

**DISEÑO DE UN MODELO DE GESTIÓN PARA LOS PROCESOS DE
SOLDADURA DE MECÁNICOS ASOCIADOS S.A.S. BASADOS EN LOS
CODIGOS CONSTRUCTIVOS API Y ASME.**

JOSE ALEJANDRO CHÁVARRO FALLA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
MAESTRIA EN INGENIERÍA DE PETRÓLEOS Y GAS
BUCARAMANGA
2018**

**DISEÑO DE UN MODELO DE GESTIÓN PARA LOS PROCESOS DE
SOLDADURA DE MECÁNICOS ASOCIADOS S.A.S. BASADOS EN LOS
CODIGOS CONSTRUCTIVOS API Y ASME.**

JOSE ALEJANDRO CHÁVARRO FALLA

**Trabajo de grado para optar por el título de
Magister en Ingenierías de Petróleos y Gas con énfasis en Gerencia y
Economía de los Hidrocarburos**

Director

**FRANCISCO JOSE CASTAÑO MORA
MBA – Maestría en Administración de Empresas**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
MAESTRIA EN INGENIERÍA DE PETRÓLEOS Y GAS
BUCARAMANGA
2018**

TEXTO DE DEDICATORIA

Este título es dedicado a Dios por permitirme conseguir este logro y a mi familia.

A mis papas por todo el sacrificio que han hecho para llevarme hasta aquí y poder conseguir este título que es mas de ustedes que mío.

Mis hermanos que siempre han estado ahí para apoyarme, guiarme y ayudarme en los momentos más alegres y más difíciles de mi vida.

A mis sobrinos que son la alegría y el aprendizaje en una nueva faceta de la vida.

Al Criadero La Tere que es uno de mis más grandes motivadores.

TEXTO DE AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la vida, los recursos y la capacidad de terminar este proyecto,

A mis papas, mis hermanos, mis sobrinos y demás familia por el apoyo y hacer de mi un profesional integro.

A Mecánicos Asociados S.A.S por permitirme desarrollarme como profesional y darme la oportunidad de aprender cada día más.

A los Ingenieros William Fandiño, Hernán Ferrer y Joaquín Pulido por enseñarme el valor de la soldadura y compartirme de sus experiencias y conocimiento técnico.

Al Ingeniero Francisco Castaño por su tiempo y acompañamiento en el desarrollo de este proyecto desde su faceta de director.

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCIÓN.....	18
1. DESCRIPCION DEL PROBLEMA	19
1.1. JUSTIFICACION	21
2. OBJETIVOS.....	23
2.1 OBJETIVO GENERAL	23
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	23
3. ENFOQUE.....	24
4. ALCANCE	25
5. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	26
6. HIPÓTESIS	27
7. MARCO DE REFERENCIA	28
7.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	28
8. MARCO TEÓRICO - CONCEPTUAL	30
9. MARCO PRÁCTICO	35
10. RECOLECCION DE INFORMACION	37
10.1. PROCESOS DE SOLDADURA.....	37
10.1.1. Shielded Metal Arc Welding (SMAW).	38
10.1.2. Gas Metal Arc Welding (GMAW).....	41
10.1.3 Flux Core Arc Welding (FCAW)	47
10.1.4 Gas Tungsten Arc Welding (GTAW).....	49
10.2. PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA.....	51
10.3. MATERIALES BASE Y DE APORTE UTILIZADOS	60
10.4 DEFECTOLOGÍA	65

11	CUANTIFICACIÓN DE LOS COSTOS DEL PROCESO SOLDADURA.....	71
12	EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA DE LA COMPAÑÍA...	73
13	MODELO PARA GESTIONAR EL PROCESO DE SOLDADURA SEGÚN LAS CONDICIONES DE TRABAJO DE MECÁNICOS ASOCIADOS S.A.S	77
14	CONCLUSIONES.....	108
15	RECOMENDACIONES	110
	BIBLIOGRAFIA.....	111

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Defectología definida por Mecánicos Asociados.....	20
Tabla 2. Relación de Procedimientos de Soldadura.....	52
Tabla 3. Límite de Diámetros de Soldaduras de Ranura.....	54
Tabla 4. Ensayos de Tensión y Doble Transversal de Soldaduras de Ranura. Rango de espesores calificados.	55
Tabla 5. Variables Esenciales del Soldador para el Proceso SMAW.	57
Tabla 6. Números P de los diferentes Materiales según ASME Sección II.	61
Tabla 7. Números F para diferentes Aportes de Soldadura según ASME Sección II.62	62
Tabla 8. Números A para los Aportes de Soldadura según el ASME Sección IX.	64
Tabla 9. Clasificación de los metales de aportes según el API 1104.	65
Tabla 10. Defectología en Orden de Ocurrencia.....	66
Tabla 11. Tiempos de Actividades para reparaciones de soldadura.	72
Tabla 12. Tabla para la selección de los aportes para Aceros al carbono y bajamente Aleados.	86

LISTA DE ILUSTRACIONES

Pág.

Ilustración 1. Partes del Proceso Shielded Metal Arc Welding (SMAW). Soldadura de Arco con Electrodo Revestido.....	38
Ilustración 2. Partes del Electrodo para el Proceso SMAW.....	39
Ilustración 3. Partes del Proceso GMAW. Gas Metal Arc Welding.....	41
Ilustración 4. Partes del Electrodo para el Proceso GMAW.....	42
Ilustración 5. Partes del Proceso FCAW.....	47
Ilustración 6. Partes del Electrodo de FCAW.....	48
Ilustración 7. Partes del Proceso GTAW.....	49
Ilustración 8. Partes del Electrodo del Proceso GTAW.....	50
Ilustración 9. Diagrama de Soldadura tubo de 8" SCH 80.....	99
Ilustración 10. Sobre espesor de soldadura de 1/8".	99
Ilustración 11. Sobre espesor de soldadura de 1/16".	99

LISTA DE GRÁFICOS

Pág.

Gráfico 1. Comportamiento de la Defectología en el 2017.....	22
Gráfico 2. Porcentaje de Defectología por Discontinuidad.....	67

LISTADO DE IMÁGENES

Pág.

Imagen 1. Unión Soldada de Acero al Carbón.....	33
Imagen 2. Proceso SMAW (Shielded Metal Arc Welding)	40
Imagen 3. Proceso GMAW. Gas Metal Arc Welding.	43
Imagen 4. Modos de Transferencia Proceso GMAW.	44
Imagen 5. Radiografía con Porosidad Aislada (PA).	67
Imagen 6. Radiografía con Socavado Interno (SI).	68
Imagen 7. Radiografía con Concavidad Interna (CI).....	68
Imagen 8. Radiografía con Escoria Elongada (IEE).....	69
Imagen 9. Radiografía con Porosidad Agrupada (PAG).....	70
Imagen 10. Galga pico de Loro para inspección de soldadura.	74
Imagen 11. Organigrama Típico de la Compañía para actividades de Soldadura.....	75
Imagen 12. Tipos de Junta de Soldadura.....	88

LISTA DE ESQUEMAS

Pág.

Esquema 1. Modelo para Gestionar el proceso de Soldadura según las condiciones de trabajo.	79
--	-----------

GLOSARIO

API 1104: Soldadura de Tuberías y facilidades relacionada, Estándar API 1104, edition 21, septiembre 2013.

API 577: Welding Processes, Inspection, and Metallurgy, API recommended practice 577, second edition, December 2013.

API: American Petroleum Institute – Instituto Americano del Petróleo.

Arco Eléctrico: Acorre cuando la punta del electrodo toca la pieza de trabajo y se aleja para crear la fundición de los metales.

ASME B31.3: Procesos de Tubería, edition 2016.

ASME B31.4: Sistemas de Tubería de transporte de líquidos y lodos, edition 2016.

ASME B31.8: Sistema de Tubería de distribución y transmisión de Gas, edition 2016.

ASME Sección II: Materiales, ASME Boiler & Pressure Vessel Code, edition 2017.

ASME Sección IX: Calificaciones para soldadura, brazing y fusing, ASME Boiler & Pressure Vessel Code, edition 2017.

ASME Sección V: Ensayos No Destructivos, ASME Boiler & Pressure Vessel Code, edition 2017.

ASME: American Society of Mechanical Engineers - Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos.

AWS: Sociedad Americana de Soldadura.

Compañía: Mecánicos Asociados S.A.S.

FCAW: Flux Core Arc Welding - Soldadura de arco con electrodo con centro de Fundente.

Filler: Aporte, corresponde al metal de aporte de soldadura.

GLP: Gas Licuado del Petroleo.

GMAW: Gas Metal Arc Welding - Soldadura de arco con alambre sólido y protección de gas.

GTAW: Gas Tungsten Arc Welding – Soldadura de Arco con tungsteno y protección de gas.

Job Description: Es el documento que describe el perfil del cargo, con los roles, responsabilidades y línea de mando.

PHVA: Planear, Hacer, Verificar y Actuar.

PQR: Registro de Calificación del Procedimiento.

QA/QC: Aseguramiento y Control de Calidad.

SMAW: Shielded Metal Arc Welding - Soldadura de arco con electrodo revestido.

SPOOL: Piezas soldadas por tubería y accesorios.

WPS: Especificación del Procedimiento de Soldadura.

RESUMEN

TITULO: DISEÑO DE UN MODELO DE GESTIÓN PARA LOS PROCESOS DE SOLDADURA DE MECÁNICOS ASOCIADOS S.A.S. BASADOS EN LOS CODIGOS CONSTRUCTIVOS API Y ASME.

AUTOR: Jose Alejandro Chávarro Falla

PALABRAS CLAVE: Soldadura, ASME, API, Modelo de Gestión, WPS, Defectología de la Soldadura.

DESCRIPCIÓN: Mecánicos Asociados S.A.S es una empresa de servicios del sector de Petróleo y Gas enfocado en Proyectos y Construcciones y extracción minera. Los servicios prestados son Operación y Mantenimiento y Construcciones, la mayoría de las actividades que realiza tiene alguna relación tanto directa como indirecta con los procesos de soldadura como son la fabricación, reparación o mantenimiento de tanques de almacenamiento, recipientes a presión, líneas de flujo, maquinaria, estructuras y equipos. Se intervienen diferentes materiales base, materiales de aporte y se utilizan diferentes procesos de soldadura para la unión de los mismos.

Se han presentado inconvenientes tanto en producción como en la defectología de las juntas soldadas que incrementa los costos y tiempos para la realización de la actividad y no se cumple con las metas y plazos estipulados. En muchas ocasiones los técnicos y el personal administrativo no tienen el conocimiento idóneo y concreto de cómo se debe realizar y menos controlar la actividad de soldadura.

Se quiere diseñar un Modelo de Gestión para los procesos de soldadura enfocado en el mejoramiento de una de las actividades más relevantes y repetitivas, y obtener como resultado una mejora en la calidad de la soldadura, así como en la productividad de la misma. Con esto se quiere ayudar a la empresa a ser más competitiva y rentable utilizando nuevas herramientas. Este Modelo tiene la capacidad de unir dos partes muy importantes de la soldadura como lo son la ciencia de la soldadura con una buena gestión.

Se quiere cambiar la imagen de la soldadura y pasar de ser un arte para ser una ciencia con resultados predictibles.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN OF A MANAGEMENT MODEL TO WELDING PROCESS OF MECANICOS ASOCIADOS BASED ON API AND ASME CONSTRUCTION CODES.

AUTHOR: Jose Alejandro Chávarro Falla

KEYWORDS: Welding, ASME, API, Management Model, WPS, Weld Discontinuities.

DESCRIPTION: Mecánicos Asociados S.A.S is a Services Company within the Oil and Gas sector that focuses on Projects and Construction and mining extraction. The services performs are Operations and Maintenance and Constructions, the majority of activities operated within the Company are directly or indirectly related to welding processes. For example, manufacture, repair or maintenance of storage tanks, pressures vessels, pipelines, machinery, structures and equipment. Different base materials and filler metals are used, as well as different welding processes for the welding joint.

There have been problems with both the production and defectology of welded joints that increase costs and time to perform the job. As a result, the goals and deadlines set are not met. On many occasions, the technicians and administrative staff do not have the right and concrete knowledge and know-how to perform the job or even how to control the welding activities.

The aim is to design a management model for welding process focused on the improvement of one of the most relevant and repetitive activities, with a view to improving the quality and productivity of welding. With this in mind, another objective is to help the company to become more competitive and profitable by using new tools. The model itself has the ability to join two very important aspects of welding: the science of welding and good management.

Hence, the ultimate goal is to change the image of welding and to move it from being an art to it being a science, with predictable results.

INTRODUCCIÓN

Cerca del 70% de las actividades constructivas facturables que se realizan en la Compañía tienen alguna relación con el proceso de soldadura y a este proceso no se le realiza una gestión o control detallado que garantice la eficiencia y mejora continua del proceso. Se controla el número de defectos presentados, pero no se ha enfocado en la causa raíz de estas reparaciones y en la productividad con lo cual se está afectando la competitividad y rentabilidad de la compañía.

Se diseña un Modelo de Gestión de la Soldadura para obtener mejoras significativas y duraderas en la rentabilidad del negocio, la productividad, la calidad y poder disminuir los costos asociados a esta actividad basado en las experiencias y registros que se manejan en la Compañía para el control de la actividad.

Se quiere cambiar las creencias de las organizaciones que el proceso de soldadura no se puede controlar debido a que es un arte y pasar a que la soldadura es una ciencia, por tal motivo se puede controlar, mejorar y obtener unos resultados consistentes. Es necesario involucrar a toda la cadena de producción (Ayudante, Soldador, Supervisor, QA/QC, Residente, Director) aceptando la responsabilidad de garantizar su propio trabajo. Mejorar las competencias y conocimientos del personal involucrado con los procesos de soldadura desde el soldador hasta la alta gerencia, así como crear un equipo de trabajo unido con un objetivo en común, que es el mejoramiento de la soldadura.

La compañía al final del proyecto tendrá su propio Modelo de Gestión de Soldadura ajustado a su cultura organizacional, con lo cual se garantiza hacer mejoras en la calidad de la soldadura y productividad a largo plazo.

1. DESCRIPCION DEL PROBLEMA

Mecánicos Asociados S.A.S es una empresa que presta servicios en el sector de Petróleo y Gas en facilidades de superficie. Dentro de sus líneas de negocio se encuentra la División de Proyectos y Construcciones y Operación y Mantenimiento, en las cuales se realizan actividades de las diferentes especialidades (Mecánica, Eléctrica, Civil, Instrumentación y Control, entre otros), normalmente, los proyectos que realiza la compañía tienen un alcance mecánico superior a las otras especialidades y esta especialidad mecánica está constituida en gran parte por actividades que requieren tanto directa como indirectamente la aplicación de soldadura que corresponde a cerca del 70% de las actividades que se realizan.

La soldadura siempre se ha percibido como un generador de problemas y sobrecostos debido a que para la realización de la misma se requieren calificaciones de procedimientos, calificaciones de soldadores, equipos de soldadura, almacenamiento de electrodos, ensayos no destructivos, y en el momento que se tienen problemas con la misma (mala calidad) hay que incurrir en sobrecostos por reparaciones, pérdidas de tiempo y disminución del avance de las actividades.

Dentro de estos problemas de mala calidad, en la compañía se consolidan las principales defectología (discontinuidades) que se presentan durante la inspección de las juntas soldadas como se pueden ver en la siguiente tabla:

Tabla 1. Defectología definida por Mecánicos Asociados.

DEFECTOLOGIA	SIGLA
POROSIDAD ESFÉRICA (PE)	PE
INCLUSIONES DE ESCORIA AISLADA (ISI)	ISI
INCLUSIONES DE ESCORIA ELONGADA (IE)	IEE
EXCESO DE PENETRACIÓN (EXCP)	EXCP
CONCAVIDAD INTERNA (CI)	CI
POROSIDAD AGRUPADA (PAG)	PAG
SOCAVADO INTERNO (SI)	SI
SOCAVADO EXTERNO (SE)	SE
FUSION INCOMPLETA ENTRE PASES O TRASLAPE EN FRIO (IFD)	IFD
FUSION INCOMPLETA EN LA RAIZ	FI
INDICACION LINEAL	IL
POROSIDAD AISLADA	PA
INCLUSION DE ESCORIA	IE
FALTA DE PENETRACION (FP)	FP
DESALINEAMIENTO POR HI-LOW	HI-LOW
INCLUSION DE TUNGSTENO	IT

Garantizar una buena calidad y mejorar la productividad en la soldadura ha sido siempre el ideal de la Compañía y es por esto que se requiere diseñar un Modelo de Gestión de Soldadura para optimizar esta actividad que nunca se ha percibido como una ventaja competitiva y generador de ahorros.

La soldadura al igual que cualquier proceso productivo puede ser controlado y mejorado. Es por esto que se quiere crear una herramienta donde se exponen unos principios de gestión para que el personal tanto de campo como administrativo pueda implementar y obtener una mejora tanto en la productividad y calidad como en los costos relacionados con las actividades de soldadura. Todo esto cumpliendo con los requerimientos de las normas constructivas como los son los códigos ASME y el API.

1.1. JUSTIFICACION

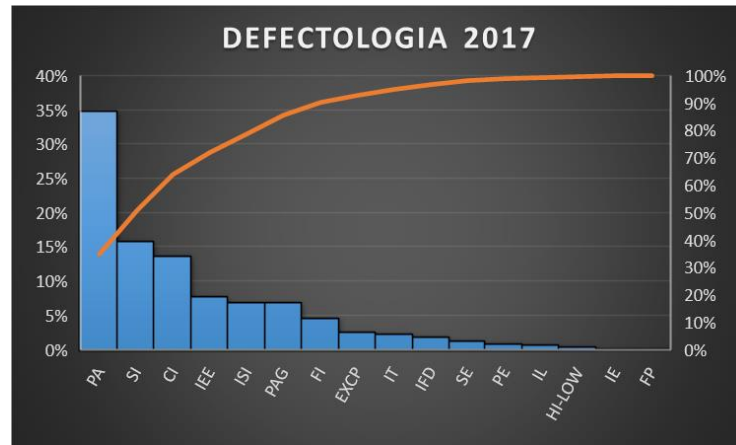
En la industria del Petróleo y Gas la soldadura es fundamental, debido a que los fluidos de los procesos tanto de producción como de refinación deben ser almacenados, transportados y tratados para obtener el producto final (gasolina, glp, etc.). La mayoría de las actividades que se realizan en superficie tienen alguna relación tanto directa como indirecta con los procesos de soldadura como son la fabricación, reparación o mantenimiento de tanques de almacenamiento, recipientes a presión, líneas de flujo, maquinaria, estructuras y equipos de diferentes materiales. Estas actividades son realizadas con diferentes procesos de soldadura para realizar la unión de los metales; dentro de los procesos de fabricación, la soldadura es uno de los procesos más importantes por su responsabilidad en la integridad de las juntas de cada recipiente a presión o tubería unida, si alguna de estas presenta falla las consecuencias afectaran la salud de las personas, el medio ambiente y la seguridad de los procesos, que generaran desconfianza y limitaran o cancelaran los negocios de la Compañía.

Las empresas que trabajan en el sector de hidrocarburos que necesitan o que realizan actividades que incluyen los procesos de soldadura no siempre tiene el conocimiento idóneo y concreto de cómo se debe realizar y menos controlar u optimizar esta actividad.

Según los informes de ensayos no destructivos volumétricos como son la Radiografía y el Ultrasonido Phased Array de las juntas soldadas realizadas durante lo corrido del 2017 en las diferentes obras que ejecuto la Compañía, se relacionan las cantidades y tipos de defectología (discontinuidades) presentes en las juntas soldadas ejecutadas por la Compañía.

A continuación, se relacionan los porcentajes y el acumulado de la defectología (discontinuidades) presentes.

Gráfico 1. Comportamiento de la Defectología en el 2017.



Se requiere diseñar un Modelo de Gestión enfocado en el mejoramiento de una de las actividades más relevantes para la Compañía como lo es la soldadura, y obtener como resultado una mejora en la calidad, y en la productividad durante el desarrollo de la actividad.

Con esto se quiere ayudar a la empresa a ser más competitiva, así como más rentable utilizando nuevas herramientas administrativas y técnicas que, para este caso, es el Modelo de Gestión de la Soldadura. Este modelo tiene la capacidad de unir dos partes muy importantes de la soldadura como lo son la ciencia de la tecnología de la soldadura con los principios de una buena gestión administrativa.

Se quiere cambiar la imagen del proceso de soldadura para convertirla en una ciencia con resultados predictibles y predecibles dado por los metales a ser unidos, el proceso de soldadura, los materiales de aporte apropiados, control de los componentes, control sobre el proceso, mantenimiento de equipos, responsabilidades definidas por cargos, entrenamiento y capacitaciones al personal involucrado y gestión administrativa.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar el Diseño de un Modelo de Gestión para los procesos de soldadura según los requerimientos de los códigos constructivos en Mecánicos Asociados S.A.S.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Recolectar, registrar y documentar el estado actual de los procesos de Soldadura.
- Cuantificar el costo de los procesos, perdidas y utilidades.
- Evaluar el desempeño del proceso de soldadura.
- Definir un modelo para gestionar el proceso de Soldadura según las condiciones de trabajo de la Compañía.

3. ENFOQUE

Tanto el enfoque cuantitativo como el cualitativo, utilizan procesos rigurosos y sistemáticos para la producción de conocimiento. Hernández, Fernández y Baptista (2014,10), afirman que “El enfoque cualitativo busca principalmente la dispersión o expansión de los datos e información, mientras que el enfoque cuantitativo pretende acotar intencionalmente la información (medir con precisión las variables del estudio)”. El estudio cuantitativo se basa en investigaciones previas, mientras que el cualitativo se fundamenta primordialmente en sí mismo¹.

