FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

TESIS

"ANÁLISIS DE LOS MÉTODOS DE PRODUCCIÓN DE UNIONES SOLDADAS PARA MEJORA DE PRODUCCIÓN Y CALIDAD EN CONSTRUCCIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO SEGÚN NORMA API650"

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

Autor:
Bach. Chanduvi Silupu Smit Raul
Orcid: https://orcid.org/0000-0001-5153-8300

Asesor:
Mtro. Vives Garnique Juan Carlos
Orcid: https://orcid.org/0000-0003-0988-9881

Línea de Investigación:
Infraestructura, Tecnología y Medio Ambiente

Pimentel – Perú
2022

"ANÁLISIS DE LOS MÉTODOS DE PRODUCCIÓN DE UNIONES SOLDADAS PARA MEJORA DE PRODUCCIÓN Y CALIDAD EN CONSTRUCCIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO SEGÚN NORMA API650"

Aprobación del Jurado

_____

Dra. Silvia Yvone Gastiaburú Morales

Presidente del jurado de tesis

_____

MSc. Ángel Marcelo Rojas Coronel

Secretario de Jurado de Tesis

_____

Mtro. Juan Carlos Vives Garnique

Vocal de Jurado de Tesis

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi familia: Mi esposa que con su apoyo diario y labor de madre y mujer siempre complementa el esfuerzo conjunto por obtener éxitos, prosperidad y salud al lado de mis hijos.

También especial dedicatoria a mis padres que me educaron y brindaron su apoyo para forjar mis objetivos como persona y profesional.

AGRADECIMIENTO

Especial agradecimiento a mi familia, mis padres y hermanos que me han apoyado moral o físicamente en mis proyectos y desarrollo personal profesional; así también agradezco a dios por darme la fortaleza y sabiduría en la toma de mis decisiones para lograr mis objetivos.

Agradezco también a mi asesor de tesis y profesores que contribuyeron con sus conocimientos y recomendaciones en la aplicación de la presente tesis.

RESUMEN

En esta investigación se presenta un análisis de métodos de producción de uniones soldadas mediante el comparativo entre los métodos de soldadura SMAW y FCAW empleados por la empresa Tecnoquimica Norte SAC.

Esta investigación se ha desarrollado mediante la toma de muestras experimentales durante el proceso constructivo de 2 tanques de almacenamiento de combustibles con capacidad de 160000 barriles cada uno y con dimensiones de 41m de diámetro y 17 metros de altura; construidos de acuerdo a la norma API 650. Los tanques fueron fabricados, uno con método SMAW, por arco eléctrico y electrodo revestido tipo E6010 – 1/8”Ø y E7010 – 1/8” Ø y 5/32” Ø y otro tanque con método FCAW, por arco con protección gaseosa y alambre tubular de núcleo fundente tipo E71T-1 de 1.6mm Ø.

Para la definición de parámetros de control en producción y calidad en las uniones soldadas, se tomó una muestra de 80 uniones para determinar los ratios de producción y el 100% de las uniones soldadas para analizar la calidad y costos totales de cada tanque, todas captadas de las 3 etapas constructivas del tanque (casco, fondo y techo); estableciéndose una toma de datos medibles en la fabricación de cada parte del tanque en parámetros como; tiempos de soldeo, cantidad de aporte de soldadura consumido y número de defectos en soldaduras con sus reparaciones. Con los datos obtenidos se ha realizado una evaluación técnica y económica comparativa entre ambos métodos de soldadura para determinar el método de soldadura que brinde mejoras en la producción y calidad en la construcción de tanques de almacenamiento de acuerdo a la norma API650.

Con la evaluación real de ambos procesos, se determina que el proceso FCAW por arco con protección gaseosa y alambre de núcleo fundente es más económico, eficiente respecto al método SMAW por arco eléctrico con electrodo revestido; tanto en producción como en calidad.

Por la alta eficiencia de depósito del proceso FCAW, los tiempos de acabado de soldaduras es aproximadamente 1/3 del tiempo empleado en SMAW y con la evaluación de defectos y reparaciones el proceso FCAW genera soldaduras de mayor calidad con apenas una proporción del 0.125% de la cantidad total de reparaciones generadas por el método SMAW tomando como referencia 3600 metros de soldadura lineal en nuestro caso.

Palabras clave

Uniones soldadas, soldadura SMAW, soldadura FCAW, Tanques de almacenamiento. Producción, calidad, API650.

ABSTRACT

This research presents an analysis of production methods of welded joints through the comparison between the SMAW and FCAW welding methods used by the company Tecnoquimica Norte SAC.

This research has been developed by taking experimental samples during the construction process of 2 fuel storage tanks with a capacity of 160,000 barrels each and with dimensions of 41m in diameter and 17 meters in height; built according to the API 650 standard. The tanks were manufactured, one with the SMAW method, by electric arc and covered electrode type E6010 – 1/8”Ø and E7010 – 1/8” Ø and 5/32” Ø and another tank with FCAW method, by arc with gaseous protection and flux-cored cored wire type E71T-1 of 1.6mm Ø.

For the definition of control parameters in production and quality in the welded joints, a sample of 80 joints was taken to determine the production ratios and 100% of the welded joints to analyze the quality and total costs of each tank, all captured of the 3 construction stages of the tank (hull, bottom and roof); establishing a collection of measurable data in the manufacture of each part of the tank in parameters such as; welding times, amount of welding filler consumed and number of welding defects with their repairs. With the data obtained, a comparative technical and economic evaluation has been carried out between both welding methods to determine the welding method that provides improvements in production and quality in the construction of storage tanks according to the API650 standard.

With the real evaluation of both processes, it is determined that the FCAW process by arc with gas protection and flux-cored wire is more economical, efficient compared to the SMAW method by electric arc with covered electrode; both in production and quality.

Due to the high deposit efficiency of the FCAW process, weld finishing times are approximately 1/3 of the time used in SMAW and with the evaluation of defects and repairs, the FCAW process generates higher quality welds with only a proportion of 0.125% of the total amount of repairs generated by the SMAW method taking as reference 3600 meters of linear welding in our case.

INDICE

RESUMEN v
ABSTRACT vi
I. INTRODUCCIÓN 12
1.1. Realidad Problemática 12
1.2. Trabajos Previos 14
1.3. Teorías Relacionadas al Tema 18
1.3.1. Métodos de soldadura 18
1.3.2. Elección de proceso de soldadura para confección de tanques 22
1.3.3. Rendimiento de los procesos de soldadura durante la producción 24
1.3.4. Eficiencia del depósito de soldadura 27
1.3.5. Ventajas y limitaciones de los procesos de soldadura SMAW y FCAW 28
1.3.6. Material de aporte para procesos SMAW y FCAW 30
1.3.7. Calidad de las soldaduras 36
1.3.8. Defectología 39
1.3.9. Tanques de almacenamiento según API 650 43
1.4. Formulación del Problema 46
1.5. Justificación e importancia del estudio 46
A. Económica 46
B. Tecnológica 46
1.6. Hipótesis 47
1.7. Objetivos 47
1.7.1. Objetivo general 47
1.7.2. Objetivos específicos 47
II. MATERIAL Y METODO 48
2.1. Tipo y Diseño de Investigación 48
Tipo de Investigación 48
Diseño 48
2.2. Población y Muestra 50
2.2.1 Población 50

2.2.2 Muestra 51
2.3. Variables, operacionalización 51
2.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos, Validez y Confiabilidad 52
2.4.1. Técnicas de Recolección de Datos. 52
2.4.2. Instrumentos de Recolección de Datos. 52
2.4.3. Validez y Confiabilidad 53
2.5. Procedimiento de Análisis de los Datos. 53
2.6. Criterios Éticos 53
2.7. Criterios de Rigor Científico 53
III. RESULTADOS 54
3.1. Tablas y figuras de resultados 54
3.2. Discusión de Resultados 65
IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 66
4.1. Conclusiones 66
4.2. Recomendaciones 66
REFERENCIAS 68
ANEXOS 70

ÍNDICE DE TABLAS

Página

Tabla 1. *Eficiencia de deposición en soldaduras.* 28

Tabla 2. *Propiedades mecánicas y condiciones de mantenimiento.* 33

Tabla 3. *Nomenclatura de Electrodos.* 34

Tabla 4. *Significado de sufijos en aportes FCAW.* 36

Tabla 5. *Matriz de operacionalización* 52

Tabla 6. *Resumen de costos y tiempos en soldadura Proceso SMAW* 58

Tabla 7. *Resumen de costos y tiempos en soldadura Proceso FCAW* 58

Tabla 8. *Resumen de reparaciones en soldadura Procesos SMAW - FCAW* 60

Tabla 9. *Ratios de número de pases de soldaduras en métodos SMAW - FCAW* 62

Tabla 10. *Porcentaje de ganancia de FCAW vs SMAW por metro lineal de soldadura* 64

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura 1. *Construcción de tanques de 41 m diámetro.* 14

Figura 2. *Proceso de soldadura GTAW.* 19

Figura 3. *Proceso de soldadura MIG GMAW.* 20

Figura 4. *Proceso de soldadura FCAW.* 20

Figura 5. *Proceso de soldadura SMAW.* 21

Figura 6. *Proceso de soldadura SAW.* 22

Figura 7. *Sección transversal de alambre FCAW.* 35

Figura 8. *Clasificación aportes FCAW.* 35

Figura 9. *Discontinuidades en lingote de acero.* 40

Figura 10. *Discontinuidades en fundición.* 40

Figura 11. *Defectos en la soldadura.* 42

Figura 12. *Defectos en sección transversal de soldadura.* 43

Figura 13. *Alcance y limitaciones de API650.* 44

Figura 14. *Partes de un tanque según API650.* 45

Figura 15. *Construcción de tanques API650.* 46

Figura 16. *Posiciones de soldadura.* 56

Figura 17. *Pases de soldadura en una unión* 61

Figura 18. *Inspección de probetas para verificar calidad de soldaduras.* 63

Figura 19. *Soldeo de probetas para verificar facilidades de aplicación en obra.* 63

Figura 20. *Inspección visual de probetas para verificar* 64

ÍNDICE DE ANEXOS

Página

Anexo 1. Criterio de Aceptación API 650 para inspección de soldaduras: Exámenes, visual, líquidos penetrantes y prueba de vacío. 70

Anexo 2. Criterio de Aceptación API 650 para inspección de soldaduras: Examen de radiografía industrial.....72

Anexo 3. Tablas de valores en pruebas experimentales en 2 tanques 76

Anexo 4. Tabla de resultados proyectados de costo, tiempos y calidad de soldadura SMAW y FCAW en uniones de soldadura verticales del casco; en tanque Tecnoquimica SAC. 87

Anexo 5. Ejemplo de registro de inspección visual de soldaduras de tanques.....94

Anexo 6. Ejemplo de registro de inspección por líquidos penetrantes de soldaduras de tanques. 95

Anexo 7. Ejemplo de registro de inspección radiográfica de soldaduras de tanques. 96

Anexo 8. Ejemplo de registro de inspección por cámara de vacío en soldaduras de tanques.....98

Anexo 9. Ejemplo de registro de control de soldaduras de tanques. 99

Anexo 10. Ejemplo de registro de reporte diario de soldaduras de tanques. 101

Anexo 11. Presupuesto de soldadura proyectado en un tanque proyectado de la empresa Tecnoquimica Norte SAC. 102

Anexo 12. Procedimiento especifico de soldaduras WPS - PQR.....104

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

En la industria petroquímica, los tanques de almacenamiento son claves en el desarrollo de los procesos en planta, por lo que es muy importante mantener su integridad bajo estrictas condiciones de almacenamiento del producto; sin perdidas, contaminación o derrames imprevistos, por ello es importante que su construcción este referida a especificaciones constructivas y de calidad como API 650 (Rocío P., 2019); la alta demanda de combustibles líquidos en todos los países; obliga a establecer medidas de seguridad en su almacenamiento y métodos de protección en caso de derrames o incendios, como ejemplo en ecuador, los derrames petroleros entre 2015 a 2021 han incrementado hasta ser en 2021 casi semanal, afectando la amazonia y costa (Susana M. PV, Historia, 2021). Si bien a través de la historia han ocurrido muchos accidentes en la industria petroquímica que en 2018 se calcula perdidas económicas entre los 10 millones a 420 millones de dólares por accidentes en europa; muchos de estos podrían evitarse con medidas de prevención y protección que forman parte del diseño de los tanques (Ap. Tec. 2018). La alta demanda de consumo de hidrocarburos que son almacenados en su gran mayoría en tanques metálicos y la exigencia de calidad en cumplimiento de estándares internacionales en la fabricación; genera una alta demanda y competitividad entre las empresas de metalmecánica que los fabrican (Proiat, 2017); es importante entonces en la industria metalmecánica el manejo de estrategias de diseño, ingeniería, producción e investigación y desarrollo para adaptarse a la moderna industria mundial (OCDE 2006).

En Perú, la industria metalmecánica de soldadura ha trabajado casi siempre con procesos convencionales de soldadura SMAW, teniendo inconvenientes de baja productividad, baja calidad, desperdicio de consumibles y altos tiempos muertos de producción que genera retrasos y mayor costo (Andres U. 2018). Por ello se prevee en Perú, la necesidad de introducir procesos de alta productividad y alta calidad con procesos estándar de soldeo como GMAW, FCAW y GTAW, que actualmente, en su mayoría son realizadas con métodos semiautomáticos (Quispe L, 2014).

Para optimizar la producción y calidad, es vital tener una visión sistemática en la gestión por cada proceso y visualizando todo el entorno organizacional. La

identificación y resolución de problemas de costos, tiempos y calidad debe realizarse y revisarse constantemente. Si no existe una constante actualización de mejoras continuas, la empresa perderá competitividad frente a otras que si la utiliza con destreza, (Cesar M. 2013).

La empresa Tecnoquimica Norte SAC ejecuta proyectos de construcción Metalmecánica en plantas de hidrocarburos en la provincia de Talara; entre estos ejecuta la construcción y mantenimiento de tanques de almacenamiento de hidrocarburos de acuerdo a la norma API 650; la cual cubre especificaciones de material, diseño, fabricación, montaje y requerimientos de pruebas generando tanques de adecuada seguridad y razonable economía.

Desde su inicio en el año 2010 hasta el presente año 2022, Tecnoquimica Norte SAC ha empleado siempre el proceso de soldadura manual con electrodo revestido SMAW; sin tener un debido control de productividad y eficiencia económica. En búsqueda del desarrollo y mejora económica; Tecnoquimica Norte SAC cuenta con equipos de soldadura FCAW y pretende ejecutar soldaduras con este proceso; sin embargo, carece de un estudio de ingeniería que defina como y cuanto mejorará su producción y calidad.

Actualmente Tecnoquimica Norte SAC deberá construir un tanque de 17 mil barriles, 15.5m de diámetro y 12.5m de altura, optando por el proceso de soldadura SMAW. Ante esto, la presente investigación pretende demostrar que el proceso semiautomático FCAW mejoraría la producción y calidad, basado en la experiencia del comparativo de 2 tanques construidos por MyC Pariñas con procesos SMAW, electrodo revestido y FCAW, alambre con núcleo fundente y protección gaseosa; el año 2013 y 2014; para ello se analizará y mostrará los resultados de ambos procesos definiendo cual es el más favorable.

Los años 2013 y 2014; la empresa MyC Pariñas; ejecutó parte de las obras “Construcción y montaje de 4 tanques de 160 mil barriles” y “Construcción y montaje de 3 tanques de 160 mil barriles”. MyC Pariñas SAC ejecutó la construcción y montaje de un tanque en cada obra; uno de ellos empleó el proceso de soldadura SMAW durante el año 2013 y el segundo tanque empleó el proceso de soldadura “eléctrica con alambre tubular y protección gaseosa FCAW” durante el año 2014; registrándose datos de pruebas de rendimientos de aportes de soldadura, tiempos, defectos y reparaciones en una base de datos que sirvieron para la

formulación del presente trabajo de investigación; del cual se extraerán datos y estadísticas para formular el método más conveniente para mejorar la producción y calidad de uniones soldadas en un tanque de almacenamiento, en cumplimiento de la norma API 650.

Figura 1. ***Construcción de tanques de 41 m diámetro.***

De la experiencia, base de datos obtenida en la construcción de los 2 tanques; la diferencia más visible fue la reducción del tiempo total de obra y la disminución de reparaciones en el tanque fabricado con proceso FCAW.

1.2. Trabajos Previos

A nivel Internacional:

(En Mexico, Monserratt Martinez, 2018) A través de la investigación, se ha abordado conceptos de los tanques atmosféricos y su importancia a través de especificaciones en la aplicación del estandar API 653 aplicado en tanques de almacenamiento de hidrocarburos; especificando y aplicando criterios de la norma. La investigación realizada en el diseño de los tanques atmosféricos permite establecer criterios de aceptación en la aplicación de pruebas sobre todo cuando se tratan de tanques nuevos. La investigación se basa en pruebas que demuestren que los tanques cumplen con los requerimientos de las normas API. Finalmente se determinó que el producto de almacenamiento tiene características propias para el cual fue diseñado el tanque, de acuerdo a estas características el tanque puede cumplir su vida útil, sin embargo, al cambiar las características del producto o al almacenar otro producto distinto al de diseño, cambiará el rango de velocidad de corrosión.

(En Ecuador, Izurieta Yañez, 2017) Con la aplicación de ensayos no destructivos en los cordones de soldadura de una tubería a presión de material ASTM A572 Gr. 50 fabricada en una industria metalmecánica de la ciudad de Guayaquil, se identificó diferentes discontinuidades. Con el fin de estudiar las causas por la que se presentan las discontinuidades, y ejecutar medidas correctivas y preventivas para minimizarlos, por esta razón se realizó un levantamiento de información inicial en la industria metalmecánica identificando las diferentes discontinuidades en los cordones de soldadura tanto longitudinal como circunferencialmente por medio de la empresa de proyectos y ensayos no destructivos Obraplanfis S.A. Se realizó ensayos no destructivos como: inspección visual, líquidos penetrantes, ultrasonido Phased Array, radiografía industrial, siendo la inspección visual el método por el cual se hallaron la mayor cantidad de discontinuidades. Esta investigación propone soluciones para reducir los diferentes tipos de discontinuidades realizando un análisis de las causas ya sean por factores tecnológicos o factores humanos. Se concluye que la presencia de discontinuidades se debe al factor humano ya que estos engloban causas como la mala aplicación de las técnicas de soldadura y por el manejo incorrecto del equipo de soldadura.

(En ecuador, Altamirano Macías & Calva Molina, 2019) en el trabajo de investigación “Análisis comparativo de la soldabilidad del acero ASTM A36 bajo la norma API 650, con electrodos E6010 mediante proceso de soldadura SMAW y electrodos E71T1 mediante proceso de soldadura FCAW”; se realiza el estudio de los procesos de soldadura FCAW y SMAW con electrodo E71T1, gas de aporte CO2 y del electrodo E6010 respectivamente, además de la combinación de estos en juntas soldadas de Acero ASTM A 36 en la fabricación de tanques de petróleo. El objetivo de este estudio es determinar las propiedades mecánicas y defectos de las juntas soldadas con cada uno de los procesos de soldadura establecidos para poder comparar y llegar a obtener el mejor proceso de soldadura. Este trabajo se realizó primeramente obteniendo las probetas bajo la Norma API 650, la cual nos indica las dimensiones de cada una de las juntas de Acero ASTM A 36, para luego proceder a realizar cada uno de los procesos de soldadura con diferente material de aporte respectivamente. Los ensayos de soldabilidad realizados fueron los ensayos de

Varestraint y Houldcroft, mientras que los ensayos mecánicos fueron: tracción, doblez guiado, análisis metalografía y análisis macrografía los cuales se realizaron en los laboratorios de Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional. Realizado los ensayos destructivos y comparados cada una de las propiedades mecánicas obtenidas se llegó a determinar el mejor proceso de soldadura, el cual fue el proceso combinado SMAW - FCAW con electrodos E6010 y E71T1, gas protector CO2

(En ecuador, Canga Ortiz & Beltran Ramirez, 2019) Se realizó el control de calidad en la soldadura de la estructura metálica del terminal de transporte terrestre del Canton Gualaceo de la provincia de Azuay, aplicando los lineamientos de la normativa ecuatoriana RTE INEN040 y la normativa internacional AWS D1.1 2015. Para el efecto se plantea un procedimiento para el control de calidad de estructuras metálicas soldadas, definido en la verificación de planos constructivos, características técnicas del material empleado, verificación de procedimiento de soldadura WPS, verificación de calificación de soldadores WPQ y verificación de personal END y aplicación de ensayos END visual, líquidos penetrantes y ultrasonido industrial. Los resultados muestran que la soldadura cumple con los estándares de calidad establecidos en la normativa aplicada.

(En Ecuador, Guachamin Santistevan, 2018) En el trabajo de investigación se generó un diseño óptimo de un tanque de almacenamiento para el servicio de agua de formación cuyo funcionamiento sea confiable, eficiente y seguro durante su tiempo de vida útil, cumpliendo con las normas de calidad API 650, lo que sería de gran utilidad para evitar contratiempos en el almacenamiento de agua en una estación piloto, para su posterior inyección o reinyección en pozos petroleros.

Se selecciona el tipo de tanque de almacenamiento. Se dimensiona el tanque en función de parámetros de diseño y necesidades del campo. Se implementan los accesorios respectivos y exigidos. Se determinan los materiales a emplearse de acuerdo a las normas nacionales e internacionales.

Los cálculos realizados son de absoluta confiabilidad, pues en su proceso se aplicaron normas y técnicas aprobadas internacionalmente, por lo tanto, se puede proceder con la construcción del tanque de almacenamiento en este campo.

Para el diseño de tanques de almacenamiento, aplicando la norma API 650, pueden facilitarse los cálculos del espesor de las láminas del tanque, relación de la

altura con el diámetro y la capacidad, prolongando de esta manera la vida útil del tanque.

A nivel Nacional:

(Castillo Romero José Luis, 2021) Según su investigación; "Implementación del proceso de soldadura FCAW en la fabricación de estructuras metálicas de techos para mejorar la productividad en la empresa Grupo SEFEME SAC" se resume que; la empresa GRUPO SEFEME SAC, está orientada a prestar servicios en tres áreas, las cuales son metalmecánica, mantenimiento y obras civiles. El presente trabajo consiste en desarrollar una propuesta de mejora en el proceso de soldadura en el área de metalmecánica. Mediante la aplicación de la mejora continua en el área de la soldadura utilizando la metodología PHVA (Ciclo de Deming). Fue muy importante, la incorporación al taller de soldadura del proceso de soldadura FCAW (soldadura por arco con alambre tubular continuo) con el fin de brindar mayor rendimiento y versatilidad. Con esta incorporación se obtuvo una optimización reduciendo los costos y tiempos operativos en la fabricación de estructuras los cuales se ensamblan en las instalaciones de la empresa. La productividad en la fabricación de estructuras metálicas con el proceso SMAW en el año 2017 fue de 40.66% después de la implementación del proceso FCAW la eficacia en el 2018 se incrementa en un 73% generando una mayor utilidad.

(Cruz Vergara & Gonzales Ruiz, 2019) En esta investigación se determinaron las causas de falla mediante la metodología causa - raíz para cordones de soldadura de un tanque api 650 en la corporación Solivan S.A.C de la cuidad de lima.

Con la determinación de las necesidades de la empresa a través de entrevistas aplicadas a la alta dirección, ingeniero a cargo del proyecto y personal soldador y teniendo en cuenta la normativa más usadas para estos tipos de trabajos de soldadura y guiándonos del historial brindado por la empresa. Se logró realizar una matriz morfológica que pudo evaluar los tipos de fallas con sus orígenes en los cordones de soldadura. Para esto se fabricaron 5 probetas de marial base (Acero A36) y material aportante E- 7018, dimensionadas de acuerdo a la normativa vigente (ASME IX).

Por consiguiente, se analizaron las probetas empleando ensayos no destructivos (inspección visual, tintes penetrantes y radiografía industrial) y destructivos (ensayos de tracción y doblez), teniendo como propósito poder

identificar las causas de las fallas que se están presentando en la corporación Solivan. Para lo cual la empresa tomo como medidas de corrección la aplicación de capacitación a sus soldadores y la implementación de materiales intervinientes en la fabricación de las probetas. Por lo que mediante estos ensayos se pudo constatar que las causas de las fallas que se han venido suscitando en la empresa eran a raíz de una mala práctica del proceso de soldeo con soldador no calificado, mal almacenaje de aportes, mala preparación de junta.

(Barrera Campos, 2018) En su investigación; Implementación de un plan de calidad para obras metal mecánicas en la empresa VYP ICE SAC; se realizó con la finalidad de aplicar un plan de calidad para mejorar los procesos de producción que se realiza en cada trabajo metal mecánico (procedimientos estandarizados, métodos y controles a través de normas y códigos internacionales). Y de esta manera la empresa aumento su eficacia, cobertura, competitividad; ya que los trabajos se realizan de forma empírica.

Con la implementación del plan de calidad, se activó una nueva área (Área de Supervisión) la cual se encargará de supervisar y controlar cada proceso en la fabricación de las obras metal mecánicas, mediante un plan de puntos de inspección. El área implementada se encargó de realizar y verificar la calidad a partir de la observación y ensayos (END), los cuales fueron establecidos en sus respectivos formatos de calidad. A su vez se capacito a los trabajadores en sus respectivas áreas de trabajo para así brindar un servicio de calidad. Actualmente la empresa se encuentra en una mejora continua con respecto a la calidad, por medio de la implementación de este plan. En los últimos años la participación de la empresa era inferior frente a sus competidores, sin embargo, en el presente año se logró un aumento del 6% con respecto al promedio de los 3 últimos años en los proyectos de la U.M. Yauli.

1.3. Teorías Relacionadas al Tema

1.3.1. Métodos de soldadura

En la industria de fabricación de equipos, estructuras, instalaciones de aceros es muy común la aplicación de procesos de soldadura, unos son fáciles de aplicar, mientras que otros son difíciles.

Así también, algunos tipos de soldadura generan cordones limpios visualmente estéticos que requieren nada o casi nada de limpieza, otros tipos generan lo contrario.

Los procesos de soldadura dependen necesariamente de las siguientes variables: tipo de material base (acero al carbono, acero inoxidable, aluminio, etc.), carga de trabajo necesaria (tiempo de uso del equipo en forma continua), alimentación eléctrica a suministrar (energía eléctrica que aplica en su taller o empresa) y espesor de material base (pueden ser espesores delgados o gruesos).

A continuación, se cita los cinco tipos de procesos de soldadura más empleados.

A.- Gas Tungsten Arc Welding - TIG (GTAW) - - Arco de Soldadura con Tungsteno con protección de gas

Figura 2. ***Proceso de soldadura GTAW.***

Fuente: *Miller, s.f.*

La soldadura por arco de tungsteno con gas (GTAW) el electrodo no se consume y es de tungsteno. Se puede hacer sin metal de aporte, utilizando los dos metales base de la junta a soldar. También se puede agregar un metal de relleno que es alimentado a mano. Requiere de un tanque de gas de protección con flujo constante necesario para proteger la soldadura. La soldadura TIG es una forma precisa de soldadura que crea soldaduras visualmente atractivas y no requiere limpieza, ya que no hay salpicaduras. Debido a estos rasgos, es un tipo difícil de soldadura que está mejor reservado para soldadores experimentados.

B.- Soldadura con alambre (MIG-GMAW) Gas Metal Arc Welding - Soldadura de arco con protección de gas.

Figura 3. ***Proceso de soldadura MIG GMAW.***

Fuente: *Miller, s.f.*

La soldadura MIG es fácilmente manejable por nuevos soldadores. Significa gas inerte metálico, también se lo llama soldadura por arco metálico con gas (GMAW). Es rápido e implica que el metal de aporte se provea a través de la boquilla, mientras se protege de elementos externos con gas a su alrededor. No es ideal para uso en exteriores. Es un proceso versátil y se usa para soldar muchos tipos de metal en diferentes espesores.

El metal de aporte es un alambre provisto desde un carrete. que se alimenta continuamente a través de la boquilla, permitiendo llevar una velocidad necesaria. La soldadura MIG produce una soldadura estable de gran depósito y que es visualmente estética.

C. Soldadura por arco con núcleo fundente (FCAW) - Flux Cored Arc Welding

Figura 4. ***Proceso de soldadura FCAW.***

Fuente: *Miller, s.f.*

Similar a la soldadura MIG a menudo los soldadores pueden MIG como FCAW. Un alambre que sirve como aporte y se alimenta a través de su boquilla. Para FCAW, el alambre tiene un núcleo fundente que crea un escudo de protector; pero también puede tener protección de gas externo.

