

**ESTUDIO DE TRAZABILIDAD Y CONTROL DE CALIDAD EN PREFABRICADO DE
ESTACIÓN COMPRESORA DE GAS EL JOBO**

**DIEGO FERNANDO ORDOÑEZ RODRÍGUEZ
JUAN CAMILO VELASCO GAMBA**

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD TECNOLÓGICA
PROYECTO CURRICULAR INGENIERÍA EN MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.
2016**

**ESTUDIO DE TRAZABILIDAD Y CONTROL DE CALIDAD EN PREFABRICADO DE
ESTACIÓN COMPRESORA DE GAS EL JOBO**

**DIEGO FERNANDO ORDOÑEZ RODRÍGUEZ
JUAN CAMILO VELASCO GAMBA**

PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

MAURICIO GONZÁLEZ COLMENARES

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD TECNOLÓGICA
PROYECTO CURRICULAR INGENIERÍA EN MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.
2016**

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Bogotá, 26 de Marzo de 2016

DEDICATORIA

Juan Camilo

Dedico éste trabajo en primera instancia a Dios por permitirme desarrollar mi talento para concluir los estudios de pregrado, a mis padres a quienes debo lo que soy y seré a lo largo de mi vida y a quienes en una u otra forma colaboraron.

Diego Fernando

Dedico este trabajo a mis padres, quienes me apoyaron incondicionalmente en cada etapa necesaria, para poder culminar mis estudios universitarios. Agradezco especialmente a mi madre quien, con su paciencia, su amor y comprensión hacían que cada día despertara con más ganas de luchar por todo esto.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer en primera instancia a Dios, por darnos no solo la vida sino también la salud e inteligencia necesaria para desarrollar nuestro talento y los medios necesarios para el cumplimiento del currículo académico.

A nuestros padres quienes no solo se desvelaron y sufrieron nuestros desconsuelos y tristezas sino compartieron a lo largo de nuestra vida nuestros triunfos y penalidades, además de sembrar en la formación moral y ética que han hecho de nosotros hombres de bien en la sociedad.

Finalmente, a la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y su cuerpo docente, por darnos la oportunidad de formar parte de ella a través de su comunidad educativa y por su dedicación y paciencia para llevarnos a concluir la primera etapa del ciclo académico proporcionándonos las bases para iniciar nuestra vida profesional.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
2. ANTECEDENTES.....	3
2.1. ELABORACIÓN DE UN PLAN DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD PARA LA FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE TUBERÍAS PARA UNA CENTRAL TURBO - GENERADORA DE 100MW	3
2.2. DOSSIER TÉCNICO INFORMACIÓN TÉCNICA SOBRE EQUIPOS PARA LÁMPARAS DE DESCARGA	3
2.3. ELABORACIÓN DE UNA GUÍA DE CONTROL DE CALIDAD DE SOLDADURAS PARA LA FABRICACIÓN DE PUENTES PEATONALES TIPO I.D.U, BASADA EN LAS ESPECIFICACIONES CONTRACTUALES	6
3. JUSTIFICACIÓN.....	9
4. OBJETIVOS.....	10
4.1. OBJETIVO GENERAL.....	10
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
5. MARCO TEÓRICO	11
5.1. EL CONTROL DE CALIDAD.....	11
5.2. SOLDADURA EN TUBERÍA DE ALTO RENDIMIENTO	14
5.2.1. <i>Estandarización de los procesos de soldadura</i>	15
5.2.2. <i>Documentos básicos para estandarizar un proceso de soldadura</i>	16
5.2.3. <i>WPS, Welding Procedure Specification</i>	17
5.2.4. <i>Registro de Calificación PQR</i>	19
5.2.5. <i>WPQ, Calificación de los Soldadores y Operarios</i>	20
5.3. PROCESOS DE SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO	21
5.3.1 Soldadura por arco de tungsteno con Gas GTAW	22
5.3.2 Soldadura por arco metálico protegido SMAW	23
5.3.2.1. <i>Electrodos revestidos</i>	24
5.3.3. <i>Soldadura de arco con deposición de material regulado (RMD)</i>	26
5.3.4. <i>Soldadura por arco con núcleo de fundente (FCAW)</i>	27
5.4 INSPECCIÓN	28

5.4.1	<i>Modalidades de Inspección</i>	29
5.4.2	<i>La Inspección por Muestreo</i>	30
5.5	RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL	31
5.5.1	<i>Ventajas</i>	32
5.5.2	<i>Desventajas</i>	33
5.5.3	<i>Procedimiento de Inspección</i>	33
5.5.4	<i>Laboratorio de Radiaciones Nucleares Gammagrafía Industrial</i>	34
5.6	LÍQUIDOS PENETRANTES	35
5.6.1	<i>Ventajas Generales del Ensayo de Líquidos Penetrantes</i>	36
5.6.2	<i>Limitaciones generales del Ensayo de Líquidos Penetrantes</i>	37
5.7	RECUBRIMIENTOS*	37
5.7.1	<i>Procedimiento de limpieza y preparación de superficie de acero</i>	37
5.7.2	<i>Aplicación de Recubrimientos</i>	39
5.8	PRUEBA HIDROSTÁTICA	40
5.8.1	<i>Desarrollo de Prueba</i>	40
6.	DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA	42
6.1	ESTACIÓN COMPRESORA EL JOBO	42
6.1.1	<i>Organigrama del Proyecto Estación El Jobo</i>	45
6.2	CONTROL DOCUMENTAL	45
6.2.1	<i>Procedimiento de especificación de soldadura WPS</i>	46
6.2.2	<i>Registro de calificación de procedimiento de soldadura (PQR)</i>	48
6.2.3	<i>Registro de Calificación de Habilidad del Soldador WPQ</i>	54
6.2.4	<i>Libro de Tubería</i>	57
6.3	RECEPCIÓN DE MATERIALES	58
6.3.1	<i>Certificados de calidad de los materiales</i>	61
6.4	PLANIMETRÍA E ISOMETRÍA	62
6.4.1	<i>Recepción del Plano</i>	64
6.4.2	<i>Trazabilidad de Plano</i>	64
6.4.3	<i>Identificación de Materiales y Accesorios</i>	65
6.4.4	<i>Nombre del Plano</i>	65
6.4.5	<i>División del Plano (Spool)</i>	66

6.4.6.	<i>Asignación de Juntas</i>	68
6.4.7.	<i>Asignación de Armador (Tubero) y Fecha</i>	68
6.5.	PROCESO CONSTRUCTIVO DE ARMADO	70
6.5.1.	<i>Personal</i>	70
6.5.2	<i>Trazado</i>	71
6.5.3	<i>Corte y Biselado</i>	71
6.5.4	<i>Alineación</i>	¡Error! Marcador no definido.
6.6.	PROCESO CONSTRUCTIVO DE SOLDADO	75
6.6.1	<i>Personal</i>	75
6.6.2.	<i>Equipos</i>	76
6.6.3.	<i>Preparación de la junta</i>	78
6.6.2	<i>Aplicación de la soldadura</i>	78
6.7.	INSPECCIÓN VISUAL.....	80
6.8.	RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL (RX-GAMAGRAFÍA)	81
6.8.1.	<i>Programación de Radiografía</i>	81
6.8.2.	<i>Toma de Placas</i>	83
6.8.3.	<i>Resultados</i>	85
6.8.4.	<i>Interpretación de Resultados</i>	88
6.9.	LÍQUIDOS PENETRANTES	89
6.9.1.	<i>Programación de Líquidos Penetrantes</i>	89
6.9.2.	<i>Realización del Ensayo</i>	90
6.9.3.	<i>Registro de Líquidos Penetrantes</i>	91
6.9.4.	<i>Resultados</i>	95
6.10.	LIMPIEZA, APLICACIÓN Y END A RECUBRIMIENTO	95
6.10.1.	<i>End a Recubrimientos</i>	96
6.10.1.1.	<i>Medición de Espesores</i>	96
6.10.1.2.	<i>Prueba de Adherencia</i>	98
6.10.2.	<i>Formato</i>	99
6.11.	PRUEBA HIDROSTÁTICA	104
6.12.	DESPACHO	104
6.12.1.	<i>Embalaje</i>	104

6.12.2. Disposición de Material	105
7. MEJORAS Y APORTES AL DESARROLLO DEL PROYECTO.....	108
7.1. ELABORACIÓN DE BASE DE DATOS PARA EL CONTROL DE MATERIALES.....	108
7.2. ELABORACIÓN DE BASE DE DATOS, MASTER DE SOLDADURA.....	109
7.3. IMPLEMENTACIÓN DE PLATINAS DE MARCACIÓN.....	111
8. ANÁLISIS DE DEFECTOLOGÍA	113
8.1 ANÁLISIS DE DEFECTOLOGÍA POR SOLDADOR	113
8.2 ANÁLISIS DE DEFECTOLOGÍA POR PROCESO DE SOLDADURA.....	115
8.3 ANÁLISIS PORCENTAJE DE REPARACIÓN TOTAL.....	117
8.4 ANÁLISIS ENTRE REPARACIONES Y SEMANAS (TIEMPO).....	118
9. CONCLUSIONES	119
BIBLIOGRAFÍA.....	120
ANEXOS	123
<i>Anexo 1.</i> Formato en blanco WPS Hoja 2.....	123
<i>Anexo 2.</i> Formato en blanco PQR Hoja 1	124
<i>Anexo 2.</i> Formato en blanco PQR Hoja 2	125
<i>Anexo 3.</i> Formato en Blanco WPQ.....	126
<i>Anexo 4.</i> Certificado de calidad Tubo de 10”	127
<i>Anexo 5.</i> Certificado de calidad Brida de 4”	129
<i>Anexo 6.</i> Certificado de calidad Tee 2”	130

TABLA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración 1. Proceso SMAW	24
Ilustración 2. Características a inspeccionar y valor estándar con sus tolerancias	29
Ilustración 3. Placas Radiográficas	32
Ilustración 4. Representación esquemática de un ensayo radiográfico.....	34
Ilustración 5. Flujo grama de Proceso de Control de Prefabricación Estación Compresora.....	42
Ilustración 6. Simulación 3D de Distribucion Estacion EL JOBO Vista Frontal	44
Ilustración 7. Simulación 3D de Distribucion Estacion EL JOBO Vista Posterior.....	44
Ilustración 8. Organigrama Prefabricado el Jobo.....	45
Ilustración 9. WPS Hoja 1.....	47
Ilustración 10. WPS Hoja 2.....	48
Ilustración 11. PQR Hoja 1 de 2	50
Ilustración 12. PQR Hoja 2 de 2	51
Ilustración 13. Certificado de Pruebas de Tension y Dobleza del PQR N° GT/SA-CCR08	52
Ilustración 14. Certificado de Calibración	53
Ilustración 15. WPQ de Atanael Lozano Sánchez (ALS).....	55
Ilustración 16. Reporte de radiografía industrial, Atanael Lozano Sánchez (ALS).....	56
Ilustración 17. Imagen tomada de la base de datos de libros de tubería.	58
Ilustración 18. Proceso de Recepción de Materiales	59
Ilustración 19. Llegada del Camión a la Planta.....	60
Ilustración 20. Descargue de Bridas de 10 pulgadas desde el Camión.....	60
Ilustración 21. Brida de 8" 600lb A105N.....	61
Ilustración 22. Certificado de Calidad para la Brida de 8"B13A5	61
Ilustración 23. Planimetría.....	63
Ilustración 24. Isometría.....	64
Ilustración 25. Materiales, Sellos, Fecha y Código del Plano.	66
Ilustración 26. Spool, FFW.	67
Ilustración 27. Juntas- Estampe armador.	69
Ilustración 28. Corte y Biselado	73
Ilustración 29. Proceso de Armado.....	75
Ilustración 30. Personal Capacitado en Proceso de Soldadura	76
Ilustración 31. Equipos de Soldadura (A) EQUIPO SAW (B) Equipos PIPE PRO.....	77