Basado en la información anterior, para el desarrollo de este trabajo de grado se asumió un enfoque cuantitativo debido a que se quiere diseñar una herramienta de gestión y control para la compañía, enfocada en la mejora de la calidad, disminución de reprocesos y mejora en la productividad de la empresa en un área que ha sido considerada un arte (sin control) en vez de una ciencia como verdaderamente lo es. Igualmente, el diseño de la investigación esta predeterminado a conocer sobre los sistemas de gestión y de la soldadura y el planteamiento del problema está delimitado, específico y es poco flexible. El proceso de análisis de datos se inicia con ideas preconcebidas, hipótesis, una recolección de datos numéricos basados en las experiencias y la presentación de los resultados se da con el diseño de una herramienta para el gerenciamiento del proceso de la soldadura, la cual incluye todos los cambios, controles y decisiones necesarias.

¹ Hernández, Roberto, Fernandez, Carlos y Baptista, Pilar. Metodología de la investigación. México: McGrawHill, Sexta Edición 2014.p. 10

4. ALCANCE

Se diseña un Modelo de Gestión de la Soldadura en la Compañía para fortalecer los procesos y establecer mecanismos de mejora para mantener el desempeño organizacional permanente y sostenible desarrollando una metodología para el mejoramiento de la soldadura que incluya los principios de gestión, un proceso de planeación y un enfoque estructurado, para poder mejorar la calidad de la soldadura y la productividad y por lo tanto ayudar a la Compañía a ser más competitiva y más rentable.

5. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo se podría optimizar y cuál sería la herramienta para el mejoramiento en el proceso de Soldadura según los requerimientos de los códigos constructivos en Mecánicos Asociados S.A.S.?

6. HIPÓTESIS

Desarrollar un modelo de gestión para la soldadura en la empresa Mecánicos Asociados S.A.S para con este generar valor a la Compañía trabajando de la mano del mejoramiento continuo (Ciclo PHVA – Planear, Hacer, Verificar y Actuar) mejorando la calidad de la soldadura, reduciendo los reprocesos y mejorando la productividad llevando la soldadura a convertirse en una ciencia aplicada.

7. MARCO DE REFERENCIA

7.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

El bajo precio del barril de crudo, la disminución de los trabajos en el sector petrolero, la inactividad de la perforación y la gran competencia de las empresas de servicios por mejorar sus actividades y aumentar los márgenes ha llevado a que las empresas busquen alternativas para optimizar sus procesos. Anteriormente los ahorros de las empresas se enfocaban en la disminución de la mano de obra, la optimización de las compras, la búsqueda de menores precios debido a la compra por volumen, control de los consumos, etc. pero en este momento se está llegando un poco más al fondo buscando un modelo de gestión para el mejoramiento de los procesos y finalmente la mejora de la rentabilidad que es uno de los objetivos principales de la Compañía. Un enfoque de gestión integrada bien implementada puede ayudar a transformar las actividades de soldadura de un centro generador de costos, problemas y sobre costos en un centro de beneficios tanto técnicos como económicos y administrativos. En un ambiente de negocios tan competitivos donde cualquier optimización puede marcar la diferencia, es aquí donde un modelo de gestión puede ser la alternativa para persistir en el negocio.

En la actualidad, la soldadura se encuentra presente en prácticamente todas nuestras actividades o artículos de servicio como son: vehículos, máquinas, equipos, elementos o bienes que utilizamos o que han formado parte del proceso productivo de los mismos, todos estos han sido realizados utilizando distintos tipos de materiales (metales, plásticos, etc.), y estos materiales en algún momento del

proceso productivo han tenido que ser unidos, bien sea mediante soldadura, o mediante cualquier otra tecnología de unión (roscados, adhesivos, etc.)².

Según Barckhoff, el Sistema de Gestión (ISO 3834) de la Soldadura es una estructura para la mejora de la Gestión de los Proyectos que asegura resultados, así como un enfoque de los recursos claves de la Compañía al servicio del soldador para mejorar la calidad de la soldadura y la productividad. Es un proceso para la mejora continua en la calidad de la soldadura y la productividad que incorpora todas las herramientas y procesos de gestión necesarios para hacer las mejores operaciones de soldadura del mundo. La disminución del costo de la soldadura se da cuando se da un mejor control de los procesos y métodos de trabajo, procedimientos de soldadura y un mejor entrenamiento de los soldadores. Cuanto más sean controladas las variables que afectan la soldadura, se reducen los costos unitarios totales de los productos soldados y se reduce el costo que tiene la compañía para realizar una junta soldada.

² Gestión Integral Denbo. Gestión de Calidad en procesos de soldadura. Empresa [En línea] [Consultado 18 noviembre 2017]. Disponible <http://denbogestion.es/gestion-de-calidad-en-procesos-de-soldadura/>

8. MARCO TEÓRICO - CONCEPTUAL

La soldadura siempre se ha considerado un tema muy complicado e inexplicable, en la industria colombiana de la construcción se considera un arte (imposible controlar e impredecible) y no una ciencia (controlable y predecible) pero el proceso de soldadura no es ningún misterio por el contrario debe ser una ciencia de ingeniería en la empresa. El modelo de gestión de la soldadura es un conjunto de conceptos y principios de gestión que mantienen las mejoras y construye unas bases para que las ganancias se puedan mantener e incrementar con el tiempo.

Para las empresas y en especial para la alta gerencia de las compañías, la soldadura se ha considerado un arte, un misterio o un hoyo negro y por lo tanto pasan alrededor de está dejándolo así y considerando esto como un centro de alto costo cuando puede convertirse en el mayor centro de ganancias, a través de la aplicación de esos principios de gestión, conceptos y sistema. Según Barckhoff, la mayoría de los gerentes no entienden como sus operaciones de soldadura impactan la rentabilidad de sus compañías o que tuvieron que hacer para mejorar la calidad de la soldadura y la productividad, las medidas de solución eran simplemente cambio de personal y buscar fidelización de personal con mejores resultados, debido a un cambio en la legislación laboral, se debe trabajar con personal calificado de cada región. El control de las operaciones de soldadura es esencial para el mejoramiento de la productividad y calidad a largo plazo. La compañía debe incentivar que los soldadores acepten su responsabilidad y empiecen a ser responsables por la calidad y la productividad en el proceso.

El proceso de soldadura debe ser controlado y medido como cualquier otro proceso de manufactura. La productividad y calidad del soldador puede ser mejorada, siempre buscando mejores condiciones que faciliten el trabajo del soldador e

invirtiendo en el entrenamiento y reentrenamiento de todo el personal en temas de soldadura que es el punto de partida para el cambio.

El modelo de gestión de la soldadura debe representar un cambio de gestión y cultural en la Compañía. Hay un potencial de mejoramiento del margen en las operaciones de soldadura de la empresa que deben ser aprovechadas al máximo y en el menor tiempo posible.

Para tener un mayor entendimiento de lo que se quiere realizar con el Diseño del Modelo de Gestión de la Soldadura definiremos las dos herramientas más importantes para el diseño del mismo que son: que es un sistema de gestión y definiremos que es la soldadura.

Un sistema o Modelo de Gestión es una herramienta que permite optimizar los recursos, reducir los costos y mejorar la productividad en una empresa o en un proceso en específico. Este instrumento de gestión tiene la capacidad de reportar datos en tiempo real que permitirán tomar decisiones para corregir fallas, mejorar y prevenir la aparición de costos y defectos innecesarios. Para nuestro tema en particular se busca mejorar la calidad de la soldadura, reducir los costos e incrementar la productividad.

Los sistemas de gestión están basados en normas internacionales que permiten controlar distintas facetas en una empresa, como la calidad de su producto o servicio, los impactos ambientales que pueda ocasionar, la seguridad y salud de los trabajadores, la responsabilidad social o la innovación y hasta el proceso de soldadura³.

Un sistema o modelo de gestión está especialmente recomendado para cualquier tipo de organización o actividad orientada a la producción de bienes o servicios, que

³ Integra – Consultores de Sistemas de Gestión. Sistemas de Gestión. Empresa [En línea] [Consultado 5 de noviembre de 2017]. Disponible <https://www.consultoresdesistemasdegestion.es/sistemas-de-gestion/>

necesiten de la gestión de sistemas, este es una herramienta útil para el mejoramiento de las empresas. Los sistemas integrados de gestión se establecen como herramientas que contribuyen en las mejoras de los procesos, optimización de los recursos y mitigación de los riesgos e impactos al interior de la organización, así mismo permite la gestión para el crecimiento empresarial y considerar a cada uno de los procesos organizacionales, puntos fundamentales para el logro de las metas.

El fortalecimiento, la modernización y el mejoramiento continuo hacen que un proceso sea armónico donde la clave principal se encuentra en la orientación y participación de la Alta Gerencia como del personal operativo y administrativo del contrato en la ejecución del mismo.

Es importante conocer la definición de la soldadura y cuales son todos los procesos de unión de metales que se realizan por fusión localizada en los metales a unir, mediante la aplicación conveniente de calor o presión.

Imagen 1. Unión Soldada de Acero al Carbón.



La soldadura puede ser con y sin aporte de metal a las piezas a unir, donde el material de aporte puede ser de igual o diferente tipo dependiendo de las condiciones de operación de las juntas soldadas. Es importante tener en cuenta que la soldadura cambia la estructura física de los materiales que se suelden, debido a que cambia alguna de las propiedades de los materiales que se están uniendo por al aporte de calor que se realiza durante la soldadura.

La mayoría de los procesos de soldadura requieren la generación de altas temperaturas para hacer posible la unión de los metales envueltos. El tipo de fuente de calor o, en otros términos, la forma para producir la fusión, es básicamente lo que describe el tipo de proceso los cuales se agrupan en tres categorías: soldaduras fuertes y soldaduras débiles (Soldering y Brazing).

La soldadura es una operación en la cual dos o más partes (metales principalmente) son unidas mediante calor o presión o ambos efectos a la vez, obteniéndose continuidad y compatibilidad en la naturaleza del material entre las partes unidas.

Este tipo de soldadura se puede realizar con o sin material de aporte.

Existen diferentes tipos de soldadura entre los que se encuentran:

- GTAW (Gas Tungsten Arc Welding)
- GMAW (Gas Metal Arc Welding)
- SMAW (Shield Metal Arc Welding)
- FCAW (Flux Cored Arc Welding)
- FLASH WELDING
- SOLDADURA POR RESISTENCIA (PUNTO)
- SOLDADURA POR DIFUSION
- SOLDADURA POR FRICCION
- SOLDADURA POR HAZ DE ELECTRONES⁴

Entre otras.

⁴ Escuela Colombiana de Ingeniería. Soldadura Protocolo – Curso de Procesos de Manufactura. [En Línea] [Consultado 01 de diciembre de 2017]. Disponible http://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/3637_soldadura.pdf

9. MARCO PRÁCTICO

La Compañía cuenta con ejecuciones de actividades en diferentes zonas del país dentro de las cuales cerca del 70% de estas tienen actividades que involucran soldadura, así como proyectos exclusivos de actividades de soldadura tanto de reparación como de construcción nueva tanto de líneas como de estructuras. Se ha creído que la soldadura es un proceso que no se puede controlar y donde los soldadores no pueden ser manejados debido a que son considerados artistas (por la actividad que realizan), esto basado en la percepción y experiencias que se han tenido en las diferentes obras que ha realizado la Compañía. Existe un amplio conocimiento científico liderado por la AWS que define la soldadura y sus variables de proceso para que el proceso de soldadura pueda ser controlado, y se puedan obtener resultados consistentes como se realiza con cualquier otro proceso de fabricación por ejemplo el mecanizado. En la compañía, se presentan discontinuidades en la soldadura que en algunos momentos superan los límites permisibles, como son el 10% de defectos que requieren reparación según el código constructivo sobre el total de las juntas soldadas y en la mayoría de los casos no se conoce que está causando esta falla, debido a que son fallas en periodos específicos que ocurren en diferentes proyectos y con diferentes valores sin ningún indicio de estandarización o patrón en común.

Cuando se presenta un rechazo de la soldadura realizada, la compañía incurre en sobre costos tanto de dinero como de tiempo e imagen sin encontrar la explicación de los mismos o la causa raíz.

Los soldadores antes de iniciar sus actividades de soldadura son calificados para constatar la habilidad que la persona tiene para depositar metal sano a través del proceso de soldadura a utilizar cumpliendo con los respectivos requisitos de los códigos de Construcción que apliquen.

En muchas ocasiones se culpa al soldador de los rechazos de la soldadura sin tener los criterios valederos y contundentes para hacer esta afirmación y muchas veces la salida es cambiar el soldador o recalificarlo y en varias ocasiones los problemas persisten.

Las diferentes áreas de la Compañía y en especial las gerencias no entienden la importancia de estas actividades y lo significativo que es poder controlarla debido a que esta es una puerta para disminuir la rentabilidad, incrementar sobre costos, reducir productividad y en algunos casos hasta perder nuevos negocios.

10. RECOLECCION DE INFORMACION

10.1. PROCESOS DE SOLDADURA

La soldadura es un proceso que resulta de la unión de metales a través de la fundición de los mismo por la aplicación de calor, con o sin la aplicación de presión y con o sin la adición de un metal de aporte (electrodo). Existen diferentes tipos de soldadura que según el Código API 577 se relacionan a continuación:

Soldadura Manual: Es un tipo de Soldadura en la cual toda la operación de soldadura y aporte de metal es realizada y controlada manualmente.

Soldadura Semiautomática: Es un tipo de Soldadura de arco que se realiza con un equipo que controla solamente la velocidad de alimentación del metal de aporte. La velocidad del avance es controlada manualmente.

Soldadura de Maquina: Es un tipo de Soldadura que se realiza con un equipo cuyos controles son ajustados manualmente por el operador de soldadura en respuesta a su observación directa.

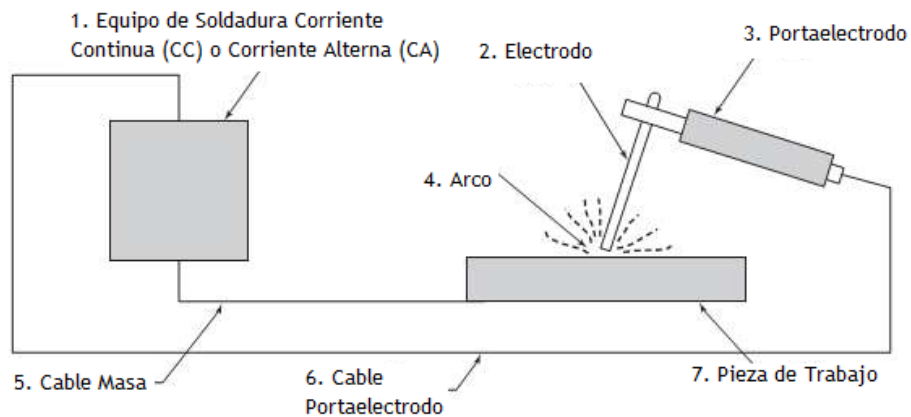
Soldadura Automática: Es un tipo de Soldadura que se realiza con un equipo (Robot), el cual realiza la operación de Soldadura sin requerir los ajustes del Operador de Soldadura o mínimos ajustes.

Los procesos que más se utilizan en Mecánicos Asociados S.A.S en sus diferentes operaciones son los siguientes:

- ☐ Shielded Metal Arc Welding (SMAW).
- ☐ Gas Metal Arc Welding (GMAW).
- ☐ Flux Cored Arc Welding (FCAW).
- ☐ Gas Tungsten Arc Welding (GTAW).

10.1.1. Shielded Metal Arc Welding (SMAW). Shielded Metal Arc Welding o más conocida como Soldadura de arco con electrodo revestido, usa el calor del arco eléctrico entre el electrodo con metal recubierto de fundente y la pieza de trabajo. El arco eléctrico suministra la energía necesaria en forma de calor para fundir el metal base, el metal de aporte y el recubrimiento del electrodo.

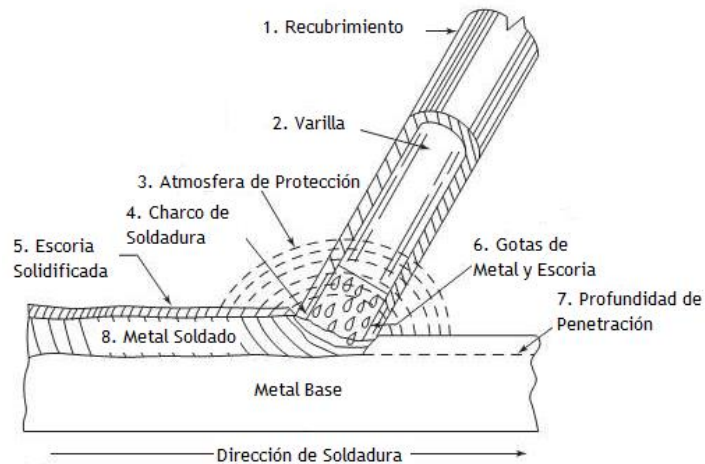
**Ilustración 1. Partes del Proceso Shielded Metal Arc Welding (SMAW).
Soldadura de Arco con Electrodo Revestido.**



Fuente: American Petroleum Institute: Welding Processes, Inspection, and Metallurgy, Segunda edición, API Recommended Practice 577, 2013, 24p. API 577

El electrodo del proceso SMAW está constituido por un núcleo de metal sólido, recubierto por una capa de fundente granular. La protección del arco proviene de la descomposición y fusión del fundente del electrodo durante la realización de la soldadura.

Ilustración 2. Partes del Electrodo para el Proceso SMAW.



Fuente: American Petroleum Institute: Welding Processes, Inspection, and Metallurgy, Segunda edición, API Recommended Practice 577, 2013, 24p. API 577

A medida que se realiza la soldadura, el recubrimiento del electrodo se calienta, se descompone y se funde produciendo una protección del metal que se está fundiendo en la región del arco eléctrico. Este recubrimiento fundido se ubica en la superficie de la soldadura, y al momento de solidificarse es conocido como escoria.

El metal de aporte es suministrado por el alambre del electrodo y el recubrimiento del mismo. Este proceso es aplicado manualmente. Los equipos son relativamente simples y económicos. Es útil para ubicaciones remotas debido a su portabilidad y con su gran número de tipos de electrodos es un proceso muy versátil. Es un proceso muy lento debido al constante cambio de electrodo y la limpieza de la escoria que se realiza después de cada pase de soldadura aplicado. Es necesaria la utilización de hornos de mantenimiento en el almacenaje de electrodos de bajo hidrogeno para mantener el nivel de humedad bajo y evitar discontinuidades en la soldadura.

Imagen 2. Proceso SMAW (Shielded Metal Arc Welding)



La defectología típica en este tipo de proceso de soldadura (SMAW) son:

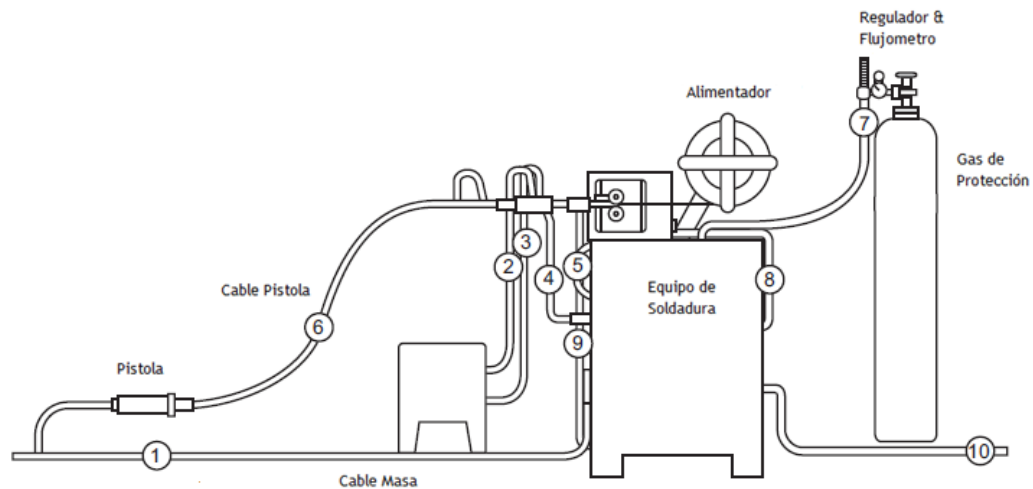
Porosidad, la cual se puede dar por la presencia de humedad o contaminación en el área de la soldadura bien sea en el recubrimiento del electrodo, en la superficie del metal base o en la atmosfera, también puede ocurrir cuando el soldador tiene una longitud de arco eléctrico demasiado grande y la atmosfera de protección del fundente no alcanza a ser suficiente e ingresa hidrogeno en la soldadura.

Inclusión de Escoria, debido al sistema de solidificación de los fundentes del electrodo para la protección del arco, es posible que quede escoria atrapada dentro del depósito de soldadura.

Debido a que es un proceso manual pueden producirse muchas discontinuidades por una manipulación inadecuada del electrodo como son falta de fusión, fusión incompleta, socavación, solapado, sobre espesor y acabado inadecuado.

10.1.2. Gas Metal Arc Welding (GMAW): Gas Metal Arc Welding (GMAW) o más conocido como Soldadura de arco con alambre sólido y protección con gas. Se caracteriza por la utilización de un electrodo de alambre sólido, el cual se alimenta de manera continua de un rollo de alambre instalado en el alimentador del equipo de soldadura.

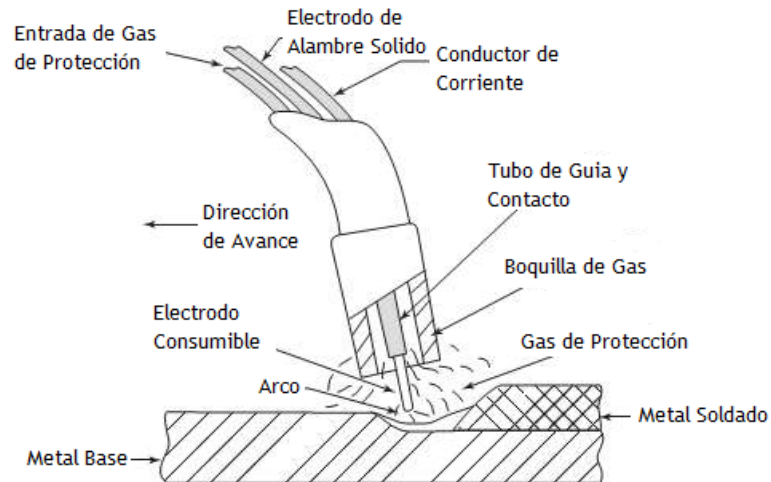
Ilustración 3. Partes del Proceso GMAW. Gas Metal Arc Welding.



