

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR
FACULTAD DE INGENIERIA Y GESTION
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA



**“SELECCIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA PARA EL MONTAJE DE
DOS TANQUES DE GASOLINA, COMO ALTERNATIVA PARA LOS
TRABAJOS METALMECÁNICOS EN LA REFINERÍA CONCHÁN DE
PETROPERÚ S.A.”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
Para optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR EL BACHILLER
CRUZ GALARZA, JUAN CARLOS

Villa El Salvador

2017

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a mi familia, amigos y compañeros de trabajo que me apoyaron en el camino de mi formación como profesional y como persona, en los buenos y malos momentos a lo largo de mi vida.

AGRADECIMIENTO

A mis padres por su comprensión incondicional y mis profesores de la UNTELS por sus aportes a mi conocimiento y mi crecimiento personal.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1. Descripción de la Realidad Problemática.....	11
1.2. Justificación del Problema.....	12
1.3. Delimitación de la Investigación.....	12
1.3.1. Teórica.....	12
1.3.2. Espacial.....	13
1.3.3. Temporal.....	13
1.4. Formulación del Problema.....	13
1.5. Objetivos.....	13
1.5.1. Objetivo General.....	13
1.5.2. Objetivos Específicos.....	14
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	
2.1. Antecedentes.....	15
2.2. Bases Teóricas.....	19
2.3 Marco Conceptual.....	75
CAPÍTULO III: DISEÑO Y DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	
3.1 Descripción de los Requisitos para el Proceso de Soldadura.....	79
3.2 Descripción de la selección del Proceso de Soldadura.....	85
3.2.1. Calculo de la Longitud a Soldar.....	85
3.2.2. API 650.....	96

3.2.3. Comparativo de Procesos de Soldadura.....	97
3.2.4. Condiciones para los Trabajos de Soldadura en la Refinería Conchán..	106
3.2.5. Composición Química del Metal Base y Metal de Aporte.....	107
3.2.6. Cantidad de Recursos para Trabajos Metalmecánicos de Soldadura.....	109
3.3 Revisión y Consolidación de resultados.....	110
CONCLUSIONES	114
RECOMENDACIONES	115
BIBLIOGRAFÍA	116
ANEXOS	118

LISTADO DE FIGURAS

FIGURA N°01: Plano General del Tanque T-65/66

FIGURA N°02: Distribución de Planchas de Fondo, Tanque T-65/66

FIGURA N°03: Distribución de Planchas del cuerpo, Tanque T-65/66

FIGURA N°04: Plano de Distribución de Planchas del Cuerpo Tanque T-65/66 Rev. B

FIGURA N°05: Justificación de Cálculo de Soldadura Vertical del Fondo del Tanque

FIGURA N°06: Justificación de Cálculo de Soldadura Horizontal del Fondo del Tanque

FIGURA N°07: Detalle de Plancha de Anillo Anular

FIGURA N° 08: Detalle de Plancha de Respaldo

FIGURA N° 09: Distribución de Planchas del Cuerpo

FIGURA N° 10: Longitud total de Plancha de Anillo del Tanque

FIGURA N°11: Hoja de Datos Entregada por el Cliente del Acero A-36

FIGURA N°12: Alambre Tubular EXATUB 71

FIGURA N°13: Partidas de Soldadura del Fondo y Cuerpo de los Tanques

FIGURA N°14: Comparación de Costos con el Proceso de Soldadura con y sin el Proceso de Soldadura FCAW

LISTADO DE TABLAS

TABLA N°01: Comparativo de Ventajas y Desventajas de Procesos de Soldadura.

TABLA N°02: Estructura de Costos de los Equipos Seleccionados

INTRODUCCIÓN

En la actualidad elegir el proceso de soldadura en la industria metalmeccánica significa garantizar la calidad de las estructuras metálicas, recipientes y tuberías de transporte de hidrocarburos o sus derivados, y de esta manera evitar pérdidas económicas, materiales y para la salud de las personas.

Para definir del proceso de soldadura en un proyecto, es necesario saber la longitud a soldar en base a los planos o metrados existentes, saber los componentes y similitud entre el material de aporte y el metal base en el cual se realizara la junta y seguir los lineamientos que establecen las distintas normas y códigos de soldadura que existen en la industria. Este análisis, lo debe realizar el especialista mecánico encargado de los trabajos de montaje o su similar.

La norma que rige la fabricación de un tanque de almacenamiento de hidrocarburos y sus derivados, es el API (American Petroleum Institute) 650; y su uso se da en todas las refinerías de crudo a nivel mundial.

La empresa Petroperú S.A., la cual se dedica a la refinación y venta de gasolina y sus derivados, en el año 2016 saco a licitación pública el servicio “Habilitación y Montaje de dos Tanques de 60 MB c/u para Almacenamiento de Gasolina”, de la cual, la empresa Consorcio MASA-TT, que está conformado por dos empresas: MASA (Mantenimiento y Montajes Industriales S.A.) de España, y Tecnitanques Ingenieros S.A. de Colombia, los mismo que al contar con una sólida propuesta técnica debido a los montajes de tanques que tienen en su historial, y con una sólida propuesta económica elaborada a través de su historial de precios en distintos proyectos a nivel mundial, con USD 7'193,554.67, fue merecedor de la buena

pro del proceso, que tiene como fin ampliar la capacidad de almacenamiento de gasolina en las instalaciones de la refinería.

Para seleccionar el proceso de soldadura a emplear en estos tanques, el Consorcio MASA-TT, deberá calcular la longitud y volumen de la soldadura, específicamente en el fondo y cuerpo del tanque, deberá analizar las ventajas y desventajas de los distintos procesos de soldadura, seleccionara el proceso que cumpla con los estándares del API 650 (norma para fabricación de tanques de almacenamiento de hidrocarburos y sus derivados establecida por el cliente) y realizara el comparativo económico para verificar la utilidad del proceso elegido respecto a las partidas contractuales de instalación en el presupuesto del proyecto.

En ese sentido y con la finalidad de proponer el proceso de soldadura para los trabajos metalmecánicos de erección de los tanques para almacenamiento de gasolina en la Refinería Conchán, es que a continuación presento mi proyecto de ingeniería el cual está dividido en 3 capítulos.

En el Capítulo I, se describe el planteamiento del problema, que está relacionado a la falta de selección del proceso de soldadura en los trabajos metalmecánicos que el Consorcio MASA-TT utilizara en el montaje de los tanques.

En el Capítulo II, se describe el marco teórico en la cual se sustenta mi propuesta de solución, referente a la selección del proceso de soldadura en el montaje o reparación de tanques de almacenamiento de hidrocarburos y definiciones relacionadas al trabajo a desarrollarse en la elaboración del presente trabajo.

En el capítulo III, desarrollo de la propuesta de solución, se describe los distintos criterios necesarios para definir el proceso de soldadura a emplear en los tanques, considerando

cálculos, ventajas y desventajas de los procesos que indica el API 650, buscara similitud de materiales de aporte y finalmente se presentara la consolidación de resultados obtenidos.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

La Refinería Conchán de Petroperú, se dedica a la refinación de crudo y la comercialización de gasolina y sus derivados desde el año 1973, en su planta ubicada en el kilómetro 26.5 de la antigua Panamericana Sur en el distrito de Lurín perteneciente al departamento de Lima.

La gran demanda que posee en su planta de ventas, la obliga a tener un stock de producto lo suficientemente grande para satisfacer la demanda de sus clientes, es por este motivo, que, en el año 2016, se lanzó a concurso público el servicio de “Habilitación y Montaje de Dos (02) Tanques de 60 Mil Barriles c/u para Almacenamiento de Gasolina” a través del SEACE 3.0, siendo merecedor de la buena pro para la ejecución del servicio en el año 2017, la empresa Consorcio MASA-TT.

En ese sentido, para el inicio de los trabajos metalmecánicos del servicio, el Consorcio MASA-TT necesita definir el proceso de soldadura que se empleara en el montaje de los tanques, y asegurarse que la utilidad para la ejecución estos trabajos, no exceda el presupuesto del proyecto.

1.2 JUSTIFICACION DEL PROBLEMA

El propósito de definir el proceso de soldadura en el montaje de estructuras, recipientes o tuberías, es iniciar con las actividades de soldeo de las mismas, definiendo así distintos parámetros técnicos y económicos para el ejecutor de estas actividades.

Por tal, el proyecto se justifica en la definición del proceso de soldadura a emplear en el montaje del fondo y cuerpo de dos tanques de 60MB para almacenamiento de gasolina en la Refinería Conchán de Petroperú S.A., y así poder iniciar con los trabajos metalmecánicos del servicio, asegurando las utilidades en estas actividades con respecto al presupuesto del proyecto.

1.3 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 TEÓRICA

El proyecto de ingeniería desarrollado desde el punto de vista teórico abarca selección del proceso de soldadura a emplear en el tanque, en base al cálculo de las longitudes y volumen del cordón de soldadura del fondo y cuerpo, un comparativo de procesos de soldadura, consideraciones del trabajo a realizar, y lo establecido en el API 650 para la soldadura de tanques.

1.3.2 ESPACIAL

El proyecto se realiza en la Refinería Conchán de PETROPERU S.A., ubicada en el kilómetro 26.5 de la antigua panamericana sur, en el distrito de Lurín, Provincia Lima, departamento Lima.

1.3.3 TEMPORAL

La elaboración del proyecto de ingeniería comprendió del 01 de Abril al 31 de Mayo del 2017.

1.4 FORMULACION DEL PROBLEMA

1.4.1 PROBLEMA GENERAL

¿Cómo determinar la selección del proceso de soldadura para el montaje de dos tanques de almacenamiento de gasolina?

1.4.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS.

1.4.2.1 ¿El proceso de soldadura a emplear es el adecuado para el montaje de los dos tanques construidos bajo la norma API 650?

1.4.2.2 ¿El proceso de soldadura a emplear, estará dentro de los costos establecidos en el presupuesto?

1.5 OBJETIVOS.

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar el proceso de soldadura para el montaje de dos tanques de almacenamiento de gasolina.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- 1.5.2.1** Verificar que el proceso de soldadura para el montaje de los dos tanques sea el adecuado con la normativa internacional API 650.
- 1.5.2.2** Verificar que el proceso de soldadura seleccionado, este dentro del presupuesto para estos trabajos.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 ANTECEDENTES

De la Cadena (2012), en su tesis titulada “Diseño de un Tanque de Almacenamiento de Petróleo Tipo Techo Flotante de 100.000 Barriles de Capacidad para la Empresa TESCA INGENIERIA del Ecuador”, para optar el título de Ingeniero Mecánico en la Escuela Politécnica Nacional de Ecuador, concluye: “Para el desarrollo del presente proyecto de titulación se utilizó como pilar fundamental a la Norma API 650, “Tanques Soldados para Almacenamiento de Petróleo del Instituto Americano del Petróleo”. El mismo que orienta al diseñador, proporcionando herramientas útiles tanto para el diseño mecánico, métodos de fabricación, calificación y procedimientos de soldadura, montaje, inspección técnica, etc. Este sistema obliga a una estrecha relación entre el cliente y el constructor; minimiza el factor de error en la toma de decisiones, tiene una total aceptación en la mayoría de los

países del planeta. Se le caracteriza como una norma válida, fiable y realizable, el trabajo hecho es comparable en cualquier parte del mundo, y su influencia tiende a dar estabilidad a la economía, ahorrar gastos, promover el empleo local en la zona de construcción y garantizar el funcionamiento rentable y seguro a las empresas petroleras.”¹

Sisa (2013), en su tesis titulada “Elaboración del Procedimiento para la Reparación de Tanques de almacenamiento de Crudo, de Techo Cónico, de 20.000 Barriles, según la norma API 653, para la empresa SOLMAQUITRANS S.A.”, para optar el título de Ingeniero Mecánico en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo de Ecuador, señala que: “con la implementación de normativas vigentes y procedimientos pertinentes. El proyecto de grado está orientado a que se realice de manera ordenada las actividades de reparación mecánica de tanques de almacenamiento de crudo, de techo cónico por parte del personal técnico de la empresa SOLMAQUITRANS S.A. para garantizar la calidad del servicio y la optimización de recursos. En la elaboración de los procedimientos para la reparación de tanques de techo cónico según la norma API 653 se consideran etapas como la inspección, evaluación, para la ejecución de trabajos mecánicos. En la etapa de evaluación se encuentra zonas afectadas por la corrosión, que es la principal causa de deterioro en los materiales que constituyen los tanques, además se encuentran defectos en las juntas de soldadura que conforman el tanque, que deben ser reparadas o reemplazadas según sea el caso, siguiendo los procedimientos que han sido elaborados en base a lineamientos establecidos en la norma API 653 que incluyen

¹ DE LA CADENA, P. (2012). Diseño de un Tanque de Almacenamiento de Petróleo tipo techo flotante de 100.000 barriles de capacidad para la empresa TESCA Ingeniería del Ecuador (Tesis de Pre Grado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador

actividades para la limpieza de superficies reemplazadas o reparadas con la aplicación de revestimientos en el tanque de almacenamiento. Con la implantación de los procedimientos elaborados la empresa SOLMAQUITRANS S.A. mejora su sistema de gestión de la calidad y aumenta la confiabilidad en el servicio de reparación de tanques de almacenamiento”.²

Abad (1996), en su tesis titulada “Estudio del Proceso de Fabricación de Tanques de Doble Pared para Almacenamiento de Combustible”, para optar por el título de Ingeniero Mecánico en la Escuela Superior Politécnica del Litoral de Ecuador detalla que: “el proceso de fabricación de un tanque de acero al carbono para almacenamiento de combustible líquidos inflamables en estaciones de servicio. Las normas y especificaciones aplicables son: ASTM (Sociedad Americana de Ensayos y Materiales), API (American Petroleum Institute), ANSI (American National Standards Institute), ASME (Society American Engineering Mechanic), UL (Underwriters Laboratories) 58, UL 1746, NFPA (National Fire Protection Assoc.), AWWA (American Work Water Association) y cumple con la regulación EPA ((Environmental Protection Agency).

Se analizara de todo el proceso de fabricación desde la recepción de las planchas, hasta el enchaquetado del tanque. La inspección de la calidad de las uniones soldadas será hecha mediante método visual y radiografía, presentándose los criterios de aceptación y

2 SISA, A. (2015). Elaboración del Procedimiento para la Reparacion de Tanques de Almacenamiento de Crudo, de Techo Cónico, de 20.000 barriles, según la Norma API 653, para la empresa SOLMAQUITRANS S.A. (Tesis de Pre Grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador

rechazo de las uniones inspeccionadas.

Finalmente, se analizara el proceso de enchaquetado del tanque, las pruebas de control para el correcto funcionamiento, el despacho del mismo e instalación en el lugar de trabajo”.³

³ ABAD, P. (1996). Estudio del proceso de fabricación de Tanques de doble pared para almacenamiento de combustible. (Tesis de Pre Grado). Escuela Superior Politécnica Litoral, Guayaquil, Ecuador

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 PETROPERÚ S.A.

2.2.1.1 Historia

La industria del petróleo y sus derivados está compuesta por actividades de muy alta especialización, como la refinación del crudo para obtener los derivados utilizados como combustibles.

Petroperú tuvo, desde su fundación –24 de julio de 1969–, protagonismo en la economía del país. Superó con éxito los grandes desafíos que le pusieron al frente las condiciones políticas, administrativas y macroeconómicas.

Apenas creada la empresa, debió afrontar un reto que definió su perfil: operar y mantener casi toda la compleja industria del petróleo del país con personal propio y sin apoyo técnico de la comunidad petrolera internacional, que se negó a colaborar debido a que en el país se había puesto en marcha un proceso de nacionalización.

El resultado confirmó la capacidad de los trabajadores, técnicos y profesionales peruanos, que lograron abastecer permanente y sostenidamente la demanda nacional de combustibles. Así, se evitó una crisis de abastecimiento.

Se logró progresivamente el autoabastecimiento petrolero, gracias a los históricos descubrimientos de los yacimientos en la selva norte y la construcción de la impresionante obra de ingeniería que constituye el Oleoducto Norperuano.

Petroperú conquistó y mantuvo el liderazgo en el mercado de lubricantes, en el que incursionó con tecnología propia, en directa competencia con marcas internacionales de gran prestigio. Somos la empresa estatal más importante del Perú. Nos hemos posicionado como la empresa pionera, líder y emblemática del país. Desde nuestra creación, hemos cumplido la enorme responsabilidad de abastecer de combustible a todo el territorio nacional, y mantener una política de mejora continua y protección ambiental como parte de la estrategia de desarrollo sostenible.

2.2.1.2 Giro del Negocio

Exploración y Explotación Transporte de petróleo en:

- Oleoducto Norperuano
- Oleoducto Ramal Norte
- Flota marítima y fluvial contratada

Refinación de petróleo:

- Refinería Talara
- Refinería Conchán
- Refinería Iquitos
- Refinería El Milagro
- Refinería Pucallpa (en alquiler)

Distribución:

- Flota marítima y fluvial contratada
- Flota de camiones tanque y tren contratada

Comercialización:

- Plantas de venta propias en la costa y selva
- Plantas de venta contratadas en la costa y sierra
- Red de estaciones de servicio afiliadas. (PETROPERÚ no es propietaria de ninguna estación de servicio o grifo).

2.2.1.3 MISIÓN

Proveer hidrocarburos de calidad a los mercados nacional e internacional, administrando eficientemente sus recursos, realizando sus actividades con los mayores niveles de eficiencia, confiabilidad y sostenibilidad, desarrollando innovación y responsabilidad socio-ambiental.

2.2.1.4 VISIÓN

Ser una empresa líder de la industria peruana de hidrocarburos, autónoma e integrada, enfocada en la creación de valor con eficiencia; gestionando los negocios de forma ética y sostenible con productos de

calidad internacional y desarrollando relaciones responsables efectivas con los grupos de interés.

2.2.1.5 VALORES Y PRINCIPIOS

Los valores y principios corporativos identifican y orientan a todos los trabajadores de PETROPERU S.A. hacia una conducta que constituye la base para el desarrollo de sus actividades.

2.2.2 REFINERÍA CONCHÁN DE PETROPERÚ

2.2.2.1 Historia

Diseñada por la compañía Fluor Corporation de Canadá, Refinería Conchán fue inaugurada por Conchán Chevron de California en 1961. En 1973, Petroperú asumió la administración.

Entre 1977 y 1980 suspendió sus operaciones para su ampliación. Dada la demanda, el último año vuelve a operar la Unidad de Vacío, donde se producía asfalto para pavimentación.

En 1983, año en que el Fenómeno de El Niño afectó las operaciones en Refinería Talara, Conchán y su planta de venta reanudaron su funcionamiento.

Hoy se considera estratégico el papel de este complejo en la gestión corporativa de Petroperú.

La moderna planta de venta cuenta con sistemas de cargas para camiones cisterna y otorga facilidades para despachar combustible, solventes y asfaltos. Con una avanzada tecnología, el laboratorio certifica la calidad de los productos, cumpliendo satisfactoriamente la exigencia de los clientes.

Además, se caracteriza por su gran flexibilidad operativa para procesar en sus unidades diversos tipos de petróleo. La calidad de sus asfaltos hace que estos productos sean reconocidos a nivel nacional e internacional.

Tecnología de última generación, estricto cumplimiento de las normas de seguridad, cuidado del medio ambiente, limpieza, orden y buena gestión han posicionado a Conchán como refinería modelo.

2.2.2.2 ¿Dónde se ubica?

Refinería Conchán está construida sobre un terreno de 50 hectáreas, en el kilómetro 26,5 de la carretera Panamericana Sur, en el distrito de Lurín, departamento de Lima.

La zona de producción, donde se emplazan los tanques de petróleo, combustibles y asfaltos, opera en un área de 182.100 metros cuadrados. Existen 219.900 metros cuadrados disponibles para el crecimiento futuro.

2.2.2.3 ¿Cuál es su función?

Procesa, refina y almacena productos como gasolinas y gasoholes para motores, solventes, diésel 2, diesel B5 petróleos industriales y Asfaltos de calidad de exportación.

2.2.2.4 ¿Cómo nos beneficia?

Provee de asfalto necesario para construir mejores carreteras, además de combustibles de excelente calidad para nuestro uso.

2.2.2.5 Complejo industrial

Conchán, conocida por la fabricación de asfaltos, ofrece una diversidad de productos de alta calidad con un Sistema de Control Distribuido en sus unidades de Proceso, el primero en ser instalado en el país.

Puede almacenar hasta 2 051 354 barriles. Cuenta con un amarradero submarino para atender buques tanque de hasta 75.000 DWT, con tres líneas submarinas para productos negros, blancos y químicos.

La capacidad de la Unidad de Destilación Primaria con una capacidad de 15 500 barriles por día, y la Unidad de Destilación al Vacío de 10.000 barriles por día.

2.2.2.6 Personal

Trabajadores de primer nivel mantienen operativa y en continua operación Refinería Conchán las 24 horas del día. Al servicio del país

2.2.3 SEACE

Todas las Entidades sujetas a la Ley de Contrataciones del Estado están en la obligación de registrar información relacionada con su Plan Anual de Contrataciones, los procesos de selección, los contratos y su ejecución, y todos los actos que requieran ser publicados en el Sistema Electrónico de Contrataciones del Estado – SEACE. En el caso particular, se ha elaborado el presente manual orientar sobre la forma de registrar información de las contrataciones en el SEACE conforme a lo establecido en el Decreto de Urgencia N° 016-2012, “Proceso de Selección para agilizar la ejecución de los Proyectos de Inversión Pública”, publicado con fecha 26 de junio en el Diario Oficial el Peruano. Para este efecto y según la forma de contratación debe realizar lo siguiente:

Las contrataciones conforme al Art. 3 numeral 3.1 deben registrarse en el Módulo de Procesos bajo el tipo de proceso “DU 016-2012 (LP) (DECRETO DE URGENCIA N° 016-2012)”.

Las contrataciones conforme al Art. 3 numeral 3.3 deben registrarse en el Módulo de Procedimientos Especiales en el Tipo de procedimiento “Exoneración” bajo la causal “DU 016-2012 – ART. 3 NUM.3.3”.

En ese sentido, este manual constituye un documento de ayuda básica que tiene por finalidad ayudar a los usuarios-funcionarios de las entidades contratantes en el registro de la información.

2.2.4 TIPOS DE TANQUES

El almacenamiento continúa siendo una actividad indispensable en el transporte y manejo de hidrocarburos. La selección del tipo y tamaño de tanque está regida por la relación producción-consumo, las condiciones ambientales, la localización del tanque y el tipo de fluido a almacenar.

2.2.4.1 DEFINICION DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Cualquier tipo de almacenamiento con una capacidad superior a 60 gls USA.

Todos los tanques, sean fabricados en taller o en campo deberán ser probados antes de que sean puesto en servicio, dichas pruebas se efectuaran según las partes aplicables de la norma de la que fueron fabricados.