FCAW muy usado para metales gruesos funciona muy bien en alta temperatura. Es un proceso de alto rendimiento y poco desperdicio. Genera un poco de escoria que es fácil de retirar, dejando soldaduras muy estéticas.

D.- Soldadura por Electrodo Revestido (SMAW) - Stick Metal Arc Welding

Figura 5. ***Proceso de soldadura SMAW.***

Fuente: *Miller, s.f.*

Inició aproximadamente en 1930, y continúa mejorándose, es simple y fácil de aprender y es de bajo costo. Sin embargo, no suele tener un buen acabado y la limpieza es casi siempre muy necesaria no solo al final sino entre pases.

Un "electrodo revestido" sirve como metal de aporte creando un arco y fundiendo el electrodo rellenando la junta y creando la soldadura. El electrodo está recubierto con un fundente que protege el arco. Mientras se enfría, se genera escoria que debe ser retirada.

No requiere gas de protección, y se puede usar al aire libre, en climas adversos. También funciona en superficies oxidadas, pintadas y sucias, por lo que es ideal para reparaciones. Hay muchos tipos de electrodos comerciales y fáciles de cambiar, lo que facilita la soldadura de metales distintos, pero no es ideal para metales delgados.

E.- Arco Sumergido (SAW) - Submerged Arc Welding Proceso de soldadura

Figura 6. ***Proceso de soldadura SAW.***

Fuente: *Miller, s.f.*

Es un proceso común de soldadura por arco. Vigente desde el año 1935 es un arco eléctrico debajo de un lecho de flujo granulado. Originalmente desarrollado y patentado por Jones, Kennedy y Rothermund, el proceso necesita un electrodo consumible continuo sólido o tubular. La soldadura y arco son protegidas de al estar "sumergidas" bajo una capa de polvo granular que consiste en cal, sílice, óxido de manganeso, fluoruro de calcio y otros compuestos. La gruesa capa de fundente cubre el metal fundido, eliminando salpicaduras y chispas, así como la intensa radiación ultravioleta y los humos propios del proceso de soldadura de arco metálico protegido (SMAW).

1.3.2. Elección de proceso de soldadura para confección de tanques

Para el caso particular de la confección de tanques de almacenamiento en una planta de hidrocarburos; servicio principal de la empresa Tecnoquímica Norte; los tanques son normalmente de grandes dimensiones; entre 10m a 42m de diámetro y 5m a 18m de altura; entonces se tiene grandes longitudes de soldadura lineal en la confección del casco del tanque que es la parte principal hermética; así también los tanques son soldados in situ, en obra, en planta de hidrocarburos, como consecuencia están en campo abierto, bajo las condiciones climáticas, viento, polvo, transito de personal operativo constante, zonas adyacentes inflamables, etc. Además, son obras adjudicadas bajo un presupuesto que implica un límite de costo y tiempo.

En tal caso; el proceso de soldadura a emplear debe brindar facilidades para

lo mencionado anteriormente, debe ser fácil de aplicar en distintas posiciones y ambientes, alturas distintas, seguro, generar altos depósitos de soldadura de calidad, fácil de someterlo a pruebas y de costos accesibles en consumibles y equipos.

Brevemente se hace una descripción de la elección de los procesos que pueden emplearse para el soldeo del casco hermético de los tanques de almacenamiento, que sin embargo para esta investigación se optó solo por 2; SMAW y FCAW:

A. **TIG (GTAW) Arco de Soldadura con Tungsteno con protección de gas:** Es un proceso manual con el empleo de ambas manos (una sujeta la antorcha y otra el aporte); No se eligió este proceso porque su porcentaje de avance es corto, lento, aunque genera grandes depósitos de soldadura; es ideal para soldeo de tuberías y piezas pequeñas, pero no para tanques con grandes longitudes de soldadura.

B. **MIG-GMAW Soldadura de arco con protección de gas:** Es un proceso semiautomático con aporte de alambre sólido y protección de gas; genera grandes depósitos de soldadura con gran avance. No se eligió este proceso porque su protección gaseosa del arco de soldadura no es suficiente para las grandes corrientes de viento existentes en la zona de Talara – refinería de hidrocarburos cercana al mar. Se confeccionaron probetas con resultados rechazables por porosidades debido a las corrientes de viento.

C. **FCAW - Soldadura por arco con núcleo fundente:** Es un proceso semiautomático con aporte de alambre con núcleo de protección y además protección de gas; genera grandes depósitos de soldadura con gran avance. Se eligió este proceso porque su protección del núcleo de alambre más la protección gaseosa del arco de soldadura dio buenos resultados para las grandes corrientes de viento existentes en la zona de Talara – refinería de hidrocarburos cercana al mar. Se confeccionaron probetas con resultados aceptables.

D. **SMAW - Soldadura por Electrodo Revestido:** Es un proceso manual, fácil de manejar; aunque genera depósitos bajos respecto a los otros procesos, si se eligió este proceso porque tiene buenos resultados ante las corrientes de viento. Se confeccionaron probetas con resultados aceptables.

SAW - Arco Sumergido: Es un proceso automatizado aplicable solo en posiciones planas y lugares cerrados; por ello no se eligió este proceso.

1.3.3. Rendimiento de los procesos de soldadura durante la producción

Optimizar los rendimientos va desde la alta dirección hasta los operadores de la producción en obra, incluyendo soldadores, y logística; que deben concientizarse en hacer mejoras. También se puede requerir capacitaciones adicionales de los soldadores y personal operativo, para ejecutar nuevos procesos o para adaptarse a las particularidades de nuevos metales de aporte. Podrían necesitarse, por ejemplo, cambiar la técnica o el proceso habitual de soldaduras, renovar materiales de aporte con mejores características, se puede requerir recalificación del soldador, necesitar hacer compras importantes, que generaría algún tiempo extra para el retorno económico de dicha inversión o cambio.

El optimizar la producción para obtener los mejores rendimientos en los procesos de soldadura no es un proceso simple; se requiere una optimización de tiempos, mano de obra y recursos de financiación para llevarse a cabo y de ser necesario, proponer si una modificación especifica en el proceso de producción continuo es necesario, y si lo es, estar preparado para hacer cambios.

El objetivo es generar eficiencia en toda la operación optimizando costos y tiempos a través de todas sus etapas como:

- **Hacer un estudio de tiempos de cada parte la producción de soldadura**

Un estudio de tiempo, puede evidenciar los tiempos muertos o críticos en la producción; pero se necesita un estudio de tiempo desde las actividades previos a la soldadura. Previo a la soldadura, algunos procesos son necesarios mientras que otros podrían ser mejorados o desechados.

Se debe establecer un plan por categorías de las actividades previas a la

soldadura, durante la soldadura y posterior a la soldadura.

Para un estudio de tiempos, se debe identificar, medir el tiempo y registrar cada actividad en toda la operación; considerando, por ejemplo; los tiempos en las soldaduras de apuntalamiento y preparación de las juntas, tiempo de soldadura, limpieza posterior a la soldadura, cambio de consumibles y recipientes de gas, remoción de apuntalados y salpicaduras, remoción de pintura, paradas planeadas y no planeadas o tiempo improductivo.

El beneficio económico de un mayor rendimiento no puede generarse si los procesos previos a la soldadura no le favorecen óptimamente, como ejemplo la logística, mantenimiento, control documentario etc. Por otro lado, un mayor rendimiento de la soldadura no será favorable si los procesos posteriores a la soldadura no pueden cumplir sus objetivos ante el crecimiento, como ejemplo las pruebas y ensayos, pintado etc.

- **Tener procedimientos de soldadura para cada caso de producción**

  Las productividades en empresas de soldadura siempre toman en consideración un WPS. El WPS define los parámetros de soldadura requeridos y que son consultados y ayudan a asegurar que la soldadura se desarrolle de la manera más eficiente posible. Al aumentar la eficiencia será mayor la productividad y más número de productos terminados.

  En la producción, los procedimientos específicos de soldadura (WPS), (siglas en inglés) de acuerdo a los códigos aplicables que pueden ser ASME, API, AWS; ayudan a los soldadores a controlar y generar soldaduras de alta calidad de manera repetitiva mediante la correcta operación y técnicas de soldeo estandarizando el proceso de soldadura.

  Un WPS bien desarrollado contiene el total de parámetros a consultar para la soldadura además de detalles técnicos que pueden ser propios de la empresa o el componente a soldar, pero es también es suficientemente restrictivo para garantizar la calidad.

  Adicional al WPS, el registro de calificación de procedimiento (PQR, por sus siglas en inglés) casi siempre es requerido por el código de fabricación. Incluso si no es requerido, puede ser útil. El PQR soporta al WPS con base en las pruebas, ensayos de la soldadura especifica. Ésta guía muestra a los

soldadores que siguen el WPS, que lograrán una buena soldadura con suficientes propiedades mecánicas si siguen los parámetros descritos en este, lo que minimiza el riesgo de reparaciones o re trabajos que afectan el rendimiento final.

- **Optimizar los procesos antes de la soldadura**

  Una mala preparación de las juntas o materiales base antes de soldar, obliga a modificar los parámetros de soldadura para evitar defectos como por ejemplo perforaciones, falta de fusión, soldaduras mal dimensionadas, generalmente en aplicaciones automatizadas. Se debe revisar previamente al soldeo, el estado del material base, corrosión, limpieza de la junta, mantenimiento y operatividad del equipo de soldadura, secado de aportes, aportes en buen estado con su documentación de soporte de acuerdo al WPS o código aplicable.

  Los procesos previos incluyen aspectos como prevenir o verificar por ejemplo aceites, humedad en la superficie; corrientes de viento, lluvia que pueden contribuir a defectos en el proceso de soldadura. Se pueden minimizar estos contaminantes modificando e implementando procesos como carpas de protección contra vientos, limpieza previa a la soldadura, las cuales normalmente requiere mucho menos tiempo que el re trabajo posterior a la soldadura.

- **Optimizar los parámetros de soldadura de producción.**

  Optimizar los parámetros de soldadura es una de las tareas más importantes y con frecuencia no se toma en cuenta. Los parámetros de soldadura incorrectos pueden generar que los soldadores o la maquinaria suelden ineficientemente como podrían hacerlo de manera óptima. Los parámetros óptimos aumentan las velocidades y volumen de deposición, generando un incremento en la producción y aminorar la cantidad de pases para concluir una soldadura.

  De acuerdo al proceso de soldadura aplicable; algunos tienen velocidades de deposición más altas que otros, como por ejemplo la soldadura GTAW contra la FCAW.

  Los materiales de aporte, también ofrecen cantidades de depósito y avances distintos, dentro del mismo proceso de soldadura; como en el caso de

alambres con núcleo fundente en comparación con alambres sólidos.

De acuerdo al metal de aportación se debe consultar la hoja técnica de datos del producto definido por el fabricante. Estas hojas técnicas brindan información muy importante de consulta; que incluye amperajes, voltios, velocidad de alimentación del alambre, etc.

- **Optimizar los procesos posteriores a la soldadura**

  Un estudio de tiempo que analiza cada etapa productiva de soldadura verificando tiempos definidos y totales; en cambio un análisis de causa raíz evalúa la causa o los detalles de un problema.

  Como ejemplo, el análisis de porque se producen porosidades en las soldaduras de producción, podrán ser los parámetros de soldadura, boquillas en mal estado o un mantenimiento de máquinas, o gas de protección inadecuado. Identificar estas causas raíz y tomar medidas sobre estas, reduce la necesidad de reparaciones más adelante en la operación.

  Es importante también implementar parámetros de aceptación en el acabado de soldadura que mejoren la apariencia de la soldadura desde el principio.

  El tiempo y el costo del re trabajo crecen significativamente mientras se continua en producción. Los soldadores deben estar capacitados para identificar y rectificar discontinuidades de soldadura.

  Puede considerarse también, usar un proceso de soldadura y alambre de poca salpicadura para eliminar la necesidad de limpieza de salpicaduras. Seleccionar un alambre que genere escoria fácil de remover; de esa manera, se perderá menos tiempo en removerlas después de la soldadura.

1.3.4. Eficiencia del depósito de soldadura

Se define en porcentaje; para su determinación, se compara el peso del depósito de soldadura con el peso total del metal de aporte de soldadura. La deposición de la soldadura, es un parámetro a controlar que tiene un resultado directo en el consumo del metal de aportación, pues no todo el metal de aporte formará parte de la soldadura, perdiéndose salpicadura, humos y desperdicio. Como ejemplo, se pierde gran parte del metal de aporte en escoria y en atmósfera protectora del arco eléctrico; en la soldadura por arco

eléctrico con revestimiento (SMAW).

Diferentes procesos de soldadura tienen eficiencias de deposición típicas diferentes entre ellos. Los procesos con menor eficiencia de deposición requieren que se compre más metal de aportación para la misma cantidad de soldadura depositada que los procesos con mayor eficiencia de deposición. Es en parte por esta razón que algunas compañías optan por emigrar de la SMAW, la cual genera pérdida por desperdicio y escoria, a un proceso de alambre como la soldadura por arco metálico con gas (GMAW o FCAW) que producen menos desperdicio y crea niveles de salpicadura y humo relativamente bajos, asegurando así que más metal de aportación vaya hacia la unión soldada.

Tabla 1. ***Eficiencia de deposición en soldaduras.***

Proceso de soldadura	Rango típico de eficiencia de deposición (%)
FCAW-G (protegido por gas)	80-88
FCAW-S (auto-protegido)	72-78
GMAW (MIG)	96-98
GTAW (TIG)	92-96
SAW	96-98*
SMAW (varilla)	50-55

Fuente: *The fabricator. s.f., 2015*

1.3.5. Ventajas y limitaciones de los procesos de soldadura SMAW y FCAW

(Vladimir Sanchez, 2012)

- **Proceso SMAW electrodo revestido**

  Ventajas

  - El equipo es relativamente simple, portátil y económico.
  - La protección del metal de aporte y del charco de soldadura está incluida en el electrodo revestido.
  - No requiere del suministro externo de un gas de protección o fundente granular.
  - Es menos sensible a las corrientes de aire que los procesos que requieren de protección con gas.

- Puede ser utilizado en áreas de acceso limitado.
- Para la mayoría de las aleaciones comerciales existe disponibilidad de electrodos.

Limitaciones

- El operador requiere de una mayor habilidad que en los procesos de alambre.
- La aplicación es más lenta que los procesos de alambre.
- Se requiere de mayor tiempo de limpieza para los cordones.
- El electrodo revestido tiene la eficiencia más baja.

- **Proceso FCAW alambre tubular con núcleo fundente y protección gaseosa**

Ventajas

- Depósito de metal de soldadura de alta calidad.
- Buen aspecto de la soldadura: lisa y uniforme.
- Buen perfil de las soldaduras de filete horizontales
- Es posible soldar muchos aceros dentro de un intervalo de espesores amplio.
- Eficiencia de depósito del electrodo relativamente alta.
- Arco visible - fácil de usar.
- No requiere tanta limpieza previa como GMAW.
- El empleo de electrodos con autoprotección y gas externo tolera mejor las condiciones de movimiento brusco del aire que prevalecen en la construcción en exteriores.
- Mayor tolerancia de contaminantes que podrían causar agrietamiento de la soldadura.

Limitaciones

- El proceso FCAW actual está limitado a la soldadura de metales ferrosos y aleaciones con base de níquel.
- El proceso produce una cubierta de escoria que es preciso eliminar.

- El alambre de electrodo para FCAW cuesta más por unidad de peso que el alambre de electrodo sólido, excepto en el caso de algunos aceros de alta aleación.
- El equipo es más costoso y complejo que el que se requiere para SMAW; no obstante, el aumento en la productividad casi siempre compensa esto.
- El alimentador de alambre y la fuente de potencia deben estar relativamente cerca del punto de soldadura.
- En la versión con escudo de gas, el escudo externo puede sufrir efectos adversos por el viento y las corrientes de aire.
- El equipo es más complejo que el de SMAW, por lo que requiere mayor conocimiento técnico para su mantenimiento.

1.3.6. Material de aporte para procesos SMAW y FCAW

Para el proceso de soldadura a emplearse en la construcción del casco de un tanque de almacenamiento, se deberá elegir un electrodo que coincida con las propiedades de resistencia y composición del metal base; así también, deberá tener propiedades que faciliten su aplicación en distintas posiciones y ambientes al aire libre. Todos los consumibles de soldadura estarán perfectamente documentados y en buenas condiciones en su almacenamiento para llevar su correcta trazabilidad física y documental en los registros que formarán parte del libro de obra.

El material de aporte a usar en el proceso de soldaduras de producción, estará de acuerdo a los requerimientos del procedimiento específico (WPS) calificado o especificaciones técnicas del cliente, en cuanto a calidad, grado y dimensiones y será el mismo que se empleó en los ensayos – homologación de soldadores y WPS. Los materiales de aporte están clasificados por grupos según la especificación aplicable, de forma que al efectuar la homologación de un material el soldador quede homologado para los diferentes materiales del mismo grupo.

1.3.6.1. Generalidades de elección de los materiales de aporte en la soldadura

(Juan Lorca, 2010) Los materiales de aporte tienen una vital importancia en la productividad y calidad de las soldaduras según sus características, por ello las empresas, supervisores y soldadores deben valorar críticamente la elección del material de aporte correcto para cada servicio. Un electrodo, debe ser de fácil encendido y control del arco eléctrico, también gran porcentaje de depósito o eficiencia en la soldadura y que por sus propiedades y estructura química sean lo más símil posible al metal base. Las características eléctricas que aplica el soldador también generarán cambios que pueden alterar la calidad de la soldadura; por ello los estándares internacionales de construcciones metálicas como API, ASME, AWS, ASTM etc.; exigen:

- Uso de procedimientos específicos de soldadura referidos a especificaciones del código aplicable.
- Calificación del soldador, referidos a especificaciones del código aplicable.
- Pruebas o ensayos para la calificación del procedimiento y calificación del soldador.
- Pruebas o ensayos en distintos porcentajes y tipos para las uniones soldadas que se van produciendo, de acuerdo a criterios de aceptación y especificaciones del código aplicable

La elección del aporte ideal, depende del análisis de las condiciones de trabajo en particular y el diámetro y tipo material de aporte más conveniente para nuestras condiciones. Para ello, el inspector y soldador deben considerar lo siguiente:

1.- El metal base y sus propiedades
2.- Dimensiones de las uniones a soldar
3.- Tipo de corriente requerida o disponible
4.- Facilidades de acceso o posiciones de soldeo.
5.- Tipo de unión a soldar

6.- Otras características que debe tener la soldadura, resistencia a la corrosión, gran resistencia a la tracción, ductilidad, etc.

1.3.6.2. Características generales de los materiales de aporte:

Los materiales de aporte de varilla para el proceso SMAW se comercializan en longitudes de 350 y 450 mm y diámetros de 2,4 a 6,4 m/m; estos tienen un "revestimiento" o material mineral-orgánico (características específicas), generado por medio de un moderno sistema de "Extrucción", que permite que sea uniforme y concéntrico con el núcleo, permitiendo su soldabilidad. El revestimiento durante la soldadura forma un gas protector que protege el arco con una escoria que aparece en la superficie cubriendo el metal líquido mientras se solidifica en el metal.

El proceso de soldadura FCAW es un proceso semiautomático, pero también se emplea para soldadura automática mecanizada.

Para el caso del FCAW; el alambre tubular está compuesto por una cobertura metálica que aloja materiales o polvos químicos fundentes que protegen el arco. Durante el soldeo se genera una escoria sobre la superficie del cordón de soldadura, el cual es muy fácil de retirar.

El proceso FCAW se distingue de otros procesos por arco por el uso de alambre de alimentación continua con la inclusión de materiales fundentes dentro de una cobertura del electrodo – alambre resultando en características de operación notablemente versátiles y con propiedades particulares en su acabado.

Se tiene dos tipos de aplicación FCAW; dependiendo de la protección del arco de soldadura contra la contaminación ambiental. Una es FCAW con autoprotección, mediante el uso de alambre tubular auto protegido por el núcleo de fundente. El otro tipo es con protección gaseosa adicional además de la acción del núcleo de fundente. Para ambos, el material del núcleo del alambre proporciona una escoria protectora sustancial durante la solidificación de la soldadura.

1.3.6.3. Almacenamiento

Los materiales de aporte en general se deben mantener con precauciones en su almacenamiento para que sus componentes o el recubrimiento no se dañe ni absorba humedad, pues de no ser así perderán sus propiedades.

1.3.6.4. Tipos y Propiedades de los materiales de aporte

- **Proceso de soldadura SMAW**

  Según Carrillo F. y Olivares E. (1998), de acuerdo al tipo de revestimiento, hay tipos de electrodos:

  - Celulósicos: Tienen alta penetración, se emplean en todas las posiciones y la escoria es delgada.
  - Rutílicos: Para baja y media penetración, pueden utilizar corriente alterna o continua, la escoria que dejan es densa.
  - Bajo hidrogeno: Bajo contenido de hidrogeno, de media penetración, arco suave, se emplean para todas las posiciones y para aceros de difícil soldabilidad.

  Algunos valores de las propiedades mecánicas y condiciones de mantenimiento de algunos electrodos se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. *Propiedades mecánicas y condiciones de mantenimiento.*

PROPIEDADES MECÁNICAS

Clasificación AWS	Valores mínimos	
	Resistencia a la tensión (lb/pulg2)	Límite de fluencia (lb/pulg2)
E60XX	62,000	50,000
E70XX	70,000	57,000
E80XX	80,000	67,000
E90XX	90,000	77,000
E100XX	100,000	87,000
E110XXa	110,000	95,000
E120XXa	120,000	107,000

a. En este tipo de electrodos se utiliza recubrimiento tipo bajo hidrogeno únicamente.

CONDICIONES DE MANTENIMIENTO*

AWS	Condiciones de mantenimiento		
	Ambiente	Bajo horno	Resecado
E6010/11	T° ambiente	No recomendado	No recomendado
E6012/13			
E6019/20	30+-10°C	12 a 24°C por encima de T° ambiente	1 hora a 135 +-15°C
E6022/27			
E7014/24			
E7027			
E7015/16	No recomendado	30 a 140°C por encima de T° ambiente	260 a 427°C 1 o 2 horas
E7018/7028			
E7018M/ 7048			

* Después de sacar del envase

Fuente: *Soldexa, s.f. ; Emagister, s.f.*

Clasificación AWS A5.1

Este método de clasificación de electrodos de acero suave está basado en el uso de un número de cuatro dígitos, precedido por la letra E de electrodo, siendo cada número según se muestra en la figura 6.

Tabla 3. ***Nomenclatura de Electrodos.***

Clasificación AWS A5.1 CELLOCORD AP : **E 6011** Electrodo Resistencia a la tensión en ksi Posiciones Tipo de recubrimiento y corriente	**Valores en parámetro "Posiciones"** **1:** Todas las posiciones. **2:** Filete plano y horizontal. **3:** Plana, horizontal y vertical descendente.	**Recubrimiento** **0:** Celulósico, sodio. **1:** Celulósico, Potasio. **2:** Rutílico, sodio. **3:** Rutílico, Potasio. **6:** Bajo hidrogeno, potasio. **8:** Bajo hidrogeno, polvo de hierro. **4:** Hierro en polvo. **7:** Hierro en polvo.

Fuente: *Soldexa, s.f. ; Emagister, s.f.*

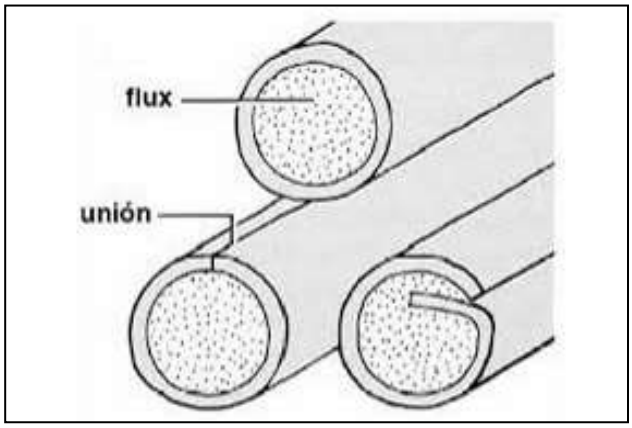
Existen también hojas técnicas que contienen todas las propiedades de los electrodos y que son entregables por el proveedor. (SOLDEXA, s.f.; EMAGISTER, s.f.).

- **Proceso de soldadura FCAW**

(Mauricio Marín., 2016) Los alambres se han generado para soldar aceros metálicos, para los aceros recubiertos de zinc y aluminizados usados en la actualidad en la industria automovilística y otros procedimientos más especializados.

Los alambres tubulares FCAW son confeccionados mediante una platina muy delgada de acero que pasa por una serie de ejes solidos moldeadores que generan su curvatura, luego la platina curvada se rellena con material de núcleo compuesto por gránulos de fundente químico, para luego sellarse mediante ejes solidos que moldean y comprimen el material del núcleo, luego el alambre tubular redondo se extruye para alargar sus dimensiones y comprimen aún más el núcleo hasta su tamaño comercial que será enrollado en carretes para su venta.

Figura 7. *Sección transversal de alambre FCAW.*



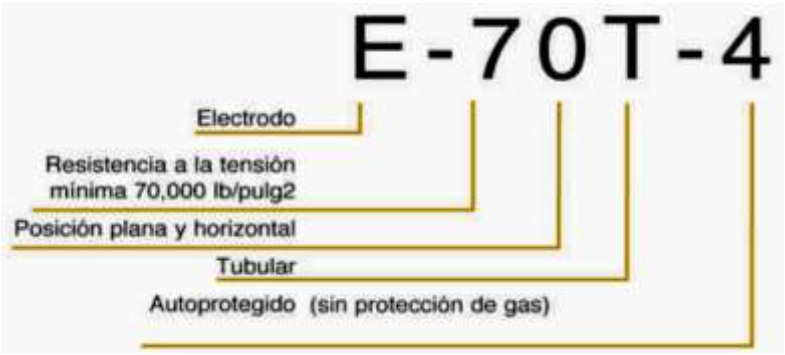
Fuente: *Mauricio Marin., 2016*

Clasificación AWS A5.1

(Mauricio Marin., 2016) Para el sistema de identificación de los tipos de electrodos de soldadura FCAW, la AWS proporciona la siguiente identificación:

La letra E significa electrodo, el primer número es la mínima resistencia a la tracción del metal depositado expresado en libras por pulgada cuadrada, el segundo digito puede ser 1 indicando que puede ser usado en todas las posiciones o un 0 que indica que puede ser usado solo en posición plana o filete horizontal, luego encontramos la letra T que designa que es un alambre tubular y por ultimo un guion y un sufijo que significa la polaridad de la operación, la composición química del metal de soldadura, el tipo de corriente, si requiere o no protección gaseosa y uso entre pases.

Figura 8. *Clasificación aportes FCAW.*



Fuente: *Mauricio Marin., 2016*

Los significados del sufijo son:

Tabla 4. ***Significado de sufijos en aportes FCAW.***

Clasificación AWS	Cantidad pasadas	Gas de protección	Corriente y polaridad
EXXT-1	Múltiples	CO_2	DCEP
EXXT-2	Única	CO_2	DCEP
EXXT-3	Única	Ninguno	DCEP
EXXT-4	Múltiples	Ninguno	DCEP
EXXT-5	Múltiples	CO_2	DCEP
EXXT-6	Múltiples	Ninguno	DCEP
EXXT-7	Múltiples	Ninguno	DCEN
EXXT-8	Múltiples	Ninguno	DCEP
EXXT-10	Única	Ninguno	*
EXXT-11	Múltiples	Ninguno	*
EXXT-G	Múltiples	*	*
EXXT-GS	Única	*	*

Fuente: *Mauricio Marin., 2016*

1.3.7. Calidad de las soldaduras

Un sistema de gestión de calidad para el caso de control de soldaduras es un sistema global de acciones, áreas, especificaciones, controles y medidas de mejora continua que aseguran un nivel mínimo de cumplimiento, eficiencia y funcionamiento no sólo de los productos terminados, sino también de los procesos, métodos, equipos, personas que nos llevaron a ese punto en el momento presente pero que también influirá en la proyección futura de la empresa. Así también nos ayuda a evitar o identificar defectos o problemas en las soldaduras.

