

UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



TESIS

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA E INSPECCION SEGÚN NORMA API 1104 EN DUCTOS QUE CONDUCEN HIDROCARBUROS PARA LOGRAR UNIONES SOLDADAS DE CALIDAD EN LAS OBRAS DE LA EMPRESA PETROPARIÑAS E.I.R.L. TALARA.

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO INDUSTRIAL

AUTOR

BACH. SMIT RAÚL CHANDUVÍ SILUPÚ

ASESOR

MSC. MARIO ROBERTO SEMINARIO ATARAMA

PIURA – PERÚ

2013

DEDICATORIA

A Dios

Por darme la oportunidad de desarrollarme en mis estudios, en mis actividades laborales y en mi vida familiar llevando a cabo un objetivo tan importante en mi vida como lo es la conclusión de mis estudios universitarios y sustento del presente proyecto para obtener mi título profesional.

A mi esposa e hijo

Por estar a mi lado en los momentos buenos y no tan buenos, por las palabras de ánimo en los momentos complicados y sobre todo por construir a mi lado una familia con nuestro hijo y todos los valores e ideales anhelados.

Por ser la razón de mi existencia y superación.

A mis padres

Por el apoyo constante, por los valores inculcados y brindarme la oportunidad de desarrollarme profesionalmente.

AGRADECIMIENTO

A MIS ASESORES

Por su valiosa colaboración y atención al desarrollo de la presente tesis.

AL PERSONAL DE PETROPARIÑAS E.I.R.L.

Tanto a la alta dirección como personal profesional, técnico y operaciones por su valiosa colaboración y apoyo para el desarrollo del presente trabajo de tesis.

PRESENTACIÓN

De acuerdo con el CAPÍTULO II del ARTÍCULO 15° del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo – Piura y el de la Escuela Profesional de Ingeniería Industrial, de optar el grado de Ingeniero Industrial.

Se realizó la ceremonia pública de sustentación de la tesis titulada

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA E INSPECCION SEGÚN NORMA API 1104 EN DUCTOS QUE CONDUCEN HIDROCARBUROS PARA LOGRAR UNIONES SOLDADAS DE CALIDAD EN LAS OBRAS DE LA EMPRESA PETROPARIÑAS E.I.R.L. TALARA.

Tesis aprobada por el jurado integrado por: MSc. Fernando Madrid Guevara, Presidente; Lic. Carlos Raymundo García, Secretario; Ing. Raúl Alfonso Otero Arrunátegui, Vocal, Abril 2013. Autor: Smit Raúl Chanduví Silupú. Asesor metodólogo Ing. Miguel Gerardo Espinoza Roa, Asesor especialista Ing. Mario Seminario Atarama.



SECRETARIO



VOCAL



PRESIDENTE

ÍNDICE

	Página
Dedicatoria _____	ii
Agradecimiento _____	iii
Presentación _____	iv
RESUMEN _____	xii
ABSTRACT _____	xiii
INTRODUCCIÓN _____	xiv
CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	
1.1. Realidad problemática _____	1
1.2. Formulación del problema _____	2
1.3. Justificación _____	3
1.4. Antecedentes _____	4
1.5. Objetivos _____	7
1.5.1. General	
1.5.2. Específicos	
CAPÍTULO II: MARCO REFERENCIAL	
2.1. Marco teórico _____	8
2.1.1. Soldadura _____	8
2.1.1.1. Clasificaciones de los tipos de soldadura. _____	8
2.1.1.2. Material base. _____	13
2.1.1.3. Material de aporte. _____	16
2.1.1.4. Equipos de soldadura. _____	19
2.1.1.5. Preparación y condiciones de soldeo de junta. _____	23
2.1.2. Discontinuidades y defectos. _____	32
2.1.3. Soldadura de calidad _____	34
2.1.3.1. Factores que influyen en la calidad de una unión soldada. _____	35
2.1.3.2. Protagonistas de la gestión de calidad de las soldaduras. _____	36
2.1.3.3. Las funciones de un inspector. _____	37
2.1.3.4. Inspección de construcciones soldadas. _____	39
2.1.3.5. Variables en inspección de soldaduras. _____	41
2.1.3.6. Normas internacionales americanas que intervienen en la construcción de ductos de hidrocarburos. _____	42
2.1.4. Norma API 1104 _____	43
2.1.4.1. Definiciones. _____	43
2.1.4.2. Variables esenciales que regula API 1104 _____	45
2.1.4.3. Calificación de soldadores según API 1104. _____	55
2.1.4.4. Parámetros y criterios de aceptación en inspección visual de soldaduras por norma API 1104 _____	58
2.1.5. Procedimiento específico de soldadura y calificación de soldadores _____	62
2.1.5.1. Procedimiento específico de soldadura (WPS) _____	62
2.1.5.2. Calificación de procedimiento específico (PQR) _____	65
2.1.5.2.1. Variables que intervienen en la calificación del procedimiento de soldadura. _____	66
2.1.5.2.2. Ensayos destructivos o ensayos mecánicos. _____	67
2.1.5.2.2.1. Trazabilidad, corte y mecanizado de probetas. _____	67

