



UNIVERSIDAD JOSE CARLOS MARIATEGUI

VICERRECTORADO DE INVESTIGACION

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y
ARQUITECTURA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

T E S I S

**DESARROLLO DE UN PROCEDIMIENTO PARA REDUCIR LOS DEFECTOS
EN LAS JUNTAS SOLDADAS EN LOS SISTEMAS DE TUBERÍAS
INSTALADAS EN NODO ENERGÉTICO SUR**

PRESENTADO POR:

BACHILLER JULVER LEO RIVERA VENTURA

ASESOR:

MGR. EDIBERTO CHURA MENDOZA

**PARA OPTAR TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECANICO**

MOQUEGUA - PERU

2019

CONTENIDO

	Pág.
Portada	
Página de jurados	i
Dedicatoria	ii
Contenido	iii
CONTENIDO DE FIGURAS	vii
CONTENIDO DE TABLAS	ix
CONTENIDO DE APÉNDICES	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	xiii

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la realidad del problema	1
1.2. Definición del problema	3
1.2.1. Problema general	5
1.2.2. Problemas específicos	5
1.3. Objetivos de la investigación	6
1.3.1. Objetivo general	6
1.3.2. Objetivos específicos.....	6
1.4. Justificación.....	6
1.5. Alcances y limitaciones.....	7
1.6. Variables.....	7
1.6.1. Identificación de variables	7

1.6.2. Definición de las variables	8
1.6.3. Clasificación de las variables	8
1.6.4. Operacionalización de variables.....	8
1.7. Hipótesis de la investigación.....	9
1.7.1. Hipótesis general	9
1.7.2. Hipótesis específicas	9

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación	10
2.2. Bases teóricas	12
2.2.1. Tuberías y accesorios de acero al carbono	12
2.2.2. Fabricación de sistemas de tuberías	16
2.2.3. Procedimiento de sistemas de tuberías.....	16
2.2.4. La soldadura	17
2.2.5. Procesos de soldadura	18
2.2.6. Procedimiento de soldadura	22
2.2.7. Estándares de soldadura	25
2.2.8. Ensayos no destructivos	28
2.2.9. Defectos y discontinuidades.....	29
2.2.10. Métodos de ensayos no destructivos	31
2.3. Definición de términos	36
2.3.1. Junta soldada	36
2.3.2. Sistemas de tuberías	37
2.3.3. Biselado.....	37

2.3.4. Defectos.....	37
2.3.5. Discontinuidad	37
2.3.6. Variable esencial	37
2.3.7. Alineamiento	38
2.3.8. Materiales de aporte	38
2.3.9. Encapsulado	38
2.3.10. Empalme.....	38
2.3.11. Disco abrasivo	39
2.3.12. Cordón de raíz	39
2.3.13. Velocidad de soldeo	39
2.3.14. Exceso de recargue de aporte	39

CAPÍTULO III

MÉTODO

3.1. Tipo de la investigación	41
3.2. Diseño de la investigación.....	41
3.3. Población y muestra	42
3.3.1. Población.....	42
3.3.2. Muestras	42
3.4. Descripción del procedimiento de reducción	42
3.4.1. Antes del soldeo	43
3.4.2. Durante el soldeo.....	45
3.4.3. Después del soldeo	48
3.5. Descripción de instrumentos para recolección de datos.....	49
3.5.1. La entrevista	49

3.5.2. Datos estadísticos	49
---------------------------------	----

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Presentación de resultados	50
4.1.1. Análisis e interpretación de datos.....	50
4.1.2. Análisis e interpretación de reportes de ensayos sin procedimiento	57
4.1.3. Análisis e interpretación de resultados de ensayos con procedimiento	60
4.1.4. Comparación de reportes de ensayos radiográficos con procedimiento - y sin procedimiento	63
4.2. Contrastación de hipótesis.....	64
4.3. Discusión de resultados	68

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones	70
5.2. Recomendaciones.....	71
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73
APÉNDICES.....	75
MATRIZ DE CONSISTENCIA	105
INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	106

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1. Fabricación de sistemas de tubería	4
Figura 2. Causas que generan defectos de soldadura	5
Figura 3. Tuberías de acero al carbono	14
Figura 4. Brida acero al carbono	14
Figura 5. Codo acero al carbono	15
Figura 6. Tee acero al carbono	15
Figura 7. Reducción acero al carbono	16
Figura 8. Sistemas de tuberías	16
Figura 9. Alineamiento de tubería	17
Figura 10. Preparación de bisel	17
Figura 11. Soldeo de acero al carbono proceso SMAW	18
Figura 12. Esquema principal de los procesos de soldadura por arco	18
Figura 13. Esquema del proceso de soldadura SMAW	19
Figura 14. Esquema del proceso de soldadura GTAW	20
Figura 15. Esquema aporte de calor	21
Figura 16. Esquema del ciclo térmico	21
Figura 17. Esquema zona ZAC	22
Figura 18. Posición 6G	28
Figura 19. Imagen radiográfica de fisura transversal	30
Figura 20. Imagen radiográfica de falta de fusión	30
Figura 21. Imagen radiográfica de porosidad	31
Figura 22. Ensayo de inspección visual	32
Figura 23. Juego de tintes: limpiador, penetrante y revelador	33

Figura 24. Secuencia y modo de empleo de los líquidos penetrantes	34
Figura 25. Aplicado el revelador se muestra discontinuidades	34
Figura 26. Efecto del espesor de la pieza en la transmisión de radiación	35
Figura 27. Ensayo radiográfico	36
Figura 28. Imperfecciones típicas de soldadura	40
Figura 29. Causas que originan aparición de defectos	51
Figura 30. Frecuencia de defectos como soldador 6G	52
Figura 31. Niveles de causas	52
Figura 32. Prevención de defectos de soldadores con categoría	53
Figura 33. Información de defectos	54
Figura 34. Conocimiento de defectos como soldador con categoría	55
Figura 35. Prevención de defectos de soldadores sin categoría	55
Figura 36. Conocimiento de defectos como soldador sin categoría	56
Figura 37. Reportes radiográficos sin procedimiento	59
Figura 38. Frecuencia de defectos en ensayos radiográficos sin procedimiento	60
Figura 39. Resultado de reportes radiográficos con procedimiento	62
Figura 40. Frecuencia de discontinuidades en ensayos radiográficos aceptados	63
Figura 41. Comparación de reportes de ensayos radiográficos	64

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1. Identificación de variables	7
Tabla 2. Matriz de operacionalizacion de variables.....	9
Tabla 3. Causas que originan aparición de defectos	50
Tabla 4. Frecuencia de defectos como soldador 6G	51
Tabla 5. Niveles de causas	52
Tabla 6. Prevención de defectos de soldadores con categoría	53
Tabla 7. Información de defectos.....	53
Tabla 8. Conocimiento de defectos como soldador con categoría.....	54
Tabla 9. Prevención de defectos de soldadores sin categoría	55
Tabla 10. Conocimiento de defectos como soldador sin categoría.....	56
Tabla 11. Resultado de 10 reportes de ensayos radiográficos sin procedimiento...58	
Tabla 12. Frecuencia de defectos en ensayos radiográficos sin procedimiento.....59	
Tabla 13. Resultado de 10 reportes de ensayos radiográficos con procedimiento..61	
Tabla 14. Frecuencia de discontinuidades en ensayos radiográficos con proce - dimiento	62
Tabla 15. Comparación de reportes de ensayos radiográficos	63
Tabla 16. Comparación de dos grupos de reportes de ensayos radiográficos.....65	
Tabla 17. Prueba de T	66

CONTENIDO DE APÉNDICES

Apéndice A. Especificación del procedimiento de soldadura (WPS).....	76
Apéndice B. Calificación del desempeño del soldador (WPQ).....	78
Apéndice C. Criterios de aceptación ASME B31.3	79
Apéndice D. Criterios de valor ASME B31.3.....	80
Apéndice E. Posiciones de prueba para soldadores ASME IX.....	81
Apéndice F. Cuestionario para soldadores con y sin categoría.....	82
Apéndice G. Cuestionario para soldadores con categoría 6G.....	83
Apéndice H. Cuestionario para soldadores sin categoría 6G.....	84
Apéndice I. Reportes radiográficos rechazados	85
Apéndice J. Reporte radiográficos aceptados	95

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como título: Desarrollo de un procedimiento para reducir los defectos en las juntas soldadas en los sistemas de tuberías instaladas en nodo energético sur; como objetivo general es la de reducir los defectos en la soldadura, estableciendo procedimientos que garanticen, la optimización de la unión soldada en sistemas de tuberías, y como objetivos específicos: reducir las causas que originan, los defectos en el soldeo de sistemas de tuberías y establecer procedimientos efectivos para optimizar la unión soldada. Además, he optado por una investigación descriptiva relacional y un nivel tecnológico aplicativo. La hipótesis general que se ha planteado, pretendió alcanzar la reducción de los defectos en la soldadura, estableciendo un procedimiento detallado que garanticen, la optimización de la unión soldada en sistemas de tuberías. Este trabajo de investigación, desarrollo un procedimiento que reduzca los defectos en las uniones soldadas en los sistemas de tuberías. A través de la información recopilada de los reportes de ensayo de las uniones soldadas en el proyecto refinería de Talara y el nodo energético sur, y las entrevistas realizadas a cinco soldadores con categoría 6G y cinco soldadores sin categoría 6G, de esta forma se obtuvo datos, que fueron de mucha importancia para los fines de este trabajo de investigación, logrando identificar la causa raíz del problema planteado, y los valores determinantes para desarrollar el procedimiento de reducción que detalla paso a paso la secuencia correcta de acciones que se debe realizar para reducir los defectos en la juntas soldadas de tuberías.

Palabras clave: soldadura, procedimientos, ensayos, defectos.

ABSTRACT

The present work of investigation has like title: Development of a procedure to reduce the defects in the soldered joints in the systems of pipes installed in South energetic node; as a general objective is to reduce welding defects, establishing procedures that guarantee, the optimization of the welded joint in pipe systems, and as specific objectives: reduce the causes that cause, the defects in the welding of piping systems and establish effective procedures to optimize the welded joint. In addition, I have opted for relational descriptive research and a technological application level. The general hypothesis that has been raised, aimed to achieve the reduction of welding defects, establishing a detailed procedure to ensure the optimization of the welded joint in pipe systems. This research work, will develop a procedure that reduces the defects in welded joints in the pipe systems. Through the information gathered from the test reports of the welded joints in the Talara refinery project and the southern energy node, and the interviews conducted with five welders with category 6G and five welders without category 6G, in this way data was obtained , which were of great importance for the purposes of this research, managing to identify the root cause of the problem, and the determining values to develop the reduction procedure that details step by step the correct sequence of actions that must be carried out to reduce the defects in the welded joints of pipes.

Keywords: welding, procedures, tests, defects.

INTRODUCCION

Este trabajo de investigación se diseñó para reducir los defectos encontrados en las juntas soldadas de tuberías, ya que se considera, un problema que está desatendido. Para lograr nuestros objetivos, se necesitó, identificar las causas que generan defectos, y con los resultados se estableció un procedimiento de reducción, que detalla paso a paso la ejecución correcta del soldeo, además de contribuir e implementar los conocimientos técnicos en la soldadura, ofreciendo información apropiada que permita mejorar los métodos de construcción en soldadura.

En el capítulo I, se presenta la realidad del problema que atraviesa la soldadura de tuberías, en los proyectos de construcción, específicamente en los sistemas de tuberías. En esta parte del trabajo de investigación se ha definido el problema, los objetivos, la hipótesis y las variables.

En el capítulo II, se desarrolla el marco teórico, los antecedentes de la investigación, Fundamentos de soldadura, procesos, tuberías, procedimientos calificados según la sociedad americana de soldadura, defectos en la soldadura, y ensayos no destructivos de soldadura.

En el capítulo III, presentamos el tipo y diseño de la investigación, la población y muestra, los instrumentos de recolección de datos,

En el capítulo IV, presentamos la interpretación de los resultados y la contratación de hipótesis.

Y terminamos en el capítulo V, con las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la realidad del problema

En la actualidad se ejecutan proyectos de gran envergadura en distintos sectores de nuestro país; se construyen plantas industriales que traen consigo tecnologías de última generación con sistemas certificados, exigiendo en el sector tecnológico, altos índices de calidad en todas las fases de desarrollo de construcción. Cada fase presenta diversos problemas comprendidos en la fabricación e instalación del sistema de tuberías, sistemas que son parte importante, para el transporte de recursos y para el funcionamiento eficiente de toda la industria.

Las empresas constructoras son las llamadas a ejecutar estos proyectos, indistintamente del modo de contrato que sea, se establecen diversos planes y compromisos divididos en varios puntos del contrato, como, por ejemplo, la duración y el costo, cada punto del contrato presenta diversos problemas, propios de la actividad, estos tienen que ser principalmente atendidos y resueltos, además de existir un compromiso, es para crecer como empresa, alcanzando las metas planteadas y satisfaciendo al cliente.

La duración de la ejecución del proyecto, los plazos propiamente dichos, la fecha de entrega y la puesta en marcha, son las preocupaciones principales de las empresas constructoras, radicando ahí los diversos problemas que surgen en las diferentes etapas de construcción, para este trabajo de investigación, abordaremos las actividades en materias de soldadura de tuberías y la fabricación de sistemas de tuberías.

En la soldadura de tuberías y la fabricación de sistemas de tuberías, se configuran diversos problemas que son perjudiciales en el cumplimiento del avance en el planeamiento de construcción, este planeamiento es estructurado y establecido por fechas desde el inicio hasta el término de la construcción; estos problemas que se presentan responden a las deficiencias por parte de un sector comprendido por profesionales soldadores. Estas deficiencias son los defectos y discontinuidades, que se encuentran en las juntas de soldaduras ejecutadas por los soldadores, evaluadas y controladas por el área de calidad de las empresas constructoras, para su posterior suscripción, de protocolos de soldadura, además estas deficiencias podemos enmarcarlas en pérdidas de tiempo y de costos, retrasando perjudicialmente en las fechas de entrega y puesta en funcionamiento.

Existen diferentes sistemas de tuberías dentro de la industria y es de mucha importancia para el buen funcionamiento, los planos de construcción muestran los detalles para la fabricación e instalación para cada sistema de tuberías, además cada sistema de tubería consta de dos partes, las tuberías los accesorios de tuberías, y las uniones de estos por medio de la soldadura.

Para esta tesis se desarrolló las juntas de soldadura de tuberías, el cual ha requerido varias actividades contempladas, en la fabricación de sistemas de tuberías y el soldeo de ellas, por lo tanto, para todas estas actividades se necesitó procedimientos calificados que garantizaron la ejecución y optimización de la calidad de los trabajos de fabricación y soldadura, sin olvidarnos que también se necesitó del profesionalismo técnico de los constructores y soldadores, ya que posee el nivel de capacitación y calificación adecuada según los estándares de construcción de la sociedad americana de soldadura.

Para esto emplearemos los procedimientos: la fabricación de tuberías y el soldeo de tuberías.

1.2. Definición del problema

El problema pasa por un despliegue de procedimientos y actividades, enmarcadas en acciones propias de la actividad, más aún si hablamos de soldadura, ya que ésta, es la más delicada e importante a la vez, y que es de carácter fundamental, la reducción de defectos y discontinuidades tanto para mejorar el avance, como, para el proyecto en sí. Teniendo consigo, la garantía y el funcionamiento adecuado, en las tuberías, que son los que transportan los fluidos y por consiguiente las energías necesarias para mover la industria.

Se consideró dos elementos, que se necesitan para una soldadura de calidad, mencionaremos el procedimiento de fabricación de tuberías y el procedimiento de soldadura.

Estos procedimientos mencionados, van de la mano, juntos, son complementos que se necesitan para alcanzar la calidad de la soldadura y la eficiencia de los sistemas de tuberías, basados en controles, ya sean reportes, índices, y protocolos que, en sí, se muestran, de manera objetiva y real. Pero existen controles que demuestran lo contrario: Estos controles consisten básicamente en reportes de recepción y entrega de trabajos que son calificados en algunos casos, como rechazados; lo que significa que se tenga que volver hacer, teniendo como resultado pérdidas, de costos y tiempo.

Este trabajo de investigación logro la reducción de los defectos encontrados en las juntas soldadas de tuberías, para ello tuvimos que identificar y conocer, las causas que originan los defectos, para con posterioridad establecer un procedimiento escrito de soldadura que detalle paso a paso la forma correcta de ejecutar el soldeo de la junta.

Estas causas, podemos encontrarlas en la calidad de los materiales, en el profesionalismo del soldador, la preparación de la junta y los procedimientos de construcción. Ver figura 1.