Ilustración 32. Aplicación de Soldadura.....	80
Ilustración 33. Junta Pase Raiz (A) y Junta Relleno-Presentación (B).....	81
Ilustración 34. Formato de Programación de END.....	83
Ilustración 35. División de Tubería para toma de Placas Radiográficas.	84
Ilustración 36. Marcación Placa Radiográfica.	84
Ilustración 37. Marcación Placa Radiográfica.	85
Ilustración 38. Reporte Inspección Radiográfica.....	87
Ilustración 39. Indicación de defectología	88
Ilustración 40. Calco 1, Junta 2”	89
Ilustración 41. Calco 2, Junta 6”	89
Ilustración 42. Limpieza Inicial.....	90
Ilustración 43. Aplicación Penetrante	90
Ilustración 44. Aplicación Penetrante	91
Ilustración 45. Registro de Líquidos Penetrantes	93
Ilustración 46. Registro Fotográfico.....	94
Ilustración 47. Documento Suministrado por Cliente, Especificaciones de Preparación de Superficie	96
Ilustración 48. Medición de Espesores Imprimante.....	97
Ilustración 49. Medición de Espesores Acabado.....	97
Ilustración 50. Fijación de Dado.....	98
Ilustración 51. Montaje de Ensayo d Adherencia	98
Ilustración 52. Resultados de ensayo.....	99
Ilustración 53. Preparación de Superficies.....	100
Ilustración 54. Registro Fotográfico.....	101
Ilustración 55. END Recubrimiento de Superficies	102
Ilustración 56. END Recubrimiento de Superficies-Registro Fotográfico	103
Ilustración 57. Material embalado.....	104
Ilustración 58. Material Final para Envío	105
Ilustración 59. Cargue del Material.....	105
Ilustración 60. Cargue del Material con Montacarga.....	106
Ilustración 61. Cargue de Material con Camión Grúa	106
Ilustración 62. Cargue Total de Material	107
Ilustración 63. Envío de Material	107
Ilustración 64. Sello de Recepción de Materiales	108
Ilustración 65. Nomenclatura de Master	111
Ilustración 66. Platina de Marcación (Antes)	112
Ilustración 67. Platina de marcación (después)	112
Ilustración 68. Diagrama porcentual de reparaciones totales	117
Ilustración 69. Gráfica de datos entre reparaciones y semanas transcurridas	118

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Cronología del Control de Calidad	13
Tabla 2. La Soldadura TIG.....	23
Tabla 3. Proceso WPS	46
Tabla 4. Proceso PQR	49
Tabla 5. Calificación de Soldadores.....	54
Tabla 6. Proceso Armado	70
Tabla 7. Listado Armadores	70
Tabla 8. System 1.....	95
Tabla 9. Tabla de Base de Datos de Materiales Recibidos	108
Tabla 10. Estampe.....	113
Tabla 11. Resultados Obtenidos	115
Tabla 12. Resultados de la Defectología	116
Tabla 13. Procedimiento	116

INTRODUCCIÓN

La trazabilidad en un proyecto de ingeniería es la base fundamental del proceso de fabricación y montaje del mismo, por lo tanto cada elemento, cada actividad que haga parte del proyecto debe ir justificada bajo formatos, certificados, pruebas, ensayos y documentos en general que garanticen la calidad y los procedimientos utilizados en su desarrollo.

La empresa *STEEL PREFABRICADOS Y ESTRUCTURAS S.A.S.* requiere ejecutar un control de calidad y trazabilidad para el prefabricado de módulos de tubería para la estación compresora de gas el jobo en Sahagún - Córdoba. Para el desarrollo del este control se va a realizar un dossier (conjunto de información recopilado sobre el proyecto). El cuál será la evidencia general de los registros e inspecciones tomadas de las actividades del proceso de fabricación.

Las evidencias que se van a anexar en el dossier estarán divididas en 3 grupos:

- Materiales: Tenemos en cuenta la inspección visual en el momento del ingreso de los accesorios y tuberías, así como la verificación de los certificados de calidad de éstos.
- Proceso de fabricación: Se realizará un documento de control de soldaduras llamado "Libro tubo" en el cual se especifica el proceso de soldadura empleado, el tipo de junta, la referencia de la junta, el estampe del soldador, la fecha de aplicación de la soldadura, la especificación de los accesorios o materiales a unir, y los resultados de los ensayos realizados.
- Ensayos no destructivos: Se realizan para evaluar la calidad de los procesos de fabricación emitiendo un informe dentro del cual se genera una valoración y aceptación o rechazo de alguna etapa en el proceso, algunos de estos ensayos son: líquidos penetrantes, radiografía industrial (RX), adherencia, rugosidad y espesores.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En años recientes hemos sido testigos del crecimiento en la tecnología y grandes avances. Materiales nuevos y mejores, con procesos de producción más eficientes, pero también hemos visto que la exigencia por la calidad y el respaldo de estos productos cada vez es mayor en la industria.

En esta ocasión podemos encontrar que la trazabilidad y el control de calidad es una necesidad para respaldar un proyecto de ingeniería y generar la confianza necesaria como proveedores. Si no se realizaran los respectivos controles no se podría alcanzar los altos estándares de calidad esperados por el cliente.

Actualmente tenemos herramientas tecnológicas que nos ayudan a controlar y verificar una gran cantidad de variables dentro de los procesos de fabricación en el sector de **OIL AND GAS**.

La no implementación de un sistema de control calidad y trazabilidad en la prefabricación de los módulos de tubería para la estación compresora de gas EL JOBO, ya que no se podrían controlar factores del proceso, que más adelante podrían generar retrasos fallas o pérdidas monetarias, además que la aplicación de dichos controles nos permite identificar deficiencias dentro de los procesos de la empresa para luego tomar los debidos correctivos e implementándolos en futuros proyectos evitando reincidir en estos y poder tener una mejora continua.

2. ANTECEDENTES

2.1. ELABORACIÓN DE UN PLAN DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD PARA LA FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE TUBERÍAS PARA UNA CENTRAL TURBO - GENERADORA DE 100MW

Alvaro Xavier Muñoz Vinueza Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción Escuela Superior politécnica del Litoral (ESPOL) Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 vía Perimetral Apartado 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador.

En la ciudad de Quevedo, provincia de Los Ríos, se construye una central turbogeneradora que producirá una potencia nominal de 100 MW que serán entregados al sistema nacional interconectado; se requiere la fabricación, inspección y pruebas de sistemas de tuberías de los diferentes servicios que intervienen en el funcionamiento de esta central, para este fin se elaborara y pondrá en práctica un plan de aseguramiento de la calidad, el cual se incluirá procedimientos de inspecciones y pruebas, basados en códigos de construcción aplicables, tales como ANSI-ASME B31.3, ASME BPV IX, ASTM sección VI, con el fin de garantizar la integridad del montaje realizado. En el plan de aseguramiento de calidad desarrollado en esta tesis cubrirá los siguientes puntos: determinación de criterios de inspección sobre materiales para construcción, elaboración de especificaciones de procedimientos de soldadura y procedimientos de calificación de soldadores, instructivos de instalación e inspección de líneas de proceso, procedimientos de aplicación e inspección de sistemas de protección superficial, ensayos no destructivos.¹

2.2. DOSSIER TÉCNICO INFORMACIÓN TÉCNICA SOBRE EQUIPOS PARA LÁMPARAS DE DESCARGA

Es para nosotros un honor el poder presentarles este Dossier Técnico sobre fuentes de luz y componentes auxiliares de iluminación. Con él Especialidades Luminotécnicas, S.A.

¹ Muñoz Álvaro, Martínez Ernesto, Facultad de ingeniería en mecánica y ciencias de la producción: Escuela superior politécnica del litoral (ESPOL) Guayaquil, Ecuador. Disponible en :<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/24347/1/cicyt%20alvaro%20mu%C3%B1oz.pdf>

(ELT) confirma su compromiso con los usuarios finales de productos de iluminación a través de ustedes, los profesionales, fabricantes, instaladores, distribuidores, ingenierías, constructoras.

Se trata de recoger en él el conocimiento existente a la fecha sobre esta materia, es decir, el estado de la técnica. La luz es una necesidad humana. La mayor parte de la luz artificial sigue y seguirá siendo producida por lámparas de descarga (tubos fluorescentes y lámparas de alta intensidad de descarga). También están muy extendidas las lámparas halógenas. El sector de la iluminación precisa de componentes auxiliares que permitan funcionar a estas lámparas y ELT diseña y fabrica estos componentes, reactancias, balastos y transformadores, de acuerdo con las características de aquellas, con una marca que responde a las necesidades más exigentes.

Compuesta por un equipo de profesionales a su servicio con más de 40 años de experiencia en iluminación. Miembros de una empresa que se encuentra entre las 4 principales especialistas de reactancias y balastos de Europa, con 10 fábricas y más de 400 profesionales a su servicio. Líder en España y con gran reconocimiento e implantación internacional, lo que permite que nuestros productos se exporten a más de 60 países de los cinco continentes.

Personal altamente especializado que participa activamente en el CEI (Comité Electrotécnico Internacional), en AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación), ANFALUM (Asociación Nacional de Fabricantes de Luminarias) y CELMA (Federación de Asociaciones de Fabricantes Nacionales de Luminarias y de Componentes Electrotécnicos para Luminarias en la Unión Europea).

Una gama completa de productos ofertada por ELT, recogida en sus catálogos de descarga, electrónica y fluorescencia que usted puede solicitar a nuestros comerciales, o consultar en línea, a través de nuestra página en internet <http://www.elt.es> Los clientes de ELT encontrarán en nosotros un colaborador de gran profesionalidad y dedicación, que cultiva permanentemente relaciones provechosas para ambos, dando lugar a las mejores soluciones de iluminación para el mercado, a través del mantenimiento de una actividad comercial que se transforma en negocios sostenibles y con voluntad de perdurar en el tiempo.

Colaboración técnica, comercial y logística que se materializa mediante una eficaz y rápida asistencia pre y posventa. Todos los productos ELT se fabrican con materias primas de primera calidad, con especificaciones propias y rigurosas, fruto de una estrecha colaboración con los proveedores. Los procesos de fabricación se desarrollan en modernas cadenas automatizadas, sometiendo el 100% del producto a mediciones informatizadas de control y seguimiento. Una marca, ELT, que identifica, por lo tanto, un producto de calidad y de la máxima garantía.

Calidad definida como fabricación libre de defectos, que da como resultado balastos de gran fiabilidad y duración. Calidad entendida como dar a los clientes lo que necesitan en el momento que lo necesitan. Garantía estándar de 3 años para nuestros productos y la posibilidad de una garantía extendida de 5 años, sin coste adicional. Nuestro sistema de gestión de la calidad está certificado desde 1993, según la norma ISO 9001.

ELT está totalmente comprometida con el medioambiente desde el diseño de los productos y equipamientos productivos, hasta la fabricación y venta de reactancias y balastos eficientes que contribuyen a reducir el consumo de energía sin perder funcionalidad (balastos electrónicos, reactancias de bajas pérdidas –B1 y B2– y reactancias para lámparas de descarga de 2 niveles de potencia), pasando por la gestión de los recursos energéticos y materiales. Nuestro sistema de gestión medioambiental está certificado según ISO 14001 desde el año 2000.

Asimismo, aprovechando la metodología EFQM (*European Foundation for Quality Management*) en nuestro camino hacia la excelencia y aplicando los principios de la mejora continua a todos los procesos de nuestra empresa, hemos visto reconocido nuestro esfuerzo con la adjudicación del “Premio a la Excelencia Empresarial – 2005” que otorga el Gobierno de Aragón a través del Instituto Aragonés de Fomento.