- En los tanques atmosféricos, tanques refrigerados o de baja presión, a la terminación del fondo, se hará una prueba de fugas por medio de una caja de vacío u otro medio.
- Después de que se haya terminado la construcción, el alivio de esfuerzos, los exámenes, radiográficos y otras operaciones

similares, todos los tanques se someterán a pruebas neumáticas e hidrostáticas para probar la estanqueidad y seguridad del cuerpo. Se comprobará también la estanqueidad de las soldaduras y de todos los accesorios del techo. También se verificará que las válvulas de presión y vacío operen a las presiones deseadas.

- En los tanques y recipientes a presión después de la inspección los equipos serán probados hidrostáticamente en su posición de operación, según las normas ASME.

2.2.4.2 TANQUE ATMOSFERICO

Tanque de Almacenamiento que ha sido diseñado para operar a presiones desde la atmosférica hasta presiones de 1,0 psig (de 760 mm Hg hasta 812 mm Hg) medidos en el tope del Tanque. Los tanques atmosféricos no podrán ser usados para el almacenamiento de líquidos a temperaturas iguales o mayores a su punto de ebullición.

Otra definición sobre los tanques atmosféricos es, que serán usados para líquidos que tienen hasta una máxima presión de vapor de 0.914 Kg/cm² abs (13 psia) a nivel del mar. Por cada 300 metros de elevación la máxima presión de vapor deberá ser reducida en 0.035 Kg/cm² abs (0.5 psia). Los principales tanques atmosféricos son de techo flotante y de techo fijo.

a) **TANQUE ATMOSFERICO DE TECHO FIJO:** Aquel que puede tener techo auto soportado o por columnas, la superficie del techo puede tener forma de domo o cono. El Tanque opera con un espacio para los vapores, el cual cambia cuando varía el nivel de los líquidos.

El Tanque de techo fijo es usado para almacenar líquidos en razón a que no es exigido. El tanque posee ventilaciones en su techo, el cual permiten la emisión de vapores y que el interior se mantenga aproximadamente a la presión atmosférica, pero produciéndose pérdidas de respiración. Los tanques de techo fijo son usados para almacenar líquidos en los cuales los tanques de techo flotante no son exigidos.

b) **TANQUE ATMOSFERICO DE TECHO FLOTANTE:** Estos tanques tienen gran aceptación debido a que reducen las pérdidas por vaciado y llenado, esto se logra ya sea eliminando o manteniendo constante el espacio destinado a vapores, arriba del nivel del líquido. La pared y techo son de acero y su construcción es semejante a los ya mencionados.

El techo flota sobre el líquido eliminándose el espacio para los vapores. Para tanques de techo flotante, la altura a la cual debe considerarse será la distancia del fondo del tanque hasta la

máxima altura de llenado. Además para estos tipos de tanque, el diseño preverá que no ocurran daños al techo del tanque en la ocurrencia de sobrellenados, adicionalmente se preverá una extensión del cuerpo para acomodar el techo flotante. Los tanques de pontones anulares y el de techo de doble capa, son algunas variantes de este tipo de tanques. La Figura IV.3 muestra los rasgos más importantes de éstos. El sello es de suma importancia especialmente en este tipo de tanques, ya que el hecho de que el techo sea móvil favorece a la fuga de vapores. El sello entre la pared y el techo móvil se logra por medio de zapatas que están presionadas contra la pared por medio de resortes o contrapesos, con una membrana flexible atada entre la zapata y la cubierta del techo. Existen otros tanques de techo flotante pero son menos empleados. Los tanques de techo flotante son usados a continuación.

- Almacenamiento de líquidos con Presión de Vapor Reid mayor a 0.281 Kg/cm² abs (4 psia).
- Cuando el líquido es almacenado a temperaturas cercanas en 8.3oC (15oF) a su punto de inflamación o a temperaturas mayores.

- En tanques cuyo diámetro excede los 45.0 metros y sean destinados a almacenar líquidos de bajo punto de inflamación.
- Almacenamiento de líquidos con alta presión de vapor que son sensitivos a degradación por oxígeno.

c) **TANQUE A PRESION:** Los tanques a presión son utilizados para líquidos con presión de vapor mayor o igual a 0.914 Kg/cm abs (13 psia) a nivel del mar, los principales tipos de tanques a presión son recipientes cilíndricos y esferas.

- Los recipientes cilíndricos son de acero, se usan para almacenar cualquier gas licuado a su temperatura crítica y presión requerida. Su montaje en posición horizontal se hace sobre dos o más apoyos y si es en posición vertical se hace sobre un fuste. Se consideran económicos almacenamientos con dimensiones de hasta 4.50 metros de diámetro y capacidades de agua de hasta 800 metros cúbicos.
- Las esferas son otra forma de almacenar líquidos similares. Consisten de un recipiente esférico formado por gruesas paredes de acero, con seis o más aportes o

columnas. Se consideran económicas las esferas con capacidad de agua a partir de los 800 metros cúbicos.

d) TANQUE DE BAJA PRESION

Almacenamiento diseñado para mantener una presión interna mayor a 0.035 Kg/cm², pero menor de 1.055 kg/cm² medidos en la parte superior del tanque. Estos tanques de baja presión deben construirse de acuerdo con normas de diseño reconocidas. Los tanques de baja presión pueden construirse con el API 620.

e) TANQUES REFRIGERADOS

Los tanques de almacenamiento refrigerados son utilizados para almacenar gases licuados, en rangos del etileno al butano, que tienen un punto de ebullición entre -126.6°C a -1.1°C (-260°F a +30°F). Los principales tipos de tanques refrigerados son: recipientes a presión, esferas a presión y tanques cilíndricos verticales. Los recipientes a presión refrigerados se utilizan para el almacenamiento de gases a alta presión como GLN u otros gases criogénicos para los que el almacenamiento a presión a temperatura ambiente no es factible. Límites prácticos de estos recipientes son de 4.5 metros de diámetro.

- Las esferas a presión refrigeradas se utilizan para almacenar volúmenes intermedios de líquidos.
- Tanque cilíndrico vertical refrigerado es la forma más común de almacenar grandes volúmenes de líquidos refrigerados. Puede ser de paredes simples o dobles. El de pared simple es similar a los tanques atmosféricos, excepto que dispone un fondo plano; la cara exterior del cuerpo tiene un aislamiento térmico y el techo puede ser en forma de domo o de sombrilla, para operar con presiones ligeramente mayores a la atmosférica de 0.035 a 0.105 Kg/cm (0.5 a 1.5 psig).
- Los tanques de pared doble se asemejan a los tanques atmosféricos, excepto que el cuerpo está compuesto por dos paredes concéntricas con un material aislante que ocupa el espacio anular, el que se encuentra a una ligera presión positiva mediante el uso de un gas inerte como el nitrógeno.

Observaciones:

- Debe permitirse que los tanques atmosféricos construidos y diseñados de acuerdo con la Norma API 650 operen a presiones comprendidas entre la atmosférica y 1 lb/pulg² manométrica (6.9 kpa).

- Debe requerirse un análisis basado en los criterios de la buena práctica de la ingeniería para cualquier tanque que se use a presiones superiores a 0.5 lb/pulg² manométrica (3.5 kpa) para determinar de que el tanque pueda soportar presiones elevadas. en ningún caso se debe permitir que los tanques atmosféricos operan a presiones superiores a 1 lb/pulg² manométrica (6.9 kpa).
- Debe permitirse que los tanques de baja presión y los recipientes de presión se empleen como tanques atmosféricos. Los tanques atmosféricos no deben usarse para almacenar líquidos a una temperatura igual o superior a su punto de ebullición.
- Las conexiones de llenado de todos los tanques deben ubicarse al interior de los linderos de la propiedad y deberán disponer de sistemas de contención de posibles derrames (tipo spill containers) debidamente protegidas no se permite el uso ni la interrupción de la vía pública para el trasegado de los combustibles desde los vehículos tanques.

2.2.5 API (American Petroleum Institute)

El American Petroleum Institute (API) es la asociación comercial más grande de Estados Unidos para la industria del petróleo y el gas natural. Afirma que representa a cerca de 650 corporaciones involucradas en la producción, refinamiento, distribución y muchos otros aspectos de la industria petrolera.

La asociación describe su misión de influir en la política pública en apoyo de una industria sólida y viable de petróleo y gas natural en los Estados Unidos.

Sus principales funciones en nombre de la industria incluyen abogacía, negociación y cabildeo con agencias gubernamentales, legales y reguladoras;

Investigación sobre los efectos económicos, toxicológicos y ambientales;

Establecimiento y certificación de estándares industriales; Y el alcance de la educación. API financia y realiza investigaciones relacionadas con muchos aspectos de la industria petrolera. El actual CEO y presidente es Jack Gerard.

Los Comités de Estándares de la API están formados por subcomités y grupos de tareas que trabajan y mantienen estas normas. La lista del Comité y del Subcomité es la siguiente:

- Comité de Normalización de Equipos y Materiales de Campos Petrolíferos (CSOEM)
- SC2- Subcomité de Estructuras Marítimas
- SC5- Subcomité de Bienes Tubulares
- SC6- Subcomité de válvulas y equipos de cabezales de pozo
- SC8- Subcomité de Estructuras y Equipos de Perforación

- SC10- Subcomité sobre cementos de pozos
- SC11- Subcomité de Equipamiento Operativo de Campo
- SC13- Subcomité de llenado de perforaciones y fluidos de fracturación
- SC15- Subcomité de Tubos de Fibra de Vidrio y Plástico
- SC16- Subcomité de Equipos de Control de pozos de perforación
- SC17- Subcomité de Equipos de Producción Submarina
- SC18- Subcomité de Calidad
- SC19- Subcomité de Equipos de Terminación
- SC20- Subcomité de gestión de la cadena de suministro
- Comité de Equipos de Refinería (CRE)
- Subcomité de Corrosión y Materiales
- Subcomité de Equipo Eléctrico
- Subcomité de equipos de transferencia de calor
- Subcomité de Inspección
- Subcomité de Instrumentos y Sistemas de Control
- Subcomité de Equipamiento Mecánico
- Subcomité de tuberías y válvulas
- Subcomité de Sistemas de Alivio de Presión
- Subcomité sobre tanques de almacenaje superiores
- Comités de Normas de Oleoductos
- Comité de Seguridad y Protección Contra Incendios (SFPS)
- API Comité de Medición del Petróleo (COPM)

- Comité sobre la estimación de la pérdida de evaporación
- Comité de Medición de Fluidos para Gas
- Comité de Medición de Líquidos
- Comité de Medición de la Responsabilidad
- Comité de Calidad de Medición
- Comité de Medición y Asignación de Producción
- Comité de Medición de la Educación y la Formación

API también define el estándar de la industria para la conservación de energía del aceite de motor. API SN es la última especificación a la que los aceites de motor destinados a motores encendidos por chispa deben adherirse desde 2010. Sustituye API SM.

API también define y elabora normas para la medición de productos manufacturados, tales como:

- Medidores de hilo de precisión
- Indicadores de enchufe y anillo llanos
- Sistemas de medición de roscas
- Metrología y suministros industriales
- Instrumentos de medición
- Medidores personalizados
- Mecanizado y rectificado de precisión
- Calibración registrada ISO 17025

API RP 500 y RP 505 clasifican las ubicaciones para equipos eléctricos en áreas peligrosas.

API ha entrado en la nomenclatura de la industria petrolera en una serie de áreas:

- API gravedad, una medida de la densidad del petróleo.
- Número de API, un identificador único aplicado a cada pozo de exploración o producción de petróleo perforado en los Estados Unidos.
- API, una medida estándar de la radiación gamma natural medida en un pozo.

2.2.6 API 650

2.2.6.1 General

Esta norma establece requisitos mínimos para el material, diseño, fabricación, erección e inspección para tanques verticales, cilíndricos, sobre el suelo, cerrados y abiertos, de varios tamaños y capacidades para presiones internas aproximadas a la presión atmosférica (presiones internas que no excedan el peso del techo y placas), pero se permite una mayor presión interna cuando se cumplen requisitos adicionales. Esta norma sólo se aplica a los tanques cuyo fondo completo este uniformemente apoyado ya los tanques en servicio no refrigerado que temperatura máxima de diseño de 93 ° C (200 ° F) o menos.

Esta norma proporciona a la industria tanques de seguridad y economía razonables para su uso en el almacenamiento de petróleo, productos petrolíferos y otros productos líquidos. Esta norma no presenta ni establece una serie fija de tamaños de tanque permisibles;

En su lugar, se pretende que el Comprador pueda seleccionar el tanque de tamaño que mejor se ajuste a sus necesidades. Esta norma tiene por objeto ayudar a los compradores y fabricantes a ordenar, fabricar y erigir tanques.

No se pretende que prohíba a los Compradores y Fabricantes comprar o fabricar tanques que cumplan con las especificaciones distintos de los contenidos en esta norma

2.2.7 ASME

ASME es el acrónimo de American Society of Mechanical Engineers (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos). Es una asociación de profesionales, que ha generado un código de diseño, construcción, inspección y pruebas para equipos, entre otros, calderas y recipientes sujetos a presión. Este código tiene aceptación mundial y es usado en todo el mundo. Hasta el 2006, ASME tenía 120.000 miembros.

2.2.7.1 Historia

ASME internacional fue fundado en 1880 por los ingenieros mecánicos Alexander Lyman Holley (1832-1882), Rossiter Worthington (1817-1880), y Edison (1832-1916). Holley presidió la primera reunión. El 7 de abril una reunión de organización formal fue celebrada en el instituto de Stevens de la tecnología, de Hoboken, de Nueva Jersey, con cerca de ochenta ingenieros -- industriales, de educadores, de periodistas técnicos, de diseñadores, de constructores

navales, de ingenieros militares, y de inventores. Muchos grupos intentaban crear organizaciones de derecho profesional especializada. En los Estados Unidos, la sociedad americana de ingenieros civiles había sido activa desde 1852, y habían organizado al instituto americano de los ingenieros de explotación minera en 1871. Holley había sido vice presidente de la sociedad de Ingenieros civiles y presidente de la sociedad de ingenieros mineros. En 1880 había 85 universidades de ingeniería a través de los Estados Unidos, la mayoría de ellos que ofrecían un plan de estudios completo. La primera reunión anual fue celebrada en noviembre a principios de de 1880. Roberto H. Thurston, profesor de la ingeniería industrial en el instituto de Stevens y Cornell más última, era el primer presidente. Thurston había establecido el primer plan de estudios y el laboratorio de la ingeniería industrial del modelo. La energía de vapor condujo la tecnología del día: locomotoras, naves, maquinaria de la fábrica, y equipo de la mina. El motor de Corliss y la caldera Babcock y de Wilcox de water-tube estaban en su heyday. La primera central eléctrica central verdadera de los E.E.U.U. -- estación de la calle de la perla de Thomas Edison en New York City -- llevada en la era de grandes compañías de electricidad en 1882. La combustión interna no estaba lejos de uso. Los conglomerados tales como acero de los E.E.U.U. fueron formados. Los laboratorios de investigación industrial, tales como éstos en general electric, du Pont, y Eastman Kodak, proliferaron.

ASME formó sus actividades de la investigación en 1909, en áreas tales como tablas del vapor, las características de gases, las características de metales, el efecto de la temperatura en la fuerza de materiales, metros fluidos, coeficientes del orificio, etc.

Desde su inicio, ASME ha conducido en el desarrollo de estándares técnicos, de comenzar con el hilo de rosca del tornillo y ahora de numerar más de 600. La sociedad es mejor haber sabido, sin embargo, para mejorar la seguridad del equipo, especialmente calderas. A partir la 1870 a 1910, por lo menos 10.000 explosiones de la caldera en Norteamérica fueron registradas. Por 1910 la tarifa saltó a 1.300 a 1.400 al año. Algunos eran los accidentes espectaculares que despertaron los outcries públicos para la acción remediadora. Formaron a un comité del código de la caldera en 1911 que ése condujo al código de la caldera que era publicado en 1914-15 y más adelante incorporados en leyes de la mayoría de los estados de los E.E.U.U. y de los territorios y de las provincias canadienses.

Antes de 1930, cincuenta años después de que ASME fue fundado, la sociedad había crecido a 20.000 miembros, aunque su influencia en trabajadores americanos es lejos mayor. Apenas como diecinueveavo-siglo el ferrocarril creó ciudades y las ciudades a lo largo de sus trayectorias, sus horario que se enclavijaban condujeron al establecimiento de las zonas de actual tiempo. los líderes del

Vigésimo-siglo ASME, tales como Henry Robinson Towne, Frederick W. Taylor, Frederick Halsey, Henry L. Gantt, James M. Dodge, y Lillian Gilbreth, iniciaron las prácticas de gerencia que trajeron reforma y la innovación mundiales a las relaciones de trabajo de la gerencia. La precisión que trabajaba a máquina, producción en masa, y transporte comercial abrió la nación y entonces el mundo en la empresa americana. se puede considerar en 36 divisiones técnicas de ASME (más una subdivisión) y 3 institutos. La estructura de hoy de divisiones técnicas fue establecida en 1920, cuando ocho fueron fundados: Espacio aéreo, combustibles, gerencia, ingeniería de los materiales, de la dirección de materiales, energía, ingeniería de producción, y transporte del carril. Dos fueron La diversidad de la ingeniería mecánica formados más el año próximo: Industrias del motor y de textil de combustión interna. La adición más reciente es la división de los sistemas del almacenaje y de proceso de información (junio de 1996)

2.2.8 SOLDADURA

La soldadura es un proceso de fijación en donde se realiza la unión de dos o más piezas de un material, generalmente metales o termoplásticos, usualmente logrado a través de la coalescencia (fusión), en la cual las piezas son soldadas fundiendo, se puede agregar un material de aporte (metal o plástico), que, al fundirse, forma un charco de material fundido entre las piezas a soldar

(el baño de soldadura) y, al enfriarse, se convierte en una unión fija a la que se le denomina cordón. A veces se utiliza conjuntamente presión y calor, o solo presión por sí misma, para producir la soldadura. Esto está en contraste con la soldadura blanda (en inglés soldering) y la soldadura fuerte (en inglés brazing), que implican el derretimiento de un material de bajo punto de fusión entre piezas de trabajo para formar un enlace entre ellos, sin fundir las piezas de trabajo.

Muchas fuentes de energía diferentes pueden ser usadas para la soldadura, incluyendo una llama de gas, un arco eléctrico, un láser, un rayo de electrones, procesos de fricción o ultrasonido. La energía necesaria para formar la unión entre dos piezas de metal generalmente proviene de un arco eléctrico. La energía para soldaduras de fusión o termoplásticos generalmente proviene del contacto directo con una herramienta o un gas caliente.

La soldadura con frecuencia se realiza en un ambiente industrial, pero puede realizarse en muchos lugares diferentes, incluyendo al aire libre, bajo del agua y en el espacio. Independientemente de la localización, sin embargo, la soldadura sigue siendo peligrosa, y se deben tomar precauciones para evitar quemaduras, descarga eléctrica, humos venenosos, y la sobreexposición a la luz ultravioleta.

Hasta el final del siglo XIX, el único proceso de soldadura era la soldadura de fragua, que los herreros han usado por siglos para juntar metales calentándolos y golpeándolos. La soldadura por arco y la soldadura a gas estaban entre los primeros procesos en desarrollarse tardíamente en ese mismo siglo, siguiéndoles,

poco después, la soldadura por resistencia y soldadura eléctrica. La tecnología de la soldadura avanzó rápidamente durante el principio del siglo XX mientras que la Primera Guerra Mundial y la Segunda Guerra Mundial condujeron la demanda de métodos de unión fiables y baratos. Después de las guerras, fueron desarrolladas varias técnicas modernas de soldadura, incluyendo métodos manuales como la Soldadura manual de metal por arco, ahora uno de los más populares métodos de soldadura, así como procesos semiautomáticos y automáticos tales como Soldadura GMAW, soldadura de arco sumergido, soldadura de arco con núcleo de fundente y soldadura por electroescoria. Los progresos continuaron con la invención de la soldadura por rayo láser y la soldadura con rayo de electrones a mediados del siglo XX. Hoy en día, la ciencia continúa avanzando. La está llegando a ser corriente en las instalaciones industriales, y los investigadores continúan desarrollando nuevos métodos de soldadura y ganando mayor comprensión de la calidad y las propiedades de la soldadura.

Se dice que la soldadura es un sistema porque intervienen los elementos propios de este, es decir, las 5 M: mano de obra, materiales, máquinas, medio ambiente y medios escritos (procedimientos). La unión satisfactoria implica que debe pasar las pruebas mecánicas (tensión y dobléz). Las técnicas son los diferentes procesos (SMAW, SAW, GTAW, etc.) utilizados para la situación más conveniente y favorable, lo que hace que sea lo más económico, sin dejar de lado la seguridad.

2.2.8.1 Historia

La historia de la soldadura se remonta a varios milenios atrás, con los primeros ejemplos de soldadura desde la edad de bronce y la edad de hierro en Europa y en Oriente Medio. La soldadura fue usada en la construcción del Pilar de hierro de Delhi, en la India, erigido cerca del año 310 y pesando 5.4 toneladas métricas. La Edad Media trajo avances en la soldadura de fragua, con la que los herreros golpeaban repetidamente y calentaban el metal hasta que se producía la unión. En 1540, Vannoccio Biringuccio publicó *De la pirotechnia*, que incluye descripciones de la operación de forjado. Los artesanos del Renacimiento eran habilidosos en el proceso, y dicha industria continuó desarrollándose durante los siglos siguientes. Sin embargo, la soldadura fue transformada durante el siglo XIX. En 1800, Sir Humphry Davy descubrió el arco eléctrico, y los avances en la soldadura por arco continuaron con las invenciones de los electrodos de metal por el ruso Nikolai Slavyanov y el norteamericano, C. L. Coffin a finales de los años 1800. Incluso la soldadura por arco de carbón, que usaba un electrodo de carbón, ganó popularidad. Alrededor de 1900, A. P. Strohmenger lanzó un electrodo de metal recubierto en Gran Bretaña, que dio un arco más estable, y en 1919, la soldadura de corriente alterna fue inventada por C. J. Holslag, pero no llegó a ser popular por otra década.

La soldadura por resistencia también fue desarrollada durante las décadas finales del siglo XIX, con las primeras patentes del sector en manos de Elihu Thomson en 1885, quien produjo otros avances durante los siguientes 15 años. La soldadura de termita fue inventada en 1893, y alrededor de ese tiempo, se estableció otro proceso, la soldadura a gas. El acetileno fue descubierto en 1836 por Edmund Davy, pero su uso en la soldadura no fue práctico hasta cerca de 1900, cuando fue desarrollado un soplete conveniente. Al principio, la soldadura de gas fue uno de los más populares métodos de soldadura debido a su portabilidad y costo relativamente bajo. Sin embargo, a medida que progresaba el siglo 20, bajó en las preferencias para las aplicaciones industriales. Fue sustituida, en gran medida, por la soldadura de arco, en la medida que continuaron siendo desarrolladas las cubiertas de metal para el electrodo (conocidas como fundente), que estabilizan el arco y blindaban el material base de las impurezas.