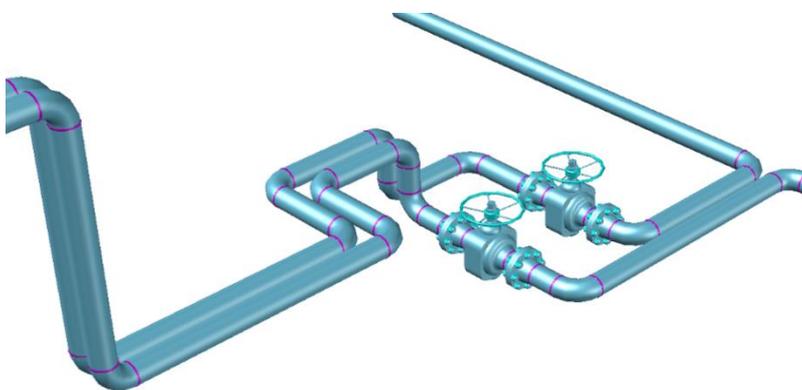


Figura 1. Fabricación de sistemas de tuberías.

Para definir el problema usaremos el diagrama mostrado en la figura 2.

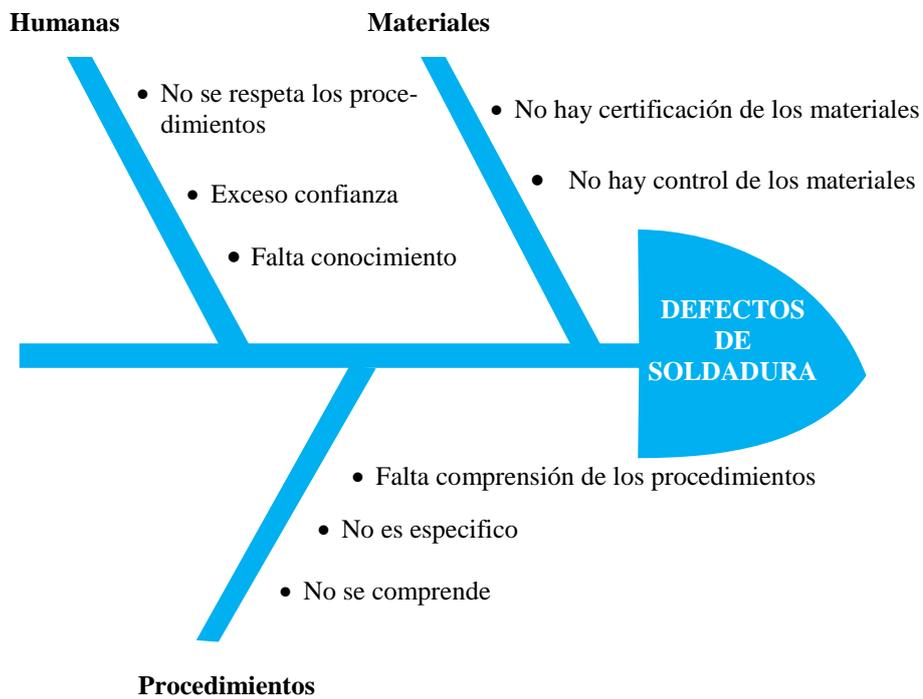


Figura 2. Causas que generan defectos de soldadura.

1.2.1. Problema general

¿Será posible establecer procedimientos que garanticen reducir los defectos en la soldadura de junta, en los sistemas de tuberías instaladas en el nodo energético sur?

1.2.2. Problemas específicos

¿Es factible identificar las causas que originan, los defectos en el soldeo de juntas en los sistemas de tuberías?

¿Es posible establecer procedimientos efectivos para reducir los defectos y optimizar la junta soldada en sistemas de tuberías?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Reducir los defectos en el soldeo de juntas de tuberías, estableciendo procedimientos que garanticen, la optimización de la junta soldada en sistemas de tuberías.

1.3.2. Objetivos específicos

Identificar las causas que originan, los defectos en el soldeo de juntas en sistemas de tuberías.

Establecer procedimientos efectivos para reducir los defectos y optimizar la junta soldada en sistemas de tuberías.

1.4. Justificación

Los defectos de soldadura forman parte de una gama de problemas que presenta las grandes compañías al ejecutar un proyecto de construcción, estos defectos, no permiten alcanzar las metas y los compromisos que son establecidas en las etapas de construcción de los proyectos. Este problema se presenta en varias empresas que se dedican a la construcción de plantas industriales, la instalación de sistemas de tuberías ya que en la actualidad se pretende reducir los índices elevados de rechazos para de esta manera alcanzar la optimización de la calidad, del tiempo y del costo, mediante la reducción de las causas que originan los defectos en la soldadura. El propósito es desarrollar un procedimiento detallado que reduzca los defectos encontrados en la evaluación de juntas soldadas de tuberías.

Es necesario identificar y conocer las causas que generan los defectos en la soldadura de tuberías, porque conociendo el problema nos permite analizar, evaluar, corregir y a su vez establecer parámetros detallados y estructurados que se requiere para el desarrollo de nuestro procedimiento de reducción de defectos de soldadura.

1.5. Alcances y limitaciones

Este trabajo de investigación se diseñó para desarrollar soldadura en tuberías de acero al carbono, y se realizó en el proyecto modernización de la refinería de Talara, en las instalaciones de Petro Perú, empleando, procesos de soldadura GTAW (soldadura por arco eléctrico con gas tungsteno) y SMAW (soldadura por arco eléctrico con varilla revestida), detallando para el proceso GTAW (encendido por contacto de raspado), aporte E70S3; y para el proceso SMAW con la mínima fuerza de arco, electrodo de bajo hidrogeno E7018 de 3/32 pulgada de diámetro, y utilizando, el método de ensayo radiográfico, para la inspección de soldaduras.

1.6. Variables

1.6.1. Identificación de variables

Se ha identificado, dos variables, cuantitativa y cualitativa respectivamente, tal como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1

Identificación de variables.

Variables	Tipo	Indicadores	Unidades
Defectos junta soldada	Cuantitativo	Cantidad de defectos	Numero de defectos en la junta
Procedimiento de soldadura	Cualitativo	Grado de efectividad	Porcentaje de ensayos con rechazos

1.6.2. Definición de las variables

1.6.2.1. Los defectos en juntas soldadas.

La definición del defecto es: “Una imperfección de magnitud suficiente para justificar el rechazo del producto” [American Petroleum Institute (API 5L), 2004].

La junta soldada hace referencia a una unión de dos tuberías por soldadura, es definida como: “Junta entre dos partes alineadas, aproximadamente en el mismo plano” [American Society Mechanical Engineers (ASME B31.3), 2010].

1.6.2.2. Los procedimientos de soldadura.

Los procedimientos de soldadura son: “Los métodos escritos detallados y prácticas, involucradas en la producción de una unión soldada” (ASME B31.3, 2010)

1.6.3. Clasificación de las variables

1.6.3.1. Variable dependiente.

Los defectos en juntas soldadas.

1.6.3.2. Variable independiente.

Los procedimientos de soldadura.

1.6.4. Operacionalización de variables

Se desarrolló una matriz de operacionalización de variables, la cual se muestra en la tabla 2.

Tabla 2*Matriz de operacionalización de variables.*

Variables	Definición	Dimensión	Indicador	Unidad	Escala	Valor
Los defectos en las uniones soldadas.	Imperfecciones con magnitudes suficientes para ser rechazados según (ASME B 31.3, 2010).	Calidad de materiales.	Grado de porosidad del material	Porcentaje de ensayos con rechazo	Porcentual	Bueno 0 % Malo 5 %
			Procedimiento	Conocimiento del procedimiento de soldadura.	Número de ensayos aceptados	Intervalo.
		Profesional.	Grado de cumplimiento del procedimiento.	Porcentaje de ensayo con rechazo	Porcentual	Bueno 5 % Malo 20 %
Procedimientos de soldadura.	Métodos escritos, detallados y práctica involucrada en la producción de una junta soldada (ASME B 31.3, 2010).	Unidad.	Documento conteniendo secuencia de pasos a realizar para soldeo de tuberías.	Unidad estándar autorizada por norma.	Intervalo.	Acepta. Rechaza .

Nota: ASME = American society mechanical engineers.

1.7. Hipótesis de la investigación

1.7.1. Hipótesis general

Es posible reducir los defectos en la soldadura, estableciendo un procedimiento detallado que garantice, la optimización de la junta soldada en sistemas de tuberías.

1.7.2. Hipótesis específicas

Es posible identificar las causas que originan, los defectos en el soldeo de juntas en sistemas de tuberías.

Es factible establecer procedimientos efectivos para reducir los defectos y optimizar la junta soldada en sistemas de tuberías.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Con la evolución del control y el aseguramiento de la calidad en los servicios y productos, casos como la soldadura de juntas de tuberías y accesorios ha formado parte de esta evolución, y es a través de estos controles que se ha logrado determinar la existencia de un alto índice de rechazos, y que en la actualidad es un problema que repercute de manera general.

Dentro de los antecedentes hemos asociado información que nos va a permitir tener un acercamiento respecto de los propósitos que persigue este trabajo de investigación, la cual estará detallada de la siguiente manera:

Luna (2015), en su tesis titula: “Evaluación del procedimiento de soldadura de la unión disímil entre aceros API 5 L x 70 PSL 1 y ASTM A 707 L5 F65”. Presentado en la Pontificia Universidad Católica, Lima, Perú, demuestra: Que, para ejecutar la soldadura entre metales disímiles, particularmente aceros de bajo carbono y alta aleación, es importante seleccionar los consumibles adecuados considerando la resistencia mecánica y la composición química de los metales.

Además, es importante evitar la ejecución del procedimiento de soldadura en condiciones climáticas de alta humedad. En estos casos, es conveniente aislar el proceso para que no sea afectado. También es importante considerar la realización de ensayos de impacto siempre que la temperatura de servicio de la unión soldada sea relativamente baja (menor a 10 °C). De esta manera, se garantiza la buena tenacidad de la unión soldada y se controlan los riesgos de fragilización de los materiales debido a bajas temperaturas.

Espejo (2016), en su tesis titula: “Mejora de la soldadura en tuberías enterradas mediante la aplicación del proceso GTAW SMAW de la línea contra incendio proyecto Toromocho”, presentado en la Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú, demuestra: Que, para mejorar los resultados de soldeo de tuberías, se emplean, una combinación de dos procesos la cual permite mejorar la soldadura de tuberías, mediante la norma ASME IX, a través de ensayos de tensión y doblaje guiado.

Caisaguano (2013), en su tesis titula: “Desarrollo de procedimientos de soldadura, calificaciones de soldadura y control de calidad de estructuras soldadas de acuerdo a AWS D1.1”, presentado en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, demuestra: Que un entendimiento adecuado del código AWS D 1.1 y la habilidad de manejar la normativa, será la información adecuada para los profesionales que trabajan en la construcción de estructuras metálicas y se obtiene resultados confiables.

Peralta (2010), en su tesis titula: “Especificaciones de procedimientos e inspección de soldaduras en la fabricación de virolas para pilotes de un puente aplicando el código AASTHO / AWS D1.5”, presentado en la Escuela superior politécnica del litoral, Guayaquil, Ecuador, demuestra: Que el código AASTHO / AWS D1.5, define pruebas de calificación de los procedimientos de soldadura además de la calificación de soldadores y ofrece calidad en las soldaduras de las virolas para los pilotes mediante dos procedimientos: la especificación de calificación de soldadura y la especificación de los procedimientos de inspección.

2.2. Bases teóricas

Dentro de las bases comprendidas para la investigación tenemos que conocer: las tuberías de acero al carbono, el soldeo de tuberías y los estándares ASME B31.3, API 5L, ASME IX, API 1104.

Esta información nos permite conocer los elementos que intervienen en los sistemas de tuberías de acero al carbono, fabricación de sistemas de tuberías, procedimientos de sistemas de tuberías, soldadura, procesos de soldeo, procedimiento de soldadura, estándares de soldadura, ensayo no destructivo, evaluación de ensayos, defectos y discontinuidades de soldadura.

2.2.1. Tuberías y accesorios de acero al carbono

2.2.1.1. Acero al carbono.

Conocido como metal, pero la definición del acero es:

Básicamente, una combinación de hierro y de carbono, en proporciones desiguales donde el carbono es menor al contenido de hierro. El porcentaje de carbono es casi siempre menos del 2 %. El carbono influye en el desenvolvimiento mecánico de los aceros. Y esta va a depender del porcentaje de carbono en la aleación (Valencia, 1992).

Los aceros al carbono forman una parte importante de los productos que se producen en las plantas de fabricación de aceros. Y su utilidad en la industria moderna que exige materiales óptimos para el servicio de la humanidad, existen una variedad de compuestos porcentuales para determinar su uso y aplicación.

Desde aceros resistentes a la corrosión y oxidación en las maquinas herramientas hasta los utensilios comunes en el hogar.

2.2.1.2. *Tubería de acero al carbono.*

Se denominan tubería al elemento metálico formado por un área circular y longitudinal, presenta una sección variable en el área circular y es empleado para transporte según su diseño, “El tubo es una sección transversal redonda que cumple con los requisitos dimensionales para el tamaño nominal de la tubería” (Nayyar, 2000).

“Tubería es un cilindro hermético usado para transportar un fluido o para transmitir presión de fluido, normalmente definido en las especificaciones de aterial correspondiente. Se consideran tubería cuando se usan para servicios de presión” (ASME B31.3, 2010, p.8). Ver figura 3.



Figura 3. Tuberías de acero al carbono.

2.2.1.3. Accesorios de aceros al carbono.

Se denominan accesorios de tuberías a la variedad de piezas moldeadas y mecanizadas que unidas a las tuberías forman conjuntos, para el transporte de fluidos.

2.2.1.4. Los tipos de accesorios según la norma ASME B31.3.

a. Brida.

Elemento metálico que se emplea para unir tuberías con otros elementos de cierre y apertura, por ejemplo, la válvula. Ver figura 4.



Figura 4. Brida acero al carbono.

b. Codo.

Elemento metálico que se emplea para desviar la dirección de la tubería según planos de construcción. También se utiliza para reducir el caudal. Ver figura 5.

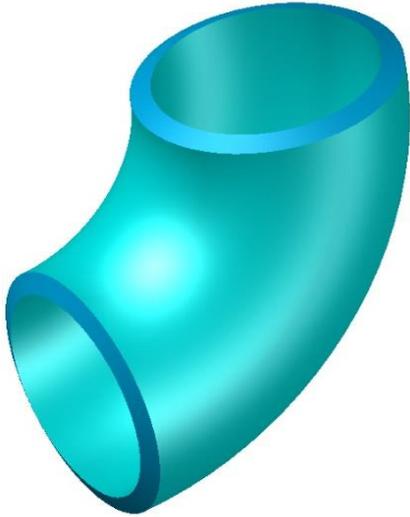


Figura 5. Codo acero al carbono.

c. Tee.

Elemento metálico que se emplea para distribuir el flujo en direcciones perpendiculares. Ver figura 6.

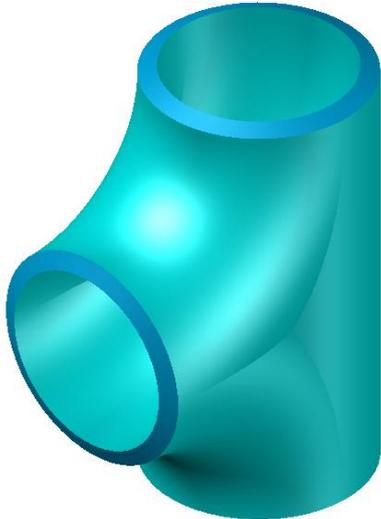


Figura 6. Tee acero al carbono.

d. Reducción.

Elemento metálico que se emplea para reducir el caudal del flujo y aumentar la presión. Ver figura 7.

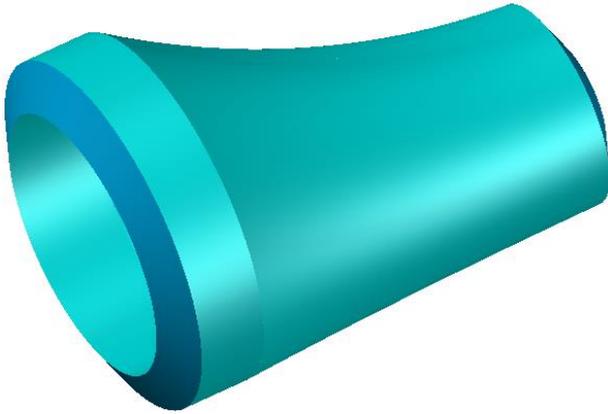


Figura 7. Reducción acero al carbono.

2.2.2. Fabricación de sistemas de tuberías

Los sistemas de tuberías son el conjunto de elementos de tubería y accesorios. “La fabricación es la preparación de la tubería para su ensamblaje. Incluye corte, ranurado, formado, doblado y unión de los accesorios para formar sub conjuntos” (ASME B31.3, 2010). Ver figura 8.