ELT es una empresa innovadora que reinvierte un porcentaje importante del resultado de sus ventas en dar satisfacción a las necesidades de sus clientes por medio del mantenimiento de un importante departamento que desarrolla actividades punteras de I+D. Tecnología de producto y productiva de desarrollo propio que protege mediante patentes y modelos de utilidad.

La seguridad es otra necesidad humana. Los productos marca ELT están homologados según normas europeas e internacionales. Siga nuestro consejo: no emplee ni acepte productos que no estén homologados y desconfíe de productos aparentemente económicos de origen dudoso.

Y, por último, recuerde que, como dice El Principito en el cuento de Antoine de Saint Exupéry, al igual que la luz y nuestras reactancias, balastos y transformadores, “*Lo esencial es invisible a los ojos*”²

2.3. ELABORACIÓN DE UNA GUÍA DE CONTROL DE CALIDAD DE SOLDADURAS PARA LA FABRICACIÓN DE PUENTES PEATONALES TIPO I.D.U, BASADA EN LAS ESPECIFICACIONES CONTRACTUALES

EMECON Ltda., es una empresa fundada en 1991, que se dedica al diseño, fabricación y montaje de estructuras metálicas como cubiertas, puentes peatonales, puentes vehiculares, estaciones de transmilenio, cinemas, bodegas y construcción de estructuras de concreto. Por tal motivo, en cumplimiento con los estándares de calidad a nivel Internacional, la empresa decidió certificarse el día 22 de octubre de 2003 bajo la Norma Internacional ISO 9001:2000, a través del ente encargado de velar por la normalización técnica, la metrología, la evaluación de la conformidad y la gestión de la calidad en Colombia, ICONTEC.

En consecuencia, *EMECON Ltda.*, gracias a su trayectoria y calidad del servicio, ha podido obtener año tras año mayor participación en el mercado, logrando posicionarse como una de las empresas más reconocidas a nivel nacional, permitiéndole participar en el proyecto de adecuación del corredor vial de la Calle 26, comprendido por el tramo 3 entre la Transversal 76 y la Carrera 42B, y en el tramo 4 entre la carrera 42B y la Carrera 19, para el sistema de transporte público masivo, TRANSMILENIO S.A, como subcontratista de la empresa Grupo Empresarial Vías Bogotá S.A.S (G.E.V.B), dueña de la licitación según lo indica el contrato I.D.U - N° 137 de 2007; Por ésta razón *EMECON Ltda.*, es responsable de la fabricación de 4 puentes peatonales tipo I.D.U., los cuales serán montados en la Carrera 45, Carrera 59, Carrera 68B y la Carrera 62.

² Gracia Gil Eduardo,ELT, Zaragoza,Noviembre 2006,Disponible en: <http://www.elt.es/documentos/dossier.pdf>

Por tal motivo la Interventoría, “*CONSORCIO INTERCOL*” designa a un ingeniero como inspector de calidad para el área de estructuras Metálicas, a fin de coordinar y verificar la fabricación de los puentes peatonales en mención de acuerdo con las especificaciones contractuales del cliente, TRANSMILENIO S.A, las cuales son indicadas en la guía de control de calidad para el puente peatonal prototipo para Bogotá. V.1.6 y soportadas por códigos de fabricación como el AWS D1.1:210

Dentro de las funciones del inspector de calidad de Interventoría, cabe destacar la verificación y aprobar el Plan de Calidad suministrado por los talleres (*EMECON Ltda.*), de acuerdo a las exigencias indicadas en la guía de control de calidad para el puente peatonal prototipo para Bogotá. V.1.6., que entre otras estipula en su capítulo 4, “Inspección final en taller e inspección final de recibo de la estructura metálica”, que en el Plan de Calidad se debe describir todos los procesos que se involucran durante la fabricación y montaje de la estructura de los puentes peatonales. Sin embargo, en el Plan de Calidad de *EMECON Ltda.*, solamente indican las inspecciones que se deben realizar durante las actividades de fabricación y los responsables que aprueban cada actividad, mas no se describen los procesos que se involucran durante la fabricación y montaje de los puentes peatonales. (Ver Anexo A, Plan de Calidad de *EMECON Ltda.*). Por lo cual se creería que las actividades indicadas en el Plan de Calidad se encuentran documentadas en el Manual de Procedimientos, ya que en éste se describen las actividades de cada empresa en forma precisa.

De ésta manera, el manual de Procedimientos de *EMECON Ltda.*, se encuentran documentadas las siguientes procedimientos: Recepción de materiales , aplicación de líquidos penetrantes, control de calidad al producto, control de producto no conforme, calibración de instrumentos de medición y uso correcto de instrumentos de medición; De dichos procedimientos, el que más se acercó en la descripción de las actividades indicadas en plan de calidad fue el de control de calidad al producto, sin embargo dentro de su desarrollo, no se habla de los parámetros requerido para el correcto desempeño de las actividades, ya que su función consiste en establecer la forma de aplicar los criterios de aceptación al producto que se obtiene en cada actividad del plan de calidad.

De esta forma, surge la idea de elaborar una guía de control de calidad de soldaduras para la fabricación de puentes peatonales tipo I.D.U basada en las especificaciones

contractuales (Guía de control de calidad para el puente peatonal tipo I.DU. V.1.6 y el código de fabricación AWS D1.1:2010[4]) para la actividad denominada “soldadura” indicada en el Plan de Calidad *EMECON Ltda.*, con el fin de documentar el procedimiento llamado “Control de Calidad al Producto” del Manual de Procedimientos. Se selecciona únicamente la actividad de soldadura, por dos razones; Porque es la actividad más acorde con la especialización que se está cursando y porque el trabajo se extendería demasiado si se cubrieran todas las actividades que conforman el Plan de Calidad.³

³Alcalá Luis Fernando, Universidad Libre Colombia, 2012, Disponible en: <http://repository.unilibre.edu.co/bitstream/10901/6386/1/AlcalaRamirezLuisFernando2012.pdf>

3. JUSTIFICACIÓN

Este proyecto está enfocado en realizar un control documental y un respaldo por parte de la empresa *STEEL PREFABRICADOS Y ESTRUCTURAS S.A.S.* para el proyecto, Estación compresora de gas el jobo, el cual fue requerido en los pliegos de condiciones del contrato.

Como futuros ingenieros mecánicos debemos utilizar los recursos aportados por la empresa en el desarrollo de este proyecto de manera óptima, realizaremos E.N.D. como prueba con tintas penetrantes a las soldaduras, Pruebas hidrostáticas a cada uno de los módulos de tubería, pruebas de rugosidad a la superficie de las tuberías, prueba de adherencia a la pintura, y anexamos los resultados de las placas de RX.

Aplicando los conocimientos previamente obtenidos en la academia, garantizando al cliente la calidad de los procesos y actividades realizadas para la prefabricación de las líneas y módulos de tubería, teniendo en cuenta las especificaciones suministradas por el área de diseño.

Se busca por medio de este trabajo identificar las falencias y necesidades que tiene *STEEL PREFABRICADOS Y ESTRUCTURAS S.A.S.* para poder dar soluciones a algunas de ellas y de esta manera poder aportar a la mejora continua que plantea la empresa en sus metas.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar el control de calidad y trazabilidad a los procesos de prefabricación de la Estación Compresora de Gas el Jobo, el cual se desarrollará en las instalaciones de la empresa *STEEL PREFABRICADOS Y ESTRUCTURAS S.A.S.*

4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Elaboración del documento, Dossier de construcción mecánica del prefabricado estación compresora de gas el Jobo.
- Elaboración de una base de datos para el control e inventario de materiales como mejora al departamento de almacén facilitando su asignación y disponibilidad.
- Realizar un cuadro de análisis a los resultados obtenidos a lo largo de la producción evaluando los rendimientos presentados por el personal tanto en el armado como en los procesos de soldadura.

5. MARCO TEÓRICO

5.1. EL CONTROL DE CALIDAD

El Control de Calidad tuvo su origen en la producción industrial masiva de principios del siglo XX, el desarrollo de los métodos de producción en cadena planteó el primer problema de calidad, en cuanto que ésta estaba ligada a la conformidad con las especificaciones de los productos y sus componentes: a una más alta conformidad (calidad), correspondería un número menor de desechos y reprocesos, con lo que el coste del proceso productivo, y del producto, se reduciría.

Surgen entonces los primeros procedimientos de control de calidad. La función de calidad, bajo esta óptica clásica, se limita a la realización de una serie de observaciones que tienen como objetivo la verificación de la concordancia de los diferentes dispositivos y componentes a su especificación, previamente establecida. Los resultados de las observaciones permitirían separar el producto aceptable del no aceptable mediante la inspección final del producto ya terminado.

En Estados Unidos, el liderazgo de Frederick Taylor y su “dirección científica” (Taylor, 1911) supuso la separación entre la planificación del trabajo y su ejecución: la planificación era realizada por distintos especialistas mientras que los capataces y operarios ejecutaban la planificación hecha por aquellos.

En 1968 Ishikawa propone un conjunto de técnicas estadísticas sencillas para ser aplicadas por los círculos de calidad. Según Ishikawa, con las siete herramientas básicas es posible resolver el 95% de los problemas que presenta una organización, sobre todo en el área de producción (Ishikawa, 1986).

Estas herramientas, que posteriormente fueron denominadas “las siete herramientas básicas de la calidad”, pueden ser descritas genéricamente como métodos para la mejora continua y la solución de problemas.

Las siete herramientas básicas de la calidad son:

- Diagrama Causa – Efecto. Ayuda a identificar, clasificar y poner de manifiesto posibles causas, tanto de problemas específicos como de efectos deseados.
- Hoja de Comprobación. Registro de datos relativos a la ocurrencia de determinados sucesos, mediante un método sencillo.
- Gráficos de Control. Herramienta estadística utilizada para controlar y mejorar un proceso mediante el análisis de su variación a través del tiempo.
- Histograma. Gráfico de barras verticales que representa la distribución de frecuencias de un conjunto de datos.
- Diagrama de Pareto. Método de análisis que permite discriminar entre las causas más importantes de un problema (los pocos y vitales) y las que lo son menos (los muchos y triviales).
- Diagrama de Dispersión. Herramienta que ayuda a identificar la posible relación entre dos variables.
- Estratificación. Procedimiento consistente en clasificar los datos disponibles por grupos con similares características que muestra gráficamente la distribución de los datos que proceden de fuentes o condiciones diferentes.

El éxito de estas técnicas radica en la capacidad que han demostrado para ser aplicadas en un amplio rango de problemas, desde el control de calidad hasta las áreas de producción, marketing y administración. Las organizaciones de servicios también son susceptibles de aplicarlas, aunque su uso comenzara en el ámbito industrial.⁴

⁴ Talavera Pleguezuelos, C: “Métodos y Herramientas de Mejora aplicados en la Administración Pública” Ed: Unión Iberoamericana de Municipalistas. Granada, 2013. (ISBN: ISBN: 978-84-937777-6-0), Disponible en: <http://www.aiteco.com/el-control-de-calidad-herramientas-basicas/>

Tabla 1. Cronología del Control de Calidad⁵

AÑO	ACONTECIMIENTO
1911	Se publica el trabajo de Frederick Winslow Taylor sobre medición del trabajo.
1931	Walter A. Shewhart publica el control estadístico de procesos (SPC) donde se trata el control de procesos mediante gráficos o cartas de control (aún en uso actualmente) y otros métodos estadísticos de la mayor parte de los temas que se han tratado.
1956	Armand Feigenbaum crea el Control Total de Calidad.
1979	Philip Crosby publica su teoría de cero defectos, las 5S y sus 14 pasos.
1986	William Edwards Deming desarrolla las ideas de Shewhart mediante el concepto de Calidad Total de Procesos y Kaizen .
1985	Joseph M. Juran desarrolla los conceptos de trilogía de la calidad y de costos de calidad.
1985	Kaoru Ishikawa desarrolla la ingeniería de procesos, sus 7 herramientas estadísticas y los círculos de calidad.
1988	Shigeru Misuno desarrolla el control de calidad a todo lo ancho de la compañía (CWQC).
1990	Administración por Calidad Total (TQM); uso de herramientas avanzadas como Seis Sigma .