La Primera Guerra Mundial causó un repunte importante en el uso de los procesos de soldadura, con las diferentes fuerzas militares procurando determinar cuáles de los variados nuevos procesos de soldadura serían los mejores. Los británicos usaron primariamente la soldadura por arco, incluso construyendo, mediante este procedimiento, una nave, el Fulagar, con un casco enteramente soldado. Los estadounidenses eran más vacilantes, pero comenzaron a reconocer los beneficios de la soldadura de arco cuando dicho proceso les permitió

reparar rápidamente sus naves después de los ataques alemanes en el puerto de Nueva York al principio de la guerra. También la soldadura de arco fue aplicada por primera vez a los aviones durante la guerra, pues algunos fuselajes de aeroplanos alemanes fueron construidos usando dicho proceso.

Durante los años 1920, importantes avances fueron hechos en la tecnología de la soldadura, incluyendo la introducción de la soldadura automática en 1920, en la que el alambre del electrodo era alimentado continuamente. El gas de protección se convirtió en un tema importante, mientras que los científicos procuraban proteger las soldaduras contra los efectos del oxígeno y el nitrógeno de la atmósfera. La porosidad y la fragilidad eran los problemas básicos derivados de este intercambio, y las soluciones que desarrollaron incluyeron el uso del hidrógeno, del argón, y del helio como gases protectores de la soldadura.⁷ Durante la siguiente década, posteriores avances permitieron la soldadura de metales reactivos como el aluminio y el magnesio. Esto, conjuntamente con desarrollos en la soldadura automática, la soldadura bajo corriente alterna, y los fundentes, alimentaron una importante extensión de la soldadura de arco durante los años 1930 y durante la Segunda Guerra Mundial.

A mediados del siglo XX, fueron inventados muchos métodos nuevos de soldadura. 1930 vio el lanzamiento de la soldadura de perno, que pronto llegó a ser popular en la fabricación de naves y la construcción.

La soldadura de arco sumergido fue inventada el mismo año, y continúa siendo popular hoy en día. En 1941, después de décadas de desarrollo, la soldadura de arco de gas con electrodo de tungsteno fue finalmente perfeccionada, seguida en 1948 por la soldadura por arco metálico con gas, permitiendo la soldadura rápida de materiales no ferrosos pero requiriendo costosos gases de blindaje. La soldadura de arco metálico blindado fue desarrollada durante los años 1950, usando un fundente de electrodo consumible cubierto, y se convirtió rápidamente en el más popular proceso de soldadura de arco metálico. En 1957, debutó el proceso de soldadura por arco con núcleo fundente, en el que el electrodo de alambre auto blindado podía ser usado con un equipo automático, resultando en velocidades de soldadura altamente incrementadas, y ése mismo año fue inventada la soldadura de arco de plasma. La soldadura por electroescoria fue introducida en 1958, y fue seguida en 1961 por su prima, la soldadura por electrogas.

Otros desarrollos recientes en la soldadura incluyen en 1958 el importante logro de la soldadura con rayo de electrones, haciendo posible la soldadura profunda y estrecha por medio de la fuente de calor concentrada. Siguiendo la invención del láser en 1960, la soldadura por rayo láser debutó varias décadas más tarde, y ha demostrado ser especialmente útil en la soldadura automatizada de alta velocidad, sin embargo, ambos procesos continúan siendo altamente costosos debido al alto costo del equipo necesario, y esto ha limitado sus aplicaciones.

2.2.8.2 Sistemas de soldadura

2.2.8.2.1 Soldadura de estado sólido

Como el primer proceso de soldadura, la soldadura de fragua, algunos métodos modernos de soldadura no implican derretimiento de los materiales que son juntados. Uno de los más populares, la soldadura ultrasónica, es usada para conectar hojas o alambres finos hechos de metal o termoplásticos, haciéndolos vibrar en alta frecuencia y bajo alta presión. El equipo y los métodos implicados son similares a los de la soldadura por resistencia, pero en vez de corriente eléctrica, la vibración proporciona la fuente de energía. Soldar metales con este proceso no implica el derretimiento de los materiales; en su lugar, la soldadura se forma introduciendo vibraciones mecánicas horizontalmente bajo presión. Cuando se están soldando plásticos, los materiales deben tener similares temperaturas de fusión, y las vibraciones son introducidas verticalmente. La soldadura ultrasónica se usa comúnmente para hacer conexiones eléctricas de aluminio o cobre, y también es un muy común proceso de soldadura de polímeros.

Otro proceso común, la soldadura explosiva, implica juntar materiales empujándolos juntos bajo una presión extremadamente alta. La energía del impacto plastifica los materiales, formando una soldadura, aunque solamente una

limitada cantidad de calor sea generada. El proceso es usado comúnmente para materiales disímiles de soldadura, tales como la soldadura del aluminio con acero en cascos de naves o placas compuestas. Otros procesos de soldadura de estado sólido incluyen la soldadura de coextrusión, la soldadura en frío, la soldadura de difusión, la soldadura por fricción (incluyendo la soldadura por fricción-agitación en inglés Friction Stir Welding), la soldadura por alta frecuencia, la soldadura por presión caliente, la soldadura por inducción, y la soldadura de rodillo.

2.2.8.2.2 Soldadura por arco

Se trata, en realidad, de distintos sistemas de soldadura, que tienen en común el uso de una fuente de alimentación eléctrica. Ésta se usa para generar un arco voltaico entre un electrodo y el material base, que derrite los metales en el punto de la soldadura. Se puede usar tanto corriente continua (CC) como alterna (AC), e incluyen electrodos consumibles o no consumibles, los cuales se encuentran cubiertos por un material llamado revestimiento. A veces, la zona de la soldadura es protegida por un cierto tipo de gas inerte o semi inerte, conocido como gas de protección, y, en ocasiones, se usa un material de relleno.

2.2.8.2.3 Soldadura blanda y fuerte

La soldadura blanda y la soldadura fuerte son procesos en los cuales no se produce la fusión de los metales base, sino únicamente del metal de aportación. Siendo el primer proceso de soldadura utilizado por el hombre, ya en la antigua Sumeria.

- La soldadura blanda se da a temperaturas inferiores a 450 °C.
- La soldadura fuerte se da a temperaturas superiores a 450 °C.
- Y la soldadura fuerte a altas temperaturas se da a temperaturas superiores a 900 °C.

2.2.8.2.3.1 Fuentes de energía

Para proveer la energía eléctrica necesaria para los procesos de la soldadura de arco, pueden ser usadas diferentes fuentes de alimentación. La clasificación más común de dichas fuentes consiste en separar las de corriente constante y las de voltaje constante. En la soldadura de arco, la longitud del arco está directamente relacionada con el voltaje, y la cantidad de calor generado está relacionada con la intensidad de la corriente. Las fuentes de alimentación de corriente constante son usadas con más frecuencia

para los procesos manuales de soldadura tales como la soldadura de arco de gas con electrodo de tungsteno y la soldadura de arco metálico blindado, porque ellas mantienen una corriente constante incluso mientras el voltaje varía. Esto es importante en la soldadura manual, ya que puede ser difícil sostener el electrodo perfectamente estable, y como resultado, la longitud del arco y el voltaje tienden a fluctuar. Las fuentes de alimentación de voltaje constante mantienen éste y varían la corriente. Como resultado, son usadas más a menudo para los procesos de soldadura automatizados tales como la soldadura de arco metálico con gas, soldadura por arco de núcleo fundente, y la soldadura de arco sumergido. En estos procesos, la longitud del arco es mantenida constante, puesto que cualquier fluctuación en la distancia entre electrodo y material base es rápidamente rectificado por un cambio grande en la corriente. Si el alambre y el material base se acercan demasiado, la corriente aumentará rápidamente, lo que, a su vez, causa un aumento del calor y éste hace que la extremidad del alambre se

funda, haciéndolo, así, volver a su distancia de separación original.

El tipo de corriente usado en la soldadura de arco también juega un papel importante. Los electrodos de proceso consumibles como los de la soldadura de arco de metal blindado y la soldadura de arco metálico con gas generalmente usan corriente directa (continua), por lo que el electrodo puede ser cargado positiva o negativamente, dependiendo de cómo se realicen las conexiones de los electrodos. En la soldadura, en caso de cargar el electrodo positivamente generará mayor de calor en el mismo, y como resultado, la soldadura resulta más superficial (al no fundirse casi el material base). Si el electrodo es cargado negativamente, el metal base estará más caliente, incrementando la penetración del aporte y la velocidad de la soldadura. Los procesos de electrodo no consumible, tales como la soldadura de arco de gas y electrodo de tungsteno, pueden usar ambos tipos de corriente directa, así como corriente alterna. Como en el caso antes citado, un electrodo positivamente cargado causa soldaduras superficiales y un electrodo

negativamente cargado, también provoca soldaduras más profundas. En caso de utilizar corriente alterna, al invertirse constante y rápidamente la polaridad eléctrica, se consiguen soldaduras de penetración intermedia. Una desventaja de la CA, el hecho de que el arco se anule a cada inversión de polaridad, se ha superado con la invención de unidades de energía especiales que producen un patrón cuadrado de onda, en vez del patrón normal de onda sinusoidal, generando pasos por cero muy rápidos que minimizan los efectos del problema de la desaparición del arco voltaico.

2.2.8.2.4 Soldadura por arco de metal blindado

Uno de los tipos más comunes de soldadura de arco es la soldadura manual con electrodo revestido (SMAW, Shielded Metal Arc Welding), que también es conocida como soldadura manual de arco metálico (MMA) o soldadura de electrodo. La corriente eléctrica se usa para crear un arco entre el material base y la varilla de electrodo consumible, que es de acero y está cubierto con un fundente que protege el área de la soldadura contra la oxidación y la contaminación, por medio de la producción del gas CO₂ durante el proceso de la soldadura.

El núcleo en sí mismo del electrodo actúa como material de relleno, haciendo innecesario un material de relleno adicional.

El proceso es versátil y puede realizarse con un equipo relativamente barato, haciéndolo adecuado para trabajos domésticos y para trabajos de campo. Un operador puede hacerse razonablemente competente con una modesta cantidad de entrenamiento y puede alcanzar la maestría con la experiencia. Los tiempos de soldadura son algo lentos, puesto que los electrodos consumibles deben ser sustituidos con frecuencia y por qué la escoria, el residuo del fundente, debe ser retirada después de soldar. Además, el proceso es generalmente limitado a materiales de soldadura ferrosos, aunque electrodos especializados han hecho posible la soldadura del hierro fundido, níquel, aluminio, cobre, acero inoxidable y de otros metales.

La soldadura de arco metálico con gas (GMAW, Gas Metal Arc Welding), también conocida como soldadura de metal y gas inerte o por las siglas en inglés MIG (Metal Inert Gas) y MAG (Metal Active Gas), es un proceso semiautomático o automático que usa una alimentación continua de alambre como electrodo y una mezcla de gas inerte o semi-inerte para proteger la soldadura contra la contaminación. Como con la SMAW, la habilidad razonable del operador puede ser

alcanzada con entrenamiento modesto. Puesto que el electrodo es inyectado de forma continua, las velocidades de soldado son mayores para la GMAW que para la SMAW. También, el tamaño más pequeño del arco, comparado a los procesos de soldadura de arco metálico protegido, hace más fácil hacer las soldaduras en posturas complicadas (ej, empalmes en lo alto, como sería soldando por debajo de una estructura).

El equipo requerido para realizar el proceso de GMAW es más complejo y costoso que el requerido para la SMAW, y exige un procedimiento más complejo de preparación. Por lo tanto, la GMAW es menos portable y versátil, y, debido al uso de un gas de blindaje separado, no es particularmente adecuado para el trabajo al aire libre. Sin embargo, la velocidad media más alta que en la SMAW, hacen que la GMAW sea más adecuada para la soldadura de producción. El proceso puede ser aplicado a una amplia variedad de metales, tanto ferrosos como no ferrosos.

Un proceso relacionado, la soldadura de arco de núcleo fundente (FCAW), usa un equipo similar pero utiliza un alambre que consiste en un electrodo de acero relleno de un material en polvo. Este alambre nucleado es más costoso que el alambre sólido estándar y puede generar humos y/o escoria,

pero permite incluso una velocidad más alta de soldadura y mayor penetración del metal.

La soldadura de arco, tungsteno y gas (GTAW), o soldadura de tungsteno y gas inerte (TIG) (también a veces designada erróneamente como soldadura heliarc), es un proceso manual de soldadura que usa un electrodo de tungsteno no consumible, una mezcla de gas inerte o semi-inerte, y un material de relleno separado. Especialmente útil para soldar materiales finos, este método es caracterizado por un arco estable y una soldadura de alta calidad, pero requiere una significativa habilidad del operador y solamente da velocidades de trabajo relativamente bajas.

La GTAW puede ser usada en casi todos los metales soldables, aunque es aplicada más a menudo a aleaciones de acero inoxidable y metales livianos. Se usa en los casos en que son extremadamente importantes las soldaduras de calidad, por ejemplo en fabricación de cuadros de bicicletas, aviones y aplicaciones navales. Un proceso relacionado, la soldadura de arco de plasma, también usa un electrodo de tungsteno pero utiliza un gas de plasma para hacer el arco. El arco es más concentrado que el arco de la GTAW, haciendo el control transversal más crítico y así generalmente restringiendo la técnica a un proceso mecanizado. Debido a su corriente estable,

el método puede ser usado en una gama más amplia de materiales gruesos que en el caso de la GTAW, y además, es mucho más rápido que ésta. Se aplica a los mismos materiales que la GTAW excepto al magnesio, y la soldadura automatizada del acero inoxidable es una aplicación reseñable de este sistema. Una variante del mismo es el corte por plasma, un eficiente sistema para el corte de acero.

La soldadura de arco sumergido (SAW) es un método de soldadura de alta productividad en el cual el arco se genera inmerso en un fluido. Esto aumenta la calidad del arco, puesto que los contaminantes de la atmósfera son desplazados por dicho fluido. La escoria que forma la soldadura, generalmente, sale por sí misma, y, combinada con el uso de una alimentación de alambre continua, la velocidad de deposición de la soldadura es alta. Las condiciones de trabajo mejoran mucho en comparación con otros sistemas de soldadura de arco, puesto que el fluido oculta el arco y, así, casi no se produce ningún humo. Este sistema es usado comúnmente en la industria, especialmente para productos grandes y en la fabricación de recipientes de presión soldados. Otros procesos de soldadura de arco incluyen la soldadura de hidrógeno atómico, la soldadura de arco de carbono, la soldadura de electroescoria, la soldadura por electrogas, y la soldadura de arco de perno.

Soldadura por resistencia La soldadura por puntos es un popular método de soldadura por resistencia usado para juntar hojas de metal solapadas de hasta 3mm de grosor. Dos electrodos son usados simultáneamente para sujetar juntas las hojas de metal y para hacer pasar corriente a través de las mismas. Las ventajas del método incluyen el uso eficiente de la energía, una limitada deformación de la pieza de trabajo, altas velocidades de producción, fácil automatización, y el no requerimiento de materiales de relleno. La fuerza de dicha soldadura es sensiblemente más baja que las de otros métodos de soldadura, restringiendo el sistema a ciertas aplicaciones. Es usada extensivamente en la industria del automóvil. Los vehículos ordinarios pueden llevar varios miles de puntos de soldadura hechos por robots industriales. Un proceso especializado, llamado soldadura de choque, puede ser usado para los puntos de soldadura del acero inoxidable.

2.2.8.2.5 Soldadura a gas

Soldadura a gas de una armadura de acero usando el proceso de oxiacetileno.

El proceso más común de soldadura a gas es la soldadura oxiacetilénica, también conocida como *soldadura autógena* o soldadura oxi-combustible. Es uno de los más viejos y más versátiles procesos de soldadura, pero en años

recientes ha llegado a ser menos popular en aplicaciones industriales. Todavía es usada extensamente para soldar tuberías y tubos, como también para trabajo de reparación. El equipo es relativamente barato y simple, generalmente empleando la combustión del acetileno en oxígeno para producir una temperatura de la llama de soldadura de cerca de 3100 °C. Puesto que la llama es menos concentrada que un arco eléctrico, causa un enfriamiento más lento de la soldadura, que puede conducir a mayores tensiones residuales y distorsión de soldadura, aunque facilita la soldadura de aceros de alta aleación. Un proceso similar, generalmente llamado corte de oxicombustible, es usado para cortar los metales. Otros métodos de la soldadura a gas, tales como soldadura de acetileno y aire, soldadura de hidrógeno y oxígeno, y soldadura de gas a presión son muy similares, generalmente diferenciándose solamente en el tipo de gases usados. Una antorcha de agua a veces es usada para la soldadura de precisión de artículos como joyería. La soldadura a gas también es usada en la soldadura de plástico, aunque la sustancia calentada es el aire, y las temperaturas son mucho más bajas.

2.2.8.2.6 Soldadura por resistencia

La soldadura por resistencia implica la generación de calor al atravesar la corriente eléctrica dos o más superficies de metal.

Se forman pequeños charcos de metal fundido en el área de soldadura a medida que la elevada corriente (1.000 a 100.000 A) traspasa el metal. En general, los métodos de la soldadura por resistencia son eficientes y causan poca contaminación, pero sus aplicaciones son algo limitadas y el costo del equipo puede ser alto.

2.2.8.2.6.1 Soldador de punto.

La soldadura por puntos es un popular método de soldadura por resistencia usado para juntar hojas de metal solapadas de hasta 3 mm de grueso. Dos electrodos son usados simultáneamente para sujetar las hojas de metal juntas y para pasar la corriente a través de ellas. Las ventajas del método incluyen el uso eficiente de la energía, una limitada deformación de la pieza de trabajo, altas velocidades de producción, fácil automatización, y el no requerimiento de materiales de relleno. La fuerza de la soldadura es perceptiblemente más baja que con otros métodos de soldadura, haciendo el proceso solamente conveniente para ciertas aplicaciones. Es usada extensivamente en la industria de automóviles -- Los coches ordinarios puede tener varios miles de puntos soldados hechos

por robots industriales. Un proceso especializado, llamado soldadura de choque, puede ser usado para los puntos de soldadura del acero inoxidable.

Como la soldadura de punto, la soldadura de costura confía en dos electrodos para aplicar la presión y la corriente para juntar hojas de metal. Sin embargo, en vez de electrodos de punto, los electrodos con forma de rueda, ruedan a lo largo y a menudo alimentan la pieza de trabajo, haciendo posible las soldaduras continuas largas. En el pasado, este proceso fue usado en la fabricación de latas de bebidas, pero ahora sus usos son más limitados. Otros métodos de soldadura por resistencia incluyen la soldadura de destello, la soldadura de proyección, y la soldadura de volcado.

2.2.8.2.7 Soldadura por rayo de energía

Los métodos de soldadura por rayo de energía, llamados soldadura por rayo láser y soldadura con rayo de electrones, son procesos relativamente nuevos que han llegado a ser absolutamente populares en aplicaciones de alta producción. Los dos procesos son muy similares,

diferenciándose más notablemente en su fuente de energía. La soldadura de rayo láser emplea un rayo láser altamente enfocado, mientras que la soldadura de rayo de electrones es hecha en un vacío y usa un haz de electrones. Ambas tienen una muy alta densidad de energía, haciendo posible la penetración de soldadura profunda y minimizando el tamaño del área de la soldadura. Ambos procesos son extremadamente rápidos, y son fáciles de automatizar, haciéndolos altamente productivos. Las desventajas primarias son sus muy altos costos de equipo (aunque éstos están disminuyendo) y una susceptibilidad al agrietamiento. Los desarrollos en esta área incluyen la soldadura de láser híbrido, que usa los principios de la soldadura de rayo láser y de la soldadura de arco para incluso mejores propiedades de soldadura.

2.2.8.3 Geometría

Las soldaduras pueden ser preparadas geométricamente de muchas maneras diferentes. Los cinco tipos básicos de juntas de soldadura son la junta de extremo, la junta de regazo, la junta de esquina, la junta de borde, y la junta-T. Existen otras variaciones, como por ejemplo la preparación de juntas doble-V, caracterizadas por las dos piezas de material cada una que afilándose a un solo punto central en la mitad de su altura. La

preparación de juntas solo-U y doble-U son también bastante comunes — en lugar de tener bordes rectos como la preparación de juntas solo-V y doble-V, ellas son curvadas, teniendo la forma de una U. Las juntas de regazo también son comúnmente más que dos piezas gruesas — dependiendo del proceso usado y del grosor del material, muchas piezas pueden ser soldadas juntas en una geometría de junta de regazo.

A menudo, ciertos procesos de soldadura usan exclusivamente o casi exclusivamente diseños de junta particulares. Por ejemplo, la soldadura de punto de resistencia, la soldadura de rayo láser, y la soldadura de rayo de electrones son realizadas más frecuentemente con juntas de regazo. Sin embargo, algunos métodos de soldadura, como la soldadura por arco de metal blindado, son extremadamente versátiles y pueden soldar virtualmente cualquier tipo de junta. Adicionalmente, algunos procesos pueden ser usados para hacer soldaduras multipasos, en las que se permite enfriar una soldadura, y entonces otra soldadura es realizada encima de la primera. Esto permite, por ejemplo, la soldadura de secciones gruesas dispuestas en una preparación de junta solo-V.

La sección cruzada de una junta de extremo soldado, con el gris más oscuro representando la zona de la soldadura o la fusión, el gris medio la zona afectada por el calor ZAT, y el gris más claro el material base.

Después de soldar, un número de distintas regiones pueden ser identificadas en el área de la soldadura. La soldadura en sí misma es

llamada la zona de fusión —más específicamente, ésta es donde el metal de relleno fue puesto durante el proceso de la soldadura. Las propiedades de la zona de fusión dependen primariamente del metal de relleno usado, y su compatibilidad con los materiales base. Es rodeada por la zona afectada de calor, el área que tuvo su microestructura y propiedades alteradas por la soldadura. Estas propiedades dependen del comportamiento del material base cuando está sujeto al calor. El metal en esta área es con frecuencia más débil que el material base y la zona de fusión, y es también donde son encontradas las tensiones residuales.

2.2.8.4 Calidad

Muy a menudo, la medida principal usada para juzgar la calidad de una soldadura es su fortaleza y la fortaleza del material alrededor de ella. Muchos factores distintos influyen en esto, incluyendo el método de soldadura, la cantidad y la concentración de la entrada de calor, el material base, el material de relleno, el material fundente, el diseño del empalme, y las interacciones entre todos estos factores. Para probar la calidad de una soldadura se usan tanto ensayos no destructivos como ensayos destructivos, para verificar que las soldaduras están libres de defectos, tienen niveles aceptables de tensiones y distorsión residuales, y tienen propiedades aceptables de zona afectada por el calor (HAZ). Existen códigos y especificaciones de soldadura para guiar a los soldadores en técnicas apropiadas de soldadura y en cómo juzgar las calidades estas.

2.2.8.5 Zona afectada térmicamente

El área azul resulta de la oxidación en una temperatura correspondiente a 316 °C. Esto es una manera precisa de identificar la temperatura, pero no representa el ancho de la zona afectada térmicamente (ZAT). La ZAT es el área estrecha que inmediatamente rodea el metal base soldado.