- **Personal que realiza el control de calidad de Soldadura**

  Si bien el control de calidad compete a todas las partes del proceso de Soldadura, se necesita que dicho control sea llevado al menos por una persona debidamente capacitada o calificada; este es el “supervisor o inspector de Soldaduras”, debe estar capacitado en diferentes conocimientos del proceso de soldadura completo; incluyendo actividades antes, durante y después de la soldadura, así como de normativas aplicables, como ejemplo debe conocer:

- Materiales con sus propiedades y aplicaciones en instalaciones.
- Evaluación de soldadores y operadores de equipos.
- Equipos de soldadura y sus características.
- Métodos de soldadura y sus aplicaciones.
- Estándares o normas internacionales y nacionales, incluyendo términos, alcance y conceptos básicos.
- Inspección de discontinuidades y defectos de la soldadura y como prevenirlos o repararlos.
- Tratamientos térmicos pre y post- soldaduras.
- Lectura interpretación de planos constructivos.
- Experiencia en pruebas, ensayos, y la emisión de informes y registros.

- **Aplicación del control de calidad para Soldadura**

Tal como se citó antes; el control de calidad es un proceso constante que compete a todas las áreas; para su aplicación podemos resumirlo en 3 etapas:

Etapa 1: Antes de la Soldadura

Se debe capacitar a todo el personal involucrado en las operaciones de Soldadura indicando los puntos de inspección y toda la información contractual al servicio incluyendo especificaciones particulares del servicio, diseño, planos, instructivos, reportes, manuales, etc.

Se debe revisar los siguientes puntos:

Materiales

Revisar tanto materiales base como de aporte, con reportes de calidad y trazabilidad de acuerdo con lo requerido.

Equipos de Soldadura

Revisar que los equipos sean de las características, aplicaciones de acuerdo al requerimiento, asegurarse también de sus reportes de operatividad, calibración, y seguridad.

Soldadores y operadores

Revisar y validar sus calificaciones y experiencias, de acuerdo con los estándares aplicables.

Procedimientos de Soldadura

Revisar los WPS, su validación y vigencia y si están completos de acuerdo con los procesos operativos que se llevan a cabo.

Instalaciones

Revise su cumplimiento con los códigos y estándares nacionales e internacionales, y todas las medidas de seguridad e higiene.

Etapa 2: Durante la Soldadura

Se valida o revisa el proceso mediante una inspección visual, así también con la medición de tiempos y formas, destacando los siguientes puntos:

Procedimiento de Soldadura

Validar el uso de los procedimientos WPS aprobados (mismos que se revisaron en la etapa previa), cumpliendo con las variables esenciales citadas en este, además de formas predeterminadas, verificando posibles desviaciones en estos parámetros.

Soldadores y Operadores

Aplicación de los WPS aprobados y la aplicación de los conocimientos y la experiencia de sus operadores y las medidas de seguridad.

Etapa 3: Después de la Soldadura

Ya con los productos terminados, se debe verificar y determinar la aceptación o rechazo de los resultados finales, que incluirán:

Criterios de aceptación referido a normas aplicables

De acuerdo con los procedimientos de Soldadura y códigos aplicables, se determinarán los criterios de aceptación o rechazo en las Soldaduras, determinando los requisitos mínimos de calidad.

Ejecución de ensayos no destructivos

Son inspecciones visuales de las Soldaduras y ensayos aplicables según los contratos y códigos aplicables, pueden ser líquidos penetrantes, partículas magnéticas, radiografía, ultrasonido, prueba hidrostática etc. Se deben preparar informes donde se indiquen todos los puntos aprobados y rechazados de acuerdo con estándares preestablecidos.

Ejecución de ensayos mecánicos

A diferencia del anterior ocurren en menor porcentaje ya que alteran en cierta medida el producto, en estos ensayos se tomará muestras, realizando en ellas diferentes pruebas según lo requerido en el servicio.

Elaboración de registros e informes finales

Se evidencia documentalmente todo lo inspeccionado, desde los hallazgos, resultados de las pruebas, problemas y defectos; determinando las problemáticas y ventajas.

Se puede concluir además que el control de calidad para Soldadura es un proceso integral, necesario y lo que es más importante, no de corrección sino más bien de control y mejora continua.

1.3.8. Defectología

Conceptos básicos:

- **Discontinuidad:** interrupción física o de composición en la estructura del material.
- **Defecto:** es toda discontinuidad que afecta la calidad del material.
- **Falla:** defecto no admisible por el diseño que determina la no conformidad del producto.

(IES Cristóbal de Monroy s.f.) La calidad del material quedará entonces relacionada con la mayor o menor cantidad, tamaño y/o tipo, de defectos admisibles por el diseño.

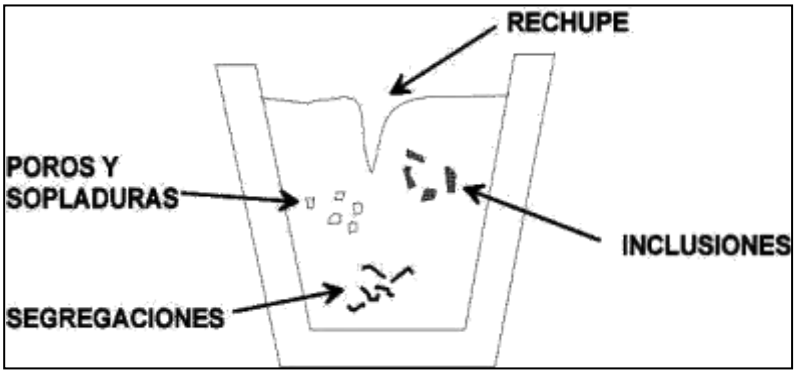
Cuando los defectos exceden los límites establecidos por el diseño se consideran "fallas" y determinan la no conformidad o rechazo del producto.

1.3.8.1. Discontinuidades inherentes al lingote.

Las discontinuidades inherentes al lingote son introducidas en el material básico como resultado de su producción inicial desde el mineral a los componentes en bruto.

Estas discontinuidades generalmente suben a la superficie del lingote y son eliminadas en esa primera etapa de fabricación.

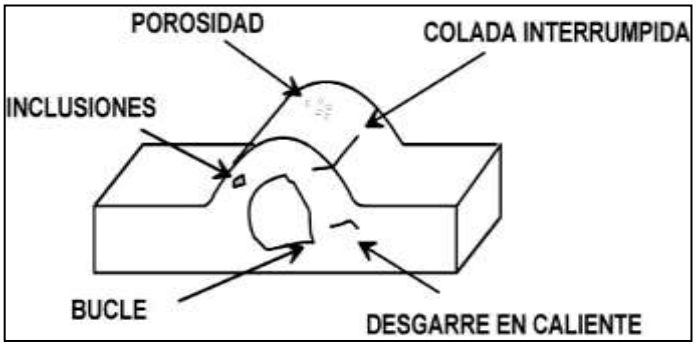
Figura 9. ***Discontinuidades en lingote de acero.***



Fuente: *"Defectología" IES Cristóbal de Monroy (s.f.).*

1.3.8.2. Discontinuidades inherentes a la fundición.

Figura 10. ***Discontinuidades en fundición.***



Fuente: *"Defectología" IES Cristóbal de Monroy (s.f.).*

- **Porosidad y sopladuras (Porosity and Blowholes)**
  - Origen: Burbujas de gas incluidas
  - Ubicación: Superficial y subsuperficial

- **Inclusiones (Inclusions)**
  - Origen: Arena, escoria y otras materias extrañas
  - Ubicación: Superficial y Subsuperficial

- **Fisuras de contracción (Shrink cracks)**
  - Origen: Diferentes tiempos de enfriamiento entre secciones de la pieza
  - Ubicación: Superficial y Subsuperficial en áreas de diferentes espesores

- **Desgarres en caliente (Hot tears)**
  - Origen: Fisuras que se desarrollan durante el enfriamiento
  - Ubicación: Superficial

- **Colada interrumpida (Cold shut)**
  - Origen: Enfriamiento del metal durante la colada
  - Ubicación: Superficial

- **Bucle (Misrun)**
  - Origen: El metal no llena la cavidad
  - Ubicación: Superficial y Subsuperficial

1.3.8.3. Discontinuidades inherentes en la soldadura

(IES Cristóbal de Monroy s.f.) A aquellas anomalías o irregularidades existentes en la unión o junta soldada se le denomina DEFECTOS DE SOLDADURA

Estos defectos pueden ser originados por distintas causas. Entre ellas cabe destacar:

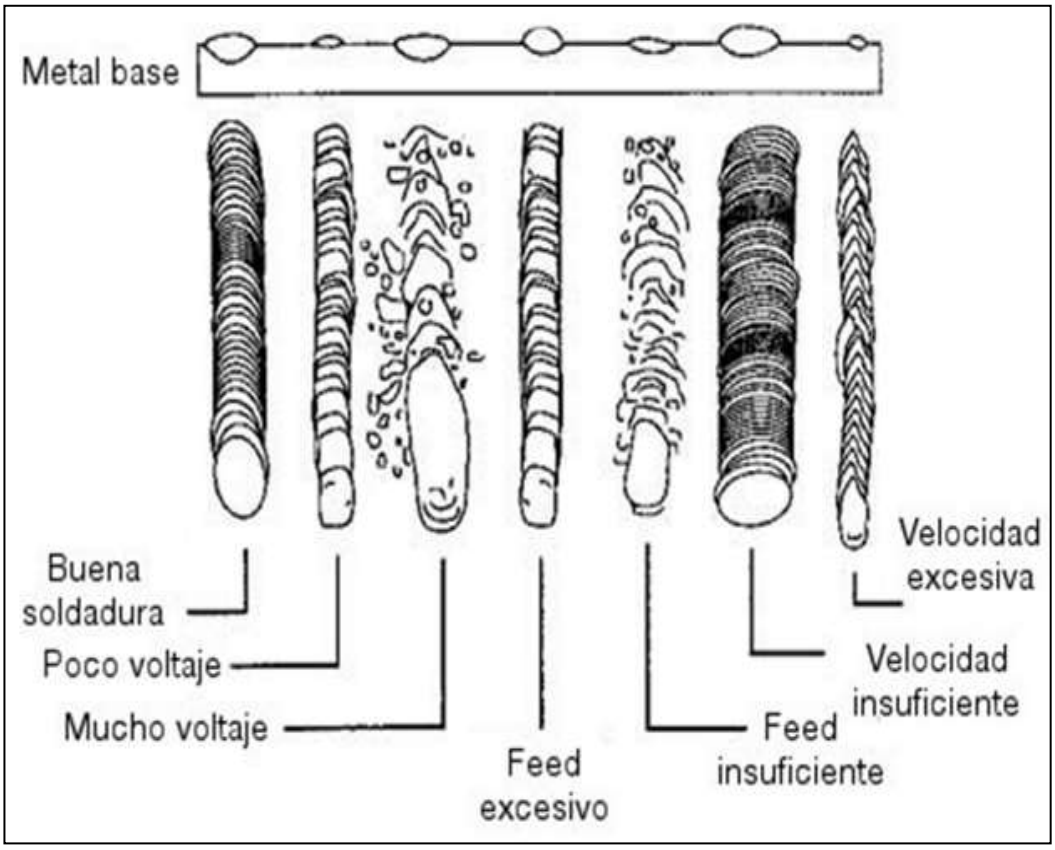
- La mala preparación o disposición de las piezas a unir

- La mala ejecución de la soldadura
- La mala soldabilidad del metal base
- La mala elección de los electrodos o del metal de aportación

Los principales defectos que se pueden encontrar en las uniones soldadas son las siguientes:

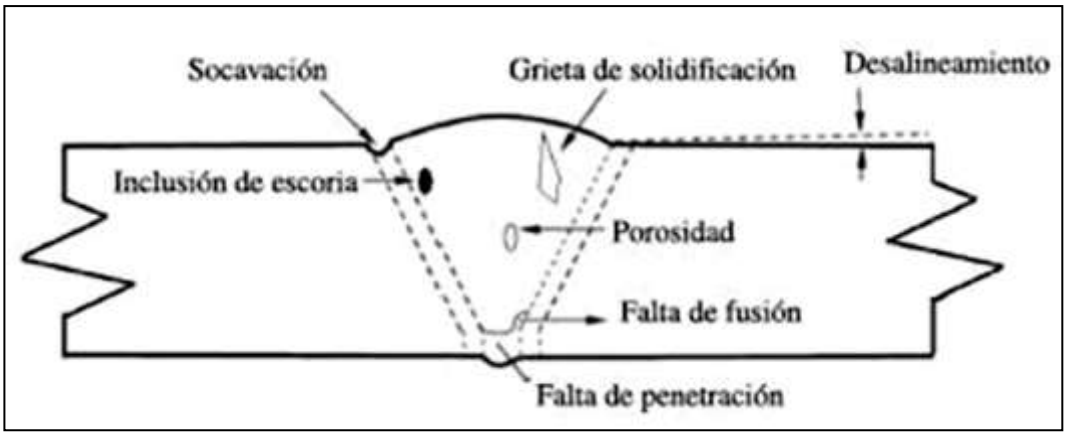
- Fisuras o grietas
- Poros o cavidades
- Inclusiones de escoria
- Falta de fusión y de penetración
- Defectos de forma
- Defectos no incluidos en los grupos anteriores.

Figura 11. ***Defectos en la soldadura.***



***Fuente**: areametalurgia s.f.*

Figura 12. *Defectos en sección transversal de soldadura.*



Fuente: *Ingeniare. s.f., 2013*

1.3.9. Tanques de almacenamiento según API 650

- **Tanques de almacenamiento**

  Recipiente para almacenamiento de líquidos a presión atmosférica o muy bajas presiones manométricas no mayores a 15 PSI y temperatura no mayor a 93°C.

- **Norma API 650 - Alcance**

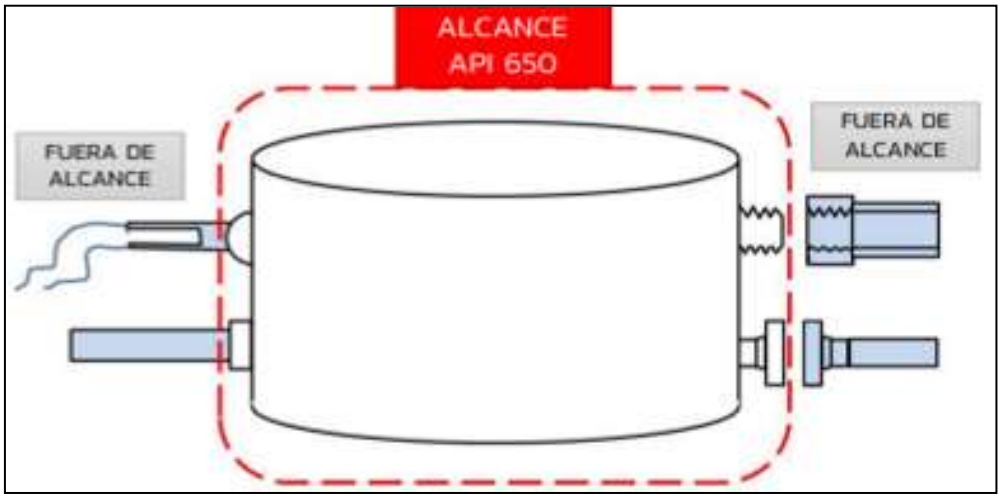
  (API 650, 2017) Esta norma establece los requisitos mínimos para el material, diseño, la fabricación, el montaje y la inspección de tanques de almacenamiento soldados, verticales, cilíndricos, sobre el suelo, cerrados y abiertos, en varios tamaños y capacidades para presiones internas que se aproximen a la presión atmosférica (presiones internas que no excedan el peso de las placas del techo). Esta norma se aplica solo a los tanques cuyo fondo completo está soportado uniformemente y a los tanques en servicio no refrigerado que tienen una temperatura máxima de diseño de 93 °C (200 °F).

  Esta norma proporciona a la industria tanques de seguridad adecuada y economía razonable para usar en el almacenamiento de petróleo, productos derivados del petróleo y otros productos líquidos. Esta norma no presenta ni establece una serie fija de tamaños de tanques permitidos; en cambio, tiene la intención de permitir que el Comprador seleccione el tamaño de tanque que mejor se adapte a sus necesidades. Esta norma tiene por objeto ayudar a los

Compradores y Fabricantes a ordenar, fabricar y montar tanques; no tiene la intención de prohibir a los Compradores y Fabricantes que compren o fabriquen tanques que cumplan con especificaciones distintas a las contenidas en esta norma.

API 650 cubre especificaciones para el total de instalaciones metálicas que forman parte del casco hermético del tanque e instalaciones soldadas a este.

Figura 13. ***Alcance y limitaciones de API650.***



Fuente: *J2 Mech s.j.*

- **Contenido de la Norma API 650**
  - Alcance
  - Referencias normativas
  - Términos y definiciones
  - Materiales
  - Diseño
  - Fabricación
  - Montaje
  - Métodos de inspección
  - Procedimientos de soldadura y calificación de soldadores
  - Marcado final
  - Anexos del A – Y (API650)

- **Partes de un tanque de acuerdo a API 650**

  La construcción de un tanque, abarca fases constructivas o partes del tanque

como:

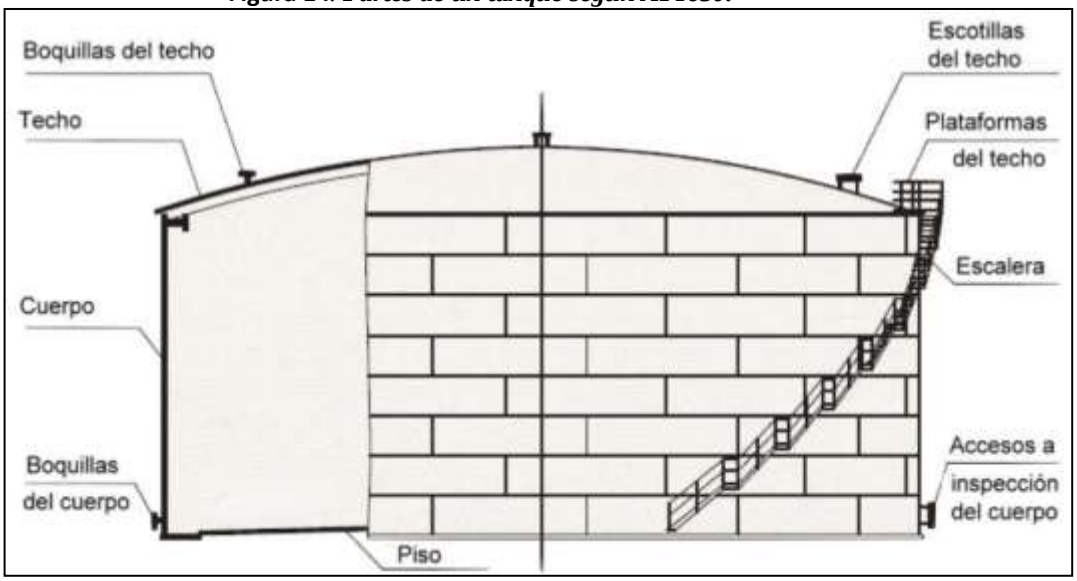
- 1.Fondo metálico de tanque
- Casco o envolvente metálica de tanque
- Techo metálico de tanque
- Estructuras metálicas internas de tanque
- Estructuras metálicas externas de tanque: Escaleras, barandas, soportes.
- Boquillas de conexión de tuberías de procesos de tanque.

Fuera de las partes citadas; y que no aplican a la presente investigación por ser de otras disciplinas adyacentes, externas; tenemos:

- Cimientos de agregados y concreto, impermeabilización de suelo, protección catódica, loza y dique de contención de concreto.
- Sistemas – tuberías contraincendios
- Sistemas eléctricos, control e instrumentación.

Para el presente trabajo de investigación abordaremos las partes N°1 al N°3 pues son fabricadas a partir de procesos de soldadura con mayor demanda de tiempo y costos por ser de mayores espesores, longitudes y formar parte hermética principal del tanque.

Figura 14. ***Partes de un tanque según API650.***



Fuente: *Davinia Gonzales 2018*

Figura 15. ***Construcción de tanques API650.***

Fuente: *Dtsi s.j.*

1.4. Formulación del Problema

¿Es factible mejorar la producción y calidad en construcción de tanques de almacenamiento con la determinación de un método de soldadura favorable como resultado de un análisis de estos métodos de soldadura?

1.5. Justificación e importancia del estudio

A. Económica

El uso de un método de soldadura más eficiente y de calidad, dará una mejora económica positiva para la empresa al ejecutar los servicios con menores costes productivos y en tiempos más cortos lo cual permitirá ofertar mejores propuestas económicas en sus proyectos compitiendo con otras empresas.

B. Tecnológica

El uso de un método de soldadura más eficiente y de calidad, generará uniones soldadas de mejor calidad y estética lo cual generará menores reparaciones o correcciones durante el proceso productivo.

Así también hará que los procesos productivos sean más actualizados con tecnologías modernas que posteriormente pueden digitalizarse o automatizarse mejorando más aún sus procesos.

1.6. Hipótesis

Ho: Mediante el análisis de métodos de producción de uniones soldadas no se logra un método que mejora la producción y calidad en la construcción de tanques de almacenamiento de hidrocarburos.

Ha: Mediante el análisis de métodos de producción de uniones soldadas si se logra un método que mejora la producción y calidad en la construcción de tanques de almacenamiento de hidrocarburos.

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivo general

Analizar métodos de producción de soldaduras para mejorar la producción y calidad de uniones soldadas en la construcción de tanques de almacenamiento de hidrocarburos logrando una mayor utilidad en los proyectos.

1.7.2. Objetivos específicos

- Realizar pruebas experimentales de los métodos de producción de soldaduras SMAW y FCAW.
- Analizar los parámetros de producción y calidad de los métodos de soldadura SMAW y FCAW.
- Realizar evaluación técnica comparativa entre métodos SMAW y FCAW.
- Realizar evaluación económica comparativa entre métodos SMAW y FCAW.

II. MATERIAL Y METODO

2.1. Tipo y Diseño de Investigación

Tipo de Investigación

Según la finalidad que persigue, es una investigación aplicada ya que se efectúa directamente sobre el problema, generando un conocimiento, basándose en hallazgos técnicos de una investigación básica, enlazando la teoría y el producto; con la intención de resolver una necesidad de mejora de la producción y control de los procesos para obtener una mayor utilidad en los proyectos sin incumplir las Normas constructivas; esto mediante el análisis de nuevos métodos de producción de uniones soldadas en tanques de almacenamientos de hidrocarburos.

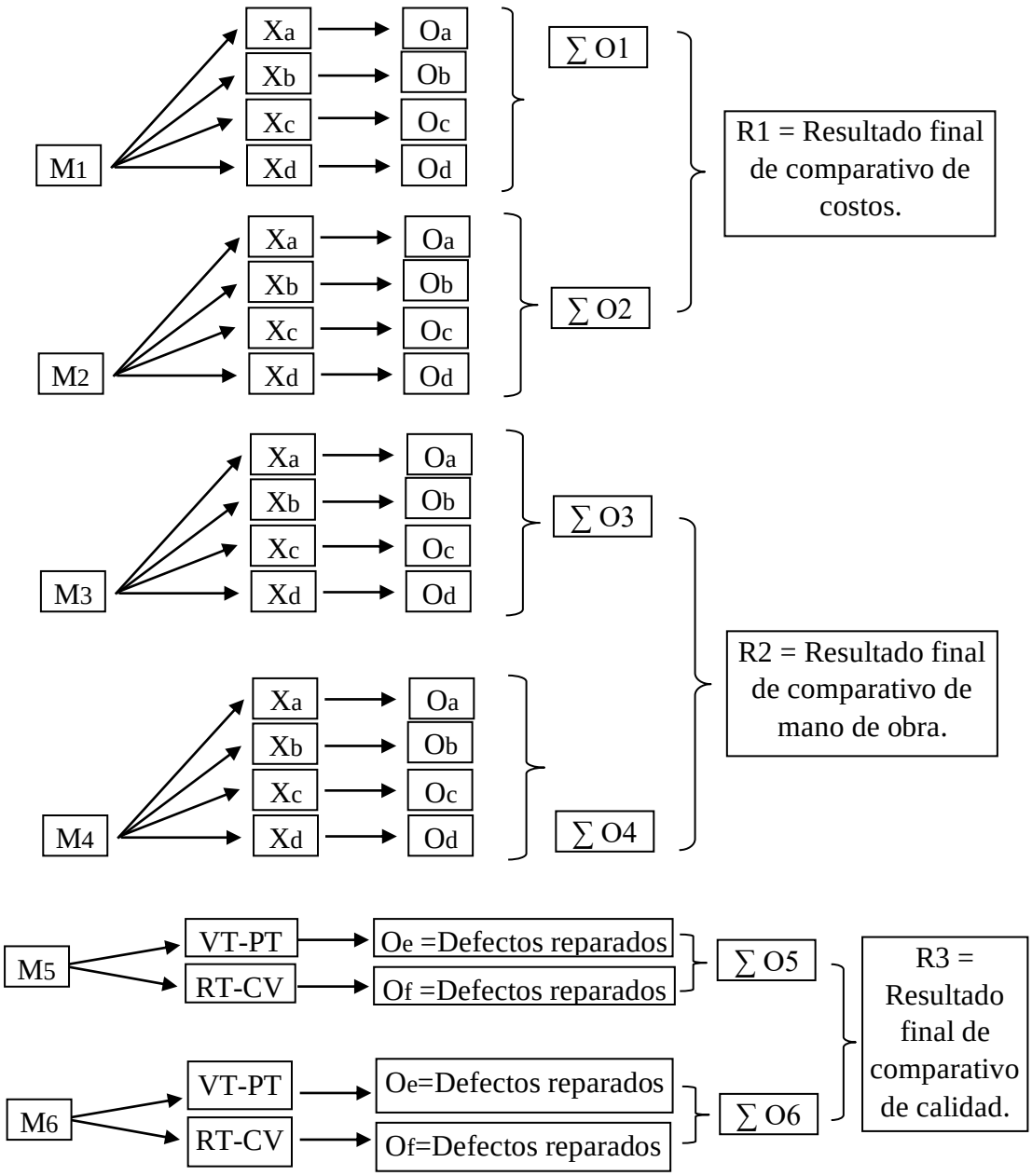
Según el enfoque de investigación, es una investigación cuantitativa porque los aspectos susceptibles de cuantificación (datos de pre y post test) servirán de pruebas estadísticas para su análisis.

Según el nivel o alcance, es una investigación experimental debido que se realizará una toma de datos durante la producción y se hará un análisis para comparar los procesos y elegir las condiciones óptimas con mejores resultados para obtener el método de producción más rentable.

Según el marco en que tiene lugar; es una investigación de campo; pues el total de pruebas son insitu sobre la marcha de la obra donde aplicaremos los métodos de producción.

Diseño

El diseño utilizado fue experimental comparativo, el cual parte de la consideración de dos o más investigaciones descriptivas simples; esto es, recolectar información relevante en varias muestras con respecto a un mismo fenómeno o aspecto de interés y luego caracterizar este fenómeno en base a la comparación de los datos recogidos, pudiendo hacerse esta comparación en los datos generales o en una categoría de ellos. El esquema fue el siguiente:



De las soldaduras en procesos SMAW por electrodo revestido y FCAW con alambre tubular con núcleo fundente y protección gaseosa; de 2 tanques construidos por MyC Pariñas SAC; se tomó una base de datos, donde se tiene:

M1, M2, M3, M4, M5 y M6: Representan las muestras de las unidades de análisis (Producción y calidad):

- **M1:** Costo de soldadura en tanque de proceso SMAW.
- **M2:** Costo de soldadura en tanque de proceso FCAW.

- **M3:** Mano de obra empleada en soldadura de tanque de proceso SMAW.
- **M4:** Mano de obra empleada en soldadura de tanque de proceso FCAW.
- **M5:** Calidad de soldadura en tanque de proceso SMAW.
- **M6:** Calidad de soldadura en tanque de proceso FCAW.

Xi, Xa y Xb: Variables de estudio; siendo para cada X:

- **Xa:** Total de soldadura empleada en uniones verticales de tanque.
- **Xb:** Total de soldadura empleada en uniones horizontales de tanque.
- **Xc:** Total de soldadura empleada en uniones de fondo de tanque.
- **Xd:** Total de soldadura empleada en uniones de techo de tanque.
- **VT-PT:** Inspección visual y líquidos penetrantes según API 650.
- **RT-CV:** Inspección por radiografía industrial y cámara de vacío según API 650.

Oa, Ob, Oc, Od, Oe, Of: resultados de costos, Mano de obra y reparaciones.

$\sum$ **O:** Sumatoria de costos, mano de obra y reparaciones parciales.