⁵ Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Control_de_calidad

El proceso de control sigue seis etapas, que son las siguientes:

- Establecer el objeto del control. Elegir una unidad de medida.
- Establecer el valor normal o estándar de la especificación a controlar.
- Establecer un instrumento de medida.
- Realizar la medición de la magnitud en la unidad elegida.
- Interpretar las diferencias entre el valor real y el valor normal o estándar.
- Actuar sobre las diferencias encontradas.

El control de calidad no se aplica únicamente al producto final, sino que se realiza a lo largo de todo el proceso de producción. Es decir: en la recepción de materias primas, en el proceso de fabricación, en los productos semielaborados y en el propio producto final.

Para realizar el control de calidad, se realiza la inspección y el ensayo de determinadas características de los productos a controlar.

5.2. SOLDADURA EN TUBERÍA DE ALTO RENDIMIENTO

Hoy en día hay muchas maneras de soldar tubería de alto rendimiento en el campo. Es necesario entender estos diversos procesos para asegurar que el proceso seleccionado satisface los requisitos de calidad y productividad de un proyecto de tubería.

Se discuten varios procesos, con énfasis en el arco de metal blindado de soldadura con electrodos celulósicos y núcleo auto protegido de fundente de soldadura por arco.

En el mundo actual las tuberías de transmisión de campo travesía tienen que abordar diversos temas, incluyendo presiones más altas de servicios, productos ácidos, nuevos aceros de alta resistencia, entornos operativos más severos, códigos de gobierno más estrictos, y una serie de problemas ambientales.

Estas condiciones deben ser equilibradas por las necesidades del contratista de tuberías para controlar los costos y completar el proyecto en tiempo y forma sin dejar de cumplir con los más estrictos requerimientos de **calidad**.

El conocimiento de los procesos de soldadura puede ayudar a que el contratista a cumplir con sus necesidades y ofrecer la calidad requerida. Este mismo conocimiento puede ayudar a entender al ingeniero especificando que hay muchas maneras de satisfacer sus necesidades de calidad y diseño, sin imponer costes innecesarios al contratista.

Varios procesos y combinaciones de procedimientos utilizados en la actualidad para la soldadura de campo de tubos de conducción a campo travesía. Estos incluyen la soldadura por arco de metal blindado (SMAW), auto blindado flujo de arco con núcleo de soldadura (FCAW-S), y la soldadura por arco metálico con gas (GMAW). Con el modo de transferencia GMAW también se debe tener en cuenta, arco corto, arco corto controlado, así como de la tensión superficial Transfer®, spray, y globular.

La atención se coloca en aquellos procesos que se prestan a la alta calidad y la alta productividad de campo de soldadura con la inversión capital conservadora. Revisión de tubería de Acero Actualmente las tuberías de acero son de mayor resistencia que las utilizadas anteriormente y están diseñadas con la soldabilidad adecuada. Los aceros utilizados comúnmente en oleoductos y tuberías de gas a campo travesía se ajustan a la especificación API 5LX o similares.⁶

5.2.1. Estandarización de los procesos de soldadura

Para estandarizar un procedimiento de soldadura, se deben cumplir los parámetros de calidad requeridos por la industria metalmeccánica, es necesario diligenciar, poner en práctica y avalar, los documentos WPS, PQR y WPQ, enmarcados en el código internacional ASME, en los cuales se determinan minuciosamente, los pormenores del proceso de soldadura a desarrollar, materiales necesarios para su implementación, y las condiciones por las que se debe guiar un soldador. Estos formatos, enmarcados en el código ASME sección IX, apartado QW, –descritos en la página de La www.asme.org pueden ser tomados como referencia, y generar un documento que cumpla con los parámetros sugeridos por las normatividades internacionales, para implementarlos al interior de la industria metalmeccánica y crear un sistema de producción estandarizado,

⁶ Manual de Soldadura, octava edición, (1991) American Welding Society, Miami {UT3} {UT4} El Manual de Procedimiento de soldadura por arco, 13ª edición, (1994), Lincoln Electric Company, Cleveland-Disponible en:<http://www.lincolnelectric.com/es-mx/support/process-and-theory/Pages/high-yield-pipe-detail.aspx>

con altos grados de calidad. Implementar estos formatos, permite mantener un proceso de soldadura en las mismas condiciones durante varios años, sin afectar la calidad del trabajo, ni la rotación de soldadores, puesto que cualquier operario, podrá adelantar el procedimiento de soldadura, guiado por el documento generado por la empresa, con resultados constantes, eficientes y productivos, haciendo que las mejoras en cuanto a eficiencia y calidad de sus productos, se reflejen al alcanzar menores costos operativos en el desarrollo de un producto. De igual manera, el correcto diligenciamiento de estos documentos, permite un control constante y preciso de las capacidades de los soldadores. El diligenciamiento de estos formatos, se deberá adelantar cada vez que se requiera un proceso de soldadura con parámetros diferentes, materiales, tiempos, posiciones y en aquellos procedimientos, que tienen elementos y lineamientos iguales, aprobados por la empresa, el soldador, se puede guiar por el documento, que estandarizó el procedimiento con anterioridad.⁷

5.2.2. Documentos básicos para estandarizar un proceso de soldadura.

En el primero de estos documentos, conocido como Especificación de Procedimiento de Soldadura, (WPS) –por sus siglas en inglés– las empresas deben especificar y delimitar los parámetros, materiales, maquinaria y posiciones adecuadas para generar una labor de soldadura óptima y de alta calidad. El formato, Registro de Calificación de Procedimiento (PQR) necesario para una estandarización de proceso, requiere de un inspector calificado en Nivel II, que evalúe en este documento el desarrollo del procedimiento de soldadura, permitiendo contrastar los datos registrados en el WPS, con los utilizados por el soldador, y determinar si la soldadura se generó bajo los parámetros de calidad requeridos por la empresa, o es necesario realizar un nuevo procedimiento. Por último, el correcto diligenciamiento del documento de Calificación de Funcionamiento de Soldador (WPQ) permite evaluar el desempeño del soldador, contrastando la valoración resultante en este paso, con los dos anteriores formatos, que permitan validar la totalidad del procedimiento, y determinar la viabilidad de su estandarización. En el siguiente artículo, Metal Actual con la colaboración del Centro de Materiales y Ensayos del Sena, describe de manera detallada, paso a paso, estos formatos.

⁷ Revista Metal Actual Edición 25, Disponible en: http://www.metalactual.com/revista/25/procesos_asme.pdf

5.2.3. WPS, *Welding Procedure Specification*.

El formato WPS, en el que se especifica el procedimiento de soldadura a desarrollar, propuesto para una eventual estandarización, es un documento preparado y calificado por el departamento encargado del control de calidad de cada empresa, en el que se describen las variables esenciales y no esenciales del procedimiento, basadas en el código de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos, para que el personal que realiza las soldaduras, lo utilice como guía, con el propósito de obtener el resultado deseado, y cumplir con las exigencias de su contratante. Estos estándares de calidad, por los cuales se debe regir el soldador, están enmarcados en el código Asme sección IX, conocido como, Estándar para Calificación de Procedimientos de Soldadura, Soldadores y Operadores de Soldadura, en los apartados QW-402 al QW-410, que establecen los lineamientos precisos para el desarrollo de un procedimiento de soldadura, en los que se encuentran:

- *Diseño de Junta:* se debe indicar que tipo de junta se utilizará en este proceso, (ranura en U, en V, bisel simple, o bisel doble), además de aclarar si en el proceso que se propone, es necesario un respaldo, y de que material debe ser este.
- *Metales base:* este punto requiere la especificación del material de las placas a soldar, ya sean similares o de diferente tipo, su tipo o grado, tensión, composición, forma del producto, número y grupo, ya sea para tubo o lámina. Estos datos se establecen con el propósito de identificar la resistencia a la tracción y los componentes químicos y mecánicos el material base.
- *Metal de Aporte:* se deben registrar individualmente las especificaciones del material de aporte, el cual se deposita para crear el cordón de soldadura, especificando las características eléctricas del mismo, tamaño de los materiales y rango de su espesor, luego de determinar la composición de los materiales base.
- *Posiciones:* En este punto hay que especificar la posición en la cual se apoyará el operario para aplicar una apropiada soldadura, ya sea en productos laminados, posiciones para ranura en tubo o posiciones de pruebas para soldaduras con filete en placa o en tubo.

- *Pre calentamiento:* la temperatura para el pre calentamiento del material a soldar se define en este punto, si el proceso así lo requiere, para garantizar la perfecta fusión entre las partes a soldar, y el material depositado.
- *Tratamiento Térmico Post-soldadura:* si el material utilizado requiere de un tratamiento térmico luego del proceso de soldadura, se debe especificar el rango de temperatura y tiempo al cual será sometido el material, para generar un alivio de tensiones adecuado.
- *Gas:* determinar las características del tipo de gas, mezcla, caudal y presión a manejar en el procedimiento, permite un resultado óptimo del proceso de soldadura.
- *Características Eléctricas:* los parámetros de amperaje, polaridad, corriente alterna o directa, y rango de alimentación del electrodo, se deben consultar en la tabla diseñada por el fabricante de los electrodos a utilizar.
- *Técnica:* Este punto debe especificar la técnica de soldadura a utilizar por el soldador, velocidad de aplicación, distancia entre el material y el electrodo; de igual manera, especificar el material que se utilizará para la limpieza del metal soldado, entre pases de soldadura. La especificación detallada de los materiales, posiciones, temperaturas y tiempos a seguir, descritas en el documento *WPS*, serán la guía por la cual el soldador se regirá en el proceso de soldeo, con miras a realizar un trabajo de calidad, que permita a la pieza soldada adelantar ensayos mecánicos en laboratorio.

Estos ensayos, determinan y avalan las propiedades de resistencia, en la unión de los metales soldados, para el funcionamiento adecuado y permanente del mismo. Para las pruebas de laboratorio, infaltables luego de desarrollar el procedimiento de soldadura, guiados por el documento *WPS*, es necesario dividir la placa resultante del proceso, en secciones o probetas para ser enviadas al laboratorio, con el propósito de realizar ensayos mecánicos destructivos y no destructivos, en los que se toman las variables del área transversal de la probeta, para determina si el procedimiento de soldadura, se desarrolló de manera correcta bajo parámetros válidos, y si la pieza final cumple con los estándares de resistencia requeridos, bajo los parámetros *ASME* sección IX.

Los resultados de las pruebas mecánicas, validarán o no el formato WPS; esto quiere decir, que si los valores establecidos por la empresa en el documento WPS, cumplieron con los requerimientos necesarios, y el proceso de soldeo se adelantó sin inconvenientes por parte del soldador, garantizando el desarrollo de uniones soldadas de alta calidad se dará validez al documento WPS, que podrá ser estandarizado en la empresa para el desarrollo puntual de ese proceso, y no se tendrá que diligenciar el formato nuevamente para este procedimiento; de lo contrario, habrá que generar, por parte de la empresa, un nuevo documento WPS, desarrollar el proceso de soldeo y hacer nuevas probetas, para realizar las correspondientes pruebas y calificación del procedimiento de soldadura, que determinen su validez. En Bogotá, La Universidad Nacional, el Centro de Materiales y Ensayos del Sena y el laboratorio de Ensayos Mecánicos y Químicos de la compañía West Arco, cuentan con los laboratorios adecuados, para realizar pruebas de ensayos mecánicos de doblez, tracción, compresión y espectrometría, para la validación de la habilidad del soldador.