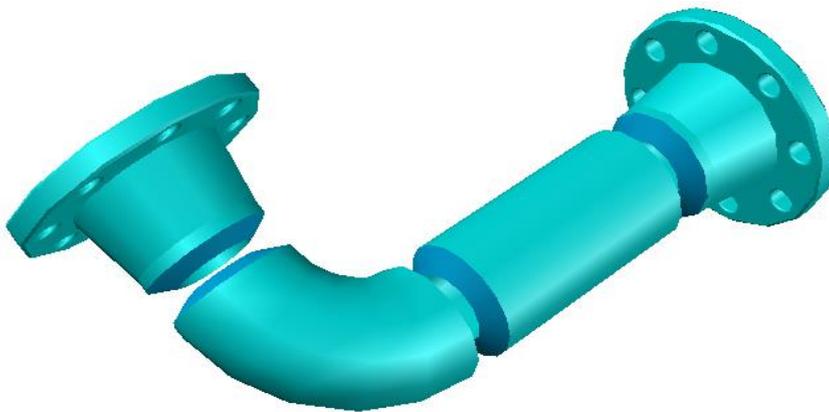


Figura 8. Sistemas de tuberías.

2.2.3. Procedimientos de sistemas de tuberías

Son los estándares para la construcción de sistemas de tuberías, es necesario tener un procedimiento aprobado que permitan la ejecución correcta y adecuada de los trabajos de tuberías. Los procedimientos detallan exactamente los pasos para el

armado de las tuberías, el alineamiento y la preparación para el soldeo (ASME B31.3, 2010). Ver figura 9.

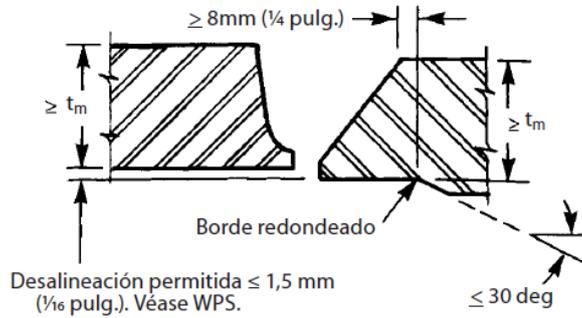


Figura 9. Alineamiento de tubería.
Fuente: ASME B31.3, 2010.

El estándar ASME B31.3, especifica la preparación para la soldadura a tope en los extremos de los componentes de tuberías a unirse; para formar un sistema de tuberías, ya sea mediante soldadura u otro proceso. Ver figura 10.

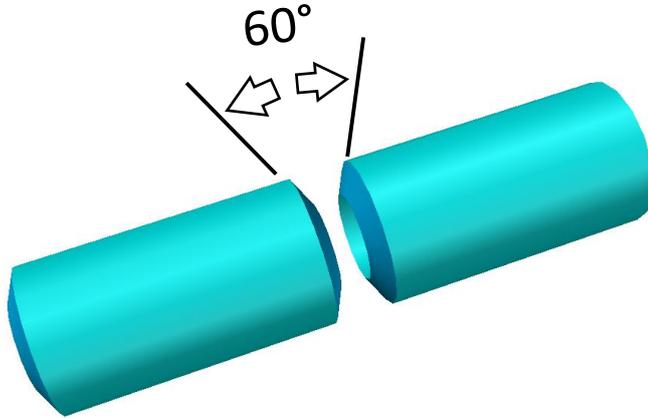


Figura 10. Preparación de bisel.

2.2.4. La soldadura

Se le conoce como la unión de metales, con o sin material de aporte, uniforme y homogénea y se obtiene por el incremento de temperatura ejercida en el corto circuito generado por el positivo y el negativo, sobre los metales que al enfriarse,

se transforma en una unión sólida, como si fuese uno solo. En esta unión se produce una Coalescencia ubicada en el material y esta se produce por el calentamiento a una temperatura adecuada (ASME B31.3, 2010). Ver figura 11.

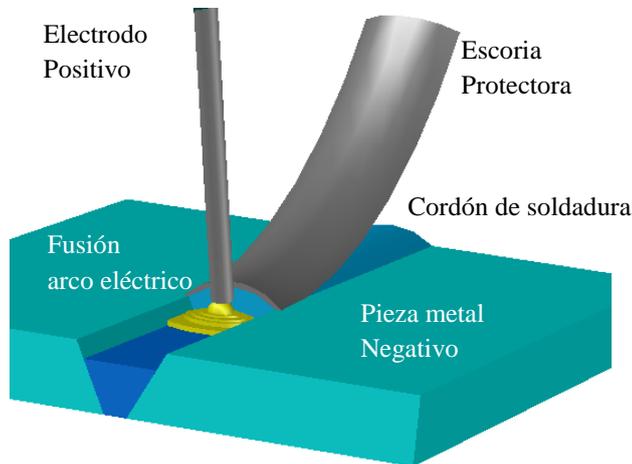


Figura 11. Soldeo de acero al carbono proceso SMAW.

2.2.5. Procesos de soldadura

Para la ejecución de la soldadura se requiere determinar y seleccionar el proceso de soldadura que se empleara para la junta, dependiendo del tipo de material, tipo de junta y espesor. Para cubrir las exigencias tecnológicas del mercado laboral, y cumplir metas, se debe seleccionar el proceso adecuado para ser eficaz (O'Brien, 1996). Según la sociedad americana de soldadura, existen una variedad de procesos de soldadura y cada proceso tiene diferente mecanismo de ejecución, pero un solo principio. Ver figura 12.

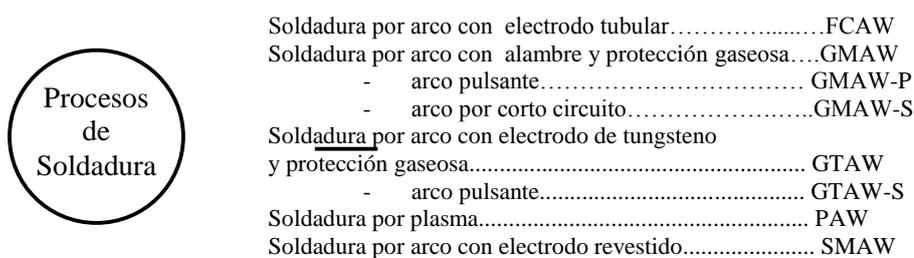


Figura 12. Esquema principal de los procesos de soldaduras por arco.
Fuente: American Welding Society A3.0, 1994.

Los procesos, que vamos a emplear en esta investigación son: el proceso SMAW (shielded metal arc welding), y el proceso GTAW (gas tungsten arc welding).

2.2.5.1. Proceso SMAW.

Este proceso de soldadura cuya sigla significa; soldadura por arco de metal protegido, se desarrolla por el calor generado por un arco eléctrico, que se obtiene por el contacto entre la punta del electrodo y el metal base, este calor producido, es suficiente para la unión de metales. El electrodo está compuesto de un revestimiento que contiene propiedades que favorecen a la soldadura, este se consume derritiéndose en forma de glóbulos de metal fundido, formando el cordón de soldadura, el calor generado por el arco puede llegar hasta una temperatura aproximadamente de 5000 °C, existen una variedad de tamaños y diámetros de los electrodos según los fabricantes. El electrodo revestido forma parte integral del proceso SMAW, ya que cumple funciones fundamentales para la soldadura se constituye de núcleo de metal y material revestido constituido por una capa de fundente granular que posee propiedades de protección y añade propiedades para la soldabilidad (O'Brien, 1996). Ver figura 13.

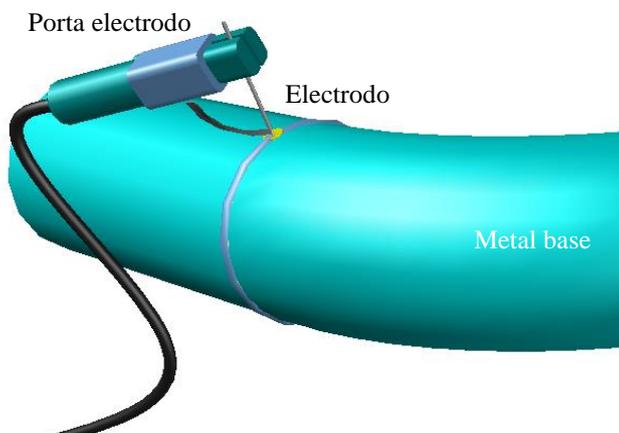


Figura 13. Esquema del proceso soldadura SMAW.

2.2.5.2. *Proceso GTAW.*

Este proceso de soldadura cuya sigla está en inglés traducida al español significa; soldadura por arco de tungsteno y gas, se desarrolla cuando el electrodo de tungsteno, hace contacto con el metal base, produciéndose el arco eléctrico; el electrodo de tungsteno no se consume, la composición del tungsteno puede ser puro o aleado, además requiere de una protección gaseosa, el cual el flujo de gas es direccionado, a través de una tobera, con el propósito de proteger el arco, este gas empleado es el argón a un 99 % de pureza. Una vez producido el arco se incorpora el material de aporte, el cual es sólido, liso y se clasifica de acuerdo al material a soldar (O'Brien, 1996).

Este proceso está constituido por una antorcha esta se conecta al polo negativo existen muchas utilidades para este proceso la más usual es para soldar metales inoxidables y para garantizar el primer pase (cordón de raíz) en soldeo de tuberías. En la actualidad este proceso ofrece la mejor calidad de soldadura por lo que su costo es alto. Ver figura 14.

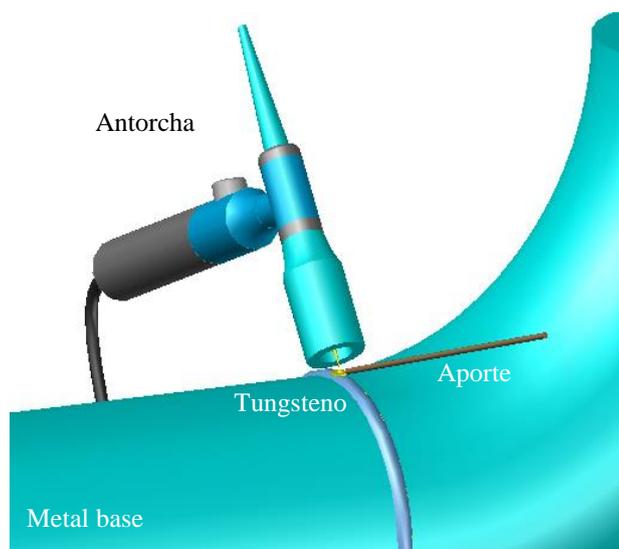


Figura 14. Esquema del proceso soldadura GTAW.

2.2.5.3. *Aporte de calor.*

Es la cantidad de temperatura que se agrega al material base, en la zona de soldeo, por arco eléctrico, el incremento de temperatura altera su micro estructura, es variable y está en función a los parámetros de soldeo (O'Brien, 1996). Ver figura 15.

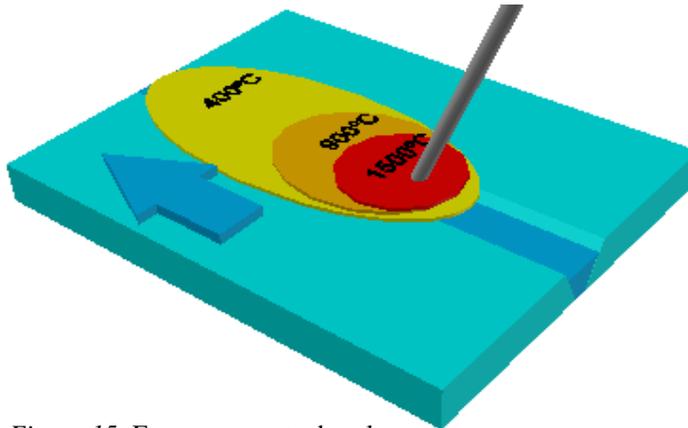


Figura 15. Esquema aporte de calor.

2.2.5.4. *Ciclo térmico.*

Son todos los momentos de calentamiento y enfriamiento provocados por el aporte de calor en el soldeo por fusión localizados en el metal base; estas acciones alteran la microestructura de los aceros se modifica o varia propiedades mecánicas, tensiones residuales y modificación en las dimensiones (Melgarejo, 2013). Ver figura 16.

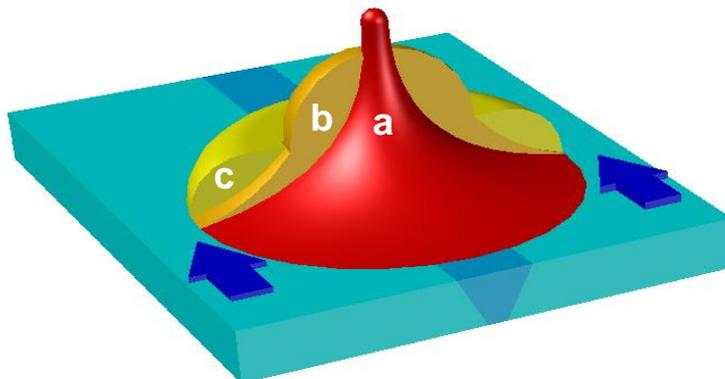


Figura 16. Esquema del ciclo térmico.

Nota: a = punto más elevado; b = punto intermedio; c = punto más bajo.

Es la zona del material base denominada zona afectada por el calor o zona influenciada térmicamente, es la zona contigua a la soldadura y alcanza temperaturas muy altas ocasionando alteración en su microestructura y a su vez modifica las propiedades mecánicas del metal (Rodríguez, 2013). Ver figura 17.

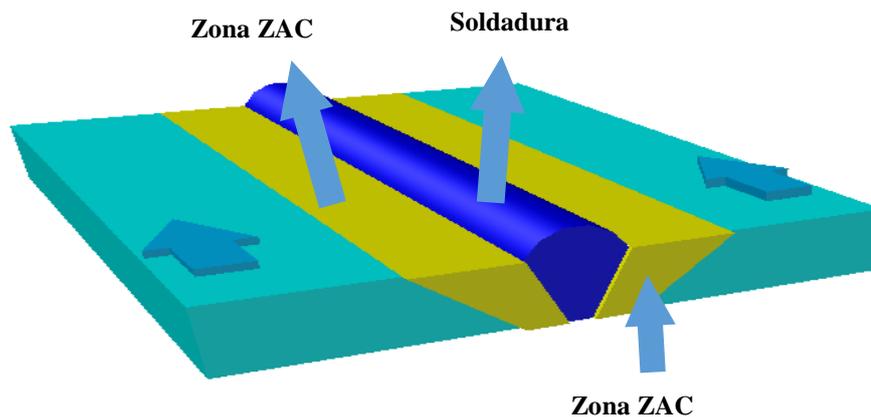


Figura 17. Esquema zona ZAC.

2.2.5.6. La velocidad de enfriamiento.

Para una correcta aplicación en el soldeo, es muy importante controlar la velocidad de enfriamiento ya que a ser muy rápida se obtiene microestructuras duras, generando fisuramiento en la estructura interna, esta se obtiene por la cantidad de calor decido al material base (Melgarejo, 2013).

2.2.6. Procedimiento de soldadura

El procedimiento de soldadura es un documento certificado, que indica los parámetros de manera general se requiere para realizar una soldadura de calidad. También nos permite conocer de manera general todos los recursos, materiales, y metodologías que se necesitan para ejecutar la soldadura, desde el inicio hasta el final. Este procedimiento es elaborado por un inspector certificado de soldadura

según la sociedad americana de soldadura; este rol pertenece a un inspector calificado de soldadura.

2.2.6.1. Registro de calificación del procedimiento (PQR).

Procedure qualification record que traducido al español significa: registro de calificación del procedimiento. La calificación del procedimiento de soldadura (PQR) según la sociedad americana de soldadura, es elaborada por un inspector calificado de soldadura y se detallan los rangos de calificación y se anexan los ensayos destructivos realizados a la muestra, ya sea tensión, doblado, impacto o dureza. En estos registros de calificación, se debe detallar: la secuencia y los pasos como se realizó el procedimiento de soldadura además del tiempo que se empleó para su calificación y los parámetros que se emplearon para su calificación (ASME IX, 1998).

2.2.6.2. Especificación del procedimiento de soldadura (WPS).

Welding procedure specification que traducido al español significa especificación del procedimiento de soldadura, según sociedad americana de soldadura, este documento recoge los parámetros más destacados empleados en el PQR y se establece en el WPS como los puntos esenciales que debe de conocer el soldador. Este procedimiento presenta las directrices para realizar la soldadura con lo que exige el estándar, proporciona información requerida que es empleada por el operario que ejecuta la soldadura cumpliendo estrictamente lo que está escrito en el WPS. Aparece un término que es usado en la terminología del estándar las variables esenciales (ASME IX, 1998). Ver apéndice A.