R: Resultado final de comparativo de costos, mano de obra y reparaciones de las uniones soldadas.

Finalmente se comparó las observaciones o resultados finales, para analizar las diferencias y obtener conclusiones respecto lo observado.

2.2. Población y Muestra

2.2.1 Población

Para la construcción de los 2 tanques de almacenamiento de 41m de diámetro cada uno y 17 m de altura; se tuvo una población total por cada tanque de:

1. Fondo metálico de tanque: 166 juntas soldadas con un total de 966 metros lineales.
2. Uniones verticales de casco o envolvente metálica de tanque: 161 juntas soldadas con un total de 386.4 metros lineales.
3. Uniones horizontales de casco o envolvente metálica de tanque: 10 juntas soldadas con un total de 1288 metros lineales.

4. Techo metálico de tanque: 166 juntas soldadas con un total de 966 metros lineales.

2.2.2 Muestra

A. En la presente investigación se trabajó con 80 uniones soldadas de muestra por cada proceso de soldeo SMAW y FCAW para hallar los ratios de producción.

- 30 uniones soldadas en el casco de tanque
- 30 uniones soldadas en el fondo de tanque
- 20 uniones soldadas en el techo de tanque

B. Verificación del 100% de uniones con su generalización de eficiencias de acuerdo a los ratios encontrados se compararon los métodos de soldadura SMAW y FCAW en el 100% de juntas, en cuanto a las variables:

- **Producción:** En cada proceso según el consumo de materiales de aporte, gases combustibles y mano de obra.
- **Calidad:** Total de uniones reparadas por defectos.

El total de juntas corresponden a: juntas de casco, juntas de fondo y juntas de techo.

C. También se tomaron 8 probetas de plancha de acero ASTM A36; de 30cm de largo y 12.7mm de espesor (4probetas por cada proceso) como muestras para determinar facilidades de aplicación por cada proceso de soldadura SMAW y FCAW; en las condiciones normales de obra (viento, polvo).

2.3. Variables, operacionalización

- **Variable independiente**

  Métodos de soldadura SMAW y FCAW en la construcción de tanques de almacenamiento de hidrocarburos según norma API 650.

- **Variable dependiente**

  Mejora de la producción y calidad.

- **Operacionalización**

Tabla 5. ***Matriz de operacionalización***

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS
INDEPENDIENTE Método de soldadura 1 y Método de soldadura 2	Método de soldadura SMAW Método de soldadura FCAW	Eficiencia de depósito de soldadura	Observación
		Facilidades en su aplicación	
DEPENDIENTE Producción y calidad	Costo	- Material de soldadura consumido - Días de mano de obra	Observación y medición de tiempos.
	Defectos y reparaciones	Número de defectos, reparaciones	

2.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos, Validez y Confiabilidad

2.4.1. Técnicas de Recolección de Datos.

Se utilizó la técnica de la observación y medición. Los datos se recogieron en tres momentos:

- Uniones soldadas en proceso SMAW en Tanque N°1 durante la ejecución de obra.
- Uniones soldadas en proceso FCAW en en Tanque N°2 durante la ejecución de obra.
- Se realizó una inspección de las uniones soldadas de acuerdo al criterio de aceptación de código API 650 realizando ensayos de inspección visual, líquidos penetrantes, radiografía industrial y cámara de vacío, para determinar su aceptación, registrándose sus datos en registros.

2.4.2. Instrumentos de Recolección de Datos.

Se usó registros como: Registro de producción registro de pruebas de calidad de soldaduras.

- Para las mediciones se empleó cinta métrica y cronometro

- Los registros se adjuntan en los anexos 5, 6, 7, 8, 9, 10

2.4.3. Validez y Confiabilidad

Esta investigación y datos recopilados ha sido revisada y contrastada por profesionales especialistas calificados de acuerdo a lo descrito por la norma API 650 además de los ingenieros supervisores de la empresa ejecutora quienes validaron los datos para uso de su programación logística (compras y tiempos) de obra.

Al ser datos recolectados en varias muestras reales en obra, con respecto a un aspecto de interés se puede caracterizar este fenómeno coherente aplicativo para otros casos.

2.5. Procedimiento de Análisis de los Datos.

En esta investigación se analizó los porcentajes de depósito, facilidades de operación, costo de materiales y tiempos en los procesos SMAW y FCAW durante la confección de 2 tanques para luego de una evaluación técnica y económica comparativa obtener los resultados.

También se hizo una evaluación comparativa del número de defectos y reparaciones generadas en los procesos SMAW y FCAW para obtener los resultados.

2.6. Criterios Éticos

La aplicación se basa en un escenario real estadístico con el cual se desea cumplir los objetivos propuestos.

2.7. Criterios de Rigor Científico

Se selecciona los datos que pueden ser medidos, comprobados y comparables entre los procesos de soldeo en variables de cantidad, tiempo y calidad.

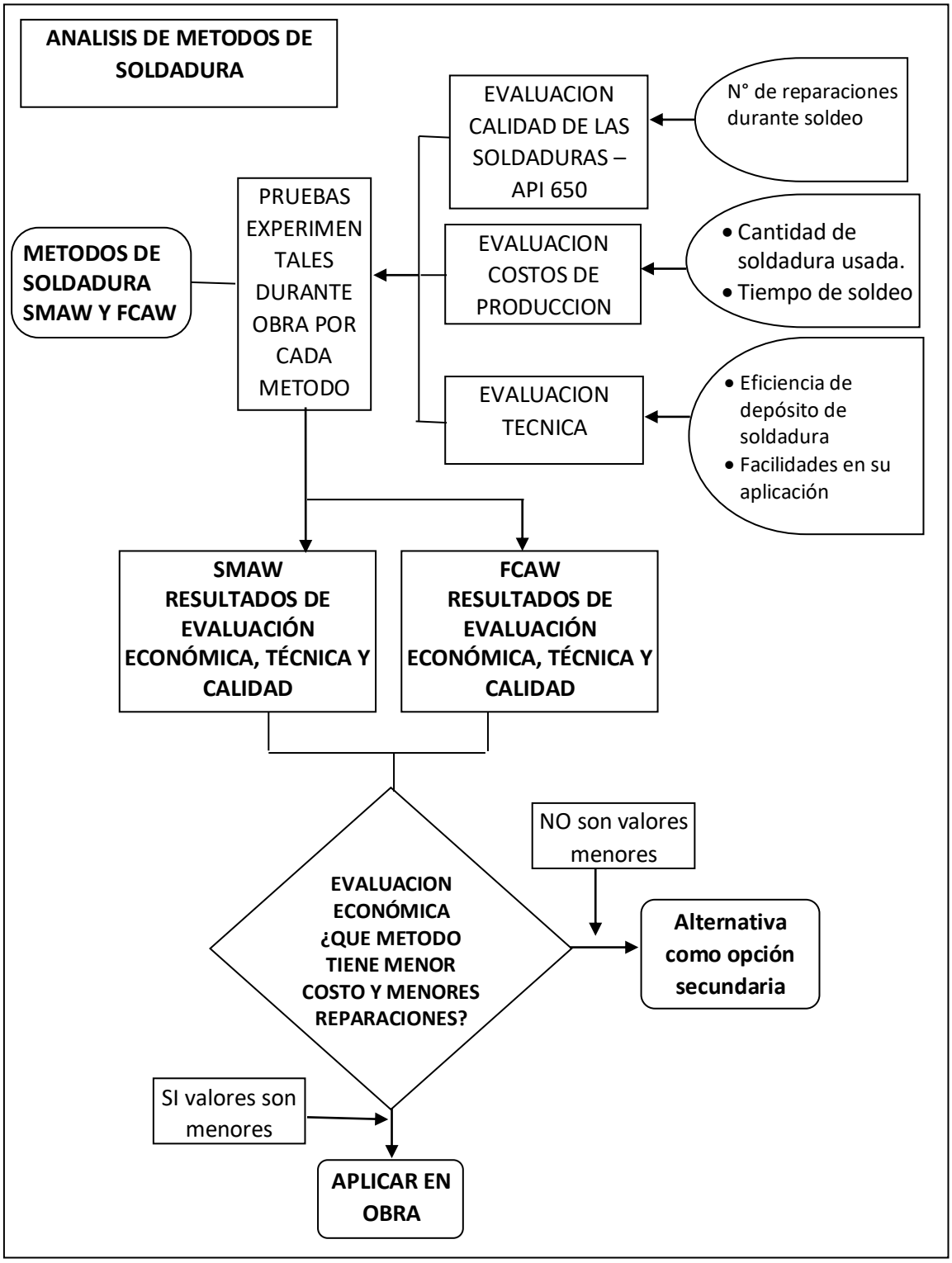
Los datos medibles son contrastados para hallar un promedio estadístico que permita la comparación unificada.

III. RESULTADOS

3.1. Tablas y figuras de resultados

3.1.1. Pruebas experimentales de los métodos de soldaduras SMAW y FCAW

Diagrama de procesos:



Las soldaduras analizadas forman parte de la construcción de 2 tanques de almacenamiento de hidrocarburos según norma API 650; tanques de capacidad 160000 barriles, 41m de diámetro y 17m de altura; confeccionados con planchas de acero al carbono ASTM A36; centrándonos solo en la aplicación de soldadura y no contemplan aspectos como:

- Preparación, esmerilado, limpieza de unión.
- Armado, apuntalado de uniones.
- Tratamientos térmicos y ensayos de materiales.
- Cualquier otro proceso ajeno al soldeo como operación para deposición de metal por soldadura.

Se tomaron 80 uniones soldadas de cada tanque para el análisis de producción en ratios; según:

- 30 uniones soldadas en el casco de tanque
- 30 uniones soldadas en el fondo de tanque
- 20 uniones soldadas en el techo de tanque

El 100% de uniones se analizaron para determinar la eficiencia de calidad en cada método.

También 8 probetas para determinar la facilidad de aplicación en cada proceso.

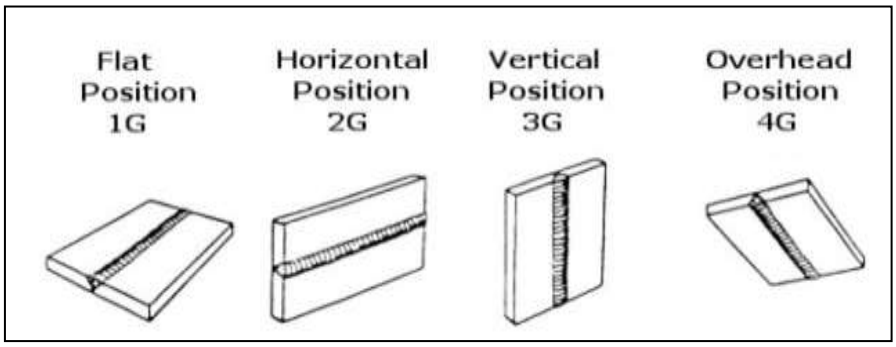
Mediciones

- De las 80 soldaduras de muestra por cada proceso durante la construcción de los tanques; se realizaron pruebas experimentales para la toma de datos reales haciendo registro de valores:
  - Rendimiento de electrodos por longitud de soldadura producida: Con un rango de amperajes estandarizados según procedimiento especifico (anexo 11); se midió en 20 muestras cuanto de soldadura en longitud produce un electrodo, resultando un promedio de 10cm. Para SMAW y 30m por un rollo para FCAW.
  - Eficiencia de depósito en número de pases necesarios para cubrir un determinado espesor de plancha de acero: Se verificó con cuantos pases de soldadura exterior e interiormente de la plancha se logra culminar la junta, los resultados se muestran en el punto 3.1.3.

- Tiempo empleado en consumirse un electrodo o alambre: Con parámetros eléctricos estandarizados durante soldeo según procedimiento especifico (anexo 12). Se midió con un cronometro en 20 muestras, el tiempo en que se consume un electrodo para SMAW generando los 10cm de longitud promedio y el tiempo que se consume el alambre para generar 1m de soldadura FCAW.

- También se tomó un muestreo de 8 probetas de plancha de acero ASTM A36; de 30cm de largo y 12.7mm de espesor para determinar facilidades de aplicación por cada proceso de soldeo (4 probetas para SMAW y 4 probetas para FCAW) en las condiciones normales de obra (viento, polvo).
- En las 4 probetas se probaron las posiciones plana, vertical, horizontal y sobre cabeza en cada probeta.

Figura 16. *Posiciones de soldadura.*



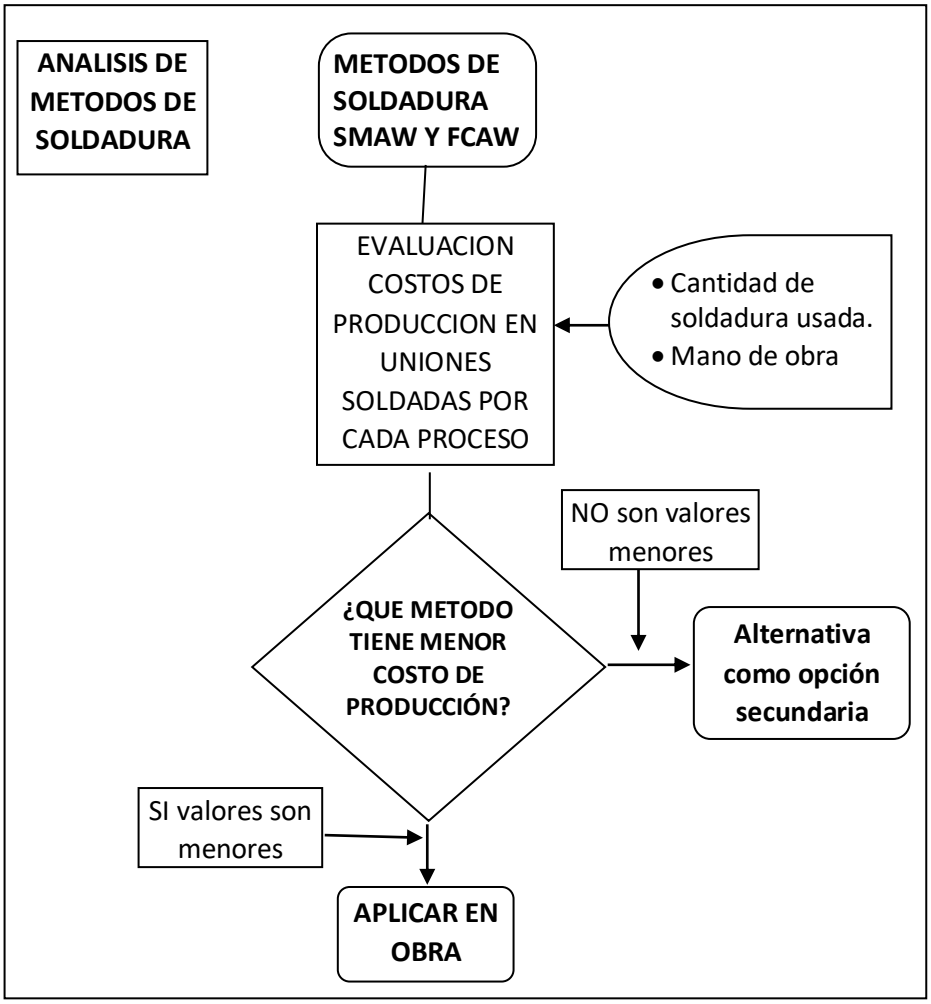
Fuente: *Dtsi s.j.*

- Los resultados en las 4 probetas fueron aceptables tanto por inspección visual y radiográfica.
- El total de soldaduras fueron ejecutadas por soldadores calificados de acuerdo a norma API 650 y ASME IX; así también la toma de datos fue ejecutada por inspector calificado por la norma AWS.

3.1.2. Análisis de los parámetros de producción y calidad de los métodos de soldadura SMAW y FCAW.

3.1.2.1. Parámetros de producción

Diagrama de procesos:



Del análisis de métodos de soldadura mediante pruebas experimentales de los procesos SMAW por electrodo revestido y FCAW con alambre con núcleo fundente y protección gaseosa; durante la construcción de 2 tanques de 41m de diámetro cada uno soldado con un proceso distinto, se muestran los resultados:

A. **Evaluación económica – costos por cantidad de soldadura:** El precio del material de aporte FCAW en la confección del total de soldaduras del tanque de 41m de diámetro y 17m altura es menor que el precio del aporte SMAW.

- Costo de soldadura SMAW: S/107853.6
- Costo de soldadura FCAW: S/103703.4
- Diferencia: S/4150.2 de costo de soldadura.

B. **Evaluación económica – Mano de obra:** La mano de obra empleada por FCAW en confección del total de soldaduras del tanque de 41m de diámetro es menor que el tiempo empleado por el proceso SMAW.

- Costo de soldadura SMAW: 836.4 días laborables de 8horas c/u.
- Costo de soldadura FCAW: 263.1 días laborables de 8horas c/u.
- Diferencia: 573.3 días laborales de 8horas c/u.

Tabla 6. ***Resumen de costos y tiempos en soldadura Proceso SMAW***

AREA DE TANQUE		PROCESO SMAW - ELECTRODO REVESTIDO			
		N° latas requeridas	Costo de soldadura	N° de horas (1 soldador)	N° de dias (8hrs * 1 soldador)
1	CASCO - UNIONES VERTICALES	60.72	18945	1214	151.8
2	CASCO - UNIONES HORIZONTALES	218.96	68316	4379.2	547.4
3	UNIONES DE FONDO DE TANQUE	33	10545.9	614.75	76.8
4	UNIONES DE TECHO FLOTANTE DE TANQUE	32.2	10046.7	483.01	60.4
		COSTO Total S/:	107853.6	TIEMPO Total (dias):	836.4

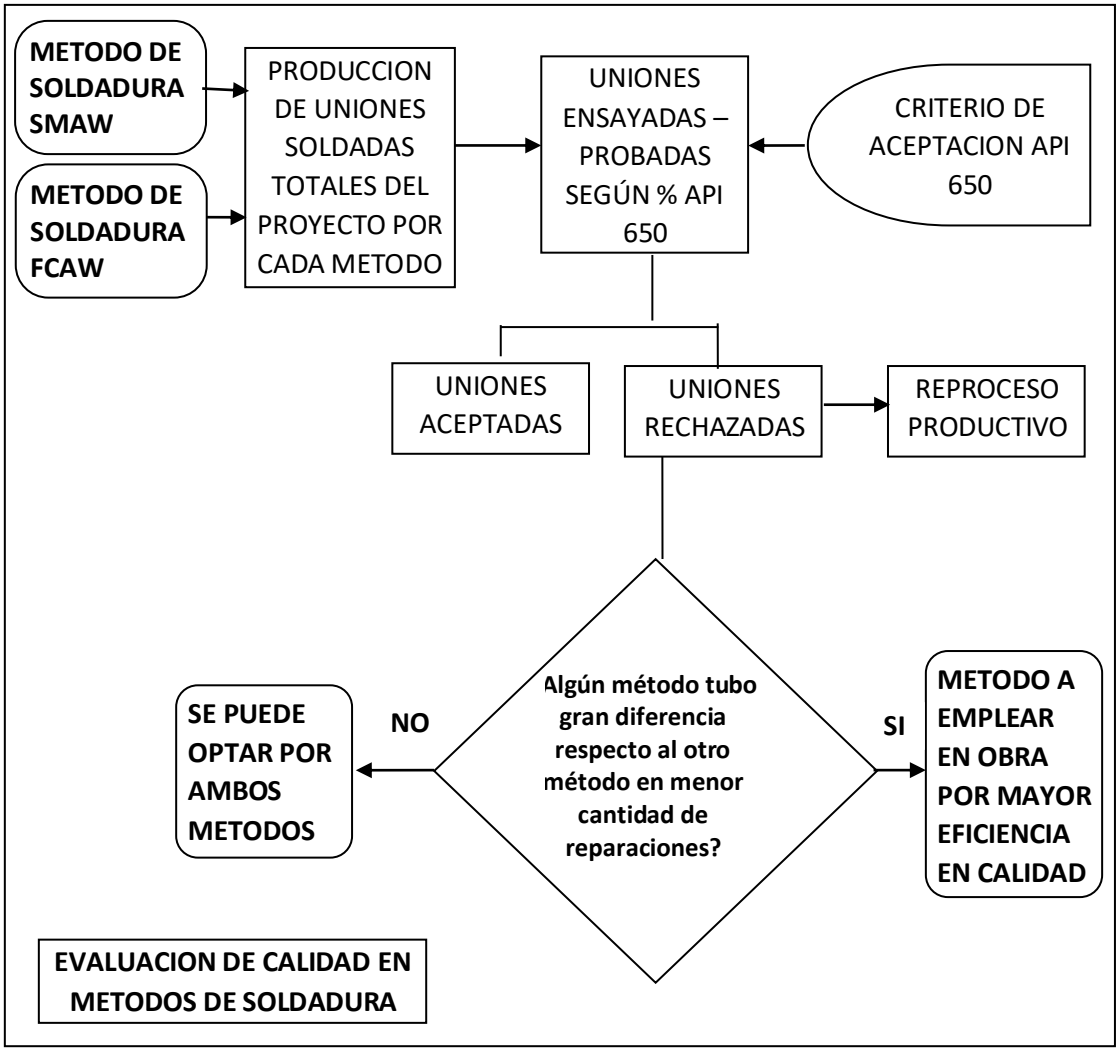
Tabla 7. ***Resumen de costos y tiempos en soldadura Proceso FCAW***

AREA DE TANQUE		PROCESO FCAW - ALAMBRE TUBULAR CON PROTECCION GASEOSA				
		N° Rollos	N° de Botellas de gas	Costo de soldadura	N° de horas (1 soldador)	N° de dias (8hrs * 1 soldador)
1	CASCO - UNIONES VERTICALES	49.68	46.58	19297.6	397.44	49.7
2	CASCO - UNIONES HORIZONTALES	158.85	148.93	61704.6	1270.83	158.9
3	UNIONES DE FONDO DE TANQUE	33.1	30.19	12776.8	266.49	33.3
4	UNIONES DE TECHO FLOTANTE DE TANQUE	25.42	24.15	9924.4	169.48	21.2
			COSTO Total S/:	103703.4	TIEMPO Total (dias):	263.1

En el Anexo N°3 se muestran las tablas de detalle de ratios y costos y tiempos individuales por partes del tanque

3.1.2.2. Parámetros de calidad

Diagrama de procesos:



La calidad de la soldadura expresada en datos medibles para determinar el método de soldadura de mayor calidad; se determina por el número de defectos y reparaciones encontradas al realizar ensayos no destructivos a las uniones soldadas.

Para este caso se aplicó el criterio de aceptación por inspección visual descrito en el punto 8.5 de la norma API650 (anexo N°1) y para radiografía industrial el punto 8.1.5 de la norma API650 (anexo N°2) del código de construcción de tanques API 650.

Además, se determinó durante las pruebas experimentales que las reparaciones de defectos implican tiempos extras como:

- Horas hombre del soldador, esmerilador y ayudante: 1.5 horas hasta 8 horas aproximadamente c/u según la ubicación del defecto (altura, inaccesible, corroboración del cliente etc).
- Horas hombre del supervisor de construcción y seguridad para comunicar al cliente las reparaciones y permisos de trabajos para ejecutarlas.
- Horas máquina de equipos como grúas, plataformas móviles, andamios etc.

  Entonces a mayor probabilidad de reparaciones mayor será el gasto económico e incremento del tiempo de obra.

Los defectos y reparaciones generados durante la soldadura por método FCAW del tanque de 41m de diámetro es menor que las reparaciones generadas durante el soldeo por proceso SMAW.

Los defectos fueron detectados por inspección visual, líquidos penetrantes, radiografía industrial y prueba de vacío.

- Defectos y reparaciones de soldadura SMAW: 112 defectos y reparaciones detectadas por ensayos.
- Defectos y reparaciones de soldadura FCAW: 13 defectos y reparaciones detectadas por ensayos.
- Diferencia: 99 defectos y reparaciones.

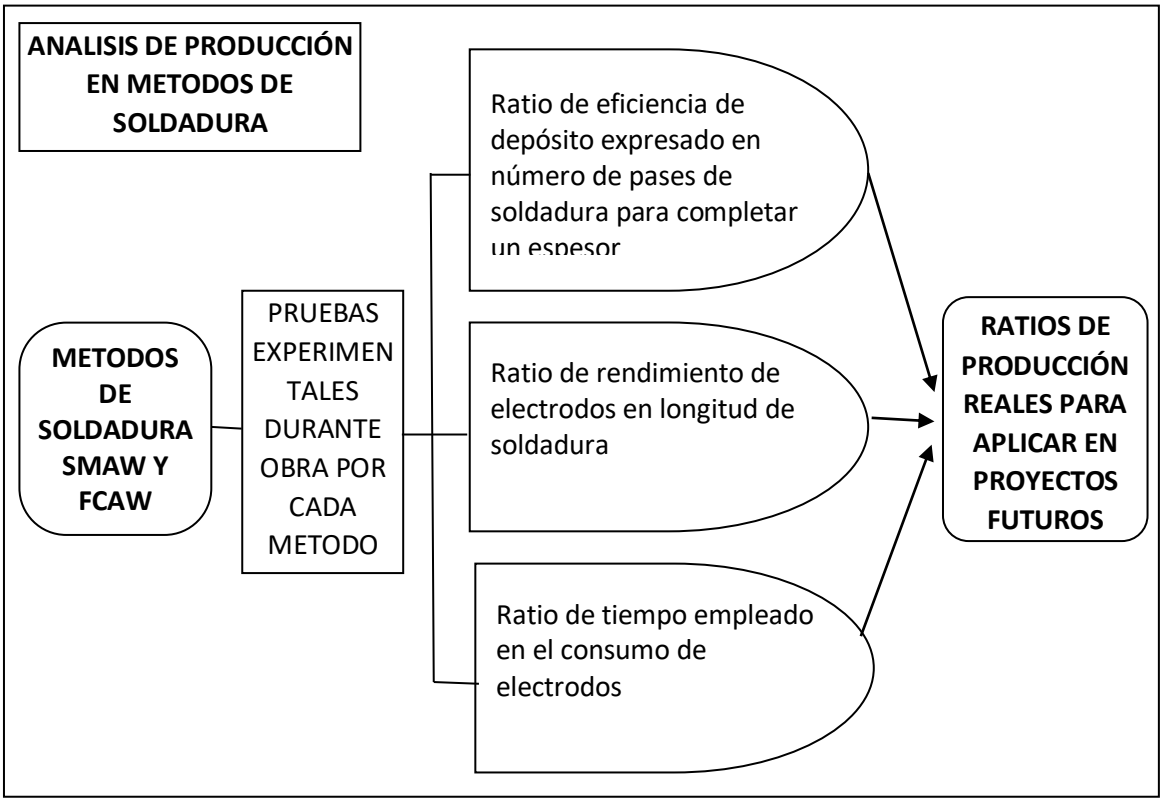
Tabla 8. ***Resumen de reparaciones en soldadura Procesos SMAW - FCAW***

AREA DE TANQUE		REPARACIONES EN SOLDADURAS SMAW - FCAW			
		Reparaciones SMAW		Reparaciones FCAW	
1	CASCO - UNIONES VERTICALES	28		3	
2	CASCO - UNIONES HORIZONTALES	33		5	
3	UNIONES DE FONDO DE TANQUE	31		3	
4	UNIONES DE TECHO FLOTANTE DE TANQUE	20		2	
		TOTAL:	112	TOTAL	13

En el Anexo N°3 se muestran las tablas de detalle de defectos y reparaciones individuales por partes del tanque.

3.1.3. Evaluación técnica comparativa de los procesos SMAW y FCAW

Diagrama de procesos:



A. **Eficiencia de depósito:** Según la tabla N°1; los porcentajes de eficiencia de depósito son mayores para el FCAW siendo 88% y SMAW el 55%.

Para nuestro caso práctico; se midió según el número de pases de soldadura para completar una unión.

Se tomaron mediciones en 80 juntas de distintos espesores para cada proceso de soldadura; tomando los espesores más altos del tanque: 25mm, 22mm, 19mm.

El proceso de soldadura FCAW tuvo un mayor depósito de soldadura que el SMAW; cubriendo espesores por completo con aproximadamente 1/3 del número de pases un encima de otro que necesita hacer el SMAW para culminar la junta.

