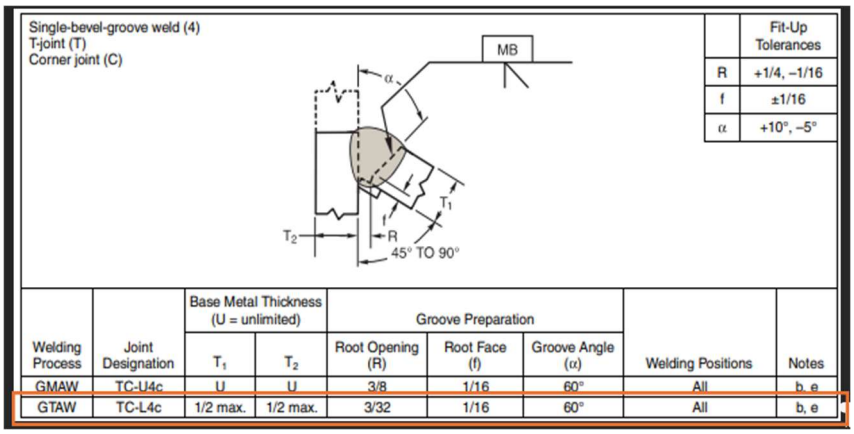
	Fit-Up Tolerances
R	+1/4, –1/16
f	±1/16
α	+10°, –5°

Welding Process	Joint Designation	Base Metal Thickness (U = unlimited) T_1	Groove Preparation: Root Opening (R)	Groove Preparation: Root Face (f)	Groove Preparation: Groove Angle (α)	Welding Positions	Notes
GMAW	B-U2a	U	3/8	1/32 to 1/8	60°	All	c
GTAW	B-L2a	1/2 max.	3/8	1/32 to 1/8	60°	All	—

En la unión de la proa del pontón, marcada en color naranja en la Figura 14, la norma no especifica un tipo de junta específico. Por consiguiente, se recomienda utilizar el tipo de junta ilustrado en la Figura 16

Figura 16

Tipo de junta recomendada para la unión de proa del pontón [16]



	Fit-Up Tolerances
R	+1/4, −1/16
f	±1/16
α	+10°, −5°

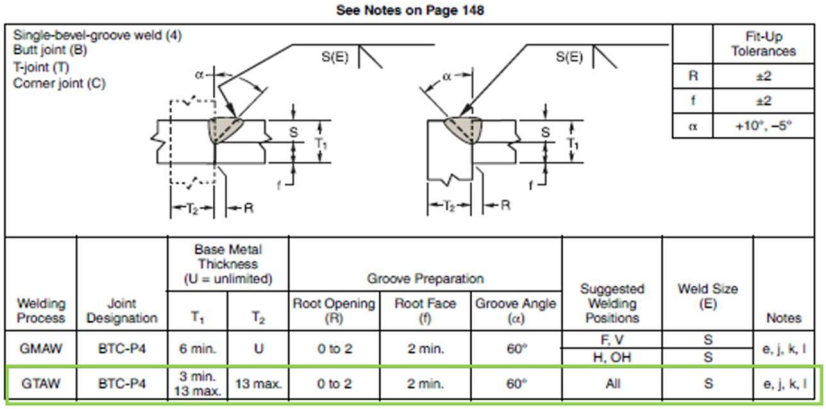
Welding Process	Joint Designation	Base Metal Thickness (U = unlimited) T_1	Base Metal Thickness (U = unlimited) T_2	Groove Preparation Root Opening (R)	Groove Preparation Root Face (f)	Groove Preparation Groove Angle (α)	Welding Positions	Notes
GMAW	TC-U4c	U	U	3/8	1/16	60°	All	b, e
GTAW	TC-L4c	1/2 max.	1/2 max.	3/32	1/16	60°	All	b, e

Este mismo tipo de junta también se va a utilizar para desarrollar los cordones del soporte para el motor. Ver Figura 11

Para rematar la punta del pontón se tiene una junta identificada en color verde, Figura 14, se utiliza el tipo de junta especificado en la Figura 17.

Figura 17

Tipo de junta para la unión de proa y popa del pontón



	Fit-Up Tolerances
R	±2
f	±2
α	+10°, −5°

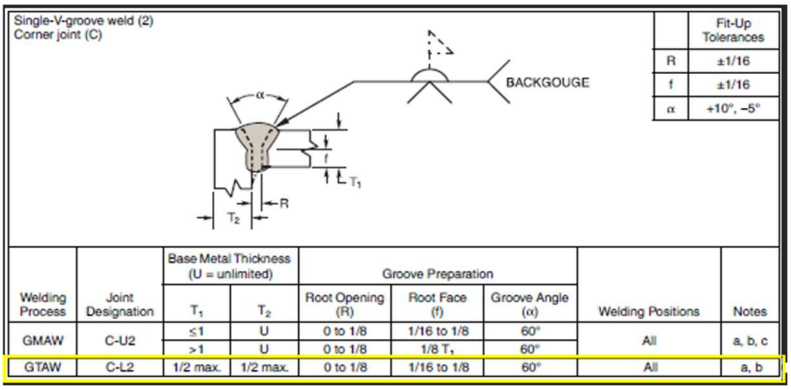
Welding Process	Joint Designation	Base Metal Thickness (U = unlimited) T_1	Base Metal Thickness (U = unlimited) T_2	Groove Preparation Root Opening (R)	Groove Preparation Root Face (f)	Groove Preparation Groove Angle (α)	Suggested Welding Positions	Weld Size (E)	Notes
GMAW	BTC-P4	6 min.	U	0 to 2	2 min.	60°	F, V	S	e, j, k, l
							H, OH	S	
GTAW	BTC-P4	3 min. 13 max.	13 max.	0 to 2	2 min.	60°	All	S	e, j, k, l

Figure B.2 (Continued)—Recommended PJP Groove Welded Joints (Millimeters)

Para las uniones de juntas resaltadas en color amarillo en la Figura 14, la norma no proporciona especificaciones directas. Por lo tanto, se recomienda utilizar el tipo de junta indicado en la Figura 18.

Figura 18

Tipo de junta para la unión de la tapa superior del pontón [16]



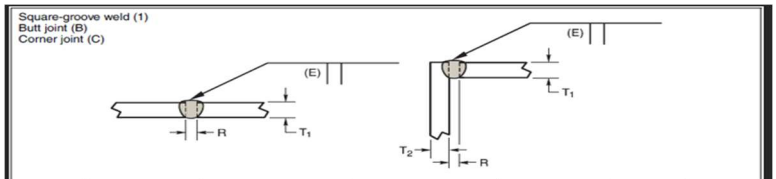
	Fit-Up Tolerances
R	±1/16
f	±1/16
α	+10°, −5°

Welding Process	Joint Designation	Base Metal Thickness (U = unlimited) T_1	Base Metal Thickness (U = unlimited) T_2	Groove Preparation: Root Opening (R)	Groove Preparation: Root Face (f)	Groove Preparation: Groove Angle (α)	Welding Positions	Notes
GMAW	C-U2	≤1	U	0 to 1/8	1/16 to 1/8	60°	All	a, b, c
		>1	U	0 to 1/8	1/8 T_1	60°		
GTAW	C-L2	1/2 max.	1/2 max.	0 to 1/8	1/16 to 1/8	60°	All	a, b

Dado que las juntas de las puntas de los pontones no requieren soldaduras de penetración completa, las uniones marcadas en color rosado se ejecutan bajo los siguientes criterios técnicos, mostrados en la siguiente Figura 19.

Figura 19

Tipo de junta para soldaduras de penetración completa [16]

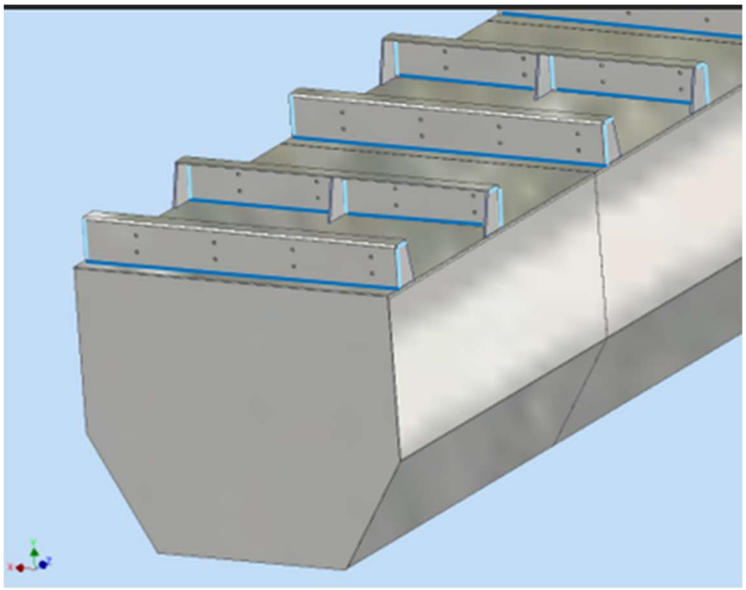


Welding Process	Joint Designation	Base Metal Thickness (U = unlimited) T_1	Base Metal Thickness (U = unlimited) T_2	Groove Preparation: Root Opening (R)	Groove Preparation: Fit-Up Tolerances	Suggested Welding Positions	Weld Size (E)	Notes
GMAW	B-P1a	1/4 max.	—	0 to 1/16	±1/16	All	$\frac{3T_1}{4}$	j, k
	C-P1a	1/4 max.	U		±1/16	All		
GTAW	B-P1a	1/8	—	0 to 1/16	±1/16	All	$\frac{3T_1}{4}$	j, k
	C-P1a	1/8	1/2 max.		±1/16	All		

Después de soldar las tapas superiores de cada pontón, se procede a ensamblar y soldar los pie-amigos, los cuales permiten la unión de cada perfil en C de acero galvanizado con las láminas de madera que funcionan como piso. En la imagen siguiente se puede observar el tipo de montaje utilizado y tiene el mismo tipo de junta mostrado anteriormente en la Figura 13.

Figura 20

Tipo de junta para soldadura de los pieamigos del pontón [35]



5.1.2 Construcción de los tanques en acero inoxidable

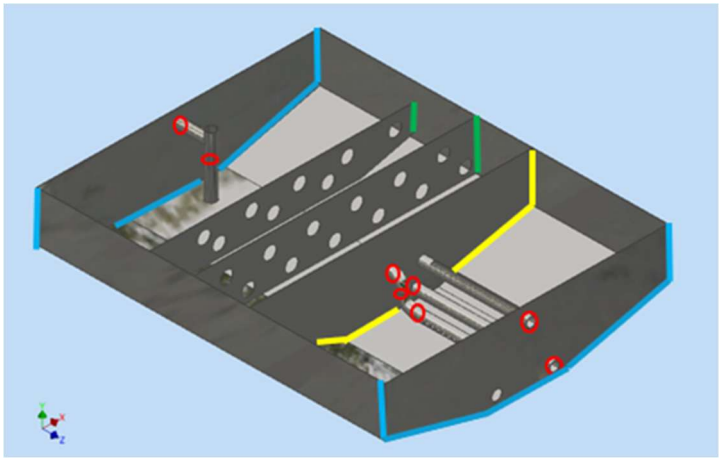
En la construcción del tanque destinado a almacenar los residuos sanitarios, generados en la casa bote, es crucial considerar que el interior del tanque de aguas negras está dividido en dos compartimentos separados. Estos compartimentos se conectan mediante una tubería de acero inoxidable de Ø2 ¼ pulgadas, Schedule 40, que incluye dos codos a 90° y un tramo recto con perforaciones laterales. Los compartimentos están divididos por una lámina de acero inoxidable.