Este documento deber estar aprobado con las firmas adecuadas y de tener la firma y el sello del inspector certificado por la sociedad americana de soldadura.

2.2.6.3. *Calificación de la habilidad del soldador (WPQ).*

Weld performance qualification que traducido al español significa calificar al soldador, este documento certifica la calificación y la habilidad demostrada por el soldador. La calificación consiste en rendir una prueba demostrando la habilidad del soldador, dependiendo de las necesidades del proyecto, esta prueba se realiza en diferentes posiciones, para soldadura a tope.

Para soldadura de chapa o plancha, estructuras, soportes, se requiere soldadores 3G y 4G, y para el soldeo de tuberías se requiere soldadores 6G. También existe calificación en posición vertical al con la progresión descendiente.

Toda prueba debe ser sometida a los ensayos, destructivos o no, y deberá haber sido evaluado previamente bajo la prueba visual (visual test), de acuerdo a los procedimientos del estándar (ASME IX, 1998), el WPQ debe contener:

- Apellidos y nombres del soldador.
- Documento de identidad.
- Estampa.
- Intervalo de alcance de espesor y diámetro.
- Posición que califica.
- Metal base.

- Características del aporte.
- Progresión de soldeo.
- Espesor del metal base.
- Numero de WPS.
- Ensayo que se utilizó.
- Resultados.
- Fecha.
- Nombre del inspector.
- Sello de la AWS.
- Firmas de aceptación.

Este documento certifica y autoriza al soldador para realizar trabajos de soldadura en la posición y material que especifica el WPS, además que cumple con las normas establecidas (ASME IX, 1998). Ver apéndice B.

2.2.7. Estándares de soldadura

2.2.7.1. *Sociedad americana de soldadura (AWS).*

Organización americana cuya sigla corresponde a la sociedad americana de soldaduras con sede en Miami, Florida. Esta posee una variedad de normas y reglas publicadas y registradas para la soldadura, que se utilizan para la construcción metálica alrededor del mundo en todo tipo de industrias. Los estándares de la sociedad americana de soldadura son eficientes, debido a que son creadas por grupos de profesionales de la soldadura bajo la autoridad del instituto americano de estandarización.

Dentro de la variedad de normas que establece y ofrece la AWS, están completamente garantizados obteniéndose al aplicarlos resultados de altísima calidad cubriendo las necesidades y exigencias que actualmente el mundo industrial requiere.

2.2.7.2. *Sociedad americana de ingenieros mecánicos (ASME).*

Es una de las organizaciones líderes en el mundo que desarrolla y publica códigos y estándares. La American Society of Mechanical Engineers, estableció un comité en 1911, para formular reglas para la construcción de calderas de vapor y otros recipientes a presión.

2.2.7.3. *Estándar ASME B31.*

Esta sección del estándar nos detalla la fabricación y soldadura de tuberías. El código de ASME para tubería a presión, consiste de varias secciones publicadas individualmente, siendo cada una de ellas un estándar nacional estadounidense. El código establece los requerimientos considerados como necesarios para el diseño seguro y la construcción de tuberías a presión. Aunque la seguridad es la consideración básica, este factor solamente no será el que determine las especificaciones finales de cualquier sistema de tuberías. Se previene a los diseñadores, que el código no es un manual de diseño; no elimina la necesidad del diseñador o del buen criterio del ingeniero competente.

2.2.7.4. *Estándar ASME B31.3.*

Tuberías de proceso: se encuentran típicamente en las refinerías de petróleo, en:

- Plantas químicas.
- Farmacéuticas.
- Papeleras.
- Plantas criogénicas.
- Terminales relacionados con el procesamiento.

2.2.7.5. Criterios de aceptación ASME B31.3.

Según, ASME B31.3 (2010), nos presenta una tabla detallada sobre las imperfecciones, los tipos de soldadura y los métodos de examen para evaluación de imperfecciones. También presenta, los Criterios de valor de límites aceptables. Ver apéndice C y D.

2.2.7.6. Estándar ASME IX.

La sección IX del código de calderas y recipientes sujetos a presión de la ASME, está elaborada para la calificación de soldadores, operarios de soldadura, y los procedimientos que ellos emplean al soldar o al hacer soldadura, de acuerdo con el código de calderas y recipientes sujetos a presión de la ASME. En esta sección nos indica: la calificación de procedimientos, la calificación de soldadores, datos de soldadura, y los tipos de ensayos.

2.2.7.7. Calificación del soldador.

La calificación de soldador está limitada por las variables esenciales dadas para cada proceso de soldar, existen diversas posiciones de prueba así es que, según la posición y exigencia, se calificara al soldador (ASME IX, 1998). Ver apéndice E.

La posición recomendada para soldeo de tuberías, según ASME sección IX, es 6G.

Ver figura 18.

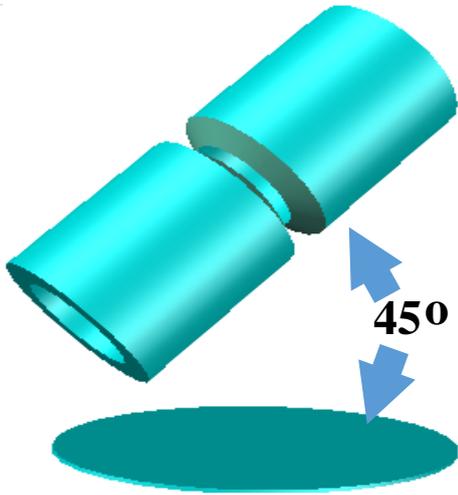


Figura 18. Posición 6G.

2.2.8. Ensayos no destructivos

2.2.8.1. Sociedad americana para pruebas no destructivas (ASNT).

Es una sociedad técnica para profesionales de pruebas no destructivas, es una organización sin fines de lucro, hay cuatro consejos:

- Técnico y educación.
- Investigación.
- Operaciones de sección.
- Proceso de dar un título.

Publica y mantiene un estándar importante, SNT – TC - 1^A, cubre todos los aspectos de calificación y certificación del personal de ensayos no destructivos (END), especifica un esquema de certificación basado en el empleador para el personal nivel I y nivel II, que se utiliza ampliamente en todo el mundo, en países como la unión europea o Canadá.

2.2.9. Defectos y discontinuidades

2.2.9.1. Defectos.

Se define como imperfección de suficiente magnitud como para ser rechazada de acuerdo a las estipulaciones de este estándar (API 1104, 2005).

2.2.9.2. Discontinuidad.

Se define como una interrupción de la estructura típica como la falta de homogeneidad mecánica, metalúrgica o características físicas, una discontinuidad no es necesariamente un defecto (AWS A3.0, 1994).

2.2.9.3. Indicación.

Se define como evidencia obtenida por ensayo no destructivo (API 1104, 2005).

2.2.9.4. Las discontinuidades.

Son indicaciones que se detectan en los ensayos no destructivos y se encuentran alrededor del cordón de soldadura de la junta soldada, pueden ser encontradas en la publicación de la sociedad americana de soldadura AWS A3.0, estándar de soldadura de términos y definiciones, estas discontinuidades las encontraremos en este trabajo de investigación. Las cuales son:

a. Fisura.

Es la discontinuidad más crítica, y muy resaltante en la soldadura ya que si no es detectada sería perjudicial para el buen desempeño del sistema de tuberías. La criticidad es debida a las fisuras caracterizadas como lineales, como también a las

que muestran condiciones de extremo, muy filosas. Dado que los extremos de las fisuras son muy afilados, hay una tendencia de la fisura a crecer, o a propagarse, si es aplicada una tensión (AWS A3.0, 1994). Ver figura 19.

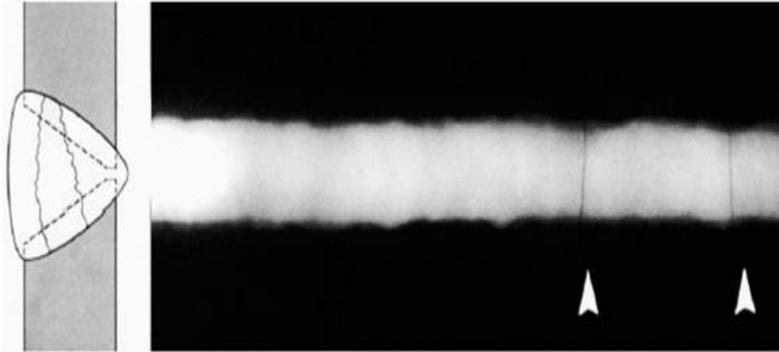


Figura 19. Imagen radiográfica de fisura transversal.
Fuente: Endicsa, 2011.

b. Falta de fusión.

Por definición, falta de fusión es una discontinuidad de la soldadura en la cual la fusión no ocurre entre el metal de soldadura y las caras del metal base, también se presenta entre pase. Puede ocurrir en distintas ubicaciones dentro de la zona de soldadura (AWS A3.0, 1994). La figura 20, muestra algunas de las distintas ubicaciones para la falta de fusión.

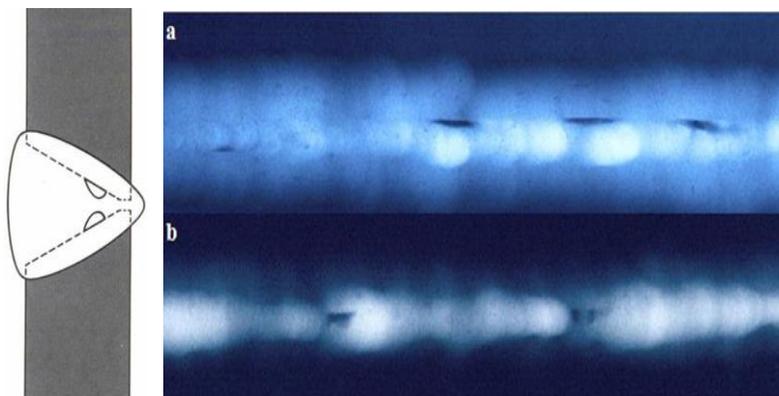


Figura 20. Imagen radiográfica de falta fusión.
Fuente: Faramarzi, 2011.

c. Porosidad.

Un tipo de discontinuidad que forma una cavidad provocada por gases que quedan ocluidos durante la soldadura. Entonces la porosidad es un vacío o una bolsa de gas atrapado adentro del cordón de soldadura. La porosidad normal es considerada como la menos dañina de las discontinuidades (AWS A3.0, 1994). Esto es debido a la posibilidad de que la porosidad genere una zona de debilidad. Ver figura 21.

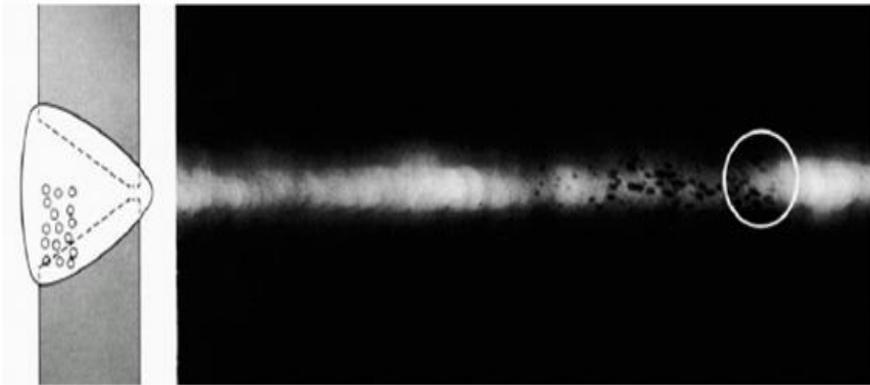


Figura 21. Imagen radiográfica de porosidad.
Fuente: Endicsa, 2011.

2.2.10. Métodos de ensayos no destructivos

A lo largo de los años, han sido desarrollados muchos métodos de ensayos no destructivos. Cada uno de ellos tienen asociado varias ventajas y limitaciones haciéndolo más o menos apropiado para una aplicación dada. Con la cantidad de métodos de ensayo disponible, es importante elegir que método nos va a proveer de los resultados necesarios. En muchos casos pueden ser aplicados diferentes ensayos para proveer una seguridad extra sobre el componente o material. Por esto, nos vamos a concentrar en los métodos de ensayos no destructivos que son usados más comúnmente para la evaluación de los metales base y las soldaduras, desarrollaremos los siguientes ensayos:

2.2.10.1. Inspección visual (VT).

La inspección visual es el método más práctico y puntual con referencia al análisis superficial de la soldadura, consiste en observar, detectar y medir, las discontinuidades visibles existentes, sobre toda la longitud del cordón de soldadura. “Este examen incluye la verificación de los requisitos del código y del diseño de ingeniería para materiales, componentes, dimensiones, preparación de juntas, alineaciones, soldadura, u otros métodos de unión, soportes, ensamblado y construcción” (ASME B31.3, 2010).

Este método es realizado por un inspector calificado y certificado según la sociedad americana para ensayos no destructivos, o por la sociedad americana de soldadura; la evaluación debe estar sujeta a los estándares de construcción. Ver figura 22.

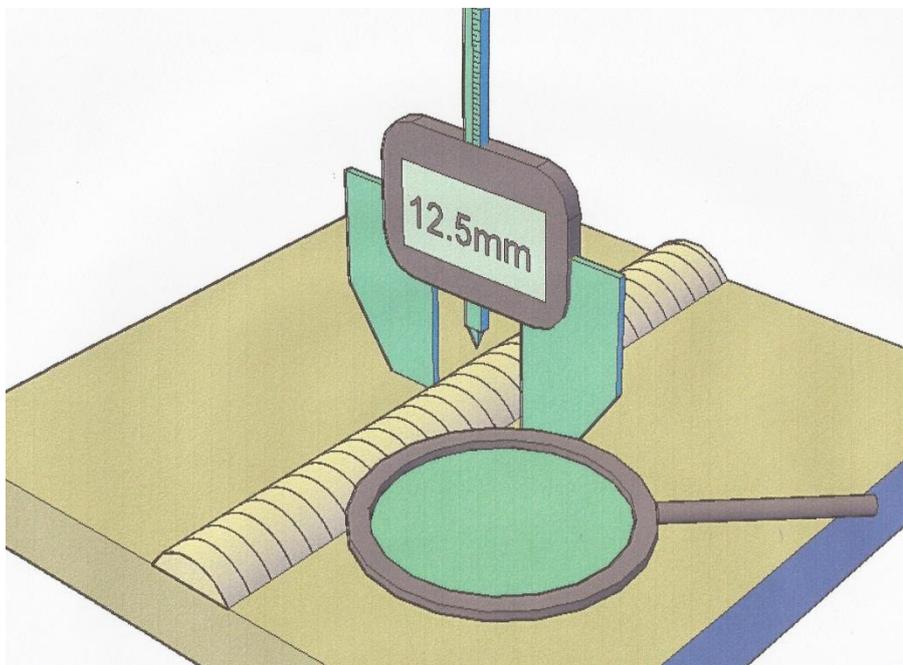


Figura 22. Ensayo de Inspección visual.

2.2.10.2. Líquidos penetrantes (PT).

El ensayo de líquidos penetrantes es realizado por un inspector certificado según la sociedad americana para ensayos no destructivos y la sociedad americana de soldadura, el ensayo es la aplicación secuencial de varios líquidos que permiten revelar discontinuidades visibles y superficiales en materiales no porosos, la forma del ensayo responde a un principio de absorción y se aplica de la siguiente manera: primero, se limpia la superficie mediante un líquido limpiador, segundo, se aplica el líquido penetrante sobre la superficie limpia de la pieza a ensayar, se deja permanecer durante una unidad de tiempo establecido por el fabricante, la pieza ensayada reacciona absorbiendo el líquido penetrante y este líquido se filtra buscando cualquier discontinuidad superficial existente, tercero, se vuelve aplicar el líquido limpiador removiendo el exceso de penetrante; una vez limpio se aplica el líquido revelador mostrando a la vista la afloración pintoresca sobre las discontinuidades (ASME V, 2005). Ver figura 23 y 24.



Figura 23. Juego de tintes: limpiador, penetrante y revelador.