2.1.5.2.2.2. Tipos de ensayos mecánicos practicados en uniones soldadas según Norma API 1104.	68
2.1.5.3. Calificación de soldadores (WPQ).	72
2.1.6. Ensayos no destructivos	76
2.1.6.1. Inspección visual.	77
2.1.6.2. Procedimiento de Inspección visual.	78
2.1.6.3. Inspección radiográfica.	79
2.1.7. Procedimiento de soldadura para líneas de transporte de hidrocarburos en campo	80
2.1.8. Elaboración de informes y documentación final.	82
2.1.9. La necesidad de la inspección.	82
2.1.10. Petropariñas E.I.R.L.	
2.1.10.1. Breve reseña histórica.	84
2.1.10.2. Misión – Visión.	85
2.1.10.3. Principios Organizacionales.	85
2.1.10.4. Estructura orgánica.	86
2.2. Marco conceptual	
2.2.1. Soldadura de calidad.	87
2.2.2. Especificaciones de procedimientos de soldadura según la Norma API 1104.	87
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	
3.1. Hipótesis	87
3.2. Variables	88
3.2.1. Definición conceptual	89
3.2.2. Definición operacional	89
3.3. Metodología	91
3.3.1. Tipo de estudio	91
3.3.2. Diseño	91
3.4. Población, muestra y muestreo	92
3.5. Método de investigación	93
3.5.1. Método Básico	93
3.5.2. Método de ingeniería	93
3.5.2.1. Elaboración e implementación de procedimiento específico de soldadura WPS - PP-011-11 según Norma API 1104.	
A. Identificación de las características físicas y ambientales a las que Estarán sometidas las uniones soldadas.	93
B. Identificación y selección de las características del material base y material de aporte para el proceso de soldadura requerido.	95
C. Identificación de los parámetros medibles, en las variables esenciales de soldadura, para establecer su control durante el proceso.	95
D. Elección de soldadores calificados y homologación.	101
E. Ejecución de ensayos destructivos y no destructivos para comprobar la calidad de las soldaduras.	101
3.5.2.2. Elaboración e implementación del procedimiento de soldadura para líneas de transporte de hidrocarburos en campo según Norma API1104.	
A. Análisis de las variables esenciales de soldadura para establecer parámetros de control del proceso.	102

B. Análisis de cláusulas técnicas de proyecto y especificaciones técnicas en inspección de soldaduras, según Norma API 1104, para determinar el proceso de inspección. _____	103
3.5.2.3. Elaboración e implementación del procedimiento de inspección visual de soldaduras según Norma API 1104.	
A. Establecer los parámetros medibles para identificar las discontinuidades y defectos durante la inspección visual. _____	104
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos. _____	104
3.7. Validación y confiabilidad del instrumento. _____	105
3.8. Métodos de análisis de datos. _____	105
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	
4.1. Descripción de resultados _____	106
4.1.1. Control de las variables esenciales previas a la operación en líneas de transporte de hidrocarburos mediante el uso de un procedimiento específico de soldadura _____	106
4.1.2. Control de las variables esenciales de soldadura en el campo por el inspector de soldadura mediante el uso de un procedimiento de soldadura para líneas de transporte de hidrocarburos. _____	112
4.1.3. Las uniones soldadas cumplen con los criterios de aceptación establecidos en las especificaciones mediante el uso de un procedimiento de Inspección visual. _____	117
4.2. Contrastación de hipótesis. _____	126
4.3. Discusión de resultados. _____	127
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
Conclusiones. _____	128
Recomendaciones. _____	128
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS _____	130