Fuente: American Petroleum Institute: Welding Processes, Inspection, and Metallurgy, Segunda edición, API Recommended Practice 577, 2013, 28p. API 577

Entre el alambre (electrodo) y la pieza de trabajo se crea un arco eléctrico capaz de fundir tanto el metal base como el metal de aporte y poder generar la unión soldada. La protección durante la realización de la soldadura se realiza con un gas (inerte o reactivo) suministrado externamente por la boquilla de la pistola de soldadura. Los gases que normalmente se utilizan son Argón, Helio, Oxígeno y Dióxido de Carbono o la mezcla de estos dependiendo de la necesidad del proceso. Es un proceso mayormente semiautomático, pero también se presentan en aplicaciones automatizadas, debido a que el soldador no tiene que controlar la alimentación del metal de aporte.

Ilustración 4. Partes del Electrodo para el Proceso GMAW.



Fuente: American Petroleum Institute: Welding Processes, Inspection, and Metallurgy, Segunda edición, API Recommended Practice 577, 2013, 28p. API 577

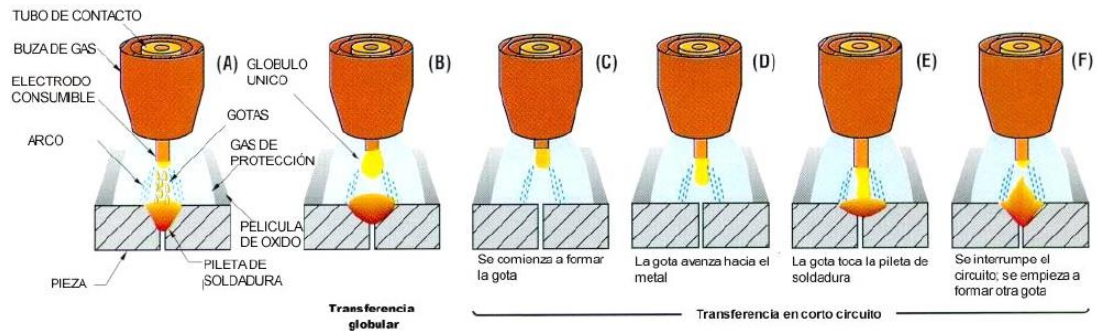
El metal de aporte (alambre sólido) contiene una cantidad considerable de elementos desoxidantes como el magnesio, silicio y aluminio para prevenir la generación discontinuidades como porosidad en la soldadura.

Imagen 3. Proceso GMAW. Gas Metal Arc Welding.



Los equipos de soldadura son de voltaje constante lo que quiere decir que la soldadura se realiza con un valor definido del voltaje sobre un rango de corriente y es un proceso de corriente continua o directa y electrodo positivo (DCEP). El equipo de soldadura es más completo que el de SMAW, debido a que es posible ajustar el voltaje y la velocidad de alimentación del alambre sólido, cuando se incrementa la velocidad de avance también se incrementa la corriente en la soldadura. Es importante tener claro como el metal fundido en el extremo del electrodo es transferido al metal base. Esto se realiza a través de cuatro métodos básicos de transferencia de metal, spray, globular, arco pulsante y corto circuito que dependen del gas de protección, corriente, niveles de voltaje y características del suministro de potencia, el tipo de transferencia depende del gas de protección, la corriente y los niveles de voltaje y características del suministro de potencia (ver Imagen 4.). El modo de transferencia spray suministra la mayor cantidad de calor al metal base utilizado en secciones de gran espesor y juntas de penetración total en posición plana, así sucesivamente con el modo globular se obtiene buena deposición de material y aumento de salpicadura, arco pulsante y corto circuito para espesores delgados y juntas desalineadas.

Imagen 4. Modos de Transferencia Proceso GMAW.



Fuente: Welding Inspection Technology, 3-13p.

El modo de transferencia tipo spray solamente es posible cuando el gas tiene mínimo 80% de argón en la mezcla.

Los modos de transferencia del proceso GMAW se relacionan a continuación:

Modo de Transferencia de Corto Circuito (GMAW-S)

El GMAW-S abarca los rangos más bajos de corriente de la soldadura y diámetros del electrodo asociado con el proceso GMAW. Este proceso produce un enfriamiento rápido del charco de soldadura lo cual es conveniente cuando se sueldan secciones delgadas o pases de raíz. Debido al rápido enfriamiento natural de este proceso, hay un potencial de falta de fusión entre pases o juntas de esquinas en espesores gruesos.

Modo de Transferencia Globular

Las ventajas de este modo de transferencia son un bajo costo cuando se utiliza Dióxido de carbono (CO_2) como gas de protección y una alta tasa de deposición. El modo de transferencia globular es usualmente considerado el menos deseado del GMAW debido a las variaciones que tienden a producir un alto calor, una pobre superficie soldada y salpicadura o una solidificación prematura. Este proceso utiliza baja corrientes por debajo de 250 Amperios. Durante la soldadura una bola de

material fundido del electrodo tiende a formarse en la punta del mismo, normalmente en formas irregulares con un diámetro de dos veces el diámetro del electrodo. Cuando la gota finalmente se separa bien sea gravedad o corto circuito y cae a la pieza de trabajo, esta produce una superficie desigual y salpicadura de soldadura. Este proceso de soldadura produce una alta cantidad de calor a la pieza soldada. Esto incrementa el tamaño del charco de soldadura y causa grandes esfuerzos residuales y distorsión en el área soldada.

Modo de Transferencia Spray

El arco de Modo de Transferencia Spray resulta de un chorro de gotas que son aceleradas por las fuerzas del arco, estas son más pequeñas que la longitud del arco, no se presenta corto circuito y la cantidad de salpicaduras generadas son despreciables. El gas de protección inerte permite al modo de transferencia spray soldar más metales. Sin embargo, el uso de este proceso en materiales más delgados de $\frac{1}{4}$ " puede ser difícil por las altas corrientes requeridas para producir el Modo de Transferencia Spray. Este modo produce unas altas velocidades de depósito de metal soldado con altas velocidades de depósito de soldadura, el proceso de soldadura puede producir un charco de soldadura demasiado grande para ser soportado por la tensión superficial en función del diámetro del electrodo. El proceso es limitado para posiciones vertical y sobre cabeza. La máxima tasa de depósito para el modo de transferencia spray es cerca de 150 in. /min (60 mm/seg.).

Modo de Transferencia Arco Pulsado

El método de GMAW Arco pulsado fue desarrollado para superar las limitaciones de espesores y posiciones de los anteriores modos de transferencia. Este es una variación del proceso GMAW. El proceso de soldadura usa:

- Una baja corriente de fondo / constante para sostener el arco eléctrico sin proveer suficiente energía para producir gotas en la punta del alambre y

- Una corriente superpuesta / pulsada con una amplitud mayor que la corriente de transición necesaria para la transferencia spray.

Durante el ciclo de la corriente de la porción pulsada, una o más gotas son formadas y transferidas. La frecuencia y amplitud de los pulsos controla la tasa a la cual funde el alambre. El pulsado hace que las características deseables de la transferencia de arco spray estén disponibles para unir láminas de metal y soldaduras en todas sus posiciones. La máxima tasa de depósito para el modo de transferencia de arco pulsado es cerca de 200 in. /min (85 mm/seg.). El método de arco pulsado GMAW requiere de una fuente de poder con la capacidad de entregar pulsos de corriente con una frecuencia entre 30 pulsos/seg. y 400 pulsos/seg. y requiere que el gas de protección sea principalmente argón con una baja concentración de dióxido de carbono.

GMAW es el único proceso de electrodo de soldadura consumible que puede ser usado para soldar la mayoría de los metales comerciales y aleaciones. Las tasas de deposición son significativamente mayores que las que se obtienen con SMAW. La limpieza después de la soldadura es mínima debido a la ausencia de escoria.

Como desventaja, los equipos de soldadura son más complejos, más costosos y menos portátiles que los de SMAW. El arco de la soldadura debe ser protegido de las corrientes de aire que puede dispersar el gas de protección. Cuando se utiliza el modo de transferencia de corto circuito, la soldadura es susceptible a una falta de fusión.

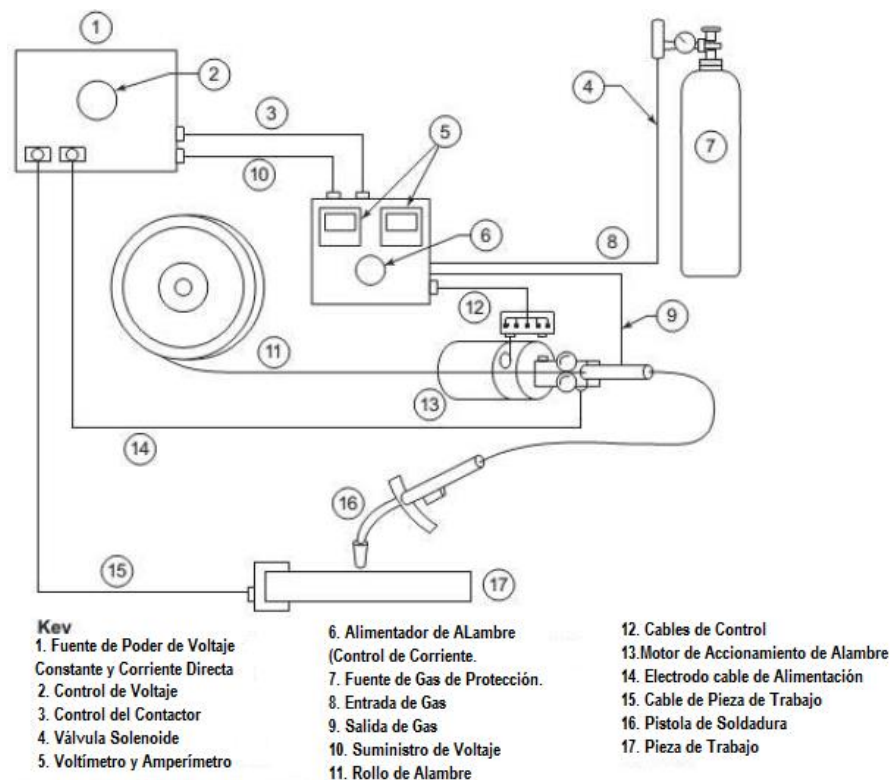
Los principales problemas son la porosidad debido a la contaminación de los materiales o la falta de protección en el charco de soldadura, la falta de completa fusión básicamente en la transferencia por corto circuito en espesores grandes y la inestabilidad del arco por los extremos de conectores en mal estado.

10.1.3 Flux Core Arc Welding (FCAW) FCAW (Flux Core Arc Welding) o conocido como soldadura de arco con electrodo con centro de fundente).

FCAW es un proceso de soldadura de arco que usa un arco entre un electrodo tubular continuo y el charco de soldadura. El proceso es usado con gas de protección tomado de un fundente contenido dentro del electrodo tubular, con o sin la adición de un gas de protección externo (auto protegido).

Normalmente es un proceso semiautomático, el uso de FCAW depende del tipo de electrodos disponibles, los requerimientos de las propiedades mecánicas de la junta soldada, el diseño de la junta y el armado.

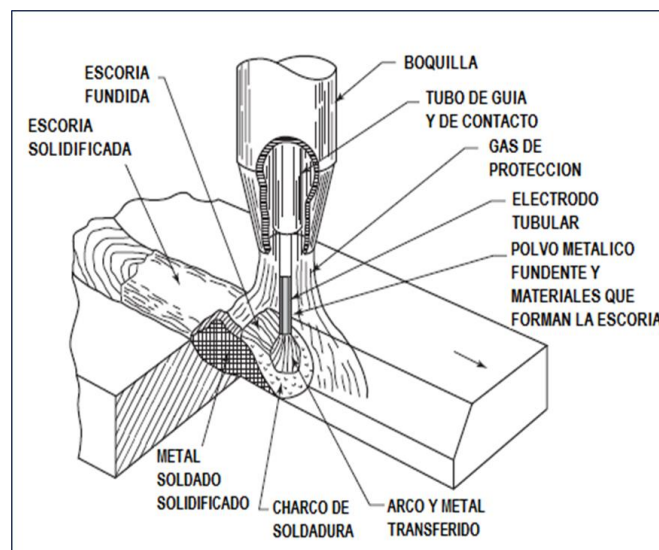
Ilustración 5. Partes del Proceso FCAW.



Fuente: American Petroleum Institute: Welding Processes, Inspection, and Metallurgy, Segunda edición, API Recommended Practice 577, 2013, 31p. API 577

La fuente de potencia recomendada es de tipo DC (corriente directa), voltaje constante, similar a las fuentes usadas en GMAW. El gas de protección es usado solamente cuando el fundente del electrodo lo requiere. El proceso de soldadura debido al fundente en el interior del alambre deja una capa de escoria para proteger la soldadura durante su aplicación. Los electrodos son codificados con una T en la mitad de su designación lo que quiere decir que es un electrodo tubular.

Ilustración 6. Partes del Electrodo de FCAW.



Fuente: American Petroleum Institute: Welding Processes, Inspection, and Metallurgy, Segunda edición, API Recommended Practice 577, 2013, 32p. API 577

Es un proceso muy similar al SMAW, pero con la diferencia que este es semiautomático. Los equipos utilizados en FCAW son muy similares con los equipos de GMAW con la diferencia de las antorchas que se utilizan para cada proceso principalmente si es auto protegido, aunque el FCAW trabaja con corrientes y fuentes de potencia mayores.

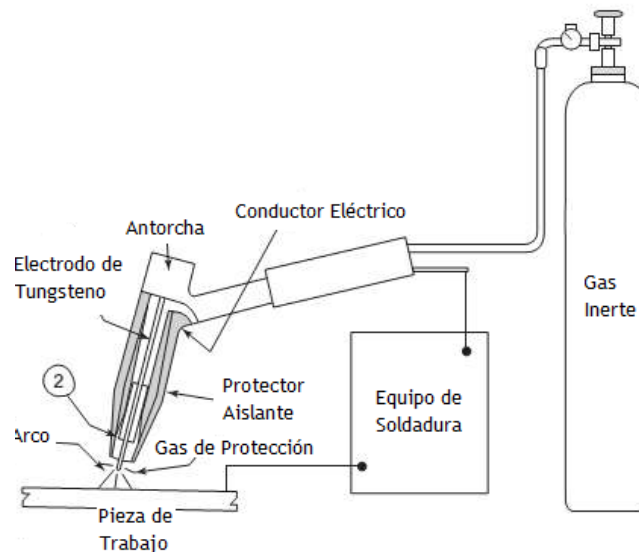
Como ventajas se tienen beneficios metalúrgicos derivados del fundente, la escoria soporta y conforma el cordón de soldadura, la protección producida en la superficie

del metal soldado soporta mejor el viento que el GMAW, entre otras. Mientras como limitantes el equipo de soldadura es complejo y costoso, el FCAW sin gas de protección produce mucho humo que requiere de extractores y protección para el soldador principalmente en espacio cerrados, requiere la remoción de escoria entre pases y se requiere material de respaldo en la raíz, debido a su baja capacidad de penetración.

10.1.4 Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) GTAW o más conocido TIG es un proceso de soldadura por arco donde se establece un arco entre un electrodo de tungsteno no consumible y el arco de soldadura. El proceso es comúnmente referido como TIG (Tungsteno Gas Inerte).

Es usado con un gas de protección y sin la aplicación de presión. El GTAW (TIG) puede ser usado con o sin la adición de metal de aporte, pero en la Compañía se utiliza con metal de aporte suministrado externamente.

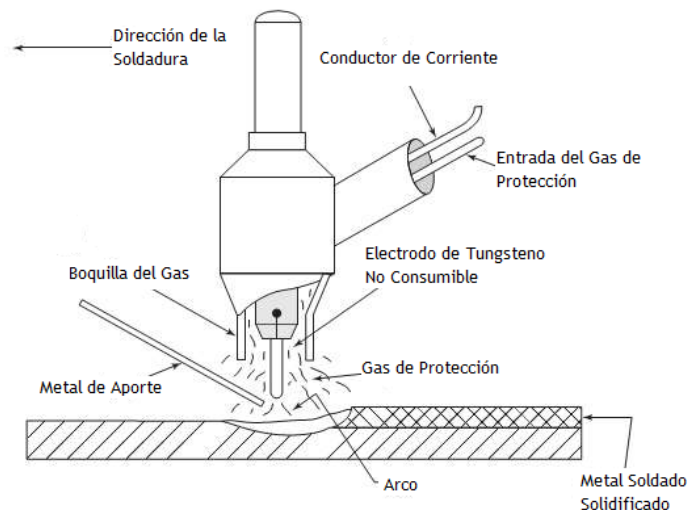
Ilustración 7. Partes del Proceso GTAW.



Fuente: American Petroleum Institute: Welding Processes, Inspection, and Metallurgy, Segunda edición, API Recommended Practice 577, 2013, 26p. API 577.

El suministro de potencia mediante corriente constante (CC) puede ser con corriente directa (DC) o corriente alterna (AC) y depende ampliamente del metal a ser soldado. La soldadura con corriente directa es típicamente realizada con polaridad del electrodo negativo (DCEN). La soldadura de corriente directa con electrodo negativo (DCEN) ofrece las ventajas de una buena penetración y mayor velocidad en el depósito de soldadura. Si el suministro de potencia es mediante corriente alterna (AC) provee una limpieza catódica (sputtering) que remueve los óxidos refractarios de la superficie de la junta soldada, lo cual es necesario para soldar aluminio y magnesio. La acción de limpieza ocurre durante la porción de la onda de corriente alterna (AC) cuando el electrodo es positivo con respecto a la pieza de trabajo. En la siguiente figura se observan los esquemas de este proceso y los equipos que se utilizan.

Ilustración 8. Partes del Electrodo del Proceso GTAW.



Fuente: American Petroleum Institute: Welding Processes, Inspection, and Metallurgy, Segunda edición, API Recommended Practice 577, 2013, 27p. API 577

Ventajas del GTAW (TIG)

Algunas ventajas comúnmente aceptadas del proceso GTAW son: Produce alta pureza en la soldadura generalmente libre de defectos, no se requiere mucha

limpieza después de terminada la soldadura, permite un excelente acabado en el pase de raíz y una buena penetración, puede ser usado con o sin metal de aporte dependiendo de la aplicación.

Limitaciones asociadas con el proceso GTAW son:

Las velocidades de deposición son mucho más bajas que las que se obtienen con procesos de soldadura de arco con electrodo consumible. Tiene una baja tolerancia a la contaminación tanto para el metal de relleno como el metal base, en ambiente de tiro alto (corriente de aire) se dificulta la protección de la zona que está siendo soldada, es un poco más costoso por el gas de protección, en la soldadura manual se desperdician los extremos de las varillas, entre otros.

10.2. PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA

Continuando con el proceso de la soldadura, Mecánicos Asociados S.A.S se ha preocupado por tener una biblioteca lo más extensa posible de Procedimientos de Soldadura calificados según los requerimientos de las obras, proyectos y Clientes, donde se incluyen todos los requerimientos de los códigos constructivos para la calificación de los procedimientos de soldadura y calificación de soldadores como son la sección IX del Código ASME y el Código API 1104.

Estos procedimientos de soldadura se califican con el propósito de determinar que la unión soldada propuesta tiene las propiedades requeridas para el servicio requerido, las condiciones y los metales a utilizar. Estos procedimientos están conformados por su respectivo WPS y PQR. El WPS (Welding Procedure Especificación) es un documento escrito que da las especificaciones al soldador de la soldadura a realizar y determina el control operacional del proceso. Este contiene los rangos de las diferentes variables (Esenciales, No Esenciales y Suplementaria) para una aplicación correcta de la soldadura. El PQR (Procedure Qualification

Record) es un registro escrito de lo sucedido durante la soldadura del cupón de prueba y se registran los resultados de las pruebas destructivas realizadas. Este también contiene las variables (Esenciales, No Esenciales y Suplementaria) y los reportes de los ensayos destructivos realizados para la calificación. El número y tipo de ensayos los define el código constructivo. Las variables suplementarias aplican cuando se requieren pruebas de tenacidad o de impacto según los requerimientos de la ingeniería de la junta soldada.

Con la utilización de los procedimientos de soldadura calificados se garantiza que se cumple con las variables esenciales las cuales si son cambiadas afectan las propiedades mecánicas o químicas de la unión soldada, por ejemplo, el numero P del material base, el proceso de soldadura, el metal de aporte, etc.

A continuación, se incluye la tabla donde se relacionan algunos de los procedimientos de soldadura debidamente calificado con que cuenta la empresa y se utilizan en las diferentes actividades de soldadura que se realizan:

Tabla 2. Relación de Procedimientos de Soldadura.