5.2.4. Registro de Calificación PQR

El documento WPS, es la guía infaltable en toda empresa para cada proceso de soldadura que se quiera desarrollar; pero si las variables de este formato al momento de ponerlas en práctica por parte del soldador, no son monitoreadas desde el inicio, hasta el final del procedimiento, por un inspector de soldadura, calificado y certificado, este documento no tendrá un sustento técnico y no podrá ser avalado por ninguna empresa. De esta manera, cada documento WPS, debe estar certificado por un inspector en soldadura nivel II de la Acosend, o un inspector certificado de soldadura CWI, de la AWS (*Asociación Americana de Soldadores*), quien debe registrar el correcto uso del documento, la disposición de materiales, y el perfecto desarrollo del procedimiento, en un formato conocido como Registro de Calificación de Procedimiento (PQR) – por sus siglas en inglés– que registre las condiciones reales, de los materiales y maquinarias usadas al momento de adelantar el trabajo de soldadura. El propósito de este registro PQR, además de calificar el procedimiento, es avalar y determinar si el conjunto de partes soldadas para un uso determinado, son capaces de proveer las propiedades requeridas en cuanto a

presión, resistencia y desgaste para su aplicación en puentes, calderas, tubos, placas y demás estructuras metálicas que así lo requieran. Para diligenciar el formato de calificación de procedimiento, el inspector registra cada uno de los avances del soldador u operario, verificando si las variables descritas por la empresa en el documento *WPS*, coinciden con los parámetros utilizados por el soldador, para cada paso del procedimiento. Si el reconocimiento visual, por parte del inspector, es exitoso y determina que la raíz de la soldadura no evidencia grietas y que los materiales y parámetros descritos en el *WPS*, fueron los utilizados en el proceso, se procede entonces a realizar ensayos mecánicos sobre la placa terminada, descritos en el apartado *WPS*, que servirán para determinar el desempeño real de la pieza final. La concordancia de los datos descritos por la empresa en el *WPS* y la evaluación del procedimiento adelantado por el soldador, descrito en el documento *PQR*, tiene como propósito, garantizar la calidad del trabajo, que apoye el mejoramiento productivo del sector metalmeccánico, con una mayor competencia por parte de empresas y soldadores, con miras a la competitividad internacional enmarcada por los tratados de libre comercio.

5.2.5. WPQ, Calificación de los Soldadores y Operarios

No sólo el formato *WPS* –que determina las variables del proceso de soldadura a desarrollar– y la correspondencia de este, con el procedimiento que se desarrolló, establecido en el *PQR*, deben ser establecidos bajo parámetros internacionales y evaluados para su validez. La capacidad, destreza y conocimiento del soldador u operario, también deben ser registrados, evaluados y aprobados por la empresa que así lo requiera, bajo las variables descritas en el documento Calificación de Funcionamiento de Soldador (*WPQ*) –por sus siglas en inglés– que se especializa en la calificación y desempeño del soldador. Esta calificación tiene como propósito determinar la habilidad del soldador, en un procedimiento de soldadura determinado, bajo los parámetros establecidos en el código *ASME* sección IX, artículo III, (*Calificación del desempeño del soldador*). La evaluación deberá ser dirigida por un inspector de soldadura calificado, quien determina, si los materiales, posiciones al momento de soldar, tiempos de desempeño y calibración de maquinaria, fueron manejados diligentemente, por parte del soldador, los cuales determinarán su competencia y grado de desempeño, para esta labor. Los procesos de soldadura exigen un alto grado de calidad, no solo en su resultado,

si no también, en el desarrollo e implementación correcta de los materiales dispuestos para tal fin, por parte del operario o soldador, por esta razón, la planilla de calificación, debe indicar los datos del soldador, los materiales utilizados en el procedimiento, al igual que el desempeño, durante el soldeo, para que sean evaluados por la empresa para la que trabaja. La evaluación y validación de estos formatos, permitirán que en un futuro, no se tengan que realizar nuevas pruebas para los procedimientos de soldadura ya descritos, y poder archivar los documentos de cada compañía, puesto que la estandarización que se requiere, evaluada y certificada, permite una optimización de los tiempos de ejecución en proyectos de soldadura, y los materiales requeridos para el mismo. De esta manera, el desarrollo de la industria metalmecánica, a partir del fortalecimiento en el uso de los códigos internacionales, que permitan garantizar y estandarizar los procesos de soldadura, generará la confianza necesaria para cumplir con las pautas de calidad y seguridad establecidas por la industria, que permitan el incremento en el porcentaje de soldadores calificados, y afrontar por igual, las oportunidades, retos y exigencias en el campo tecnológico, que se desprenden de los vínculos comerciales dentro y fuera del país.⁸

5.3. PROCESOS DE SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO

La soldadura por arco es uno de varios procesos de fusión para la unión de metales. Mediante la aplicación de calor intenso, el metal en la unión entre las dos partes se funde y causa que se entremezclen - directamente, o más comúnmente con el metal de relleno fundido intermedio. Tras el enfriamiento y la solidificación, se crea una unión metalúrgica. Puesto que la unión es una mezcla de metales, la soldadura final, potencialmente tiene las mismas propiedades de resistencia como el metal de las piezas. Esto está en marcado contraste con los procesos que no son de fusión en la unión (es decir, soldadura blanda, soldadura fuerte, etc.) en el que las propiedades mecánicas y físicas de los materiales de base no se pueden duplicar en la junta.

En la soldadura por arco, el intenso calor necesario para fundir el metal es producido por un arco eléctrico. El arco se forma entre el trabajo actual y un electrodo (recubierto o alambre) que es manualmente o mecánicamente guiado a lo largo la junta. El electrodo es

⁸ Revista Metal Actual Edición 25, Disponible en: http://www.metalactual.com/revista/25/procesos_asme.pdf

una varilla con el simple propósito de transportar la corriente entre la punta y el trabajo. O puede ser una varilla o alambre especialmente preparado que no sólo conduce la corriente, sino también se funde y suministra metal de relleno a la unión. La mayor parte de la soldadura en la fabricación de productos de acero utiliza el segundo tipo de electrodo.⁹

5.3.1 Soldadura por arco de tungsteno con Gas GTAW

Es un proceso de soldadura por arco eléctrico en el cual se obtiene la unión de los metales por calentamiento de los mismos, fruto de un arco que se establece entre un electrodo no consumible de tungsteno y la pieza.

La zona de protección del electrodo y la soldadura se obtiene mediante un gas inerte, generalmente argón o una mezcla de gases inertes (Argón y Helio). El metal de aporte se coloca en el arco eléctrico logrando la fusión del mismo, y la mezcla de este con el metal base.

La pileta líquida se manipula controlando la correcta fusión de las partes; el proceso puede ser usado sin material de aporte. La soldadura TIG puede ser manual o mecanizada, y se considera uno de los procesos de soldadura por arco que permite un mejor control de las condiciones de operación.

Permite la ejecución de soldaduras de alta calidad y excelente terminación, sobre todo en juntas de pequeño espesor (típicamente en espesores de 0,2mm a 3 mm, generalmente menos que 10 mm). Secciones de mayor espesor pueden ser soldadas, pero en este caso las consideraciones económicas tienden a favorecer los procesos con electrodo consumible.

La soldadura TIG es utilizada típicamente para aceros inoxidable, o aleados y aleaciones no ferrosas. Es de uso común para los aceros estructurales, en la ejecución de pasadas de raíz en soldadura de tuberías, terminando la costura con SMAW (electrodo revestido) o

⁹ <http://www.lincolnelectric.com/es-mx/support/process-and-theory/Pages/arc-welding-detail.aspx>

GMAW (semi automática con alambre macizo). La Tabla siguiente muestra las ventajas y limitaciones del proceso.¹⁰

Tabla 2. La Soldadura TIG

Ventajas y Limitaciones	Aplicaciones
<ul style="list-style-type: none"> • Excelente control de baño de soldadura. • Permite la soldadura de metales sin usar aporte. • Permite la mecanización y la automatización proceso. • Se utiliza para la soldadura de la mayoría de los metales. • Produce soldaduras de alta calidad y excelente terminación. • No genera salpicaduras, excepto por una mala operación. • Requiere poca o ninguna limpieza después de la soldadura. • Permite la soldadura en cualquier posición. • La productividad es relativamente baja. • El costo de los repuestos y el equipo es relativamente alto. 	<ul style="list-style-type: none"> • Soldadura de alta precisión y calidad. • Soldadura de piezas de pequeños espesores y tubos de diámetros reducidos. • Aplicable a la pasada de raíz en al soldadura de tubos. • Soldadura de aleaciones especiales, no ferrosas y ferrosas, y aplicable a materiales no comunes.

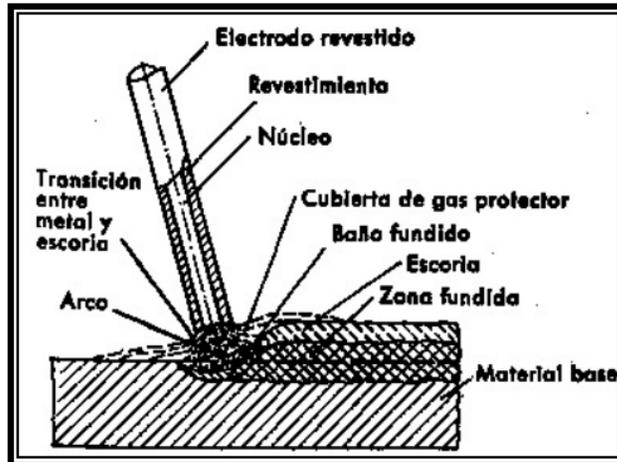
5.3.2. Soldadura por arco metálico protegido SMAW

La soldadura por arco incorpora una cantidad de procedimientos para soldar que utilizan el calor generado por un arco eléctrico para fundir, tanto el metal a unir como el material de aporte. De los diferentes tipos de procedimiento de soldadura el que tuvo la mayor difusión, en el campo industrial, es el de la soldadura con electrodo revestido, en el que el material de aporte se obtiene por la fusión del alambre o núcleo metálico que integra el

¹⁰ Eygeralde Miguel, Disponible en:
<http://campusvirtual.edu.uy/archivos/mecanicageneral/soldadura/08%20Proceso%20GTAW.pdf>

electrodo revestido. Y cuya fusión se realiza dentro de una atmósfera gaseosa protectora generada por la quema de los elementos que integran el revestimiento (Ver ilustración 1). Internacionalmente, el proceso de soldadura por arco con electrodo revestido se conoce con la sigla en inglés de SMAW (*Shielded Metal Arc Welding = Soldadura por arco metálico protegido*).

Ilustración 1. Proceso SMAW



5.3.2.1. Electrodo revestidos.

Estos electrodos están constituidos por un núcleo metálico, el alambre, y una pasta o revestimiento de composición muy variable, de acuerdo al tipo. El alambre utilizado para la fabricación de los electrodos proviene de un acero de características efervescentes y de bajo contenido de carbono, esto significa que es fundido sin la adición de desoxidantes. La elección de los alambres para la fabricación de los electrodos se obtiene a través de un análisis químico, y la composición debe corresponder aproximadamente a un acero tipo 1006/1010 de la norma S.A.E.