Los efectos de soldar pueden ser perjudiciales en el material rodeando la soldadura. Dependiendo de los materiales usados y la entrada de calor del proceso de soldadura usado, la zona afectada térmicamente (ZAT) puede variar en tamaño y fortaleza. La difusividad térmica del material base es muy importante - si la difusividad es alta, la velocidad de enfriamiento del material es alta y la ZAT es relativamente pequeña. Inversamente, una difusividad baja conduce a un enfriamiento más lento y a una ZAT más grande. La cantidad de calor inyectada por el proceso de soldadura también desempeña un papel importante, pues los procesos como la soldadura oxiacetilénica tienen una entrada de calor no concentrado y aumentan el tamaño de la zona afectada. Los procesos como la soldadura por rayo láser tienen una cantidad altamente concentrada y limitada de calor, resultando una ZAT pequeña. La soldadura de arco cae entre estos dos extremos, con los procesos individuales variando algo en entrada de calor. Para calcular el calor para los procedimientos de soldadura de arco, puede ser usada la siguiente fórmula:

$$Q = \left(\frac{V \times I \times 60}{S \times 1000} \right) \times \text{Rendimiento}$$

En donde:

- Q = entrada de calor (kJ/mm),
- V = voltaje (V),
- I = corriente (A), y
- S = velocidad de la soldadura (mm/min)

El rendimiento depende del proceso de soldadura usado, con la soldadura de arco de metal revestido teniendo un valor de 0,75, la soldadura por arco metálico con gas y la soldadura de arco sumergido, 0,9, y la soldadura de arco de gas tungsteno, 0,8.

2.2.8.6 Distorsión y agrietamiento

Los métodos de soldadura que implican derretir el metal en el sitio del empalme son necesariamente propensos a la contracción a medida que el metal calentado se enfría. A su vez, la contracción puede introducir tensiones residuales y tanto distorsión longitudinal como rotatoria. La distorsión puede plantear un problema importante, puesto que el producto final no tiene la forma deseada. Para aliviar la distorsión rotatoria, las piezas de trabajo pueden ser compensadas, de modo que la soldadura dé lugar a una pieza correctamente formada.³¹ Otros métodos de limitar la distorsión, como afianzar en el lugar las piezas de trabajo con abrazaderas, causa la acumulación de la tensión residual en la zona afectada térmicamente del material base. Estas tensiones pueden reducir la fuerza del material base, y pueden conducir a la falla catastrófica por

agrietamiento frío, como en el caso de varias de las naves Liberty. El agrietamiento en frío está limitado a los aceros, y está asociado a la formación del martensita mientras que la soldadura se enfría. El agrietamiento ocurre en la zona afectada térmicamente del material base. Para reducir la cantidad de distorsión y estrés residual, la cantidad de entrada de calor debe ser limitada, y la secuencia de soldadura usada no debe ser de un extremo directamente al otro, sino algo en segmentos. El otro tipo de agrietamiento, el agrietamiento en caliente o agrietamiento de solidificación, puede ocurrir en todos los metales, y sucede en la zona de fusión de la soldadura. Para disminuir la probabilidad de este tipo de agrietamiento, debe ser evitado el exceso de material restringido, y debe ser usado un material de relleno apropiado.

2.2.8.7 Soldabilidad

La calidad de una soldadura también depende de la combinación de los materiales usados para el material base y el material de relleno. No todos los metales son adecuados para la soldadura, y no todos los metales de relleno trabajan bien con materiales bases aceptables. Hay que tener en cuenta el 60% del espesor base menor de las placas a unir para uso de uno de los catetos de la soldadura.

2.2.8.8 Aceros

La soldabilidad de aceros es inversamente proporcional a una propiedad conocida como la templabilidad del acero, que mide la probabilidad de

formar la martensita durante el tratamiento de soldadura o calor. La templabilidad del acero depende de su composición química, con mayores cantidades de carbono y de otros elementos de aleación resultando en mayor templabilidad y por lo tanto una soldabilidad menor. Para poder juzgar las aleaciones compuestas de muchos materiales distintos, se usa una medida conocida como el contenido equivalente de carbono para comparar las soldabilidades relativas de diferentes aleaciones comparando sus propiedades a un acero al carbono simple. El efecto sobre la soldabilidad de elementos como el cromo y el vanadio, mientras que no es tan grande como la del carbono, es por ejemplo más significativa que la del cobre y el níquel. A medida que se eleva el contenido equivalente de carbono, la soldabilidad de la aleación decrece. La desventaja de usar simple carbono y los aceros de baja aleación es su menor resistencia - hay una compensación entre la resistencia del material y la soldabilidad. Los aceros de alta resistencia y baja aleación fueron desarrollados especialmente para los usos en la soldadura durante los años 1970, y estos materiales, generalmente fáciles de soldar tienen buena resistencia, haciéndolos ideales para muchas aplicaciones de soldadura.

Debido a su alto contenido de cromo, los aceros inoxidables tienden a comportarse de una manera diferente a otros aceros con respecto a la soldabilidad. Los grados austeníticos de los aceros inoxidables tienden a ser más soldables, pero son especialmente susceptibles a la distorsión

debido a su alto coeficiente de expansión térmica. Algunas aleaciones de este tipo son propensas a agrietarse y también a tener una reducida resistencia a la corrosión. Si no está controlada la cantidad de ferrita en la soldadura es posible el agrietamiento caliente. Para aliviar el problema, se usa un electrodo que deposita un metal de soldadura que contiene una cantidad pequeña de ferrita. Otros tipos de aceros inoxidables, tales como los aceros inoxidables ferríticos y martensíticos, no son fácilmente soldables, y a menudo deben ser precalentados y soldados con electrodos especiales.

2.2.8.9 Aluminio

La soldabilidad de las aleaciones de aluminio varía significativamente dependiendo de la composición química de la aleación usada. Las aleaciones de aluminio son susceptibles al agrietamiento caliente, y para combatir el problema los soldadores aumentan la velocidad de la soldadura para reducir el aporte de calor. El precalentamiento reduce el gradiente de temperatura a través de la zona de soldadura y por lo tanto ayuda a reducir el agrietamiento caliente, pero puede reducir las características mecánicas del material base y no debe ser usado cuando el material base está restringido. El diseño del empalme también puede cambiarse, y puede seleccionarse una aleación de relleno más compatible para disminuir la probabilidad del agrietamiento caliente. Las aleaciones de aluminio también deben ser limpiadas antes de la soldadura, con el objeto de quitar todos los óxidos, aceites, y partículas

sueltas de la superficie a ser soldada. Esto es especialmente importante debido a la susceptibilidad de una soldadura de aluminio a la porosidad debido al hidrógeno y a la escoria debido al oxígeno.

2.2.8.10 Condiciones inusuales

Aunque muchas aplicaciones de la soldadura se llevan a cabo en ambientes controlados como fábricas y talleres de reparaciones, algunos procesos de soldadura se usan con frecuencia en una amplia variedad de condiciones, como al aire abierto, bajo el agua y en vacíos (como en el espacio). En usos al aire libre, tales como la construcción y la reparación en exteriores, la soldadura de arco de metal blindado es el proceso más común. Los procesos que emplean gases inertes para proteger la soldadura no pueden usarse fácilmente en tales situaciones, porque los movimientos atmosféricos impredecibles pueden dar lugar a una soldadura fallida. La soldadura de arco de metal blindado a menudo también es usada en la soldadura subacuática en la construcción y la reparación de naves, plataformas costa afuera, y tuberías, pero también otras son común, tales como la soldadura de arco con núcleo de fundente y soldadura de arco de tungsteno y gas. Es también posible soldar en el espacio, fue intentado por primera vez en 1969 por cosmonautas rusos, cuando realizaron experimentos para probar la soldadura de arco de metal blindado, la soldadura de arco de plasma, y la soldadura de haz de electrones en un ambiente despresurizado. Se hicieron pruebas adicionales de estos métodos en las siguientes décadas, y hoy en día los

investigadores continúan desarrollando métodos para usar otros procesos de soldadura en el espacio, como la soldadura de rayo láser, soldadura por resistencia, y soldadura por fricción. Los avances en estas áreas podrían probar ser indispensables para proyectos como la construcción de la Estación Espacial Internacional, que probablemente utilizará profusamente la soldadura para unir en el espacio las partes manufacturadas en la Tierra.

2.2.8.11 Seguridad

La soldadura sin las precauciones apropiadas puede ser una práctica peligrosa y dañina para la salud. Sin embargo, con el uso de la nueva tecnología y la protección apropiada, los riesgos de lesión o muerte asociados a la soldadura pueden ser prácticamente eliminados. El riesgo de quemaduras o electrocución es significativo debido a que muchos procedimientos comunes de soldadura implican un arco eléctrico o flama abiertos. Para prevenirlas, las personas que sueldan deben utilizar ropa de protección, como calzado homologado, guantes de cuero gruesos y chaquetas protectoras de mangas largas para evitar la exposición a las chispas, el calor y las posibles llamas. Además, la exposición al brillo del área de la soldadura produce una lesión llamada ojo de arco (queratitis) por efecto de la luz ultravioleta que inflama la córnea y puede quemar las retinas. Las gafas protectoras y los cascos y caretas de soldar con filtros de cristal oscuro se usan para prevenir esta exposición, y en años

recientes se han comercializado nuevos modelos de cascos en los que el filtro de cristal es transparente y permite ver el área de trabajo cuando no hay radiación UV, pero se auto oscurece en cuanto esta se produce al iniciarse la soldadura. Para proteger a los espectadores, la ley de seguridad en el trabajo exige que se utilicen mamparas o cortinas translúcidas que rodeen el área de soldadura. Estas cortinas, hechas de una película plástica de cloruro de polivinilo, protegen a los trabajadores cercanos de la exposición a la luz UV del arco eléctrico, pero no deben ser usadas para reemplazar el filtro de cristal usado en los cascos y caretas del soldador.

A menudo, los soldadores también se exponen a gases peligrosos y a partículas finas suspendidas en el aire. Los procesos como la soldadura por arco de núcleo fundente y la soldadura por arco metálico blindado producen humo que contiene partículas de varios tipos de óxidos, que en algunos casos pueden producir cuadros médicos como el llamado fiebre del vapor metálico. El tamaño de las partículas en cuestión influye en la toxicidad de los vapores, pues las partículas más pequeñas presentan un peligro mayor. Además, muchos procesos producen vapores y varios gases, comúnmente dióxido de carbono, ozono y metales pesados, que pueden ser peligrosos sin la ventilación y la protección apropiados. Para este tipo de trabajos, se suele llevar mascarilla para partículas de clasificación FFP3, o bien mascarilla para soldadura. Debido al uso de gases comprimidos y llamas, en muchos procesos de soldadura se plantea

un riesgo de explosión y fuego. Algunas precauciones comunes incluyen la limitación de la cantidad de oxígeno en el aire y mantener los materiales combustibles lejos del lugar de trabajo.

2.2.8.12 Costos y tendencias

Como en cualquier proceso industrial, el coste de la soldadura juega un papel crucial en las decisiones de la producción. Muchas variables diferentes afectan el costo total, incluyendo el costo del equipo, el costo de la mano de obra, el costo del material, y el costo de la energía eléctrica. Dependiendo del proceso, el costo del equipo puede variar, desde barato para métodos como la soldadura de arco de metal blindado y la soldadura de oxicombustible, a extremadamente costoso para métodos como la soldadura de rayo láser y la soldadura de haz de electrones. Debido a su alto costo, éstas son solamente usadas en operaciones de alta producción. Similarmente, debido a que la automatización y los robots aumentan los costos del equipo, solamente son implementados cuando es necesaria la alta producción. El costo de la mano de obra depende de la velocidad de deposición (la velocidad de soldadura), del salario por hora y del tiempo total de operación, incluyendo el tiempo de soldar y del manejo de la pieza. El costo de los materiales incluye el costo del material base y de relleno y el costo de los gases de protección. Finalmente, el costo de la energía depende del tiempo del arco y el consumo de energía de la soldadura.

Para los métodos manuales de soldadura, los costos de trabajo generalmente son la vasta mayoría del costo total. Como resultado, muchas medidas de ahorro de costo se enfocan en la reducción al mínimo del tiempo de operación. Para hacer esto, pueden seleccionarse procedimientos de soldadura con altas velocidades de deposición y los parámetros de soldadura pueden ajustarse para aumentar la velocidad de la soldadura. La mecanización y la automatización son frecuentemente implementadas para reducir los costos de trabajo, pero, a menudo, con ésta aumenta el costo de equipo y crea tiempo adicional de disposición. Los costos de los materiales tienden a incrementarse cuando son necesarias propiedades especiales en ellos y los costos de la energía normalmente no suman más que un porcentaje del costo total de la soldadura.

En años recientes, para reducir al mínimo los costos de trabajo en la manufactura de alta producción, la soldadura industrial se ha vuelto cada vez más automatizada, sobre todo con el uso de robots en la soldadura de punto de resistencia (especialmente en la industria del automóvil) y en la soldadura de arco. En la soldadura robotizada, unos dispositivos mecánicos sostienen el material y realizan la soldadura, y al principio, la soldadura de punto fue su uso más común. Pero la soldadura de arco robótica ha incrementado su popularidad a medida que la tecnología ha avanzado. Otras áreas clave de investigación y desarrollo incluyen la soldadura de materiales distintos (como por ejemplo, acero y aluminio) y

los nuevos procesos de soldadura. Además, se desea progresar en que métodos especializados como la soldadura de rayo láser sean prácticos para más aplicaciones, por ejemplo en las industrias aeroespaciales y del automóvil. Los investigadores también tienen la esperanza de entender mejor las frecuentes propiedades impredecibles de las soldaduras, especialmente la microestructura, las tensiones residuales y la tendencia de una soldadura a agrietarse o deformarse.

2.3 MARCO CONCEPTUAL

- **SOLDADURA:** La soldadura es un proceso de fijación en donde se realiza la unión de dos o más piezas de un material, (generalmente metales o termoplásticos), usualmente logrado a través de la coalescencia (fusión), en la cual las piezas son soldadas fundiendo, se puede agregar un material de aporte (metal o plástico), que, al fundirse, forma un charco de material fundido entre las piezas a soldar (el baño de soldadura) y, al enfriarse, se convierte en una unión fija a la que se le denomina cordón.
- **SOLDABILIDAD:** Calidad de los materiales que se pueden soldar.
- **JUNTA:** Lugar donde se funde y solidifica el metal de aporte con el metal base.
- **UNION TOPE:** Consiste en unir las chapas situadas en el mismo plano para chapas superiores a 6 mm o para soldar por ambos lados, hay que preparar los bordes, el objetivo de esta junta es la penetración completa.
- **UNION POR SOLAPE:** Soldadura realizada a lo largo de dos juntas solapadas.

- **UNION FILETE:** Este tipo de soldadura (soldeo) es el más común y su aspecto recuerda a un triángulo que resulta de unir dos superficies en ángulo como los casos de las soldaduras en T, en solapa y en esquina.
- **ACERO:** Aleación de hierro con pequeñas cantidades de carbono y que adquiere con el temple gran dureza y elasticidad.
- **ACERO A-36:** Es una aleación de acero al carbono de propósito general muy comúnmente usado en los Estados Unidos, aunque existen muchos otros aceros, superiores en resistencia, cuya demanda está creciendo rápidamente. La denominación A36 fue establecida por la ASTM (American Society for Testing and Materials).
- **SMAW:** Proceso de Soldadura - Arco Manual con Electrodo Revestido (SMAW) El sistema de soldadura Arco Manual, se define como el proceso en que se unen dos metales mediante una fusión localizada, producida por un arco eléctrico entre un electrodo metálico y el metal base que se desea unir.
- **FACW:** La soldadura por arco con núcleo de fundente (Flux Cored Arc Welding, FCAW) es un proceso de soldadura por arco que aprovecha un arco entre un electrodo continuo de metal de aporte y el charco de soldadura. Este proceso se emplea con protección de un fundente contenido dentro del electrodo tubular, con o sin un escudo adicional de gas de procedencia externa, y sin aplicación de presión.
- **GMAW:** Metal Inert Gas (MIG) / Metal Active Gas (MAG) / Gas Metal Arc Welding (GMAW) En el sistema MIG un sistema de alimentación impulsa en forma automática y a velocidad predeterminada el alambre-electrodo hacia el trabajo o baño

de fusión, mientras la pistola de soldadura se posiciona a un ángulo adecuado y se mantiene a una distancia tobera-pieza, generalmente de 10 mm.

- GTAW: Gas tungsten arc welding (GTAW) o Tungsten inert gas (TIG) Cuando se necesita alta calidad y mayores requerimientos de terminación, se necesario utilizar el sistema TIG para lograr soldaduras homogéneas, de buena apariencia y con un acabado completamente liso.
- CMA: Competencia Mayor
- MB: Miles de Barriles
- ASTM: American Society for Testing and materials.
- ASME: American Society of Mechanical Engineers.
- AWS: American Welding Society.
- WPQ: Welding Procedure Quality.
- PQR: Procedure Quality Register.
- TANQUE: recipiente a presión en el cual se almacena hidrocarburos y sus derivados.
- CUADERNO DE SERVICIO: Cuaderno en el cual se registra diario con sucesos importantes de la ejecución del servicio.
- INSTALACIÓN: Proceso en el cual se concreta las actividades planeadas para le ejecución del proyecto.
- SUMINISTRO: Materiales necesarios para realizar la las actividades de instalación del proyecto.

- **ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:** Son los documentos en los cuales se definen las normas, exigencias y procedimientos a ser empleados y aplicados en todos los trabajos de ejecución del servicio.
- **MEMORIA DESCRIPTIVA:** Es la parte del proyecto que nos informa de la solución definitiva elegida, dando ideas sobre: funcionamiento, materiales a emplear, coste aproximado de la solución elegida, las causas que hemos tenido en cuenta para elegir esa solución de entre todas las posibles
- **PLANOS:** Representación grafica de lugares, diseños e información imprescindible para la ejecución del proyecto.
- **PLANTILLA DE PRESUPUESTO:** Hoja de datos en la cual podemos encontrar el nombre de la partida, el metrado requerido, la unidad del metrado, el precio unitario de la partida y el precio parcial de la misma.

CAPÍTULO III

DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

3.1 DESCRIPCIÓN DE LOS REQUISITOS PARA LA SELECCIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA

Con el objetivo de seleccionar el adecuado proceso de soldadura para el montaje del fondo y cuerpo de los tanques de 60 mil barriles de capacidad, para iniciar los trabajos metalmecánicos y asegurar la utilidad de estas actividades; primero se calculara la cantidad y volumen de soldadura que se realizara en los tanques, posteriormente se realizara el comparativo de procesos que van de acuerdo a la norma API 650 para la construcción de tanques de almacenamiento de hidrocarburos, se seleccionara el proceso más adecuado para los tanques del proyecto, luego se propondrá el material de aporte para los cordones de soldadura y se realizara el comparativo económico de nuestra propuesta.

A continuación líneas abajo encontrara una serie de figuras, en las cuales podrá observar los planos en los cuales está basado los cálculos de longitudes y volúmenes de soldaduras, siendo este el punto de partida para el análisis del presente proyecto de ingeniería (Los planos referenciales, tanto de la supervisión como del cliente también los podrá encontrar en el Anexo adjunto del presente documento).