Relación Procedimientos de Soldadura

#	# P	a	# P	Proceso	HT	Código	Electrodo	Nombre Archivo	Espesor (in)	
1	1	a	1	GTAW	No	ASME	ER70S-2	1-1-GTAW	0,0625	0,75
2	1	a	1	GTAW	Si	ASME	ER70S-2	1-1-GTAW-HT	0,0625	0,75
3	1	a	1	GTAW - SMAW	Si	ASME	ER70S-2 - E7018	1-1-GTAW-SMAW-HT	0,1875	8
4	8	a	8	GTAW	No	ASME	ER309	8-8-GTAW	0,0625	0,75
5	4	a	4	GTAW-SMAW	No	ASME	ER80S-B2 - E8018-B2	4-4-GTAW-SMAW	0,0625	0,5
6	4	a	4	GTAW-SMAW	Si	ASME	ER80S-B2 - E8018-B2	4-4-GTAW-SMAW-HT	0,0625	2
7	4	a	4	GTAW-SMAW	Si	ASME	ER80S-B2 - E8018-B2	4-4-GTAW-SMAW-HT	0,0625	2
8	5A	a	5A	GTAW	No	ASME	ER90S-B3	5A-5A-GTAW	0,0625	0,5
9	5A	a	5A	GTAW	Si	ASME	ER90S-B3	5A-5A-GTAW-HT	0,0625	0,75
10	5A	a	5A	SMAW	No	ASME	E9018-B3	5A-5A-SMAW	0,0625	0,5
11	5A	a	5A	SMAW	Si	ASME	E9018-B3	5A-5A-SMAW-HT	0,0625	0,75
12	8	a	8	GTAW	No	ASME	See Tabla	8-8-GTAW-GR.1	0,0625	0,75
13	8	a	8	SMAW	No	ASME	See Tabla	8-8-SMAW-GR.1	0,0625	0,75
14	1	a	1	SMAW	Si	ASME	E6010	1-1-SMAW-HT	0,1875	1,5
15	5B	a	5B	GTAW-SMAW	Si	ASME	ER80S-B6 - E8018-B6	5B-5B-GTAW-SMAW-HT	0,1875	2,625
16	1	a	1	GTAW-SMAW	No	ASME	ER70S-2 - E7018	1-1-GTAW-SMAW	0,1875	1,5
17	4	a	6	SMAW	No	ASME	West Rode 2212	4-6-SMAW	0,1875	1
18	1	a	6	SMAW	No	ASME	West Rode 2212	1-6-SMAW	0,1875	1
19	1	a	8	SMAW	No	ASME	West Rode 2212	1-8-SMAW	0,1875	1
20	X65	a	X65	SMAW	No	API	E8010-G	1-1-SMAW-API	0,188	0,75
21	4	a	4	SMAW	Si	ASME	E8018-B2 - E309L-16	4-4-CLAD-SMAW-HT	0,1875	1,5
22	8	a	8	GTAW	No	ASME	ER316L	8-8-GTAW-316L	0,0625	0,5
23	1	a	1	SMAW	No	ASME	E6010 - E7018	M-001	0,75	1,5
24	1	a	1	SMAW	No	ASME	E6010 - E7018	M-002	0,0625	0,375
25	1	a	1	SMAW	No	ASME	E6010 - E7018	M-003	0,1875	0,75
26	1	a	1	SMAW	No	ASME	E6010 - E7010 - E7018	M-005	0,1875	0,75
27	1	a	1	SMAW	No	ASME	E6010 - E7018	M-006	0,0625	0,375
28	1	a	1	SMAW	No	ASME	E6010 - E7018	M-007	0,0625	0,75
29	1	a	1	SMAW	No	API	E6010 - E7010A1	M-008	0,1875	0,75
30	1	a	1	SMAW	No	API	E-7018-1	M-009	0,1875	0,75
31	1	a	1	SMAW	No	ASME	E8010G - E8018	M-010	0,0625	0,5
32	1	a	1	SMAW	No	ASME	E6010 - E7010A-1	MASA-02	0,1875	1
33	1	a	1	SMAW	No	ASME	E6010 - E7018	P&C-1-1-SMAW-001	0,0625	0,75
34	1	a	1	GTAW-SMAW	No	ASME	ER70S-2 - E7018	1-1-GTAW-SMAW	0,1875	1,5
35	1	a	1	FCAW	No	ASME	E71T-1C	1-1-FCAW	0,1875	1,5
36	1	a	1	GMAW-FCAW	No	ASME	ER70-S6 - E71T-8K6	1-1-GMAW(STT)-FCAW Innershield	0,28125	0,5
37	1	a	1	SMAW	No	API	E6010 -E7010	1-1-SMAW-API-2"	0	0,188
38	1	a	1	GMAW-FCAW	No	ASME	ER70-S6 - E71T-1C	1-1-GMAW(STT)-FCAW Outershield-0.5in	0,1875	1
39	5B	a	15E	GTAW	Si	ASME	ER80S-B8	5B-15E-GTAW-HT	0,625	0,75
40	1	a	5B	GTAW	Si	ASME	ER80S-B6	1-5B-GTAW-HT	0,625	0,75
41	8	a	15E	GTAW	Si	ASME	ERNiCr-3	8-15E-GTAW-HT	0,625	0,75
42	5B	a	8	GTAW	Si	ASME	ERNiCr-3	5B-8-GTAW-HT	0,625	0,75

Dependiendo de los proyectos que tenga la compañía y los tipos de trabajos de soldadura requeridos por los Clientes, este listado se debe incrementar debido a que en la actualidad se están utilizando nuevos procesos de soldadura semiautomáticos principalmente y en las obras muchas veces se utilizan diferentes materiales tanto materiales base como materiales de aporte o diferentes códigos de construcción lo que hace necesario calificar nuevos procedimientos para que la Compañía cumpla con los requerimientos de los proyectos.

A continuación, se relacionan los apartes del código ASME que relaciona límites de diámetros calificados, así como los espesores tanto del metal base como del metal depositado calificados según las especificaciones del cupón de calificación que se utilice.

Tabla 3. Límite de Diámetros de Soldaduras de Ranura.

Table QW-452.3 Groove-Weld Diameter Limits		
Outside Diameter of Test Coupon, in. (mm)	Outside Diameter Qualified, in. (mm)	
	Min.	Max.
Less than 1 (25)	Size welded	Unlimited
1 (25) to $2\frac{7}{8}$ (73)	1 (25)	Unlimited
Over $2\frac{7}{8}$ (73)	$2\frac{7}{8}$ (73)	Unlimited

GENERAL NOTES:

(a) Type and number of tests required shall be in accordance with [QW-452.1](#).

(b) $2\frac{7}{8}$ in. (73 mm) O.D. is the equivalent of NPS $2\frac{1}{2}$ (DN 65).

Fuente: The American Society of Mechanical Engineers - Boiler and Pressure Vessel Code: Welding, Brazing, and Fusing Qualifications, Sección IX, 2017, 178p. ASME Section IX.

Tabla 4. Ensayos de Tensión y Doble Transversal de Soldaduras de Ranura. Rango de espesores calificados.

Table QW-451.1 Groove-Weld Tension Tests and Transverse-Bend Tests							
Thickness T of Test Coupon, Welded, in. (mm)	Range of Thickness T of Base Metal, Qualified, in. (mm) [Note (1)] and [Note (2)]		Maximum Thickness t of Deposited Weld Metal, Qualified, in. (mm) [Note (1)] and [Note (2)]	Type and Number of Tests Required (Tension and Guided-Bend Tests) [Note (2)]			
	Min.	Max.		Tension, QW-150	Side Bend, QW-160	Face Bend, QW-160	Root Bend, QW-160
Less than $\frac{1}{16}$ (1.5)	T	$2T$	$2t$	2	...	2	2
$\frac{1}{16}$ to $\frac{3}{8}$ (1.5 to 10), incl.	$\frac{1}{16}$ (1.5)	$2T$	$2t$	2	[Note (5)]	2	2
Over $\frac{3}{8}$ (10), but less than $\frac{3}{4}$ (19)	$\frac{3}{16}$ (5)	$2T$	$2t$	2	[Note (5)]	2	2
$\frac{3}{4}$ (19) to less than $1\frac{1}{2}$ (38)	$\frac{3}{16}$ (5)	$2T$	$2t$ when $t < \frac{3}{4}$ (19)	2 [Note (4)]	4	...	...
$\frac{3}{4}$ (19) to less than $1\frac{1}{2}$ (38)	$\frac{3}{16}$ (5)	$2T$	$2T$ when $t \geq \frac{3}{4}$ (19)	2 [Note (4)]	4	...	...
$1\frac{1}{2}$ (38) to 6 (150), incl.	$\frac{3}{16}$ (5)	8 (200) [Note (3)]	$2t$ when $t < \frac{3}{4}$ (19)	2 [Note (4)]	4	...	...
$1\frac{1}{2}$ (38) to 6 (150), incl.	$\frac{3}{16}$ (5)	8 (200) [Note (3)]	8 (200) [Note (3)] when $t \geq \frac{3}{4}$ (19)	2 [Note (4)]	4	...	...
Over 6 (150) [Note (6)]	$\frac{3}{16}$ (5)	$1.33T$	$2t$ when $t < \frac{3}{4}$ (19)	2 [Note (4)]	4	...	...
Over 6 (150) [Note (6)]	$\frac{3}{16}$ (5)	$1.33T$	$1.33T$ when $t \geq \frac{3}{4}$ (19)	2 [Note (4)]	4	...	...

NOTES:

(1) The following variables further restrict the limits shown in this table when they are referenced in QW-250 for the process under consideration: QW-403.9, QW-403.10, and QW-404.32. Also, QW-202.2, QW-202.3, and QW-202.4 provide exemptions that supersede the limits of this table.

(2) For combination of welding procedures, see QW-200.4.

(3) For the SMAW, SAW, GMAW, PAW, LLBW, and GTAW welding processes only; otherwise per Note (1) or $2T$, or $2t$, whichever is applicable.

(4) see QW-151.1, QW-151.2, and QW-151.3 for details on multiple specimens when coupon thicknesses are over 1 in. (25 mm).

(5) Four side-bend tests may be substituted for the required face- and root-bend tests, when thickness T is $\frac{3}{8}$ in. (10 mm) and over.

(6) For test coupons over 6 in. (150 mm) thick, the full thickness of the test coupon shall be welded.

Fuente: The American Society of Mechanical Engineers - Boiler and Pressure Vessel Code: Welding, Brazing, and Fusing Qualifications, Sección IX, 2017, 175p. ASME Section IX.

El código API 1104 por su parte clasifica los procedimientos según 3 rangos de diámetro, 3 rangos de espesores y 3 rangos de materiales según su resistencia a la cedencia o Yield Strenght. A continuación, se relacionan los apartes del código donde se relaciona esta información.

A change from one specified OD group to another. These groups are defined as follows:

- 1) specified OD less than 2.375 in. (60.3 mm),
- 2) specified OD from 2.375 in. (60.3 mm) through 12.750 in. (323.9 mm),
- 3) specified OD greater than 12.750 in. (323.9 mm).

A change from one specified wall thickness group to another. These groups are defined as follows:

- 1) specified pipe wall thickness less than 0.188 in. (4.8 mm),
- 2) specified pipe wall thickness from 0.188 in. (4.8 mm) through 0.750 in. (19.1 mm),
- 3) specified pipe wall thickness greater than 0.750 in. (19.1 mm).

SMYS less than or equal to that of the material specified as API 5L Grade X42;

SMYS greater than that of the material specified as API 5L Grade X42 but less than that of the material specified as API 5L Grade X65;

for materials with a SMYS greater than or equal to that of the material specified as API 5L Grade X65, each grade shall receive a separate qualification test.

Fuente: American Petroleum Institute. Welding of Pipeline and Related facilities, edición 21, Septiembre 2013, 26p. Standard API 1104.

Apartándonos un poco de los procesos para la realización de la soldadura, existe un involucrado que tiene igual importancia que el conocimiento y experiencia en los procesos de soldadura, materiales, materiales base y se considera una variable esencial en el proceso de soldadura no incluida en los códigos, debido a que si se cambia deberá recalificarse y es el soldador. Existen dos cargos para el personal que realiza la soldadura: el soldador y el operador de soldadura.

El soldador es la persona que ejecuta las labores de soldadura usando un algún tipo de soldadura que para la compañía puede ser manual o semiautomática (es la persona que puede controlar la longitud del arco manualmente), mientras el operador de soldadura es la persona que ejecuta las labores de soldadura usando un tipo de soldadura de máquina, o automática (es la persona que solamente puede ajustar algunas de las variables de soldadura más no la longitud del arco manualmente).

El criterio básico para la calificación de soldadores u operadores de soldadura es determinar que el soldador tiene la habilidad para depositar un metal sano (de acuerdo con los Requisitos del Código de Construcción ASME o API dependiendo del trabajo). La calificación de los soldadores está limitada a las variables esenciales dadas para cada proceso específicamente.

Al igual que en la calificación del procedimiento de soldadura, para la calificación del soldador también se manejan variables esenciales. Una variable esencial para la calificación del soldador es una condición de la soldadura la cual afecta la habilidad del soldador para depositar un metal soldado sano, Por ejemplo, un cambio en el proceso de soldadura, eliminación del respaldo, el metal de aporte, el número F, etc.), las cuales en el momento de ser cambiadas se debe calificar nuevamente el soldador.

Para el Código ASME las variables esenciales para el soldador en el proceso SMAW son las siguientes:

Tabla 5. Variables Esenciales del Soldador para el Proceso SMAW.

Table QW-353 Shielded Metal-Arc Welding (SMAW) Essential Variables		
Paragraph		Brief of Variables
QW-402 Joints	.4	- Backing
QW-403 Base Metals	.16	ϕ Pipe diameter
	.18	ϕ P-Number
QW-404 Filler Metals	.15	ϕ F-Number
	.30	ϕ t Weld deposit
QW-405 Positions	.1	+ Position
	.3	ϕ $\updownarrow$ Vertical welding

Fuente: The American Society of Mechanical Engineers - Boiler and Pressure Vessel Code: Welding, Brazing, and Fusing Qualifications, Sección IX, 2017, 74p. ASME Section IX.

Cada proceso de soldadura tiene diferentes variables esenciales para el soldador, en este caso se relacionan las variables para el proceso más utilizado por la Compañía. Las calificaciones de los soldadores permanecen validas mientras ellos continúen soldando al menos una vez dentro del periodo de seis meses en cada proceso calificado. Si ninguna soldadura es realizada dentro del periodo de seis meses, la calificación para ese proceso expira.

Para el código API 1104 las variables esenciales para el soldador son las siguientes:

Un Cambio de un proceso de Soldadura a otro proceso de Soldadura o Combinación de Procesos, como sigue:

a. Un cambio de un Proceso de Soldadura a un Proceso de Soldadura diferente, o

Un Cambio en la combinación de Procesos de Soldadura, a menos que el Soldador está Calificado con Pruebas de calificaciones separadas para cada proceso.

b. Un cambio de dirección de soldadura de vertical ascendente a vertical descendente o viceversa.

c. Un cambio en la clasificación del metal de aporte del grupo 1 o 2 a cualquier otro grupo o de cualquier grupo 3 a 9 a grupo 1 o 2. Un cambio de la clasificación de un Metal de Aporte no listado en la Tabla 1 a cualquier otra clasificación de metal de aporte o viceversa.

d. Un cambio de un grupo de OD especificado a otro. Estos grupos son definidos como sigue:

OD especificado menor que 2.375 in. (60.3 mm),

OD especificado de 2.375 in. (60.3 mm) hasta 12.750 in. (323.9 mm),

OD especificado mayor de 12.750 in. (323.9 mm)

e. Un cambio de un espesor de pared especificado a otro. Estos grupos son definidos como sigue:

Un espesor de pared especificado menor de 0.188in (4.8 mm),

Un espesor de pared especificado de 0.188 in (4.8 mm) hasta 0.750 in (19,1 mm)

Un espesor de pared especificado mayor a 0,750 in (19,1 mm)

f) Un cambio en la posición la cual el soldador fue calificado (Por Ejemplo: de rotado a fijo o un cambio de vertical a horizontal o viceversa). Un Soldador que califica en posición fija será también calificado para realizar soldaduras rotadas dentro de las variables esenciales calificadas. Un Soldador que califica en soldaduras a Tope será también calificado para hacer soldadura de Filete de Traslape dentro de las variables esenciales calificadas. Un Soldador que pase exitosamente una calificación de soldadura a tope en posición fija con el eje inclinado 45° de la horizontal será calificado para hacer soldadura a tope y filete de traslape en todas las posiciones.

g) Un cambio en el diseño de la Junta (Por ejemplo: La eliminación del respaldo o un cambio de un Bisel en V a un Bisel en U).

Mecánicos Asociados S.A.S se encuentra certificado bajo el estampe ASME para la fabricación de calderas y recipientes a presión estampes S y U y las reparaciones cumpliendo con el National Board estampe R. Debido a esto, en la Compañía se cuenta con un Plan de Calidad donde se relacionan todos los lineamientos relacionados con el Control de los Materiales, el programa de examinación y ensayos, las No Conformidades, Control de la Soldadura, Ensayos No Destructivos, Tratamiento térmico, calibraciones y registros.

Para la realización de las actividades de soldadura la Compañía cuenta con procedimientos propios para la realización de las actividades relacionadas con la soldadura como lo es el Procedimiento para Hacer Corte, Biselado, Alineación y Soldadura de Tubería, laminas y accesorios (prefabricación) dentro del cual se relacionan la descripción de las condiciones iniciales entre los que están los requerimientos del Cliente como permisos de trabajo, las calificaciones del personal

y competencias requeridas y los equipos necesarios para el buen desarrollo de la actividad así como los aspectos de seguridad, salud ocupacional y medio ambiente requeridos por la criticidad y riesgos propios de las actividades. Se procede a la descripción de la ejecución de la actividad donde se incluyen los cortes requeridos tanto de lámina como tubería, biselado de las mismas según el diseño de la junta relacionado en el WPS, alineación de la tubería, precalentamiento, ejecución de la soldadura según las variables esenciales del WPS, posterior a esto se relacionan los ensayos requeridos para evaluar la junta como son la inspección visual, los líquidos penetrantes, las partículas magnéticas, radiografía y ultrasonido con sus respectivos reportes firmados por un inspector nivel II como mínimo certificado en cada uno de los ensayos.

Para poder garantizar el buen desarrollo de las actividades involucradas durante la realización de cualquier soldadura, se han desarrollado diferentes formatos para tener los registros de la buena realización y aprobaciones de la ejecución de las actividades, con lo cual se quiere además de garantizar la calidad de las actividades poder empoderar y comprometer a las personas que de alguna u otra forma están relacionadas con la actividad, desarrollando los respectivos formatos como son: Formato para Calificación de Procedimiento de Soldadura, Formato para Calificación de Soldadores ASME y API, Formato para Registro de Soldadores, Formato para informe de Defectología de Soldadura, Formato para Registro de Variables en Calificación de Procedimiento de Soldadura y calificación de soldadores.

10.3. MATERIALES BASE Y DE APOORTE UTILIZADOS

El código ASME agrupa los materiales base por un numero P y los materiales de Aporte con un número A y un número F, si alguno de estos cambia se debe calificar un nuevo procedimiento, así como unos rangos de espesores y diámetros los cuales

si no cumplen con los que se tienen en la obra se deben calificar para que estén dentro de los rangos calificados (ver Tabla 4.).

Para poder facilitar la utilización de los materiales en las diferentes actividades como Fabricación de Calderas, Recipientes a Presión y Tubería se creó un sistema de clasificación en el cual se asigna un Numero P a cada material según corresponda. Esta asignación originalmente tuvo la finalidad de reducir la cantidad de calificaciones de los procedimientos de soldadura y soldadores, pero luego se extendió a otras actividades de la Construcción. El número P fue asignado por el ASME teniendo en cuenta las características de los materiales como la composición química, la soldabilidad y las propiedades mecánicas de los diferentes metales.

A continuación, se relaciona la tabla con los números P de algunos los materiales:

Tabla 6. Números P de los diferentes Materiales según ASME Sección II.

Material	Números P
Acero	1/3/4/5x/6/7/8/9x/10x/11x/15x
Aluminio y sus aleaciones	21-25
Cobre y sus aleaciones	31-35
Níquel y sus aleaciones	41-49
Titanio	51-53
Circonio	61 / 62

Material	Números P
Acero al Carbono	1
0.5 Cr - 0.5 Mo	3
1.25 Cr - 0.5 Mo	4
2.2 Cr - 1 Mo	5A
5-7 Cr - 1 Mo	5B
Ni	9x
9 Cr - 1 Mo, V	15x
Martensíticos	6
Ferríticos	7
Austeníticos	8
Microaleados / Duplex	10x
Aceros de baja aleacion con su resistencia a la tension mejorada por un tratamiento termico de templado y revenido	11x

Así como para los materiales base se tienen los números P, los metales de aporte han sido clasificados en un número, llamado numero F por la palabra filler en inglés. Estas clasificaciones se basan para materiales de aporte ferrosos en su utilización y para materiales no ferrosos en su composición química.

Tabla 7. Números F para diferentes Aportes de Soldadura según ASME Sección II.

Número F	Especificación	Clasificación
1	SFA-5.1/5.4/5.5	EXX20 - EXX28
2	SFA-5.1/5.5	EXX12/3/4/9
3	SFA-5.1/5.5	EXX10/11
4	SFA-5.1/5.4/5.5	EXX15/16/17/18
5	SFA-5.4	EXX15/16/17
6	SFA-5.9/17/23	Aportes para SAW
6	SFA-5.9/18/28	Aportes para GTAW/GMAW

6	SFA-5.20/22/29	Aportes para FCAW
21-25	SFA-5.3/10	Aluminio
31-37	SFA-5.6/7/8	Aleaciones de Cobre
41-46	SFA-5.11/14	Aleaciones de Níquel
51-56	SFA-5.16	Titanio
61	SFA-5.24	Circonio
71,72	SFA-5.13/21	Recubrimientos Duros

Como en los materiales de aporte ferrosos el número F depende de la utilización, se creó el Numero A el cual clasifica estos metales de aporte por su composición química. Estas clasificaciones no quieren decir que se puedan cambiar indiscriminadamente los metales de aportes.

Tabla 8. Números A para los Aportes de Soldadura según el ASME Sección IX.