El revestimiento debe cumplir, fundamentalmente, tres funciones importantes, no siempre compatibles entre sí, las que deben guardar un adecuado equilibrio, como por ejemplo: proporcionar un arco estable y de fácil re-encendido - función eléctrica - , proveer el gas que debe proteger el metal fundido del aire atmosférico, permitir soldar en todas las posiciones - función física - y debe formar una escoria metalúrgica, o sea, capaz de

desoxidar y refinar el metal depositado y también transferir elementos de aleación - función metalúrgica.

Con mayor detalle se podría decir: que el revestimiento ideal es aquel que, proporciona simultáneamente:

- a) Un metal depositado con propiedades mecánicas y metalúrgicas correctas, una buena desoxidación y adecuada transferencia de elementos de aleación.
- b) Facilidad de operación del electrodo en corriente continua y alterna, y buen control de la escorias durante la ejecución de la soldadura.
- c) Cordones libres de poros y resistentes a la propagación de fisuras.
- d) Fácil remoción de la escoria.
- e) Pocas salpicaduras.
- f) Arco estable y de fácil re-encendido.
- g) Buena penetración.
- h) Alta velocidad de deposición.
- i) Buena terminación del cordón de soldadura (limpio, liso, etc.).
- j) El revestimiento debe ser resistente pero también flexible; no debe proporcionar gases perjudiciales a la salud; debe tener buena resistencia al sobre calentamiento dentro de su faja de amperaje y también lo menos higroscópico posible.

Como se mencionó anteriormente varias de las exigencias señaladas son incompatibles entre sí y su equilibrio demanda un gran compromiso para el fabricante; un estudio consciente y permanente sobre estos aspectos será lo que permita obtener electrodos de calidad y de fácil empleo, sobre todo en los trabajos de mayores exigencias metalúrgicas, mecánicas y/o operativas.

El revestimiento está compuesto por una mezcla de:

- *Óxidos naturales* (óxido de Fe, óxido de Mn, óxido de titanio, óxido de silicio, etc.).
- *Silicatos naturales* (feldespato, caolín, mica, circonio, etc.). *Carbonatos* (dolomita, magnesita, calcita, etc.).
- *Ferro-aleaciones* (ferro-manganeso, ferro-silicio, ferromolibdeno, etc.).
- *Sales metálicas* (fluorita, criolita, etc.).
- *Substancias orgánicas* (celulosa).

- *Aglomerantes* (silicato de Na o silicato de K).

Cada uno de esos elementos desempeña una función determinada, sea durante la fusión, sea durante la solidificación; en una palabra el revestimiento realiza un gran número de funciones que pueden ser resumidas en:

- a) Función eléctrica.
- b) Función física.
- c) Función metalúrgica.¹¹

5.3.3. Soldadura de arco con deposición de material regulado (RMD)

Se trata de un control preciso de la transferencia por cortocircuito que proporciona un baño estable y sin agitaciones. Esto permite que haya menos posibilidades de falta de fusión, menor índice de proyecciones y una mayor calidad en el cordón de raíz en tubería. La estabilidad de este proceso de soldadura disminuye la necesidad de adiestramiento del soldador, al ser mucho más tolerante a los malos ajustes y desalineamientos.

Los cordones de raíz son de un mayor espesor que los convencionales, lo que puede eliminar la necesidad de realizar la “hot pass” y mejorar así la productividad. En algunas aplicaciones con acero inoxidable se puede llegar a eliminar la purga de gas, con el consiguiente aumento de productividad y reducción de costes.

Las ventajas más significativas de este proceso son:

- a) Excelente para cordones de raíz.
- b) Excelente mojado de bordes.
- c) Reducción de proyecciones.
- d) Tolerante a malos alineamientos y preparaciones.
- e) Tolerante a variaciones de stickout.
- f) Menor necesidad de adiestramiento.

¹¹ El proceso de soldadura por arco revestido, disponible en: <http://campusvirtual.edu.uy/archivos/mecanica-general/MATERIAL%20BIBLIOGRAFICO%20TECNICO%20PARA%20APOYO%20DOCENTE/APORTES%20VARIOS%20PARA%20DOCENTES/CURSO%20SOLDADURA%20PRACTICO/Capitulo%20III-b%20-%20El%20Proceso%20de%20Soldadura%20por%20Arco%20con%20Electr.pdf>

- g) Pasadas de raíz más gruesas pueden eliminar “hot pass”.
- h) Eliminación del gas de respaldo en algunas aplicaciones de acero inoxidable.¹²

5.3.4. Soldadura por arco con núcleo de fundente (FCAW)

La soldadura por arco con núcleo de fundente (*flux cored arc welding, FCAW*) es un proceso de soldadura por arco que aprovecha un arco entre un electrodo continuo de metal de aporte y el charco de soldadura. Este proceso se emplea con protección de un fundente contenido dentro del electrodo tubular, con o sin un escudo adicional de gas de procedencia externa, y sin aplicación de presión.

El electrodo con núcleo de fundente es un electrodo tubular de metal de aporte compuesto que consiste en una funda metálica y un núcleo con diversos materiales pulverizados. Durante la soldadura, se produce un manto de escoria abundante sobre la superficie de la franja de soldadura.

El aspecto que distingue al proceso *FCAW* de otros procesos de soldadura por arco es la inclusión de ingredientes fundentes dentro de un electrodo de alimentación continua. Las notables características de operación del proceso y las propiedades de la soldadura resultante se pueden atribuir al empleo de este tipo de electrodo.

El proceso *FCAW* tiene dos variaciones principales que difieren en su método de protección del arco y del charco de soldadura contra la contaminación por gases atmosféricos (oxígeno y nitrógeno). Una de ellas, la *FCAW* con autoprotección, protege el metal fundido mediante la descomposición y vaporización del núcleo de fundente en el calor del arco. El otro tipo, la *FCAW* con escudo de gas, utiliza un flujo de gas protector además de la acción del núcleo de fundente. En ambos métodos, el material del núcleo

¹² Equipo de soldadura PipePro 300 disponible en: http://www.itw-welding.es/ITW_welding/Productos_Miller_Multipro_files/Pipepro%20300-spa.pdf

del electrodo proporciona una cubierta de escoria sustancial que protege el metal de soldadura durante su solidificación.

Normalmente, la soldadura por arco con núcleo de fundente es un proceso semiautomático, aunque también se emplea para soldadura automática y mecanizada.¹³

5.4 INSPECCIÓN

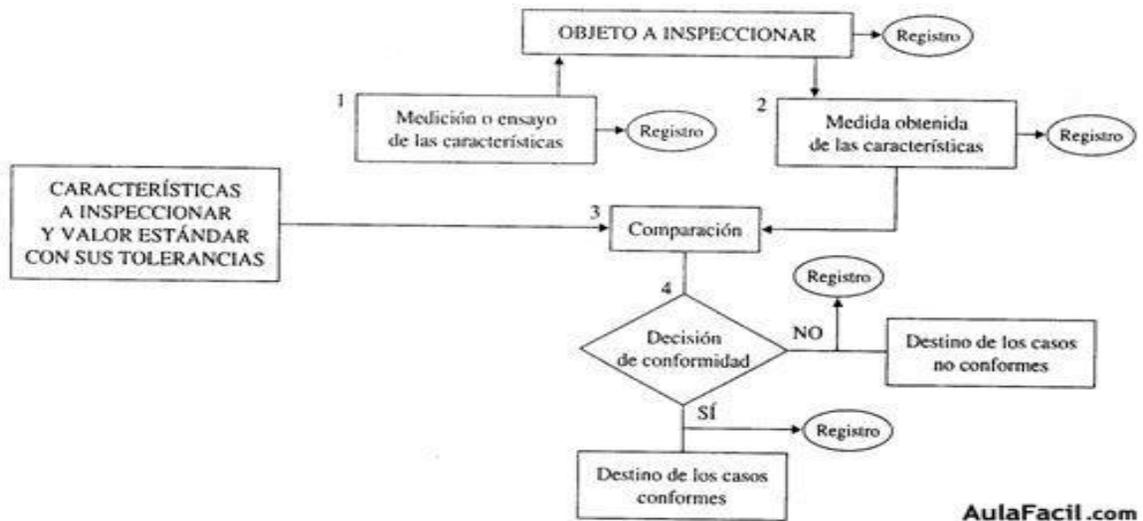
La inspección es la evaluación de la calidad de alguna característica del producto. Las actuaciones para realizar una inspección son las siguientes:

- Determinación de la característica del producto a inspeccionar.
- Medición o ensayo de la calidad de esa característica.
- Comparación de la característica especificada o estándar con la medida obtenida y determinación de la conformidad.
- Decisión sobre el destino de los casos conformes.
- Decisión sobre el destino de los casos no conformes.
- Registro de los datos obtenidos.

En el proceso de producción existen diversos puntos de inspección. Estos puntos de inspección se determinan según un plan preestablecido. Para cada punto de inspección es necesario determinar todas las actuaciones del proceso de inspección. (*Ver ilustración 2*).

¹³ PROCESO DE SOLDADURA FCAW (FLUX CORED ARC WELDING) disponible en:
<http://sublimewelding.blogspot.com.co/2008/04/proceso-de-soldadura-fcaw-flux-cored.html>

Ilustración 2. Características a inspeccionar y valor estándar con sus tolerancias¹⁴



5.4.1 Modalidades de Inspección

La inspección puede ser visual, mediante la medida de una magnitud física sencilla o mediante ensayos de laboratorio. Dependiendo de la naturaleza del producto, la inspección puede ser de diversos tipos:

- Inspección de unidades discretas de producto, es decir, de elementos independientes, como tornillos, platos o bolas de rodamiento.
- Inspección de partes de una masa de la que se ensaya una muestra, como, por ejemplo, una colada de acero o una cuba de vino.

Normalmente los productos se inspeccionan en forma de lote, que es un conjunto de unidades del producto elaboradas bajo condiciones homogéneas.

¹⁴ Disponible en: <http://www.aulafacil.com/cursos/l20147/empresa/organizacion/calidad-en-la-empresa-y-organizaciones/el-control-de-calidad>

La intensidad de la inspección puede tomar diversos grados:

- No inspeccionar, cuando existen garantías suficientes por el propio dominio del proceso de fabricación de que el producto cumple las especificaciones.
- Inspección por muestras pequeñas, pues existe un gran nivel de dominio del proceso que únicamente requiere comprobaciones para verificar el mantenimiento de las condiciones.
- Inspección por muestras amplias, mediante muestreo aleatorio.
- Inspección al 100% cuando se trata de productos críticos, especialmente complejos o con procesos de fabricación muy variables en los que el muestreo estadístico es insuficiente.

5.4.2 La Inspección por Muestreo

Es un proceso de evaluación de una parte, elegida aleatoriamente, del producto contenido en un lote a fin de aceptar o rechazar todo el lote.

La principal ventaja del muestreo, frente a la inspección 100%, es la economía, porque se inspecciona sólo una parte del lote.

Para realizar este tipo de inspección, es necesario elaborar un plan de muestreo, que debe determinar:

- El tamaño del lote, que se representa por N , y es el número de piezas o la cantidad a granel del lote.
- El tamaño de la muestra, que se representa por n , y es el número de piezas o cantidad de material de la muestra.
- El número de aceptación, que se representa por c , y que es el número permisible máximo de piezas defectuosas de una muestra para aceptar el lote.

Los lotes aceptados continúan el proceso previsto. Para los lotes rechazados es necesario establecer su tratamiento, que puede consistir en:

1. Inutilizar el lote.
2. Realizar una inspección 100% del lote para separar o reparar las piezas defectuosas.
3. Realizar una segunda muestra (muestreo doble), separando o reparando las piezas encontradas defectuosas.¹⁵

Las **certificaciones de calidad** están relacionadas con el establecimiento previo de una norma o referencial entre todas las partes que tienen interés sobre un producto como pueden ser proveedores, compradores y usuarios, o gobiernos, entre otros. De esta manera, una vez alcanzado un consenso sobre las características básicas y mínimas que tiene que tener un producto o servicio, se llega a la certificación.