En el compartimento mayor, se colocan varias láminas perforadas que ayudan a descomponer los residuos en tamaños más pequeños y a mitigar la inercia de las olas. Adicionalmente, este compartimento cuenta con una tubería de Ø2 ¼ pulgadas, Schedule 40, que incluye una T y un tramo recto. Todo el sistema está soldado a una base y un techo, los cuales están construidos con láminas de acero inoxidable de 1/8 pulgadas de espesor en AISI SAE 304.

En la Figura 21 se muestran las diversas juntas a realizar, distinguidas por colores. Las juntas azules corresponden a las soldaduras entre la base del tanque y las tapas frontal y trasera. Las juntas verdes indican las soldaduras entre las láminas perforadas y las paredes internas del tanque. Las juntas amarillas representan las uniones que aseguran la separación completa de los compartimentos, mientras que las juntas rojas se refieren a las soldaduras de la tubería.

Figura 21

Disposición de las juntas en la zona interna del tanque [16]: amarillo (Figura 22), verde (Figura 23), azul (Figura 23) y rojo (Figura 24).

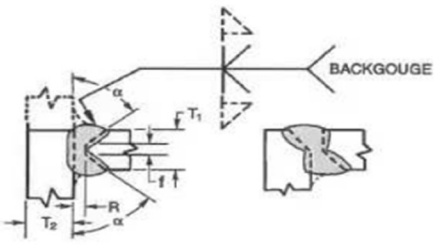


En la Figura 22 se presentan las características geométricas de las juntas marcadas en amarillo en la Figura 21.

Figura 22

Tipo de junta de penetración completa en acero inoxidable [17]

Double-bevel-groove weld (5)
T-joint (T)
Corner Joint (C)



ALL DIMENSIONS IN mm

Welding Process	Joint Designation	Base Metal Thickness Max. (U = Unlimited) T_1	Base Metal Thickness Max. (U = Unlimited) T_2	Groove Preparation: Root Opening / Root Face / Groove Angle	Tolerances: As Detailed (see 5.11.2)	Tolerances: As Fit-Up (see 5.11.2)	Allowed Welding Positions	Notes
SMAW GMAW	TC-U5b	3 min. to U	3 min. to U	R = 0 to T/2 ≤ 3	+T/4 ≤ 2, −0	+2, −T/2 ≤ 3	All	a, d, g, i, m, n, o
				f = 0 to T/2 ≤ 3	+T/4 ≤ 2, −0	Not limited[a]		
GTAW	TC-L5b	3 min. to 50	3 min. to 50	α = 45°	+10°, −0°	+10°, −5°		
FCAW	TC-U5-F	3 min. to U	3 min. to U	R = 0 to T/2 ≤ 3	+T/4 ≤ 2, −0	+2, −T/2 ≤ 3	All	d, g, i, m, n, o
				f = 0 to T/2 ≤ 3	+T/4 ≤ 2, −0	Not limited[a]		
				α = 45°	+10°, −0°	+10°, −5°		
SAW	TC-U5-S	10 min. to U	10 min. to U	R = 0	±0	+6, −0	F	d, g, i, m, n
				f = 6 max.	+0, −3	±2		
				α = 60°	+10°, −0°	+10°, −5°		

[a] Limited by minimum groove depth.

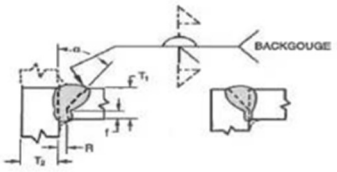
Figure 5.4 (Continued)—Prequalified CJP Groove Welded Joint Details (Dimensions in Millimeters)—Nontubular
[see 5.10.2, 5.11.2(1), 5.11.2(2), 5.11.4, 5.11.6, 5.13.4(1), 5.13.4(2), 7.8.2, and 7.8.4]

Para las juntas marcadas en color azul y verde en la Figura 21, que corresponden a las soldaduras entre las láminas perforadas y las paredes internas del tanque, se utilizará el mismo tipo de junta, dispuestas como se muestra en la Figura 23.

Figura 23

Tipo de junta de penetración completa en acero inoxidable [17]

Single-bevel-groove weld (4)
T-joint (T)
Corner joint (C)



ALL DIMENSIONS IN mm

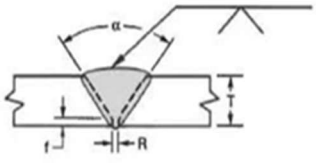
Welding Process	Joint Designation	Base Metal Thickness (U = Unlimited) T_1	Base Metal Thickness (U = Unlimited) T_2	Groove Preparation: Root Opening / Root Face / Groove Angle	Groove Preparation: Tolerances: As Detailed (see 5.11.2)	Groove Preparation: Tolerances: As Fit-Up (see 5.11.2)	Allowed Welding Positions	Notes
SMAW	TC-U4b	2 min. to U	2 min. to U	R = 0 to T/2 ≤ 3	+T/4 ≤ 2, –0	+2, –T/2 ≤ 3	All	d, g, m, n, o
				f = 0 to T/2 ≤ 3	+T/4 ≤ 2, –0	Not limited[a]		
				α = 45°	+10°, –0°	+10°, –5°		
GTAW	TC-L4b	2 min. to 25	2 min. to 25	R = 0 to T/2 ≤ 3	+T/4 ≤ 2, –0	+2, –T/2 ≤ 3	All	d, g, m, n, o
				f = 0 to T/2 ≤ 3	+T/4 ≤ 2, –0	Not limited[a]		
				α = 45°	+10°, –0°	+10°, –5°		
GMAW FCAW	TC-U4b-GF	3 min. to U	3 min. to U	R = 0 to T/2 ≤ 3	+T/4 ≤ 2, –0	+2, –T/2 ≤ 3	All	a, d, g, m, n, o
				f = 0 to T/2 ≤ 3	+T/4 ≤ 2, –0	Not limited[a]		
				α = 45°	+10°, –0°	+10°, –5°		
SAW	TC-U4b-S	10 min. to U	10 min. to U	R = 0	±0	+6, –0	F	d, g, m, n
				f = 6 max.	+0, –3	±2		
				α = 60°	+10°, –0°	+10°, –5°		

El ultimo tipo de junta que se debe de realizar internamente son los cordones de la tubería que lleva por dentro. Como para este proyecto la tubería no hace parte de un elemento estructural no es necesario diseñar un PWPS y se realizarán recomendaciones a través de la información dada por el siguiente tipo de junta (Figura 24).

Figura 24

Tipo de junta de penetración completa en acero inoxidable [17]

Single-V-groove weld (2)
Butt joint (B)

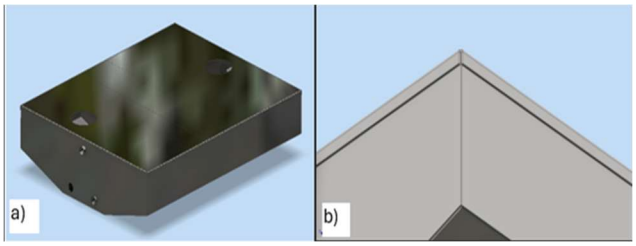


Welding Process	Joint Designation	Base Metal Thickness T	Groove Preparation: Root Opening / Root Face / Groove Angle	Groove Preparation: Tolerances: As Detailed (see 5.11.2)	Groove Preparation: Tolerances: As Fit-Up (see 5.11.2)	Allowed Welding Positions	Notes
GTAW	B-L2b	1/16 min. to 1	R = 0 to T/2 ≤ 1/8	+T/4 ≤ 1/16, –0	+1/16, –T/2 ≤ 1/32	All	e, o, p, q
			f = 0 to T/2 ≤ 1/16	+T/4 ≤ 1/32, –0	+0, –T/2 ≤ 1		
			α = 75°	+0°, –10°	±5°		

Por último, se debe realizar la soldadura correspondiente a la tapa del tanque. Sin embargo, debido a que el tipo de ranura no está cubierto por la norma para este proceso, no es posible diseñar un WPS precalificado. Por lo tanto, se procederá a diseñar las recomendaciones de soldadura basadas en los lineamientos establecidos por la norma. En la siguiente imagen se presenta la sección del pontón, donde se han invisibilizado la tapa frontal y superior. Adicionalmente, se muestra el plano de corte y la sección del pontón.

Figura 25

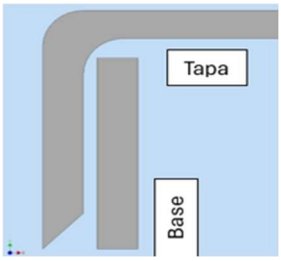
a) *Tanque de aguas negras y b) detalle de las aristas de los tanques*



Consecuentemente, al biselar el interior del borde de la tapa del tanque, se puede obtener la ranura, tal como se muestra en la Figura 26.

Figura 26

Esquema de la soldadura entre la pase u tapa superior de los tanques.



Para este esquema la junta que se utiliza como base es la Figura 27.

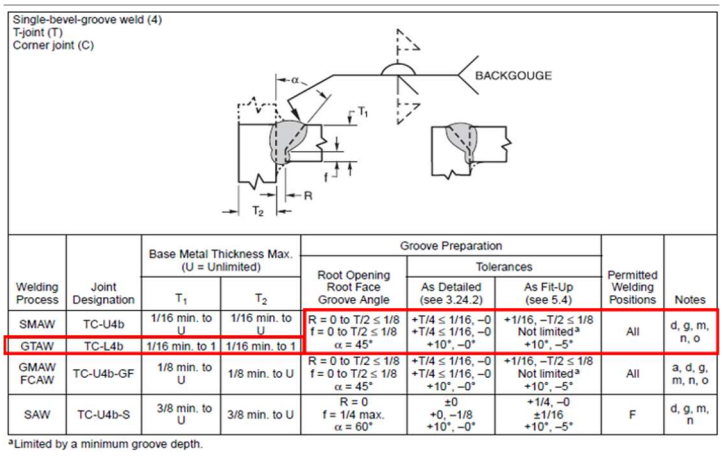
Para seleccionar el tipo de electrodo para el proceso GTAW, es fundamental considerar que comercialmente se identifican mediante un código de colores. Este código ayuda a determinar tanto los materiales que pueden soldar como las propiedades del arco eléctrico que generan. Se eligen electrodos de punta roja WT20 de Ø 2,4 mm, marca WQTB, debido a su disponibilidad comercial

y facilidad de adquisición. En la siguiente imagen se pueden observar las propiedades y condiciones operativas de este electrodo.