Table QW-442 A-Numbers Classification of Ferrous Weld Metal Analysis for Procedure Qualification							
A-No.	Types of Weld Deposit	Analysis, % [Note (1)] and [Note (2)]					
		C	Cr	Mo	Ni	Mn	Si
1	Mild Steel	0.20	0.20	0.30	0.50	1.60	1.0
2	Carbon-Molybdenum	0.15	0.50	0.40-0.65	0.50	1.60	1.0
3	Chrome (0.4% to 2%)-Molybdenum	0.15	0.40-2.00	0.40-0.65	0.50	1.60	1.0
4	Chrome (2% to 4%)-Molybdenum	0.15	2.00-4.00	0.40-1.50	0.50	1.60	2.0
5	Chrome (4% to 10.5%)-Molybdenum	0.15	4.00-10.5	0.40-1.50	0.80	1.20	2.0
6	Chrome-Martensitic	0.15	11.0-15.0	0.70	0.80	2.00	1.0
7	Chrome-Ferritic	0.15	11.0-30.0	1.00	0.80	1.00	3.0
8	Chromium-Nickel	0.15	14.5-30.0	4.00	7.50-15.0	2.50	1.0
9	Chromium-Nickel	0.30	19.0-30.0	6.00	15.0-37.0	2.50	1.0
10	Nickel to 4%	0.15	0.50	0.55	0.80-4.00	1.70	1.0
11	Manganese-Molybdenum	0.17	0.50	0.25-0.75	0.85	1.25-2.25	1.0
12	Nickel-Chrome—Molybdenum	0.15	1.50	0.25-0.80	1.25-2.80	0.75-2.25	1.0
NOTES: (1) Single values shown above are maximum. (2) Only listed elements are used to determine A-numbers.							

Fuente: The American Society of Mechanical Engineers - Boiler and Pressure Vessel Code: Welding, Brazing, and Fusing Qualifications, Sección IX, 2017, 174p. ASME Section IX.

La selección de los materiales de Aporte depende de los siguientes factores:

- Compatibilidad tanto química como mecánica.
- Dilución de los aleantes.
- Endurecimiento.
- Susceptibilidad a las grietas.
- Resistencia a la Corrosión.

El código API 1104 tiene su propia clasificación de los metales de aporte los cuales al igual que en el código ASME si se cambia se debe recalificar el procedimiento con el electrodo del grupo diferente.

Tabla 9. Clasificación de los metales de aportes según el API 1104.

Group	AWS Specification	AWS Classification Electrode	Flux ^c
1	A5.1	E6010, E6011	
	A5.5	E7010, E7011	
2	A5.5	E8010, E8011, E9010	
3	A5.1 or A5.5	E7015, E7016, E7018	
	A5.5	E8015, E8016, E8018	
		E9018	
4 ^a	A5.17	EL8	P6XZ
		EL8K	F6X0
		EL12	F6X2
		EM5K	F7XZ
		EM12K	F7X0
		EM13K	F7X2
		EM15K	
5 ^b	A5.18	ER70S-2	
	A5.18	ER70S-6	
	A5.28	ER80S-D2	
	A5.28	ER90S-G	
6	A5.2	RG60, RG65	
7	A5.20	E61T-GS ^d	
		E71T-GS ^d	
8	A5.29	E71T8-K6	
9	A5.29	E91T8-G	

Fuente: American Petroleum Institute. Welding of Pipeline and Related facilities, edición 21, Septiembre 2013, 15p. Standard API 1104.

10.4 DEFECTOLOGÍA

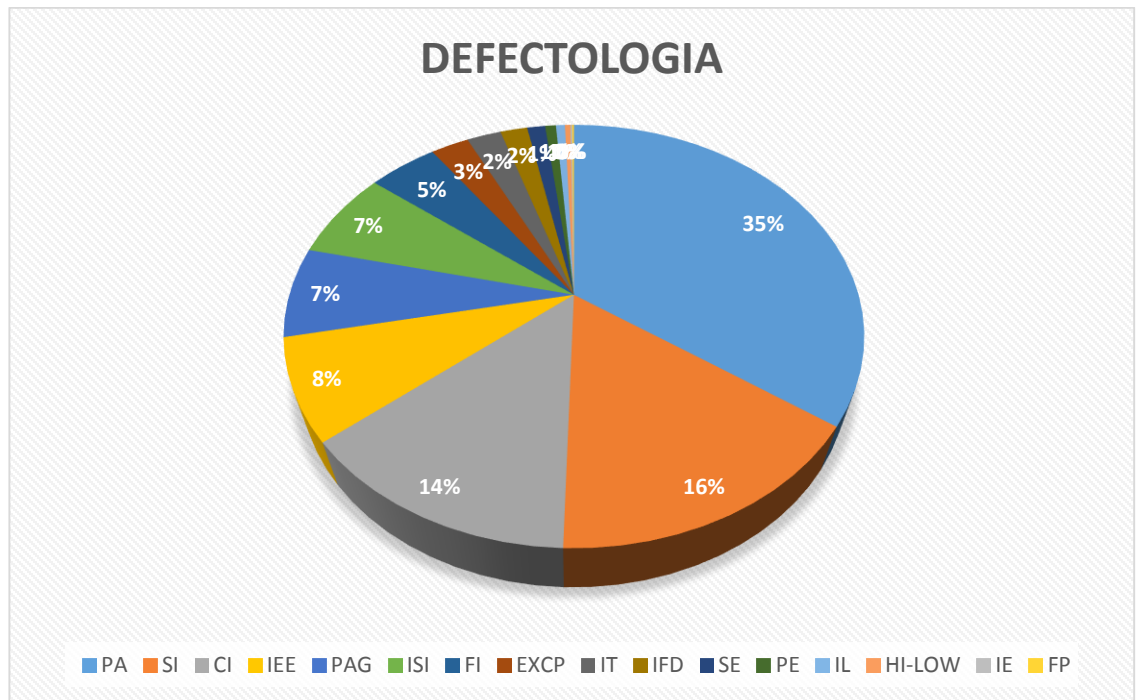
Para cerrar con el estado actual de los procesos de soldadura nos vamos a centrar en las 5 discontinuidades de soldadura más repetitivas que se están identificando en las diferentes juntas soldadas que se realizan en la Compañía. A continuación,

se relacionan las discontinuidades más identificadas y registradas por los informes de los ensayos no destructivos realizados en las soldaduras:

Tabla 10. Defectología en Orden de Ocurrencia.

DEFECTOLOGIA	SIGLA
POROSIDAD AISLADA	PA
SOCAVADO INTERNO	SI
CONCAVIDAD INTERNA	CI
INCLUSIONES DE ESCORIA ELONGADA	IEE
POROSIDAD AGRUPADA	PAG
INCLUSIONES DE ESCORIA AISLADA	ISI
FUSION INCOMPLETA EN LA RAIZ	FI
EXCESO DE PENETRACIÓN	EXCP
INCLUSION DE TUNGSTENO	IT
FUSION INCOMPLETA ENTRE PASES O TRASLAPE EN FRIO	IFD
SOCAVADO EXTERNO	SE
POROSIDAD ESFÉRICA	PE
INDICACION LINEAL	IL
DESALINEAMIENTO POR HI-LOW	HI-LOW
INCLUSION DE ESCORIA	IE
FALTA DE PENETRACION	FP

Gráfico 2. Porcentaje de Defectología por Discontinuidad.



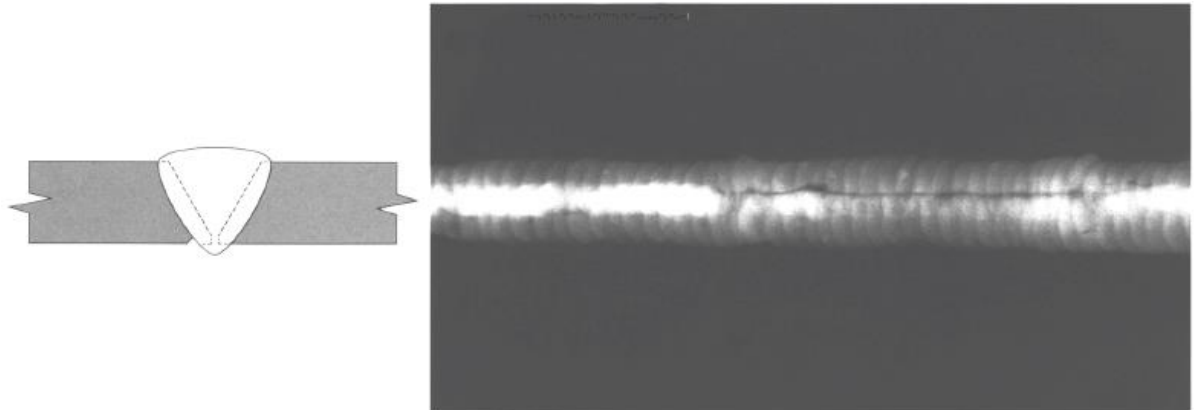
Porosidad Aislada (PA): Es una discontinuidad que forma una cavidad provocada por gases que quedan atrapados en la soldadura. En otras palabras, es una bolsa de gas o un vacío dentro del metal de soldadura solidificado. Los poros se pueden provocar principalmente por la presencia de contaminación o humedad (proveniente del electrodo, del metal base, del gas de protección o de la atmosfera) que se evapora debido al calor producido por la soldadura y los gases generados por la misma.

Imagen 5. Radiografía con Porosidad Aislada (PA).



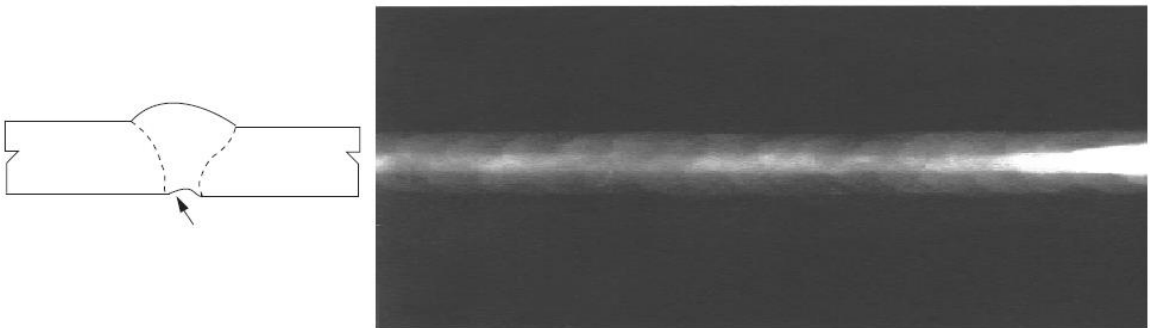
Socavado Interno (SI): Es una discontinuidad que ocurre en el metal base adyacente a la soldadura. Esta sucede debido a que el metal base se fundió, pero no hay una cantidad suficiente de soldadura para llenar la ausencia de metal en los extremos del material.

Imagen 6. Radiografía con Socavado Interno (SI).



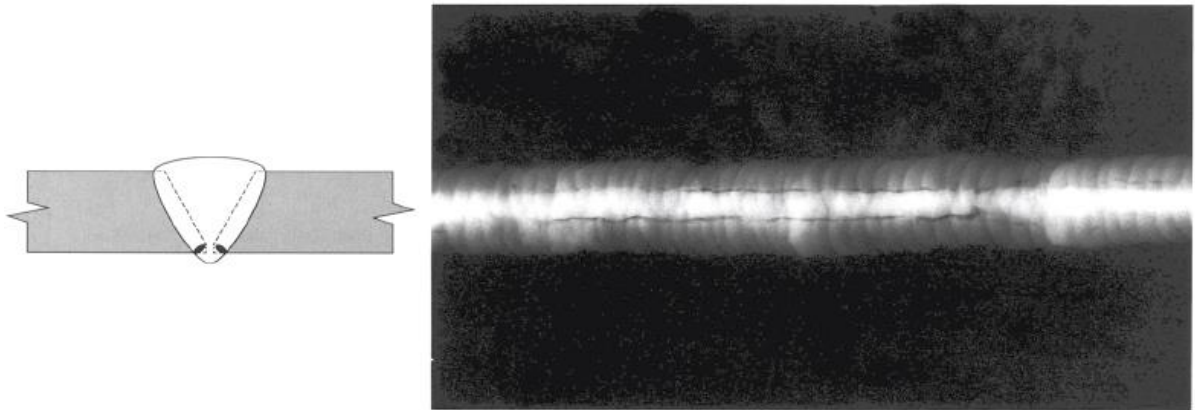
Concavidad Interna (CI): Es un canal en la cara interna de la soldadura, lo que produce un ancho de la soldadura inferior a la requerida. Esto sucede debido a una alta velocidad de deposición del metal de soldadura, que incurre en pérdida de la resistencia mecánica de la unión soldada.

Imagen 7. Radiografía con Concavidad Interna (CI).



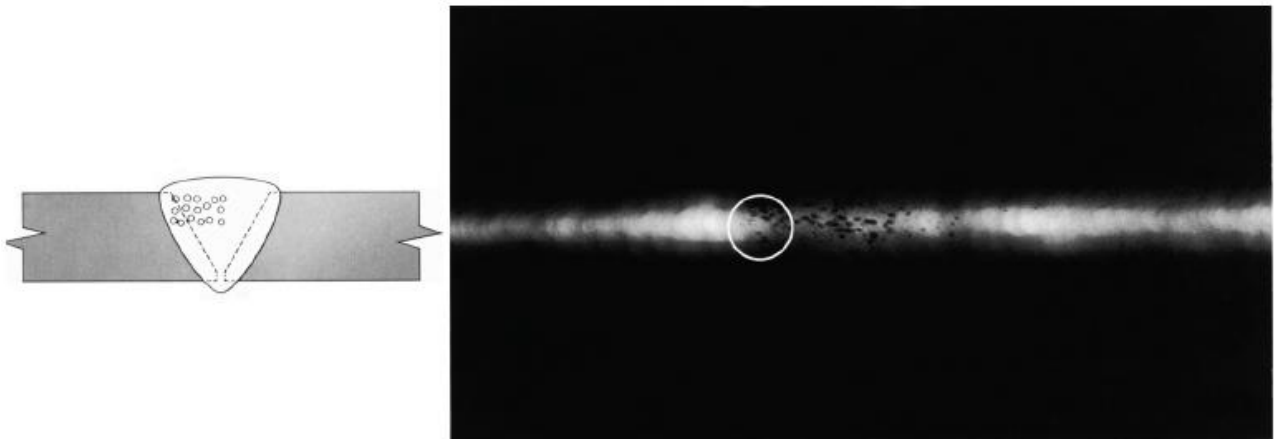
Inclusión de Escoria Elongada (IEE): Es un material sólido y extraño atrapado en la soldadura que para este caso es escoria y se manifiesta como una discontinuidad. Genera una reducción en la resistencia y una concentración de esfuerzo. Se presentan tanto en la superficie como en el interior de la soldadura. Se produce por una mala limpieza y poca habilidad del soldador.

Imagen 8. Radiografía con Escoria Elongada (IEE).



Porosidad Agrupada (PAG): Son discontinuidades que ocurren cuando quedan gases atrapados entre el metal fundido y la escoria solidificada. La porosidad genera una zona de la soldadura más débil y una porosidad agrupada aún más. Cuando se utiliza un arco muy largo con un electrodo de bajo hidrogeno pueden presentarse poros.

Imagen 9. Radiografía con Porosidad Agrupada (PAG).



Fuente: American Petroleum Institute: Welding Processes, Inspection, and Metallurgy, Segunda edición, API Recommended Practice 577, 2013, 75 - 79p. API 577.

11 CUANTIFICACIÓN DE LOS COSTOS DEL PROCESO SOLDADURA

Cada uno de los proyectos tienen relacionados los costos del proceso de soldadura donde incluye la calificación del procedimiento, la calificación del soldador, los materiales base y materiales de aporte si el Cliente no los suministra, los equipos de soldadura, los equipos de corte, consumibles como gratas, discos de pulir, discos de corte, oxígeno, diésel, acetileno, argón, equipos de oxicorte, elementos de protección personal y el costo total del personal involucrado (Soldador, Ayudante, Coordinador de Calidad, Inspector de Calidad y Almacenista). Reevaluando, estos costos nunca son iguales a los presupuestados debido a que si bien la actividad tiene un costo normalmente conocido no se contemplan las reparaciones y si bien se incluye un porcentaje, es muy difícil predecir qué tan grande o que tan pequeño debe ser este número para que se tenga un equilibrio entre el costo final y la rentabilidad del mismo.

Es por esto que se realiza un ejercicio para poder predecir y tratar de aproximarse a un valor cercano al costo de las reparaciones de las soldaduras en los proyectos,

Se toman las horas hombre utilizadas en la especialidad de tubería durante el contrato, así como el total de pulgadas diametrales que se realizaron, estas se incrementan según el porcentaje de defectología acumulado del contrato para incluir el sobre costo por las respectivas reparaciones. Con esta información se identifican las Horas Hombre por pulgada diametrales reales con la inclusión de las reparaciones. Así mismo por el otro lado se tienen los costos totales y las horas hombre totales ejecutadas durante el contrato, se identifica el costo de la hora hombre efectiva en las actividades de soldadura. Con el costo por Hora Hombre y las Horas Hombre por pulgada se define el costo por pulgadas y se compara contra el valor presupuestado. Después de realizar la comparación, entre los presupuestado y la realidad de la actividad, el sobre costos por pulgada lineal debido a los reprocesos y defectos en la soldadura es de más o menos el 30%.

Adicional al ahorro en dinero que se hace evidente si es posible reducir las reparaciones, nos encontramos con una oportunidad valiosa para mejorar la imagen de la Compañía, mejorar la productividad debido a que en el tiempo que se realiza la reparación las cuadrillas podrían estar realizando juntas nuevas y mejorar la rentabilidad y el costo para la Compañía de realizar una junta soldada.

Al momento de presentarse reparaciones, la Compañía incurren en los siguientes tiempos para cada una de las actividades. Estos tiempos corresponden a juntas promedio entre 8" y 24".

Tabla 11. Tiempos de Actividades para reparaciones de soldadura.

Actividades para Reparaciones Diametros Promedios	TIEMPO (MINUTOS)			
	Inspector Calidad	Supervisor	Soldador	Tubero
Localizacion de la discontinuidad	15,00	10,00	15,00	15,00
Remocion de la discontinuidad (Pulidora - Disco Abrasivo)				30,00
Verificacion de Remocion de la discontinuidad	45,00	10,00	30,00	30,00
Soldadura			60,00	
Limpieza entre pases y final				30,00
Ensayo No Destructivo	60,00			

Conociendo los tiempos requeridos para las reparaciones, el personal involucrado y los salarios totales de los mismos, llegamos a un número promedio de cuánto cuesta una reparación para la Compañía según el personal requerido y sus rendimientos y este monto asciende a valores cercanos a USD 120 por cada junta que sea necesario reparar.

12 EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA DE LA COMPAÑÍA

Actualmente, la Compañía desarrolla los procesos de soldadura de la misma forma como se vienen realizando desde hace 10 años. El proceso de soldadura más común en la compañía es el proceso SMAW cerca del 85% de las juntas se realizan con este proceso, el 12% con el proceso GTAW manual y un 3% con el proceso FCAW semiautomático. El proceso SMAW como se mencionó en el numeral 10.1.1. de este documento, requiere equipos de soldadura de bajo costo, pero la productividad es muy limitada, puesto que el proceso es netamente manual y hay demasiado tiempos perdidos (retiro e instalación del electrodo en la pinza, remoción de la escoria tanto manual como mecánicamente con grata, reparaciones con pulidora, etc.) y bastantes defectos de calidad debido principalmente a no utilización de los hornos para retiro de la humedad de la soldadura, no se sigue el procedimiento de soldadura, no se realiza una limpieza adecuada entre los pases de soldadura depositados, no se realizan precalentamientos, no se cumplen con las variables esenciales de los procedimientos de soldadura, etc.

La compañía cuenta con los procedimientos de soldadura requeridos para los diferentes materiales debidamente calificados (Ver Numeral 10.2), tanto el WPS como el PQR, así como el plan de inspección y ensayo que incluye la especialidad de soldadura. Los ensayos no destructivos más utilizados son los líquidos penetrantes, radiografía y el ultrasonido Phased Array. Los dos últimos son realizados por un subcontratista quien cuenta con sus debidos procedimientos, practica escrita, calificaciones del personal y equipos, los cuales son revisados y aprobados por la Compañía antes de iniciar con los trabajos.

Al inicio de las actividades, el supervisor y el coordinador de calidad se reúnen con el personal metalmecánico para definir el trabajo del día y explicar trabajos que tienen alguna complejidad mayor o riesgos adicionales. Los códigos constructivos y de soldadura son definidos por el Cliente antes de iniciar los trabajos, normalmente

se relacionan en las especificaciones. Los más utilizados en la industria del petróleo y gas son el ASME Sección IX, API 1104, ASME B31.3, B31.4 y B31.8. El personal metalmeccánico que ejecutara la actividad conoce estas normas y las tiene a su alcance para las respectivas consultas y en el momento de surgir una duda el Coordinador de Calidad los soporta con la información solicitada. Durante el desarrollo de la jornada laboral, el inspector de calidad realiza inspección visual a la calidad de los trabajos y el cumplimiento de los requisitos y deja un registro escrito del mismo relacionando las oportunidades de mejora que se encuentran tanto en calidad de la soldadura como de la ejecución. Para la realización de la inspección visual específica a las juntas soldadas es necesario incluir las galgas de inspección respectivas según el tipo de soldadura, debido a que en la mayoría de proyectos solamente se maneja la galga pico de loro (ver imagen 10.).

Imagen 10. Galga pico de Loro para inspección de soldadura.

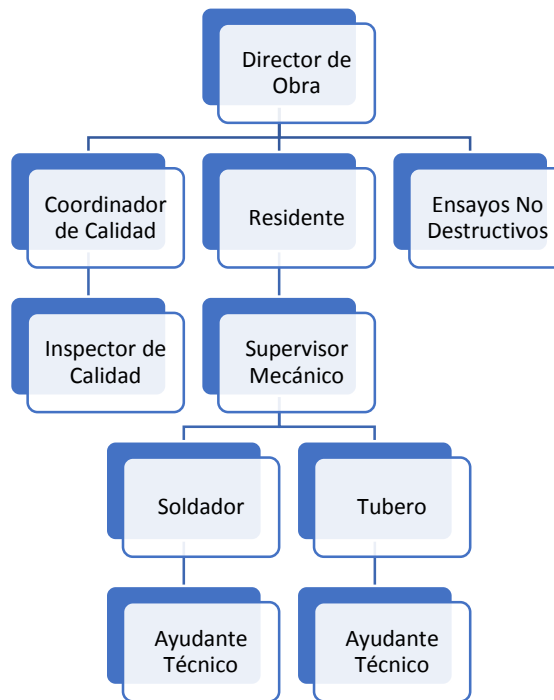


Fuente: American Petroleum Institute: Welding Processes, Inspection, and Metallurgy, Segunda edición, API Recommended Practice 577, 2013, 56p. API 577.