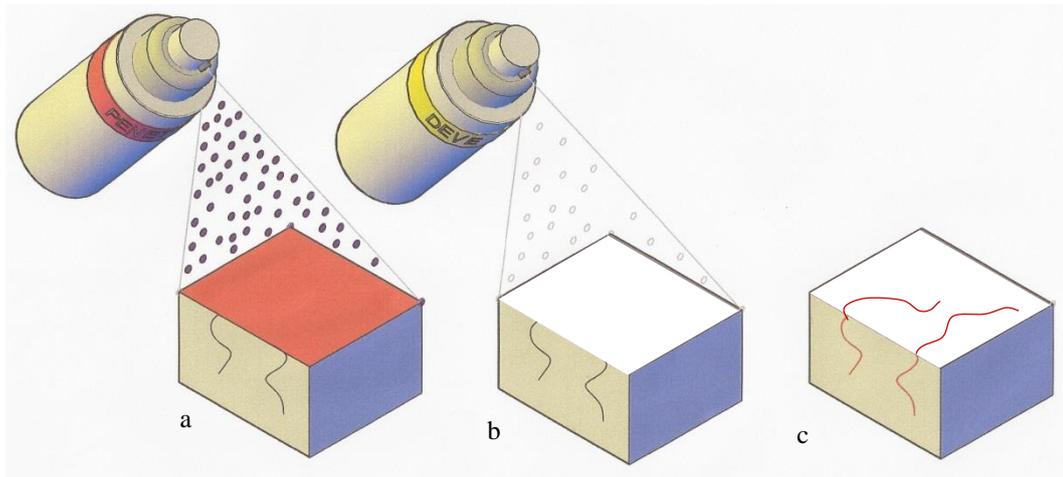


Figura 24. Secuencia y modo de empleo de los líquidos penetrantes.
 Nota: a = se aplica el líquido penetrante, b = se aplica el revelador, c = resultado.

Las indicaciones resultantes muestran la presencia de la discontinuidad y serán interpretadas y evaluadas según criterios de aceptación QW - 195.2; esta parte del código nos dice que las indicaciones son inaceptables cuando se muestren: indicaciones importantes, mayor a 1,6 mm. Indicaciones redondeadas importantes, mayores de 4,8 mm. Cuatro a más indicaciones redondeadas importantes en línea y separadas por 1,6 mm. (ASME IX, 1998). Ver figura 25.



Figura 25. Aplicado el revelador se muestra discontinuidades.
 Fuente: Villamil, 2017.

2.2.10.3 Radiografías (RT).

La radiografía es un método de ensayos no destructivos realizado en dos tiempos primero por un personal capacitado que realiza el trabajo del ensayo y la obtención de la muestra en el lugar donde se encuentra la junta de soldadura a evaluar y segundo el inspector certificado según ASNT / AWS, que evalúa los resultados del ensayo. Este método emplea radiaciones de longitud de onda corta, como rayos x o rayos gamma, estos rayos atraviesan materiales y detectan la presencia defectos u otras discontinuidades estructurales. La imagen de sombra de defectos o discontinuidades se graba en una pantalla fluorescente o en una película fotográfica; esta radiación que pasa a través del objeto de ensayo, formará una imagen contrastante en una película que recibe la radiación (Nayyar, 2000). Ver figura 26.

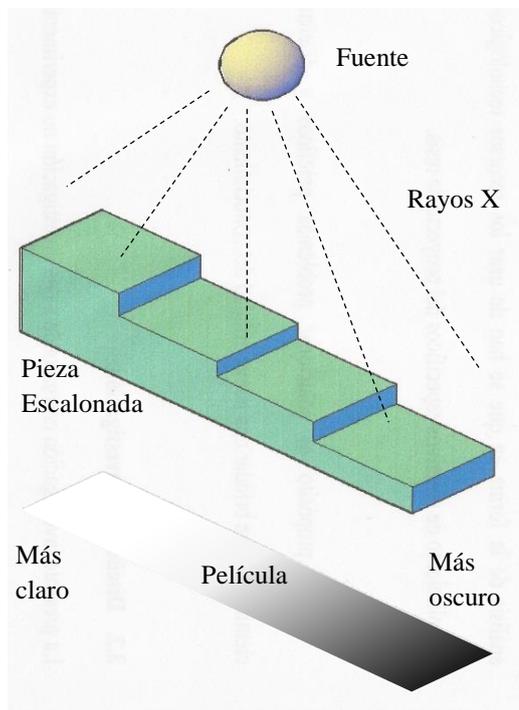


Figura 26. Efecto del espesor de la pieza en la transmisión de radiación.

La interpretación de los resultados del ensayo va a depender de la calidad de la radiografía y esta a su vez dependerá de varios elementos como son: el tamaño de la fuente de radiación, la distancia, la película, las pantallas y los filtros [Sociedad americana para pruebas y materiales (ASTM E94), 2000]. Ver figura 27.

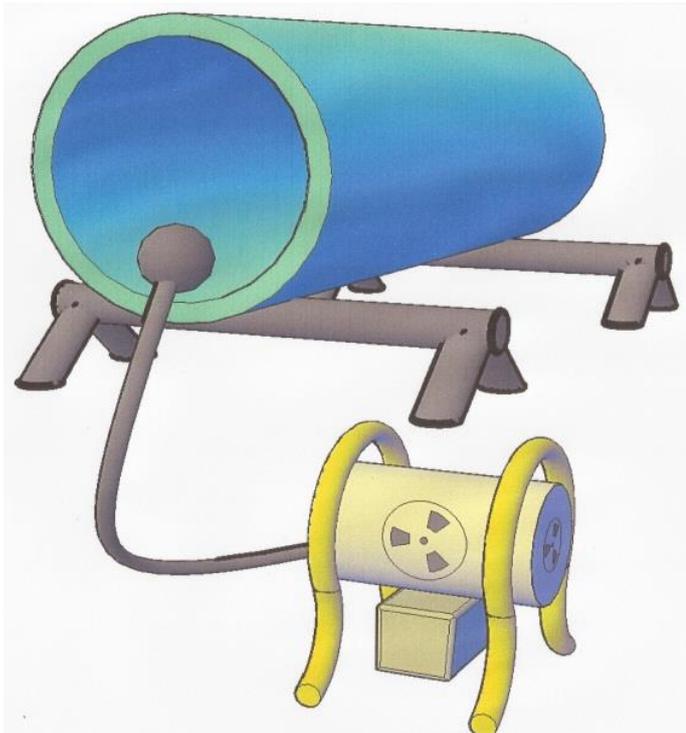


Figura 27. Ensayo radiográfico.

2.3. Definición de términos

En esta parte presentamos la definición de términos que encontramos en el desarrollo de la presente tesis:

2.3.1. Junta soldada

Unión metálica en tubería y accesorio, unido por soldadura. También denominado unión soldada, terminada y registrada; ejecutada por un soldador 6G calificado (API 1104, 2005).

2.3.2. Sistemas de tubería

Es el conjunto de tuberías y accesorios unidos entre, tuberías, codos, reducciones, bridas, válvulas, para desempeñar una determinada función. Dependiendo del flujo que transporta, se aprovecha: la presión, el caudal y la temperatura (ASME B31.3, 2010).

2.3.3. Biselado

Es la preparación de la junta a soldar, consiste en mecanizar los bordes del tubo o accesorios para ser unidos por soldadura; respetando los procedimientos de soldadura (ASME IX, 1998).

2.3.4. Defectos

Es la imperfección cuya medida no es aceptada al ser verificada según el estándar empleado para inspeccionar uniones de soldadura (API 1104, 2005).

2.3.5. Discontinuidad

Es la imperfección cuya medida es aceptada al ser verificada según el estándar empleado para inspeccionar uniones de soldadura, no siempre es rechazada (AWS A3.0, 1994).

2.3.6. Variable esencial

Son los elementos empleados para desarrollar los procedimientos: materiales, parámetros y mediciones, empleados, probados y calificados en el procedimiento de soldadura PQR, resumidos y detallados en el WPS (ASME IX, 1998).

2.3.7. Alineamiento

Es la operación de colocar y alinear en la posición adecuada los biseles de una junta de tuberías, utilizando instrumentos de medición, para evitar el desalineamiento. Los estándares de construcción regulan los criterios de aceptación y establecen límites de aceptación (ASME B31.3, 2010).

2.3.8. Materiales de aporte

Son los materiales metálicos que se emplea para completar el soldeo; existen diversos tipos de materiales de aporte esto va a depender de la selección del proceso de soldadura, además hay que manipularlo y almacenarlo correctamente si daños (API 1104, 2005).

2.3.9. Encapsulado

Es la operación cuya función principal es eliminar las corrientes de aire, para de esta forma asegura una soldadura sin defectos de poros; para esta operación, se emplea mantas ignífugas cubriendo toda el área donde se va a soldar. Es primordial para el proceso GTAW, ya que estas corrientes desplazarían el gas argón, empleado para proteger la fusión, provocando así porosidades (O'Brien, 1996).

2.3.10. Empalme

Es la operación de unir un cordón de soldadura con otro para darle uniformidad y simetría al cordón, esta operación se presenta al continuar con el cordón, después de terminar un electrodo o varilla, según sea el proceso de soldadura seleccionado.

También existe un tipo de empalme que generalmente se presenta en el cierre del pase de cordón de soldadura (Rodríguez, 2013).

2.3.11. Disco abrasivo

Son elementos formados por aglomerantes y partículas abrasivas. Son circulares de diversas medidas y se emplea para arrancar material metálico o para seccionar los metales (Nayyar, 2000).

2.3.12. Cordón de raíz

Es el depósito de material metálico, realizado a través de un proceso de soldadura de manera progresiva y con la fusión adecuada, se localiza en la parte del vértice o fondo de una junta biselada. También es considerada como el primer pase del cordón de soldadura (ASME IX, 1998).

2.3.13. Velocidad de soldeo

Es la velocidad de avance, progresión uniforme, está compuesta por el electrodo o varilla y la intensidad de energía seleccionada; si es demasiada la velocidad de soldeo se generará falta de fusión (Rodríguez, 2013).

2.3.14. Exceso de recargue de aporte

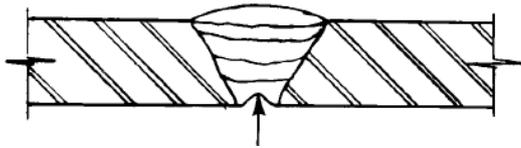
Es la operación de depositar un excesivo metal de aporte entre pases en los cordones de soldadura, con la probabilidad de generar falta de fusión, generalmente se ve reflejado en el cordón de presentación, (O'Brien, 1996). Ver figura 28.



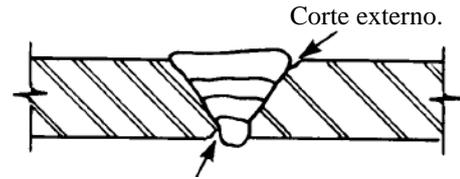
a) Falta de fusión en la pared del metal.



b) Falta de fusión entre pases adyacentes.

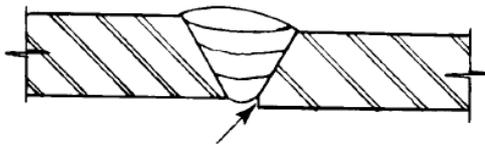


c) Superficie cóncava de raíz.

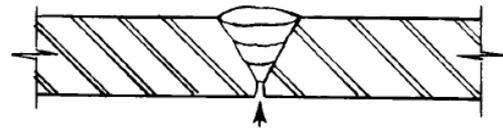


Corte interno.

d) Corte.



e) Penetración incompleta debido a desalineamiento.



f) Penetración incompleta de la ranura de soldadura.



g) Refuerzo externo en exceso.

Figura 28. Imperfecciones típicas de soldadura.
Fuente: ASME B31.3, 2010.

CAPÍTULO III

MÉTODO

3.1. Tipo de la investigación

Investigación tecnológica aplicada, porque se centra en la planificación basada en los procesos de aplicación, más que en la tecnología misma, así, se centra en el análisis de la forma en que se han de usar los recursos tecnológicos para el cumplimiento de objetivos específicos del proyecto de tesis.

Su propósito es solucionar problemas prácticos y diseñar teorías científicas, para brindar una nueva utilidad del conocimiento.

3.2. Diseño de la investigación

La presente investigación corresponde a una investigación no experimental debido a que no se efectúa manipulación de variable alguna sino se compara dos grupos relacionados con muestras diferentes.

El estudio está contemplado dentro del diseño de tipo transversal o transeccional, porque la recolección de los datos se hace en un solo momento o en un tiempo único.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

- Cinco profesionales técnicos soldadores calificados con categoría 6G.
- Cinco profesionales técnicos soldadores calificados sin categoría 6G.
- 20 reportes de ensayos realizados a juntas soldadas de tuberías.

3.3.2. Muestras

- 10 cuestionarios dirigidos a soldadores con o sin categoría. Ver apéndice F.
- Cinco cuestionarios dirigidos a soldadores con categoría 6G. Ver apéndice G.
- Cinco cuestionarios dirigidos a soldadores sin categoría 6G. Ver apéndice H.
- 10 Reportes de ensayos rechazados realizados a juntas soldadas de tuberías. Ver apéndice I.
- 10 Reportes de ensayos aceptados realizados a juntas soldadas de tuberías. Ver apéndice J.

3.4. Descripción del procedimiento de reducción

Este, procedimiento se diseñó para reducir defectos en soldeo de juntas de tuberías de acero al carbono. Además, se implementó para corregir y mejorar las acciones que son necesarios para el soldeo de tuberías de acero al carbono A106, para los procesos de soldadura GTAW SMAW.

El procedimiento de reducción, es el resultado del trabajo de investigación y toma como base, el dialogo con los profesionales soldadores y la experiencia adquirida durante los últimos 10 años.

Este procedimiento está dirigido a soldadores que tengan la categoría 6G, y está orientado a eliminar las causas que generan defectos en el soldeo como son materia de esta tesis: las porosidades y la falta de fusión; aplicado en el soldeo de tuberías de acero al carbono y la combinación de los procesos GTAW/SMAW, basados en el WPS. Ver apéndice B.

Para desarrollar este procedimiento de reducción de defectos, partimos de la premisa, de que los procedimientos y las recomendaciones están establecidas, pero existen vacíos en estos procedimientos de soldadura, que desvirtúan la secuencia de pasos, para la obtención de una soldadura de calidad, por lo tanto con este procedimiento complementamos esos vacíos y de esa forma garantizamos la aceptación y una soldadura de calidad; para lograrlo, debemos obedecer una secuencia de pasos, que se tiene que realizar de manera estricta y puntual, estos pasos los vamos a detallar a continuación: Lo hemos dividido en tres etapas:

3.4.1. Antes del soldeo

En esta parte el soldador debe revisar y cumplir con lo establecido en el WPS y realizar las siguientes acciones:

- Inspeccionar la preparación de la junta a soldar, verificando que ambos biseles de la tubería, tengan una buena geometría y exacta medida estándar, según la especificación del procedimiento de soldadura; de no ser así, hacer la corrección, con una amoladora eléctrica utilizando disco abrasivo para desbastar y rectificar, hasta obtener la geometría deseada.

- Limpiar los biseles, con amoladora angular y escobilla circular, de esta manera aseguramos una limpieza óptima por fuera y por dentro de la junta con amoladora recta (turbina) y fresa cilíndrica. dentro de la medida permisible según WPS, de no ser así volver a alinear los biseles de la junta.

- Verificar la conexión de la máquina de soldar; asegurar, el apriete de los conectores de los cables respectivamente, ya sea de la alimentación de energía y los cables positivo y negativo.

- Revisar y asegurarse que la conexión del cable negativo (puesta a tierra), este fijo y en buenas condiciones, asegurando un buen contacto en la superficie de la tubería además de evitar los golpes de arco por mal contacto.

- Revisar y asegurarse que la tuerca que ensambla y asegura el flujometro con la botella de argón, tenga un apriete adecuado para evitar fugas de gas argón, de esta manera garantizamos una adecuada presión, de la misma forma, se recomienda asegurar el apriete de las tuercas, en las mangueras de la antorcha para GTAW.

- Mantener una buena conservación de los mariales de aporte, en el caso de los electrodos revestidos de bajo hidrógeno, que estén conservados en hornos eléctricos a una temperatura adecuada (140 °C), y en el caso de las varillas sin revestimiento de acero al carbono mantenerlos en contenedores cerrados, evitando suciedad y oxidación; de no ser así, eliminar la suciedad y oxidación.

- Realizar el acondicionamiento y encapsulado adecuado a través de una medición de corrientes de aire en el área donde se va a soldar, con el objeto de eliminar estas corrientes; asegurando de esta manera que el gas argón cumpla con la función de dar una buena protección al momento del soldeo en la fusión de soldadura.
- Asegurarse, que se tenga los accesorios adecuados: careta de soldar bien ajustada a la cabeza, filtro adecuado (vidrio negro), implementos cómodos y apropiados de seguridad para el soldador.
- Después de instalarse y asegurarse de que se está cumpliendo con lo establecido, de lo contrario no inicie la soldadura y haga las correcciones que se necesiten.

3.4.2. Durante el soldeo

En esta parte se recomienda mantener la calma y cumplir con la secuencia de pasos recomendados antes de iniciar la soldadura; además de mantener el profesionalismo en cada momento del soldeo.

Antes de iniciar el soldeo, ajustar los parámetros de soldadura comprendidos en el WPS (salida de gas argón y amperaje de soldeo).