El gas de protección seleccionado es argón, conforme a los requerimientos establecidos en la norma AWS D 5.32 1

Figura 27

Tipo de junta de penetración completa en acero inoxidable [17]



Welding Process	Joint Designation	Base Metal Thickness Max. (U = Unlimited) T_1	Base Metal Thickness Max. (U = Unlimited) T_2	Groove Preparation: Root Opening Root Face Groove Angle	Groove Preparation: Tolerances: As Detailed (see 3.24.2)	Groove Preparation: Tolerances: As Fit-Up (see 5.4)	Permitted Welding Positions	Notes
SMAW	TC-U4b	1/16 min. to U	1/16 min. to U	R = 0 to T/2 ≤ 1/8 f = 0 to T/2 ≤ 1/8 α = 45°	+T/4 ≤ 1/16, –0 +T/4 ≤ 1/16, –0 +10°, –0°	+1/16, –T/2 ≤ 1/8 Not limited[a] +10°, –5°	All	d, g, m, n, o
GTAW	TC-L4b	1/16 min. to 1	1/16 min. to 1					
GMAW FCAW	TC-U4b-GF	1/8 min. to U	1/8 min. to U	R = 0 to T/2 ≤ 1/8 f = 0 to T/2 ≤ 1/8 α = 45°	+T/4 ≤ 1/16, –0 +T/4 ≤ 1/16, –0 +10°, –0°	+1/16, –T/2 ≤ 1/8 Not limited[a] +10°, –5°	All	a, d, g, m, n, o
SAW	TC-U4b-S	3/8 min. to U	3/8 min. to U	R = 0 f = 1/4 max. α = 60°	±0 +0, –1/8 +10°, –0°	+1/4, –0 ±1/16 +10°, –5°	F	d, g, m, n

[a]Limited by a minimum groove depth.

Tabla 1

Catálogo de electrodos WQTB

Electrode diameter affects welding performance and weld bead shape.Again, the best way to determine which tungsten is best suited for your application is through testing , however , the folowing chart should serve as a general guide.

Electrode Diameter (mm)	Direct Current(A) D.C.+ (electrode connect negative) WP、WZr8(Acceptable)	Direct Current(A) D.C.+ (electrode connect negative) WT20、WC20、WL15/20 (Recommended)	Direct Current(A) D.C.- (electrode connect positive) WP (Acceptable)	Alternating Current(A) WP、WZr8 (Recommended)	Alternating Current(A) WT20、WC20、WL15/20 (Acceptable)
1.0	10-75	10-75	-	15-55	15-70
1.6	40-130	60-150	10-20	45-90	60-125
2.0	75-180	100-200	15-25	65-125	85-160
2.4	-	150-250	-	60-130	100-180
3.2	160-310	225-330	20-35	150-190	150-250

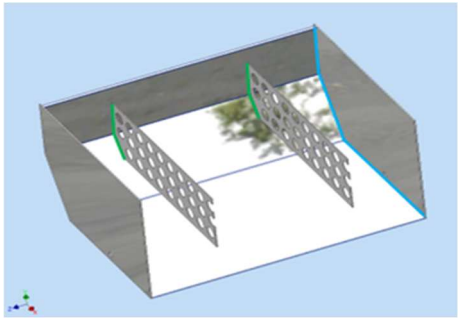
Electrode model	Color tip	Welding material and Alloy type	Advantages
WT20	Red	Stainless steels、Carbon steel、Nickel、Titanium、Copper and its alloys	High and low currents are both acceptable the performance under overload current is also very good.
WC20	Grey	Stainless steels、pipeline and small precision parts welding.	The best alternative to WT20 under low welding current ,not suitable for high welding current.
WL15	Gold	Stainless steels、Carbon steel、Nickel、Titanium、Copper、Magnesium、Aluminium and its alloys	It can replace WT20 under low current condition, with longger service life.
WL20	Blue		When current exceeds 250AMP, the wastage is worse than WT20.
WE3	Purple	Stainless steels、Carbon steel、Nickel、Titanium、Copper and its alloys ,All material	The newest alternative to WT20 as green products.
WP	Green	Magnesium、Aluminium and its alloys	Arc is stable under low welding current. The wastage is very apparent under high welding current.

[1] https://www.macrogas.com.co/wp-content/uploads/2021/04/FICHA-TECNICA-ARGON.pdfn

El tanque de agua potable posee una geometría similar al tanque de aguas negras, aunque es ligeramente más grande. Asimismo, cuenta con rompeolas y se fabricará utilizando el mismo material que el tanque de aguas negras. En la Figura 28, se muestra el tanque de agua junto con los diferentes tipos de juntas para su construcción, las cuales son las mismas que se utilizan en el tanque de aguas negras. La base y las tapas frontal y lateral, marcadas en color azul, emplean el mismo tipo de junta que la base y las tapas frontal y trasera del tanque de aguas negras, también indicadas en azul en la Figura 28. Las platinas para romper las olas de ambos tanques utilizan el mismo tipo de junta. Finalmente, la tapa del tanque de agua se construirá siguiendo los parámetros previamente determinados para la tapa del tanque de aguas negras.

Figura 28

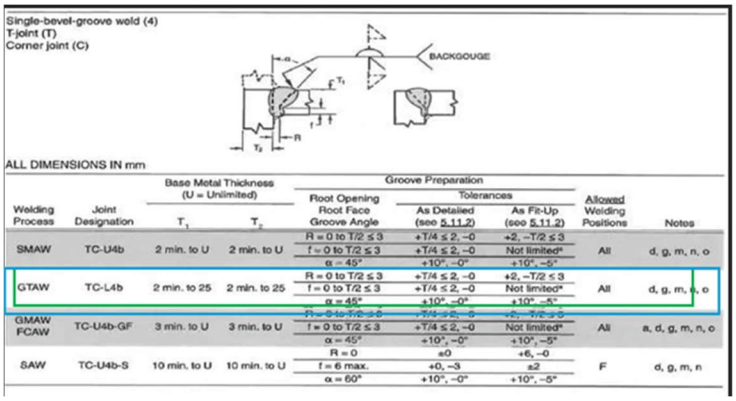
Interior del tanque de agua potable: verde (Figura 29) y azul (Figura 29)



Como se mencionó anteriormente el tipo de juntas poseen los mismos parámetros dados en la construcción del tanque de aguas negras y se especifican en la Figura 29.

Figura 29

Tipo de junta de penetración completa en acero inoxidable



Welding Process	Joint Designation	Base Metal Thickness (U = Unlimited) T_1	Base Metal Thickness (U = Unlimited) T_2	Groove Preparation: Root Opening / Root Face / Groove Angle	Tolerances: As Detailed (see 5.11.2)	Tolerances: As Fit-Up (see 5.11.2)	Allowed Welding Positions	Notes
SMAW	TC-U4b	2 min. to U	2 min. to U	R = 0 to T/2 ≤ 3 f = 0 to T/2 ≤ 3 α = 45°	+T/4 ≤ 2, −0 +T/4 ≤ 2, −0 +10°, −0°	+2, −T/2 ≤ 3 Not limited[a] +10°, −5°	All	d, g, m, n, o
GTAW	TC-L4b	2 min. to 25	2 min. to 25	R = 0 to T/2 ≤ 3 f = 0 to T/2 ≤ 3 α = 45°	+T/4 ≤ 2, −0 +T/4 ≤ 2, −0 +10°, −0°	+2, −T/2 ≤ 3 Not limited[a] +10°, −5°	All	d, g, m, n, o
GMAW FCAW	TC-U4b-GF	3 min. to U	3 min. to U	R = 0 to T/2 ≤ 3 f = 0 to T/2 ≤ 3 α = 45°	+T/4 ≤ 2, −0 +T/4 ≤ 2, −0 +10°, −0°	+2, −T/2 ≤ 3 Not limited[a] +10°, −5°	All	a, d, g, m, n, o
SAW	TC-U4b-S	10 min. to U	10 min. to U	R = 0 f = 6 max. α = 60°	±0 +0, −3 +10°, −0°	+6, −0 ±2 +10°, −5°	F	d, g, m, n

En la siguiente tabla se presentan los parámetros adicionales necesarios para la construcción del tanque de agua.

Tabla 2

Requerimientos para PWPS en acero inoxidable.

Table 5.4
PWPS Requirements (see 5.7.1)

Variable	Position	Weld Type	SMAW	SAW[b]	GMAW[c,d]	FCAW[c,e]	GTAW[c,e,h]
Maximum Electrode Diameter in [mm]	Flat	Fillet	1/4 [6.4][a]	1/4 [6.4]	1/16 [1.6]	3/32 [2.4]	5/32 [4.0]
		Groove	1/4 [6.4][a]	1/4 [6.4]			
		Root Pass	1/4 [6.4]	1/4 [6.4]			
	Horizontal	Fillet	1/4 [6.4]	1/4 [6.4]			
		Groove	3/16 [4.8]	1/4 [6.4]			
	Vertical Overhead	All	5/32 [4.0]	NA			
Maximum Current (A)	All	Fillet		600 (H) 800 (F)			See Note g
		Groove Weld Root Pass With Opening	Within the range of recommended operation by the filler metal manufacturer	600	Within the range of recommended operation by the filler metal manufacturer	Within the range of recommended operation by the filler metal manufacturer	
		Groove Weld Root Pass Without Opening					
		Groove Weld Fill Passes		800			
		Groove Weld Cap Passes					
Maximum Root Pass Thickness in [mm][f]	Flat	All	1/4 [6]	1/2 [12]	3/16 [5]	1/4 [6]	3/16 [5]
	Horizontal		1/4 [6]	3/8 [10]	3/16 [5]	1/4 [6]	
	Vertical		1/4 [6]	NA	3/16 [5]	1/4 [6]	
	Overhead		1/4 [6]		3/16 [5]	1/4 [6]	
Maximum Fill Pass Thickness in [mm]	Flat	All	1/8 [3]	1/4 [6]	1/4 [6]	1/4 [6]	1/8 [3]
	Horizontal		3/16 [5]	5/16 [8]			
	Vertical		3/16 [5]	NA			
	Overhead		3/16 [5]				
Maximum Single Pass Fillet Weld Size in [mm]	Flat	Fillet	3/8 [10]	1/2 [12]	1/2 [12]	1/2 [12]	1/4 [6]
	Horizontal		5/16 [8]	5/16 [8]	5/16 [8]	5/16 [8]	3/16 [5]
	Vertical		1/2 [12]	NA	1/2 [12]	1/2 [12]	3/16 [5]
	Overhead		5/16 [8]		1/4 [6]	5/16 [8]	3/16 [5]
Maximum Single Pass Layer Width in [mm][h]	All (for SMAW, GMAW, FCAW, GTAW) F & H (for SAW)	Any individual layer of width w	1/2 [12]	5/8 [16]	1/2 [12]	1/2 [12]	1/2 [12]