Todos los proyectos tienen un área específica para los trabajos metalmeccánicos conocidos como taller de prefabricado, estos cuentan con la protección adecuada tanto para el viento como para la lluvia y el sol. Este cuenta con toda la logística

para el movimiento y soportería de spools, tanto por fabricar como ya fabricados. Los materiales de cada trabajo de almacén en estibas cerca a los puestos de trabajo por isométrico. Los soldadores utilizados para los trabajos son de 70% soldadores 1A y 30% soldadores 1 dependiendo del tamaño del proyecto, en algunos casos son 100% soldadores 1A. Los job description de estos cargos son administrados por el personal de desarrollo de capital humano del contrato. Las cuadrillas de soldadura están conformadas por el supervisor, soldador, tubero, ayudante del soldador y ayudante del tubero.

Imagen 11. Organigrama Típico de la Compañía para actividades de Soldadura.



Todos los soldadores, independiente de su cargo son calificados tanto por inspección visual como por radiografía o ultrasonido según como lo requiera el código constructivo (Ver Paginas 56, 57 y 58).

Cada uno de los proyectos tienen un comprador o una persona encargada de las compras, quien realiza los suministros de materiales según los requerimientos de los planos de ingeniería, así como de las especificaciones de los materiales suministradas por el Cliente o el Coordinador de Calidad. Cuando los materiales entran al almacén se recepcionan y el almacenista guarda una copia de los certificados de calidad (materiales base, materiales de aporte, accesorios, etc.) y entrega el documento original al coordinador de calidad para que lo incluya dentro del dossier de construcción. Con respecto a equipos de soldadura se utilizan moto soldadores de 400 amperios, calibrados y con rutinas de mantenimiento, pero no se maneja un plan detallado de mantenimiento específico de los motosoldadores y los cables de conexión según el número de horas de trabajo. Cada soldador y tubero tienen una caja con herramienta básica que incluye la pinza para soldadura, una pulidora grande, una pulidora pequeña, llaves mixtas, niveles, guantes, caretas de protección, entre otros. Después que cada electrodo es aplicado en la junta soldada, el soldador limpia con el disco de pulir los extremos del cordón antes continuar con el siguiente electrodo. Cuando se completa un pase de soldadura, el ayudante del soldador entra con el disco de pulir o la grata dependiendo del defecto, a realizar la limpieza con el principal objetivo de retirar la escoria incrustada en la soldadura o remover defectos superficiales. En promedio se utiliza cerca del 75% de la longitud total del electrodo. Después que la junta soldada esté terminada, el inspector de control de calidad realiza la inspección visual de la junta y las que estén aprobadas son marcadas para que sean radiografiadas después de terminar la jornada laboral y poder obtener el resultado al siguiente día antes de iniciar labores para programar las reparaciones si son requeridas.

La empresa de ensayos no destructivos entrega el reporte de inspección de la soldadura donde se relacionan todas las especificaciones de la fuente radiográfica o del equipo de ultrasonido, así como el resultado de cada una de las películas radiográficas tomadas o de la corrida por ultrasonido utilizada para inspeccionar la junta y se especifica la discontinuidad presenten la dimensión y la posición donde

está ubicada en la junta soldada. Este documento el controlado por el coordinador de calidad quien debe incluirlo dentro del dossier de construcción.

Dentro del desarrollo de estas actividades de presentan varios tiempos adicionales que a continuación se relacionan.

- ❖ Charla de Seguridad: 30 minutos
- ❖ Solicitud de Herramienta: 30 minutos
- ❖ Entrega de Herramienta: 30 minutos
- ❖ Desplazamiento al sitio de trabajo: Taller 10 minutos en Campo 45 minutos.
- ❖ Alistamiento de Equipos y Herramientas para iniciar labores: 15 minutos
- ❖ Alistamiento de Equipos y Herramientas para finalizar labores: 15 minutos
- ❖ Retiro e Instalación de Electrodo: 50 segundos.
- ❖ Fabricación de Bisel: 45 minutos
- ❖ Preparación de Bisel: 15 minutos
- ❖ Remoción de Escoria entre pases: 10 minutos

Todos estos tiempos adicionales es necesario optimizarlos al máximo, debido a que estos ayudan o a mejorar o a disminuir la productividad de la Compañía.

13 MODELO PARA GESTIONAR EL PROCESO DE SOLDADURA SEGÚN LAS CONDICIONES DE TRABAJO DE MECÁNICOS ASOCIADOS S.A.S

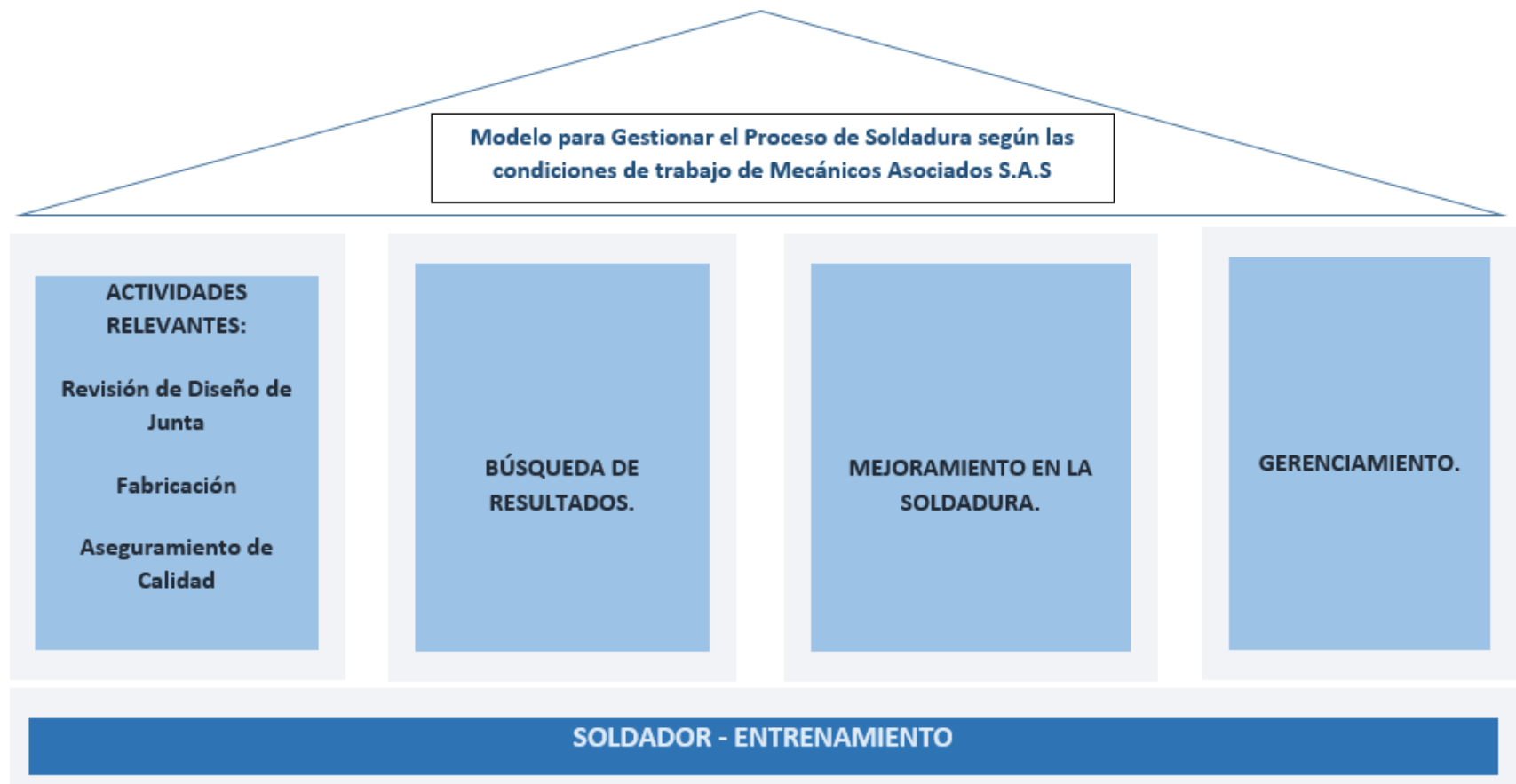
Después de recopilar y analizar la información relevante para el proceso de soldadura como lo es: los diferentes procesos de soldadura, los materiales base y materiales de aporte, los criterios para la calificación de procedimientos de soldadura y soldadores, la defectología (discontinuidades) más representativa, el personal requerido en las diferentes cuadrillas, la evaluación de los procesos y los costos de la soldadura pertenecientes a la Compañía.

Se diseña un modelo para gestionar el proceso de soldadura que involucre todos estos actores y poder obtener un producto que pueda mejorar tanto la rentabilidad y productividad durante el desarrollo de las actividades, así como potencializar una mejora en la calidad de las juntas soldadas disminuyendo las discontinuidades y los reprocesos en la Compañía.

El Modelo para Gestionar el Proceso de Soldadura según las condiciones de trabajo, requerimientos y especificaciones de Mecánicos Asociados S.A.S estará conformado por una base que es el soporte de todo el modelo y 4 pilares que conformaran la estructura del mismo.

A continuación, se relaciona el esquema como se desarrollará el modelo:

Esquema 1. Modelo para Gestionar el proceso de Soldadura según las condiciones de trabajo.



Este modelo está enfocado en primera parte al soldador quien es el responsable de la buena realización de la actividad y en segunda parte, pero con igual importancia al entrenamiento, el cual es el centro del modelo y la base sobre la cual se realiza la mejora. Este entrenamiento está enfocado a todos los actores de las actividades de soldadura desde los directivos de la Compañía y los proyectos hasta los soldadores con un enfoque a la formación gerencial, técnica y profesional (Habilidades). Se necesita que el personal de operaciones y de control de calidad respalden y apoyen al soldador en su esfuerzo y dedicación para realizar su trabajo de forma más eficientes y efectiva. Los directivos de la Compañía y de los proyectos deben apoyar esta iniciativa para que se desarrolle un trabajo en conjunto suministrando los recursos necesarios.

En los numerales 11 y 12 se identificaron todos los potenciales ahorros en la medida que se vayan implementando las oportunidades de mejora en la soldadura estos tendrán que disminuir hasta llegar a un nivel óptimo.

Según las especificaciones de los trabajos y los tipos de contrato que se manejan en la Compañía se ha definido una estructura para poder identificar, cuantificar, planificar, obtener y mantener mejoras en todas las actividades de soldadura.

Esta estructura está conformada por 4 Estandartes a trabajar que son: Actividades Relevantes, Búsqueda de Resultados, Mejoramiento de la Soldadura y Gerenciamiento (**Ver. Esquema 1**). Esta estructura trabaja en conjunto para soportar al soldador y al personal relacionado con las actividades de soldadura para lograr una mejora en la rentabilidad, productividad y calidad.

A continuación, se explicará cada uno de los 4 Estandartes, incluyendo definición, personal involucrado y actividades.

El Primer Estandarte se conocerá como Actividades Relevantes. Soportan las actividades de soldadura para obtener una mejora en el rendimiento, impactando la

calidad de la soldadura y la productividad. Este estandarte a su vez está dividido en 3 funciones necesarias:

1. Revisión del Diseño de la Junta Soldada: debido a que la Compañía en la mayoría de los casos recibe del Cliente como mínimo la ingeniera Básica, aunque en algunos casos se recibe la ingeniería de Diseño, es necesario que un departamento de Ingeniería de Soldadura o una profesional conocedor del tema, revise, comprenda los requisitos y proponga cambios a las juntas soldadas definidas con el fin de realizarlas de la mejor manera, optimización tiempos y recursos. El conocimiento técnico y la experiencia en actividades de soldadura influirá en la calidad y el costo de las soldaduras que se realizan, así como la productividad del soldador, la tecnología de los equipos y los procesos de soldadura que se utilizan.

La Compañía debe realizar juntas soldadas rentables y para esto se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Selección de adecuada Materiales tanto base como materiales de aporte.
- Determinación del Tamaño adecuado de la Soldadura
- Selección del Tipo de Junta a realizar adecuado.
- Especificaciones de la Soldadura.
- Procesos de Soldadura propuestos adecuados.
- Requerimientos Especiales (Alivios Térmicos, Pre Calentamientos, etc.)

2. Fabricación, la Compañía debe entender cómo desarrollar las actividades de soldadura requeridas en cada uno de los proyectos, basado en los requerimientos de la revisión del Diseño de la Junta Soldada. El Director, Residente Mecánico y Supervisor de Soldadura deben reunirse para planificar y definir los requerimientos específicos para la realización de las

actividades. Deben contar con conocimientos técnicos y experiencia práctica en los procesos de soldadura y equipos utilizados por la Compañía para garantizar que los componentes soldados se fabriquen según los planos entregados. Se debe asegurar que el soldador cuente con todos los elementos necesarios como materiales, equipos, consumibles, elementos de protección personal, etc. El supervisor debe estar en constante comunicación con las cuadrillas de soldadura para solucionar cualquier inconveniente o problema que pueda afectar la producción de los soldadores. El supervisor debe ser responsable por garantizar la calidad de los trabajos y controlar la productividad para asegurar que las actividades se están realizando cumpliendo con las especificaciones técnicas, códigos constructivos, procedimientos operáticos, entre otros. Cada soldador debe ser responsable por su propia calidad durante las actividades de soldadura.

Para el desarrollo de una buena fabricación se debe tener en cuenta:

- Códigos de Construcción y Especificaciones técnicas y procedimientos para la ejecución del trabajo y las soldaduras.
- Selección del Proceso y Procedimiento de Soldadura apropiado a la labor.
- Selección de los Equipos y Herramientas requeridos.
- Definir la locación para la realización de las actividades.
- Definición y Revisión de Procedimientos de Fabricación.
- Definir el plan de mantenimientos de los equipos.
- Calificación y Entrenamiento del Personal.
- Medir el desempeño del personal y equipos.
- Cumplir con la correcta aplicación del Procedimiento de Soldadura

3. Calidad: Debe estar enfocado al Soldador. El soldador es el primer responsable por la calidad de los trabajos, por tal motivo deben contar con las herramientas y equipos de medición necesarios para verificar que las partes se están fabricando correctamente. El área de aseguramiento de calidad se debe enfocar en el sistema de calidad definiendo la política y responsabilidades, realizando auditorías, revisando y verificando la información y haciendo seguimiento cuando se presente una desviación a las especificaciones o estándares. La Fabricación y el aseguramiento de la calidad deben contar con los sistemas y controles de calidad correctos y requeridos para garantizar que cada junta soldada este cumpliendo con los requisitos constructivos.

Aseguramiento de Calidad debe apoyar la revisión del diseño de la junta soldada aportando sus recomendaciones sobre las especificaciones y requerimientos de normas y códigos constructivos para la realización de la actividad. A sí mismo, durante la fabricación, aseguramiento de calidad debe recomendar sobre los procesos de soldadura correctos y apoyar constante durante el proceso de fabricación de las diferentes juntas soldadas recomendando las mejores prácticas según la experiencia. Aseguramiento de Calidad garantiza que todas las etapas durante el proceso de fabricación se cumplan y que el supervisor sea quien monitorea la actividad. Para esta actividad en particular, será considerado como un inspector más y deberá junto con el área de aseguramiento de calidad identificar y verificar las acciones correctivas que ocurren e identificar donde y cuando se están presentando las desviaciones, junto con aprender de los errores cometidos y socializarlo a todo el personal involucrado.

Aseguramiento de Calidad debe publicar semanalmente:

- Una relación de la defectología presentada durante la semana, con una descripción de las mismas donde se relacione cuáles son las posibles causas y como se pueden prevenir.
- Producción de Soldadura diaria y semanal de cada cuadrilla y el porcentaje de defectología.
- Procesos de Soldadura utilizados y Procedimientos de Soldadura calificados para la semana, así como instrucciones de los trabajos utilizando simbología de soldadura.

En resumen, el área de Calidad debe concentrarse en las siguientes actividades:

- Definición de la política de calidad y responsabilidades del personal involucrado.
- Conocimiento e implementación de estándares y normativas para Control y Aseguramiento de Calidad.
- Procedimientos de Calidad tanto para la soldadura como para la ejecución de las actividades.
- Mejoramiento continuo en la inspección, medición y reporte de actividades.
- Gestión de los planes y acciones correctivas, preventivas y aprendizaje de la experiencia.

El Segundo Estandarte se manejará como la Búsqueda de Resultados y se relaciona directamente con las tres funciones de las actividades relevantes y como se pueden optimizar y controlar cada una de estas para el mejoramiento en el desempeño de las actividades de soldadura.

La primera función Revisión del Diseño de la Junta soldada que se caracteriza por estar compuesta por todos los factores y elementos tanto internos como externos para el buen desarrollo de la soldadura durante la etapa de revisión del diseño, constata que verdaderamente todas las entradas que se tienen para el desarrollo

de la misma son adecuadas y cumplen con las especificaciones para finalmente poder obtener un producto conforme realizado optimizando tanto el tiempo como los recursos.

Una de las entradas son los diferentes materiales provenientes de la revisión del diseño y de la junta soldada, donde la Compañía identifica, revisa, re evalúa y recomienda la combinación entre el metal base y el metal de aporte cumpliendo los rangos permitidos y especificaciones del código tanto ASME como API para cada una de las juntas soldadas. Para esta revisión es necesario conocer los esfuerzos y las cargas a los cuales va a estar expuesta la junta soldada. Se debe garantizar que los materiales base como los materiales de aporte tengan propiedades mecánicas y químicas (Porcentaje de Carbono y Porcentaje de Aleantes) similares para garantizar la soldabilidad de los materiales e integridad estructural de la unión, para finalmente tener los mejores materiales base y de aporte para la aplicación. Por ejemplo, para el API 1104 es recomendable para materiales API 5LX65 utilizar un metal de aporte E8018 debido a que la resistencia a la tensión del material es de 78 KSI y el electrodo tiene una resistencia a la tensión de 80Kpsi. No sería posible utilizar un electrodo 7018 el cual tiene una resistencia a la tensión de 70KSI debido a que la resistencia menor estaría en el metal de aporte lo que con lleva a que la junta soldada falle por la soldadura. Para el código ASME se deben respetar los números P de los materiales y como referencia se utiliza la Tabla del API 577 para seleccionar los materiales base y materiales de aporte que se recomiendan.

Tabla 12. Tabla para la selección de los aportes para Aceros al carbono y bajamente Aleados.

Base Material ^{1,2,4}	Carbon Steel	Carbon-Molybdenum Steel	1&1/4 CR-1/2 MO Steel	2 1/4 CR-1 Mo Steel	5CR-1/2 Mo Steel	9Cr-1 Mo Steel	2 1/4 Nickel Steel	3 1/2 Nickel Steel	9 % Nickel Steel
Carbon Steel	AB ³	AC	AD	AE	AF	AG	AJ	AK	*
Carbon-Molybdenum Steel		C	CD	CE	CF	CH	*	*	*
1&1/4 CR-1/2 MO Steel			D	DE	DF	DH	*	*	*
2 1/4 CR-1 Mo Steel				E	EF	EH	*	*	*
5CR-1/2 Mo Steel					F	FH	*	*	*
9Cr-1 Mo Steel						H	*	*	*
2 1/4 Nickel Steel							J	JK	LM
3 1/2 Nickel Steel								K	LM
9 % Nickel Steel									LM
*An unlikely or unsuitable combination. Consult the purchaser if this combination is needed. Legend A AWS A5.1 Classification E70XX low hydrogen⁵ B AWS A5.1 Classification E6010 for root pass⁵ C AWS A5.5 Classification E70XX-A1, low hydrogen D AWS A5.5 Classification E70XX-B2L or E80XX-B2, low hydrogen E AWS A5.5 Classification E80XX-B3L or E90XX-B3, low hydrogen F AWS A5.5 Classification E80XX-B6 or E80XX-B6L, low hydrogen G AWS A5.5 Classification E80XX-B7 or E80XX-B7L, low hydrogen H AWS A5.5 Classification E80XX-B8 or E80XX-B8L, low hydrogen J AWS A5.5 Classification E80XX-C1 or E70XX-C1L, low hydrogen K AWS A5.5 Classification E80XX-C2 or E70XX-C2L, low hydrogen L AWS A5.11 Classification ENiCrMo-3 M AWS A5.11 Classification ENiCrMo-6 ¹ Table D.1 refers to coated electrodes. For bare wire welding (SAW, GMAW, GTAW), use equivalent electrode classifications (AWS A5.14, A5.17, A5.18, A5.20, A5.23, A5.28). Refer to the text for information on other processes. ² Higher alloy electrode specified in the table should normally be used to meet the required tensile strength or toughness after postweld heat treatment. The lower alloy electrode specified may be required in some applications to meet weld metal hardness requirements. ³ Other E60XX and E70XX welding electrodes may be used if approved by the purchaser. ⁴ This table does not cover modified versions of Cr-Mo alloys. ⁵ See API 582, Section 6.1.3.									

Fuente: American Petroleum Institute: Welding Processes, Inspection, and Metallurgy, Segunda edición, API Recommended Practice 577, 2013, 140p. API 577.