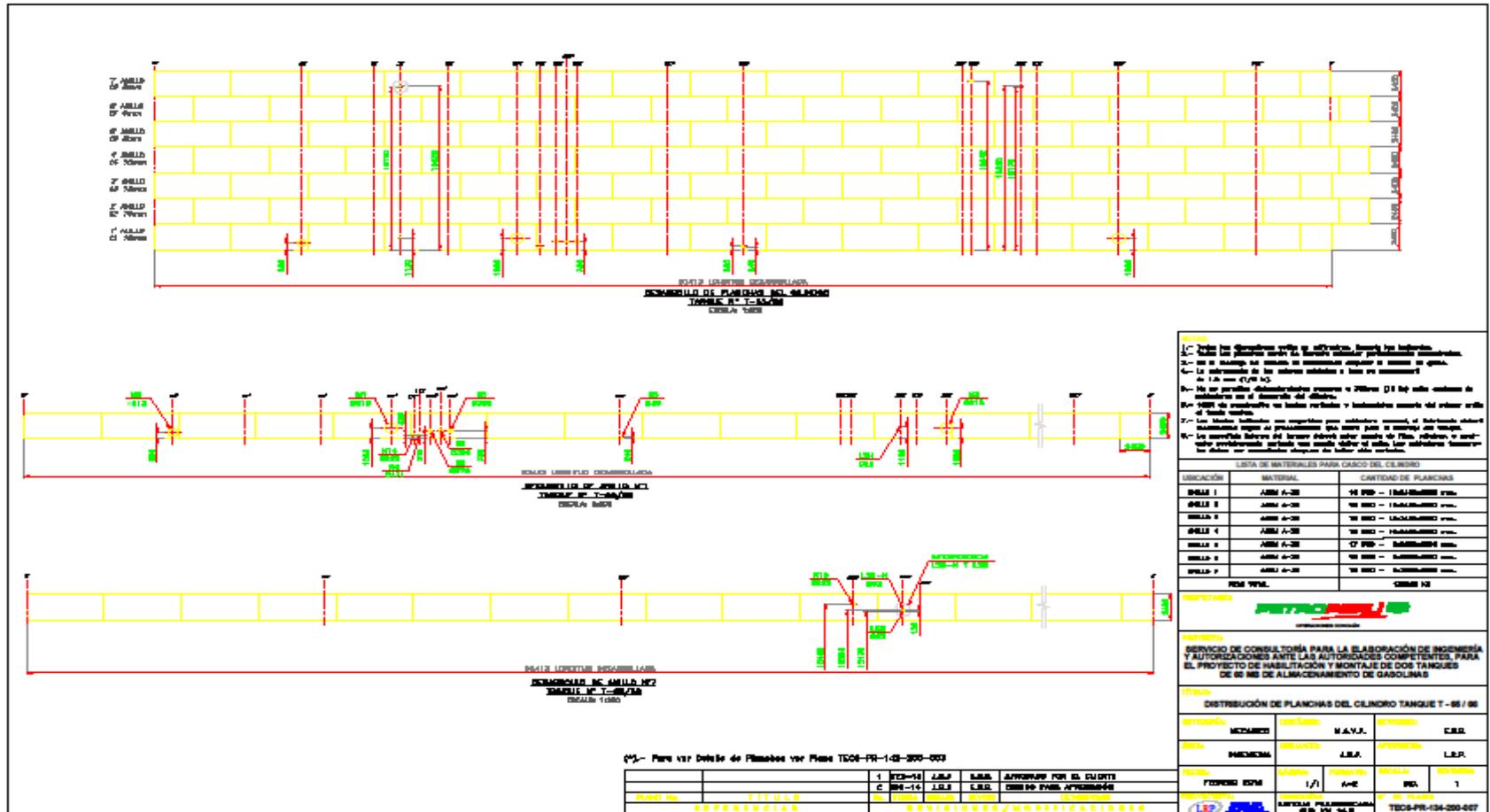


FIGURA N°03: DISTRIBUCIÓN DE PLANCHAS DEL CUERPO TANQUE T-65/66

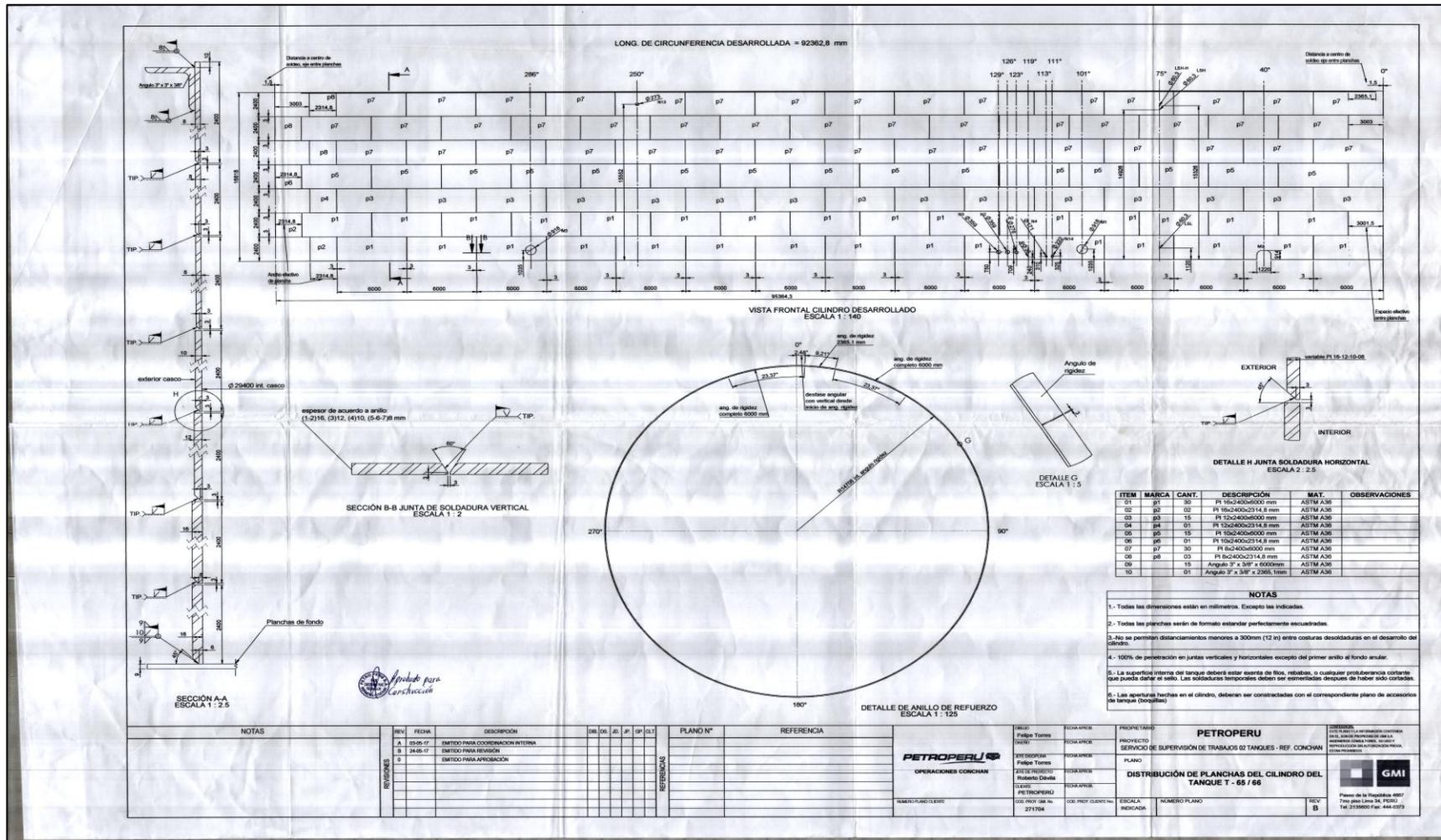


FIGURA N°04: PLANO DE DISTRIBUCIÓN DE PLANCHAS DEL CUERPO TANQUE T-65/66 Rev. B

3.2 DESCRIPCIÓN DE LA SELECCIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA

3.2.1 CÁLCULO DE LA LONGITUD Y VOLUMEN A SOLDAR

3.2.1.1 CALCULO DE LONGITUD Y VOLUMEN DE SOLDADURA PARA EL FONDO DEL TANQUE

Las dimensiones de las planchas de la cubierta inferior son de 6000 mm x 1800 mm x 8 mm, tal y como se aprecia en la Figura N°02 del plano TEC6-PR-134-200-005 Rev. 1, de distribución de planchas de fondo entregado por Petroperú S.A. para la ejecución del servicio, y las juntas a soldar son de forma vertical, horizontal y de forma perimetral. El plano detalla que en primer lugar se soldaran las juntas verticales, en segundo lugar las juntas horizontales y posteriormente el anillo anular del tanque, por lo que el cálculo de dichas longitudes se detalla de la siguiente manera:

- a) **Longitud Vertical:** Sumando la longitud vertical de las planchas a unir en el fondo del tanque y agrupándolas de forma estratégica, resulta la siguiente sumatoria:

Sesenta (60) juntas de 1,760 mm de largo (resultado de la diferencia entre la longitud total de la plancha y el traslape de 40mm) + Cuatro (04) juntas de 555 mm de largo+ Dos (02) juntas de 1,749 mm de largo + Dos (02) juntas de 794 mm de largo.

Lo cual se soporta con la siguiente figura acotada de las dimensiones verticales de la plancha:

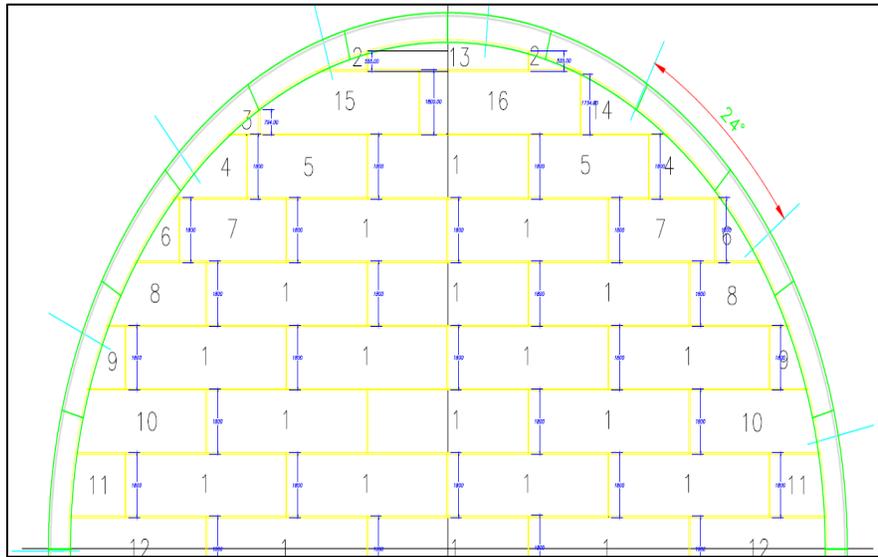


FIGURA N°05: JUSTIFICACIÓN DE CALCULO DE SOLDADURA VERTICAL DEL FONDO DEL TANQUE

Y cuya sumatoria resulta una soldadura vertical total de 112,906 mm.

Asimismo, realizando la consulta al cliente de la altura del cateto para la soldadura tipo filete vertical, nos indicaron que la altura sería 8mm, con lo cual el volumen del cordón de soldadura viene dado por la siguiente expresión:

$$\text{Volumen del cordón de soldadura vertical del fondo} = \text{Área del filete} \times \text{longitud total del cordón} = [(8 \times 8) / 2] \times 112,906 = 3'612,992 \text{ mm}^3.$$

b) **Longitud Horizontal:** Su longitud viene dada por la siguiente sumatoria:

Dos (02) juntas de 9,814 mm de largo + Dos (02) juntas de 16,527 mm de largo + Dos (02) juntas de 21,586 mm de largo + Dos (02)

juntas de 24,000 mm de largo + Dos (02) juntas de 25,434 mm de largo + Dos (02) juntas de 26,942 mm de largo + Dos (02) juntas de 27,622 mm de largo + Dos (02) juntas de 28,290 mm de largo. Lo cual se soporta con la siguiente figura acotada de las dimensiones horizontales de la plancha:

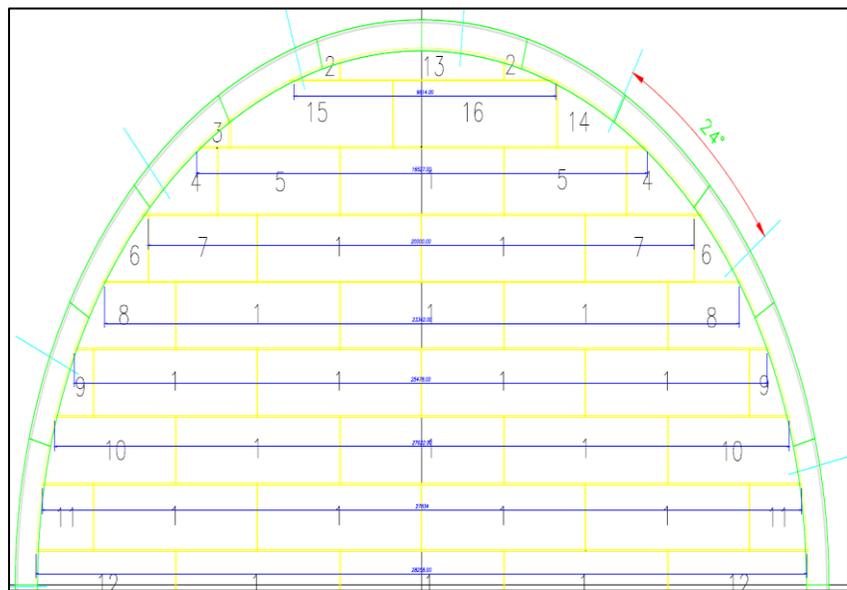


FIGURA N°06: JUSTIFICACIÓN DE CALCULO DE SOLDADURA HORIZONTAL DEL FONDO DEL TANQUE

Cuyo resultado es una longitud total de 360,430 mm.

Asimismo, considerando que la soldadura es de tipo filete de 8 mm y 5 mm de espesor por el traslape de 40mm entre planchas, el volumen del cordón de soldadura viene dado por la siguiente expresión:

Volumen del cordón de soldadura vertical del fondo = [área del 1er filete + área del 2do filete] x longitud total del cordón = $(((8 \times 8) / 2) + ((5 \times 5) / 2)) \times 360,430 = 16'039,135 \text{ mm}^3$.

- c) **Longitud de Soldadura del Anillo Anular:** El anillo anular del tanque, también conocido como anillo perimetral del fondo, es una plancha que se coloca traslapada 3" alrededor del perímetro de las planchas del fondo.

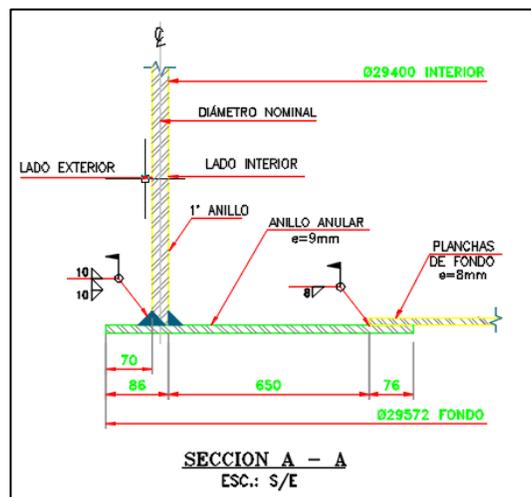


FIGURA N°07: DETALLE DE PLANCHA DE ANILLO ANULAR

La longitud soldada con las láminas del fondo está dada por el perímetro de la circunferencia, cuyo diámetro es 28,836 mm (29,572 mm menos 736 mm) multiplicarlo por pi (π), tal y como se aprecia en la siguiente expresión:

Perímetro de Circunferencia = $2 * \pi * \text{Radio de la Circunferencia}$

En nuestro Caso:

Perímetro de Circunferencia = $2 * \pi * (28,836/2)$ mm

Perímetro de Circunferencia = 90,590.97 mm

Ahora, el anillo anular tiene 24 juntas de 812 mm, en su conformación, que suman un total de 19,488 mm, por lo que la longitud total de soldadura está dada por:

Longitud Total de soldadura en Anillo Anular = $90,590.97 + 19,488$
= 110,078.97 mm.

Asimismo, considerando que la soldadura es de tipo filete con un cateto de 8mm por lado, el volumen del cordón de soldadura viene dado por la siguiente expresión:

Volumen del cordón de soldadura del anillo anular = Área del triángulo rectángulo del filete x longitud a soldar = $[(8 \times 8) / 2] \times 90,590.97 = 2'898,911.04 \text{ mm}^3$.

Y considerando que existen 24 juntas de 812 mm de longitud de estas planchas del anillo anular, cuya área está definida por:

Área de junta de anillo Anular = $(1.59 \times 9) + (7.41 * \tan 75^\circ * 7.41) / 2$
 $+ (7.41 * \tan 60^\circ * 7.41) / 2 = 164.32 \text{ mm}^2$.

Volumen de juntas de anillo Anular = $164.32 \times 812 \times 24 = 3'202,268.16 \text{ mm}^3$.

Siendo el Volumen total de las soldaduras en el anillo anular el siguiente:

$$\text{Volumen total de Anillo Anular} = 2'898,911.04 \text{ mm}^3 + 3'202,268.16 \text{ mm}^3 = 6'101,179.20 \text{ mm}^3.$$

- d) **Longitud de Soldadura de Plancha de Refuerzo:** La plancha de respaldo, también conocida como BACKING, se soldara debajo de cada junta que se haga en las planchas del anillo anular de la base del tanque, tal y como lo indica la siguiente figura, extraída del plano APC entregado por Petroperú:

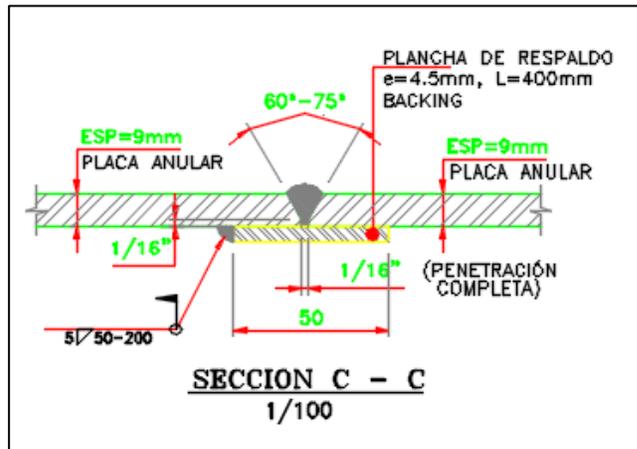


FIGURA N° 08: DETALLE DE PLANCHA DE RESPALDO

La longitud de la plancha de respaldo es de 400 mm de largo y la soldadura que se realizara tendrá una longitud de 50 mm distanciada desde el centro de la misma, 200 mm hasta el próximo centro de cordón de soldadura que se realizara en la plancha, resultando como máximo, 100 mm de soldadura a lo largo de la plancha de respaldo

Según plano TEC6-PR-134-200-005 Rev. 1, existen 24 juntas en las planchas del anillo anular, resultando la longitud de soldadura, producto de la siguiente ecuación:

$$\text{Longitud a soldar} = 24 \times 100 \text{ mm} = 2,400 \text{ mm.}$$

Asimismo, considerando que la soldadura es de tipo filete con un cateto de 5 mm por lado, el volumen del cordón de soldadura del anillo anular viene dado por la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} \text{Volumen del cordón de soldadura la plancha de respaldo} &= \text{Área del} \\ \text{triángulo rectángulo formado por el filete} \times \text{longitud de soldadura} &= \\ [(5 \times 5) / 2] \times 2,400 &= 30,000 \text{ mm}^3. \end{aligned}$$

En conclusión la longitud total a soldar en el fondo del cuerpo, es el resultado de sumar la longitud de la soldadura horizontal, vertical, del anillo anular y la longitud de la plancha de respaldo del anillo anular, el cual se detalla a continuación:

$$\text{Longitud Total} = 112,906 \text{ mm} + 360,430 \text{ mm} + 110,078.97 \text{ mm} + 2,400 \text{ mm.}$$

$$\text{Longitud Total de soldadura en el fondo del Tanque} = 585,814.97 \text{ mm}$$

Y el volumen total del cordón de soldadura del fondo viene dado por la sumatoria de los volúmenes de la soldadura horizontal, vertical, del anillo anular y la de la plancha de respaldo del anillo anular:

$$\begin{aligned} \text{Volumen Total} &= 3'612,992 \text{ mm}^3 + 16'039,135 \text{ mm}^3 + 6'101,179.20 \\ &\text{mm}^3 + 30,000 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Volumen Total de la soldadura en el fondo del Tanque =
25'783,206.20 m³.

3.2.1.2 CALCULO DE LONGITUD DE SOLDADURA PARA EL CUERPO DEL TANQUE

Las dimensiones de las planchas del cuerpo del tanque, según Figura N°03 del plano TEC6-PR-134-200-007 Rev. 1, de distribución de planchas del cuerpo, entregado por Petroperú S.A., para la ejecución del servicio, son las siguientes:

- 16x2400x6000 mm, para el primer y segundo anillo.
- 12x2400x6000 mm, para el tercer anillo.
- 10x2400x6000 mm, para el cuarto anillo.
- 8x2400x6000 mm, para el quinto, sexto y séptimo anillo.

Y su distribución para la erección del tanque se muestra en la siguiente figura:

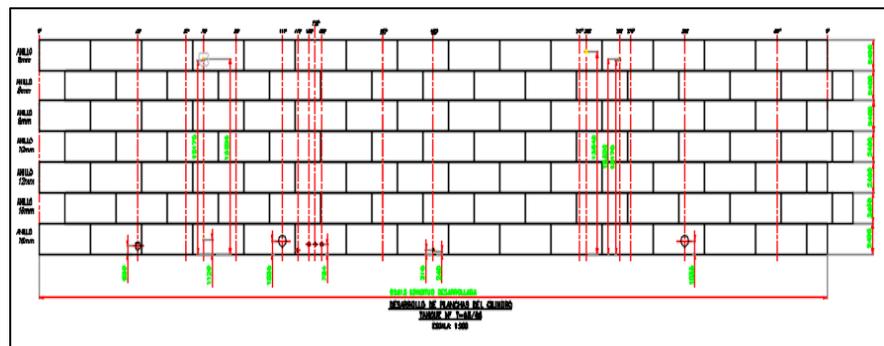


FIGURA N° 09: DISTRIBUCION DE PLANCHAS DEL CUERPO

En tal sentido existen soldaduras verticales y horizontales en la erección del tanque.

- a) **Soldadura Vertical:** Considerando que la altura de todas las planchas es 2,400 mm, y que por anillo existen 15 juntas, el resultado de soldadura vertical por anillo es 36,000 mm, este resultado al multiplicarlo por el número total de anillos del tanques que son 7, resulta un total de 252,000 mm de soldadura vertical para el cuerpo.

Asimismo el volumen total de la soldadura vertical, viene dado, por las siguientes expresiones, considerando que los espesores de los anillos son diferentes y que el tamaño máximo de la raíz es de 3 mm, según plano de planchas de distribución de fondo entregado por GMI Ingenieros Consultores S.A. en Rev. B (Ver Anexos):

$$\text{1er anillo} = [(3 \times 8) + 2((5 \times \tan 30^\circ \times 5)/2)] \times 2400 = 92,241.01 \text{ mm}^3$$

$$\text{2do anillo} = [(3 \times 8) + 2((5 \times \tan 30^\circ \times 5)/2)] \times 2400 = 92,241.01 \text{ mm}^3$$

$$\text{3er anillo} = [(3 \times 8) + 2((5 \times \tan 30^\circ \times 5)/2)] \times 2400 = 92,241.01 \text{ mm}^3$$

$$\text{4to anillo} = [(3 \times 10) + 2((7 \times \tan 30^\circ \times 7)/2)] \times 2400 = 139,896.39 \text{ mm}^3$$

$$5\text{to anillo} = [(3 \times 12) + 2((9 \times \tan 30^\circ \times 9)/2)] \times 2400 = 198,636.89 \text{ mm}^3$$

$$6\text{to anillo} = [(3 \times 16) + 2((13 \times \tan 30^\circ \times 13)/2)] \times 2400 = 349,373.26 \text{ mm}^3$$

$$7\text{mo anillo} = [(3 \times 16) + 2((13 \times \tan 30^\circ \times 13)/2)] \times 2400 = 349,373.26 \text{ mm}^3$$

Lo cual, al multiplicarlo por el número de juntas que son 15, resulta un volumen total de 19'710,042.45 mm³ en la soldadura en los cordones verticales.

- b) **Soldadura Horizontal:** La longitud desplegada del cada anillo del tanque es 92,413 mm, según detalla plano APC TEC6-PR-134-200-007 Rev. 1, entregado por Petroperú, tal y como se muestra en la siguiente figura:

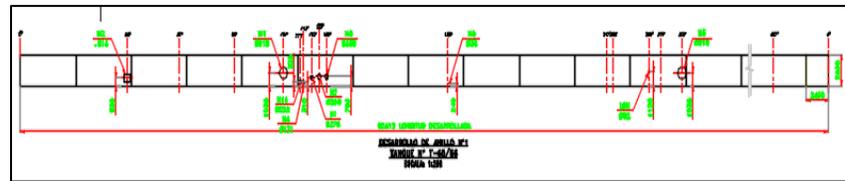


FIGURA N° 10: LONGITUD TOTAL DE PLANCHA DE ANILLO DEL TANQUE

En tal sentido, como los cordones de soldadura a realizar en el cuerpo del tanque en total son 7, la longitud horizontal total a soldar

en el tanque será 7 veces la longitud desplegada del tanque, lo cual resulta 646,891 mm.

Asimismo el volumen total de soldadura horizontal, viene dado, por las siguientes expresiones, considerando que los espesores de los anillos son diferentes y que el tamaño máximo de la raíz es de 3 mm:

$$\text{Entre el 1er anillo y 2do anillo} = [(3 \times 8) + (5 \times \tan 30^\circ \times 5)/2] \times 92,413 = 2'884,845.38 \text{ mm}^3$$

$$\text{Entre el 2do anillo y 3er anillo} = [(3 \times 8) + (5 \times \tan 30^\circ \times 5)/2] \times 92,413 = 2'884,845.38 \text{ mm}^3$$

$$\text{Entre el 3er anillo y 4to anillo} = [(3 \times 10) + (7 \times \tan 30^\circ \times 7)/2] \times 92,413 = 4'079,579.42 \text{ mm}^3$$

$$\text{Entre el 5to anillo y 6to anillo} = [(3 \times 12) + (9 \times \tan 30^\circ \times 9)/2] \times 92,413 = 5'487,732.15 \text{ mm}^3$$

$$\text{Entre el 6to anillo y 7mo anillo} = [(3 \times 16) + (10 \times \tan 30^\circ \times 10)/2] \times 92,413 = 7'103,557.52 \text{ mm}^3$$

$$\text{Entre el 7mo anillo y el fondo} = [(10 \times 10)/2 + (9 \times 10)/2 + (10 \times 10)/2] \times 92,413 = 13'399,885 \text{ mm}^3$$

$$\text{El Volumen total de soldadura horizontal} = 35'840,444.85 \text{ mm}^3.$$

En conclusión, la longitud de soldadura a realizar en el cuerpo del tanque será el resultado de la siguiente suma:

$$\text{Longitud total de soldadura en el tanque} = \text{Longitud de Soldadura Vertical} + \text{Longitud de Soldadura Horizontal}.$$

Longitud total de soldadura en el tanque = 252,00 mm + 646,891 mm

Longitud total de soldadura en el tanque = 898,891 mm

Mientras que el volumen total de soldadura del tanque, será:

Volumen de soldadura total del tanque = $19'710,042.45 \text{ mm}^3 + 35'840,444.85 \text{ mm}^3 = 55'550,487.30 \text{ mm}^3$.