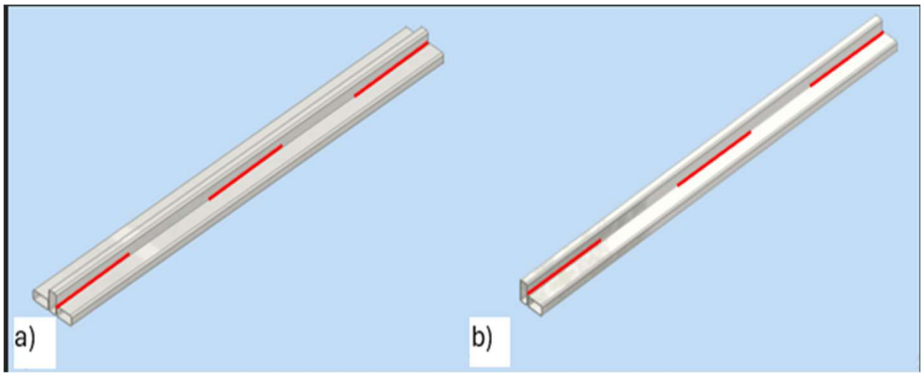
[a] Except root passes.
[b] Single electrode.
[c] See 5.7.1(2).
[d] All metal transfer modes of GMAW are prequalified in all positions except vertical down. In addition, GMAW-S is also prequalified for vertical-down welding for base metal thicknesses 3/16 in [5 mm] and less. Prequalification of GMAW-S is limited to helium base shielding gas mixtures of at least 85% He by volume. Prequalified shielding gases for all other metal transfer modes of GMAW are argon or helium-based and limited to those containing at least 0.5%, but not more than 6% total, by volume, of oxygen or carbon dioxide, including no more than 3% carbon dioxide.
[e] FCAW-G is prequalified in all positions, except that vertical-down prequalification is limited to 3/16 in [5 mm] maximum base metal thickness. FCAW-S is prequalified in the flat, horizontal, and vertical-upward positions. Prequalified shielding gases for electrodes classified with gas shielding are limited to carbon dioxide and mixtures of argon with not less than 20%, by volume, carbon dioxide.
[f] See 5.7.1(3) for width-to-depth limitations.
[g] GTAW and pulsed GTAW are prequalified in all welding positions, DCEN only, but the vertical-down progression is limited to 3/16 in [5 mm] maximum base metal thickness. Prequalified shielding gases are restricted to argon, helium, and argon-helium mixtures.
[h] Split layers when the maximum single pass layer width is exceeded. H = Horizontal; F = Flat.

5.1.3 Construcción e componentes estructurales en acero al carbono

Finalmente, en la construcción de la casa bote, es esencial construir componentes estructurales, tales como las columnas. Estas están formadas por la unión de dos o tres PTS ubicados en los vértices de cada espacio. En la Figura 30 se puede observar la configuración de las columnas de dos y tres PTS, respectivamente.

Figura 30

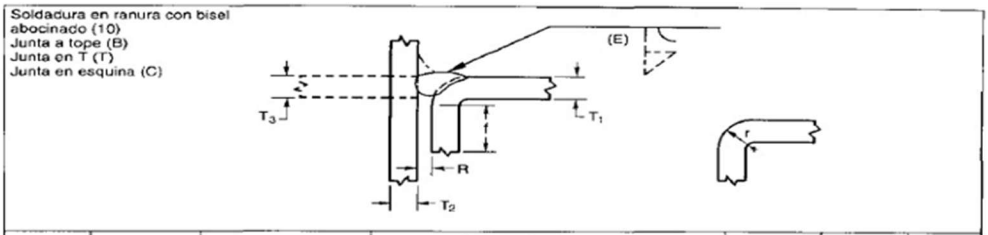
a) Esquema de columna con 3 y b) Esquema de columna con 2 PTS.



Para las juntas mencionadas anteriormente en color rojo están dadas por la Figura 31.

Figura 31

Tipos de junta de penetración parcial para aceros al carbono [15]

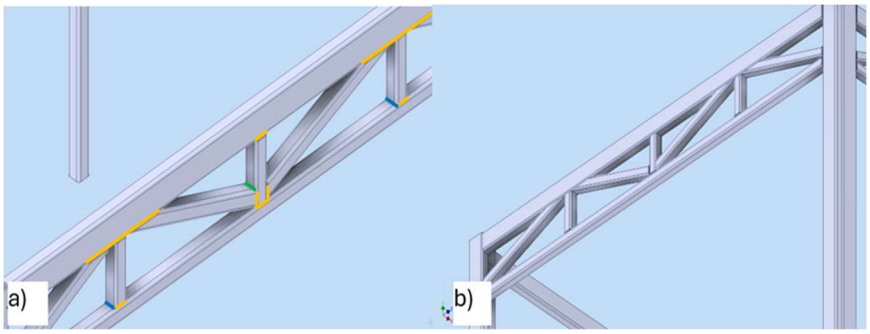


Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado) T_1	T_2	T_3	Preparación de la ranura: Abertura de la raíz; Cara de la raíz; Radio de doblado	Tolerancias: Según detalle (véase 3.12.3)	Tolerancias: Según acoplamiento (véase 3.12.3)	Posiciones de soldadura permitidas	Tamaño de la soldadura (E)	Notas
SMAW FCAW-S	BTC-P10	3/16 mín.	U	T_1 mín.	R = 0 f = 3/16 mín. $r = \frac{3T_1}{2}$ mín.	+1/16, −0 +U, −0 +U, −0	+1/8, −1/16 +U, −1/16 +U, −0	Todas	5/16 r	e, g, j, l
GMAW FCAW-G	BTC-P10-GF	3/16 mín.	U	T_1 mín.	R = 0 f = 3/16 mín. $r = \frac{3T_1}{2}$ mín.	+1/16, −0 +U, −0 +U, −0	+1/8, −1/16 +U, −1/16 +U, −0	Todas	5/8 r	a, g, j, l, m
SAW	B-P10-S	1/2 mín.	N/A	1/2 mín.	R = 0 f = 1/2 mín. $r = \frac{3T_1}{2}$ mín.	±0 +U, −0 +U, −0	+1/16, −0 +U, −1/16 +U, −0	F	5/16 r	g, j, l, m

Para estas columnas, se realizarán soldaduras con cordones de 400 milímetros de largo, iniciando en la base del ensamble y separados entre sí por 620 milímetros. Las cerchas están diseñadas para apoyarse entre columnas, utilizando como cuerda superior un PTS de 2x4 pulgadas, calibre 16, y como cuerda inferior y diagonales, un PTS de 2x2 pulgadas, calibre 15. En la Figura 31 se presenta la disposición de las cerchas y las columnas.

Figura 32

Esquema de cerchas a) vista superior y b) vista inferior: amarillo (Figura 32), azul (Figura 33) y verde (Figura 36).

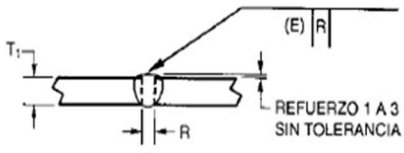


Para las juntas de color amarillo se tiene el siguiente tipo de junta aprobada por la norma (Figura 32).

Figura 33

Tipos de junta de penetración parcial para aceros al carbono [15].

Soldadura en ranura en escuadra (1)
Junta a tope (B)



TODAS LAS DIMENSIONES EN mm

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado) T_1	T_2	Preparación de la ranura: Abertura de la raíz	Tolerancias: Según detalle (véase 3.12.3)	Tolerancias: Según acoplamiento (véase 3.12.3)	Posiciones de soldadura permitidas	Tamaño de la soldadura (E)	Notas
SMAW	B-P1a	3	—	R = 0 a 2	+2, −0	±2	Todas	$T_1 - 1$	b
	B-P1c	6 máx.	—	$R = \frac{T_1}{2}$ mín.	+2, −0	±2	Todas	$\frac{T_1}{2}$	b
GMAW FCAW	B-P1a-GF	3	—	R = 0 a 2	+2, −0	±2	Todas	$T_1 - 1$	b, e
	B-P1c-GF	6 máx.	—	$R = \frac{T_1}{2}$ mín.	+2, −0	±2	Todas	$\frac{T_1}{2}$	b, e

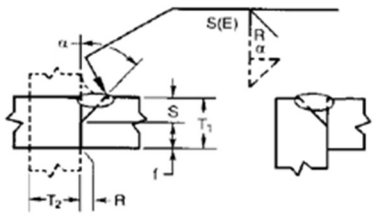
Para las juntas de color azul se tiene las características presentadas en la Figura 23.

Figura 34

Tipo de junta de penetración parcial para acero al carbono [15]

Ver Notas en la página 65

Soldadura en ranura con bisel simple (4)
Junta a tope (B)
Junta en T (T)
Junta en esquina (C)



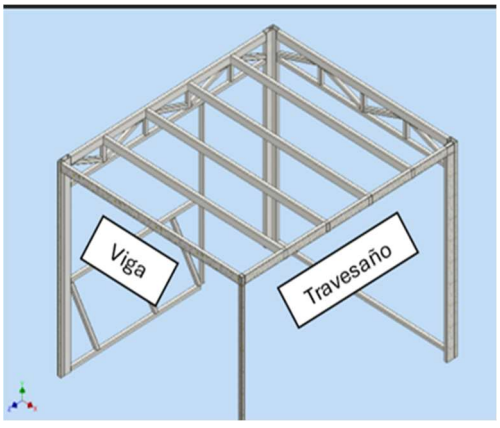
TODAS LAS DIMENSIONES EN mm

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado) T_1	Espesor del metal base (U = ilimitado) T_2	Preparación de la ranura: Abertura de la raíz, Cara de la raíz, Ángulo de la ranura	Preparación de la ranura: Tolerancias: Según detalle (véase 3.12.3)	Preparación de la ranura: Tolerancias: Según acoplamiento (véase 3.12.3)	Posiciones de soldadura permitidas	Tamaño de la soldadura (E)	Notas
SMAW	BTC-P4	U	U	R = 0 f = 3 mín. α = 45°	+2, −0 +U −0 +10°, −0°	+3, −2 ±2 +10°, −5°	Todas	S–3	b, e, f, g, j, k
GMAW FCAW	BTC-P4-GF	6 mín.	U	R = 0 f = 3 mín. α = 45°	+2, −0 +U −0 +10°, −0°	+3, −2 ±2 +10°, −5°	F, H V, OH	S S–3	a, b, f, g, j, k
SAW	TC-P4-S	11 mín.	U	R = 0 f = 6 mín. α = 60°	±0 +U, −0 +10°, −0°	+2, −0 ±2 +10°, −5°	F	S	b, f, g, j, k

Para este caso no es posible realizar PWPS para el proceso de GMAW, por lo cual se procede a realizar el PWPS en SMAW. Las vigas transversales del inmueble están diseñadas con PTS de 2x4 pulgadas, calibre 16, y se apoyan sobre las cuerdas superiores de las cerchas y los travesaños, también fabricados con el mismo material. En la siguiente imagen se puede observar el montaje en donde el tipo de junta es también a filete a 90° como en el caso anterior.

Figura 35

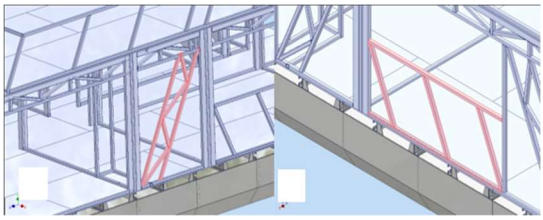
Diseño de las habitaciones



El primer piso consta de una habitación principal, un baño, una habitación de huéspedes y una sala-comedor, los cuales comparten los mismos elementos estructurales en diferentes proporciones. El análisis de las juntas necesarias para estos componentes es fundamental para definir los elementos estructurales de la primera planta. En los laterales de la casa se encuentran cerchas inclinadas, fabricadas en PTS de 2x2 pulgadas, calibre 16. Estas cerchas, aunque contribuyen parcialmente al soporte de carga, tienen una función principalmente decorativa. Adicionalmente, tanto el primer como el segundo piso cuentan con pasamanos para proteger a las personas que habitan el inmueble En la Figura 34 se presentan dichos elementos.