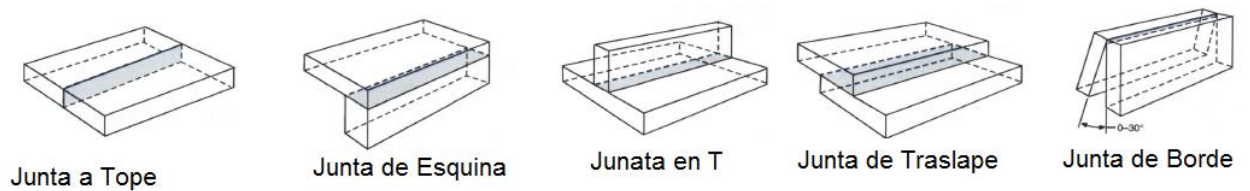
Cuando se garantiza la soldabilidad de los materiales se ve reflejado en una mejora al momento de soldar, facilitando la actividad para el soldador, reduciendo las reparaciones, re trabajos y sobre esfuerzo para la realización de la junta, los cuales optimizan los costos y ayudan a realizar juntas soldadas de la mejor manera.

El tamaño y el tipo de la junta soldada debe ser el apropiado para la aplicación específica donde se requiere. Los tamaños superiores de la soldadura afectan directamente los costos debido a que se utilizan metales de aporte innecesarios y crean sobre espesores que conllevan sobre costos. En los talleres de prefabricado de la Compañía, se debe publicar un documento donde se especifiquen los tamaños, distancias y ángulos de biselés aprobados para la junta soldada y este debe estar disponible para los tuberos y soldadores, puesto que ellos deben ser los primeros en garantizar el cumplimiento de la misma, así como el personal de calidad que finalmente es quien debe liberar y aprobar la junta durante la inspección visual.

No cumplir con los tamaños tanto de filetes como de juntas a tope incrementa los tiempos de arco, el consumo de metal de aporte y consumibles, incrementa los costos, la creación de posibles fallas y disminuye la productividad. El cumplimiento de la fabricación de una junta soldada optima según los requerimientos del código constructivos y el diseño garantiza que se realicen soldadura confiables y mucho más rentables para la Compañía.

La selección del tipo de junta tiene un gran impacto sobre la junta soldada, es por esto que el personal que realiza esta actividad debe tener tanto el conocimiento como la experiencia para definir cuándo aplica cierto tipo de junta, tipo de bisel, etc. Se puede reducir el tiempo de preparación, remoción de materiales del componente y reducir los tiempos de arco. Antes de realizar la soldadura se debe tener certeza si se requiere una junta de filete, una junta a tope, una junta de traslape y así mismo los tipos de junta como junta en V, en U, J como se relaciona a continuación.

Imagen 12. Tipos de Junta de Soldadura.



Fuente: Certification Manual for Welding Inspectors, Fourth Edition, American Welding Society, 2000, 3-12p.

Después de definir las especificaciones generales de las juntas soldadas, se debe redefinir, analizar y revisar la capacidad que tiene la Compañía en la fabricación de las juntas soldadas y cuál es la productividad del soldador cumpliendo con las especificaciones de diseño definidas anteriormente. Es necesario que la Compañía defina la capacidad de fabricación en cada uno de los patios de prefabricado con que cuenta y esto se realiza haciendo una relación de los equipos disponibles para cortar, izar, mover y soldar, así como los rendimientos y productividad de tuberos y soldadores en la zona donde está ubicado el taller. Esta actividad debe ser liderada por el Director de la Obra y se debe involucrar al coordinador de calidad, el residente mecánico y el supervisor de soldadura o mecánico según aplique. Es necesario constatar y garantizar una adecuada accesibilidad a las juntas tanto para el electrodo como para el soldador y esto debe quedar especificado al momento de definir los spools en la isometría para no incluir mayor dificultad al trabajo y complicaciones a la fabricación de la junta, que al final del proceso se convertirá en dificultad o facilidad para la inspección. Para definir los métodos de fabricación, el conocimiento y experiencia en los procesos de soldadura y rendimientos de la Compañía es algo indispensable para el personal involucrado. Las mejoras en la productividad, el aseguramiento de la calidad y la definición de los planos de soldadura para el desarrollo de las actividades van de la mano y con esto garantizar que el soldador pueda depositar una soldadura que no produzca rechazos, re

trabajos o discontinuidades inaceptables según las especificaciones y requerimientos de los códigos constructivos.

Finalmente, se debe implementar la definición y realización de un documento con la especificación de la junta soldada completa basado en la revisión del diseño de soldadura y los códigos API y ASME que apliquen. Con este documento se define, describe y explica los requerimientos de la soldadura para cada junta. Este documento será el mecanismo de comunicación, realización, control, seguimiento y aprobación entre el personal de fabricación, el personal de control de calidad y el soldador debido a que todos deben manejar la misma información para no tener diferencias ni problemas durante la aprobación final o definición de reparaciones. El documento debe tener los planos para el ensamble de las partes, con sus respectivos símbolos de soldadura, dimensiones, tolerancias, tamaños de la soldadura, dimensiones críticas, pruebas específicas y los respectivos criterios de aceptación aplicables como, por ejemplo, acabado de la superficie, socavado, admisible y máximo y mínimo tamaño de la soldadura. Es importante desarrollar un entrenamiento a los soldadores en estos temas relacionados con la soldadura para reforzar los conocimientos que ellos ya manejan.

Con este documento se busca optimizar la productividad del soldador, disminuir los problemas, tener un documento de consulta y hacer más fáciles y económicas las soldaduras producidas. Realizar este documento ayuda a que se anticipen los problemas que se podría presentar y se identifican los cambios que se requieran para mejorar la calidad, productividad y costos. En esta etapa se define que “se necesita” para ser producida una soldadura con calidad, durante la fabricación se define el “como”. Dentro de este mismo documento se relacionan los códigos y normas de trabajo involucradas en el proceso. Estos códigos y normas definen tamaños de soldadura, armado de juntas, acabados superficiales, dimensiones críticas y criterios de aceptación según el ensayo volumétrico realizado (radiografía o ultrasonido) tanto para el ASME como para el API como son porosidad permitida, socavado, overlap, grietas, falta de fusión o falta de penetración entre otras. Estas

normas deben ser entendidos y apropiados tanto por el personal involucrado en la revisión del diseño soldadura como el personal de fabricación y control de calidad para cumplir con los estándares.

Se debe definir el mejor proceso de soldadura a ser usado basado en las diferentes condiciones del trabajo, si no se utiliza el mejor proceso de soldadura el costo (tiempo) y la calidad se van a ver afectados. Para definir el proceso se debe verificar la capacidad y alcance de los equipos tanto para corte como para soldar y las habilidades de los soldadores tanto en el prefabricado como en las operaciones de campo. Cada componente debe definir su proceso de corte (Disco, Cizalla, Laser, Plasma, etc.). Según las dimensiones y tolerancias críticas también se definen los equipos a utilizar debido a que, si estos no dan las tolerancias requeridas, esto será la mayor causa de trabajo extra y re trabajos para el tubero y soldador que se convierte en incremento de costos. Una vez definidos los procesos de soldadura adecuados para las condiciones de cada componente es necesario definir los equipos que van a estar involucrados en esta actividad los cuales deben ser simples y fáciles de usar como lo son: los equipos de soldadura, identificar las herramientas, los posicionadores, las pulidoras, equipos para corte, entre otros. Todos estos se definen pensando en que el soldador pueda tener una producción de soldadura más eficiente tanto para el como para la Compañía. Los equipos incorrectos y los accesorios inadecuados conllevaran a una baja calidad y una disminución significativa en la productividad. Se debe reducir al máximo la utilización de la pulidora que conlleva a desperdicios de materiales y pérdidas de tiempo y dinero con la remoción de materiales. Se debe procurar que todas las actividades de soldadura tengan los materiales correctos, procesos de soldadura adecuados, accesorios según los requerimientos de los planos, equipos y herramientas simples y fáciles de usar los cuales incrementan la productividad del soldador.

Continuando con la secuencia de producción es necesario desarrollar los procedimientos específicos para el desarrollo de las juntas soldadas como son las posiciones en las cuales se va a soldar, los procesos de soldadura, los

procedimientos de soldadura, los materiales de aporte, los consumibles, los equipos para corte, la consecución de los materiales requeridos, los desplazamientos de los materiales y la secuencia adecuada para la realización de una junta soldada rentable. Este procedimiento se debe compartir al soldador para que conozca las instrucciones para realizar su trabajo. En cada lugar de trabajo de la Compañía se deben definir los pasos elementales necesarios para la realización de una junta soldada, basados en la experiencia, experticia y requerimientos de los códigos constructivos a aplicar. Estos pasos elementales deben ser medidos y la Compañía debe definir cuáles son los tiempos estándar y tiempos presupuestados para la realización de la actividad específica según las condiciones de la operación y de las especificaciones. Es necesario dejar registro de las actividades de soldadura que se realizan para tener unos rendimientos propios de la compañía donde se incluya el procedimiento con que se trabajó, los procesos de soldadura, los procedimientos de soldadura, la selección las eficiente y efectiva de materiales de soldadura, la secuencia de fabricación y los equipos y herramientas utilizados para cada caso en específico, cumpliendo con los requisitos de calidad y de producción para satisfacer las condiciones del servicio. Los lugares de trabajo para las actividades de soldadura deben estar diseñados para reducir los esfuerzos y movimientos del personal durante el trabajo de armado de la junta soldada, instalación de retenedores o puntos de soldadura, el relleno y la presentación de la junta soldada, todo esto para reducir movimientos innecesarios, retrasos en la actividad, pérdidas de tiempo y cansancio del soldador, así como disminución de la productividad.

Todas las personas involucradas en el trabajo deben conocer las especificaciones del trabajo, cuáles son sus responsabilidades y constatar si tiene las habilidades necesarias para desarrollar el trabajo de forma satisfactoria. Si la persona no tiene experiencia, sus habilidades no son las adecuadas y no conoce del trabajo a realizar es necesario realizar un entrenamiento y capacitaciones para mejorar las habilidades existentes y desarrollar nuevas. Para mejorar las actividades de

soldadura es necesario enfocarse en la gente que es el actor más importante, excelentes empleados llevan a excelentes empresas.

Se debe continuar realizando las calificaciones de los soldadores como hasta ahora se vienen realizando en la Compañía, cumpliendo con los requisitos tanto del código API como del código ASME sección IX según corresponda, pero se debe incluir una prueba teórica donde se verifican los conceptos básicos del soldador como son simbología de soldadura, tipos de soldadura, tipos de electrodos, tipos de procesos de soldadura, dimensiones, tolerancias y entendimiento de planos constructivos. La prueba práctica que ya se viene desarrollando principalmente en tubería tiene como objetivo evaluar la competencia del soldador y validar la habilidad que tiene el mismo de depositar metal de soldadura sano a la junta con los diferentes procesos, posiciones, espesores y diferentes metales de aporte y metales base que se van a utilizar. Durante esta prueba se identifican malas prácticas que si son corregidas a tiempo mejorarán la productividad y la calidad de la soldadura. El resultado de las dos pruebas entrega un estándar del conocimiento y habilidad de cada candidato a soldador en la Compañía. Los resultados de los ensayos destructivos o no destructivos dependiendo del código de calificación deben cumplir con los requerimientos de los códigos para que el soldador quede calificado. Dependiendo de la necesidad y la cantidad de soldadores disponibles el soldador que no pase las calificaciones debe ser entrenado y al final debe ser capaz de demostrar sus habilidades en un cupón de prueba nuevamente, cumpliendo con los requerimientos de las especificaciones para la calificación de soldadores. Contar con personal con el conocimiento, el entrenamiento y la experiencia apropiada es una gran contribución para la calidad y la productividad de la Compañía. La Compañía tiene la obligación de seleccionar el personal adecuado y continuar entrenándolo e instruyéndolo según los tipos de discontinuidades o inconvenientes que están afectando la calidad y producción de la soldadura. Si no es posible tener el personal adecuado la Compañía puede pensar en crear un programa de certificación de soldadores, donde se califica al personal según los requerimientos internos y como

parte de ese programa, los soldadores se deben recalificar al menos cada año para garantizar que conservan sus habilidades, de igual forma se debe realizar un examen de visión de los soldadores e inspectores debido a la exposición que estos tienen al arco eléctrico de la soldadura y al desgaste debido a la edad. Entrenar y calificar a los soldadores en mejores procesos de soldadura siempre mejorara la calidad y la productividad. El entrenamiento y el acompañamiento al soldador es un punto súper clave si se quiere garantizar mejoras en la soldadura, a los soldadores se debe capacitar en la ciencia de la soldadura y como solucionar los posibles inconvenientes que se pueden presentar, en la soldadura todo puede ser predecible.

Para una fabricación efectiva el equipo de compras y almacén de los proyectos debe asegurar que todos los materiales tanto metales base, como metales de aporte, accesorios, y demás elementos necesarios para la construcción de las facilidades cumplan con las especificaciones y estén a tiempo en los talleres de prefabricado o el lugar de trabajo. Garantizar esto, facilita el armado de la junta que es la siguiente actividad y disminuye los retrasos en la ejecución, aunque de no realizarse se disminuirá la productividad y la calidad se verá afectada debido al incremento del Hi-Low y transiciones de las juntas a soldar. En la planeación y alistamiento de la actividad de soldadura se debe tener el material correcto, la cantidad correcta, la calidad correcta y la disponibilidad en el momento correcto y con esto se incrementa la productividad y la calidad. Al momento de la recepción de los materiales es necesario verificar la forma, el tamaño, el espesor, las condiciones superficiales, la composición química y las dimensiones como mínimo, así como dejar un registro de la realización de la actividad.

El soldador requiere de equipos adecuados, a tiempo, disponibles y con desempeños y rendimientos ajustados para la realización de las actividades. Los equipos y herramientas deben permanecer disponibles, en excelente estado operático, confiabilidad del 100%, calibrados y precisos para que el soldador pueda realizar bien su trabajo. Estos equipos deben tener una rutina de mantenimiento preventivo donde se incluya la revisión, limpieza y calibración basados en las horas

de trabajos de los mismos. Los consumibles y accesorios requeridos para la realización de las actividades deben tener unas vidas útiles según su utilización y tener un cronograma de cambio independiente del estado en que se encuentren, así estos aparentemente se encuentran en buen estado, han perdido características de conductividad, disipación de calor o aislamiento como en las pinzas porta electrodo, las antorchas o pistolas de soldadura y los cables y conexiones de alimentación y masa.

Así mismo el supervisor debe garantizar que cada soldador cumpla con los procedimientos de trabajo y los procedimientos de soldadura que se están utilizando para cumplir con las especificaciones. El supervisor junto con el personal de Control de Calidad debe realizar un monitoreo diario a las diferentes operaciones de soldadura para asegurar un resultado consistente. La calidad de la soldadura debe ser responsabilidad del supervisor y del soldador. El supervisor es responsable por revisar y monitorear todos los días el cumplimiento de los procedimientos (operativo y de soldadura – WPS) definido para el trabajo y aprobados por la Compañía. EL soldador tiene la obligación de revisar su propio trabajo y cumplir con las especificaciones y estándares de los códigos constructivos (ASME – API). Se deben definir los controles apropiados para asegurar que todas las variables del proceso como programación de equipos, materiales, herramientas, procedimientos de soldadura, calificación de soldadores sean adecuados y sigan la secuencia requerida por la actividad específica. Con esto se asegura que cada soldadura que se produce cumple con las especificaciones. Se debe informar al soldador lo antes posible el tipo de discontinuidad que afecto la calidad de la soldadura y la productividad. Cuando se presenten fallas en los equipos, la Compañía debe tener un mecanismo de respuesta rápida para habilitarlo nuevamente lo antes posible y disminuir las pérdidas. Una respuesta rápida y efectiva a los problemas disminuye la cantidad de tiempo perdido más el tiempo requerido para analizar y reparar las causas del problema. Un monitoreo y auditoria a los soldadores en el cumplimiento

de los procedimientos de trabajo y de soldadura minimiza las pérdidas y reprocesos en la soldadura.

Para garantizar que se cumple con la revisión del diseño de la junta y las actividades durante la fabricación están alineadas con los requisitos de estándares y códigos se genera un área específica para el control de estos temas y es el aseguramiento y control de calidad. Se debe generar y establecer una política general de calidad de la Compañía donde se relacionen las responsabilidades de cada cargo respecto a temas de calidad. Los empleados deben conocer las expectativas de calidad que se tienen para que no se preste para confusiones o expectativas diferentes. Las políticas se deben formalizar con un documento escrito firmado por el presidente de la Compañía. El personal de Aseguramiento y Control de Calidad debe constatar el entendimiento y cumplimiento de la política de calidad para todos los involucrados, donde se define el comportamiento aceptable con respecto a la calidad en la Compañía, las responsabilidades organizacionales específicas, estándares de calidad, responsabilidades, valores de calidad y procedimientos de calidad. La falta de una política de calidad definida crea confusiones, diferencias, inconsistencias y conflictos con respecto a los estándares de calidad, responsabilidades y procedimientos.

Para controlar y asegurar las diferentes actividades se requiere de unos estándares necesarios para cumplir con los requerimientos de calidad y productividad contra los cuales se definen las especificaciones y requerimientos para el cumplimiento de las juntas soldadas. En los temas relacionados con soldadura la Compañía maneja dos códigos para la calificación de procedimientos de soldadura y calificación de soldadores que para nuestro caso son el API 1104 y el Código ASME Sección IX. El aseguramiento y control de la calidad monitorea, audita y reporta las desviaciones presentes en el proceso para asegurar que se cumple con el modelo de gestión de la soldadura y los códigos constructivos.

Basado en los códigos API y ASME se definen los procedimientos específicos de inspección y control de las actividades para garantizar que las juntas soldadas cumplen con los requisitos. Esto incluye al supervisor quien no es específicamente miembro del equipo de calidad, pero dentro de sus responsabilidades de calidad esta revisar las dimensiones críticas, tamaños de las soldaduras para evitar desperdicios y requerimientos de ensayos para liberación de las juntas como inspección visual o ensayo volumétrico durante el proceso de fabricación o como inspección final para tener una soldadura que cumple todas las especificaciones del diseño.

El desempeño del soldador contribuye a la calidad y productividad de la soldadura y este hace parte importante del modelo de gestión de soldadura. Como los estándares de calidad son verificados a través de la inspección, monitoreo y auditoria es importante que el soldador conozca los procedimientos para que tenga conocimiento de cómo cada componente o soldadura será inspeccionado para cumplir con la especificación.

La información proveniente de los procedimientos basados en los estándares de calidad se convierte en la medida e informe que garantiza que los procesos están controlados. En la Compañía, el soldador con el acompañamiento del supervisor realiza la junta soldada y una empresa de ensayos no destructivos realiza el ensayo y emite el reporte con el resultado. El personal de control de calidad asegura la información y retroalimenta al soldador respecto a las discontinuidades presentes en la soldadura examinada, se publica el tipo y procesos de soldaduras a utilizar con ejemplos de soldaduras aceptables e inaceptables según los criterios, para que se tenga como referencia. Se documentan las defectologías obtenidas el formato de relación de reparaciones que se realiza por soldador y por el tipo de defectología presente, para con esta información poder tomar acciones y reducir la defectología presente en las juntas soldadas.

En el caso en que los procesos de soldadura estén fuera de control o cuando alguno de los involucrados no está siendo efectivo, el sistema de medición de calidad lo identifica. Cuando estas son identificadas se utilizan las acciones correctivas o no conformidades al proceso con las que se quiere llegar a determinar las causas raíces de las desviaciones y asegurar que la acción correctiva se implemente lo antes posible. Se asegura que los problemas que ocurren sean reconocidos y estén bajo control y se cierra el ciclo asegurando que cuando hay problemas de calidad se analicen para identificar las causas y tomar las medidas y planes de acción correctivos de manera rápida y efectiva. La responsabilidad de la calidad de la soldadura debe ser transferida al soldador y monitoreada por el supervisor. Los soldadores después de terminado su turno deben diligenciar el informe del turno donde se relacione cualquier variable que impidió cumplir con los estándares de calidad o la producción. El objetivo finalmente es asegurar soldaduras de calidad y rentables todo el tiempo al proporcionar una política de calidad.

El tercer Estandarte denominado Mejoramiento de la soldadura tiene como objetivo la mejora continua del proceso en las diferentes actividades relacionadas con la soldadura y como llevar esta actividad a un nivel óptimo de calidad, sostenible y rentable. Para la Compañía se manejarán 5 temas a atender que ayudarán a identificar las oportunidades de mejora en la calidad de la soldadura y la productividad. Es la forma de eliminar desperdicios en las operaciones de soldadura y reducir las horas hombre no productivas durante el proceso. Proporciona información de cómo puede mejorarse en el proceso y como se pueden reducir los costos asociados.

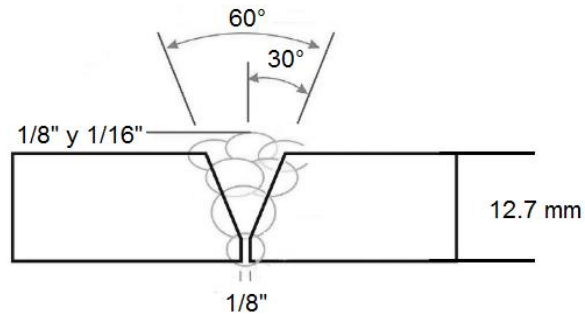
Los 5 temas son los siguientes:

1. Reducir el Metal Soldado, el desperdicio de soldadura es un gran problema que incrementa los costos, cuando se termina el pase de presentación de la soldadura por alguna razón el soldador aplica más pases de lo requerido argumentando que para él está baja y que es mejor que sobre y no que falte,

pero en la mayoría de las veces el sobre espesor de soldadura NO es aceptable por el código constructivo. En la industria y en el gremio de los soldadores se considera que entre más soldadura se deposite mejor va quedar la junta soldada y esta no es la realidad. Esta idea equivocada proviene de la falta de conocimiento de cómo se determina la resistencia de la junta soldada y lo inútil que son las juntas de soldadura sobredimensionadas. Cada junta soldada debe tener sus dimensiones apropiadas y cuál es la correcta aplicación según el procedimiento de soldadura. La soldadura sobredimensionada adiciona costos a la junta y puede contribuir a distorsiones de la misma y mayores gradientes de temperatura debido al aporte de calor innecesario, algo es claro es que en la soldadura mas no siempre es mejor soldadura. Es necesario que la Compañía implemente la emisión y divulgación de los planos de fabricación y se fortalezca el entrenamiento a los soldadores para que identifiquen las dimensiones adecuadas, conozcan cómo medir este sobre espesor y cuenten con la galga específica para esta medición. Muchas veces se requieren tolerancias pequeñas y estas soldaduras sobredimensionas crean demoras y sobrecostos debido a que muchas veces hay que removerlas, que incrementa los tiempos y recursos desperdiciados. Se deben depositar tamaños de soldadura adecuados según los códigos y aberturas de juntas según el procedimiento de soldadura que reduce los costos, los desperdicios y mejora la calidad de la soldadura. Por ejemplo, si se logra reducir 1/16" de altura de todas las soldaduras para una tubería de 8" SCH 80 de acero al carbón, el ejercicio seria el siguiente:

Asumimos la junta soldada según los parámetros normales de fabricación nuestros:

Ilustración 9. Diagrama de Soldadura tubo de 8" SCH 80.