Como es una combinación de procesos GTAW SMAW, se va a dividir en dos partes:

3.4.2.1. Primera parte GTAW.

a. En el proceso GTAW para el primer pase de cordón de raíz.

- Antes de encender la antorcha (raspado por contacto), abrir y dejar salir el gas comprimido en la manguera de la antorcha por unos segundos esta práctica se utiliza para evitar turbulencias, ya que está comprobado que las turbulencias de gas argón comprimido en la antorcha generan las porosidades.

- Cada vez que vuelva a iniciar el soldeo por paradas y terminaciones, remover con disco abrasivo, la parte donde se va a empalmar, dejándolo libre de impurezas que puedan perjudicar el empalme y el cordón de soldadura. Además de evitar porosidades.

- Limpie el extremo de la varilla de aporte hasta obtener brillo metálico, toda vez que vuelva a iniciar el soldeo por paradas y terminaciones. Con la finalidad de evitar las porosidades.

- Verificar con una linterna portátil a través de la abertura entre los biseles de la junta y observar el avance del primer cordón, el pase de raíz por dentro de la tubería; si al verificar se detectara imperfecciones en el avance del primer pase, remover y cortar de ser necesario, para eliminar las imperfecciones visibles.

- Cada salida del arco de tungsteno por paradas y terminaciones, se recomienda que esta práctica sea realizada por la orilla del bisel, para evitar imperfecciones superficiales por salidas repentinas de arco.

- Si visualiza en pleno soldeo del pase de raíz: que el tungsteno toca la fusión, o que no se esté fusionando de manera homogénea, o cualquier otra duda; deténgase, verifique con una linterna para mayor visibilidad; y remueva con disco abrasivo dejándolo libre de impurezas y después continúe.
- Limpieza obligatoria en cada momento del soldeo con escobilla circular y disco abrasivo para asegurarse que la superficie que se va a soldar este limpia de cualquier suciedad.
- Para terminar el primer pase de raíz, preparar el cierre, removiendo con disco abrasivo hasta alcanzar una geometría adecuada y así asegurar un buen empalme y cierre del primer cordón de raíz.

b. En el proceso GTAW para el segundo pase de cordón relleno.

- Limpie obligatoriamente con escobilla circular y disco abrasivo sobre todo el perímetro de la junta a fin de remover imperfecciones y suciedades que pueda haber antes de reiniciar el segundo pase.
- Evitar el exceso de velocidad de soldeo y el exceso de recargue de aporte, ya que no garantiza una fusión homogénea, Es más, se recomienda considerar estrictamente estos puntos, de no ser así, es casi seguro la aparición de la falta de fusión.
- Repetir las acciones de limpieza tanto para el aporte como para la junta de soldeo.

- Al terminar el segundo pase en el cierre del cordón, remover con disco abrasivo la imperfección que surge obligatoriamente por la salida del arco de tungsteno y el enfriamiento brusco del cordón.

3.4.2.2. Segunda parte SMAW.

Para los cordones de relleno y acabado:

- Para el proceso SMAW, asegurarse que los electrodos E 7018, estén calientes a una temperatura de 140 °C aproximadamente. De lo contrario cambie los electrodos.
- Remover la escoria con escobilla circular y disco abrasivo, asegúrese de esta limpieza, ya que de esta manera se podrá evitar los defectos en el soldeo.
- Al completar toda la junta en el cordón de acabado, remover con disco abrasivo las imperfecciones producidas por la salida del electrodo, al empalmar el cordón final de cierre, del soldeo de la junta.

3.4.3. Después del soldeo

En esta parte se realiza las acciones finales y se realiza lo siguiente:

- Escobillar todo el cordón de soldadura para realizar la inspección visual y así detectar las imperfecciones que se puedan presentar.
- Con una lima remover cualquier imperfección superficial que visiblemente podamos detectar en todo el cordón de soldadura.

3.5. Descripción de instrumentos para recolección de datos

3.5.1. La entrevista

Se obtiene información a través de dos entrevistas a 10 soldadores: cinco soldadores con categoría 6G y cinco soldadores sin categoría. Este método me permitió alcanzar uno de los objetivos específicos; que es identificar las causas que originan, los defectos en el soldeo de juntas en sistemas de tuberías.

La primera entrevista a través de un cuestionario, esta sostenida por una pregunta abierta ¿por qué aparecen defectos en las uniones soldadas de tuberías? Ver apéndice F.

La segunda entrevista a través de cuestionario, está planteada con preguntas cerradas. Ver apéndice G y H.

3.5.2. Datos estadísticos

Obtuvimos información de 20 reportes radiográficos; de los cuales tenemos:

- 10 reportes radiográficos, rechazados por defectos en juntas soldadas, en los registros de la empresa SSK montajes e instalaciones, en el proyecto modernización de la Refinería de Talara. Ver apéndice I.

- 10 reportes de ensayos radiográficos, en juntas soldadas con el procedimiento de reducción, en el proyecto modernización de la refinería de Talara. Ver apéndice J.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Presentación de resultados

4.1.1. Análisis e interpretación de datos

En esta parte de trabajo de investigación, se realizó la recolección de información con respecto a las entrevistas realizadas a 10 soldadores: cinco con categoría 6G y cinco sin categoría 6G, el perfil empleado para los entrevistados se manejó de manera discreta seleccionando a profesionales soldadores.

4.1.1.1. Primer cuestionario dirigido a soldadores con o sin categoría.

Para identificar las causas que originan los defectos de soldadura, se planteó un primer cuestionario con la pregunta: ¿porque aparecen defectos en las juntas soldadas de tuberías? realizada a 10 profesionales soldadores, cinco sin categoría 6G y cinco con categoría 6G, como se observan en la tabla 3.

Tabla 3

Causas que originan aparición de defectos.

Niveles	Frecuencia	%
Falta de limpieza	3	30 %
No encapsular el área de soldeo	4	40 %
No aplicar procedimiento	2	20 %
Mala preparación de la junta	1	10 %
Total	10	100 %

En la tabla 3, se muestra los siguientes resultados sobre las causas que originan la aparición de defectos, el 40 % afirma por no encapsular el área de soldeo, 30 % afirma por falta de limpieza en las juntas de tuberías, el 20 % afirma por no aplicar el procedimiento, y un 10 % afirma por una mala preparación de la junta. Ver figura 29.

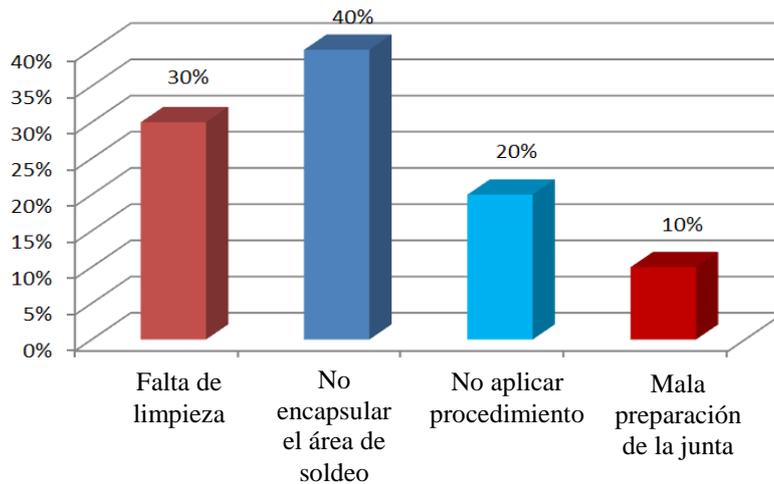


Figura 29. Causas que originan aparición de defectos.

4.1.1.2. Segundo cuestionario dirigido a soldadores con categoría 6G.

Este segundo cuestionario se realizó a cinco soldadores con categoría 6G, a través de cuatro preguntas, la primera pregunta realizada: ¿si has tenido defectos durante tu experiencia como soldador 6G? los resultados se observan en la tabla 4.

Tabla 4

Frecuencia de defectos como soldador 6G.

Niveles	Frecuencia	%
Si	5	100 %
No	0	0 %
Total	5	100 %

En la tabla 4, se muestra los resultados sobre la frecuencia de defectos durante su experiencia como soldador 6G, el 100 % afirma que ha tenido defectos durante toda su experiencia como soldador 6G. Ver figura 30.

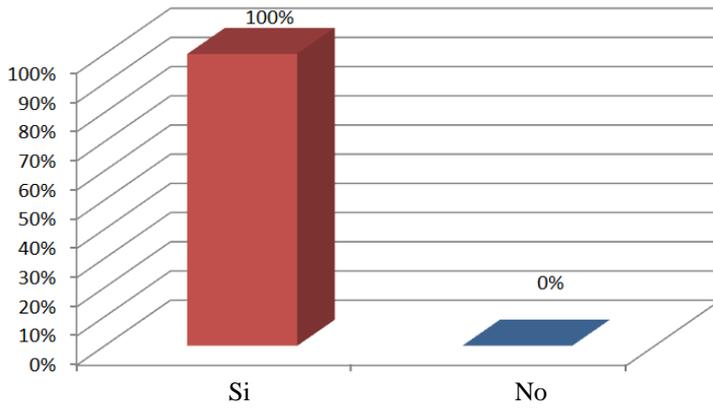


Figura 30. Frecuencia de defectos como soldador 6G.

La segunda pregunta del segundo cuestionario: ¿si consideras que los defectos encontrados se deben a causas? los niveles se observan en la tabla 5.

Tabla 5

Niveles de causas.

Niveles	Frecuencia	%
Personales	4	80 %
Materiales	0	20 %
Procedimiento	1	0 %
Total	5	100 %

En la tabla 5, se muestra los resultados de los soldadores con categoría 6G, el 80 % dice que los defectos encontrados se deben a causas personales; y el 20 % que los defectos encontrados se deben a causas materiales. Ver figura 31.

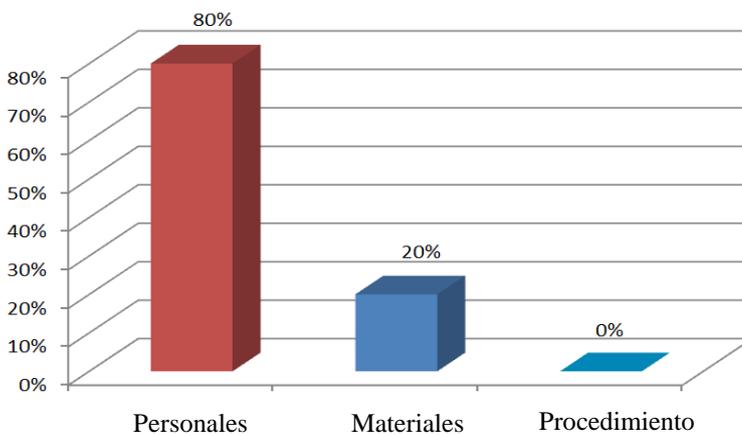


Figura 31. Niveles de causas.

La tercera pregunta del segundo cuestionario: ¿consideras que se pueden evitar los defectos? los resultados se observan en la tabla 6.

Tabla 6

Prevención de defectos de soldadores con categoría.

Niveles	Frecuencia	%
Si	5	100 %
No	0	0 %
Total	5	100 %

En la tabla 6, se muestra los resultados de los soldadores con categoría 6G, el 100 % considera que si se pueden evitar los defectos de la soldadura. Ver figura 32.

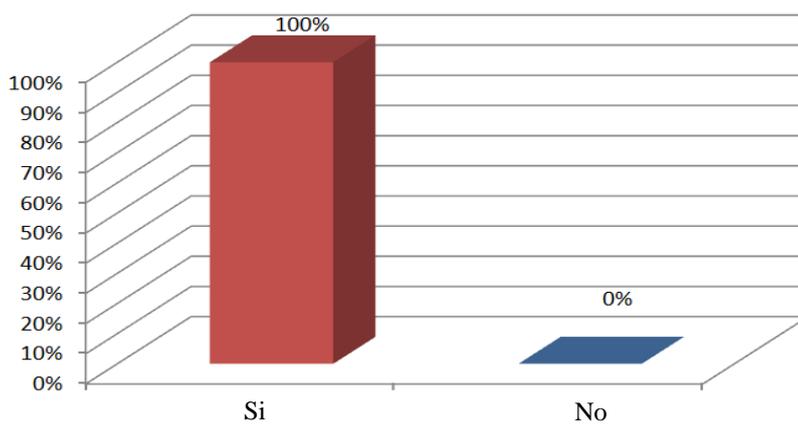


Figura 32. Prevención de defectos de soldadores con categoría.

La cuarta pregunta del segundo cuestionario: ¿te informan sobre todos los ensayos realizados en tus juntas soldadas? los resultados se observan en la tabla 7.

Tabla 7

Información de defectos.

Niveles	Frecuencia	%
Si	4	80 %
No	1	20 %
Total	5	100 %

En la tabla 7, se muestra los resultados de los soldadores con categoría 6G,

El 80 % afirma que si informan sobre todos los ensayos realizados en sus juntas soldadas, y el 20 % afirma que no informan sobre todos los ensayos realizados en sus juntas soldadas. Ver figura 33.

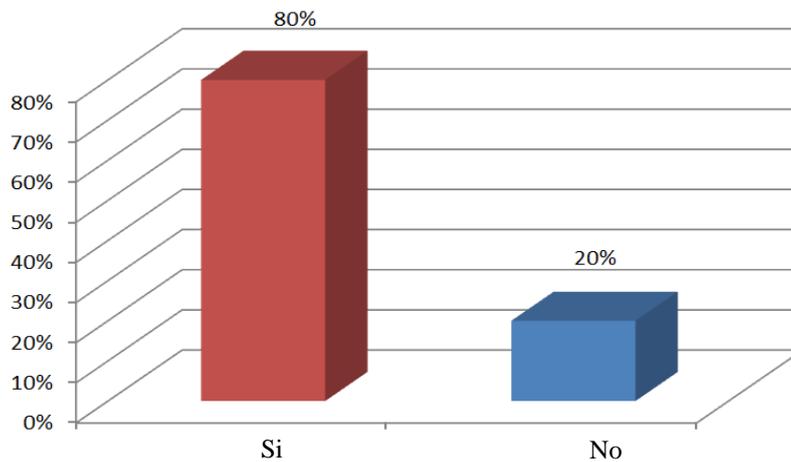


Figura 33. Información de defectos.

4.1.1.3. Tercer cuestionario dirigido a soldadores sin categoría 6G.

De la misma forma, este cuestionario se realizó a cinco soldadores sin categoría 6G, a través de tres preguntas, la primera pregunta realizada: ¿si conoces los defectos durante tu experiencia como soldador? los resultados se observan en la tabla 8.

Tabla 8

Conocimiento de defectos como soldador con categoría.

Niveles	Frecuencia	%
Si	5	100 %
No	0	0 %
Total	5	100 %

En la tabla 8, se muestra los resultados de los soldadores sin categoría 6G, donde el 100 % afirman que si conocen los defectos durante su experiencia como soldador. Ver figura 34.

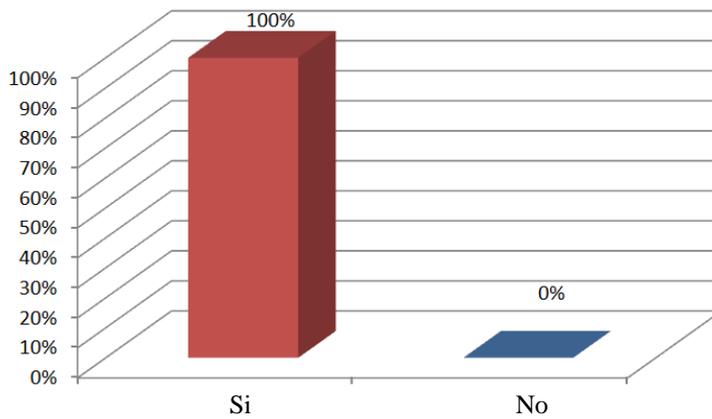


Figura 34. Conocimiento de defectos como soldador con categoría.

La segunda pregunta del tercer cuestionario: ¿si consideras que se pueden evitar los defectos? los resultados se observan en la tabla 9.

Tabla 9

Prevención de defectos de soldadores sin categoría.

Niveles	Frecuencia	%
Si	5	100 %
No	0	0 %
Total	5	100 %

En la tabla 9, se muestra los resultados de los soldadores sin categoría 6G, donde el 100 % afirman que si se pueden evitar los defectos. Ver figura 35.