Figura 36

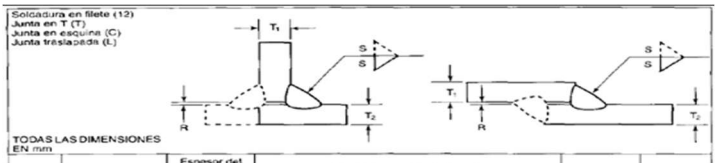
a) Cercha del primer piso y b) pasamanos



Las juntas de los PTS que se encuentran en la posición de filete con ángulos diferentes a los 90° no son aptos para un PWPS ya que tienen ángulos entre las caras que están debajo o arriba de los límites tolerables. Sin embargo, al igual que en algunos casaos anteriores las recomendaciones de soldadura para este proceso se realizarán con la información de apoyo en la Figura 36.

Figura 37

Tipos de junta de penetración parcial para aceros al carbono

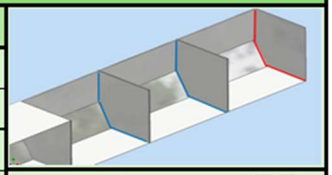
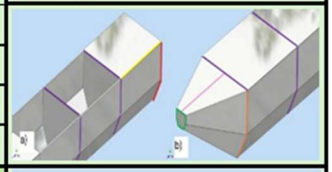
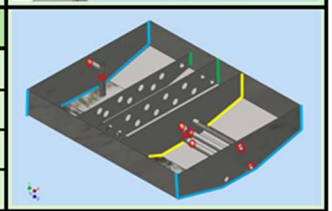
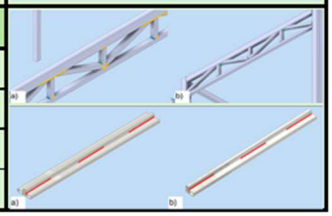


Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base T_1 o T_2	Diseño/Geometría de la junta: Abertura de la raíz	Tolerancias: Según detalle	Tolerancias: Según acoplamiento	Posiciones de soldadura permitidas	Notas
SMAW	TC-F12	<75	R = 0	+2, –0	5 máx.	Todas	a, b, d
	TC-F12a	≥75			8 máx.		a, b, c
	L-F12	<75			5 máx.		a, b, c
	L-F12a	≥75			8 máx.		a, b, c
GMAW FCAW	TC-F12-GF	<75	R = 0	+2, –0	5 máx.	Todas	a, b, d
	TC-F12a-GF	≥75			8 máx.		a, b, d
	L-F12-GF	<75			5 máx.		a, b, c
	L-F12a-GF	≥75			8 máx.		a, b, c
SAW	TC-F12-S	<75	R = 0	+2, –0	5 máx.	F, H	a, b, d
	TC-F12a-S	≥75			8 máx.		a, b, d
	L-F12-S	<75			5 máx.		a, b, c
	L-F12a-S	≥75			8 máx.		a, b, c

5.2 Identificación de las juntas a las cuales se puede aplicar WPS precalificados

Tabla 3

Tipos de soldaduras según la junta

	Tipo de soldadura		
Aluminio	Recomendaciones	WPS Precalificados	
Roja	X		
Azul	X		
Amarillas	X		
Verdes	X		
Moradas	X		
Naranjas	X		
Rosadas	X		
Inoxidable	Recomendaciones	WPS Precalificados	
Roja	X		
Azul		X	
Verdes		X	
Amarillas		X	
Inoxidable	Recomendaciones	WPS Precalificados	
Roja		X	
Azul		X	
Verdes	X		
Amarillas		X	

Las juntas en aluminio no se pueden considerar precalificadas ya que en la norma AWS D 1,2

5.3 Selección de parámetros operativos para PWPS y recomendaciones de soldadura

5.3.1 Parámetros recomendados para la soldadura de las juntas de aluminio

Conforme a la norma AWS D1.2, se lleva a cabo la selección de los parámetros necesarios para el diseño de juntas de soldadura en componentes o materiales de aluminio. Estos parámetros preestablecidos son:

- Material: Aluminio 6063de 4 mm de espesor.

Tipos de junta.

- Posición de soldadura.
- Proceso de soldadura GTAW.

El capítulo 4 de la norma AWS D1.2 detalla el proceso de selección de parámetros, comenzando con la elección del material de aporte, el cual debe ser compatible con el material base a soldar (en este caso, aluminio 6063), tal como se ilustra en la Tabla 3.

Tabla 4

Tipo de aporte recomendado según el metal base para aleaciones de aluminio [16]

Table 4.2
Recommended Aluminum Alloy Filler Metals for Structural Welding of Various Base Aluminum Alloys (see 4.4.1)

Base Metal to Base Metal	1060, 1100, 3003, Alclad 3003	2219, A201.0	3004, Alclad 3004	5005, 5050	5052	5083, 5456	5086, 514.0, 535.0	5154, 5254	5454	6005, 6005A, 6061, Alclad 6061, 6063, 6082, 6351	7005	354.0 C355.0	356.0, A356.0, 357.0, A357.0, 359.0, 443.0, A444.0
356.0, A356.0, 357.0, A357.0, 359.0, 443.0, A444.0	4043	4145	4043	4043	4043	5356	5356	4043	4043	4043	4043	4145	4043
354.0, C355.0	4145	4145	4145	4145	4043	NR	NR	NR	4043	4145	4145	4145	
7005	5356	4145	5356	5356	5356	5556	5356	5356	5356	5356	5356		
6005, 6005A, 6061, Alclad 6061, 6063, 6082, 6351	4043	4145	5356	4043, 5356	4043, 5356	5356	5356	5356	5356	4043, 5356			
5454	4043	4043	5356	5356	5356	5356	5356	5356	5554				
5154, 5254	4043	NR	5356	5356	5356	5356	5356	5356					
5086, 514.0, 535.0	5356	NR	5356	5356	5356	5356	5356						
5083, 5456	5356	NR	5356	5356	5356	5183, 5556[a]							
5052	4043	4043	4043	4043, 5356	5356								
5005, 5050	4043	4145	4043	4043, 5356									
3004, Alclad 3004	4043	4145	4043										
2219, A201.0	4145	2319											
1060, 1100, 3003, Alclad 3003	1100												

[a] 5556 is recommended for welding 5456 to itself.

Notes:
1. The filler alloy shown is the best choice for most structural applications. Where two filler alloys are shown, either is acceptable.
2. Whenever 4043 is shown, 4047 is an acceptable alternate.
3. Whenever 5356 is shown, 5183 or 5556 are acceptable alternates.
4. Al-Mg alloys containing more than 3% Mg should not be used in applications where long-term exposures above 150°F are encountered
5. There are applications where specific requirements make the selection of filler alloys other than those shown above necessary.

Según la Tabla 3, para las juntas del material base de aluminio 6005 se pueden emplear dos tipos de material de aporte: 4043 y 5356. En esta situación específica, se selecciona el material de aporte 4043 de 1/8" con electrodo de tungsteno de punta verde, conforme a la norma AWS D5.12. Esta elección se debe a que es la opción más comercialmente accesible en el mercado nacional.

Para los procesos de soldadura GTAW en materiales de aluminio, se seleccionará el gas de protección argón, de acuerdo con lo estipulado en la norma AWS A5.32/A5.32M. Esta elección se justifica por su fácil disponibilidad en el mercado nacional.

Consecuentemente en el proceso de soldadura de aluminio se recomienda respecto a las juntas y los materiales adyacentes a estas deben estar completamente limpios, sin rastros de aceites, agua u óxidos. Es fundamental asegurar que la junta no presente ninguna discontinuidad, como rasgaduras, rebabas, inclusiones o grietas. En caso de requerir pulido, no debe realizarse con abrasivos que puedan contaminarse con el aluminio ni con aquellos que contengan residuos de aceites o hidrocarburos.

Durante la ejecución de la junta, es crucial asegurar que las piezas estén alineadas conforme a los requisitos especificados en la sección 4.16.1.3 de la norma AWS D 1,2. Para soldaduras a tope, las piezas deben estar alineadas con un desfasamiento inferior al 10% del espesor de la pieza más delgada o menor a 3 mm. En el caso de soldaduras de filete, la separación entre las piezas no debe exceder los 2 mm.

En el caso de soldaduras de ranura, las tolerancias de las medidas no deben exceder los siguientes límites especificados en la sección 4.16.1.3.

1. Cara de raíz: 2 mm.
2. Apertura de la raíz en juntas sin respaldo o con respaldo temporal: 2 mm.
3. Apertura de la raíz en juntas con respaldo permanente: 6 mm.
4. Ángulo de la ranura de la junta: +10° -5°.

Para las soldaduras realizadas desde un solo lado y sin respaldo, las tolerancias dimensionales de la ranura no deben exceder los siguientes valores.

1. Cara de raíz: 2 mm.
2. Apertura de la raíz en juntas sin respaldo o con respaldo temporal: 2 mm.
3. Ángulo de la ranura de la junta: +10° -5°.

La sección 4.16.2 establece que, para las soldaduras de filete en materiales con espesores inferiores a 75 mm, las dimensiones de las soldaduras no deben exceder los 2 mm. La selección de las técnicas de soldadura a emplear se fundamenta en la norma previamente mencionada. Esta norma proporciona los parámetros esenciales para definir la técnica de soldadura adecuada según el proceso a utilizar, tal como se indica en la Tabla 4.

Tabla 5

Técnicas de soldadura aluminio con proceso GTAW [16]

Variable	Position	Weld Type	GMAW	GTAW
Metal Transfer Mode	All	All	Spray Transfer Mode	Within the compatible range specific to the type and diameter of the tungsten electrode
Direction	V	All	Uphill	Uphill
Torch Attitude	All	All	Forehand[a]	Forehand
Maximum Single-Pass Fillet Weld Size	F, V	Fillet	1/2 in [12 mm]	1/4 in [6 mm]
	H, OH		3/8 in [10 mm]	1/4 in [6 mm]
	All[b]		5/16 in [8 mm]	1/4 in [6 mm]
Maximum Fill Pass Thickness	All	All	1/4 in [6 mm]	1/4 in [6 mm]
Maximum Single Pass Layer Width	All	Root opening >3/8 in [10 mm], or	Split Layers	Split Layers
		Any layer of width w	w > 1/2 in [12 mm] use Split Layers	w > 3/8 in [10 mm] use Split Layers

[a] Backhand allowed for root passes if qualified by PQR.
[b] For heat-treatable aluminum alloys that are to be postweld precipitation-age-hardened only.