ANEXOS

- Anexo 1:** Tablas de dimensiones y características de tuberías.
Anexo 2: Hojas técnicas de electrodos de soldadura empleados durante trabajos de obra Petroparriñas E.I.R.L.
Anexo 3: Defectología en soldaduras.
Anexo 4: Formato de procedimiento específico de soldadura WPS - PP-011-11.
Anexo 5: Formato de PQR – Calificación de procedimiento específico WPS - PP-011-11.
Anexo 6: Formato de WPQ – Calificación de soldadores.
Anexo 7: Formato de registro de variables de soldadura para líneas de transporte de hidrocarburos.
Anexo 8: Formato de registro de inspección visual de soldaduras
Anexo 9: Procedimiento específico de soldadura WPS - PP-011-11.
Anexo 10: PQR - Registro de Calificación de Procedimiento WPS - PP-011-11.
Anexo 11: WPQ - Registro de calificación de soldadores.
Anexo 12: Procedimiento de soldadura para líneas de transporte de hidrocarburos API 1104
Anexo 13: Procedimiento de Inspección Visual de soldaduras API 1104.
Anexo 14: Registros de variables de soldadura en campo - Muestra 1: Juntas soldadas durante Semana 1 y 2 en Proyecto 1.
Anexo 15: Registros de variables de soldadura en campo - Muestra 2: Juntas soldadas durante Semana 3 y 4 en Proyecto 1.
Anexo 16: Registros de variables de soldadura en campo - Muestra 3: Juntas soldadas durante Semana 15 y 16 en Proyecto 1.
Anexo 17: Registros de variables de soldadura en campo - Muestra 4: Juntas soldadas durante meses de febrero, marzo y abril en Proyecto 2.
Anexo 18: Registros de inspección visual de soldaduras en campo - Muestra 1: Juntas soldadas durante Semana 1 y 2 en Proyecto 1.
Anexo 19: Registros de inspección visual de soldaduras en campo - Muestra 2: Juntas soldadas durante Semana 3 y 4 en Proyecto 1.
Anexo 20: Registros de inspección visual de soldaduras en campo - Muestra 3: Juntas soldadas durante Semana 15 y 16 en Proyecto 1.
Anexo 21: Registros de inspección visual de soldaduras en campo - Muestra 4: Juntas soldadas durante meses de febrero, marzo y abril en Proyecto 2.
Anexo 22: Clausulas técnicas de concurso privado de proyectos.
Anexo 23: Memoria descriptiva de Proyecto a ejecutar.
Anexo 24: Informe técnico de Inspección mediante ensayos no destructivos en soldaduras en campo.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Cantidad de juntas rechazadas en inspecciones de investigación.	2
Tabla 2. Propiedades mecánicas y requerimientos químicos de los aceros	14
Tabla 3. Requerimientos químicos de los aceros PSL1.	15
Tabla 4. Requerimientos químicos de los aceros PSL2.	15
Tabla 5. Propiedades mecánicas y condiciones de mantenimiento de electrodos.	18
Tabla 6. Tipo de corriente para los electrodos.	21
Tabla 7. Escalas de amperaje y polaridad para electrodos.	22
Tabla 8. Grupo de material base según API 1104.	46
Tabla 9. Grupos de material base según API 1104 / ASME IX.	47
Tabla 10. Grupos de tuberías según diámetro, según API 1104.	47
Tabla 11. Grupos de tuberías según espesor, según API 1104.	48
Tabla 12. Grupos de metal de aporte, según API 1104.	49
Tabla 13. Grupos de materiales de aporte para calificación según ASME IX.	51
Tabla 14. Materiales de aporte y calificación.	52
Tabla 15. Parámetros de socavación en soldaduras.	59
Tabla 16. Parámetros de quemaduras de arco en soldaduras.	61
Tabla 17. Numero de muestras para ensayos destructivos según API 1104.	68
Tabla 18. Parámetros de material base empleados en obra.	102
Tabla 19. Verificación de variables esenciales en soldaduras de prueba.	106

Tabla 20. Resultados de ensayo de dobles guiado. _____	108
Tabla 21. Resultados de ensayo Nick Break. _____	108
Tabla 22. Resultados de ensayo de tracción. _____	108
Tabla 23. Verificación de parámetros o criterios de aceptación en soldaduras de prueba. ____	109
Tabla 24. Numero de juntas rechazadas por inspección de variables de soldadura. _____	112
Tabla 25. Verificación de variables esenciales en soldaduras de campo. _____	113
Tabla 26. Registro de variables de soldadura. _____	116
Tabla 27. Verificación de parámetros o criterios de aceptación en soldaduras de campo. ____	117
Tabla 28. Numero de juntas rechazadas por inspección visual. _____	118
Tabla 29. Numero de juntas rechazadas por inspección visual y radiográfica. _____	119
Tabla 30. Registro de Inspección visual de soldaduras API 1104. _____	122
Tabla 31. Registro de Inspección radiográfica de soldaduras. _____	123
Tabla 32. Registro de Prueba hidrostática realizada a ductos. _____	125