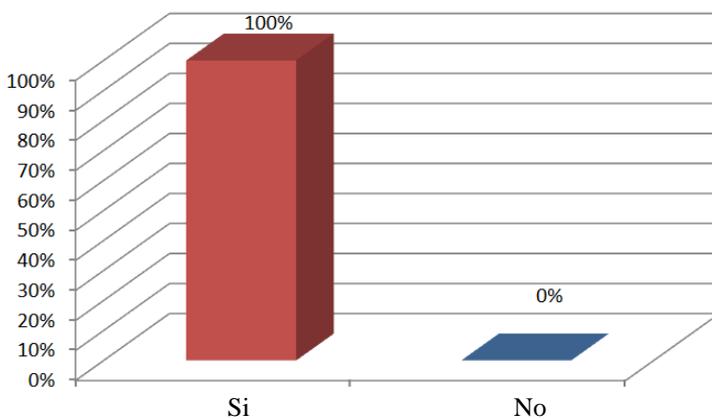


Figura 35. Prevención de defectos de soldadores sin categoría.

La tercera pregunta del tercer cuestionario: ¿el soldador debe saber el reporte y todas las discontinuidades encontradas? los resultados se observan en la tabla 10.

Tabla 10

Conocimiento de defectos como soldador sin categoría.

Niveles	Frecuencia	%
Si	5	100 %
No	0	0 %
Total	5	100 %

En la tabla 10, se muestra los resultados de los soldadores sin categoría 6G, el 100% afirma, que el soldador debe saber la integridad del reporte total y todas las discontinuidades encontradas. Ver figura 36.

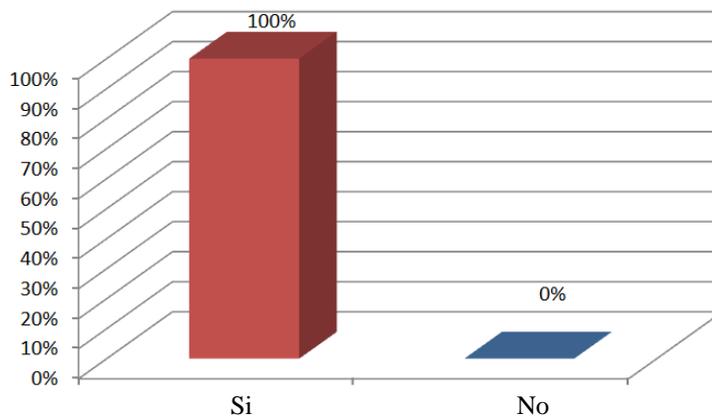


Figura 36. Conocimiento de defectos como soldador sin categoría.

Cabe resaltar que el desarrollo de las entrevistas, realizadas a los soldadores con categoría 6G y sin categoría 6G, tomando como base su amplia experiencia profesional, nos resultó muy beneficiosa, ya que al interactuar pudimos acercarnos a conocer por completo la dimensión de la soldadura además de conocer los defectos y los pasos para realizar el soldeo de una junta de tubería, por ello esta etapa se

considera primordialmente como la más resaltante para el desarrollo de esta investigación, ya que nos fue útil, el análisis y la interpretación de los resultados de dichas entrevistas.

Además, el dialogo con los soldadores profesionales, nos ha permitido identificar las causas que generan los defectos en la soldadura, así como también, conocer la incidencia y frecuencia de los defectos, durante su experiencia como soldador.

Teniendo como objetivos: la reducción de los defectos en las juntas soldadas, la identificación de causas y la optimización de los procedimientos de soldadura, es por ello que fue necesario utilizar la información obtenida en las entrevistas para el diseño y el desarrollo de las acciones correctas del procedimiento de reducción de defectos.

4.1.2. Análisis e interpretación de reportes de ensayo sin procedimiento

Los datos obtenidos de los reportes radiográficos realizadas a las juntas soldadas en tuberías y accesorios del proyecto modernización de Talara; se utilizó el código de construcción ASME B31.3, y el método de ensayo radiográfico, para la inspección de soldaduras, como se muestra en el apéndice I.

En el análisis de reportes se mostrará en la tabla 11, las diversas discontinuidades que se han encontrado y se detallan en los reportes radiográficos, son los siguientes:

- RT-FW-S-01553 /J-18, nos muestra un P (poros).
- RT-FW-S-01609 /J-5, nos muestra un P (poros).
- RT-FW-S-01699 /J-13R, nos muestra una LF (falta de fusión).
- RT-FW-S-01897 /J-6C, nos muestra una LF (falta de fusión), un P (poros).
- RT-FW-S-02177 /J-12, nos muestra una LF (falta de fusión), dos P (poros).
- RT-FW-S-02130 /J-1, nos muestra una LF (falta de fusión), dos P (poros).
- RT-FW-S-02197 /J-3, nos muestra una IR (indicación redondeada).
- RT-FW-S-02306 /J-11, nos muestra un P (poros), una TI (inclusión tungsteno).
- RT-FW-S-02340 /J-6, nos muestra tres P (poros).
- RT-FW-S-02303 /J-24C, nos muestra dos P (poros), una RC (concavidad raíz).

Tabla 11

Resultado de 10 reportes de ensayos radiográficos sin procedimiento.

Reportes	Falta fusión (LF)	Poros (P)	Indicación redondeada (IR)	Concavidad de raíz (RC)	Inclusión tungsteno (TI)	Total
RT-FW-S-01553 /J-18		1				1
RT-FW-S-01609 /J-5		1				1
RT-FW-S-01699/J-13R	1					1
RT-FW-S-01897 /J-6C	1	1				2
RT-FW-S-02177 /J-12	1	2				3
RT-FW-S-02130 /J-1	1	2				3
RT-FW-S-02197 /J-3			1			1
RT-FW-S-02306 /J-11		1			1	2
RT-FW-S-02340 /J-6		3				3
RT-FW-S-02303 /J-24C		2		1		3
Total	4	13	1	1	1	20

En la tabla 11, se muestra los resultados de discontinuidades encontrados en los 10 reportes radiográficos sin procedimiento: 20 defectos, de los cuales; 13 defectos con poros (P), cuatro defectos con falta de fusión (LF), un defecto con indicación redondeada (IR), un defecto de concavidad de raíz (RC), y un defecto con inclusión de tungsteno (TI). Ver figura 37.

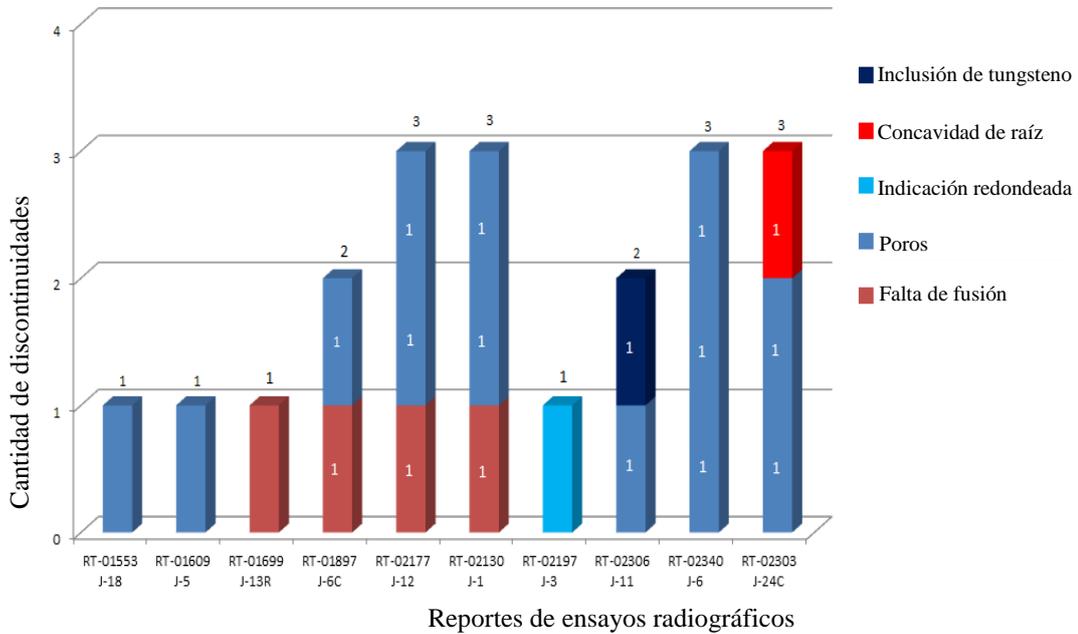


Figura 37. Reportes radiográficos sin procedimiento.

Tabulamos, la frecuencia de las discontinuidades encontradas. Ver tabla 12.

Tabla 12

Frecuencia de defectos en ensayos radiográficos sin procedimiento.

Defectos	Frecuencia
Falta de fusión	4
Poros	13
Indicación redondeada	1
Concavidad de raíz	1
Inclusión de tungsteno	1
Indicación alargada	0
Total	20

En la tabla 12, se muestra la frecuencia de defectos de los 10 reportes radiográficos sin procedimiento, dando un resultado total de 20 defectos, 13 defectos con poros (P), cuatro defectos con falta de fusión (LF), un defecto con Indicación redondeada (IR), un defecto de concavidad de raíz (RC), y un defecto con inclusión de tungsteno (TI). Ver figura 38.

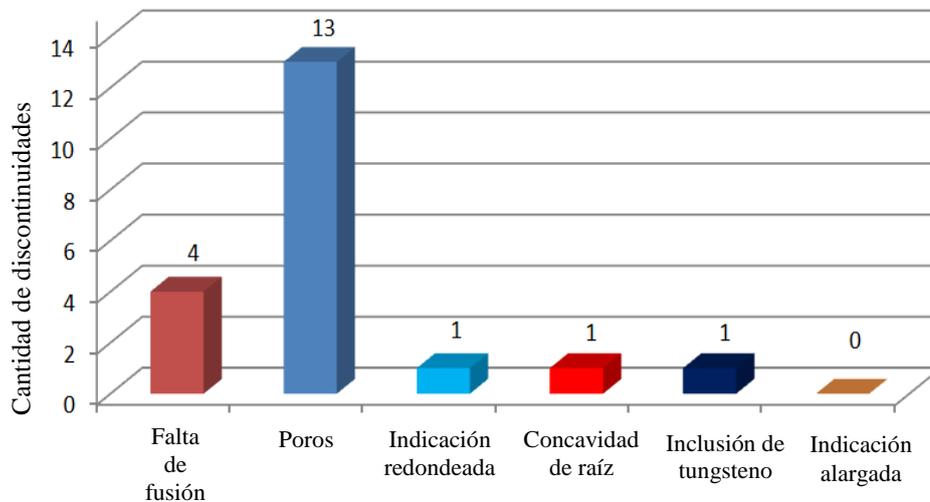


Figura 38. Frecuencia de defectos en ensayos radiográficos sin procedimiento.

4.1.3. Análisis e interpretación de resultados de ensayos con procedimiento.

Este procedimiento de reducción fue utilizado por los soldadores 6G, para mejorar los resultados mostrados en la tabla 10, en la cual, los reportes de ensayos de juntas de soldadura presentaron defectos y por lo tanto rechazos, posterior a ello y con el propósito de alcanzar el objetivo principal, realizamos el soldeo de 10 juntas de tuberías, dirigido con el procedimiento de reducción desarrollado en este trabajo de investigación, teniendo como resultado la reducción total de los defectos de soldadura, este resultado se evidencia con el reporte de ensayos radiográficos presentados en el apéndice J.

En el análisis de los reportes de ensayos radiográficos, se observan, discontinuidades, estas discontinuidades, han sido analizadas y evaluadas, según los criterios de aceptación de soldaduras y bajo los criterios de valor de los límites aceptables, permisibles del código estándar, ASME B31.3, mostrado en el apéndice C y D.

Los 10 reportes de ensayos realizados a 10 juntas soldadas con el procedimiento de reducción, son los siguientes:

- RT-FW-S-01553 /J-19, ninguno.
- RT-FW-S-01610 /J-2, ninguno.
- RT-FW-S-01700 /J-13R, muestra dos P (poros).
- RT-FW-S-01893 /J-2C, ninguno.
- RT-FW-S-02175 /J-10, muestra una RI (indicación redondeada), dos P (Poros).
- RT-FW-S-02335 /J-14, muestra una EI (indicación Alargada).
- RT-FW-S-02196 /J-7, muestra un P (poros).
- RT-FW-S-02263 /J-8, ninguno.
- RT-FW-S-02302 /J-20, muestra un P (poros), una TI (inclusión de Tungsteno).
- RT-FW-S-02340 /J-4, nos muestra un P (poros).

Tabla 13

Resultado de 10 reportes de ensayos radiográficos con procedimiento.

Reportes	Falta fusión (LF)	Poros (P)	Indicación redondeada (IR)	Concavidad de raíz (RC)	Inclusión tungsteno (TI)	Indicación alargada (EI)	Total
RT-FW-S-01553 /J-19							0
RT-FW-S-01610 /J-2							0
RT-FW-S-01700/J-13R		2					2
RT-FW-S-01893 /J-2C							0
RT-FW-S-02175 /J-10		2	1				3
RT-FW-S-02335 /J-14						1	1
RT-FW-S-02196 /J-7		1					1
RT-FW-S-02263 /J-8							0
RT-FW-S-02302 /J-20		1			1		2
RT-FW-S-02340 /J-4		1					1
Total	0	7	1	0	1	1	10

En la tabla 13, se muestra los resultados de los 10 reportes radiográficos con procedimiento de reducción, obteniéndose: 10 discontinuidades aceptadas, de los

cuales; siete poros (P), una indicación redondeada (IR), y una inclusión de tungsteno (TI), una indicación alargada (EI). Ver figura 39.

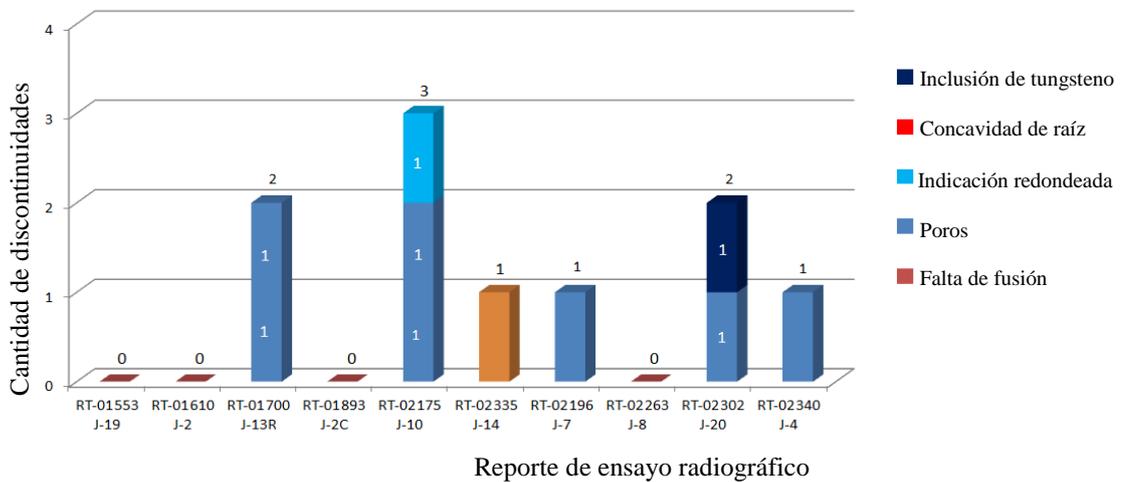


Figura 39. Resultado de reportes radiográficos con procedimiento.

Tabulamos, la frecuencia de las discontinuidades encontradas en la tabla anterior, y lo detallamos en la tabla 14.

Tabla 14

Frecuencia de discontinuidades en ensayos radiográficos con procedimiento.

Discontinuidades	Frecuencia
Poros	7
Indicación alargada	1
Inclusión de tungsteno	1
Indicación redondeada	1
Total	10

En la tabla 14, se muestra la frecuencia de discontinuidades encontradas en los ensayos radiográficos con procedimiento, realizados a 10 juntas de soldadura, las cuales muestran un resultado total de 10 discontinuidades: siete con poros (P), una con indicación alargada (EI), una con inclusión de tungsteno (TI), una con indicación redondeada (IR). Ver figura 40.

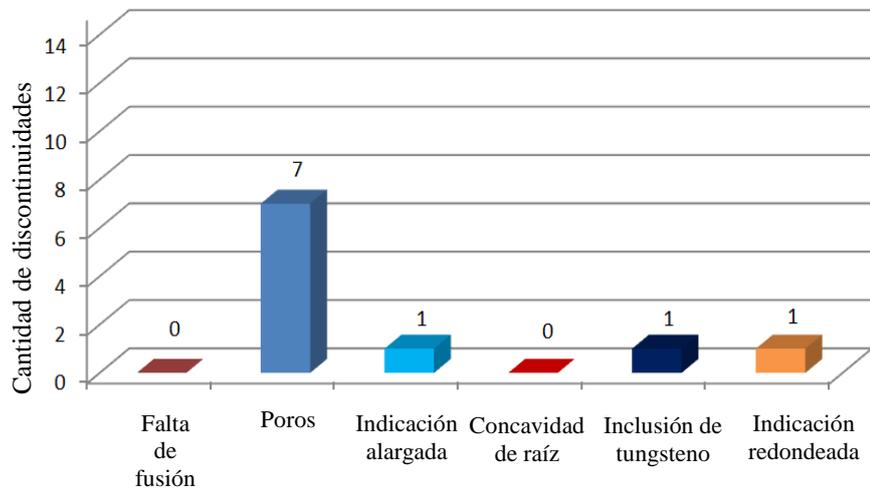


Figura 40. Frecuencia de discontinuidades en ensayos radiográficos aceptados.