Algunas recomendaciones adicionales o específicas para soldadura en aleaciones de aluminio son:

- Para minimizar las distorsiones en la soldadura, la norma establece que las juntas que se prevé tendrán una contracción significativa deben soldarse antes que aquellas con menor contracción esperada. En la medida de lo posible, todas las soldaduras deben aplicarse en una secuencia que equilibre el calor durante el proceso. La dirección de progresión de la soldadura de un elemento debe comenzar desde los puntos donde las partes estén relativamente fijas hasta los puntos con mayor libertad de movimiento.
- En caso de ser necesaria la corrección de miembros deformados, estos deben ser enderezados mediante fuerza mecánica o la aplicación de calor, prestando especial atención a los puntos de calentamiento y la aplicación de fuerza mecánica. La aplicación de calor en las soldaduras debe seguir las recomendaciones especificadas en la Tabla 5.

Tabla 6

Tiempos máximos de retención acumulativos a temperaturas elevadas

Table 4.5
Maximum Cumulative Holding Times at Elevated Temperatures (see 4.22.4)

Temperature[a]		2219-T31, T351, T37, 6005-T5, 6061-T4, T5, T6, Alclad 6061-T4, T5, T6, 6063-T5, T6, 6351-T5[b]	1060, 1100, 3003, 3004, Alclad 3003, Alclad 3004, 5005, 5050, 5052, 5454, 5652, 443.0[c]	5083 5086 5154 5254 5456 514.0 535.0[c]	7005-T53[d]	A201.0-T4 354.0-T4 C355.0-T4 356.0-T4 A356.0-T4 357.0-T4 A357.0-T4 359.0-T4 A444.0-T4[e]
°F	°C					
800	427	NA	50 h	50 h	50 h	NA
500	260	NA	50 h	50 h	NA	NA
450	232	5 min	50 h	50 h	NA	NA
425	218	15 min	50 h	NA	NA	NA
400	204	30 min	50 h	NA	NA	NA
375	191	2 h	50 h	NA	NA	NA
350	177	10 h	50 h	NA	NA	NA
250–325	121–163	50 h	50 h	NA	NA	Note e

[a] Equal formability may be obtained with shorter periods of heating at correspondingly higher temperatures. Time at temperature for clad alloys should be kept at a minimum to prevent diffusion of the cladding into the core alloy. Heating should be as rapid as possible, particularly for temperatures 400°F [204°C] and above. Excessive time to approach the desired temperatures can have deleterious effects similar to those resulting from excess time at temperature.
[b] Losses in strength for these alloys in the T5 and T6 tempers will not exceed about 5% when heated at the temperature and for the periods shown. Strength of the T4 temper alloys will increase.
[c] These alloys will be annealed at 650°F [343°C] and above.
[d] Refer to 4.22.3.
[e] Refer to 4.22.4.

5.3.2 Diseño de WPS precalificados en soldaduras de acero inoxidable

Para establecer los parámetros de soldadura precalificados en aceros inoxidables, es necesario consultar los primeros temas del capítulo 5 de la norma AWS D 1.6. Este capítulo especifica las limitaciones y parámetros cruciales para el diseño de juntas precalificadas. La Tabla 6 muestra los requerimientos necesarios a definir en un PWPS en soldadura para acero inoxidable.

Tabla 7

Parámetros generales en soldadura de acero inoxidable [17]

Table 5.4
PWPS Requirements (see 5.7.1)

Variable	Position	Weld Type	SMAW	SAW[b]	GMAW[c,d]	FCAW[c,e]	GTAW[c,d,h]
Maximum Electrode Diameter in [mm]	Flat	Fillet	1/4 [6.4][a]	1/4 [6.4]	1/16 [1.6]	3/32 [2.4]	5/32 [4.0]
		Groove	1/4 [6.4][a]	1/4 [6.4]			
		Root Pass	1/4 [6.4]	1/4 [6.4]			
	Horizontal	Fillet	1/4 [6.4]	1/4 [6.4]			
		Groove	3/16 [4.8]	1/4 [6.4]			
	Vertical Overhead	All	5/32 [4.0]	NA			
Maximum Current (A)	All	Fillet		600 (H) 800 (F)			See Note g
		Groove Weld Root Pass With Opening	Within the range of recommended operation by the filler metal manufacturer		Within the range of recommended operation by the filler metal manufacturer	Within the range of recommended operation by the filler metal manufacturer	
		Groove Weld Root Pass Without Opening		600			
		Groove Weld Fill Passes					
		Groove Weld Cap Passes		800			
Maximum Root Pass Thickness in [mm][f]	Flat	All	1/4 [6]	1/2 [12]	3/16 [5]	1/4 [6]	3/16 [5]
	Horizontal		1/4 [6]	3/8 [10]	3/16 [5]	1/4 [6]	
	Vertical		1/4 [6]	NA	3/16 [5]	1/4 [6]	
	Overhead		1/4 [6]		3/16 [5]	1/4 [6]	
Maximum Fill Pass Thickness in [mm]	Flat	All	1/8 [3]	1/4 [6]	1/4 [6]	1/4 [6]	1/8 [3]
	Horizontal		3/16 [5]	5/16 [8]			
	Vertical		3/16 [5]	NA			
	Overhead		3/16 [5]				
Maximum Single Pass Fillet Weld Size in [mm]	Flat	Fillet	3/8 [10]	1/2 [12]	1/2 [12]	1/2 [12]	1/4 [6]
	Horizontal		5/16 [8]	5/16 [8]	5/16 [8]	5/16 [8]	3/16 [5]
	Vertical		1/2 [12]	NA	1/2 [12]	1/2 [12]	3/16 [5]
	Overhead		5/16 [8]		1/4 [6]	5/16 [8]	3/16 [5]
Maximum Single Pass Layer Width in [mm][i]	All (for SMAW, GMAW, FCAW, GTAW) F & H (for SAW)	Any individual layer of width w	1/2 [12]	5/8 [16]	1/2 [12]	1/2 [12]	1/2 [12]

[a] Except root passes.
[b] Single electrode.
[c] See 5.7.1(2).
[d] All metal transfer modes of GMAW are prequalified in all positions except vertical down. In addition, GMAW-S is also prequalified for vertical-down welding for base metal thickness ≥ 3/16 in [5 mm] and less. Prequalification of GMAW-S is limited to helium base shielding gas mixtures of at least 85% He by volume. Prequalified shielding gases for all other metal transfer modes of GMAW are argon or helium-based and limited to those containing at least 0.5%, but not more than 6% total, by volume, of oxygen or carbon dioxide, including no more than 3% carbon dioxide.
[e] FCAW-G is prequalified in all positions, except that vertical-down prequalification is limited to 3/16 in [5 mm] maximum base metal thickness. FCAW-S is prequalified in the flat, horizontal, and vertical-upward positions. Prequalified shielding gases for electrodes classified with gas shielding are limited to carbon dioxide and mixtures of argon with not less than 20%, by volume, carbon dioxide.
[f] See 5.7.1(3) for width-to-depth limitations.
[g] GTAW and pulsed GTAW are prequalified in all welding positions, DCEN only, but the vertical-down progression is limited to 3/16 in [5 mm] maximum base metal thickness. Prequalified shielding gases are restricted to argon, helium, and argon-helium mixtures.
[h] Split layers when the maximum single pass layer width is exceeded. H = Horizontal; F = Flat.

Sabiendo que se empleará el proceso de soldadura GTAW con gas de protección Argón en lámina de acero inoxidable de 1/8 de pulgada, se procede a consultar la sección 5.3 de la norma, la cual especifica los tipos de metal base y material de aporte aprobados. En la Tabla 7 se detallan los materiales que pueden ser utilizados y teniendo en cuenta que el acero inoxidable 304, es más comercial nacionalmente se opta por utilizar este como material base.

Tabla 8

Metales base aprobados para un PWPS en aceros inoxidables [17]

Table 5.2
Approved Base Metals for PWPSs (see 5.3.1)

Minimum Tensile Strength ksi (MPa)	Minimum Yield Strength ksi (MPa)	Base Metal Group[a]	Alloy Designation[a]	UNS Number	ASTM Specification: Plate, Sheet, Strip	Tube	Plate, Sheet, Strip	Tube	Bars, Shapes
70 (490)	25 (170)	A	304L	S30403		A213	A240	A249	A276
70 (490)	25 (170)	A	316L	S31603		A213	A240	A249	A276
75 (520)	30 (200)	B	301	S30100			A240		
75 (520)	30 (200)	B	302	S30200			A240		A276
75 (520)	30 (200)	B	304	S30400		A213	A240	A249	A276
75 (520)	30 (200)	B	304H	S30409		A213	A240	A249	
75 (520)	30 (200)	B	308	S30880	A167				A276
75 (520)	30 (200)	B	309	S30900	A167				A276
75 (520)	30 (200)	B	309Cb	S30940		A213	A240	A249	A276
75 (520)	30 (200)	B	309H	S30909		A213	A240	A249	
75 (520)	30 (200)	B	309HCb	S30941		A213	A240	A249	

En la selección del material de aporte para un PWPS para acero inoxidable, conforme a la norma y considerando la facilidad de adquisición y las opciones comerciales disponibles, se elige el material de aporte E308L con un diámetro de 3/32 pulgadas, como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 9

Material de aporte según la resistencia del metal base [17]

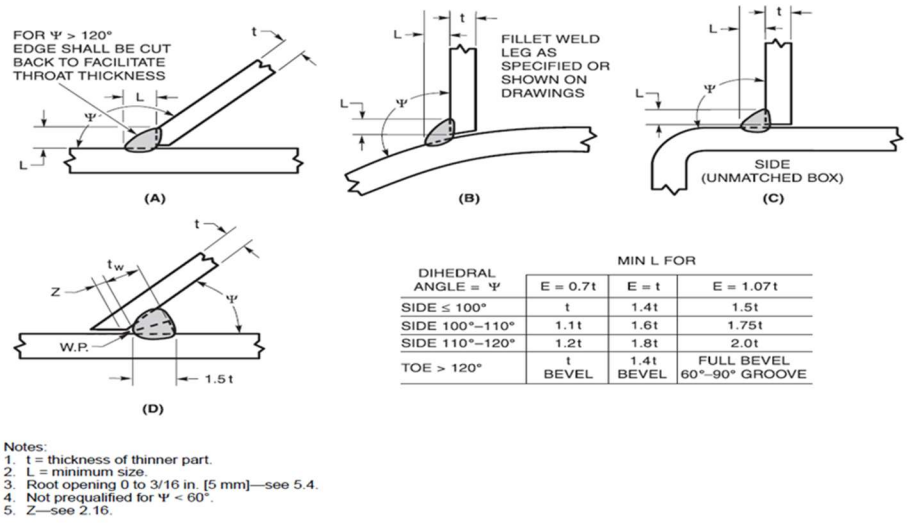
Table 5.3
Filler Metals for Matching Strength to Table 5.2
Base Metals for PWPSs (see 5.3.2)

AWS A5.4/A5.4M	AWS A5.9/A5.9M[a,b]	AWS A5.22/A5.22M[b]	AWS A5.30/A5.30M
	Filler Metal Group A—70 ksi [490 MPa] Minimum Tensile Strength		
E316L-XX	ER316L	E316LTX-X	IN316L
	ER316LSi	R316LT1-5	
	EC316L		
	Filler metals of Groups B, C, D, and E may also be used in PWPSs for Group A base metals.		
	Filler Metal Group B—75 ksi [520 MPa] Minimum Tensile Strength		
E308L-XX	ER308L ER308LSi	E308LTX-X	IN308L
E308LMo-XX	ER308LMo	E308LMoTX-X	IN316
E309L-XX	ER309L ER309LSi	E309LTX-X	
E309LMo-XX	ER309LMo	E309LMoTX-X	
E316-XX	ER316	E309LCbTX-X	
E316H-XX	ER316H	E316TX-X	
E317L-XX	ER317L	E317LTX-X	
E347-XX	ER347	E347TX-X	
		R308LT1-5	
		R309LT1-5	
		R347T1-5	

Finalmente, es esencial que las juntas de filete en acero inoxidable cumplan con los requisitos especificados en la Figura 36.