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Soldadura oxiacetilénica. _____	10
Figura 2. Soldadura por arco sumergido. _____	10
Figura 3. Soldadura TIG. _____	11
Figura 4. Soldadura MIG MAG. _____	11
Figura 5. Proceso de soldadura SMAW. _____	12
Figura 6. Nomenclatura de electrodos. _____	19
Figura 7. Grampa de alineamiento. _____	25
Figura 8. Partes de junta bisel. _____	26
Figura 9. Partes de junta bisel. _____	27
Figura 10. Ojo de cerradura en cordón de raíz. _____	28
Figura 11. Limpieza de escorias en soldaduras. _____	28
Figura 12. Pases en cordones de soldaduras. _____	29
Figura 13. Partes de junta terminada. _____	31
Figura 14. Partes de junta terminada. _____	31
Figura 15. Discontinuidades y defectos. _____	32
Figura 16. Movimientos de avance en soldaduras. _____	54
Figura 17. Especímenes de dobles transversal. _____	69
Figura 18. Especímenes de dobles longitudinal. _____	69
Figura 19. Doble guiado. _____	70
Figura 20. Doble enrollado. _____	70
Figura 21. Máquina de tracción y especímenes rectangulares y redondeados. _____	71
Figura 22. Diagrama esfuerzo – deformación. _____	71
Figura 23. Probetas de ensayo Nick Break. _____	72
Figura 24. Posiciones de soldadura. _____	74
Figura 25. Posiciones de soldadura en tubería. _____	75
Figura 26. Organigrama de la empresa Petropariñas E.I.R.L. _____	86
Figura 27. Diseño de junta según WPS calificado. _____	97
Figura 28. Tubería API 5L Gr B – PSL1 / A53 6"Ø sch 40. _____	107
Figura 29. Electrodo celulósicos. _____	107
Figura 30. Electrodo celulósicos. _____	107
Figura 31. Proceso de soldadura en prueba. _____	107
Figura 32. Proceso de soldadura en prueba. _____	107
Figura 33. Ensayo de dobles. _____	108
Figura 34. Ensayo de Nick Break. _____	108
Figura 35. Ensayo de tracción. _____	108
Figura 36. Registro de inspección visual de probetas. _____	110
Figura 37. Uniformidad de pases de soldadura y limpieza entre pases. _____	110
Figura 38. Penetración correcta de pase de raíz. _____	110
Figura 39. Junta soldada, codificada y aprobada según inspección visual. _____	111
Figura 40. Registro de inspección radiográfica de probetas. _____	111
Figura 41. Zona de trabajo – El Alto – Lote X. _____	114
Figura 42. Tubería – Metal base. _____	114

Figura 43. Electroodos celulósicos empleados.	114
Figura 44. Materiales consumibles.	114
Figura 45. Refrentado de tubería.	114
Figura 46. Inspección de bisel de tubería.	114
Figura 47. Inspección de espesor de tubería.	115
Figura 48. Apuntalado de junta.	115
Figura 49. Soldeo de pase raíz.	115
Figura 50. Penetración de pase raíz.	115
Figura 51. Temperatura entre pases.	115
Figura 52. Marcación de defectos.	115
Figura 53. Reparación de defectos.	116
Figura 54. Junta soldada culminada.	116
Figura 55. Junta eliminada por falta de penetración.	120
Figura 56. Junta rechazada por escoria lineal alargada.	120
Figura 57. Junta rechazada por quemadura en pase de raíz	120
Figura 58. Falta de limpieza entre pases.	120
Figura 59. Inspección visual de soldaduras, mediciones mediante galgas.	121
Figura 60. Inspección visual de soldaduras, mediciones mediante galgas.	121
Figura 61. Concavidad de 0.7 mm aprox.	121
Figura 62. Concavidad de 0.5 mm aprox.	121
Figura 63. Socavación excesiva 0.95 mm aprox.	121
Figura 64. Concavidad de 0.8 mm aprox.	121
Figura 65. Concavidad de 0.55 mm aprox.	122
Figura 66. Junta codificada y aprobada.	122
Figura 67. Radiografiado de juntas soldadas.	124
Figura 68. Radiografiado de juntas soldadas.	124
Figura 69. Prueba hidrostática realizada a ductos construidos.	124
Figura 70. Prueba hidrostática realizada a ductos construidos.	124
Figura 71. Charlas de inducción de calidad en soldaduras.	125
Figura 72. Supervisión Petrobras durante los trabajos de soldadura.	125