Figura 17. ***Pases de soldadura en una unión***

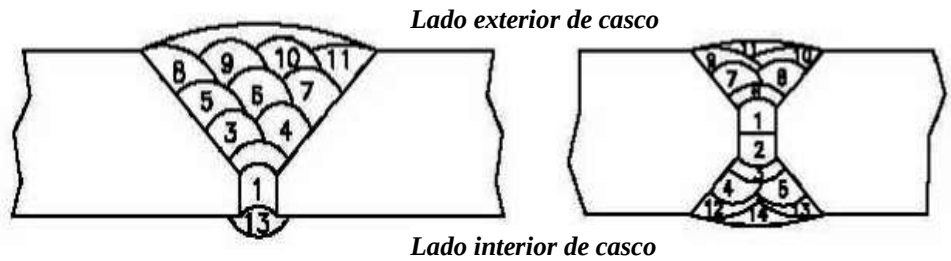


Tabla 9. ***Ratios de número de pases de soldaduras en métodos SMAW - FCAW***

N° de pases de soldadura SMAW			
Item	espesor (mm)	N° pases exterior	N° pases interior
1	25	10	6
2	25	10	5
3	25	11	6
4	25	10	7
5	25	10	6
6	25	10	6
7	25	11	6
8	25	10	5
9	25	9	6
10	25	10	6
PROMEDIO		10.1	5.9

N° de pases de soldadura SMAW			
Item	espesor (mm)	N° pases exterior	N° pases interior
1	22	8	5
2	22	8	5
3	22	9	5
4	22	8	4
5	22	7	5
6	22	8	5
7	22	8	6
8	22	8	5
9	22	9	5
10	22	8	5
PROMEDIO		8.1	5

N° de pases de soldadura SMAW			
Item	espesor (mm)	N° pases exterior	N° pases interior
1	19	6	4
2	19	6	4
3	19	7	4
4	19	6	4
5	19	6	4
6	19	6	4
7	19	6	4
8	19	6	5
9	19	5	4
10	19	6	4
PROMEDIO		6	4.1

N° de pases de soldadura FCAW			
Item	espesor (mm)	N° pases exterior	N° pases interior
1	25	3	2
2	25	3	2
3	25	3	2
4	25	3	2
5	25	3	2
6	25	3	3
7	25	3	2
8	25	3	2
9	25	3	2
10	25	3	2
PROMEDIO		3	2.1

N° de pases de soldadura FCAW			
Item	espesor (mm)	N° pases exterior	N° pases interior
1	22	3	2
2	22	3	2
3	22	3	2
4	22	3	2
5	22	3	2
6	22	3	2
7	22	3	2
8	22	3	2
9	22	3	2
10	22	3	2
PROMEDIO		3	2

N° de pases de soldadura FCAW			
Item	espesor (mm)	N° pases exterior	N° pases interior
1	19	3	1
2	19	3	1
3	19	3	1
4	19	3	1
5	19	3	1
6	19	3	1
7	19	3	2
8	19	3	1
9	19	3	1
10	19	3	1
PROMEDIO		3	1.1

El total de ratios se muestran en el Anexo 3

B. Facilidades en su aplicación:

- **FCAW - Soldadura por arco con núcleo fundente:** Es un proceso semiautomático con aporte de alambre con núcleo de protección y además protección de gas. Se eligió este proceso porque su protección del núcleo de alambre más la protección gaseosa del arco de soldadura dio buenos resultados para las grandes corrientes de viento existentes en la zona de Talara – refinería cercana al mar. Se confeccionaron 4 probetas con resultados aceptables en inspección visual y radiografía.

  - Se confeccionó 4 probetas de plancha Acero al carbono A36, espesor de 12.7mm, soldadas por ambos lados cada una en distintas posiciones; posición vertical, horizontal, plana y sobre cabeza.

  No se observó dificultad en la aplicación.

- **SMAW - Soldadura por Electrodo Revestido:** Es un proceso manual, fácil de manejar; aunque genera depósitos bajos respecto a los otros procesos, se eligió este proceso porque tiene buenos resultados manteniendo el arco a pesar de las corrientes de viento. Se confeccionaron probetas con resultados aceptables. Se confeccionaron 4 probetas con resultados aceptables en inspección visual y radiografía.
  - Se confeccionó 4 probetas de plancha Acero al carbono A36, espesor de 12.7mm, soldadas por ambos lados cada una en distintas posiciones; posición vertical, horizontal, plana y sobre cabeza.

  No se observó dificultad en la aplicación.

Por los resultados aceptables de 8 probetas (muestras) de soldadura en las condiciones ambientales de obra y posiciones de soldadura y comentarios positivos de los 2 soldadores que aplicaron (fácil control de arco, deposito, avance, variables eléctricas); se determinó que tanto el proceso SMAW como FCAW son de fácil manipulación en su aplicación, calibración de parámetros eléctricos, cebado inicial de arco etc.

Figura 19. *Soldeo de probetas para verificar facilidades de aplicación en obra.*

Figura 18. *Inspección de probetas para verificar calidad de soldaduras.*

Figura 20. *Inspección visual de probetas para verificar*

3.1.4. Evaluación Económica comparativa

Con lo descrito en los putos 3.1; 3.2 y 3.3; se determinó los beneficios de FCAW sobre SMAW. A continuación, se muestra un comparativo por metro lineal de soldadura incluyendo; costo de electrodos y mano de obra. De acuerdo a los precios promedio de mano de obra por horas en la ciudad de talara para el personal de una cuadrilla de soldadura, tenemos:

- Soldador: Sueldo Mensual promedio: S/7000, en proporción equivale a S/36.45 por hora laboral (Mes de 24 días hábiles y día de 8Hrs hábiles).
- Esmerilador: Sueldo Mensual promedio: S/3200, en proporción equivale a S/16.7 por hora laboral (Mes de 24 días hábiles y día de 8Hrs hábiles).
- Ayudante: Sueldo Mensual promedio: S/1800, en proporción equivale a S/9.375 por hora laboral (Mes de 24 días hábiles y día de 8Hrs hábiles).

Como un indicador de la diferencia económica a favor de FCAW en metro lineal de soldadura tenemos:

Tabla 10. *Porcentaje de ganancia de FCAW vs SMAW por metro lineal de soldadura*

DESCRIPCIÓN	ESPESOR (mm)	COSTO ELECTRODO SMAW (S/)	COSTO ALAMBRE FCAW (S/)	TIEMPO SMAW (horas)	TIEMPO FCAW (horas)	COSTO HORAS SMAW (S/)	COSTO HORAS FCAW (S/)	COSTO TOTAL SMAW (S/)	COSTO TOTAL FCAW (S/)	Porcentaje económico diferencial de ganancia FCAW x metro lineal de soldadura
Soldadura de 1m de largo	25	83.2	64.7	5.3	1.3	331.25	81.25	414.45	145.95	65%
Soldadura de 1m de largo	22	67.6	51.8	4.3	1.06	268.75	66.25	336.35	118.05	65%
Soldadura de 1m de largo	19	52	44.9	3.3	0.96	206.25	60.00	258.25	104.90	60%
Soldadura de 1m de largo	16	41.6	38.8	2.6	0.8	162.50	50.00	204.10	88.80	57%
Soldadura de 1m de largo	12.7	36.4	32.4	2.3	0.67	143.75	41.88	180.15	74.28	59%
Soldadura de 1m de largo	9.5	26	26.1	2	0.53	125.00	33.13	151.00	59.23	63%
Soldadura de 1m de largo	6.35	10.4	10.5	0.67	0.22	41.88	13.75	52.28	24.25	54%

Para el cálculo se tomaron los mismos ratios empleados en todas las tablas y adjuntos en anexo 3.

De la tabla anterior se define que el método FCAW tiene un porcentaje económico diferencial a favor entre el 54% al 65% en un metro lineal de soldadura según los espesores.

3.2. Discusión de Resultados

De acuerdo a los resultados obtenidos:

1. Con la evaluación real de ambos procesos, se determina que el proceso FCAW por arco con protección gaseosa y alambre de núcleo fundente es favorable respecto al método SMAW por arco eléctrico y electrodo revestido; tanto en producción como en calidad. Esto debido a que la eficiencia en deposición de soldadura por parte del FCAW es mayor que el SMAW y la protección del núcleo fundente adicional a la protección gaseosa generan soldaduras de mayor calidad con muy poco número de reparaciones siendo apenas 1/8 de las reparaciones en comparación al SMAW.

2. Por la alta eficiencia de depósito en el FCAW; este logra culminar las juntas en mucho menor tiempo que el SMAW. Siendo que para el proceso FCAW, los tiempos de acabado de soldaduras en longitudes largas y espesores altos es aproximadamente 1/3 del tiempo empleado por SMAW.

   Cabe destacar que los tiempos resultantes son por la producción de una sola cuadrilla de soldadura (1soldador+ 1 esmerilador+ 1 ayudante). Si aumentamos el número de cuadrillas de soldador, el tiempo de ejecución será menor y mayor sería el ahorro para cada caso.

3. De acuerdo a lo mostrado en la tabla N°10; se define que el método FCAW tiene una utilidad a favor entre el 54% al 65% en un metro lineal de soldadura.

4. Para la presente investigación no se ha contemplado el tiempo y exceso de soldadura por armado, maniobra, esmerilado, movilización de máquinas, facilidades de acceso en andamios, nivelaciones, inspecciones, etc.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

1. Mediante el análisis de los métodos de soldadura se determinó que el método FCAW mejora la producción y calidad de soldaduras en la construcción de tanques de almacenamiento respecto al método SMAW.
2. Las pruebas experimentales realizadas durante la fabricación de 2 tanques, en los métodos de producción SMAW Y FCAW expusieron datos reales que sirvieron lograr los objetivos de la presente investigación.
3. Mediante el uso de criterios de aceptación de la norma API 650 se determinó que el proceso FCAW logra un mayor porcentaje de calidad con mayor número de soldaduras aceptadas sin defectos respecto al proceso SMAW.
4. Mediante la evaluación técnica comparativa de los procesos FCAW y SMAW en eficiencia de depósito y facilidades de aplicación; se determinó que el proceso FCAW tiene una eficiencia de depósito mayor al SMAW, siendo incluso tres veces más que el SMAW; y ambos procesos son fáciles de aplicar en obra.
5. Mediante la evaluación económica comparativa; el proceso FCAW es más económico que el SMAW como resultado de su mayor eficiencia en costos, tiempos y calidad.

4.2. Recomendaciones

1. Debido que la variable de mayor diferencia y beneficio entre los procesos SMAW y FCAW; es el ahorro en tiempo; llegando incluso a ser 1/3 del tiempo SMAW; para el uso de FCAW debe implementarse en la parte constructiva el abastecimiento oportuno de accesorios, aportes de soldadura, inspecciones etc. para que se cumpla en su mayor porcentaje este beneficio.

2. En caso de usar el proceso FCAW, debe implementarse capacitaciones iniciales a los soldadores para optimizar la calibración de parámetros en las máquinas y aprovechar las bondades de este proceso.

3. Los valores, ratios mostrados en la presente investigación pueden usarse o referirse para la estimación de costos, presupuestos de nuevos proyectos como el mostrado para la empresa Tecnoquímica SAC (Anexo 11).

REFERENCIAS

Carrillo F. y Olivares E. (1998).*SOLDADURA, CORTE E INSPECCION DE OBRA SOLDADA* (2ª ED.). Cádiz: Universidad de Cádiz. Servicio de Publicaciones.

EXSA (s.f.). *Inspección visual de soldaduras*. Recuperado de: http://es.scribd.com/doc/59295536/Inspeccion-Visual-de-Soldaduras

SOLDEXA (s.f.). *Manual de soldadura y catálogo de productos*. Disponible en: http://goo.gl/Q6eET

API (2020). *ASME STANDARD 650, Welded Tanks for Oil Storage*.

API (2020). *ASME STANDARD 653, Tank Inspection, Repair, Alteration, and Reconstruction*.

ASME (2017). *ASME SECCION IX, Qualification standard for welding and brazing procedures, welders, brazers, and welding and brazing operators.*

ASME (2017). *ASME B31.8, Gas transmission and distribution piping systems.*

ASME (2019). *ASME B31.4, Pipeline transportation systems for liquid hydrocarbons and other liquids.*

ASME (2020). *ASME SECCION V, Nondestructive examination.*

AWS (2020). *AWS D1.1, Structural welding code steel.2020.*

Coloma, V. (2007). *Planificación, Construcción y Reparación de Construcciones Soldadas: Análisis de Tres Casos*. (Tesis de pregrado). Universidad Católica del Perú. Lima. Perú. Recuperado en: http://goo.gl/vWvVH

Hernandez, R., (2020) Manual del soldador, 12ª edición. https://escuelafeliz.org/wp-content/uploads/2020/11/Manual-del-Soldador.pdf

Colegio de Ingenieros del Perú. (2012). Código de Ética del CIP. Piura: Consejo Nacional de Consejos.

AWS (2005). For welding inspectors 4th edition.

EXSA (s.f.). Manual de alambres tubulares FCAW.

Hatyit, B., (2013) Soldadura por arco con nucleo fundenete FCAW. Instituto Tecnológico de Villahermosa

Lorca, J., (2010) Generalidades de los electrodos, propiedades y selección. http://www.mailxmail.com/curso-soldadura-arco-manual-electrico-fundamentos/generalidades-electrodos-propiedades-seleccion

Fox, R., (2020) 5 consejos para aumentar el rendimiento de la soldadura. https://www.thefabricator.com/thefabricatorenespanol/article/arcwelding/5-consejos-para-aumentar-el-rendimiento-de-la-soldadura

Bf, Mexico., (2018) ¿Cuáles son los parámetros de Soldadura que debes regular? https://bfmx.com/soldadura/parametros-de-soldadura-que-debes-regular/

Niebles, E., & Arnedo, G.,(2009) Procedimientos de Soldadura y Calificación de Soldadores: una Propuesta de Enseñanza y Guía de Aplicación para la Industria. Universidad Autónoma del Caribe, Facultad de Ingeniería

Gonzales, D.,(2018) Diseño y cálculo de un tanque de almacenamiento de un fluido de alta temperatura, Universidad politécnica de Madrid escuela técnica superior de ingenieros industriales.

Departamento de Tecnología del IES Cristóbal de Monroy. (s.f.). *Procedimientos de unión: soldadura*. Recuperado de http://goo.gl/XAHQn

EMAGISTER (s.f.). *Fundamentos/generalidades-electrodos-propiedades-selección*. Recuperado de: http://www.emagister.com/curso-soldadura-arco-manual-electrico

Inspección Visual Niveles I y II: Manual de Instrucción (2010). Recuperado de http://goo.gl/zFfT9

Ensayos No Destructivos (END) - Nondestructive Testing (NDT). (s.f.). Recuperado de http://www.thermoequipos.com.ve/pdf/articulo_06.pdf

REYNA. A. (2015) "Inspección de fondo de tanques de almacenamiento API 650 mediante Emisión Acústica". PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ. p5-18.

Arestegui, M., (2020) Control de calidad de las soldaduras en obra. https://www.aristegui.info/control-de-calidad-de-las-soldaduras-en-obra/#:~:text=La%20garant%C3%ADa%20de%20la%20calidad,estado%20del%20equipo%20de%20soldar.

Bf, Mexico., (2018) ¿ Qué considerar en el control de calidad para Soldadura? https://bfmx.com/soldadura/parametros-de-soldadura-que-debes-regular/

ANEXOS

ANEXO 1:

Criterio de Aceptación API 650 para inspección de soldaduras: Exámenes, visual, líquidos penetrantes y prueba de vacío.

Punto 8.5.1 de API 650; El Fabricante deberá determinar y certificar que cada examinador cumpla con los siguientes requisitos.

a) Tiene visión (con corrección, si es necesario) para poder leer un gráfico estándar Jaeger Tipo 2 a una distancia de no menos de 300 mm (12 pulgadas) y es capaz de pasar una prueba de contraste de color.

   Los examinadores serán revisados anualmente para asegurarse de que cumplen con este requisito; y

b) es competente en la técnica del examen visual, incluida la realización del examen y la interpretación y evaluación de los resultados; sin embargo, cuando el método de examen consiste en más de una operación, el examinador que realiza solo una parte de la prueba solo necesita estar calificado para la parte que realiza el examinador.

8.5.2 Una soldadura debe ser aceptable por examen visual si la inspección muestra lo siguiente.

a) No hay grietas de cráter, otras grietas superficiales o golpes de arco en o adyacentes a las juntas soldadas.

b) La muesca máxima permisible es de 0,4 mm (1/64 pulg.) de profundidad para juntas a tope verticales, uniones permanentes orientadas verticalmente, soldaduras de unión para boquillas, bocas de acceso, aberturas de tipo rasante y soldaduras internas del armazón al fondo. Para juntas a tope horizontales, uniones permanentes orientadas horizontalmente y juntas a tope de anillo anular, la muesca máxima permitida es de 0,8 mm (1/32 pulg.) de profundidad.

c) La frecuencia de porosidad superficial en la soldadura no excede un grupo (uno o más poros) en 100 mm (4 pulg.) de longitud, y el diámetro de cada grupo no excede los 2,5 mm (3/32 pulg.).

d) El refuerzo de las soldaduras en todas las juntas a tope en cada lado de la placa no deberá exceder los siguientes espesores:

Plate Thickness mm (in.)	Maximum Reinforcement Thickness mm (in.)	
	Vertical Joints	Horizontal Joints
≤ 13 (1/2)	2.5 (3/32)	3 (1/8)
> 13 (1/2) to 25 (1)	3 (1/8)	5 (3/16)
> 25 (1)	5 (3/16)	6 (1/4)

El refuerzo no necesita ser removido excepto en la medida en que exceda el espesor máximo aceptable o a menos que su remoción sea requerida por 8.1.3.4 para un examen radiográfico.

8.5.3 Una soldadura que no cumpla con los criterios dados en 8.5.2 deberá volver a trabajarse antes de la prueba hidrostática de la siguiente manera:

a) Cualquier defecto se eliminará por medios mecánicos o procesos de ranurado térmico. Los golpes de arco descubiertos en o adyacentes a las juntas soldadas deben repararse esmerilando y volviendo a soldar según sea necesario. Los golpes de arco reparados con soldadura deben esmerilarse al ras con la placa.

b) Se requiere volver a soldar si el espesor resultante es menor que el mínimo requerido para las condiciones de diseño o prueba hidrostática. Todos los defectos en áreas más gruesas que el mínimo deben ser rebajados a una conicidad de al menos 4:1.

c) La soldadura de reparación deberá examinarse visualmente para detectar defectos.

ANEXO 2:

Criterio de Aceptación API 650 para inspección de soldaduras: Examen de radiografía industrial.

Punto 8.1 Método radiográfico API 650. Criterio será según Código ASME VIII div. I.

Código ASME Sección VIII - División 1

UW-51 Inspección radiográfica de juntas soldadas (al 100%).

a) Se deben realizar de acuerdo con Artículo 2 de ASME Sección V (salvo excepciones detalladas en este punto y que aquí se omiten).

b) Se deben reparar todas las imperfecciones que sean inaceptables bajo las siguientes condiciones:

1. Cualquier indicación caracterizada como una grieta o **fisura** o zona de **fusión incompleta** o **penetración incompleta.**
2. Cualquier otra **indicación alargada** en la radiografía que tenga una longitud mayor que:

a)	**¼"**	**(6.4 mm)**	**para**	**t ≤**	**¾" (19 mm)**
b)	**t/3**	**para**	**¾" (19 mm) <**	**t ≤**	**2 ¼" (57 mm)**
c)	**¾"**	**(19 mm)**	**para**	**t >**	**2 ¼" (57 mm)**

Donde:

t = espesor de la soldadura, excluyendo cualquier sobremonta permitida.

Para una soldadura a tope entre chapas de distinto espesor, **t** es el menor de los dos espesores.

Si una soldadura de penetración completa incluye una soldadura de filete, el espesor de la garganta debe ser incluido en **t**.

3. Cualquier **grupo de indicaciones alineadas** que tengan longitud acumulada mayor que **t** en una longitud de 12 **t**, excepto cuando la distancia entre imperfecciones sucesivas exceda 6 **L** donde **L** es la longitud de la imperfección más larga del grupo.
4. **Indicaciones redondeadas** que exceden lo especificado en el **Apéndice 4** - Año 1998 (que viene a continuación).

Criterios de aceptación para indicaciones redondeadas en soldaduras determinadas por radiografía.

4.1 Aplicabilidad:

Materiales ferríticos, austenícos y no ferrosos.

4.2 Terminología:

a) Indicaciones redondeadas: longitud máxima menor o igual a tres veces el ancho. Pueden ser circulares, elípticas, cónicas o irregulares en forma y pueden tener colas. Cuando se evalúe el tamaño de la indicación las colas deben considerarse. La indicación puede ser de cualquier origen como porosidad, escoria o tungsteno.

b) Indicaciones alineadas: Una secuencia de cuatro o más indicaciones redondeadas serán consideradas cuando intercepten una línea paralela a la longitud de la soldadura a través del centro de las dos indicaciones redondeadas exteriores.

c) Espesor t: t es el espesor de la soldadura, excluyendo cualquier refuerzo permitido. Para una junta soldada a tope de dos partes que tienen diferentes espesores en la soldadura, t es el menor de dichos espesores. Si una soldadura de penetración completa incluye una soldadura de filete, el espesor de la garganta de filete deberá ser incluido en t.

4.3 Criterio de aceptación

a) Densidad de la imagen: No es criterio de aceptación o rechazo la variación de densidad dentro de la imagen de la indicación.

b) Indicaciones relevantes (se pueden ver ejemplos en la Tabla 4-1 que aparece más abajo):

Sólo las indicaciones redondeadas que exceden las siguientes dimensiones son consideradas relevantes:

$^{t}/_{10}$	**para**	**$t \leq {}^{1}/_{8}$" (3.2 mm)**
0.4 mm	**para**	**${}^{1}/_{8}$" (3.2 mm) < $t \leq {}^{1}/_{4}$" (6 mm)**
0.8 mm	**para**	**${}^{1}/_{4}$" (6 mm) < $t \leq 2$" (51 mm)**
1.6 mm	**para**	**$t > 2$" (51 mm)**

c) Tamaño máximo permitido de indicaciones redondeadas: (**${}^{1}/_{4}$ t ,${}^{5}/_{32}$"(4.0mm)**), tomándose el menor valor.

Excepciones:

Indicaciones aisladas (separadas por lo menos **1" (25 mm)** de cualquier otra indicación adyacente):

- Tamaño máximo permitido: mín. (**1/3 t** , **1/4" (6 mm)**), tomándose el menor valor si **t ≤ 2" (51 mm)**.
- Tamaño máximo permitido: **3/8" (10 mm)** si **t > 2" (51 mm)**.

d) Indicaciones redondeadas alineadas.

Son aceptables cuando la suma de diámetros de las indicaciones es menor que **t** en una longitud de 12 **t**. Ver las **Fig.4-1 y Fig.4-2**, donde se especifican longitudes y espaciamientos permitidos.

e) Espaciamiento: La distancia entre indicaciones redondeadas adyacentes no es un factor en la determinación de la aceptación o rechazo, excepto en lo requerido para indicaciones aisladas o grupos de indicaciones alineadas.

f) Gráficos para indicaciones redondeadas:

Las indicaciones redondeadas no deben exceder lo indicado en las **Fig.4-3, Fig.4-4**, **Fig.4-5**, **Fig.4-6**, **Fig.4-7** y **Fig.4-8** (son para varios espesores > **1/8" (3.2 mm)** para indicaciones redondeadas dispersas, distribuidas aleatoriamente y agrupadas).

g) Espesores de soldadura **t ≤ 1/8" (3.2 mm)**

El número máximo de indicaciones no debe de exceder 12 en **6" (152 mm**). de longitud de soldadura (Se conserva la proporción para soldaduras de longitud < **6" (152 mm**)).

h) Indicaciones agrupadas ("clusters").

Las ilustraciones para indicaciones agrupadas muestran 4 veces más indicaciones en una misma área que las indicaciones dispersas.

Su longitud no debe exceder el mínimo(**1" (25 mm) , 2 t**).

Cuando hay más de una agrupación presente la suma de las longitudes de las agrupaciones no debe exceder **1" (25 mm)** en **6"(152 mm)** de longitud de soldadura.

TABLA 4-1[1]

Espesor t, in	Tamaño máximo de indicaciones redondeadas aceptables, in.		Tamaño máximo de indicaciones no relevantes, in.
	Aleatorias	Aisladas	
Menor que 1/8	1/4 t	1/3 t	1/10 t
1/8	0.031	0.042	0.015
3/16	0.047	0.063	0.015
1/4	0.063	0.083	0.015
5/16	0.078	0.104	0.031
3/8	0.091	0.125	0.031
7/16	0.109	0.146	0.031
1/2	0.125	0.168	0.031
9/16	0.142	0.188	0.031
5/8	0.156	0.210	0.031
11/16	0.156	0.230	0.031
3/4 to 2, incl.	0.156	0.250	0.031
Más de 2	0.156	0.375	0.063

NOTA:
(1) Esta tabla contiene sólo ejemplos.

Nota: El Apéndice 4 incluye medidas en mm, salvo en las figuras: en caso de diferencias tomar el valor que aparece en el texto bajo el punto 4.3.

ANEXO 3:

Tablas de valores en pruebas experimentales en 2 tanques

El número de componentes, número de soldaduras, dimensiones y espesores fueron tomados de los planos constructivos del proyecto.

1) **Tabla de resultados de costo, tiempos y calidad de soldadura SMAW y FCAW en uniones de soldadura verticales del casco; en 2 tanques.**

- **Comparativo de costos:** Nótese que el costo final de soldadura empleada fue mayor en el caso de proceso FCAW por S/353 soles.

Proceso SMAW:

CASCO - UNIONES VERTICALES				SMAW				
N° anillo	N° juntas	longitud (m)	espesor (mm)	N° pases ext	N° pases Int	rendim. 1 electrodo 1/8 (m)	N° electrodos	latas
1	23	2.4	25	10	6	0.1	8832	14.72
2	23	2.4	22	8	5	0.1	7176	11.96
3	23	2.4	19	6	4	0.1	5520	9.2
4	23	2.4	16	5	3	0.1	4416	7.36
5	23	2.4	12.7	5	2	0.1	3864	6.44
6	23	2.4	9.5	4	2	0.1	3312	5.52
7	23	2.4	9.5	4	2	0.1	3312	5.52
							N° de latas:	60.72

Total de soldadura en metros lineales	386.4

Costo 1 lata Cellocord 6010 P (S/)
312

Costo total de soldadura (S/)	18944.64

Proceso FCAW:

FCAW					
N° pases ext	N° pases Int	Rendim. 1 rollo alambre 1.2 (m)	N° Rollos	Rendim. 1 botella mezcla	N° botellas mezcla
3	2	30	9.20	32	8.63
3	2	30	9.20	32	8.63
3	1	30	7.36	32	6.90
3	1	30	7.36	32	6.90
2	1	30	5.52	32	5.18
2	1	30	5.52	32	5.18
2	1	30	5.52	32	5.18
		N° de rollos:	49.68	N° de botellas gas:	46.58

Costo 1 rollo EXATUB E71T-1M 1.2 (S/)	Costo total de soldadura (S/)	12022.56	Costo total de Gas (S/)	7275.0
242				
Costo 1 botella Ar+Co2 (S/)		Costo total	19297.6	
156.2				

- **Comparativo de tiempos:** Nótese que el tiempo empleado en el proceso FCAW fue notablemente menor (casi 3ra parte) que el proceso SMAW.

SMAW		
N° electrodos	minuts	total horas
8832	2	294.4
7176	2	239.2
5520	2	184
4416	2	147.2
3864	2	128.8
3312	2	110.4
3312	2	110.4

FCAW		
N° Rollos	minuts	total horas
9.20	480	73.6
9.20	480	73.6
7.36	480	58.88
7.36	480	58.88
5.52	480	44.16
5.52	480	44.16
5.52	480	44.16

HORAS	1214.4
DIAS (8Hrs - 1 soldador)	151.8

HORAS	397.44
DIAS (8Hrs - 1 soldador)	49.7

- **Comparativo de calidad:** Nótese que las reparaciones en el proceso FCAW fue notablemente menor que el proceso SMAW.

Defectos, reparaciones de soldadura en CASCO - UNIONES VERTICALES					
		SMAW		FCAW	
N° anillo	N° juntas	Defectos Insp. visual y liq penetrantes	Defectos Inspeccion radiografica	Defectos Insp. visual y liq penetrantes	Defectos Inspeccion radiografica
1	23	4	1	0	0
2	23	3	1	0	0
3	23	5	0	0	0
4	23	2	1	1	1
5	23	3	0	0	0
6	23	4	1	1	0
7	23	3	0	0	0
TOTAL DE REPARACIONES		24	4	2	1
		28		3	

2) Tabla de resultados de costo, tiempos y calidad de soldadura SMAW y FCAW en uniones de soldadura horizontales del casco; en 2 tanques.