3.2.1.3 LONGITUD Y VOLUMEN TOTAL DE SOLDADURA DEL FONDO Y CUERPO EN LOS TANQUES

3.2.1.3.1 LONGITUD TOTAL DE SOLDADURA EN EL TANQUE

Longitud Total = Longitud Total del Fondo + Longitud Total del Cuerpo

Longitud Total = 585,814.97 mm + 898,891 mm

Longitud Total = 1'484,705.97 mm

3.2.1.3.2 VOLUMEN TOTAL DE SOLDADURA EN EL TANQUE

Volumen Total = Volumen Total del Fondo + Volumen Total del Cuerpo

Volumen Total = $25'783,206.20 \text{ mm}^3 + 55'550,487.30 \text{ mm}^3$

Volumen Total = 81'333,693.50 mm³

3.2.2 NORMA API 650

Es la norma que rige la fabricación de tanques para almacenamiento de hidrocarburos, y en numeral 7.2, referido al detalle de la soldadura, del citado libro, a letra manifiesta:

7.2 Details of Welding

7.2.1 General

- 7.2.1.1 Tanks and their structural attachments shall be welded by the shielded metal-arc, gas metal-arc, gas tungsten-arc, oxyfuel, flux-cored arc, submerged-arc, electroslog, or electrogas process using suitable equipment. Use of the oxyfuel, electroslog, or electrogas process shall be by agreement between the Manufacturer and the Purchaser. Use of the oxyfuel process is not permitted when impact testing of the material is required. All tank welding shall be performed by manual, semiautomatic arc, machine, or automatic welding in accordance with the requirements of Section 9 of this standard and welding procedure specifications as described in Section IX of the ASME Code. Welding shall be performed in a manner that ensures complete fusion with the base metal.

En el cual detalla que los procesos de soldadura para los tanques y sus accesorios estructurales deberán ser soldados por arco metálico protegido, gas metal-arco, gas arco de tungsteno, Oxicorte, arco con núcleo de flujo, arco sumergido, electoslag o proceso de electrogas utilizando equipo adecuado.

3.2.3 COMPARATIVO DE PROCESOS DE SOLDADURA

A continuación se mostrara una tabla resumen de elaboración propia de los distintos procesos de soldadura más usados y de fácil adquisición en el mercado local, cumpliendo con lo indicado en el API 650 para la fabricación de tanques, mostrando sus ventajas y limitaciones:

Procesos de Soldadura	Ventajas	Limitaciones
Arco con Electrodo Revestido (SMAW)	El equipo de soldeo es relativamente sencillo, no muy caro y portátil.	Es un proceso lento, por la baja tasa de deposición y por la necesidad de retirar la escoria, por lo que en

		determinadas aplicaciones ha sido desplazado por otros procesos.
	El metal de aportación y los medios para su protección durante el soldeo proceden del propio electrodo revestido. No es necesaria protección adicional mediante gases auxiliares o fundentes granulares.	Requiere de habilidad por parte del soldador.
	Es menos sensible el viento y a las corrientes de aire que los procesos por arco con protección gaseosa. No obstante el proceso debe emplearse siempre protegido del viento, lluvia y nieve,	No es aplicable a metales de bajo punto de fusión como plomo, estaño, zinc y sus aleaciones, debido a que el intenso calor del arco es excesivo para ellos. Tampoco es aplicable a metales de alta sensibilidad a la oxidación como titanio, circonio, tántalo y niobio, ya que la protección que

		<p>proporciona es insuficiente para evitar la contaminación por oxígeno de la soldadura</p>
	<p>Se puede emplear en cualquier posición, en locales abiertos y en locales cerrados, incluso con restricciones de espacio. No requiere conducciones de agua de refrigeración, ni tuberías o botellas de gases de protección, por lo que puede emplearse en lugares relativamente alejados de la fuente de energía.</p>	<p>No es aplicable a espesores inferiores a 1.5 - 2 mm</p>
	<p>Es aplicable para una gran variedad de espesores, en general mayores de 2 mm.</p>	<p>La tasa de deposición es inferior a la obtenida por los procesos que utilizan electrodo continuo, como FCAW o GMAW. Esto se debe a que el electrodo solo</p>

		<p>puede consumirse hasta una longitud mínima (unos 5cm) cuando se llega a dicha longitud el soldador tiene que retirar la colilla del electrodo no consumida e insertar un nuevo electrodo</p>
	<p>Es aplicable a la mayoría de los metales y aleaciones de uso normal.</p>	<p>Aunque en teoría se puede soldar cualquier espesor por encima de 1.5mm, el proceso no resulta productivo para espesores mayores de 38 mm. Para estos espesores resultan más adecuados los procesos SAW y FCAW.</p>
<p>TIG(Tungsten Inert Gas)</p>	<p>Proceso adecuado para unir la mayoría de los metales</p>	<p>La tasa de deposición es menor que la que se puede conseguir con otros procesos de soldeo por arco (en el soldeo automático esta desventaja se puede</p>

		solucionar con la técnica de alambre caliente)
	Arco estable y concentrado	Su aplicación manual exige, en general, gran habilidad por parte del soldador.
	Aunque se trata de un proceso esencialmente manual, se ha automatizado para algunas fabricaciones en serie, como tubería de pequeño espesor soldada longitudinal o helicoidalmente y para la fijación de tubos a placas en intercambiadores de calor.	No resulta económico para espesores mayores de 10mm
	No se producen proyecciones (al no existir transporte de metal en el arco).	En presencia de corrientes de aire puede resultar difícil conseguir una protección adecuada de la zona de soldadura.
	No se produce escoria	
	Produce soldaduras lisas y regulares	

	Se puede utilizar con o sin metal de aporte, en función de la aplicación
	Puede emplearse en todo tipo de uniones y posiciones
	Alta velocidad de soldeo en espesores por debajo de 3 - 4mm
	Se pueden conseguir soldaduras de gran calidad
	Permite un control excelente de la penetración en la pasada de raíz
	No requiere el empleo de fundente de energía excesivamente caras
	Permite el control independiente de la fuente de energía y del metal de aportación

MIG / MAG	Puede utilizarse para el soldeo de cualquier tipo de material	El equipo de soldeo es más costoso, complejo y menos transportable que el de SMAW
	El electrodo es continuo, con lo que se aumenta la productividad por no tener que cambiar de electrodo y la tasa de deposición es elevada. Se pueden conseguir velocidades de soldeo mucho más elevadas que con SMAW.	Es difícil de utilizar en espacios restringidos, requiere conducciones de gas y de agua de refrigeración, tuberías, botellas de gas de protección, por lo que no puede emplearse en lugares relativamente alejados de la fuente de energía.
	Se puede realizar el soldeo en cualquier posición	Es sensible al viento y a las corrientes de aire, por lo que su aplicación al aire libre es limitada.
	Se pueden realizar soldaduras largas sin que existan empalmes entre cordones, zona de peligro de imperfecciones.	

	No se requiere eliminar la escoria, puesto que no existe.	
Alambre Tubular (FACW)	La elección del tipo de proceso (autoprotegido o protegido con gas) depende de las propiedades mecánicas deseadas, del tipo de alambre disponible y del tipo de unión; generalmente se utiliza el autoprotegido en las mismas aplicaciones en las que se elegiría el soldeo con electrodo revestido, mientras que el proceso protegido por gas se utilizaría en aquellas aplicaciones en las que se selecciona el proceso MIG/MAG.	Gran cantidad de humo
	No requiere tanta protección contra los vientos	Gran tiempo en retirar la escoria

	Generan por si mismos gas protector	
	Mayor productividad	
Arco Sumergido (SAW)	Es más utilizado en líneas de Producción	Es necesario un dispositivo para el almacenamiento, alimentación y recogida del fundente.
	Es muy utilizado en la fabricación y depósitos a presión, construcción naval, fabricación de tubería, en soldadura largas.	Suele ser necesario el empleo de respaldo
		El fundente está sujeto a contaminación que pueden producir defectos en la soldadura.
		En general es un proceso no adecuado para unir metales de pequeño espesor.
		Solo se puede utilizar a tope en posición plana

TABLA N° 1: CUADRO COMPARATIVO DE VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE PROCESOS DE SOLDADURA.

3.2.4 CONDICIONES PARA LOS TRABAJOS DE SOLDADURA EN LA REFINERÍA CONCHÁN

Para los trabajos de soldadura en la Refinería Conchán se dan las siguientes condiciones:

- a) Soldadura al aire Libre
- b) Clima húmedo y con vientos.
- c) Trabajos a 34 metros de altura.
- d) Los trabajos de soldadura son pausados, ya que pasan por etapas de aceptación y liberación por parte de la supervisión y el cliente.
- e) En la mayoría de trabajos de erección del tanque necesitaremos andamios para soldar los anillos de la parte más alta.
- f) Las longitudes del fondo son lineales.
- g) Las longitudes del cuerpo son circunferenciales.
- h) Los cordones son de tipo filete y tope.
- i) El espacio entre tanque y tanque, considerando que están dentro del mismo cubeto, es bastante reducido.
- j) Se requiere la mayor celeridad para los trabajos de soldadura ya que el avance está sujeto a un cronograma específico.

En tal sentido, teniendo en cuenta estas consideraciones, la gran cantidad de soldadura que implica el montaje de los dos tanques y conseguir la mayor eficiencia posible en el proceso; la opción más adecuada es el proceso de soldadura por alambre tubular (FCAW).

3.2.5 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL METAL BASE Y METAL DE APORTE

La hoja de datos LRP-1403-D-M-HD-005, de las planchas estructurales para el tanque, entregada por el cliente Petroperú S.A., indica las siguientes características para las planchas del tanque.

		PROYECTO: SERVICIO DE CONSULTORIA PARA LA ELABORACIÓN DE INGENIERÍA Y AUTORIZACIONES ANTE LAS AUTORIDADES COMPETENTES, PARA EL PROYECTO DE HABILITACIÓN Y MONTAJE DE DOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE BARRILES DE FUNDAMENTOS DE BARRILES.		REVISIÓN: 1				
REPÚBLICA CONDOMINIO UNIDAD PROYECTOS		DESCRIPCIÓN: PLANCHAS ESTRUCTURALES PARA EL TANQUE		Fecha: Febrero de 2015				
GENERAL:								
1 Fabricante		-						
2 Modelo		-						
3 Norma		ASTM						
4 Descripción		Planchas Estructurales						
DATOS:								
5 Tipo		Laminated Inertly						
6 Aplicación		Tanque almacenamiento y estructuras en general						
7 Material		ASTM A 36						
PROPIEDADES MECÁNICAS:								
8 Tensión de rotura (Fu)		58 000 Psi						
9 Límite de fluencia (Fy)		36 000 Psi						
10 Elongación (2 Pulg)		23%						
COMPOSICIÓN QUÍMICA (%):								
11 C (max.)		0.26						
12 Mn		0.8 - 1.2 máx.						
13 Si (max.)		0.4						
14 P (max.)		0.035						
15 S (max.)		0.04						
DIMENSIONES Y PESOS UNITARIOS:								
SISTEMA INGLÉS (pulg/in)			SISTEMA METRICO (mm)			PESOS TEÓRICOS (Kg)		
Espesor	Ancho	Largo	Espesor	Ancho	Largo	Psa	m ²	R2
5/16"	8	20	8	1500	8000	452.18	50.24	4.822
5/16"	8	20	8	1500	8000	355.2	82.8	3.852
3/8"	8	20	8	2400	8000	1 817.36	70.88	8.358
1/2"	8	20	12	2400	8000	1 438.55	88.155	8.978
1/2"	10	20	12	3000	8000	1 255.80	94.2	8.478
1/2"	10	40	12	3000	12000	3 391.20		
5/8"	8	20	16	2400	8000	1 408.84		
5/8"	10	40	12	3000	12000	4 521.50	125.8	11.304
3/4"	8	20	19	2400	8000	2 318.87		
3/4"	8	40	19	2400	12000	5 205.50	140.15	13.852
3/4"	10	40	19	3000	12000	4 265.55		
7/8"	8	20	19	2400	8000	4 525.33		
7/8"	8	40	19	2400	12000	4 975.78	172.7	15.802
1"	8	20	25	2400	8000	2 978.00		
1"	8	40	25	2400	12000	5 652.00	186.25	17.883

FIGURA N°11: HOJA DE DATOS ENTREGADA POR EL CLIENTE DEL ACERO A-36

Por lo cual el metal de aporte tiene que ser similar o superior al metal base, para evitar el exceso de carbono, manganeso, silicio, azufre y potasio en la fusión, que tornan de frágil y aumenta la probabilidad de oxidación del cordón de soldadura.

Partiendo de esa premisa, en la siguiente figura, observaremos la ficha técnica del alambre tubular EXATUB 71 de la empresa SOLDEXA, el cual cumple con la composición química más similar al metal base, para los cordones de soldadura a usar en el montaje de los tanques.

FCAW
Acero al Carbono y Baja Aleación



EXATUB 71
(Alambre EXATUB 71)

El producto EXATUB 71 es un alambre tubular para toda posición, diseñado para brindar óptimas propiedades mecánicas al trabajar con CO₂ o mezcla de Argón/CO₂ como gas protector. Produce 20% menos de humos, 50% menos de salpicaduras que alambres tubulares equivalentes. En comparación con alambres tubulares autoprottegidos, brinda buenas propiedades frente al impacto a baja temperatura y la apariencia del cordón es insuperable. La transferencia del metal de aporte es suave y la remoción de escoria es fácil, lo cual facilita el depósito de cordones en posición vertical ascendente. El contorno de la soldadura en filete es plano a ligeramente convexo con buena humectación en los bordes de la junta. Este alambre tolera cascarrillas y óxidos ligeros sobre el material base.

Clasificación										
AWS A5.20 / ASME SFA-5.20 E71T-1C / 1M/-9C/-9M H8										

Análisis Químico de Metal Depositado (valores típicos) [%]

C	Mn	Si	P	S	Mn	Ni	Cr	Cu	Gas de Protección
0,09	1,29	0,30	0,011	0,005	-	-	-	-	100% CO ₂
0,02	1,52	0,40	0,008	0,004	-	-	-	-	75% Ar/25% CO ₂

Propiedades Mecánicas del Metal Depositado (valores típicos)

Tratamiento Térmico [Gas Protección]	Resistencia a la Tracción [MPa (psi)]	Límite de Fluencia [MPa (psi)]	Elongación en 2" [%]	Energía Absorbida 150-V [°C (°F)] [J (ft-Lbf)]
Sin tratamiento térmico [100%CO ₂]	593 (86 000)	558 (81 000)	29	[-30°C (0°F)] 126 (93)
Sin tratamiento térmico [75% Ar/25% CO ₂]	642 (93 000)	600 (87 000)	26	[-30°C (0°F)] 102 (75)

Gas de Protección: 100% CO₂; 80% Ar/20% CO₂; 75% Ar/25% CO₂

Conservación del Producto

- Mantener seco y evitar humedad.

Posiciones de Soldadura
P, H, Va, Sc.



Parámetros de Soldado Recomendados

Díámetro [mm]	1,20	1,60
Polaridad	Corriente continua electrodo al positivo (DCEP)	
Amperaje [A]	170 - 300	215 - 400
Voltaje [V]	23 - 39	24 - 30
Stick out [mm]	15 - 25	
Flujo de Gas [l/min]	15 - 25	

Aplicaciones

- El alambre EXATUB 71 está diseñado para soldaduras en toda posición, en un solo pase y/o multipase sobre aceros de bajo y de mediano carbono y aceros de baja aleación.
- Es muy empleado en la fabricación y reparación de equipos de minería, tolvas, chutes, molinos, tanques, carretas, lampones, cucharas de palas y de cargadores frontales, etc.

www.solDEXA.com.pe - mail@solDEXA.com.pe - Tel: 511 6196600 - Fax: 511 629919
HT-064
Edición: 08.

1 de 1

FIGURA N°12: ALAMBRE TUBULAR EXATUB 71

3.2.6 CANTIDAD DE RECURSOS PARA TRABAJOS METALMECÁNICOS DE SOLDADURA

3.2.6.1 SUMINISTROS

3.2.6.1.1 SOLDADURA

Aprovechando que contamos con el diámetro del alambre tubular para la soldadura, se realizara la el cálculo de la equivalencia del volumen de la soldadura en kilogramos, para estimar la cantidad de rollos de alambre tubular que se emplearan en el servicio, a través de la siguiente fórmula:

$$M = V * D$$

Donde:

M = Masa de la soldadura depositada

V = Volumen de soldadura depositada

D = Densidad del Acero (7800 kg/m³)

Reemplazando nuestros datos en la ecuación, nos queda de la siguiente manera:

$$M = (81'333,693.50 \times 10^{-9} \text{ m}^3) \times (7800 \text{ kg / m}^3)$$

$$M = 634.40 \text{ kg}$$

Como resultado, el volumen hallado equivale a 634.40 kilogramos de alambre tubular, sin embargo, esta cantidad se multiplicara por un factor de seguridad de 1.2, para evitar riesgos técnicos y económicos de falta de suministros en el proyecto.

En ese sentido, la cantidad en kilogramos de soldadura será la siguiente:

$$M = 634.40 \text{ kg} \times 1.2 = 761.28 \text{ kg} = 762 \text{ kg}.$$

Esta cantidad en kilogramos, representa 39 rollos de 20 kilogramos de soldadura de alambre tubular, con lo cual damos por culminado la sección 3.2 del presente trabajo, contando con el proceso de soldadura ya definido, el material de aporte según las especificaciones del cliente y la cantidad que soldadura que necesaria para mi proyecto.

3.3 REVISIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

3.3.1 SELECCIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA

El proceso de soldadura FACW, como bien lo detalla el numeral 7.2.1.1 de la norma API 650 en su última edición, es uno de los procesos que está permitido para la fabricación de tanques para almacenamiento de hidrocarburos y sus derivados, y de acuerdo a las necesidades y condiciones evaluadas para nuestro proyecto, es el que más se ajusta y cumple con los requisitos para el montaje del fondo y cuerpo de los tanques de 60 mil barriles en la Refinería Conchán.

3.3.2 ANALISIS ECONOMICO DEL PROCESO DE SOLDADURA ELEGIDO

A continuación se mostrara un análisis comparativo entre el costo de los trabajos de soldadura en el presupuesto base del proyecto y el costo de la soldadura después de establecer con mayor claridad los criterios necesarios para la soldadura en el proyecto.

Asimismo, en figura N°13, se observa que las partidas 19.01.01.03, 19.01.02.05, 20.01.01.03 y 20.01.02.05, corresponden a las partidas de soldadura del fondo y cuerpo de los tanques del proyecto, cuyos montos hacen un global de USD 241,348.60.

PARTIDA	DESCRIPCION	UNIDAD	METRADO	PRECIO UNITARIO (US\$)	PRECIO PARCIAL	TOTAL (US\$)
19	TANQUE 65 - GASOLINA 84					772,976.39
19.01	FABRICACIÓN DEL CILINDRO					
19.01.01	FABRICACIÓN Y MONTAJE PLANCHAS DE FONDO					
19.01.01.01	MOVIMIENTO HORIZONTAL DE PLANCHAS METÁLICAS	kg	51780	0.20	10,356.00	
19.01.01.02	PRESENTACIÓN Y ARMADO DE PLANCHAS METÁLICAS DE FONDO	kg	51780	0.17	8,802.60	
19.01.01.03	SOLDADURA DE PLANCHAS DEL FONDO	kg	51780	0.46	23,818.80	
19.01.02	FABRICACIÓN Y MONTAJE PLANCHAS DEL CILINDRO					
19.01.02.01	ANDAMIOS PARA CONSUTRUCCION Y PINTURA	m2	425	30.00	12,750.00	
19.01.02.02	MOVIMIENTO HORIZONTAL DE PLANCHAS METÁLICAS	kg	138365	0.20	27,673.00	
19.01.02.03	ROLADO DE PLANCHAS METÁLICAS	kg	138365	0.28	38,742.20	
19.01.02.04	PRESENTACIÓN Y ARMADO DE PLANCHAS METÁLICAS DEL CILINDRO	kg	138365	0.50	69,182.50	
19.01.02.05	SOLDADURA DE PLANCHAS DEL CILINDRO	kg	138365	0.70	96,855.50	

PARTIDA	DESCRIPCION	UNIDAD	METRADO	PRECIO UNITARIO (US\$)	PRECIO PARCIAL	TOTAL (US\$)
20	TANQUE 66 - GASOLINA 84					773,630.14
20.01	FABRICACIÓN DEL CILINDRO					
20.01.01	FABRICACIÓN Y MONTAJE PLANCHAS DE FONDO					
20.01.01.01	MOVIMIENTO HORIZONTAL DE PLANCHAS METÁLICAS	kg	51780	0.20	10,356.00	
20.01.01.02	PRESENTACIÓN Y ARMADO DE PLANCHAS METÁLICAS DE FONDO	kg	51780	0.17	8,802.60	
20.01.01.03	SOLDADURA DE PLANCHAS DEL FONDO	kg	51780	0.46	23,818.80	
20.01.02	FABRICACIÓN Y MONTAJE PLANCHAS DEL CILINDRO					
20.01.02.01	ANDAMIOS PARA CONSUTRUCCION Y PINTURA	m2	425	30.00	12,750.00	
20.01.02.02	MOVIMIENTO HORIZONTAL DE PLANCHAS METÁLICAS	kg	138365	0.20	27,673.00	
20.01.02.03	ROLADO DE PLANCHAS METÁLICAS	kg	138365	0.28	38,742.20	
20.01.02.04	PRESENTACIÓN Y ARMADO DE PLANCHAS METÁLICAS DEL CILINDRO	kg	138365	0.50	69,182.50	
20.01.02.05	SOLDADURA DE PLANCHAS DEL CILINDRO	kg	138365	0.70	96,855.50	

FIGURA N°13: PARTIDAS DE SOLDADURA DEL FONDO Y CUERPO DE LOS TANQUES

Ahora, en la siguiente tabla, apreciara el presupuesto mensual para los trabajos de soldadura en los dos tanques de gasolina, considerando dos cuadrillas de 5 soldadores y sus 5 ayudantes para cubrir el rendimiento esperado para los trabajos de soldadura:

ESTRUCTURA DE COSTOS				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO S/.	PRECIO PARCIAL S/.
Alambre Tubular FCAW EXATUB 71	kg	1560	15.00	23,400.00
CO2	kg	6400	6.00	38,400.00
Equipos de soldadura FCAW	Und.	10	1,500.00	15,000.00
Soldadores	Und.	10	3,500.00	35,000.00
Ayudantes	Und.	10	2,000.00	20,000.00
Alquiler Generador	Und.	2	850.00	1,700.00
KIT EPP / TRABAJADOR	Und.	20	100.00	2,000.00
			TOTAL S/. x mes	135,500.00

TABLA N°02: ESTRUCTURA DE COSTOS DE LOS EQUIPOS

SELECCIONADOS

Los trabajos para el montaje del fondo y la erección del tanque están programados para una duración de 5 meses, por lo cual el monto que involucraría ejecutar estas actividades, sería:

Trabajos de Soldadura en los tanques = (TOTAL S/. x mes – (Alambre Tubular + CO2)) x (5 mes) = S/. 504,000.00

De lo cual se puede concluir, que al seleccionar el proceso de soldadura por alambre tubular para acero A-36 con material de aporte EXATUB 71 para los dos tanques de almacenamiento de gasolin, garantiza el cumplimiento de los estándares que rigen su norma de fabricación y además es viable en los costos del proyecto, asegurando un 37% de ganancia, respecto al presupuesto base del proyecto.