4.1.4. Comparación de reportes de ensayos radiográficos con procedimiento y sin procedimiento

La comparación de los reportes de ensayos radiográficos: con procedimiento y sin procedimiento, mostrados en sus respectivas tablas, pudimos obtener los resultados de las discontinuidades en cada grupo y la detallamos en la tabla 15.

Tabla 15

Comparación de reportes de ensayos radiográficos.

Reportes	Falta de fusión (LF)	Poros (P)	Indicación redondeada (IR)	Concavidad de raíz (RC)	Inclusión de tungsteno (TI)	Indicación alargada (EI)	Total
Sin procedimiento	4	13	1	1	1	0	20
Con procedimiento	0	7	1	0	1	1	10

En la tabla 15, se muestran los resultados de la comparación entre los reportes sin procedimiento y con procedimiento, las cuales nos indica una reducción de las discontinuidades. Ver figura 41.

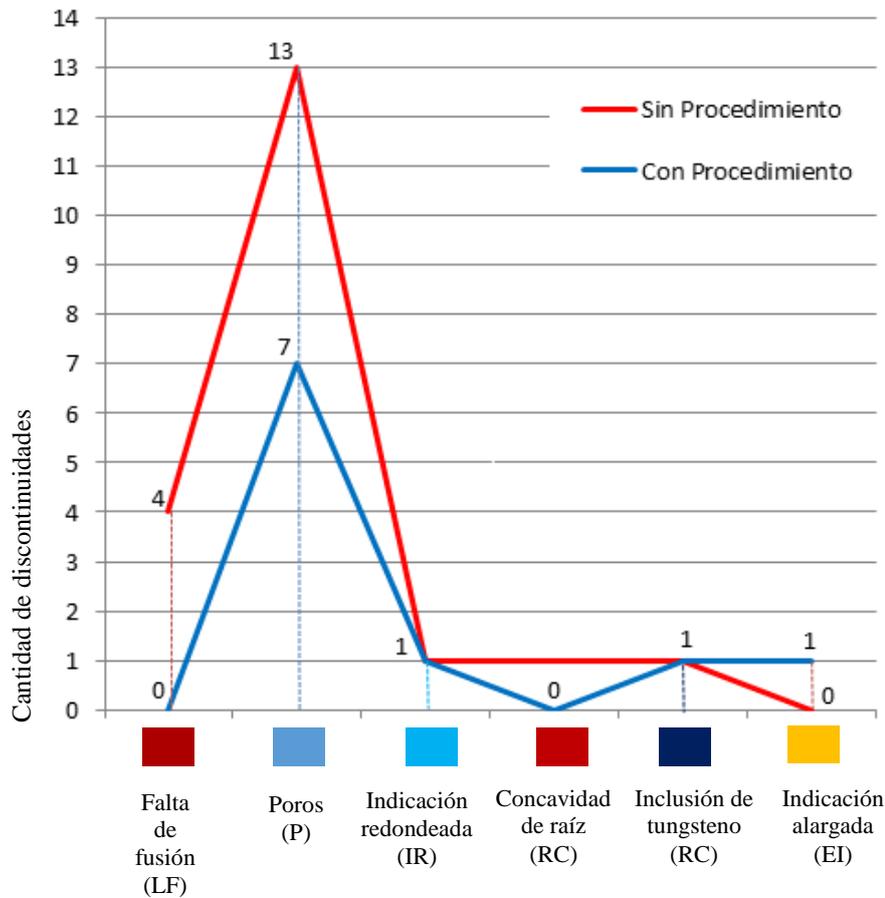


Figura 41. Comparación de reportes de ensayos radiográficos.

4.2. Contrastación de hipótesis

En cuanto a la prueba de hipótesis, Es posible reducir los defectos en la soldadura, estableciendo un procedimiento detallado que garanticen, la optimización de la unión soldada en sistemas de tuberías.

Las hipótesis específicas:

- Es posible reducir las causas que originan, los defectos en el soldeo de sistemas de tuberías.
- Es factible establecer procedimientos efectivos para optimizar la unión soldada en sistemas de tuberías.

Tomamos en cuenta que las hipótesis mencionadas están relacionadas y entrelazadas por lo tanto se consideró, que al reducir los defectos de soldadura, también se reduce las causas que originan defectos de soldadura y se optimiza la unión soldada con el procedimiento de reducción desarrollado y empleado en este trabajo de investigación. A través de la prueba T para medias de dos muestras emparejadas, evaluaremos los dos grupos de reportes ensayados, y lo presentamos de la siguiente manera:

Tabla 16

Comparación de dos grupos de reportes de ensayos radiográficos.

Reportes sin procedimiento	Cantidad de discontinuidades	Reportes con procedimiento	Cantidad de discontinuidades
RT-FW-S-01553 /J-18	1	RT-FW-S-01553 /J-19	0
RT-FW-S-01609 /J-5	1	RT-FW-S-01610 /J-2	0
RT-FW-S-01699 /J-13R	1	RT-FW-S-01700 /J-13R	2
RT-FW-S-01897 /J-6C	2	RT-FW-S-01893 /J-2C	0
RT-FW-S-02177 /J-12	3	RT-FW-S-02175 /J-10	3
RT-FW-S-02130 /J-1	3	RT-FW-S-02335 /J-14	1
RT-FW-S-02197 /J-3	1	RT-FW-S-02196 /J-7	1
RT-FW-S-02306 /J-11	2	RT-FW-S-02263 /J-8	0
RT-FW-S-02340 /J-6	3	RT-FW-S-02302 /J-20	2
RT-FW-S-02303 /J-24C	3	RT-FW-S-02340 /J-4	1
Total de discontinuidades	20		10

En la tabla 16, se muestra los resultados de la comparación entre dos grupos de reportes de ensayo radiográfico; sin procedimiento y con procedimiento, de las cuales se observa que, 20 discontinuidades sin procedimiento son rechazadas, y 10 discontinuidades con procedimiento de reducción son aceptadas. A través de la

prueba de T, evaluaremos estos dos grupos de reportes de ensayos radiográficos, sin procedimiento y con procedimiento de reducción, tal como lo detallamos en la tabla 17.

Tabla 17

Prueba de T.

	Sin procedimiento	Con procedimiento
Media	2	1
Varianza	0,888888889	1,111111111
Observaciones	10	10
Coeficiente de correlación de pearson	0,447213595	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	9	
Estadístico t	3	
P(T<=t) dos colas	0,014956364	
Valor critico de t (dos colas)	2,262157163	

La proposición de las hipótesis en este trabajo de investigación, para estos dos grupos de reportes de ensayo radiográfico, tenemos:

La hipótesis nula $H_0 = \text{No}$, es posible reducir los defectos en la soldadura, con un procedimiento detallado que garanticen, la optimización de la unión soldada en sistemas de tuberías.

La hipótesis alternativa $H_1 = \text{Si}$, es posible reducir los defectos en la soldadura, con un procedimiento detallado que garanticen, la optimización de la unión soldada en sistemas de tuberías.

Por lo tanto el error de significancia:

$$\alpha = 0,05$$

El criterio para la prueba de hipótesis:

$$P \geq \alpha \text{ acepta } H_0 \dots\dots\dots [\text{Ecuación 1}]$$

Dónde:

P = probabilidad de error

α = error de significancia

H_0 = hipótesis nula

$$P < 0,05 \text{ acepta } H_1 \dots\dots\dots [\text{Ecuación 2}]$$

Dónde:

P = probabilidad de error

α = error de significancia

H_1 = hipótesis alternativa

Entonces los valores siguientes lo extraemos de la tabla 17, según la prueba de T.

$$P = 0,014$$

$$P \geq \alpha \text{ acepta } H_0$$

$$0,014 \geq 0,05 \text{ no aplica.}$$

$$P < 0,05 \text{ acepta } H_1$$

$$0,014 < 0,05$$

Por lo tanto según esta operación; se rechaza H_0 y se acepta H_1 .

Siendo, la hipótesis alternativa (H_1), donde se afirma que: si, es posible reducir los defectos en la soldadura, con un procedimiento detallado que garanticen, la optimización de la unión soldada en sistemas de tuberías.

4.3. Discusión de resultados

Según Luna (2015), donde afirma que es importante seleccionar los consumibles adecuados, considerando las propiedades de resistencia y composición de los metales. De la misma forma, en este trabajo de investigación se ratifica lo mencionado por el señor Luna, pero además de realizar una adecuada selección es muy importante la conservación de los consumibles que se utiliza para la ejecución de la soldadura en las juntas de tuberías, ya que, mantenerlos en buen estado, permite, un buen desenvolvimiento, garantizando excelentes resultados, estas acciones están detallados en el procedimiento de reducción de defectos, que presenta este trabajo de investigación.

Lo investigado por Caisaguano (2013), donde afirma que el entendimiento adecuado del código de construcción para soldaduras, y la habilidad de manejar las normas, se obtiene resultados confiables, efectivamente, es muy importante para la obtención de soldaduras de calidad, conocer, comprender, y manejar adecuadamente, los procedimientos de soldadura.

Según la información obtenida, en las entrevistas realizadas a profesionales soldadores, detallados en la tabla 5, ellos afirman que una de las causales para la generación de defectos, son los factores personales, la misma tabla muestra que los factores por procedimiento, no son causas para la generación de defectos, pero, la ausencia de procedimientos de soldadura específicos, para desarrollar soldaduras en tuberías, y procedimientos que detallan paso a paso, la forma correcta de realizar soldaduras de tuberías sin defectos, es desconocida,

Por lo tanto esta condición, permite el desconocimiento, la falta de dirección, y el incremento de los registros de rechazos por defectos de soldaduras.

Espejo (2016), investigo, la aplicación de los procesos de soldadura SMAW y el proceso de soldadura GTAW, la combinación de ellos, mejora la soldadura de tuberías, lo que se ratifica y se recomienda, de la misma forma, el empleo de estos dos procesos de soldadura garantizan los resultados en los procesos de soldadura.

Así mismo, existe vulnerabilidad, cuando de soldadura con el proceso SMAW, se refiere; ya que los materiales consumibles para este proceso, requiere consumibles adecuados, de no ser así, ocasionaría la aparición de discontinuidades, como se evidencia en la tabla 15, por lo tanto este proceso necesita, un control adecuado y apropiado para la conservación de los materiales consumibles.

Peralta (2010), señala que los procedimientos de soldadura, ofrece de calidad en la soldadura; efectivamente se necesita de los procedimientos, para direccionar la soldadura, y que mejor saber los procedimientos específicos para desarrollar soldaduras de tuberías, lo que permite de esta manera una correcta y adecuada forma de ejecutar la soldadura y evitar los defectos.

Como podemos apreciar, este trabajo de investigación establece, recomendaciones puntuales, para mejorar los procedimientos de soldadura.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Primera. La soldadura de tuberías está comprendida por los recursos materiales de mejor calidad y la destreza del ser humano; entonces estos defectos; según nuestra investigación; y por medio de la entrevista realizada a 10 soldadores en desempeño; el 100 % de estos; aseguran que, si se puede reducir los defectos, y con la aplicación de los procedimientos de reducción. Pudimos reducir eficazmente los defectos en las juntas soldadas.

Segunda. En la identificación de las causas que originan, los defectos en el soldeo de juntas en los sistemas de tuberías, cabe señalar que los ensayos realizados en las juntas soldadas de los 10 profesionales soldadores, materia de este trabajo, nos señalan que solo comunican al soldador cuando hay rechazo de la junta, mas no el reporte total de las juntas ensayadas, dando consigo el desconocimiento total sobre la junta soldada y ensayada. El testimonio recogido y el análisis de los ensayos nos revelan que las causas son productos de malas acciones y prácticas, que al final

terminan con índices de rechazos como se muestra en la tabla 12, defectos de poros y falta de fusión, por lo tanto, la corrección de éstas, traerá consigo la reducción de los defectos de soldadura.

Tercera. Establecer procedimientos efectivos de soldadura para reducir los defectos y optimizar la junta soldada en sistemas de tuberías, se planteó como objetivo principal reducirlo y se logró mediante el desarrollo de un procedimiento de reducción de defectos, diseñado desarrollado y detallado para soldadura de tuberías de acero al carbono, que, utilizándolo correctamente, siguiendo ordenadamente paso a paso la secuencia recomendada, se logro, de manera efectiva, reducir los defectos en las juntas soldadas, prueba de ello, está contemplado en la tabla 14, este procedimiento de reducción de defectos, nos ha garantizado la obtención de una soldadura de calidad y la optimización en el proceso de soldeo. Además, los reportes mostrados como prueba en la tabla 13, en los ensayos de soldadura son el resultado obtenido de la aplicación de este procedimiento, logrando de esta manera alcanzar los objetivos y reducir los defectos.

5.2. Recomendaciones

Primera. Recomendamos; que los soldadores al cumplir los procedimientos de soldadura siguiendo los pasos adecuados para el soldeo de juntas de tuberías, se reducirían en gran medida todos los defectos de soldadura.

Además de adquirir una competencia más, que le permita sostener una postura apropiada, cuando tenga que calificar la junta a soldar.

Segunda. Identificar y analizar las causas que han sido materia de investigación, sugerimos que los reportes de los ensayos de las juntas soldadas sean entregados una copia a los soldadores, para una posterior corrección. Por lo tanto, recomendamos que se deba de brindar toda la información del reporte de ensayos no destructivos realizados a la junta soldada.

Tercera. La aplicación correcta sin obviar ningún detalle, del procedimiento detallado para reducir defectos en soldadura, nos garantiza la obtención de soldaduras de calidad conforme a los estándares exigidos según ASME B31.3. Además, de capacitarse y auto educarse sobre los últimos avances de la tecnología en procedimiento y de soldadura de tuberías.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Petroleum Institute 5L. (2004). *Specification for line pipe*. Washington, USA.
- American Petroleum Institute 1104. (2005). *Welding of pipelines and related facilities*. Washington, USA.
- American Society Mechanical Engineers B31.3. (2010). *Process piping*. New York, USA.
- American Society Mechanical Engineers IX. (1998). *Qualification standard for welding*. New York, USA.
- American Society Mechanical Engineers V. (2005). *Ensayos no destructivos*. Miami, USA.
- American Society Test Material E94. (2000). *Standard Guide for Radiographic Examination*. New York, USA.
- American Welding Society A3.O. (1994). *Términos y definiciones de soldadura estándar*. Miami, USA.
- Caisaguano, D. (2013). *Desarrollo de procedimientos de soldadura, calificaciones de soldadura y control de calidad de estructuras soldadas de acuerdo a AWS D1.1* (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Endicsa. (2011). *Radiografía industrial*. Recuperado de: <http://www.endicsa.com>
- Espejo, J. (2016). *Mejora de la soldadura en tuberías enterradas mediante la aplicación del proceso GTAW/SMAW de la línea contra incendio proyecto Toromocho* (Tesis de pregrado). U.N. del Centro, Huancayo, Perú.

- Faramarzi, F. (2011). *Image processing for radiographic films of weld inspection*.
Recuperado de: <http://www.semanticscholar.org>.
- Luna, R. (2015). *Evaluación del procedimiento de soldadura de la unión disímil entre aceros API 5Lx70 PSL1 y ASTM A707 L5 F65*. (Tesis de pregrado)
Pontificia Universidad Católica, Lima, Perú.
- Melgarejo, M. (2013). Determinación de las causas de falla en la ZAC de un acero ASTM A36 soldado por proceso SMAW. *Revista INGECUC, vol. 9*. Boyaca, Colombia.
- Nayyar, M. (2000). *Piping handbook*. New York, USA.
- O'Brien, R. (1996). *Welding handbook*. Miami, USA.
- Peralta, C. (2010). *Especificaciones de procedimientos e inspección de soldaduras en la fabricación de virolas para pilotes de un puente aplicando el código AASTHO/AWS D1.5*, (Tesis de pregrado). Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
- Rodríguez, O. (2013). *Metalurgia de la soldadura*. La Habana, Cuba.
- Valencia, A. (1992). *Tecnología del tratamiento térmico de los metales*. Universidad de Antioquia, Colombia.
- Villamil, O. (2017). *Líquidos penetrantes*. Recuperado de: <http://www.imaingenieria.com>.