- **Comparativo de costos:** Nótese que el costo final de soldadura empleada fue mayor en el caso de proceso SMAW por S/6610.92 soles.

Proceso SMAW:

CASCO - UNIONES HORIZONTALES				SMAW				
N° anillo	N° juntas	longitud (m)	espesor (mm)	N° pases ext	N° pases Int	rendim. 1 electrodo 1/8 (m)	N° electrodos	latas
casco fondo	2	128.8	25	10	10	0.1	51520	85.87
1ro-2do anillo	1	128.8	22	9	5	0.1	18032	30.05
2do-3er anillo	1	128.8	19	7	4	0.1	14168	23.61
3er-4to anillo	1	128.8	16	6	3	0.1	11592	19.32
4to-5to anillo	1	128.8	12.7	5	3	0.1	10304	17.17
5to-6to anillo	1	128.8	9.5	4	2	0.1	7728	12.88
6to-7mo anillo	1	128.8	9.5	4	2	0.1	7728	12.88
7mo-angulo rig.	2	128.8	6.35	2	2	0.1	10304	17.17
							N° de latas:	218.96

Total de soldadura en metros lineales	1288

Costo 1 lata Cellocord 6010 P (S/)
312

Costo total de soldadura (S/)	68315.52

Proceso FCAW:

FCAW					
N° pases ext	N° pases Int	Rendim. 1 rollo alambre 1.2 (m)	N° Rollos	Rendim. 1 botella mezcla	N° botellas mezcla
3	3	30	51.52	32	48.30
3	2	30	21.47	32	20.13
3	1	30	17.17	32	16.10
2	1	30	12.88	32	12.08
2	1	30	12.88	32	12.08
2	1	30	12.88	32	12.08
2	1	30	12.88	32	12.08
1	1	30	17.17	32	16.10
		N° de rollos:	158.85	N° de botellas gas:	148.93
Costo 1 rollo EXATUB E71T-1M 1.2 (S/)		Costo total de soldadura (S/)	38442.50667	Costo total de Gas (S/)	23262.1
242					
Costo 1 botella Ar+Co2 (S/)			Costo total de soldadura	61704.6	
156.2					

- **Comparativo de tiempos:** Nótese que el tiempo empleado en el proceso FCAW fue notablemente menor (menos de 3ra parte) que proceso SMAW.

SMAW		
N° electrodos	minuts	total horas
51520	2	1717.33333
18032	2	601.066667
14168	2	472.266667
11592	2	386.4
10304	2	343.466667
7728	2	257.6
7728	2	257.6
10304	2	343.466667

FCAW		
N° Rollos	minuts	total horas
51.52	480	412.16
21.47	480	171.733333
17.17	480	137.386667
12.88	480	103.04
12.88	480	103.04
12.88	480	103.04
12.88	480	103.04
17.17	480	137.386667

HORAS	4379.20
DIAS (8Hrs - 1 soldador)	547.4

HORAS	1270.82667
DIAS (8Hrs - 1 soldador)	158.9

- **Comparativo de calidad:** Nótese que las reparaciones en el proceso FCAW fue notablemente menor que el proceso SMAW.

Defectos, reparaciones de soldadura en CASCO - UNIONES HORIZONTALES					
		SMAW		FCAW	
N° anillo	N° juntas	Defectos Inspeccion visual y liq penetrantes	Defectos Inspeccion radiografica	Defectos Inspeccion visual y liq penetrantes	Defectos Inspeccion radiografica
casco fondo	2	3	2	0	0
1ro-2do anillo	1	4	0	0	0
2do-3er anillo	1	5	1	1	0
3er-4to anillo	1	3	0	0	0
4to-5to anillo	1	2	0	2	1
5to-6to anillo	1	3	1	0	0
6to-7mo anillo	1	3	1	0	0
7mo-angulo rig.	2	5	0	1	0
TOTAL DE REPARACIONES		28	5	4	1
		33		5	

3) **Tabla de resultados de costo, tiempos y calidad de soldadura SMAW y FCAW en uniones de soldadura de fondo; en 2 tanques.**

- **Comparativo de costos:** Nótese que el costo final de soldadura empleada fue mayor en el caso de proceso FCAW por S/2231 soles.

Proceso SMAW:

UNIONES DE FONDO DE TANQUE				SMAW							
Descripcion	N° juntas	longitud (m)	espesor (mm)	N° pases raiz 6010	N° pases 7024	rendim. 1 electrodo 6010-1/8 (m)	rendim. 1 electrodo 7024-1/8 (m)	N° electrodos 6010	N° electrodos 7024	latas 6010	latas 7024
cabeceras de planchas lado Norte y Sur	4	1.36	8	1	2	0.1	0.22	54.4	49.5	0.09	0.0951
	4	1.73	8	1	2	0.1	0.22	69.2	62.9	0.12	0.1210
	4	1.85	8	1	2	0.1	0.22	74	67.3	0.12	0.1294
cabeceras de planchas lado este y oeste	4	0.661	8	1	2	0.1	0.22	26.44	24.0	0.04	0.0462
	4	1.046	8	1	2	0.1	0.22	41.84	38.0	0.07	0.0731
	4	0.9	8	1	2	0.1	0.22	36	32.7	0.06	0.0629
Cabeceras comunes	116	1.78	8	1	2	0.1	0.22	2064.8	1877.1	3.44	3.6098
largeros	4	7.7	8	1	2	0.1	0.22	308	280.0	0.51	0.5385
	4	10.8	8	1	2	0.1	0.22	432	392.7	0.72	0.7552
	2	27.9	8	1	2	0.1	0.22	558	507.3	0.93	0.9755
	2	31.3	8	1	2	0.1	0.22	626	569.1	1.04	1.0944
	2	33.8	8	1	2	0.1	0.22	676	614.5	1.13	1.1818
	2	36	8	1	2	0.1	0.22	720	654.5	1.20	1.2587
	2	37.8	8	1	2	0.1	0.22	756	687.3	1.26	1.3217
	2	39.2	8	1	2	0.1	0.22	784	712.7	1.31	1.3706
	2	40	8	1	2	0.1	0.22	800	727.3	1.33	1.3986
	2	40.7	8	1	2	0.1	0.22	814	740.0	1.36	1.4231
	2	40.98	8	1	2	0.1	0.22	819.6	745.1	1.37	1.4329
									N° de latas:	16.10	16.89

Total de soldadura en metros lineales	966.028

Costo 1 lata Cellocord 6010 P (S/)
312
Costo 1 lata Ferrocito 7024 (S/)
327

Costo total de soldadura (S/)	5023.3	5522.6
	10545.9	

Proceso FCAW:

FCAW				
N° pases ext	Rendim. 1 rollo alambre 1.6 (m)	N° Rollos	Rendim. 1 botella mezcla	N° botellas mezcla
1	29	0.19	32	0.17
1	29	0.24	32	0.22
1	29	0.26	32	0.23
1	29	0.09	32	0.08
1	29	0.14	32	0.13
1	29	0.12	32	0.11
1	29	7.12	32	6.45
1	29	1.06	32	0.96
1	29	1.49	32	1.35
1	29	1.92	32	1.74
1	29	2.16	32	1.96
1	29	2.33	32	2.11
1	29	2.48	32	2.25
1	29	2.61	32	2.36
1	29	2.70	32	2.45
1	29	2.76	32	2.50
1	29	2.81	32	2.54
1	29	2.83	32	2.56
Total de rollos:		33.31	N° de botellas gas:	30.19

Costo 1 rollo EXATUB E71T-1M 1.2 (S/)	Costo total de soldadura (S/)	8061.3	Costo total de Gas (S/)	4715.4
242				
Costo 1 botella Ar+Co2 (S/)		Costo total de soldadura	12776.8	
156.2				

- **Comparativo de tiempos:** Nótese que el tiempo final empleado en el proceso FCAW fue notablemente menor (menos de la mitad) que el proceso SMAW.

SMAW		
N° electrodos	minuts	total horas
103.9	2	3.462
132.1	2	4.404
141.3	2	4.709
50.5	2	1.683
79.9	2	2.663
68.7	2	2.291
3941.9	2	131.396
588.0	2	19.600
824.7	2	27.491
1065.3	2	35.509
1195.1	2	39.836
1290.5	2	43.018
1374.5	2	45.818
1443.3	2	48.109
1496.7	2	49.891
1527.3	2	50.909
1554.0	2	51.800
1564.7	2	52.156

FCAW		
N° Rollos	minuts	total horas
0.19	480	1.50
0.24	480	1.91
0.26	480	2.04
0.09	480	0.73
0.14	480	1.15
0.12	480	0.99
7.12	480	56.96
1.06	480	8.50
1.49	480	11.92
1.92	480	15.39
2.16	480	17.27
2.33	480	18.65
2.48	480	19.86
2.61	480	20.86
2.70	480	21.63
2.76	480	22.07
2.81	480	22.46
2.83	480	22.61

HORAS	614.75
DIAS (8Hrs - 1 soldador)	76.8

HORAS	266.49
DIAS (8Hrs - 1 soldador)	33.3

- **Comparativo de calidad:** Nótese que las reparaciones en el proceso FCAW fue notablemente menor que el proceso SMAW.

Defectos, reparaciones de soldadura en FONDO DE TANQUE						
Descripción	N° juntas	longitud (m)	SMAW		FCAW	
			Defectos Inspeccion visual y liquidos penetrantes	Defectos Inspeccion de camara de vacio	Defectos Inspeccion visual y liq penetrantes	Defectos Inspeccion Camara de vacio
cabeceras de planchas lado Norte y Sur	4	1.36	2	0	0	0
	4	1.73	0	0	0	0
	4	1.85	0	0	0	0
cabeceras de planchas lado este y oeste	4	0.661	1	1	1	0
	4	1.046	1	0	0	0
	4	0.9	0	0	0	0
Cabeceras comunes	116	1.78	9	0	0	0
largeros	4	7.7	0	0	0	0
	4	10.8	1	0	0	0
	2	27.9	2	0	0	0
	2	31.3	1	0	0	0
	2	33.8	1	0	0	0
	2	36	1	0	1	0
	2	37.8	2	1	1	0
	2	39.2	1	0	0	0
	2	40	3	0	0	0
	2	40.7	1	0	0	0
	2	40.98	3	0	0	0
TOTAL DE REPARACIONES			29	2	3	0
			31		3	

4) **Tabla de resultados de costo, tiempos y calidad de soldadura SMAW y FCAW en uniones de soldadura de techo fijo; en 2 tanques.**

- **Comparativo de costos:** Nótese que el costo final de soldadura empleada fue mayor en el caso de proceso FCAW por S/1348.8 soles.

Proceso SMAW:

UNIONES DE TECHO FLOTANTE DE TANQUE				SMAW							
Descripcion	N° juntas	longitud (m)	espesor (mm)	N° pases raiz 6010	N° pases 7024	rendim. 1 electrodo 6010-1/8 (m)	rendim. 1 electrodo 7024-1/8 (m)	N° electrodos 6010	N° electrodos 7024	latas 6010	latas 7024
cabeceras de planchas lado Norte y Sur	4	1.36	6.35	2		0.1	0.22	108.8	0.0	0.18	0.0000
	4	1.73	6.35	2		0.1	0.22	138.4	0.0	0.23	0.0000
	4	1.85	6.35	2		0.1	0.22	148	0.0	0.25	0.0000
cabeceras de planchas lado este y oeste	4	0.661	6.35	2		0.1	0.22	52.88	0.0	0.09	0.0000
	4	1.046	6.35	2		0.1	0.22	83.68	0.0	0.14	0.0000
	4	0.9	6.35	2		0.1	0.22	72	0.0	0.12	0.0000
Cabeceras comunes	116	1.78	6.35	2		0.1	0.22	4129.6	0.0	6.88	0.0000
largeros	4	7.7	6.35	2		0.1	0.22	616	0.0	1.03	0.0000
	4	10.8	6.35	2		0.1	0.22	864	0.0	1.44	0.0000
	2	27.9	6.35	2		0.1	0.22	1116	0.0	1.86	0.0000
	2	31.3	6.35	2		0.1	0.22	1252	0.0	2.09	0.0000
	2	33.8	6.35	2		0.1	0.22	1352	0.0	2.25	0.0000
	2	36	6.35	2		0.1	0.22	1440	0.0	2.40	0.0000
	2	37.8	6.35	2		0.1	0.22	1512	0.0	2.52	0.0000
	2	39.2	6.35	2		0.1	0.22	1568	0.0	2.61	0.0000
	2	40	6.35	2		0.1	0.22	1600	0.0	2.67	0.0000
	2	40.7	6.35	2		0.1	0.22	1628	0.0	2.71	0.0000
	2	40.98	6.35	2		0.1	0.22	1639.2	0.0	2.73	0.0000
									N° de latas:	32.20	0.00

Total de soldadura en metros lineales	966.028

Costo 1 lata Cellocord 6010 P (S/)
312
Costo 1 lata Ferrocito 7024 (S/)
327

Costo total de soldadura (S/)	10046.7	0.0
	10046.7	

Proceso FCAW:

FCAW				
N° pases ext	Rendim. 1 rollo alambre 1.6 (m)	N° Rollos	Rendim. 1 botella mezcla	N° botellas mezcla
1	38	0.14	40	0.14
1	38	0.18	40	0.17
1	38	0.19	40	0.19
1	38	0.07	40	0.07
1	38	0.11	40	0.10
1	38	0.09	40	0.09
1	38	5.43	40	5.16
1	38	0.81	40	0.77
1	38	1.14	40	1.08
1	38	1.47	40	1.40
1	38	1.65	40	1.57
1	38	1.78	40	1.69
1	38	1.89	40	1.80
1	38	1.99	40	1.89
1	38	2.06	40	1.96
1	38	2.11	40	2.00
1	38	2.14	40	2.04
1	38	2.16	40	2.05
Total de rollos:		25.42	N° de botellas gas:	24.15

Costo 1 rollo EXATUB E71T-1M 1.2 (S/)	Costo total de soldadura (S/)	6152.1	Costo total de Gas (S/)	3772.3
242				
Costo 1 botella Ar+Co2 (S/)		Costo total de soldadura	9924.4	
156.2				

- **Comparativo de tiempos:** Nótese que el tiempo final empleado en el proceso FCAW fue notablemente menor (casi la 3ra parte) que el proceso SMAW.

SMAW		
N° electrodos	minuts	total horas
108.8	1.5	2.720
138.4	1.5	3.460
148.0	1.5	3.700
52.9	1.5	1.322
83.7	1.5	2.092
72.0	1.5	1.800
4129.6	1.5	103.240
616.0	1.5	15.400
864.0	1.5	21.600
1116.0	1.5	27.900
1252.0	1.5	31.300
1352.0	1.5	33.800
1440.0	1.5	36.000
1512.0	1.5	37.800
1568.0	1.5	39.200
1600.0	1.5	40.000
1628.0	1.5	40.700
1639.2	1.5	40.980

FCAW		
N° Rollos	minuts	total horas
0.14	400	0.95
0.18	400	1.21
0.19	400	1.30
0.07	400	0.46
0.11	400	0.73
0.09	400	0.63
5.43	400	36.22
0.81	400	5.40
1.14	400	7.58
1.47	400	9.79
1.65	400	10.98
1.78	400	11.86
1.89	400	12.63
1.99	400	13.26
2.06	400	13.75
2.11	400	14.04
2.14	400	14.28
2.16	400	14.38

HORAS	**483.01**
DIAS (8Hrs - 1 soldador)	**60.4**

HORAS	**169.48**
DIAS (8Hrs - 1 soldador)	**21.2**

- **Comparativo de calidad:** Nótese que las reparaciones en el proceso FCAW fue notablemente menor que el proceso SMAW.

Defectos, reparaciones de soldadura en TECHO DE TANQUE				
Descripción	N° juntas	longitud (m)	SMAW	FCAW
			Defectos Inspeccion visual	Defectos Inspeccion visual
cabeceras de planchas lado Norte y Sur	4	1.36	0	0
	4	1.73	0	0
	4	1.85	2	0
cabeceras de planchas lado este y oeste	4	0.661	0	0
	4	1.046	1	0
	4	0.9	0	1
Cabeceras comunes	116	1.78	10	0
largeros	4	7.7	0	0
	4	10.8	1	0
	2	27.9	0	0
	2	31.3	0	0
	2	33.8	0	0
	2	36	2	0
	2	37.8	0	0
	2	39.2	1	0
	2	40	0	1
	2	40.7	3	0
	2	40.98	0	0
TOTAL DE REPARACIONES			20	2

5) Tablas de ratios promedio de producción en 2 tanques

Las ratios son valores promediados reales en obra, resultado de las mediciones en varias muestras (10 unidades por cada espesor).

Ratio de número de pases SMAW: Los valores promedio (celdas color amarillo) fueron tomados para las tablas del punto 3.1.

N° de pases de soldadura SMAW			
Item	espesor (mm)	N° pases exterior	N° pases interior
1	25	10	6
2	25	10	5
3	25	11	6
4	25	10	7
5	25	10	6
6	25	10	6
7	25	11	6
8	25	10	5
9	25	9	6
10	25	10	6
PROMEDIO		10.1	5.9

N° de pases de soldadura SMAW			
Item	espesor (mm)	N° pases exterior	N° pases interior
1	22	8	5
2	22	8	5
3	22	9	5
4	22	8	4
5	22	7	5
6	22	8	5
7	22	8	6
8	22	8	5
9	22	9	5
10	22	8	5
PROMEDIO		8.1	5

N° de pases de soldadura SMAW			
Item	espesor (mm)	N° pases exterior	N° pases interior
1	19	6	4
2	19	6	4
3	19	7	4
4	19	6	4
5	19	6	4
6	19	6	4
7	19	6	4
8	19	6	5
9	19	5	4
10	19	6	4
PROMEDIO		6	4.1

N° de pases de soldadura SMAW			
Item	espesor (mm)	N° pases exterior	N° pases interior
1	16	5	3
2	16	5	3
3	16	5	3
4	16	5	3
5	16	6	2
6	16	5	3
7	16	5	3
8	16	5	3
9	16	4	4
10	16	5	3
PROMEDIO		5	3

N° de pases de soldadura SMAW			
Item	espesor (mm)	N° pases exterior	N° pases interior
1	12.7	5	2
2	12.7	6	2
3	12.7	5	2
4	12.7	5	2
5	12.7	5	2
6	12.7	6	2
7	12.7	5	2
8	12.7	5	2
9	12.7	5	2
10	12.7	5	2
PROMEDIO		5.2	2

N° de pases de soldadura SMAW			
Item	espesor (mm)	N° pases exterior	N° pases interior
1	9.5	4	2
2	9.5	4	2
3	9.5	4	2
4	9.5	4	2
5	9.5	4	2
6	9.5	3	3
7	9.5	4	2
8	9.5	4	2
9	9.5	4	2
10	9.5	4	2
PROMEDIO		3.9	2.1

N° de pases de soldadura SMAW		
Item	espesor (mm)	N° pases exterior
1	8	3
2	8	3
3	8	3
4	8	3
5	8	3
6	8	4
7	8	3
8	8	3
9	8	3
10	8	3
PROMEDIO		3.1

N° de pases de soldadura SMAW		
Item	espesor (mm)	N° pases exterior
1	6.35	2
2	6.35	2
3	6.35	2
4	6.35	2
5	6.35	2
6	6.35	2
7	6.35	2
8	6.35	2
9	6.35	2
10	6.35	2
PROMEDIO		2

Ratio de número de pases FCAW: Los valores promedio (celdas color amarillo) fueron tomados para las tablas del punto 3.1.

N° de pases de soldadura FCAW			
Item	espesor (mm)	N° pases exterior	N° pases interior
1	25	3	2
2	25	3	2
3	25	3	2
4	25	3	2
5	25	3	2
6	25	3	3
7	25	3	2
8	25	3	2
9	25	3	2
10	25	3	2
PROMEDIO		3	2.1

N° de pases de soldadura FCAW			
Item	espesor (mm)	N° pases exterior	N° pases interior
1	22	3	2
2	22	3	2
3	22	3	2
4	22	3	2
5	22	3	2
6	22	3	2
7	22	3	2
8	22	3	2
9	22	3	2
10	22	3	2
PROMEDIO		3	2

N° de pases de soldadura FCAW			
Item	espesor (mm)	N° pases exterior	N° pases interior
1	19	3	1
2	19	3	1
3	19	3	1
4	19	3	1
5	19	3	1
6	19	3	1
7	19	3	2
8	19	3	1
9	19	3	1
10	19	3	1
PROMEDIO		3	1.1

N° de pases de soldadura FCAW			
Item	espesor (mm)	N° pases exterior	N° pases interior
1	16	3	1
2	16	3	1
3	16	3	1
4	16	3	1
5	16	2	1
6	16	3	1
7	16	3	1
8	16	2	1
9	16	3	1
10	16	3	1
PROMEDIO		2.8	1

N° de pases de soldadura FCAW			
Item	espesor (mm)	N° pases exterior	N° pases interior
1	12.7	2	1
2	12.7	2	1
3	12.7	2	1
4	12.7	2	1
5	12.7	2	1
6	12.7	2	1
7	12.7	2	1
8	12.7	2	1
9	12.7	2	1
10	12.7	2	1
PROMEDIO		2	1

N° de pases de soldadura FCAW			
Item	espesor (mm)	N° pases exterior	N° pases interior
1	9.5	2	1
2	9.5	2	1
3	9.5	2	1
4	9.5	2	1
5	9.5	2	1
6	9.5	2	1
7	9.5	2	1
8	9.5	2	1
9	9.5	2	1
10	9.5	2	1
PROMEDIO		2	1

N° de pases de soldadura FCAW		
Item	espesor (mm)	N° pases exterior
1	8	1
2	8	1
3	8	1
4	8	1
5	8	1
6	8	1
7	8	1
8	8	1
9	8	1
10	8	1
PROMEDIO		1

N° de pases de soldadura FCAW		
Item	espesor (mm)	N° pases exterior
1	6.35	1
2	6.35	1
3	6.35	1
4	6.35	1
5	6.35	1
6	6.35	1
7	6.35	1
8	6.35	1
9	6.35	1
10	6.35	1
PROMEDIO		1

Ratio de rendimiento de electrodos, rollos de alambre y gases: Los valores promedio (celdas color amarillo) fueron tomados para las tablas del punto 3.1.

Rendimiento en soldadura por unidad de electrodo de proceso SMAW		
Item	rendim. 1 electrodo 1/8 (m) 6010	rendim. 1 electrodo 1/8 (m) 7024
1	0.1	0.22
2	0.1	0.22
3	0.15	0.25
4	0.1	0.22
5	0.1	0.2
6	0.1	0.22
7	0.09	0.22
8	0.1	0.22
9	0.1	0.22
10	0.1	0.22
PROMEDIO	0.104	0.221

Rendimiento en soldadura por unidad de rollo alambre y unidad de botella de gas de proceso FCAW		
Item	Rendim. 1 rollo alambre 1.2 (m)	1 botella de mezcla rinde (m)
1	30	32
2	30	31
3	30	32
4	31	32
5	30	33
6	29	31
7	30	33
8	32	32
9	30	31
10	28.5	32
PROMEDIO	30.05	31.9

Para el caso de plancha de menor espesor de 6.35mm en techo; para el caso de FCAW el ratio fue mayor: 38m en soldadura y 40m en gas.

Ratio de tiempos individuales: Los valores promedio (celdas color amarillo) fueron tomados para las tablas del punto 3.1.

Tiempo empleado en soldeo de electrodos SMAW		
Item	N° electrodos	minutos
1	1	1.9
2	1	2.5
3	1	2
4	1	2.3
5	1	2.2
6	1	1.8
7	1	1.8
8	1	2
9	1	1.8
10	1	2.2
PROMEDIO		2.05

Tiempo empleado en soldeo de 1metro de soldadura FCAW		
Item	Cantidad de Soldadura (m)	minutos
1	1	16
2	1	14
3	1	15
4	1	18
5	1	17
6	1	20
7	1	15
8	1	14
9	1	18
10	1	14
PROMEDIO		16

Si un rollo rinde 30 metros; entonces el tiempo de un rollo es = Promedio x 30	480

Para el caso de plancha de menor espesor de 6.35mm en techo; para el caso de SMAW la ratio fue: 1.5minutos por electrodo y para FCAW fue de 400 minutos por rollo de alambre.

6) Tabla resumen de comparativo de procesos SMAW y FCAW.

A. Resumen de costos y tiempos en soldadura Proceso SMAW

	AREA DE TANQUE	PROCESO SMAW - ELECTRODO REVESTIDO			
		N° latas requeridas	Costo de soldadura	N° de horas (1 soldador)	N° de dias (8hrs * 1 soldador)
1	CASCO - UNIONES VERTICALES	60.72	18945	1214	151.8
2	CASCO - UNIONES HORIZONTALES	218.96	68316	4379.2	547.4
3	UNIONES DE FONDO DE TANQUE	33	10545.9	614.75	76.8
4	UNIONES DE TECHO FLOTANTE DE TANQUE	32.2	10046.7	483.01	60.4
		COSTO Total S/:	107853.6	TIEMPO Total (dias):	836.4

B. Resumen de costos y tiempos en soldadura Proceso FCAW

	AREA DE TANQUE	PROCESO FCAW - ALAMBRE TUBULAR CON PROTECCION GASEOSA				
		N° Rollos	N° de Botellas de gas	Costo de soldadura	N° de horas (1 soldador)	N° de dias (8hrs * 1 soldador)
1	CASCO - UNIONES VERTICALES	49.68	46.58	19297.6	397.44	49.7
2	CASCO - UNIONES HORIZONTALES	158.85	148.93	61704.6	1270.83	158.9
3	UNIONES DE FONDO DE TANQUE	33.1	30.19	12776.8	266.49	33.3
4	UNIONES DE TECHO FLOTANTE DE TANQUE	25.42	24.15	9924.4	169.48	21.2
			COSTO Total S/:	103703.4	TIEMPO Total (dias):	263.1

C. Resumen de reparaciones en soldadura Procesos SMAW - FCAW

	AREA DE TANQUE	REPARACIONES EN SOLDADURAS SMAW - FCAW			
		Reparaciones SMAW		Reparaciones FCAW	
1	CASCO - UNIONES VERTICALES	28		3	
2	CASCO - UNIONES HORIZONTALES	33		5	
3	UNIONES DE FONDO DE TANQUE	31		3	
4	UNIONES DE TECHO FLOTANTE DE TANQUE	20		2	
		TOTAL:	112	TOTAL	13

ANEXO 4

Tabla de resultados proyectados de costo, tiempos y calidad de soldadura SMAW y FCAW en uniones de soldadura verticales del casco; en tanque Tecnoquimica SAC.

- **Comparativo de costos:** Nótese que el costo final de soldadura empleada fue mayor en el caso de proceso FCAW por S/787.7 soles.

Proceso SMAW:

CASCO - UNIONES VERTICALES				SMAW				
N° anillo	N° juntas	longitud (m)	espesor (mm)	N° pases ext	N° pases Int	rendim. 1 electrodo 1/8 (m)	N° electrodos	latas
1	9	1.8	7.9	3	2	0.1	810	1.35
2	9	1.8	7.9	3	2	0.1	810	1.35
3	9	1.8	6.35	2	2	0.1	648	1.08
4	9	1.8	6.35	2	2	0.1	648	1.08
5	9	1.8	6.35	2	2	0.1	648	1.08
6	9	1.8	6.35	2	2	0.1	648	1.08
7	9	1.8	6.35	2	2	0.1	648	1.08
							N° de latas:	8.1

Total de soldadura en metros lineales	113.4

Costo 1 lata Cellocord 6010 P (S/)
650

Costo total de soldadura (S/)	5265

Proceso SMAW:

FCAW					
N° pases ext	N° pases Int	Rendim. 1 rollo alambre 1.2 (m)	N° Rollos	Rendim. 1 botella mezcla	N° botellas mezcla
1	1	30	1.08	32	1.01
1	1	30	1.08	32	1.01
1	1	30	1.08	32	1.01
1	1	30	1.08	32	1.01
1	1	30	1.08	32	1.01
1	1	30	1.08	32	1.01
1	1	30	1.08	32	1.01
		N° de rollos:	7.56	N° de botellas gas:	7.09

Costo 1 rollo EXATUB E71T-1M 1.2 (S/)	Costo total de soldadura (S/)	3855.6	Costo total de Gas (S/)	2197.1
510				
Costo 1 botella Ar+Co2 (S/)		Costo total	6052.7	
310				

- **Comparativo de tiempos:** Nótese que el tiempo empleado en el proceso FCAW fue notablemente menor (casi 3ra parte) que el proceso SMAW.