Se realizan las operaciones matemáticas requeridas y obtenemos que los diagramas del sobre espesores tanto para 1/8" como para 1/16" son los siguientes:

Ilustración 10. Sobre espesor de soldadura de 1/8".

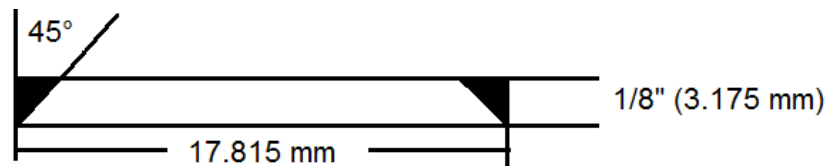
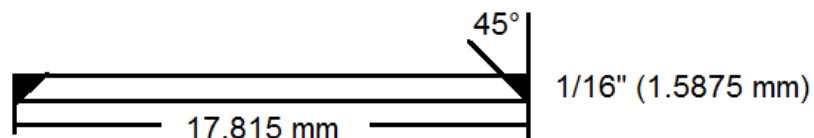


Ilustración 11. Sobre espesor de soldadura de 1/16".



Se identifican las áreas de los sobre espesores y se resta las partes en negro para simular un pase de presentación común en una junta soldada.

El área para el espesor de 1/8" es 46.48 mm² mientras para el espesor de 1/16" es de 25.76 mm², así que la diferencia es 20.72 mm².

Para la tubería de 8 pulgadas hallamos el perímetro de la junta que es 638.371 mm. Multiplicamos el área por el perímetro de la junta y obtenemos un volumen de 13227.047 mm³ que es igual a 1.322 x 10⁻⁵ m³.

Con la densidad promedio de la soldadura de acero al carbón es 7850 kg/m^3 , ya conocemos el volumen y despejamos la masa. Al final del ejercicio si se reduce el sobre espesor de $1/8"$ a $1/16"$ el ahorro para la compañía será de 103 gr en promedio por cada soldadura que se realice y 10 kilos de soldadura cuestan \$ 140.000.

Es necesario que la Compañía elimine el desperdicio de soldadura reduciendo la cantidad depositada en cada junta al mínimo necesario para que cumpla las especificaciones, los códigos de construcción y la resistencia. Los soldadores deben cumplir con los planos emitidos por la Compañía para definir los tamaños de las soldaduras los cuales son divulgados por el personal de control de calidad. Finalmente, menor consumo de soldadura representa menor tiempo de realización de la junta soldada, menor cantidad de consumibles, menor consumo de energía y menor esfuerzo para el soldador obtenido al final del ejercicio el mismo resultado.

2. Reducir el tiempo de arco durante la soldadura, para reducir estos tiempos se debe seleccionar el proceso de soldadura, el tipo de electrodo o alambre o aporte y el diámetro de los mismos, el gas de protección y el tamaño de soldadura adecuados para obtener pulgadas de soldadura más rápidas y reduciendo las discontinuidades. La posición de soldadura preferiblemente debe ser 1G o 1F (plana), las piezas a ser soldadas deben estar bien armadas cumpliendo con los ajuste y dimensiones requeridos por el WPS, deben estar limpias de cualquier grasa, aceite, mugre y demás y deben tener un buen acceso y ubicación para la realización de la misma ayudan a reducir los tiempos de arco. Un buen armado de la junta soldada realizado por el tubero garantiza un menor tiempo de realización de la soldadura. La Compañía debe utilizar el proceso de soldadura que le proporcione la mayor tasa de depósito de metal de soldadura siempre y cuando el soldador tenga en cuenta que el ideal es generar un aumento en la productividad, pero

también reducir la defectología, con esto se incrementa el rendimiento de producción de juntas soldadas y se disminuyen las discontinuidades.

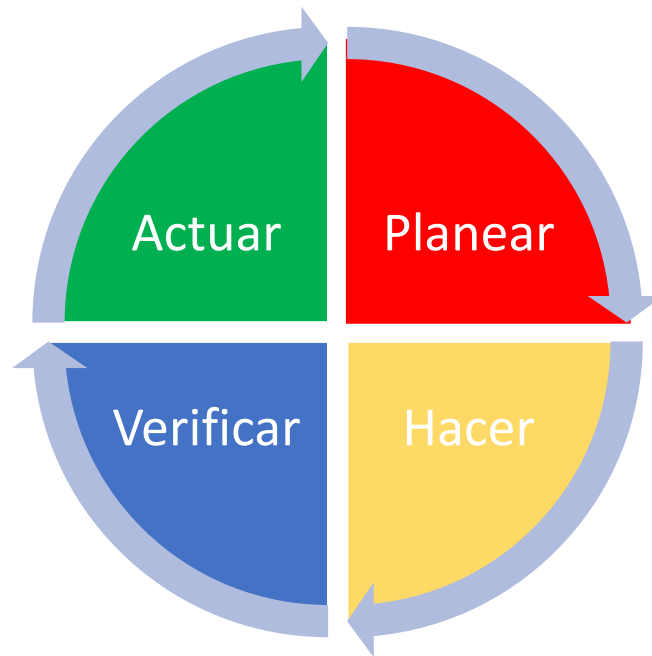
3. Reducir los rechazos, re trabajos y desperdicios, los problemas de calidad y el aumento de la defectología se producen por juntas soldadas que no cumplen los requerimientos de los códigos constructivos, estas deben ser reparadas parcial o totalmente dependiendo de la cantidad, el tipo y el tamaño de las discontinuidades. Cualquier re trabajo afecta la productividad y el índice de defectología debido a que el soldador debe destinar tiempos para reparar las juntas soldadas que no cumplen cuando podría estar produciendo nuevas juntas soldadas que ayudarían a aumentar su productividad del día. Adicional a esto en muchas ocasiones queda la duda si la reparación tiene las mismas características que una junta nueva, debido a que el material sufre nuevamente un calentamiento que puede afectar las propiedades mecánicas y químicas, así mismo el bisel se ve afectado en sus dimensiones y acabados que son totalmente diferentes al original, es por esto que el re trabajo compromete la calidad de la junta también. La Compañía debe implementar controles como la verificación de la calificación de los soldadores para el trabajo, constatar que se está cumpliendo con el procedimiento de soldadura, que se están utilizando los materiales y herramientas adecuadas, que se controla la temperatura de precalentamiento con el equipo adecuado y debidamente calibrado. Minimizar los rechazos mejora la productividad, se utiliza el recurso de la mejor manera lo que reduce los costos de fabricación y mejora la calidad. Se debe identificar, eliminar o corregir cualquier variable que pueda producir una reparación que incremente los costos y horas improductivas solucionando rechazos que traen consigo reparaciones, rechazos y re trabajos. Si se aplican correctamente los dos 2 primeros temas los rechazos, re trabajos y desperdicios se disminuirán significativamente.

4. Reducir el Esfuerzo de trabajo, se debe procurar reducir la cantidad de trabajo físico, buscando que la cantidad de trabajo sea lo más eficiente posible para reducir el cansancio del soldador y poder tener periodos de trabajo y descanso constantes, debido a que la mayor carga de trabajo requiere un mayor tiempo de descanso. Facilitar los accesos a las soldaduras, utilizar posiciones, equipos y herramientas adecuados con un sitio de trabajo seguro y limpio y soldadores con entrenamiento, experiencia, conocimiento y calificados en el proceso a utilizar hace que se reduzca el esfuerzo de trabajo y por consecuente se aumenta la productividad, mejora la eficiencia y la calidad de la soldadura. Pequeños cambios en la forma y el sitio de trabajo aumentan la productividad, mejora la calidad de la soldadura debido a que el soldador gasta menos tiempo durante la realización de una junta soldada, tiene mejor acceso a la misma, trabaja en posiciones de soldadura más fáciles y cómodas y con un menor cansancio al final de la jornada aumentando la producción de juntas soldadas sin defectos. El objetivo es que el soldador realice una soldadura de calidad, de la manera más rentable y con el menor esfuerzo de trabajo (grado de dificultad, frustración, cansancio, riesgos y peligros). La Compañía debe minimizar o eliminar cualquier situación o variable tanto de las personas como de los equipos que pueda aumentar la dificultad durante el desarrollo del trabajo.
5. Reducir los movimiento y demoras, El soldador será más eficiente cuando sus movimientos estén optimizados (ningún movimiento adicional a los requeridos por la actividad). Cualquier demora que evite que el soldador trabaje de forma continua reduce la productividad del día. Las demoras que se quieren prevenir son daños en los equipos de soldadura, materiales no entregados a tiempo, falta de claridad en las instrucciones de trabajo, juntas mal armadas por el tubero, electrodos inadecuados y esperas por inspecciones. El soldador debe contar en su lugar de trabajo con las piezas que va a trabajar en el día antes de iniciar la jornada para reducir los

movimientos, esperas y aumentar la productividad. La Compañía está en la obligación de aumentar los rendimientos durante la realización de las soldaduras, que en otras palabras es la cantidad de tiempo que el soldador está trabajando productivamente agregando valor a la soldadura sin generar defectos de calidad.

Cuando se aplican estos primeros 3 estandartes a todas las piezas soldadas que se fabrican se generan soldadura de calidad y una productividad adecuada para el tipo de sector donde trabaja la Compañía. El soldador tiene muy poco control sobre estos, es por eso que la compañía debe garantizar cumplir con estos en su totalidad. Con estas actividades se determina el potencial que tiene tanto el soldador como la Compañía para mejorar la calidad y la productividad.

El cuarto estandarte corresponde al Gerenciamiento que tiene igual y posiblemente mayor importancia debido a que sin este no se puede desarrollar ninguno de los estandartes anteriores. Un buen gerenciamiento de los proyectos es esencial para planificar, lograr y mantener una mejor calidad y productividad de la soldadura. Es necesario planificar el éxito, la ejecución y el control de las actividades de soldadura para garantizar obtener y mantener los resultados. Para esto la compañía utiliza el ciclo de mejora continua PHVA.



Enlazado con el ciclo de mejoramiento continuo se definen 6 pasos para el Manejo Gerencial de los Proyectos involucrados con las actividades de soldadura. Estas actividades son Estado Actual, Planeación, Actualización, Mejora Continua, Verificación y Rendición de Cuentas.

El Estado Actual recopila la información e identifica oportunidades de mejora en el proceso de soldadura en toda la Compañía. Se deben realizar entrevistas y encuestas a los diferentes cargos del contrato incluyendo todos los niveles (Director de Obra, Administrador, Residentes, Supervisor, Coordinador QA/QC, Soldador y Tubero, almacenista y comprador), estas encuestas provienen de documentos existentes, observaciones e informes de taller. Algunas de las preguntas en las encuestas y entrevistas deben ser:

¿Cuál es la situación de la compañía en términos de calidad y productividad de Soldadura?

¿Cuáles son las más grandes potenciales oportunidades de mejora?

¿Cuáles serían los potenciales ahorros en dinero y tiempo de cada oportunidad de mejora?

¿Qué acciones son requeridas para obtener los ahorros de cada oportunidad?

Posterior a esto se analiza dónde está el potencial de mejora tanto en calidad como en productividad. Con este input se definen los posibles sub proyectos y plan de choque que incluyen la implementación de las acciones de mejora para optimizar el proceso de soldadura. Proporciona la información de partida acerca del estado real de la Compañía respecto a la calidad y productividad de los trabajos de soldadura.

La Planeación se desarrolla después de tener la información referente al Estado Actual, con esta se elaboran los planes necesarios y se desarrollan los cronogramas de implementación enfocados en el mantenimiento de los planes, la medición y el desempeño. Los equipos de la alta dirección y ejecución del contrato deben estar involucrado en estos planes debido a que adicional se deben definir los objetivos y metas a corto y mediano plazo para el mejoramiento y optimización de las actividades y recursos de la soldadura. Proporciona los planes, metas y objetivos definidos por la compañía para el desarrollo de las actividades.

La Actualización se da cuando todo el personal involucrado de manera directa o indirecta en las actividades de soldadura reciba una capacitación sobre los conceptos administrativos y técnicos que puedan afectar sus funciones y el desempeño de la actividad, así mismo se conocen los objetivos y metas de la compañía respecto a calidad. Todos los involucrados deben conocer sus deberes y responsabilidades para apoyar el mejoramiento de las actividades de soldadura. Es necesaria la actualización para cambiar los viejos hábitos que tiene el personal pues de no ser así las personas recurrirán a las practicas antiguas que ya conocen con las que se sienten más cómodos, con las que se sienten más seguros, y donde hagan el mínimo esfuerzo independiente de la calidad y productividad. Proporciona aprendizaje, bases de conocimiento y mejora de las habilidades.

La Mejora Continua debe ser supervisada de cerca, debido a que a medida que se implementen y desarrollen planes y actividades de mejoramiento se tendrán inconvenientes, opositores y problemas en la planeación y ejecución y a medida que se aprenda de la experiencia se tendrá menos problemas. La mejora continua debe estar disponible y se debe realizar cuantas veces sea necesario. Todas las decisiones serán analizadas antes, para prevenir situaciones y después de implementadas las acciones para mejorar y aprender de los tropiezos. Después de implementado el modelo de gestión de la soldadura y los planes de acción es posible que deba modificarse o cambiarse todo o alguna parte hasta que se cumpla con los objetivos y metas planificadas. Proporciona mejoras, conclusiones, planes y acciones.

En la Verificación se inspecciona, mide, supervisa, audita y recopila información sobre el desempeño de la Compañía durante la realización de las actividades de soldadura en comparación con los procedimientos de trabajo, la calidad de la soldadura y los objetivos de la Compañía y el proyecto. La información recibida debe ser monitoreada y auditada para asegurar el cumplimiento del modelo de gestión y con esta se puede medir las mejoras de calidad y productividad. Proporciona evaluación del aprendizaje, conocimiento y habilidades.

En la Rendición de Cuentas se compara toda la información del desempeño del modelo con los objetivos establecidos, cuando se presenten desviaciones la presidencia de la compañía debe conocer el resumen, análisis e información respecto a las acciones correctivas que requieren implementación. El director de la obra debe participar y tener conocimiento de la definición de las acciones correctivas. Informes consistentes y confiables son esenciales para evitar resultados indeseados y evitar disminución en el rendimiento de la compañía. Es necesario verificar que los resultados planeados están siendo cumplidos, de lo contrario, el Director de la Obras debe investigar el porqué del no cumplimiento y tomar las acciones correctivas necesarias. Proporciona mantenimiento del Modelo y acciones correctivas.

Estos pasos son la secuencia lógica para el desarrollo, implementación y mantenimiento del modelo de Gestión de la Soldadura para Mecánicos Asociados S.A.S. Se deben integrar todas estas actividades para obtener un buen resultado. Hay que ser muy persistentes con las actividades de Verificación y Rendición de Cuentas para que el Modelo no pierda eficacia y evitar que este se devuelva a sus estados anteriores. Las seis actividades a implementar en el modelo de gestión proporcionan un sistema de círculo cerrado para que se mantengan los resultados de mejora. El presidente y Gerentes deben estar involucrados durante todo el proceso, comprometidos para lograr los resultados planificados, debido a que, la mayoría de las actividades de mejora no terminan por la falta de compromiso, participación y apoyo de la alta gerencia.

14 CONCLUSIONES

- ❖ La Compañía al momento de implementar el Modelo de Gestión para los Procesos de Soldadura basados en los códigos Constructivos API y ASME tendrá las herramientas para involucrar todas las áreas de proceso hacia un bien común que es optimizar los costos de fabricación de juntas soldadas y disminuir los desperdicios y pérdidas de materiales y tiempo que finalmente se convierten en mejoramientos del margen. Se demuestra que la soldadura no es un arte sino una ciencia por lo cual puede ser planeada, ejecutada, medida y mejorada continuamente.
- ❖ El proceso de soldadura no es un arte que deja todo a la incertidumbre por el contrario es una ciencia predecible que continuamente se actualiza y mejora para obtener resultados e incremento en los rendimientos de actividades que siempre fueron considerados un agujero negro, si los procesos se organizan y siguen una metodología se identifican ahorros que nunca habían sido percibidos.
- ❖ El proceso de soldadura no incluye solo a los soldadores, este proceso es toda la compañía que debe alinear sus metodologías y procedimientos de trabajo para apoyar y buscar la mejora tanto en producción como en calidad.
- ❖ Los códigos API y ASME definen los mínimo criterios de aceptación para poder aprobar una soldadura o calificar soldadores, son lineamientos que la compañía debe apropiarlos y definir sus metodologías, procedimientos y estándares para poder cumplir con los requerimientos de sus Clientes.

- ❖ Hay que cambiar la forma de pensar, de trabajar, de actuar e invertir en nuevas tecnologías para percibir resultados positivos para la compañía.

15 RECOMENDACIONES

- ✓ La Compañía debe continuar con las siguientes etapas del ciclo de mejora continua (Implementación, Seguimiento y Mejora) para este modelo de gestión de la soldadura, basado en los beneficios presentados.
- ✓ Divulgar este documento entre los directores de obra para que se reconozca como un documento formal que la Compañía, que ayudará a la estandarización del proceso de soldadura y obtener mejoras sistemáticas.
- ✓ Toda la cadena de valor de la Compañía debe esforzarse y hacer su aporte para el mejoramiento de los procesos de soldadura, es un trabajo en equipo que requiere constancia y perseverancia, si alguna parte no cumple o no se esmera por cambiar y mejorar, el resultado no será el esperado como compañía.
- ✓ Para poder mejorar hay que conocer y aprender, por tal motivo es importante invertir en entrenamiento, capacitaciones y calificaciones de todo el personal involucrado en el proceso de soldadura.
- ✓ La Compañía debe realizar una campaña donde el soldador y el supervisor sean responsables por la productividad y la calidad de la soldadura, de lo contrario será muy difícil percibir cambios y menos en el corto plazo.

BIBLIOGRAFIA

- ✓ American Petroleum Institute. Welding of Pipelines and related Facilities. Twentieth Edition, September 2013.
- ✓ American Petroleum Institute. Welding Processes, Inspection, and Metallurgy. API recommended Practice 577, Second Edition, December 2013.
- ✓ American Welding Society. Empresa [En Línea] [Consultado 6 de febrero de 2018]. Disponible <https://www.aws.org/>
- ✓ American Welding Society. Visual Inspection Workshop. Fourth Edition, 2008.
- ✓ API STANDARD 1104 Welding of Pipelines and Related Facilities, TWENTY-FIRST EDITION, SEPTEMBER 2013.
- ✓ ASME Boiler and Pressure Vessels Code. Section II Materials Part A – 2017.
- ✓ ASME Boiler and Pressure Vessels Code. Section IX Welding, Brazing, and Fusing Qualifications – 2017.
- ✓ ASME Boiler and Pressure Vessels Code. Section V Nondestructive Examination – 2017.
- ✓ ASME Boiler and Pressure Vessels Code. Section VIII Rules for Constructions of Pressure Vessels – 2017.
- ✓ AWS (American Welding Society). Certification Manual for Welding Inspector. Fourth Edition, 2000.
- ✓ AWS (American Welding Society). Welding Inspection Technology, Fifth Edition, 2008.

- ✓ Barckhoff, Jack R. Total Welding Management, 2005.
- ✓ Economics of Welding and Cuttings, 2001, American Welding Society.
- ✓ Escuela Colombiana de Ingeniería. Soldadura Protocolo – Curso de Procesos de Manufactura. [En Línea] [Consultado 01 de diciembre de 2017]. Disponible http://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/3637_soldadura.pdf
- ✓ Gestión Integral Denbo. Gestión de Calidad en procesos de soldadura. Empresa [En línea] [Consultado 18 noviembre 2017]. Disponible <http://denbogestion.es/gestion-de-calidad-en-procesos-de-soldadura/>.
- ✓ Hernández, Roberto, Fernandez, Carlos y Baptista, Pilar. Metodología de la investigación. México: McGrawHill, Sexta Edición 2014.p. 10.
- ✓ Hernández, Roberto, Fernandez, Carlos y Baptista, Pilar. Metodología de la investigación. México: McGrawHill, Sexta Edición 2014.p. 10.
- ✓ Integra – Consultores de Sistemas de Gestión. Sistemas de Gestión. Empresa [En línea] [Consultado 5 de noviembre de 2017]. Disponible <https://www.consultoresdesistemasdegestion.es/sistemas-de-gestion/>.
- ✓ Rodriguez, Pedro Claudio. Manual de Soldadura. Primera Edición, 2001.
- ✓ Soldadura y Estructuras – Terminología de Juntas Soldadas. [En línea] [Consultado 1 de febrero de 2018] Disponible <http://soldadurayestructuras.com/terminologia-de-las-juntas-soldadas.html>.
- ✓ Welding Process – Lincoln Electric. Empresa [En Línea] [Consultado 6 de febrero de 2018]. Disponible <https://www.lincolnelectric.com/es-mx/support/process-and-theory/Pages/arc-welding-detail.aspx>