Figura 38

Juntas precalificadas en acero inoxidable [17]



DIHEDRAL ANGLE = Ψ	MIN L FOR E = 0.7t	E = t	E = 1.07t
SIDE ≤ 100°	t	1.4t	1.5t
SIDE 100°–110°	1.1t	1.6t	1.75t
SIDE 110°–120°	1.2t	1.8t	2.0t
TOE > 120°	t BEVEL	1.4t BEVEL	FULL BEVEL 60°–90° GROOVE

Notes:
1. t = thickness of thinner part.
2. L = minimum size.
3. Root opening 0 to 3/16 in. [5 mm]—see 5.4.
4. Not prequalified for Ψ < 60°.
5. Z—see 2.16.

5.3.3 Diseño de WPS precalificado para juntas en acero al carbono

Para el armado de la estructura, se realizarán puntos de soldadura utilizando equipos SMAW. Una vez completado este paso, se procederá a soldar las juntas mediante equipos GMAW. Según la sección 3.2 de la norma AWS D1.1 la cual dice que “Las WPS de SMAW, SAW, GMAW (excepto GMAW-S) y FCAW que cumplan con todas las disposiciones de la Sección 3 deben considerarse precalificadas y están, en consecuencia, aprobadas para su uso sin realizar los ensayos de calificación de WPS para el proceso” [9]. Para la estructura de la casa bote, se utilizarán los siguientes materiales:

- PTS de 2x4 pulgadas en calibre 14 para las columnas.
- PTS de 2x4 pulgadas en calibre 16 para las vigas y demás elementos estructurales, como cerchas, puertas, ventanas y pasamanos.
- PTS de 2x2 pulgadas en calibre 16, fabricados en acero ASTM A-36.

En la Tabla 9 se listan los requisitos en un PWPS en soldadura SMAW y GMAW para aceros al carbono.

Tabla 10

Parámetros requeridos en PWPS para acero al carbono

Tabla 3.6
Requisitos de la WPS precalificada[f] (véase 3.7)

Variable	Posición	Tipo de soldadura	SMAW	SAW[d] Simple	SAW[d] Paralelo	SAW[d] Múltiple	GMAW/ FCAW[g]
Diámetro máximo del electrodo	Plana	Filete[a]	5/16" [8,0 mm]	1/4" [6,4 mm]			1/8" [3,2 mm]
		Ranura[a]	1/4" [6,4 mm]				
		Pasada de raíz	3/16" [4,8 mm]				
	Horizontal	Filete	1/4" [6,4 mm]	1/4" [6,4 mm]			1/8" [3,2 mm]
		Ranura	3/16" [4,8 mm]	Requiere ensayo de calificación de la WPS			
	Vertical	Todos	3/16" [4,8 mm][b]				3/32" [2,4 mm]
	Sobre cabeza	Todos	3/16" [4,8 mm][b]				5/64" [2,0 mm]
Corriente máxima	Todos	Filete	Dentro del rango de operación recomendado por el fabricante del metal de aporte	1000 A	1200 A	Sin límite	Dentro del rango de operación recomendado por el fabricante del metal de aporte
		Pasada de raíz de la soldadura en ranura con abertura		600 A	700 A		
		Pasada de raíz de la soldadura en ranura sin abertura			900 A		
		Pasadas de relleno de soldadura en ranura			1200 A		
		Pasada de cobertura de soldadura en ranura		Sin límite			
Espesor máximo de pasada de raíz[d]	Plana	Todos	3/8" [10 mm]	Sin límite			3/8" [10 mm]
	Horizontal		5/16" [8 mm]				5/16" [8 mm]
	Vertical		1/2" [12 mm]				1/2" [12 mm]
	Sobre cabeza		5/16" [8 mm]				5/16" [8 mm]
Espesor máximo de pasada de relleno	Todos	Todos	3/16" [5 mm]	1/4" [6 mm]	Sin límite		1/4" [6 mm]
Tamaño máximo de soldadura en filete de pasada única[c]	Plana	Filete	3/8" [10 mm]	Sin límite			1/2" [12 mm]
	Horizontal		5/16" [8 mm]	5/16" [8 mm]	5/16" [8 mm]	1/2" [12 mm]	3/8" [10 mm]
	Vertical		1/2" [12 mm]				1/2" [12 mm]
	Sobre cabeza		5/16" [8 mm]				5/16" [8 mm]
Ancho máximo de capa de pasada única	Todas (para GMAW/ FCAW) F y H (para SAW)	Abertura de la raíz > 1/2" [12 mm], o		Capas divididas	Electrodos desplazados lateralmente o capa dividida	Capas divididas	Capas divididas
		Cualquier capa de ancho w		Capas divididas si w > 5/8" [16 mm]	Capas divididas con electrodos en tándem si w > 5/8" [16 mm]	Si w > 1" [25 mm], capas divididas	(Nota e)

[a] Excepto pasadas de raíz.
[b] 5/32" [4,0 mm] para EXX14 y electrodos de bajo hidrógeno
[c] Ver en 3.7.3 los requisitos ASTM A588 para soldadura sin pintar y expuesta.
[d] Ver las limitaciones de ancho a profundidad en 3.7.2.
[e] En las posiciones F, H u OH para no tubulares, dividida las capas cuando el ancho de la capa sea w > 5/8 pulgadas [16 mm]. En la posición vertical para no tubulares o las posiciones plana, horizontal, vertical y sobre cabeza para tubulares, dividida las capas cuando el ancho sea w > 1 pulgadas [25 mm].
[f] El área sombreada indica no aplicabilidad.
[g] GMAW-S no debe ser precalificada.

En la tabla anterior se enumeran los materiales calificados, confirmando que el acero ASTM A-36 cumple con los requisitos. Considerando que el material base es ASTM A-36, perteneciente al grupo 1 de metal base, se determina que el electrodo es compatible tanto para los procesos de soldadura SMAW como GMAW.

Tabla 11

Metales base aprobados para PWPS en aceros al carbono [15]

Tabla 3.1
Metales base aprobados para WPS precalificadas (véase 3.3)

Grupo	Requisitos de la especificación del acero					
			Punto/límite elástico mínimo		Rango de tracción	
	Especificación del acero		ksi	MPa	ksi	MPa
1	ASTM A36	(≤3/4 pulgadas [20 mm])	36	250	58–80	400–550
	ASTM A53	Grado B	35	240	60 mín.	415 mín.
	ASTM A106	Grado B	35	240	60 mín.	415 mín.
	ASTM A131	Grados A, B, CS, D, DS, E	34	235	58–75	400–520
	ASTM A139	Grado B	35	240	60 mín.	415 mín.
	ASTM A381	Grado Y35	35	240	60 mín.	415 mín.
	ASTM A500	Grado A	33	230	45 mín.	310 mín.
		Grado B	42	290	58 mín.	400 mín.
		Grado C	46	315	62 mín.	425 mín.
	ASTM A501	Grado A	36	250	58 mín.	400 mín.
	ASTM A516	Grado 55	30	205	55–75	380–515
		Grado 60	32	220	60–80	415–550
	ASTM A524	Grado I	35	240	60–85	415–586
		Grado II	30	205	55–80	380–550
	ASTM A573	Grado 65	35	240	65–77	450–530
		Grado 58	32	220	58–71	400–490
	ASTM A709	Grado 36 (≤ 3/4 pulgadas [20 mm])	36	250	58–80	400–550
	ASTM A1008 SS	Grado 30	30	205	45 mín.	310 mín.

Como se mencionó anteriormente, el material base ASTM A-36 pertenece al grupo 1 de metales base. Según la Tabla 11, es compatible con los electrodos E60XX y E70XX para acero al carbono.

Tabla 12

Metales de aporte compatibles a metal base según la resistencia para SMAW [15]

Tabla 3.2
Metales de aporte para las resistencias coincidentes en Tabla 3.1, Metales de Grupos I, II, III y IV —SMAW y SAW (véase 3.3)

		SMAW		SAW	
Grupo de metal base	Especificación de AWS del electrodo	A5.1, Acero al carbono	A5.5[a], Acero de baja aleación	A5.17, Acero al carbono	A5.23[c], Acero de baja aleación
I	Clasificación del electrodo de AWS	E60XX E70XX	E70XX-X	F6XX-EXXX F6XX-ECXXX F7XX-EXXX F7XX-ECXXX	F7XX-EXXX-XX F7XX-ECXXX-XX
II	Clasificación del electrodo de AWS	E7015 E7016 E7018 E7028	E7015-X E7016-X E7018-X	F7XX-EXXX F7XX-ECXXX	F7XX-EXXX-XX F7XX-ECXXX-XX
III	Clasificación del electrodo de AWS	N/A	E8015-X E8016-X E8018-X	N/A	F8XX-EXXX-XX F8XX-ECXXX-XX
IV	Clasificación del electrodo de AWS	N/A	E9015-X E9016-X E9018-X E9018M	N/A	F9XX-EXXX-XX F9XX-ECXXX-XX

(Continuación)

Se opta por utilizar el electrodo E6013 para soldadura SMAW, ya que estos proporcionan una mayor facilidad de soldadura en materiales delgados, además de ser de fácil adquisición a nivel nacional. En la Tabla 12 se muestra las especificaciones técnicas del rango de amperaje para las dimensiones del tipo de electrodo seleccionado.

Tabla 13

Rango de amperaje para electrodo E6013

Arcweld 6013

TOP FEATURES

- Stable arc and low spatter level.
- Good slag releasing.
- Nice bead appearance.
- Very good weldability on DC - current and AC
- Can also be used in DC+.