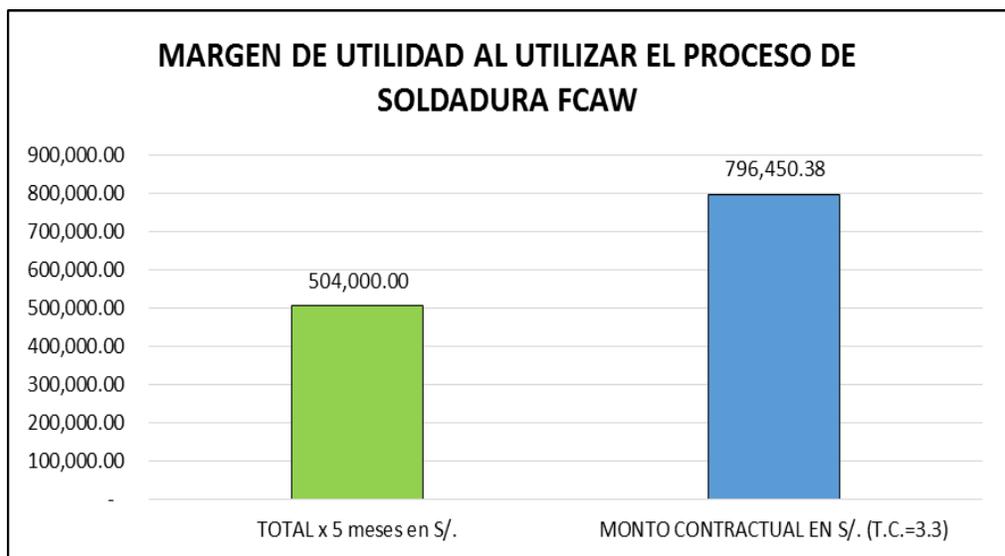


FIGURA N°14: COMPARACION DE COSTOS CON EL PROCESO DE SOLDADURA CON Y SIN EL PROCESO DE SOLDADURA FCAW

CONCLUSIONES

- Se concluye que la selección del proceso de soldadura por alambre tubular para el montaje de los tanques de gasolina, cumple con los requisitos que la norma API 650 establece para los trabajos metalmecánicos de soldadura.
- Se concluye que con la selección del proceso de soldadura se iniciara los trabajos metalmecánicos del proyecto, previamente haber elaborado y aprobado la especificación del procedimiento de soldadura (WPS) y el control del proceso de soldadura (PQR).
- Se concluye que con la selección del proceso de soldadura por alambre tubular, se asegurara la utilidad económica para las actividades de soldadura en el fondo y cuerpo de los tanques del proyecto.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda la pronta selección del proceso de soldadura a través de alambre tubular para el montaje del fondo y cuerpo de los tanques de 60 mil barriles de capacidad para almacenamiento de gasolina en la Refinería Conchán.
- Se recomienda que se elabore el WPS y PQR, para dar celeridad al inicio de los trabajos metalmecánicos del proyecto.
- Se recomienda concluir los trabajos a tiempo para no alterar el margen de utilidad de estos trabajos.

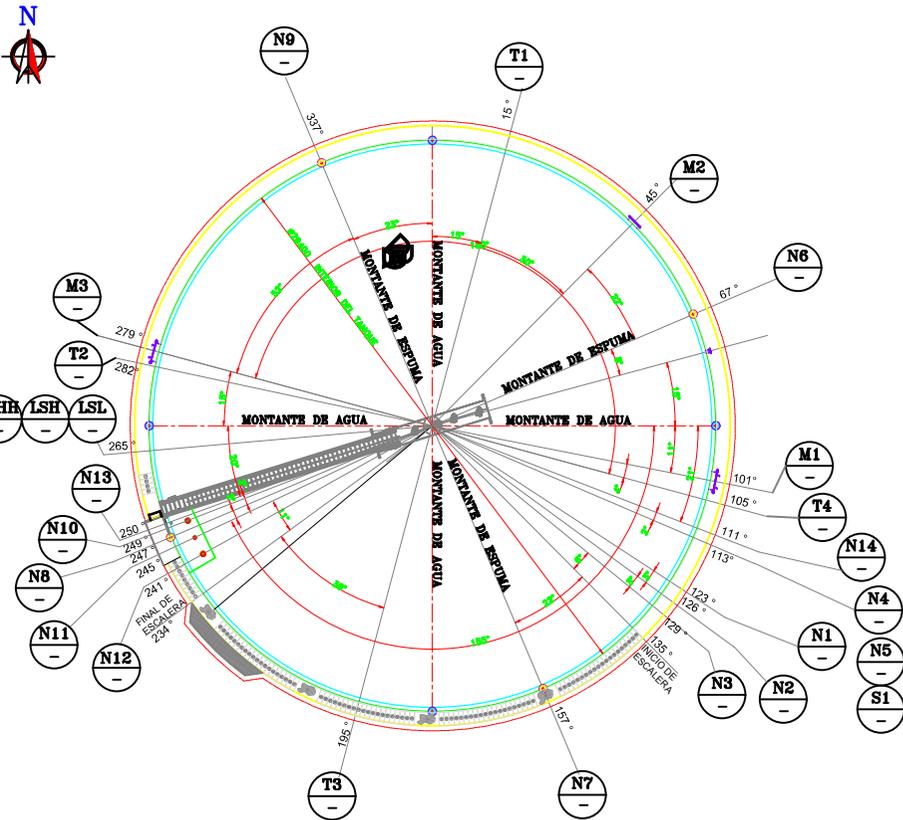
BIBLIOGRAFIA

- HERNANDEZ, G. (2009) Manual del soldador. Madrid, España: CESOL
- OERLIKON (2012) Manual de la soldadura. Lima, Perú: EXSA S.A.
- DE LA CADENA, P. (2012). Diseño de un Tanque de Almacenamiento de Petróleo tipo techo flotante de 100.000 barriles de capacidad para la empresa TESCA Ingeniería del Ecuador (Tesis de Pre Grado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador
- SISA, A. (2015). Elaboración del Procedimiento para la Reparacion de Tanques de Almacenamiento de Crudo, de Techo Cónico, de 20.000 barriles, según la Norma API 653, para la empresa SOLMAQUITRANS S.A. (Tesis de Pre Grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador
- ABAD, P. (1996). Estudio del proceso de fabricación de Tanques de doble pared para almacenamiento de combustible. (Tesis de Pre Grado). Escuela Superior Politécnica Litoral, Guayaquil, Ecuador

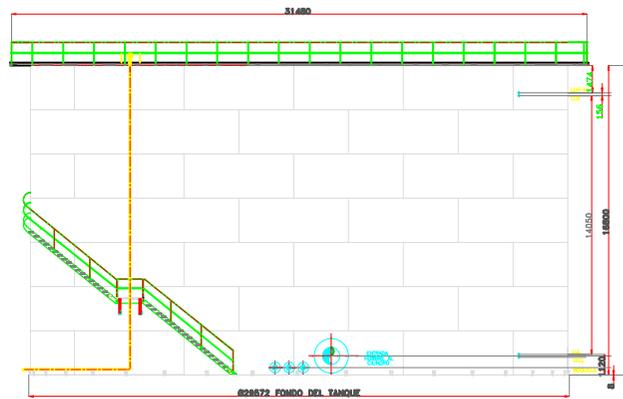
BIBLIOGRAFÍA ELECTRÓNICA

- **EMPRESA PETROPERU S.A.**
<https://www.petroperu.com.pe/>
- **REFINERIA CONCHAN DE PETROPERU S.A.**
<https://www.petroperu.com.pe/Main.asp?Seccion=74>
- **SISTEMA DE CONTRATACIONES CON EL ESTADO**
<http://www2.seace.gob.pe/Documentos/189912301857313rad1F1C3.pdf>
- **TIPOS DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS**
<http://www.ingenieriadepetroleo.com/tipo-tanques-de-petroleo/>
- **AMERICAN INSTITUTE PETROLEUM**
https://en.wikipedia.org/wiki/American_Petroleum_Institute
- **AMERICAN INSTITUTE PETROLEUM ADDENDUM 12**
<http://www.api.org/~media/Files/Publications/Addenda-and->
- **AMERICAN SOCIETY MECHANIC ENGINEERING**
<https://es.wikipedia.org/wiki/ASME>
- **SOLDADURA**
<https://es.wikipedia.org/wiki/Soldadura>

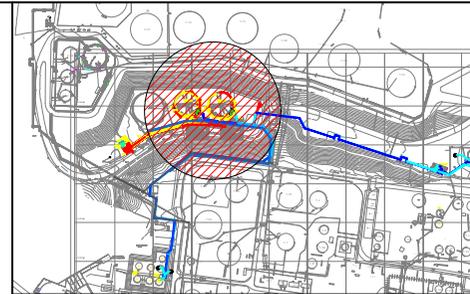
ANEXOS



VISTA DE PLANTA
ESC:1/200



VISTA DE ELEVACIÓN
ESC:1/200



PLANO LLAVE

NOTAS:

- Todas las dimensiones están en milímetros
- Todas las juntas soldadas deben tener 100% penetración (tapa), el relleno excesivo no debe sobrepasar de 1/16" (1,5mm).
- Margen por Corrosión considerados.
 - Margen por corrosión en 1er Anillo: 1,5 mm
 - Margen por corrosión en 2do Anillo al último: 1,5 mm

PINTURA:

PROTECCIÓN SUPERFICIE INTERNA:

1. Sistema Epoxi-fenólica

PROTECCIÓN SUPERFICIE EXTERNA:

PINTADO:

1. El sistema a aplicarse en las estructura exteriores del tanque será: zinc Inorgánico Epóxico Poliuretano (especificación S13-22-09)
 - 1era capa: 5mls de imprimante inorgánico rico en zinc.
 - 2da capa: 5mls de pintura Epóxica.
 - 3era capa: 2mls de pintura de acabado de tipo Poliuretano Alifático alto brillo.
2. Este sistema se aplicará al 100% de la superficie exterior del cilindro del tanque.

NOTAS:

1. Todas las dimensiones se encuentran en milímetros salvo indicación contraria



PROYECTO: SERVICIO DE CONSULTORÍA PARA LA ELABORACION DE INGENIERÍA Y AUTORIZACIONES ANTE LAS AUTORIDADES COMPETENTES, PARA EL PROYECTO DE HABILITACIÓN Y MONTAJE DE DOS TANQUES DE 60 MB DE ALMACENAMIENTO DE GASOLINAS

TÍTULO: PLANO GENERAL DEL TANQUE T-65 / T-66

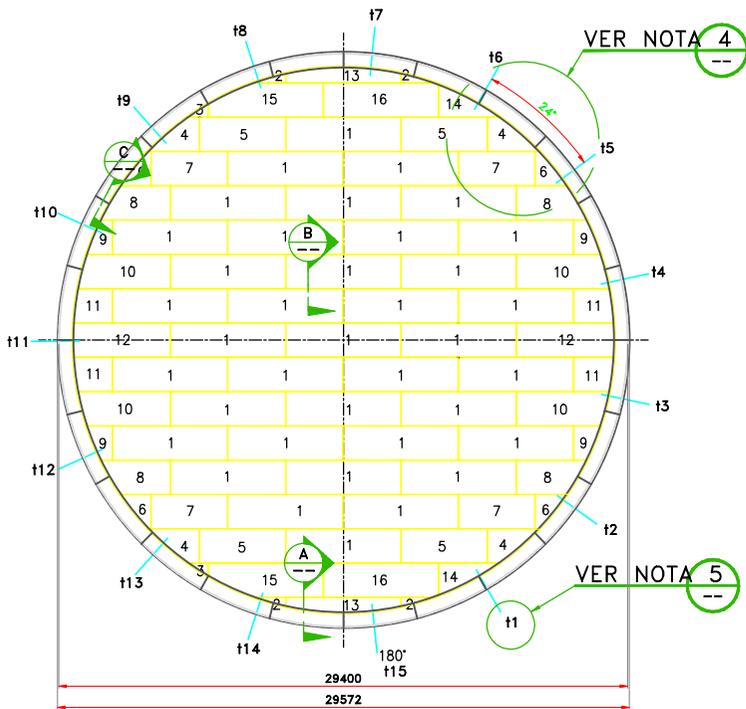
CATEGORÍA:	MECÁNICO	DISEÑADO:	J.C.M.O.	REVISADO:	E.B.B.
ÁREA:	INGENIERÍA	DIBUJADO:	A.H.S.	APROBADO:	L.R.P.
FECHA:	FEBRERO 2015	LÁMINA:	1/1	FORMATO:	A-2
PROYECTISTA:	L.R.P.	DIRECCIÓN:	ANTIGUA PANAMERICANA SUR KM 26.5	ESCALA:	IND.
				REVISIÓN:	1

CONDICIONES DE DISEÑO		
ITEM	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICA
01	CÓDIGO	API 650 12 EDICIÓN
02	CAPACIDAD NOMINAL	60 MB
03	CAPACIDAD NETA DE TRABAJO	60 MB
04	CAPACIDAD GEOMÉTRICA	71.7 MB
05	PRESIÓN DE DISEÑO	ATMOSFÉRICA
06	PRESIÓN DE VACÍO	0 onz
07	PRESIÓN DE OPERACIÓN	ATMOSFÉRICA (abierto)
08	TOLERANCIA DE CORROSIÓN	1.8 mm
09	CARGA EN TECHO	N/A
10	TEMPERATURA DE DISEÑO	MIN: -10,5 °C / MAX: 85 °C
11	TEMPERATURA DE OPERACIÓN	MIN: 13 °C / MAX: 28 °C
12	VELOCIDAD DEL VIENTO	12 m/s
13	DISEÑO SÍSMICO	API 650 12th NON ASCE 7 (Alta)
14	ZONA SÍSMICA	GRUPO III
15	CLASE DEL SITO	CLASE D
16	GRAVEDAD ESPECÍFICA	0,908
17	PRODUCTO DE ALMACENAMIENTO	GASOLINAS
18	EFICIENCIA DE JUNTA	1
19	PLACA RADIOGRÁFICA	API 650
20	FILLING FLOW RATE	3500 bbl/h
21	EMPTY FLOW RATE	1500 bbl/h
22	PRUEBA ESTANQUEIDAD	HIESTRÁTICA

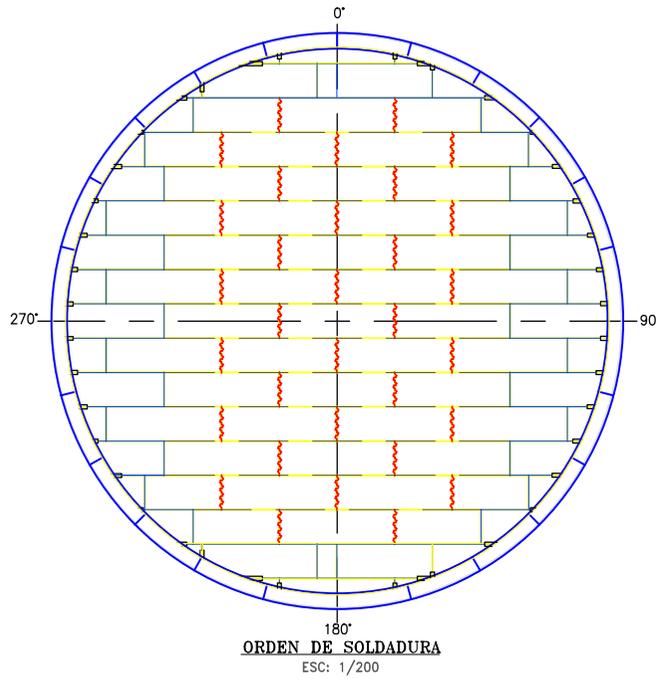
ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	DIÁMETRO	TIPO	ORIENTACIÓN	PROYECCIÓN	ELEVACIÓN	POSICIÓN	NOTAS
N1	01	RECEPCIÓN	10"	300# WN.RF.	123°		+400	+708	CUERPO
N2	01	DESPACHO TOMA ALTA	14"	300# WN.RF.	128°		+400	+750	CUERPO
N3	01	DESPACHO TOMA BAJA	14"	300# WN.RF.	129°		+400	+750	CUERPO
N4	01	DRENAJE DEL FONDO	6"	150# WN.RF.	113°		+200	+310	CUERPO
N5	01	PURGA	1"	CPLG. 6000#.	119°			+240	CUERPO
N6	01	CÁMARA ESPUMA	2"	150# WN.RF.	67°				CUERPO
N7	01	CÁMARA ESPUMA	2"	150# WN.RF.	157°				CUERPO
N8	01	CÁMARA ESPUMA	2"	150# WN.RF.	247°				CUERPO
N9	01	CÁMARA ESPUMA	2"	150# WN.RF.	337°				CUERPO
N10	01	TRANSMISOR DE TEMPERATURA	4"	150# WN.RF.	248°				TECHO
N11	01	SENSOR DE NIVEL RADAR	8"	150# WN.RF.	245°				TECHO
N12	01	MEDICIÓN MANUAL TECHO	10"	150# WN.RF.	241°				TECHO
N13	01	BOQUILLA DE REBOSE	10"	150# WN.RF.	250°	+200	+15482		CILINDRO
N14	01	DRENAJE DE TECHO FLOTANTE	3"	150# WN.RF.	111°		+325		TECHO REFERENCIA EL TECHO
M1	01	ENTRADA DE HOMBRE CILINDRO	36"	API 650	101°		+1035		CUERPO
M2	01	ENTRADA DE LIMPIEZA	36"X 48"	API 650	45°				CUERPO
M3	01	ENTRADA DE HOMBRE CILINDRO	36"	API 650	279°		+1035		CUERPO
S1	01	SUMIDERO DE FONDO	1520	API 650	119°		-900		FONDO
T1	01	CONEXIÓN A TIERRA	---	---	15°		+300		CUERPO
T2	01	CONEXIÓN A TIERRA	---	---	282°		+300		CUERPO
T3	01	CONEXIÓN A TIERRA	---	---	195°		+300		CUERPO
T4	01	CONEXIÓN A TIERRA	---	---	105°		+300		CUERPO
LSL	01	INTERRUPTOR NIVEL BAJO	3"	150# WN.RF.	265°		+1120		CUERPO
LSH-H	01	INTERRUPTOR NIVEL ALTO-ALTO	3"	150# WN.RF.	285		+15326		CUERPO
LSH	01	INTERRUPTOR NIVEL ALTO	3"	150# WN.RF.	285°		+15170		CUERPO

PLANO No.	TÍTULO	REFERENCIAS

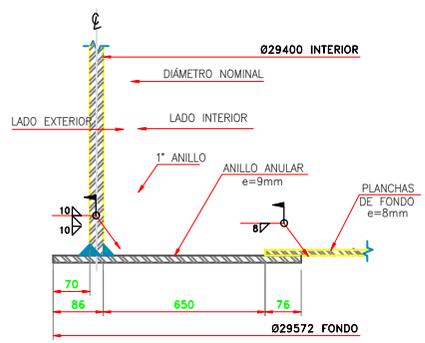
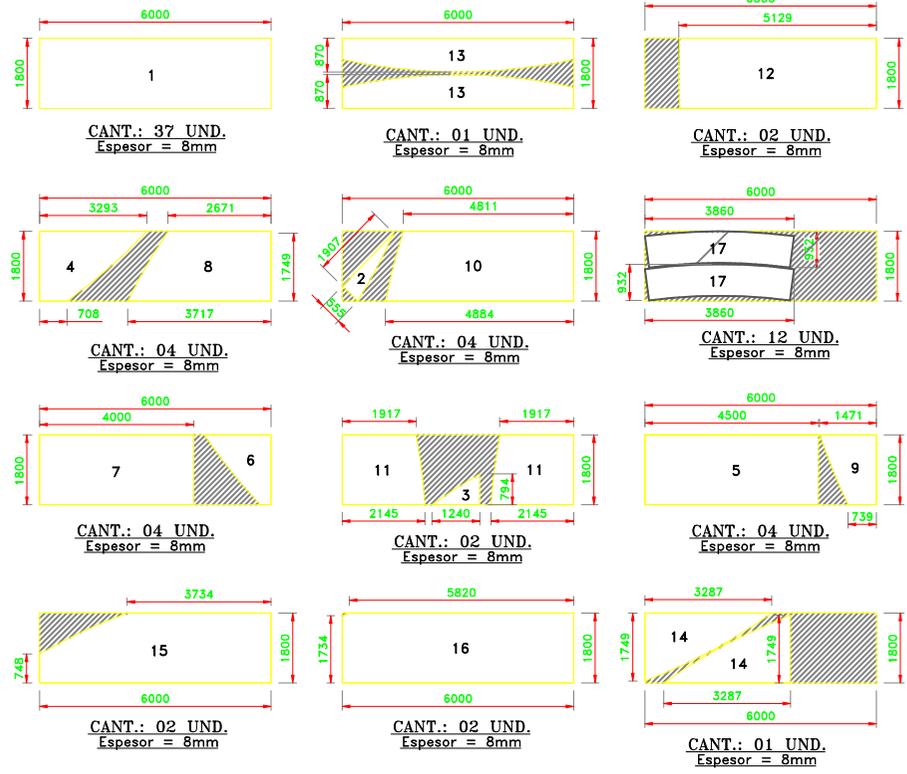
1	FEB-15	J.C.M.	E.B.B.	APROBADO POR EL CLIENTE
A.	AGO-14	J.C.M.	E.B.B.	EMITIDO PARA COMENTARIOS.
No.	FECHA	DIBUJO	REVISO	DESCRIPCIÓN
				REVISIONES / MODIFICACIONES



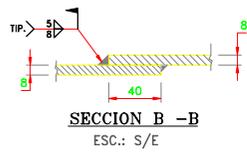
DISTRIBUCIÓN DE PLANCHAS DEL FONDO
TANQUE N° T-65/66
 ESC.: 1/200



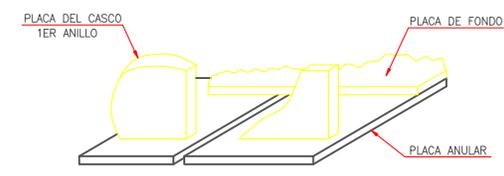
ORDEN DE SOLDADURA
 ESC.: 1/200



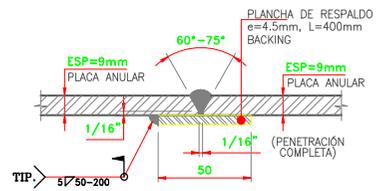
SECCION A - A
 ESC.: S/E



SECCION B - B
 ESC.: S/E



DETALLE DE LA VISTA GENERAL DE LA PERIFERIA
 ESC.: S/E



SECCION C - C
 1/100

NOTAS:

- Cada soldadura del fondo se hará por el método del "Paso del peregrino" tal como se muestra.
- Unión soldada con 2 pasos:
 Primera fase E-6010 de 1/8"
 Segunda fase E-7024 de 3/16"
- Todas las dimensiones se encuentran en milímetros salvo indicación contraria. El ángulo representa el desarrollo de las planchas del primer anillo del tanque. Los puntos marcados corresponden a la unión de las planchas de fondo y las soldaduras de las uniones verticales del cilindro del tanque.
- Los puntos especificados representan las uniones de soldadura vertical del 1° anillo y las planchas de fondo

LISTA DE MATERIALES - PLANCHAS DEL FONDO

TIPO	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANT.	UND.
01	PLANCHA DE 6000X1800X8mm	ASTM A 36	37	UND.
02	PLANCHA DE 6000X1800X8mm	ASTM A 36	01	UND.
03	PLANCHA DE 6000X1800X8mm	ASTM A 36	02	UND.
04	PLANCHA DE 6000X1800X8mm	ASTM A 36	04	UND.
05	PLANCHA DE 6000X1800X8mm	ASTM A 36	04	UND.
06	PLANCHA DE 6000X1800X9mm	ASTM A 36	12	UND.
07	PLANCHA DE 6000X1800X8mm	ASTM A 36	04	UND.
08	PLANCHA DE 6000X1800X8mm	ASTM A 36	02	UND.
09	PLANCHA DE 6000X1800X8mm	ASTM A 36	04	UND.
10	PLANCHA DE 6000X1800X8mm	ASTM A 36	02	UND.
11	PLANCHA DE 6000X1800X8mm	ASTM A 36	02	UND.
12	PLANCHA DE 6000X1800X8mm	ASTM A 36	01	UND.