Así, la **certificación de calidad** será el resultado de un proceso en el que una serie de auditores calificados de una entidad de certificación acreditada para ello garantice que un producto o un sistema de gestión se ajustan a las características de la norma que se ha tomado como referencia.

Por otra parte, **las certificaciones de calidad aportan confianza al cliente**, al consumidor y a los proveedores, ya que en un mercado cada vez más competitivo suponen una diferenciación con el resto de empresas competidoras, a la vez que mejora la imagen de los productos o de los servicios que ofrece, y de la reputación e imagen de la propia empresa. Asimismo, las certificaciones de calidad contribuyen a que la empresa gane cuota de mercado y pueda acceder a mercados exteriores, algunos de los cuales ya solicitan estas certificaciones para permitir el acceso.¹⁶

5.5 RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL

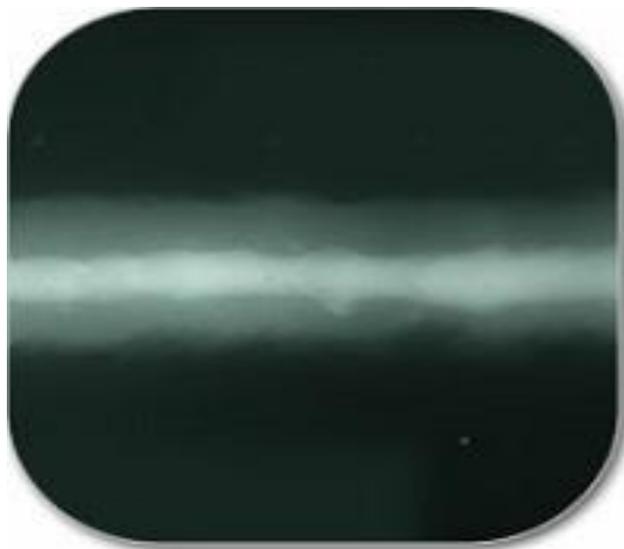
La radiografía industrial es un ensayo no destructivo que consiste en atravesar una radiación electromagnética ionizante (rayos γ o rayos X), a través de la pieza a inspeccionar. Esta radiación es más o menos absorbida por las Discontinuidades internas

¹⁵ Disponible en <http://www.aulafacil.com/cursos/l20147/empresa/organizacion/calidad-en-la-empresa-y-organizaciones/el-control-de-calidad>

¹⁶ Gazsi Peter. (2012, octubre 17). ¿Qué son las certificaciones de calidad? Disponible en: <http://www.gestiopolis.com/que-son-las-certificaciones-de-calidad/>

de la pieza, llegando a la otra cara de la misma, con una intensidad de radiación distinta, e impresiona una película radiográfica, la cual, una vez revelada, muestra variaciones de densidades, siendo más oscura en la zona de menor espesor y más clara en la zona de mayor espesor. Para la interpretación de las placas radiográficas el inspector debe considerar las indicaciones producidas sobre las mismas, considerando que pueden ser afectadas por otras causas tales como geometría de la pieza, defecto de la película. (Ver ilustración 3).

Ilustración 3. Placas Radiográficas



La detección de un defecto por medio del ensayo radiográfico depende de:

- Orientación del defecto, con respecto a la dirección del haz.
- Espesor de la pieza.
- Técnica radiográfica aplicada.
- Selección de la película radiográfica.
- Procesado de la película.
- Selección de la fuente de emisión.

5.5.1 Ventajas

- ✓ Puede ser usado en muchos materiales.

- ✓ Provee una imagen visual permanente.
- ✓ Revela la naturaleza interna del material.
- ✓ Descubre errores de fabricación.
- ✓ Revela discontinuidades estructurales.
- ✓ Alto poder de penetración.
- ✓ Evita las re inspecciones.
- ✓ No afectado por recubrimientos.
- ✓ Identifica discontinuidades.
- ✓ Minimiza la subjetividad del inspector.

5.5.2 Desventajas

- ✓ Los defectos cuya orientación no es favorable a la dirección de radiación no son detectados. Aquellos defectos que se encuentren en un plano que esté en la línea del haz radiográfico no serán detectados.
- ✓ Piezas con geometría complejas dificultan, y hasta imposibilitan, la correcta aplicación de la técnica.
- ✓ No hay posibilidad de conocer la profundidad de un defecto a no ser que se emplee el procedimiento estereométrico, aunque algunos expertos ya sea por diferencia de densidad y/o comparación con patrones la calculan en forma aproximada.
- ✓ Los espesores de pared de la sección a inspeccionar podrían limitar su empleo.
- ✓ El uso de radiografía industrial tiene un aspecto no asociado con otros métodos de ensayos no destructivos como lo es el peligro de radiación excesiva.
- ✓ Los materiales para el revelado de la placa radiográfica gradualmente pierden sus propiedades o pueden ser manejados inadecuadamente, obteniéndose como resultado placas radiográficas de baja calidad.

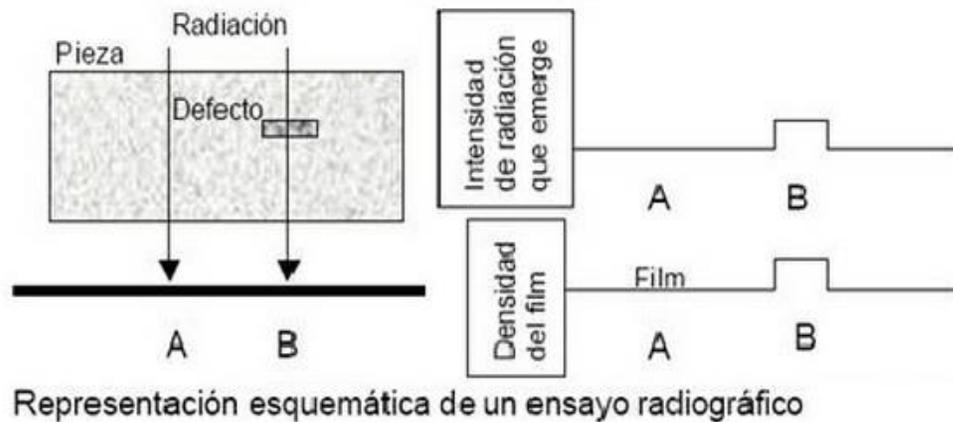
5.5.3 Procedimiento de Inspección

El método se basa en la mayor o menor transparencia a los rayos X o Gamma de los materiales según su naturaleza y espesor. El objeto es irradiado, la radiación atraviesa el

material siendo absorbida parcialmente por él y emerge con distintas intensidades las que son interceptadas por un film fotográfico. Luego del procesado de la película, se evalúa la imagen y los defectos.

En el ensayo radiográfico se usan principalmente los rayos X y los rayos Gamma que son ondas electromagnéticas que tienen casi las mismas propiedades físicas, pero difieren en su origen. Estos rayos tienen la capacidad de penetrar los objetos, y ésta depende del tipo de material, espesor, densidad del objeto, y de la existencia de defectos en la pieza. Son ensayos fundamentados en las normas y códigos ASME, AWS, ASNT, y sólo son aplicados por un nivel 2 o 3. El ensayo radiográfico es el método para examinar defectos y se basa en el cambio de la intensidad de los rayos X emergentes de la pieza usando como medio de registro un film o un sistema de TV de rayos X.¹⁷ (Ver ilustración 4).

Ilustración 4. Representación esquemática de un ensayo radiográfico



5.5.4. Laboratorio de Radiaciones Nucleares Gammagrafía Industrial

La gammagrafía es un método de ensayo no destructivo que se basa en la diferente absorción a la radiación “gamma” penetrante de la pieza que está siendo inspeccionada.

¹⁷ Equipos y Laboratorio de Colombia, Disponible en: http://www.equiposylaboratorio.com/sitio/contenidos_mo.php?it=5081

Esta absorción depende de la densidad del material, de variaciones de espesor o de su composición química.

La diferencia de absorción a la radiación puede ser detectada a través de películas radiográficas y puede ser medida por medio de detectores de radiación.

Generalmente este ensayo es usado en la determinación de variaciones de una región de un determinado material que presenta una diferencia en espesor o densidad comparada con una región vecina. La gammagrafía se aplica, en la inspección o control de calidad de, soldaduras, placas fundidas y forjadas, tuberías y construcción civil.¹⁸

5.6 LÍQUIDOS PENETRANTES¹⁹

El ensayo por líquidos penetrantes es un ensayo no destructivo que se emplea para detectar e indicar discontinuidades abiertas a la superficie en materiales sólidos no porosos. El principio en el cual se basa esta técnica no destructiva es la capacidad de que un líquido pueda penetrar por capilaridad y ser retenido en las discontinuidades abiertas a la superficie como pueden ser fisuras y poros.

La penetración por capilaridad es la propiedad que tiene algunos fluidos y que modifica los efectos de algunos principios fundamentales de la física, como pueden ser la ley de la gravedad y los vasos comunicantes. Ello se debe a la propiedad denominada tensión superficial, la cual origina una cohesión entre las moléculas superficiales de los líquidos, capaz de resistir una determinada tensión.

Se dice por tanto que hay líquidos que "mojan" más que otros y esto tiene un reflejo más acusado en el interior de tubos de muy pequeño diámetro (capilares), en los cuales los líquidos de menor tensión superficial ascenderán más. Las pequeñas grietas superficiales que se pueden encontrar en la superficie de materiales no porosos, actúan también como

¹⁸ Universidad Pedagógica y tecnológica de Colombia, 2014, Disponible en: http://www.uptc.edu.co/facultades/f_ciencias/pregrado/fisica/inf_adicional/laboratorios/gammagrafia

¹⁹ Aimen Centro Tecnológico 1967-40-2007, Disponible en: http://www.obtesol.es/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=178

capilares y favorecen la penetración en las mismas de fluidos que tengan una reducida tensión superficial.

Este fenómeno ocurrirá independientemente de la orientación de las grietas, ya que no es la gravedad la que hace introducirse el líquido en la discontinuidad. El ensayo por líquidos penetrantes se puede resumir en los siguientes pasos:

- ❖ *Limpieza inicial:* Consiste en eliminar de la zona a inspeccionar cualquier resto de contaminante que dificulte, tanto la entrada del penetrante en las discontinuidades como la posterior eliminación del que queda sobre la superficie.
- ❖ *Aplicación del líquido penetrante y tiempo de penetración:* Consiste en cubrir la superficie a inspeccionar con el líquido penetrante y dejar transcurrir el tiempo necesario para que dicho líquido pueda llenar por capilaridad las discontinuidades.
- ❖ *Eliminación del exceso de penetrante:* Con esta etapa se evita la posterior formación de indicaciones falsas.
- ❖ *Aplicación del revelador:* Una vez eliminado el exceso de penetrante se aplica un revelador en forma seca o finamente pulverizado en una suspensión acuosa o alcohólica de rápida evaporación. Al final queda una fina capa de polvo cubriendo la zona a ensayar.
- ❖ *Inspección para interpretar y evaluar las indicaciones:* La fina capa de revelador absorbe el líquido penetrante retenido en las discontinuidades, llevándolo a la superficie donde puede registrarse y evaluar.
- ❖ *Limpieza final:* Se trata de eliminar los restos de todos los agentes químicos empleados, para prevenir posibles daños o malfuncionamientos de la pieza cuando vuelva a ser utilizada.

5.6.1 *Ventajas Generales del Ensayo de Líquidos Penetrantes.*

- Es una técnica que permite ensayar toda la superficie de la pieza.
- La geometría y el tamaño de la pieza a inspeccionar no es un factor crítico.
- Es una técnica razonablemente rápida y fácil de emplear.
- No necesita equipos complejos o caros.