CLASSIFICATION

AWS A5.1	E 6013
EN ISO 2560-A	E 38 0 R 12

CURRENT TYPE

DC- / AC (OCV min. 60V)

WELDING POSITIONS

All position, except vertical down

CHEMICAL COMPOSITION (WEIGHT %), TYPICAL, ALL WELD METAL

C	Mn	Si	P	S
0.09	0.4	0.3	≤0.03	≤0.02

MECHANICAL PROPERTIES, TYPICAL, ALL WELD METAL

Required	Condition*	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Impact ISO-V (J) 0°C
AWS A5.1	AW	≥330	≥430	≥17	not specified
EN ISO 2560-A	AW	not specified	470-600	≥20	min. 47
Typical values	AW	430	550	24	55

*AW: As-welded

OUTPUT RANGE

Diameter x Length (mm)	Current range (A)
2.5x350	60-90
3.2x350	110-135
4.0x350	160-180

PACKAGING AND AVAILABLE SIZES

Diameter x Length (mm)	Packaging	Electrodes/pack	Net weight/pack (kg)	Item number
2.5 x 350	CBOX	238	4.5	609010-1
3.2 x 350	CBOX	140	4.5	609011-1
4.0 x 350	CBOX	90	4.5	609012-1

Para las soldaduras GMAW se opta por un material de aporte revestido ER70S -6, como se muestra en la Tabla 13, ya que como en el electrodo seleccionado en las soldaduras SMAW, este tipo de material de aporte es idóneo en los metales base delgados.[2]

2 https://ch-delivery.lincolnelectric.com/api/public/content/424ad2a2367c487f960ba551e3a1d926?v=10092076

Tabla 14

Metales de aporte compatibles a metal base según la resistencia para GMAW [15]

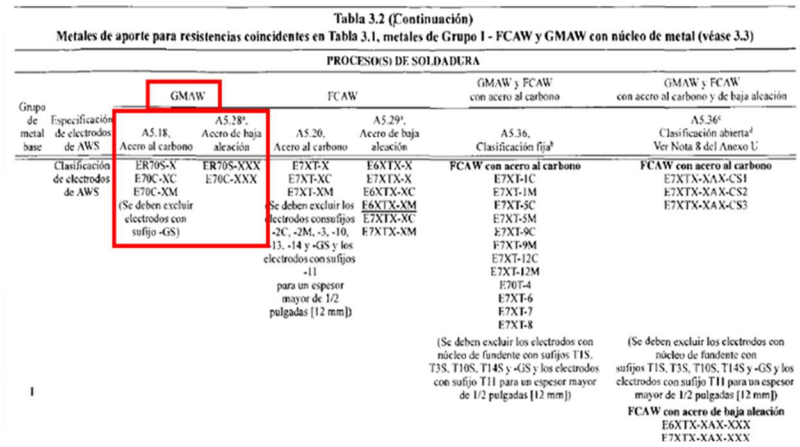


Tabla 3.2 (Continuación)
Metales de aporte para resistencias coincidentes en Tabla 3.1, metales de Grupo I - FCAW y GMAW con núcleo de metal (véase 3.3)

Grupo de metal base	Especificación de electrodos de AWS	PROCESO(S) DE SOLDADURA: GMAW		FCAW		GMAW y FCAW con acero al carbono	GMAW y FCAW con acero al carbono y de baja aleación
		A5.18, Acero al carbono	A5.28[a], Acero de baja aleación	A5.20, Acero al carbono	A5.29[a], Acero de baja aleación	A5.36, Clasificación fija[b]	A5.36[c] Clasificación abierta[d] Ver Nota 8 del Anexo U
	Clasificación de electrodos de AWS	ER70S-X E70C-XC E70C-XM (Se deben excluir electrodos con sufijo -GS)	ER70S-XXX E70C-XXX	E7XT-X E7XT-XC E7XT-XM (Se deben excluir los electrodos consufijos -2C, -2M, -3, -10, 13, -14 y -GS y los electrodos consufijos -11 para un espesor mayor de 1/2 pulgadas [12 mm])	E6XTX-X E7XTX-X E6XTX-XC E6XTX-XM E7XTX-XC E7XTX-XM	**FCAW con acero al carbono** E7XT-1C E7XT-1M E7XT-5C E7XT-5M E7XT-9C E7XT-9M E7XT-12C E7XT-12M E70T-4 E7XT-6 E7XT-7 E7XT-8 (Se deben excluir los electrodos con núcleo de fundente con sufijos T1S, T3S, T10S, T14S y -GS y los electrodos con sufijo T11 para un espesor mayor de 1/2 pulgadas [12 mm])	**FCAW con acero al carbono** E7XTX-XAX-CS1 E7XTX-XAX-CS2 E7XTX-XAX-CS3 (Se deben excluir los electrodos con núcleo de fundente con sufijos T1S, T3S, T10S, T14S y -GS y los electrodos con sufijo T11 para un espesor mayor de 1/2 pulgadas [12 mm]) **FCAW con acero de baja aleación** E6XTX-XAX-XXX E7XTX-XAX-XXX

Teniendo en cuenta el metal de aporte seleccionado para las soldaduras GMAW, se utilizará CO2 como gas de protección, cumpliendo con los requisitos especificados en la norma AWS A5.32, respaldada por la sección 3.7 de la norma AWS D1.1. En la Tabla 14 se presentan los parámetros necesarios según lo mencionado anteriormente.

Tabla 15

Ficha técnica el alambre de soldadura ER70S-6

Tabla de regulación Sistema MIG

Diámetro (mm)	Entrega de material (mm)	Corriente (Amps)	Voltaje (Volts)	Velocidad alambre (m/min)	Flujo gas (l/min)
0,8	0,6	30 - 50	16 - 17	1,3 -1,8	8 - 10
	0,8	35 - 60	16 - 17,5	1,3 - 2,0	8 - 11
	0,9	40 - 70	17 - 18	1,5 - 3,0	9 - 11
0,9	1,3	70 - 90	18 - 19	3,0 - 3,6	10 - 12
	1,6	80 - 110	19 - 20	3,3 - 3,8	11 - 13
	2,0	120 - 130	20 - 21	3,6 - 4,1	11 - 14
1,2	3,2	120 - 180	20 - 22	4,6 - 6,1	11 - 16
	4,7	160 - 180	21 - 22	5,1 - 6,1	14 - 17
	6,4	190 - 200	22 - 23	6,4 - 7,1	14 - 17
	7,9	200 - 210	23 - 24	7,0 - 7,4	14 - 17
	9,4	220 - 250	24 - 25	7,5 - 8,9	14 - 17
	12,7	240 - 260	28 - 29	8,4 - 9,5	14 - 17
1,6	19,0	280 - 300	30 - 32	4,6 - 5,1	17 - 19

[3]

[3] file:///C:/Users/Janus/OneDrive%20-%20Universidad%20de%20Antioquia/Trabajo%20Grado/Teoria%20Soldadura/WPS/Calatolo%20Indura%20ER%2070S-6.pdf

Para definir la temperatura de precalentamiento y entre pases, es necesario consultar la Tabla 15. Según esta tabla, para ASTM A-36 de calibres 14 y 16, no es necesario realizar un precalentamiento para el ensamblaje utilizando el proceso de soldadura por arco metálico blindado (SMAW).

Tabla 16

Temperatura de precalentamiento para acero ASTM A36 [15]

Tabla 3.3
Temperatura precalificada mínima de precalentamiento y entre pasadas (véase 3.5)

Categoría	Especificación del acero		Proceso de soldadura	Espesor de la parte más gruesa del punto de soldadura		Temperatura mínima de precalentamiento y entre pasadas	
				pulgadas	mm	°F	°C
A	ASTM A36		SMAW con electrodos que no sean de bajo hidrógeno	1/8 a 3/4 incl.	3 a 20 incl.	32[a]	0[a]
	ASTM A53	Grado B		Más de 3/4 hasta 1-1/2 incl.	Más de 20 hasta 38 incl.	150	65
	ASTM A106	Grado B		Más de 1-1/2 hasta 2-1/2 incl.	Más de 38 hasta 65 incl.	225	110
	ASTM A131	Grados A, B, CS, D, DS, E		Más de 2-1/2	Más de 65	300	150
	ASTM A139	Grado B					
	ASTM A381	Grado Y35					
	ASTM A500	Grado A					
		Grado B					
		Grado C					
	ASTM A501	Grado A					
	ASTM A516						
	ASTM A524	Grados I y II					
	ASTM A573	Grado 65					
	ASTM A709	Grado 36					
	ASTM A1008 SS	Grado 30					
		Grado 33 Tipo 1					
		Grado 40 Tipo 1					
	ASTM A1011 SS	Grado 30					
		Grado 33					
		Grado 36 Tipo 1					
		Grado 40					
		Grado 45					
		Grado 50					

6. Conclusiones y recomendaciones

- Aunque las normas de soldadura proporcionan parámetros específicos para asegurar la sanidad e integridad de las juntas, existen configuraciones de juntas no contempladas en dichas normativas. En estos casos, aunque no es posible diseñar un procedimiento de soldadura previamente calificado, esto no impide la realización de una soldadura de calidad. Mediante la identificación de similitudes entre juntas homologadas y no homologadas, y a través de un profundo entendimiento de los procesos de soldadura, es viable desarrollar recomendaciones efectivas.
- La configuración de la junta determina la necesidad de utilizar juntas de penetración completa, un proceso que es más complejo y demanda más insumos y tiempo de trabajo. Para evitar sobrecostos y retrasos, es crucial identificar los elementos más críticos. En estos puntos críticos, se debe realizar un análisis para determinar si se requiere una penetración completa o parcial en la junta, optimizando así los recursos y el tiempo.
- Al momento de llevar a cabo el proceso de soldadura, es crucial contar con la técnica y el conocimiento de soldadores calificados para dicha operación. Por ende, algunos de los parámetros presentados en los Procedimientos de Soldadura Precalificados (PWPS) y las recomendaciones de soldadura pueden quedar a discreción del soldador.
- Aunque las normas de la AWS avalan una amplia gama de materiales base, aportes y procesos, no todos son viables comercial o económicamente. En muchas ocasiones, algunos materiales no están disponibles en el mercado o sus procesos no son rentables. Por lo tanto, el diseño del Procedimiento de Soldadura (WPS), la selección del material ideal y la elección del proceso adecuado deben quedar a criterio del ingeniero, siempre teniendo en cuenta la relación costo-beneficio.

Referencias

1 Endangsih, T. (2020, March). Floating Houses Technology as Alternative Living on The Water. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 797, No. 1, p. 012020). IOP Publishing.

2 Endangsih, T. (2020, March). Floating Houses Technology as Alternative Living on The Water. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 797, No. 1, p. 012020). IOP Publishing.

3 Eyres, D. J., & Bruce, G. J. (2012). Ship construction. Butterworth-Heinemann.

4 Nakajima, T., Saito, Y., & Umeyama, M. (2022). A Study on Stability of Floating Architecture and Its Design Methodology. In WCFS2020: Proceedings of the Second World Conference on Floating Solutions, Rotterdam (pp. 273-296). Springer Singapore.

5 Rios Garay, J. G., & Cisneros Pariona, L. Z. (2019). Eficiencia de un Biodigestor en el Tratamiento de Agua Residual Domestica a nivel familiar en la Asociación “los Víquez” Carapongo-Lurigancho Chosica-Lima.

6 Suzuki. (2020). Suzuki outboard motor rigging manual (versión o número de edición, si está disponible). Suzuki Motor Corporation.

7 Kou, S. (2003). Welding metallurgy (pp. 11-22). New Jersey, USA: Wiley-Interscience.

8 Jeffus, L. F., Johnson, H. V., & Lesnewich, A. (1999). Welding: principles and applications. New York: Delmar Publishers.

9 American Welding Society. (2016). AWS D1.1/D1.1M:2016 - Structural Welding Code - Steel (23rd ed.). Miami, FL: American Welding Society.

10 American Welding Society. (2014). AWS D1.2/D1.2M:2014 - Structural Welding Code - Aluminum (4th ed.). Miami, FL: American Welding Society.

11 American Welding Society. (2017). AWS D1.6/D1.6M:2017 - Structural Welding.