SIMBOLOGÍA DE SOLDADURA

No.	SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
01		SOLDADURA PREVIA A LA COLOCACIÓN DEL PRIMER ANILLO
02		JUNTAS A SOLDAR EN PRIMER LUGAR
03		JUNTAS A SOLDAR EN SEGUNDO LUGAR
04		JUNTAS A SOLDAR EN TERCER LUGAR

PROPIETARIO:



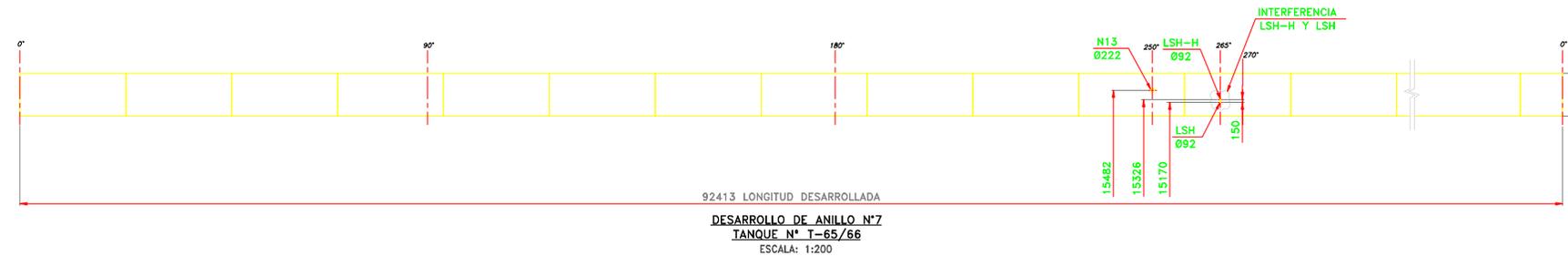
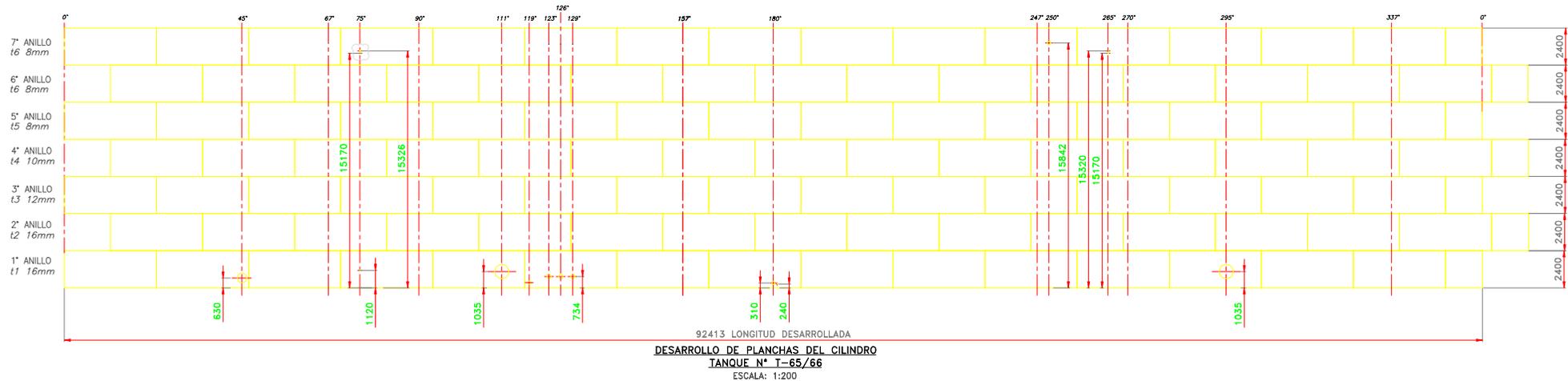
PROYECTO:
 SERVICIO DE CONSULTORÍA PARA LA HABILITACIÓN Y MONTAJE Y AUTORIZACIONES ANTE LAS AUTORIDADES COMPETENTES, PARA EL PROYECTO DE HABILITACIÓN Y MONTAJE DE DOS TANQUES DE 60 MB DE ALMACENAMIENTO DE GASOLINAS

TÍTULO:
 DISTRIBUCIÓN DE PLANCHAS DE FONDO, TANQUE T- 65 / 66

CATEGORÍA:	DISEÑADO:	M.A.V.P	REVISADO:	E.B.B
MECÁNICO	J.R.J.	J.R.J.	J.R.J.	J.R.J.
ÁREA:	DIBUJADO:	J.R.J.	APROBADO:	L.R.P.
INGENIERÍA	J.R.J.	J.R.J.	J.R.J.	J.R.P.
FECHA:	LÁMINA:	FORMATO:	ESCALA:	REVISIÓN:
FEBRERO 2015	1/1	A-2	IND.	1

PROYECTISTA: LRP CONSULTOR EN INGENIERÍA & MEDIO AMBIENTE
DIRECCIÓN: ANTIGUA PANAMERICANA SUR KM 26.5
N° DE PLANO: TEC6-PR-134-200-005

PLANO No.	TÍTULO	1	FEB-15	J.R.J.	E.B.B	APROBADO POR EL CLIENTE
		No.	FECHA	DIBUJO	REVISO	DESCRIPCIÓN
						REFERENCIAS
						REVISIONES / MODIFICACIONES



- NOTAS:**
- 1.- Todas las dimensiones están en milímetros. Excepto las indicadas.
 - 2.- Todas las planchas serán de formato estándar perfectamente escuadradas.
 - 3.- En el montaje del cilindro se recomienda emplear el método de galeo.
 - 4.- La sobremonta de las uniones soldadas a tope no sobrepasará de 1.5 mm (1/8 in).
 - 5.- No se permiten distanciamientos menores a 300mm (12 in) entre costuras de soldaduras en el desarrollo del cilindro.
 - 6.- 100% de penetración en juntas verticales y horizontales excepto del primer anillo al fondo anular.
 - 7.- Los biasles indicados son sugeridos para soldadura manual, el fabricante deberá modificarlos según el procedimiento que usara para el montaje del tanque.
 - 8.- La superficie interna del tanque deberá estar exenta de filos, rebabas, o cualquier protuberancia cortante que pueda dañar el sello. Las soldaduras temporales deben ser esmeriladas después de haber sido cortadas.

LISTA DE MATERIALES PARA CASCO DEL CILINDRO

UBICACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD DE PLANCHAS
ANILLO 1	ASTM A-36	16 UND - 16x2400x6000 mm.
ANILLO 2	ASTM A-36	15 UND - 16x2400x6000 mm.
ANILLO 3	ASTM A-36	16 UND - 12x2400x6000 mm.
ANILLO 4	ASTM A-36	16 UND - 10x2400x6000 mm.
ANILLO 5	ASTM A-36	17 UND - 8x2400x6000 mm.
ANILLO 6	ASTM A-36	15 UND - 8x2400x6000 mm.
ANILLO 7	ASTM A-36	15 UND - 8x2400x6000 mm.
PESO TOTAL		138360 KG

PROPIETARIO:

 OPERACIONES CONCHÁN

PROYECTO:
 SERVICIO DE CONSULTORÍA PARA LA ELABORACIÓN DE INGENIERÍA Y AUTORIZACIONES ANTE LAS AUTORIDADES COMPETENTES, PARA EL PROYECTO DE HABILITACIÓN Y MONTAJE DE DOS TANQUES DE 60 MB DE ALMACENAMIENTO DE GASOLINAS

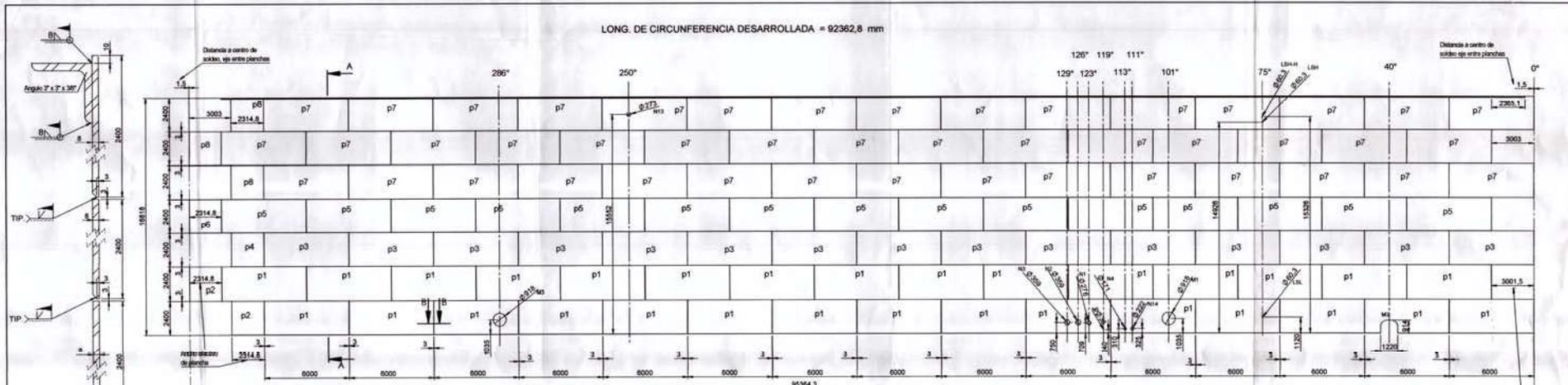
TÍTULO:
 DISTRIBUCIÓN DE PLANCHAS DEL CILINDRO TANQUE T - 65 / 66

CATEGORÍA:	DISEÑADO:	REVISADO:		
MECÁNICO	M.A.V.P.	E.B.B.		
ÁREA:	DIBUJADO:	APROBADO:		
INGENIERÍA	J.R.J.	L.R.P.		
FECHA:	LÁMINA:	FORMATO:	ESCALA:	REVISIÓN:
FEBRERO 2015	1/1	A-2	IND.	1
PROYECTISTA:	DIRECCIÓN:	N° DE PLANO:		
LRP	ANTIGUA PANAMERICANA SUR KM 26.5	TEC6-PR-134-200-007		

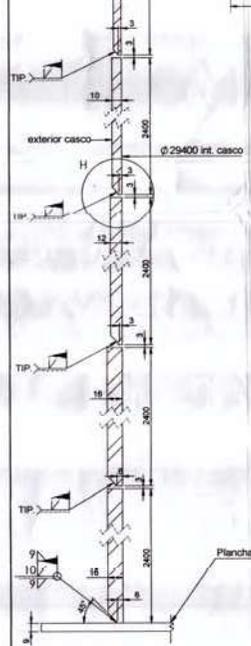
(*).- Para ver Detalle de Planchas ver Plano TEC6-PR-142-200-003

PLANO No.	TÍTULO	No.	FECHA	DIBUJO	REVISÓ	DESCRIPCIÓN
REFERENCIAS			REVISIONES / MODIFICACIONES			

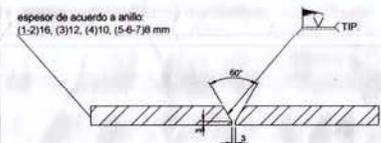
1	FEB-15	J.R.J	E.B.B.	APROBADO POR EL CLIENTE
C	DIC-14	J.R.J	E.B.B.	EMITIDO PARA APROBACIÓN



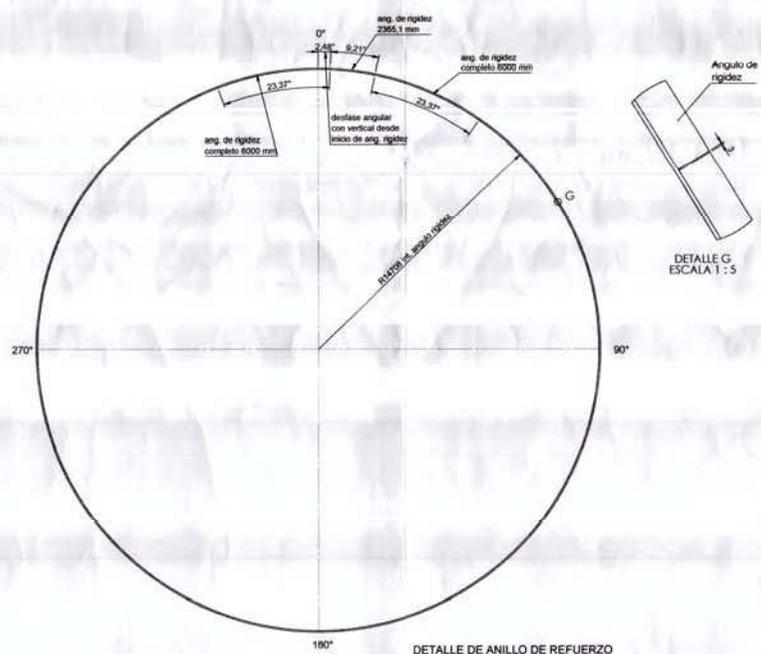
VISTA FRONTAL CILINDRO DESARROLLADO
ESCALA 1 : 140



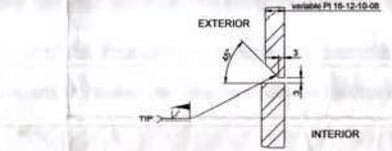
SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 2.5



SECCIÓN B-B JUNTA DE SOLDADURA VERTICAL
ESCALA 1 : 2



DETALLE DE ANILLO DE REFUERZO
ESCALA 1 : 125



DETALLE H JUNTA SOLDADURA HORIZONTAL
ESCALA 2 : 2.5

ITEM	MARCA	CANT.	DESCRIPCIÓN	MAT.	OBSERVACIONES
01	p1	30	P1 10x2400x6000 mm	ASTM A36	
02	p2	02	P1 16x2400x2314,8 mm	ASTM A36	
03	p3	15	P1 12x2400x6000 mm	ASTM A36	
04	p4	01	P1 12x2400x2314,8 mm	ASTM A36	
05	p5	15	P1 10x2400x6000 mm	ASTM A36	
06	p6	01	P1 10x2400x2314,8 mm	ASTM A36	
07	p7	30	P1 8x2400x6000 mm	ASTM A36	
08	p8	03	P1 8x2400x2314,8 mm	ASTM A36	
09		15	Angulo 3" x 3/8" x 6000mm	ASTM A36	
10		01	Angulo 3" x 3/8" x 2365,1mm	ASTM A36	

- NOTAS**
- Todas las dimensiones están en milímetros. Excepto las indicadas.
 - Todas las planchas serán de formato estándar perfectamente escuadradas.
 - No se permiten distanciamientos menores a 300mm (12 in) entre costuras desdobladas en el desarrollo del cilindro.
 - 100% de penetración en juntas verticales y horizontales excepto del primer anillo al fondo anular.
 - La superficie interna del tanque deberá estar exenta de filos, rebabas, o cualquier protuberancia cortante que pueda dañar el sello. Las soldaduras temporales deben ser esmeriladas después de haber sido cortadas.
 - Las aperturas hechas en el cilindro, deberán ser constructadas con el correspondiente plano de accesorios de tanque (boquillas)

REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	DM	DS	AD	JP	GP	DLT	PLANO N°	REFERENCIA
A	03-05-17	EMITIDO PARA COORDINACION INTERNA								
B	24-05-17	EMITIDO PARA REVISIÓN								
D		EMITIDO PARA APROBACION								

PROYECTO
SERVICIO DE SUPERVISIÓN DE TRABAJOS 02 TANQUES - REF. CONCHAN

CLIENTE
PETROPERU

PROYECTISTA
FELIPE TORRES

REVISOR
FELIPE TORRES

APROBADO
ROBERTO DAVILA

ESCALA
INDICADA

NUMERO PLANO
DISTRIBUCIÓN DE PLANCHAS DEL CILINDRO DEL TANQUE T - 65 / 66

REVISIÓN
B

FECHA
27/1/2018

ESCALA
INDICADA

NUMERO PLANO
INDICADO

REVISIÓN
B

PROPIETARIO
PETROPERU

LOGO
GMI

CONTACTO
Paseo de la República 4927
Tiro para Lima 34, PERU
Tel. 2129000 Fax. 444-0373



PROPIETARIO: PETRÓLEOS DEL PERÚ S.A.
 PROYECTO: SERVICIO DE CONSULTORÍA PARA LA ELABORACIÓN DE INGENIERÍA Y AUTORIZACIONES ANTE LAS AUTORIDADES COMPETENTES, PARA EL PROYECTO DE HABILITACIÓN Y MONTAJE DE DOS TANQUES DE 60 MB DE ALMACENAMIENTO DE GASOLINAS
 DESCRIPCIÓN: PLANCHAS ESTRUCTURALES PARA EL TANQUE

LRP-1403-D-M-HD-005
 REVISION :2
 Fecha: Febrero del 2015

GENERAL:

1 Fabricante	*
2 Modelo	*
3 Norma	ASTM
4 Descripción	Planchas Estructurales

DATOS:

5 Tipo	Laminated instantly
6 Aplicación	Tanque almacenamiento y estructuras en general
7 Material	ASTM A 36

PROPIEDADES MECÁNICAS

8 Tensión de rotura (Fu):	58 000 Psi
9 Límite de fluencia(Fy)	36 000 Psi
10 Elongación (2 Pulg)	23%

COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)

11 C (max.)	0.026
12 Mn	0.9 - 1.5 máx
13 Si (max.)	0.4
14 P (max.)	0,035
15 S (max.)	0,004

DIMENSIONES Y PESOS UNITARIOS

SISTEMA INGLÉS (pulg/pie)			SISTEMA MÉTRICO (mm)			PESOS TEÓRICOS (Kg)		
Espesor	Ancho	Largo	Espesor	Ancho	Largo	Pza	m ²	ft ²
1/4"	5	20	6	1500	6000	452.16	50.24	4.522
5/16"	5	20	8	1500	6000	565.2	62.8	5.652
3/8"	8	20	9	2400	6000	1,017.36	70.65	6.359
1/2"	8	20	12	2400	6000	1,436.55	98.125	8.978
1/2"	10	20	12	3000	6000	1,695.60	94.2	8.478
1/2"	10	40	12	3000	12000	3,391.20		
5/8"	8	20	16	2400	6000	1,808.64	125.6	11.304
5/8"	10	40	12	3000	12000	4,521.60		
3/4"	8	20	19	2400	6000	2,216.67	149.15	13.852
3/4"	8	40	19	2400	12000	4,295.52		
3/4"	10	40	19	3000	12000	4,295.52		
7/8"	8	20	19	2400	6000	2,528.33	172.7	15.802
7/8"	8	40	19	2400	12000	4,973.76		
1"	8	20	25	2400	6000	2,919.07	196.25	17.663
1"	8	40	25	2400	12000	5,652.00		

El producto EXATUB 71 es un alambre tubular para toda posición, diseñado para brindar óptimas propiedades mecánicas al trabajar con CO₂ o mezcla de Argón/CO₂ como gas protector. Produce 20% menos de humos, 50% menos de salpicaduras que alambres tubulares equivalentes.

En comparación con alambres tubulares autoprotectidos, brinda buenas propiedades frente al impacto a baja temperatura y la apariencia del cordón es insuperable. La transferencia del metal de aporte es suave y la remoción de escoria es fácil, lo cual facilita el depósito de cordones en posición vertical ascendente. El contorno de la soldadura en filete es plano a ligeramente convexo con buena humectación en los bordes de la junta. Este alambre tolera cascarillas y óxidos ligeros sobre el material base.

Clasificación	
AWS A5.20 / ASME SFA-5.20	E71T-1C / 1M/9C/9M HB

Análisis Químico de Metal Depositado (valores típicos) [%]

C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr	Cu	Gas de Protección
0,03	1,29	0,30	0,011	0,005	-	-	-	-	100% CO ₂
0,02	1,52	0,40	0,008	0,004	-	-	-	-	75% Ar/25% CO ₂

Propiedades Mecánicas del Metal Depositado (valores típicos)

Tratamiento Térmico [Gas Protección]	Resistencia a la Tracción [MPa (psi)]	Límite de Fluencia [MPa (psi)]	Elongación en 2" [%]	Energía Absorbida ISO-V [°C (°F)] [J (ft-Lbf)]
Sin Tratamiento térmico [100%CO ₂]	593 (86 000)	558 (81 000)	29	[-20°C (0°F)] 126 (93)
Sin Tratamiento térmico [75% Ar/25% CO ₂]	642 (93 000)	600 (87 000)	26	[-30°C (0°F)] 102 (75)

Gas de Protección: 100% CO₂; 80% Ar/20% CO₂; 75% Ar/25% CO₂

Conservación del Producto
Mantener seco y evitar humedad.



Parámetros de Soldado Recomendados:

Diámetro [mm]	1,20	1,60
Polaridad	Corriente continua electrodo al positivo (DCEP)	
Amperaje [A]	170 - 300	215 - 400
Voltaje [V]	23 - 39	24 - 30
Stick out (mm)	15 - 25	
Flujo de Gas (l/min)	15 - 25	