SMAW		
N° electrodos	minuts	total horas
810	2	27
810	2	27
648	2	21.6
648	2	21.6
648	2	21.6
648	2	21.6
648	2	21.6

FCAW		
N° Rollos	minuts	total horas
1.08	480	8.64
1.08	480	8.64
1.08	480	8.64
1.08	480	8.64
1.08	480	8.64
1.08	480	8.64
1.08	480	8.64

HORAS	**162**
DIAS (8Hrs - 1 soldador)	**20.3**

HORAS	**60.48**
DIAS (8Hrs - 1 soldador)	**7.6**

1) **Tabla de resultados proyectados de costo, tiempos y calidad de soldadura SMAW y FCAW en uniones de soldadura horizontales del casco; en tanque Tecnoquimica SAC.**

- **Comparativo de costos:** Nótese que el costo final de soldadura empleada fue mayor en el caso de proceso SMAW por S/384.3 soles

Proceso SMAW:

CASCO - UNIONES HORIZONTALES				SMAW				
N° anillo	N° juntas	longitud (m)	espesor (mm)	N° pases ext	N° pases Int	rendim. 1 electrodo 1/8 (m)	N° electrodos	latas
casco fondo	2	48.54	6.35	3	3	0.1	5824.8	9.71
1ro-2do anillo	1	48.54	6.35	3	2	0.1	2427	4.05
2do-3er anillo	1	48.54	6.35	3	2	0.1	2427	4.05
3er-4to anillo	1	48.54	6.35	3	2	0.1	2427	4.05
4to-5to anillo	1	48.54	6.35	3	2	0.1	2427	4.05
5to-6to anillo	1	48.54	6.35	3	2	0.1	2427	4.05
6to-7mo anillo	1	48.54	6.35	3	2	0.1	2427	4.05
7mo-angulo rig.	2	48.54	6.35	2	2	0.1	3883.2	6.47
							N° de latas:	**40.45**

Total de soldadura en metros lineales	**485.4**

Costo 1 lata Cellocord 6010 P (S/)
650

Costo total de soldadura (S/)	**26292.5**

Proceso FCAW:

FCAW					
N° pases ext	N° pases Int	Rendim. 1 rollo alambre 1.2 (m)	N° Rollos	Rendim. 1 botella mezcla	N° botellas mezcla
1	1	30	6.47	32	6.07
1	1	30	3.24	32	3.03
1	1	30	3.24	32	3.03
1	1	30	3.24	32	3.03
1	1	30	3.24	32	3.03
1	1	30	3.24	32	3.03
1	1	30	3.24	32	3.03
1	1	30	6.47	32	6.07
		N° de rollos:	32.36	N° de botellas gas:	30.34
Costo 1 rollo EXATUB E71T-1M 1.2 (S/)		Costo total de soldadura (S/)	16503.6	Costo total de Gas (S/)	9404.6
510					
Costo 1 botella Ar+Co2 (S/)			Costo total	25908.2	
310					

- **Comparativo de tiempos:** Nótese que el tiempo empleado en el proceso FCAW fue notablemente menor (menos de 3ra parte) que proceso SMAW

SMAW		
N° electrodos	minuts	total horas
5824.8	2	194.16
2427	2	80.9
2427	2	80.9
2427	2	80.9
2427	2	80.9
2427	2	80.9
2427	2	80.9
3883.2	2	129.44

FCAW		
N° Rollos	minuts	total horas
6.47	480	51.776
3.24	480	25.888
3.24	480	25.888
3.24	480	25.888
3.24	480	25.888
3.24	480	25.888
3.24	480	25.888
6.47	480	51.776

HORAS	**809.00**
DIAS (8Hrs - 1 soldador)	**101.1**

HORAS	**258.88**
DIAS (8Hrs - 1 soldador)	**32.4**

2) Tabla de resultados proyectados de costo, tiempos y calidad de soldadura SMAW y FCAW en uniones de soldadura de fondo; en tanque Tecnoquimica SAC.

- **Comparativo de costos:** Nótese que el costo final de soldadura empleada fue mayor en el caso de proceso FCAW por S/1470.8 soles.

Proceso SMAW:

UNIONES DE FONDO DE TANQUE				SMAW							
Descripcion	N° juntas	longitud (m)	espesor (mm)	N° pases raiz 6010	N° pases 7024	rendim. 1 electrodo 6010-1/8 (m)	rendim. 1 electrodo 7024-1/8 (m)	N° electrodos 6010	N° electrodos 7024	latas 6010	latas 7024
cabeceras de planchas pequeñas lado oeste	1	0.888	6.35	1	1	0.1	0.22	8.88	4.0	0.01	0.0078
	1	1.514	6.35	1	1	0.1	0.22	15.14	6.9	0.03	0.0132
	1	1.711	6.35	1	1	0.1	0.22	17.11	7.8	0.03	0.0150
	1	1.509	6.35	1	1	0.1	0.22	15.09	6.9	0.03	0.0132
	1	0.879	6.35	1	1	0.1	0.22	8.79	4.0	0.01	0.0077
cabeceras de planchas pequeñas lado este	1	0.85	6.35	1	1	0.1	0.22	8.5	3.9	0.01	0.0074
	1	1.476	6.35	1	1	0.1	0.22	14.76	6.7	0.02	0.0129
	1	1.673	6.35	1	1	0.1	0.22	16.73	7.6	0.03	0.0146
	1	1.471	6.35	1	1	0.1	0.22	14.71	6.7	0.02	0.0129
	1	0.841	6.35	1	1	0.1	0.22	8.41	3.8	0.01	0.0074
Cabeceras comunes	16	1.742	6.35	1	1	0.1	0.22	278.72	126.7	0.46	0.2436
largeros	1	9.645	6.35	1	1	0.1	0.22	96.45	43.8	0.16	0.0843
	1	12.889	6.35	1	1	0.1	0.22	128.89	58.6	0.21	0.1127
	1	14.661	6.35	1	1	0.1	0.22	146.61	66.6	0.24	0.1282
	1	15.475	6.35	1	1	0.1	0.22	154.75	70.3	0.26	0.1353
	1	15.484	6.35	1	1	0.1	0.22	154.84	70.4	0.26	0.1353
	1	14.686	6.35	1	1	0.1	0.22	146.86	66.8	0.24	0.1284
	1	12.94	6.35	1	1	0.1	0.22	129.4	58.8	0.22	0.1131
	1	9.741	6.35	1	1	0.1	0.22	97.41	44.3	0.16	0.0851
									N° de latas:	2.44	1.28

Total de soldadura en metros lineales	146.205

Costo 1 lata Cellocord 6010 P (S/)
650
Costo 1 lata Ferrocito 7024 (S/)
730

Costo total de soldadura (S/)	1583.9	933.0
	2516.8	

Proceso FCAW:

FCAW				
N° pases ext	Rendim. 1 rollo alambre 1.6 (m)	N° Rollos	Rendim. 1 botella mezcla	N° botellas mezcla
1	29	0.03	32	0.03
1	29	0.05	32	0.05
1	29	0.06	32	0.05
1	29	0.05	32	0.05
1	29	0.03	32	0.03
1	29	0.03	32	0.03
1	29	0.05	32	0.05
1	29	0.06	32	0.05
1	29	0.05	32	0.05
1	29	0.03	32	0.03
1	29	0.96	32	0.87
1	29	0.33	32	0.30
1	29	0.44	32	0.40
1	29	0.51	32	0.46
1	29	0.53	32	0.48
1	29	0.53	32	0.48
1	29	0.51	32	0.46
1	29	0.45	32	0.40
1	29	0.34	32	0.30
Total de rollos:		5.04	N° de botellas gas:	4.57

Costo 1 rollo EXATUB E71T-1M 1.2 (S/)	Costo total de soldadura (S/)	2571.2	Costo total de Gas (S/)	1416.4
510				
Costo 1 botella Ar+Co2 (S/)		Costo total	3987.6	
310				

- **Comparativo de tiempos:** Nótese que el tiempo final empleado en el proceso FCAW fue notablemente menor (casi la mitad) que el proceso SMAW.

SMAW		
N° electrodos	minuts	total horas
12.9	2	0.431
22.0	2	0.734
24.9	2	0.830
21.9	2	0.732
12.8	2	0.426
12.4	2	0.412
21.5	2	0.716
24.3	2	0.811
21.4	2	0.713
12.2	2	0.408
405.4	2	13.514
140.3	2	4.676
187.5	2	6.249
213.3	2	7.108
225.1	2	7.503
225.2	2	7.507
213.6	2	7.120
188.2	2	6.274
141.7	2	4.723

HORAS	**70.89**
DIAS (8Hrs - 1 soldador)	**8.9**

FCAW		
N° Rollos	minuts	total horas
0.03	480	0.24
0.05	480	0.42
0.06	480	0.47
0.05	480	0.42
0.03	480	0.24
0.03	480	0.23
0.05	480	0.41
0.06	480	0.46
0.05	480	0.41
0.03	480	0.23
0.96	480	7.69
0.33	480	2.66
0.44	480	3.56
0.51	480	4.04
0.53	480	4.27
0.53	480	4.27
0.51	480	4.05
0.45	480	3.57
0.34	480	2.69

HORAS	**40.33**
DIAS (8Hrs - 1 soldador)	**5.0**

3) **Tabla de resultados proyectados de costo, tiempos y calidad de soldadura SMAW y FCAW en uniones de soldadura de techo fijo; en tanque Tecnoquimica SAC.**

- **Comparativo de costos:** Nótese que el costo final de soldadura empleada fue mayor en el caso de proceso FCAW por S/288.7 soles.

Proceso SMAW:

UNIONES DE TECHO FLOTANTE DE TANQUE				SMAW							
Descripcion	N° juntas	longitud (m)	espesor (mm)	N° pases raiz 6010	N° pases 7018	rendim. 1 electrodo 6010-1/8 (m)	rendim. 1 electrodo 7018-1/8 (m)	N° electrodos 6010	N° electrodos 7018	latas 6010	latas 7024
Ponton Tipo A	4	7.068	4.76	1	1	0.1	0.15	282.72	188.48	0.47	0.362
	4	4.043	4.76	1	1	0.1	0.15	161.72	107.81	0.27	0.207
	2	3.897	4.76	1	1	0.1	0.15	77.94	51.96	0.13	0.100
	2	1.78	4.76	1	1	0.1	0.15	35.6	23.73	0.06	0.046
	2	0.38	4.76	1	1	0.1	0.15	7.6	5.07	0.01	0.010
	2	3.91	4.76	1	1	0.1	0.15	78.2	52.13	0.13	0.100
	2	3.01	4.76	1	1	0.1	0.15	60.2	40.13	0.10	0.077
	2	2.44	4.76	1	1	0.1	0.15	48.8	32.53	0.08	0.063
	2	1.8	4.76	1	1	0.1	0.15	36	24.00	0.06	0.046
	2	1.16	4.76	1	1	0.1	0.15	23.2	15.47	0.04	0.030
	2	0.47	4.76	1	1	0.1	0.15	9.4	6.27	0.02	0.012
Ponton Tipo B	4	7.068	4.76	1	1	0.1	0.15	282.72	188.48	0.47	0.362
	4	8.087	4.76	1	1	0.1	0.15	323.48	215.65	0.54	0.415
	2	3.897	4.76	1	1	0.1	0.15	77.94	51.96	0.13	0.100
	2	1.547	4.76	1	1	0.1	0.15	30.94	20.63	0.05	0.040
	2	0.38	4.76	1	1	0.1	0.15	7.6	5.07	0.01	0.010
	2	3.91	4.76	1	1	0.1	0.15	78.2	52.13	0.13	0.100
	2	3.01	4.76	1	1	0.1	0.15	60.2	40.13	0.10	0.077
	2	2.44	4.76	1	1	0.1	0.15	48.8	32.53	0.08	0.063
	2	1.8	4.76	1	1	0.1	0.15	36	24.00	0.06	0.046
	2	1.16	4.76	1	1	0.1	0.15	23.2	15.47	0.04	0.030
	2	0.47	4.76	1	1	0.1	0.15	9.4	6.27	0.02	0.012
									N° de latas:	3.00	2.31

Total de soldadura en metros lineales	179.986

Costo 1 lata Cellocord 6010 P (S/)
650
Costo 1 lata Supercito 7018 (S/)
780

Costo total de soldadura (S/)	1949.8	1799.9
	3749.7	

Proceso FCAW:

FCAW				
N° pases ext	Rendim. 1 rollo alambre 1.6 (m)	N° Rollos	Rendim. 1 botella mezcla	N° botellas mezcla
1	40	0.71	32	0.88
1	40	0.40	32	0.51
1	40	0.19	32	0.24
1	40	0.09	32	0.11
1	40	0.02	32	0.02
1	40	0.20	32	0.24
1	40	0.15	32	0.19
1	40	0.12	32	0.15
1	40	0.09	32	0.11
1	40	0.06	32	0.07
1	40	0.02	32	0.03
1	40	0.71	32	0.88
1	40	0.81	32	1.01
1	40	0.19	32	0.24
1	40	0.08	32	0.10
1	40	0.02	32	0.02
1	40	0.20	32	0.24
1	40	0.15	32	0.19
1	40	0.12	32	0.15
1	40	0.09	32	0.11
1	40	0.06	32	0.07
1	40	0.02	32	0.03
	Total de rollos:	4.50		5.62

Costo 1 rollo EXATUB E71T-1M 1.2 (S/)	Costo total de soldadura (S/)	2294.8	Costo total de Gas (S/)	1743.6
510				
Costo 1 botella Ar+Co2 (S/)		Costo total	4038.4	
310				

- **Comparativo de tiempos:** Nótese que el tiempo final empleado en el proceso FCAW fue notablemente menor (casi la 3ra parte) que el proceso SMAW.

SMAW		
N° electrodos	**minuts**	**total horas**
471.2	2	15.707
269.5	2	8.984
129.9	2	4.330
59.3	2	1.978
12.7	2	0.422
130.3	2	4.344
100.3	2	3.344
81.3	2	2.711
60.0	2	2.000
38.7	2	1.289
15.7	2	0.522
471.2	2	15.707
539.1	2	17.971
129.9	2	4.330
51.6	2	1.719
12.7	2	0.422
130.3	2	4.344
100.3	2	3.344
81.3	2	2.711
60.0	2	2.000
38.7	2	1.289
15.7	2	0.522

HORAS	**98.18**
DIAS (8Hrs - 1 soldador)	**12.3**

FCAW		
N° Rollos	**minuts**	**total horas**
0.71	480	5.65
0.40	480	3.23
0.19	480	1.56
0.09	480	0.71
0.02	480	0.15
0.20	480	1.56
0.15	480	1.20
0.12	480	0.98
0.09	480	0.72
0.06	480	0.46
0.02	480	0.19
0.71	480	5.65
0.81	480	6.47
0.19	480	1.56
0.08	480	0.62
0.02	480	0.15
0.20	480	1.56
0.15	480	1.20
0.12	480	0.98
0.09	480	0.72
0.06	480	0.46
0.02	480	0.19

HORAS	**35.35**
DIAS (8Hrs - 1 soldador)	**4.4**

ANEXO 5

Ejemplo de registro de inspección visual de soldaduras de tanques.

CONSORCIO	REGISTRO DE INSPECCION VISUAL	Doc.: CDM-RCC-MEC-001
		Elaborado por: G. Chero P.
		Fecha: 28-11-13
		Rev. 01

SERVICIO	Fabricacion, Montaje e Interconexion de Tres Tanques de 120 MB Cada Uno para Almacenamiento de Biodiesel B-100 y Turbo A-1 en Refineria Talara							
CLIENTE	PETROPERU S.A.		**SUPERVISION**	GMI S.A.		**LUGAR**	Refineria Talara	
TANQUE N°	505		**ESTRUCTURA**	SEPTIMO ANILLO DEL CILINDRO	**N° PLANO**	**IDT-2013-102-M-006**	**REPORTE N°**	**004-2014**
No. DE JUNTA	**ARMADO DE LA UNION**	**TIPO DE UNION**	**WPS UTILIZADO**	**CODIGO DEL SOLDADOR**	**FECHA DE INSPECCION VISUAL**	**RESULTADO**	**OBSERVACIONES**	
J2	A	TOPE	WPS-013 DEMEM	W-EAG	26/06/2014	A	-------	
J5	A	TOPE	WPS-013 DEMEM	W-CAS	26/06/2014	A	-------	
J16	A	TOPE	WPS-013 DEMEM	W-D.CH.P	26/06/2014	A	-------	
J19	A	TOPE	WPS-013 DEMEM	W-EAG	26/06/2014	A	-------	
J20	A	TOPE	WPS-013 DEMEM	W-PVT	26/06/2014	A	-------	

ACEPTADO (A) RECHAZADO (R)

EQUIPOS DE MEDICION: CAM GAGE (A) WELD FILLET (B) LUPA (C) PIROMETRO (D) OTROS (E)

LEYENDA DE DISCONTINUIDADES

UN: BAJO LLENADO **P:** POROSIDAD **FC:** FISURA TIPO CRATER

SS: SOBREMONTA DE SOLDADURA **IF:** FALTA DE FUSION **C:** CONCAVIDAD Y/O CONVEXIDAD

Aprobación:

Firma	**Firma**	**Firma**	**Firma**
Ing. Raúl Chanduví Silupú CIP 149179 Nivel II VT/PT/UT Supervisor de Calidad CDM	**Consorcio DEMEM SA MYC Pariñas SA II**	**Supervision GMI**	**PETROPERU**
Fecha:	**Fecha:**	**Fecha:**	**Fecha:**

ANEXO 6

Ejemplo de registro de inspección por líquidos penetrantes de soldaduras de tanques.

CONSORCIO DEMEM SA MYC Pariñas SA II	REGISTRO DE LIQUIDOS PENETRANTES	Doc.: CDM-RCC-MEC-002 Elaborado por: G. Chero P. Fecha: 28-11-13 Rev. 00

SERVICIO	FABRICACION ,MONTAJE E INTERCONEXION DE TRES TK DE 120 MB CADA UNO PARA ALMACENAMIENTO DE BIODIESEL B-100 Y TURBO A-1 EN REFINERIA TALARA						
CLIENTE	PETROPERU			SUPERVICION	GMI S.A	LUGAR	REFINERIA TALARA
TANQUE N°	505	ESTRUCTURA	SEXTO ANILLO DEL CILINDRO	PLANO DE REFERENCIA	IDT-2013-102-M-006	REPORTE N°	009-2014

DATOS DE CAMPO

MATERIAL UTILIZADO				CONDICIONES DEL ENSAYO					
DATOS DEL MATERIAL	REMOVEDOR	PENETRANTE	REVELADOR	PRODEDIMIENTO	CDM-POC-11	REVISION	B		
Marca	CANTESCO	CANTESCO	CANTESCO	NORMA	API 650 EDICION 2007, ADDENDUM 2, 2009 - EFFECTIVE MAY, 2010			CRITERIO ACEPTACIÓN	SECCTION 8.4
Codificación				TIPO PENETRANTE:	LAVABLE CON SOLVENTE				
Tipo	II (Tinte penetrante visible).			TIEMPO					
Método	C (Método E 1220, removible por solvente)								

REGISTROS DE INSPECCIÓN									
ITEM	JUNTA	CODIGO DE SOLDAOR	PT FECHA	RESULTADO	OBSERVACIONES	SECADO	10 MINUTOS	TIEMPO DE REVELADO	VISIBLE
						PENETRACION	7 - 10 MINUTOS	TIPO DE ILUMNINACION	LUZ NATURAL
						EMULSIFICACION	.....	OBSERVACIONES	
1	J23	W-WGA	4/07/2014	A		SECADO	5 MINUTOS		
2	J26	W-CAS	4/07/2014	A		REVELADO	5 - 10 MINUTOS		
3	J30	W-DCHP	4/07/2014	A					
4	J36	W-EAG	4/07/2014	A					
5	J37	W-EAG	4/07/2014	A					
6	J39	W-PVT	4/07/2014	A					
7	J40	W-DCHP	4/07/2014	A					
8	J41	W-DCHP	4/07/2014	A					
9	J42	W-DCHP	4/07/2014	A					

REGISTRO FOTOGRAFICO

Foto N° 1: Se evidencia la aplicación de penetrante coloreado en la junta J39 del Sexto Anillo, parte de la estructura interna de TK 505

Foto N° 2: Se evidencia la aplicación de revelado en la junta J40 del Sexto anillo, determinándose la aceptación de la misma

ACEPTADO (A) RECHAZADO (R)

EQUIPOS DE MEDICION: CAM GAGE (A) WELD FILLET (B) LUPA (C) PIROMETRO (D) OTROS (E)

LEYENDA DE DISCONTINUIDADES

UN: BAJO LLENADO **P:** POROSIDAD **FC:** FISURA TIPO CRATER

SS: SOBREMONTA DE SOLDADURA **IF:** FALTA DE FUSION **C:** CONCAVIDAD Y/O CONVEXIDAD

Aprobación:

Firma	Firma	Firma	Firma
Ing. Raúl Chanduví Silupú - CIP 149179 - Nivel II VT / PT / UT Supervisor de Calidad CDM	Consorcio DEMEM SA MYC Pariñas SA II	Supervision GMI	PETROPERU
Fecha:	Fecha:	Fecha:	Fecha:

ANEXO 7

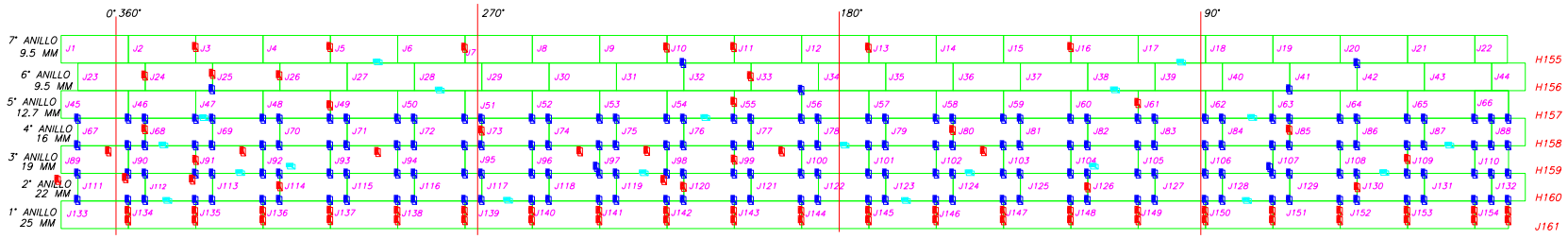
Ejemplo de registro de inspección radiográfica de soldaduras de tanques.

CONSORCIO DEMEM S.A. - MYC PARIÑAS S.A. II	PROTOCOLO DE MAPEO RADIOGRAFICO DEL CILINDRO	Doc.: CDM-PCC-MEC-005
		Elaborado por: G. Chero P.
		Fecha: 28-11-13
		Rev. 01

SERVICIO	Fabricación, Montaje e Interconexión de tres tanques de 120 MB cada uno para almacenamiento de Biodiesel B-100 y Turbo A-1 en Refinería Talara						
CLIENTE:	PETROPERU S.A.	SURERVISIÓN:	GMI S.A.	LUGAR:	REFINERIA TALARA		
TANQUE N°	202	ESTRUCTURA	JUNTAS RADIOGRAFICAS DEL CILINDRO	PLANO DE REFERENCIA:	IDT-2013-102-M-004	REPORTE N°	001-2014

DATOS DE CAMPO

MAPEO DE JUNTAS



N° JUNTA	CODIGO DE SOLDADOR	N° REPORTE	RESULTADOS DE LA PUEBRA RT	UBICACIÓN
JV3	JCE	REP-0064-RX-001	OK	7MO ANILLO
JV5	W-25	REP-0064-RX-001	OK	7MO ANILLO
JV7	FLLP	REP-0064-RX-001	OK	7MO ANILLO
JV24	MZRI	REP-0064-RX-001	OK	7MO ANILLO
JV25	HECM	REP-0064-RX-001	OK	7MO ANILLO
JV26	RMCA	REP-0064-RX-001	OK	6TO ANILLO
JH155-A	JCE	REP-0064-RX-001	OK	6TO ANILLO
JV10	W-27	REP-0064-RX-002	OK	6TO ANILLO
JV11	LSJL	REP-0064-RX-002	OK	6TO ANILLO
JV13	W-28	REP-0064-RX-002	OK	7MO Y 6TO ANILLO
JV16	LOC	REP-0064-RX-002	OK	6TO Y 7MO ANILLO
JV33	GDAG	REP-0064-RX-002	OK	7MO ANILLO
JH155-B	W-25	REP-0064-RX-002	OK	7MO ANILLO
C32	W-25/W-27	REP-0064-RX-002	OK	**7MO Y 6TO ANILLO**
C42	FLLP	REP-0064-RX-002	OK	6TO Y 7MO ANILLO

REGISTRO FOTOGRAFICO

LEYENDA

SIMBOLOS	DESCRIPCION	TOTAL
	PLACA RT JUNTAS VERTICALES	65
	PLACA RT CARA INTERSECCIONES	181
	PLACA RT JUNTAS HORIZONTALES	18
		264

SUPERVISION DE CALIDAD	CONSORCIO DEMEM S.A. MYC PARIÑAS S.A.	SUPERVISION GMI S.A	PETROPERU

qualitytesting	ENSAYO RADIOGRAFICO	Hoja : 1 de 1	Rev. 0
		FECHA FORMATO	15-09-12
		REPORTE N°:	CS 001/14

Cliente:	Consorcio DEMEM S.A. - MyC PARIÑAS S.A. II.	**Dirección:**	TALLER QUALITY TESTING

GENERAL

Proyecto:	Servicio de fabricación, montaje e interconexión de 3 tanques de 120 MB cada uno para almacenamiento de biodiesel B-100 y turbo A1 en refinería talara.						
Objeto de Ensayo:	PLANCHA	**Ø:**	6"	**Espesor:**	12.7 mm	**Refuerzo:**	3 mm
Plano:	-----	**Isométrico:**	-----	**Descripción:**	------		
Material:	------	**Preparación de Bordes:**	A tope	**Proceso de Soldadura:**	FCAW		

MATERIAL Y DATOS DE ENSAYO

Procedimiento N°:	QT-RT- 002	**Criterio de Evaluación:**		ASME Sección IX.			
Fuente:	Ir192	**Dimensiones:**	3.225mm	**Actividad (GBq):**	1776		
Película:	KODAK	**Tipo:**	MX-125	**Dimensiones:**	70 x 255 mm	**Pantallas:**	0,127mm -0.254mm
IQI Tipo:	ASTM	**N°:**	1B	**Situación:**	Lado Película		
Distancia Fuente Film:	500 mm			**Tiempo de Exposición:**	4 minuto 15 segundos		

TIPO DE DEFECTO						CALIFICACION
C	Fisura	TI	Inclusión de Tungsteno			A= Aceptado R= Reparar
LF	Falta de Fusión.	EI	Indicación Alargada			
IP	Falta de Penetración.	CRS	Superficie Cóncava de la Raíz			
P	Porosidad Interna.	IU	Socavado Interno			
SI	Inclusión de Escoria	EU	Socavado Externo			

Identificación	Sector	Soldador	IQI Requerido	Espesor (mm)	Densidad	Tipo y Ubicación de Discontinuidades y o Defectos	Calificación	Técnica radiográfica
EDGAR DAVID ABAD GUEVARA / DNI: 41890647 / POSICION 2G / WPS 013-DEMEM								
Probeta								
	P1	EAG	6	0.25	2.5 – 3.5		A	
==========	===	======	=========	=====	=======	==========	=========	
								X

Observaciones:

OPERADORES	INSPECTOR CLIENTE	EVALUADOR	SUPERVISOR
Pablo Carrillo Marco Valladares		Rolando Clavijo Arcela Level II SNT-TC-1A	
Firma y Fecha: 03-07-14	Firma y Fecha:	Firma y Fecha: 03-07-14	Firma y Fecha:

ANEXO 8

Ejemplo de registro de inspección por cámara de vacío en soldaduras de

REGISTRO DE PRUEBA DE VACIO

Doc.: CDM-RCC-MEC-006	
Elaborado por: G. Chero P.	
Fecha: 28-11-13	
Rev. 00	

SERVICIO	Fabricación, Montaje e Interconexión de tres tanques de 120 MB cada uno para almacenamiento de Biodiesel B-100 y Turbo A-1 en Refinería Talara						
CLIENTE	PETROPERU S.A.			**SUPERVISION**	GMI S.A.	**LUGAR**	Refineria Talara
TANQUE N°	505	**ESTRUCTURA**	Juntas soldadas en planchas Fondo	**PLANO DE REFERENCIA**	**IDT-2013-102-M-002**	**REPORTE N°**	002-2014

DATOS DE CAMPO

DATOS DEL MATERIAL

Motor de Vacio	Motor VPUMP Modelo VPA-6D	Serie:	2R02LQD - CF-1253
Caja de Prueba	Fabricada con Mica de 3/4" de Espesor	Dimensiones:	620x230x90 mm
Vacuometro	Nuovafima Dial 21/2" (-30 Hg / m)	Certificado de Calib:	0461-CLF-2013

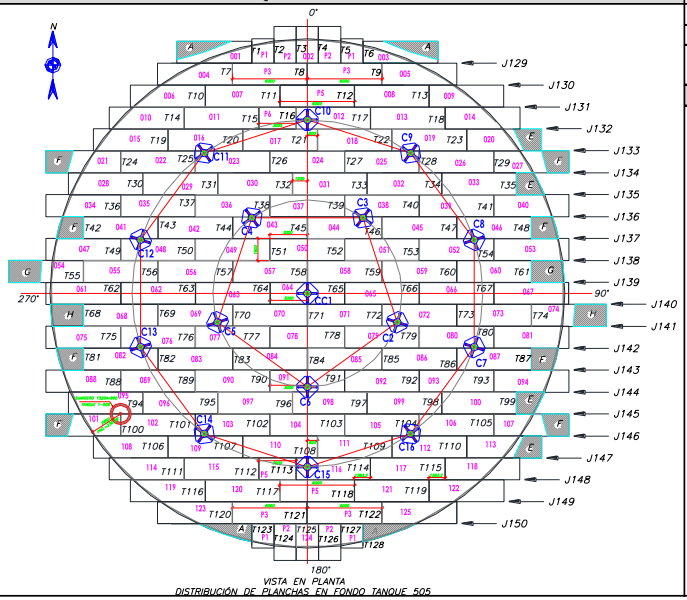
Condiciones de Ensayo

Especificacion de Material	ASTM A36
Rango De Prueba de Vacio	6-10inHg
Presion de Prueba	10 in Hg
Temp. Superficie	Entre 27° y 52° al ensayo
Tiempo de Prueba	5 Segundos
Observaciones	

REGISTROS DE INSPECCIÓN

JUNTA	CODIGO DE SOLDAOR	FECHA PRUEBA V.	RESULTADO	OBSERVACIONES
J-133	W-PVT/W-EAG	9/07/2014	OK	----
J-134	W-PVT/W-EAG	14/07/2014	OK	----
J-135	W-PVT/W-EAG	14/07/2014	OK	----

ESQUEMA INSPECCIONADO



EVIDENCIA FOTOGRAFICA

ACEPTADO (A) RECHAZADO (R)

EQUIPOS DE MEDICION: CAM GAGE (A) WELD FILLET (B) LUPA (C) PIROMETRO (D) OTROS (E)

LEYENDA DE DISCONTINUIDADES

UN: BAJO LLENADO
SS: SOBREMONTA DE SOLDADURA
P: POROSIDAD
FC: FISURA TIPO CRATER
IF: FALTA DE FUSION
C: CONCAVIDAD Y/O CONVEXIDAD

Aprobación:

Firma	**Firma**	**Firma**	**Firma**
Supervisor de Calidad CDM	**Consorcio DEMEM S.A. MYC Pariñas S.A. II**	**Supervision GMI**	**PETROPERU**
Fecha:	**Fecha:**	**Fecha:**	**Fecha:**

ANEXO 9

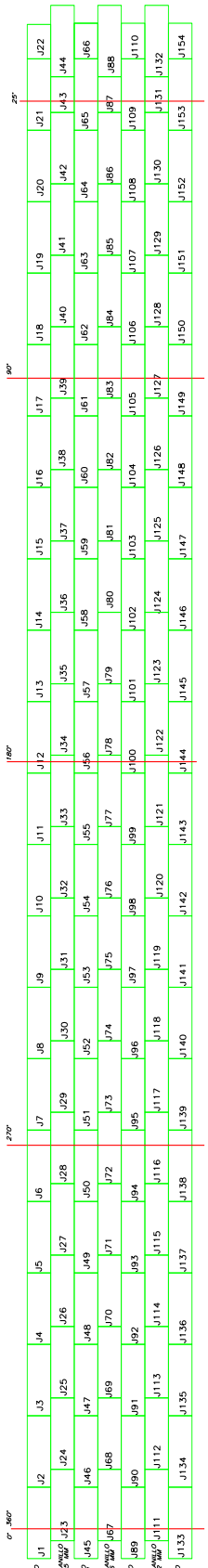
Ejemplo de registro de control de soldaduras de tanques.

CONSORCIO DEMEM S.A. - MyC PARIÑAS S.A. II	PROTOCOLO DE MAPEO DE JUNTAS VERTICALES	Doc.: CDM-PCC-MEC-001	
		Elaborado por: G.Chero P.	
		Fecha: 28-11-13	
		Rev. 01	

Servicio:	Fabricación, Montaje e Interconexión de tres tanques de 120 MB cada uno para almacenamiento de Biodiesel B-100 y Turbo A-1 en Refinería Talara				
CLIENTE:	PETROPERU S.A.	SUPERVISIÓN:	GMI S.A.	LUGAR:	REFINERÍA TALARA
TANQUE N°	505	ESTRUCTURA	SEXTO ANILLO DEL CILINDRO	PLANO DE REFERENCIA:	IDT-2013-102-M-006	REPORTE N°	007-2014

DATOS DE CAMPO

MAPEO DE JUNTAS



N° JUNTA	CODIGO DE SOLDADOR	FECHA DE SOLDEO	ACABADO
J29	W-DCHP	2/07/2014	OK
J33	W-PVT	2/07/2014	OK
J34	W-EAG	2/07/2014	OK

REGISTRO FOTOGRÁFICO

OBSERVACIONES

Ing. Raúl Chanduví Silupú - CIP 149179
Nivel II VT / PT / UT

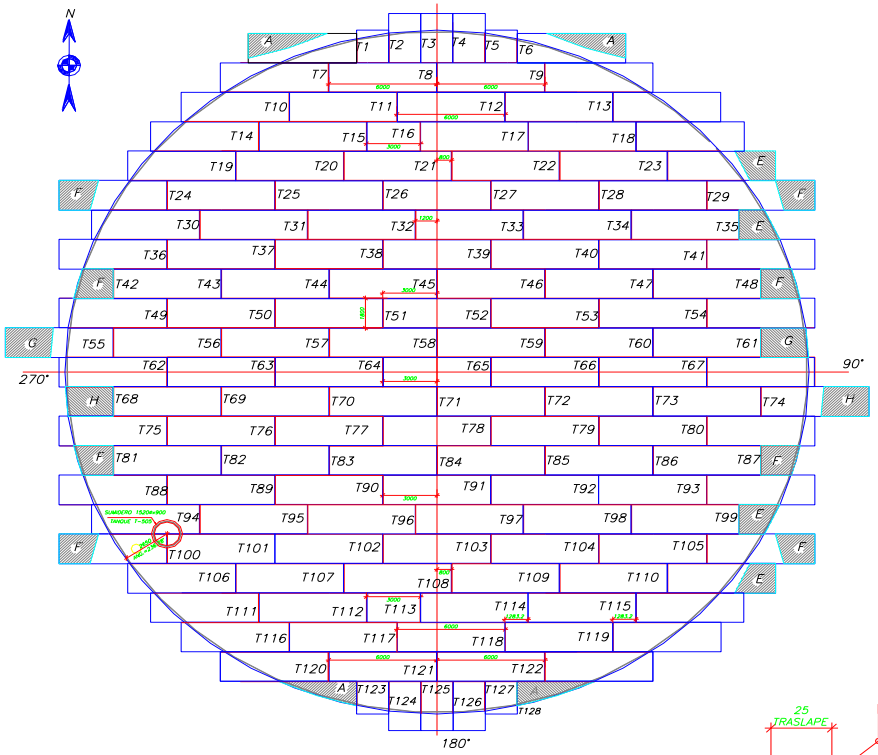
SUPERVISIÓN DE CALIDAD CDM	CONSORCIO DEMEM S.A.-MyC PARIÑAS S.A. II	SUPERVISIÓN GMI	PETROPERU S.A

CONSORCIO DEMEM S.A. - MyC PARIÑAS S.A. II	PROTOCOLO MAPEO JUNTAS TRANSVERSALES DEL FONDO	Doc.: CDM-PCC-MEC-012
		Elaborado por: G. Chero P.
		Fecha: 28-11-13
		Rev. 01

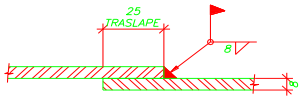
Servicio:	Fabricación, Montaje e Interconexión de tres tanques de 120 MB cada uno para almacenamiento de Biodiesel B-100 y Turbo A-1 en Refinería Talara						
CLIENTE:	**PETROPERU S.A.**	**SURERVISIÓN:**	GMI S.A.	**LUGAR:**	REFINERIA TALARA		
TANQUE N°	**505**	**ESTRUCTURA**	**JUNTAS TRANSVERSALES**	**PLANO DE REFERENCIA:**	**IDT-2013-102-M-003**	**REPORTE N°**	**007-2014**

DATOS DE CAMPO

MAPEO DE JUNTAS



VISTA EN PLANTA
DISTRIBUCIÓN DE PLANCHAS EN FONDO TANQUE 505



N° JUNTA	CODIGO DE SOLDADOR	FECHA DE SOLDEO	ACABADO
T16	W-PVT	9/06/2014	OK
T21	W-PVT	9/06/2014	OK

REGISTRO FOTOGRÁFICO

OBSERVACIONES

Ing. Raúl Chanduví Silupú - CIP 149179 Nivel II VT / PT / UT			
SUPERVISIÓN DE CALIDAD CDM	**CONSORCIO DEMEM S.A.-MyC PARIÑAS S.A. II**	**SUPERVISIÓN GMI**	**PETROPERU S.A**

ANEXO 10

Ejemplo de registro de reporte diario de soldaduras de tanques.

CONSORCIO DEMEM S.A. – M Y C PARINAS S.A. II	SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD, SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO	DOCUMENTO	
		VERSIÓN	1
		FECHA	Set-13

1.- DATOS GENERALES

SERVICIO	SERVICIO DE FABRICACION, MONTAJE E INTERCONEXION DE TRES TK DE 120 MB CADA UNO PARA ALMACENAMIENTO DE BIODIESEL B-100 Y TURBO A1 EN REFINERIA TALARA	CÓDIGO	
CLIENTE	PETROPERU S.A	FECHA DE REPORTE	24/05/2014
UBICACIÓN	REFINERIA TALARA		

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	CARGO	TOTAL HORAS	N°	APELLIDOS Y NOMBRES	CARGO	TOTAL HORAS
1	David Aquino Crisostomo	Sup. De campo	10	19			
2	Raúl chanduví Silupú	Ing. Supervisor de calidad	10	20			
3	Christian Aquino Zandoval	Soldador 6G	10	21			
4	Wilfredo Guerrero	Soldador 6G	10	22			
5				23			
6				24			
7				25			
8				26			
9				27			
10				28			
11				29			
12				30			
13				31			
14				32			
15				33			
16				34			
17				35			
18				36			

3.- MAQUINARIA Y/O EQUIPO INVOLUCRADO EN DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD

CANT.	MAQUINARIA/EQUIPO	HP/TN	HORAS	CANT	MAQUINARIA/EQUIPO	HP	HORAS
3	Maquinas de Soldar Marca: MILLER		10	1	Grupo Electrogeno de 10 KW		10
5	Esmeriles Marca: Bosch		10	2	Equipos de Oxicorte		10
5	Barretas		10	2			
1	Camioneta Pick Up Doble Cabina		10	1			
2							

6.- COMENTARIOS

1. Prueba soldadura de 09 soldadores para homologacion según WPS 013 Demem
2. Inspección visual de soldaduras durante pruebas con Supervisión GMI.
3.
4.
5.
6.

7.- RESEÑA FOTOGRÁFICA

Inspeccion GMI de pruebas de soldadores

Inspección de probetas soldadas

ANEXO 11

Presupuesto de soldadura proyectado en un tanque proyectado de la empresa Tecnoquimica Norte SAC.

Del análisis de métodos de soldadura SMAW y FCAW en el presupuesto proyectado usando los ratios de producción encontrados en el caso citado en el punto 3.1 y Anexo N°3 de 2 tanques de muestra; se muestran los resultados:

A. **Evaluación económica – costos por cantidad de soldadura:** El precio del material de aporte FCAW en la confección del total de soldaduras del tanque de 15.5m de diámetro es mayor que el precio del aporte SMAW.
   - Costo de soldadura SMAW: S/37824.5
   - Costo de soldadura FCAW: S/39986.9
   - Diferencia: S/2162.4

B. **Evaluación económica – tiempos:** El tiempo empleado por FCAW en confección del total de soldaduras del tanque de 15.5m de diámetro es menor que el tiempo empleado por el proceso SMAW.
   - Costo de soldadura SMAW: 142.6 días laborables de 8horas c/u.
   - Costo de soldadura FCAW: 49.4 días laborables de 8horas c/u.
   - Diferencia: S/93.2

Tabla 9. Resumen de costos y tiempos en soldadura Proceso SMAW

AREA DE TANQUE		PROCESO SMAW - ELECTRODO REVESTIDO			
		N° latas requeridas	Costo de soldadura	N° de horas (1 soldador)	N° de dias (8hrs * 1 soldador)
1	CASCO - UNIONES VERTICALES	8.1	5265	162	20.3
2	CASCO - UNIONES HORIZONTALES	40.45	26293	809	101.1
3	UNIONES DE FONDO DE TANQUE	3.72	2516.8	70.89	8.9
4	UNIONES DE TECHO FLOTANTE DE TANQUE	5.31	3749.7	98.12	12.3
		COSTO Total S/:	37824.5	TIEMPO Total (dias):	142.6

Tabla 10. Resumen de costos y tiempos en soldadura Proceso FCAW

AREA DE TANQUE		PROCESO FCAW - ALAMBRE TUBULAR CON PROTECCION GASEOSA				
		N° Rollos	N° de Botellas de gas	Costo de soldadura	N° de horas (1 soldador)	N° de dias (8hrs * 1 soldador)
1	CASCO - UNIONES VERTICALES	7.56	7.09	6052.7	60.48	7.6
2	CASCO - UNIONES HORIZONTALES	32.36	30.34	25908.2	258.88	32.4
3	UNIONES DE FONDO DE TANQUE	5.04	4.57	3987.6	40.33	5
4	UNIONES DE TECHO FLOTANTE DE TANQUE	4.5	5.62	4038.4	35.35	4.4
			COSTO Total S/:	39986.9	TIEMPO Total (dias):	49.4

Evaluación Económica comparativa

De acuerdo a lo descrito con los resultados; se determina que el proceso FCAW para el presupuesto proyectado brinda mejoras en la producción y calidad respecto al proceso SMAW.

Si bien el costo del FCAW para este caso es superior en materiales de aporte y gases de protección; este costo se mantiene relativamente cuando se confeccionan cantidades cortas de soldadura, pero dicho costo se aminora consecuentemente, llegando a ser incluso menor que el SMAW mientras se suelda cantidades más largas de soldadura y espesores altos. Esto debido a que la eficiencia en deposición de soldadura por parte del FCAW es mayor que el SMAW.

Para este caso, el ligero costo superior de FCAW en materiales de soldadura se compensa notablemente si comparamos los tiempos de producción, que para el FCAW es apenas la tercera parte del tiempo del método SMAW; siendo que con tiempos muy cortos se ahorraría mano de obra operativa, supervisión, alquiler de equipos, combustible, etc.

En el Anexo N°4 se muestran las tablas de detalle de costos y tiempos individuales proyectados por partes del tanque.

ANEXO 12

Procedimiento especifico de soldaduras WPS - PQR

M. y C. Pariñas S.A. Contratistas Generales Talara - Perú	ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) *(De acuerdo a ASME Sección IX-2010)*	HOJA:	1 de 2
		EMISION:	2014-12-05
		REVISION:	1

QW-482 - ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

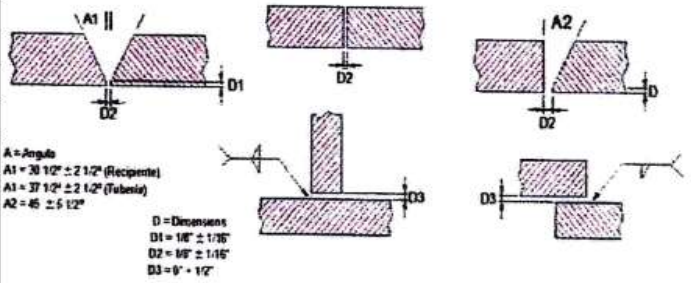
Nombre de la compañía:	***MyC PARIÑAS S.A***	Por:	***Ing. Raúl Chanduví S. CIP 149179***		
Especificación de Procedimiento No.	***WPS-MyC-013***	Fecha:	***2014-12-05***	PQR de soporte:	***PQR-013-DEMEM***
Revisión No.	***00***	Fecha:	---		
Proceso(s) de soldadura:	***FCAW***	Tipo:	***SEMIAUTOMATICO***		

JUNTA (QW-402)

Diseño de junta:	***Plano, Ranura, Filete***		
Respaldo: (Si)	***X***	(No)	***X***
Material de respaldo: (Tipo):	---		
☐ Metal		☐ Refractario	
☐ No metálico		☐ Otro	

Esquema, dibujo de fabricación, símbolos de soldadura o descripción escrita debe mostrar el arreglo general de las partes ha ser soldadas. Donde sea aplicable, la apertura de raíz y los detalles de la soldadura debe ser especificada.

Detalles



METAL BASE (QW-403)

Nº P:	***1***	Grupo Nº:	***1***	al Nº P:	***1***	Grupo Nº:	***Todos***
O							
Especificación de tipo y grado:	---						
A la especificación de tipo y grado:	---						
O							
Análisis químico y propiedades mecánicas:	---						
Hasta el análisis químico y propiedades mecánicas:	---						

Rango de espesores

Metal base:	Ranura:	***Desde 5.0 mm hasta 38 mm***	Filete:	***Todos***
Espesor máximo de pase ≤ ½" (13mm)		***Si*** ***(X)***	**No**	( )
Otro	--			

METAL DE APORTE (QW-404)

Especificación Nº (SFA)	***QW-432***	***SFA-5.2***	
AWS No (Clase)	***QW-432***	***E71T-1***	
Nº F	***QW-432***	***6***	
Nº A	***QW-442***	***1***	
Diámetro de metal de aporte:		***1.6 mm***	
Metal depositado		---	
Rango de espesores			
Ranura		***5.0 mm @ 25.4 mm***	
Filete		*Todo tamaño*	
Fundente (clase)		-	
Nombre comercial		-	

Ing. Raul Chanduvi Silupu
CWI 14121061
QC1 EXP. 12/1/2017

M. y C. Pariñas S.A. Contratistas Generales Talara - Perú	ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) *(De acuerdo a ASME Sección IX-2010)*	HOJA:	2 de 2
		EMISION:	2014-12-05
		REVISION:	1

POSICIONES (QW-405)				**TRATAMIENTO DE POST-CALENTAMIENTO**			
Posicion(es) de ranura	***Todas***			Rango de temperatura:	---		
Progresión: Asc:	***X***	Desc.	***X***	Tiempo:	---		
Posición de filete	***Todas***			**GAS (QW-408)**			
PRECALENTAMIENTO (QW-406)				Composición Porcentual			
Temp. Precalentamiento	Mín:	***10°C Amb.***		**GTAW**	Gas(es)	Mezcla	Flujo
Temp. Interpase	Máx:	***150°C***		Protección	***Ar / CO2***	***80% / 20%***	***(15-25) Lt/min***
Mantenimiento precalentamiento:		---		Arrastre	---	---	---
				Respaldo	---	---	---

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW-409)			
Corriente AC o DC	***DC***	Polaridad	***Ver tabla***
Rango de amperaje	***Ver Tabla***	Rango de voltaje	***Ver Tabla***
Tamaño y tipo de electrodo de tungsteno	---		

Modo de transferencia en GMAW	*Arco Spray*		
(Arco spray, corto circuito, etc)			
Velocidad de alimentación de alambre	*160-190 in/min*		

TÉCNICA	
Pase ancho o angosto	***El requerido***
Orificio o tamaño de protección gaseosa	*16mm*
Limpieza inicial y entrepasadas (escobillado, esmerilado, etc)	***Escobillado y/o esmerilado***
Método de resane de raíz	***Esmerilado***
Oscilación	***Como sea requerida***
Distancia de boquilla a pieza de trabajo	***10 – 12mm***
Último pase, múltiple o simple	***Simple o Múltiple según espesor de material base***
Electrodo simple o múltiple	***Simple***
Velocidad de avance (rango)	***Variable***
Martilleo	----
Otro	---

Pase Nº	Proceso	Metal de aporte		Corriente		Voltaje	Velocidad de avance (cm/min)	Otros
		Clase	Diam	Polaridad	Amperaje			
1 (Raíz)	*FCAW*	*E71T-1*	*1.6*	*DCEP*	*180-330*	*22-31*	*10-12*	---
2	*FCAW*	*E71T-1*	*1.6*	*DCEP*	*180-330*	*22-31*	*13-15*	---
3	*FCAW*	*E71T-1*	*1.6*	*DCEP*	*180-330*	*22-31*	*13-15*	----
4-n	*FCAW*	*E71T-1*	*1.6*	*DCEP*	*180-330*	*22-31*	*16-18*	---

Nosotros certificamos que los datos en este documento cumplen con los requerimientos de la Sección IX del codigo ASME 2010.
El presente WPS; hace referencia al PQR – 013 Demem (QW-201 / ASME 2010 - Sección IX).

Autorizado por:	***Elaborado – Revisado Por:***
M y C Pariñas S.A. Ing. Miguel Montero V. Gerente General	AWS Smit Raul Chanduvi Silupu CWI 14121061 QC1 EXP. 12/1/2017

CONSORCIO DEMEM S.A. - M Y C PARIÑAS S.A. II	REGISTRO DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (PQR) *(De acuerdo a ASME Sección IX-2010)*	PQR 013-DEMEM	
		HOJA:	1 de 2
		EMISION:	02-01-2013
		REVISION:	1

QW-482 – REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (PQR)

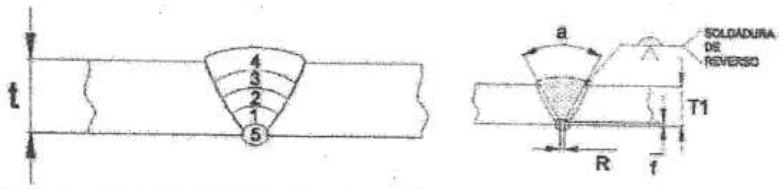
Nombre de la compañía: *CONSORCIO DEMEM S.A.-M Y C PARIÑAS S.A. II* Por: *Ing. Cledoaldo Baca*

Calificación de Procedimiento (PQR) No. *PQR-013-DEMEM* Fecha: *10-11-2013*

WPS N°. *WPS-013-DEMEM*

Proceso(s) de soldadura: *FCAW* Tipo: *SEMIAUTOMATICO*

JUNTA (QW-402)



α = 60°
f = 3.0 mm
R = 3.0mm
T1 = 19 mm

METAL BASE (QW-403)

Especificación material: *SA-36 a SA-36*

N° UNS: *K02600*

P – No. *1 Grupo N° 1* a P – No. *1 Grupo N° 1*

Espesor de probeta: *19 mm*

Diámetro Exterior de probeta: --

Otro: --

TRATAMIENTO TERMICO POST-SOLDADURA (QW-407)

Temperatura: --

Tiempo: --

Otro: --

GAS (QW-408)

FCAW	Gas(es)	Composición Porcentual: Mezcla	Composición Porcentual: Flujo
Protección	*Ar. / CO2*	*80% / 20%*	*16 Lt/min*
Arrastre	--	--	--
Respaldo	--	--	--

METAL DE APORTE (QW-404)

Especificación ASME: *SFA-5.20*

Clasificación AWS: *E71T-1*

Metal de aporte F – No.: *6*

Análisis de metal depositado A – No.: *1*

Tamaño de metal de aporte: *1.6 mm (1/16")*

Otro: --

Espesor de metal de soldadura: *19 mm*

CARACTERISTICAS ELECTRICAS (QW-409)

Corriente: *CORRIENTE CONTINUA*

Polaridad: *VER TABLA*

Amperaje: *180 – 214* Voltaje: *24 - 27*

Tamaño de electrodo de tungsteno: --

Otro: --

POSICION (QW-405)

Posición de ranura: *3G*

Progresión de soldadura (asc, desc): *Ascendente*

--

TECNICA (QW-410)

Velocidad de avance: *10 -18 cm/mim*

Pase recto u ondulado: *ondulado*

Oscilación: *Como sea requerida*

Últimos pases, simple o múltiple: *Múltiple*

Electrodo solo o múltiple: *Solo*

Otro: --

PRECALENTAMIENTO (QW-406)

Temperatura de precalentamiento: *T°C Amb.*

Temperatura entre pases: *150°C*

Otro: --

Victor E Aguilar
CWI 12071211
QC1 EXP. 7/1/2015

CONSORCIO DEMEM S.A. - M Y C PARIÑAS S.A. II	REGISTRO DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (PQR) *(De acuerdo a ASME Sección IX-2010)*	PQR 013-DEMEM	
		HOJA:	2 de 2
		EMISION:	02-01-2013
		REVISION:	1

Pase	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de Avance (cm/min)
		Clase	Diam (mm)	Tipo y polaridad	Amperaje (A)		
1	FCAW	E71T-1	1.6	DCEP	180 - 182	24 - 26	10 - 12
2	FCAW	E71T-1	1.6	DCEP	210 - 212	25 - 27	11 - 13
3	FCAW	E71T-1	1.6	DCEP	212 -214	25 - 27	14 - 16
4	FCAW	E71T-1	1.6	DCEP	210 - 212	24 - 26	10 - 12
5(Backweld)	FCAW	E71T-1	1.6	DCEP	190 -192	24 - 26	16 -18
--	--	--	--	--	--	--	--
	--	--	--	--	--	--	--

PRUEBAS DE TENSION PQR No. PQR-013-DEMEM

Espécimen No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Area (mm2)	Carga Máxima total (N)	Resistencia máx.(Mpa)	Tipo de falla y ubicación
T01-PQR 013-DEMEM	19.64	18.67	366.68	218427	596.0	Rotura Material Base
T02-PQR 013-DEMEM	18.90	18.60	351.54	204690	582.0	Rotura Material Base

Pruebas conducidas por: Asha Mata — Prueba de laboratorio No ET-2013-89

Lugar de prueba: SOLDEX S.A. - Laboratorio De Pruebas Físicas

ENSAYOS DE DOBLEZ GUIADO

Tipo y figura No.	Resultado
DL01-PQR 013-DEMEM	CONFORME
DL02-PQR 013-DEMEM	CONFORME
DL03-PQR 013-DEMEM	CONFORME
DL04-PQR 013-DEMEM	CONFORME

Pruebas mecánicas conducidas por: Ing. Walter Manrique G. — N° de Informe: TAL-RE-2013-13

PRUEBA DE IMPACTO

Espécimen No.	Ubicación de muesca	Tamaño de especimen	Temperatura de ensayo	Valores de impacto			Peso de rotura
				Fuerza	% corte	Mils	

PRUEBA EN SOLDADURA DE FILETE

Resultado satisfactorio: Si _____ No _____ Penetración en metal origen: Yes _____ No _____

Resultados de macroataque --

OTRAS PRUEBAS

Tipo de prueba --

N° de Reporte --

Otro --

Nombre soldador	Fernando LLontop Polo	N°. Identificación	43536725
Pruebas Mecánicas conducidas por:	Ing. Walter Manrique G.	Prueba de laboratorio	No ET-2013-89

Nosotros certificamos que los datos en este registro son correctos y que las probetas fueron preparados, soldados y ensayados de acuerdo con los requerimientos de la Sección IX del Código ASME 2010.

Fabricante	CONSORCIO DEMEM S.A.-M Y C PARIÑAS S.A. II	Autorizado por:	CONSORCIO DEMEM S.A.-M Y C PARIÑAS S.A. II
Fecha	10 de Noviembre del 2013	Certificado por:	

Víctor E. Aguilar
CWI 12071211
QC1 EXP. 7/1/2015