- Se puede realizar de forma automatizada o manual, en taller o en obra.

Se requieren pocas horas de capacitación de los inspectores.

5.6.2 Limitaciones generales del Ensayo de Líquidos Penetrantes

- Es una técnica que sólo se puede aplicar a defectos superficiales y a materiales no porosos.
- La superficie a ensayar tiene que estar completamente limpia. No se puede utilizar en piezas pintadas o con recubrimientos protectores.
- No proporciona un registro permanente de las indicaciones.
- Los inspectores deben tener una amplia experiencia.

5.7. RECUBRIMIENTOS*

La correcta aplicación proceso de recubrimientos garantiza la protección contra la acción externa de agentes agresivos, humedad y compuestos en tuberías aéreas, enterradas, accesorios, y todos los elementos de estructuras de acero y soportes de tubería que forman parte del proyecto.

La aplicación de pintura deberá estar de acuerdo con lo descrito en los pliegos del contrato y de acuerdo con las recomendaciones del fabricante de pintura. El procedimiento aplica a preparación de superficie y aplicación de recubrimiento en taller, así como trabajos en sitio.

5.7.1. Procedimiento de limpieza y preparación de superficie de acero

Se evaluarán las condiciones de los equipos de preparación de superficie, determinando la presencia de aceite y/o agua en el aire a presión, suministrado por el compresor utilizado en los trabajos de preparación de superficie.

Después de haber colocado el compresor en funcionamiento por un lapso de tiempo mayor a 5 minutos se determinará la presencia de aceite y/o agua de la siguiente

manera: se colocará un trapo blanco o un colector absorbente (acetato), en la boquilla de salida a una distancia de 60 cm aproximadamente, durante dos (2) minutos, luego se efectuará el control de calidad para determinar la presencia de aceite y/o agua.

El trapo o colector absorbente usado en la prueba de humedad y aceite, se almacenará como testigo de prueba.

En caso de presentarse agua y/o aceite en el chequeo, no se permitirá el uso del equipo suministrador de aire en los trabajos de preparación de superficie y aplicación de pintura hasta que no sean ajustados en las condiciones que permitan su uso.

La arena debe ser dulce, lavada, con alto contenido de sílice, libre totalmente de barro, tierra y materias extrañas e impurezas que puedan afectar su calidad y la de la superficie. Además debe estar perfectamente seca.

Todas las superficies que van a ser preparadas deben estar completamente libres de grasas, residuos, aceite, incrustaciones escorias de soldadura y cualquier material extraño, limpiar la superficie exterior del tubo de acuerdo con *SSPC SP-1* para remover aceite y depósitos adheridos.

El perfil de anclaje ayuda a determinar el grado de preparación de superficie, ejecutado por la técnica de chorro abrasivo. El área asignada para la realización de la prueba, debe estar libre de cualquier suciedad que pueda interferir con el análisis, también la superficies debe ser plana y no presentar protuberancias. La cinta Textex, no podrá ser usada sobre superficies que se encuentren a una temperatura mayor a 50°C. Se colocará la cinta sobre la superficie y con un instrumento de terminación redondeada se frotará la cinta en la parte circular contra la superficie, sin excederse en la fuerza de aplicación, logrando grabar el perfil de anclaje sobre la misma.

El total de la superficie a evaluar debe estar libre de cualquier suciedad que pueda interferir con el análisis y se procede a efectuar la operación de comparación con el grado de limpieza requerido de acuerdo a las características del recubrimiento a aplicar y demás

factores externos que puedan influir para obtener la limpieza determinada. Se puede además usar patrones fotográficos de comparación para definir las condiciones finales de la superficie como el estándar visual para aceros limpiados con chorro abrasivo *SSPC-VIS 1-89*.

Se deben monitorear las variables ambientales antes y después de la limpieza y antes y después de la aplicación de los recubrimientos:

- Humedad relativa (HR): máximo 95%,
- Temperatura ambiente (Ta): mínima de aplicación: 8 °C,
- Temperatura del substrato metálico (Ts): mínima 8°C máxima 50 °C
- Temperatura de rocío (Td)
- Diferencia ($\Delta=Ts-Td$): 3°C como mínimo

De todas maneras se deben verificar los diferentes parámetros de acuerdo a las fichas técnicas y de seguridad industrial suministradas por el proveedor de pintura.

El *sandblasting* no debe ser realizado en días lluviosos, debe ser seguido de una limpieza con aire, la base anticorrosiva (primer) debe ser aplicada el mismo día en que el *sandblasting* haya sido realizado.

Todos los operarios encargados de la ejecución del procedimiento deben cumplir con los requisitos de seguridad exigidos para la aplicación de recubrimientos, y todos deben tener y dar correcto uso de los EPP'S.

5.7.2. Aplicación de Recubrimientos

Cada envase de pintura debe estar marcado por el fabricante con el nombre, número, color y número de lote. La pintura deberá almacenarse bajo cubierta y permanecer en sus respectivos envases hasta el momento de su uso.

Después que la operación de pintura o recubrimiento sea terminada en un área específica, todas las herramientas, deshechos, materiales, etc, generados por la aplicación de pintura, deberán ser removidos; para los que sea necesario desechar se hará la respectiva disposición.

5.8. PRUEBA HIDROSTÁTICA²⁰

Los ensayos no destructivos se han practicado por muchas décadas. Se tiene registro desde 1868 cuando se comenzó a trabajar con sistemas de pruebas para garantizar que el sistema funcionara al 100% en condiciones de operación, de ahí surgieron distintos métodos para percatarse de anomalías una de ellas es la Prueba de Hermeticidad conocida como PH (Prueba Hidrostática), con el fin de verificar la integración físicas, químicas y mecánicas de un sistema para la puesta en operación.

Las pruebas hidrostáticas se encuentran incluidas en los ensayos no destructivos y específicamente en los de hermeticidad. La prueba hidrostática es una prueba no destructiva mediante el cual se verifica la integridad física de una tubería ó sistema en donde el agua es bombeada a una presión más alta que la presión de operación y se mantiene a esa presión por un tiempo establecido previamente el cual varía según la longitud del tramo a probar.

5.8.1. Desarrollo de Prueba

En la prueba hidrostática se verifica la estanquidad y resistencia de la instalación. Para realizar la prueba se necesitan:

- Bomba de baja y alta presión.
- Manguera de alta presión y conexiones rápidas.
- Manómetros de diferentes escalas para registrar la presión a la que está sometida el sistema.
- Registrador gráfico de presión (Pressure Chart Recorder) ó Termógrafo que registre la temperatura.
- Termomanómetro para registrar gráficamente en el mismo equipo la presión y temperatura.

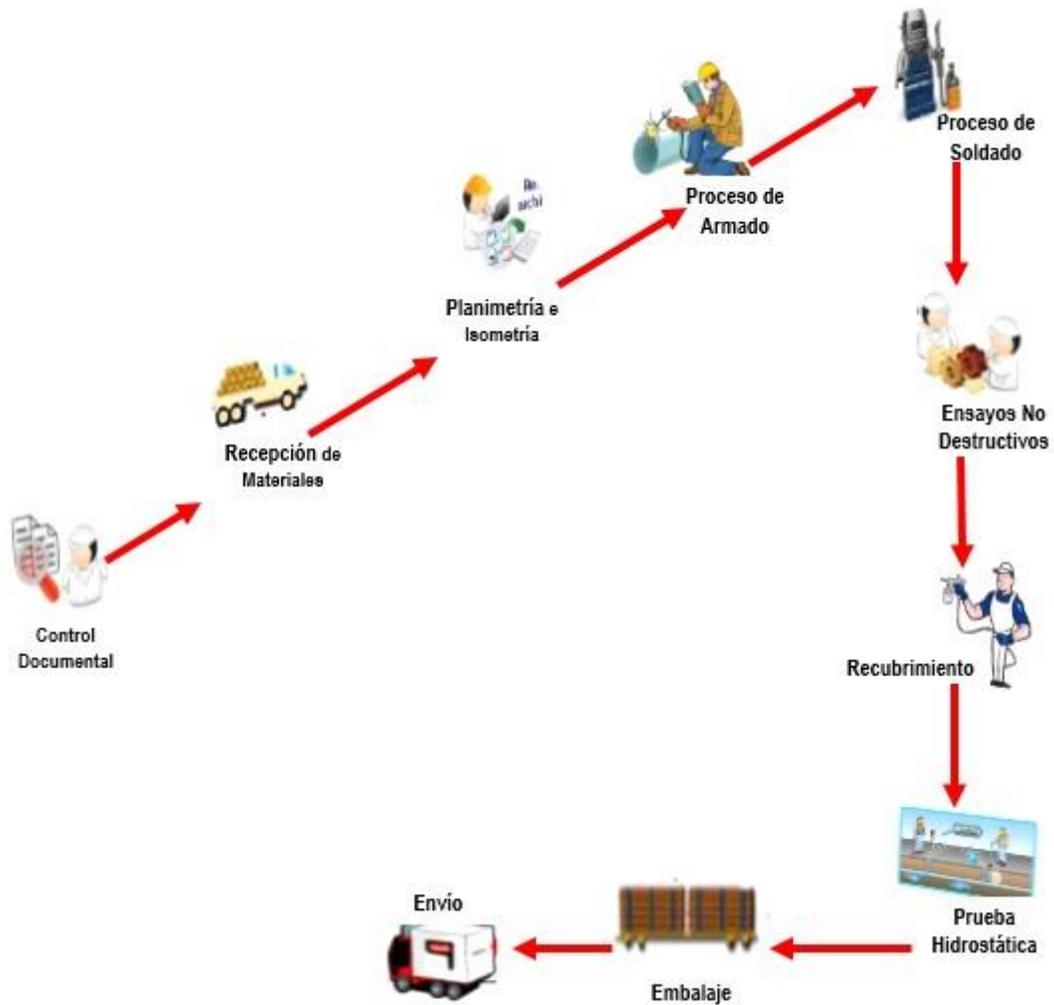
²⁰ Disponible en: https://miutj.files.wordpress.com/2012/03/1_introduccion_pruebas_hidrostaticas.pdf

Esta prueba se aplica en recipientes que van a trabajar con presión tanto en su construcción como a lo largo de la vida del recipiente dependiendo de su categoría, de acuerdo con el Reglamento de Aparatos a Presión. Las pruebas hidrostáticas son realmente importantes en las tuberías pues con ellas se verifica la calidad de estas.

- 1) Verificar que los manómetros estén calibrados.
- 2) El recipiente a analizar, deberá colocarse y ubicarse de tal manera que se eviten deformaciones en el tanque al momento del llenado con agua.
- 3) Se deben de colocar los instrumentos, todas las bridas y las partes roscadas se deben sellar antes de la prueba.
- 4) Las pruebas hidrostáticas se realizarán en presencia del inspector de calidad de la fábrica y/o el representante de ASME.
- 5) Por lo menos un manómetro deberá ser colocarse en la parte más alta del recipiente y deberá colocarse una válvula de corte entre el tanque y los instrumentos.
- 6) El equipo que se necesita para la prueba es el siguiente: Bomba neumática, Compresor. Durante el inicio de la prueba el tanque se puede llenar con agua de pipa o con un suministro de agua de la red del fabricante.
- 7) Verificación de presión requerida para la prueba.
- 8) Seguimiento de la presión contra tiempo
- 9) Justificación de terminación de la prueba.
- 10) Vaciado del Tanque.
- 11) Elaboración de un Reporte con los factores encontrados.
- 12) Continuación normal del funcionamiento del equipo

6. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

Ilustración 5. Flujo grama de Proceso de Control de Prefabricación Estación Compresora.



6.1 ESTACIÓN COMPRESORA EL JOBO

A continuación, se presenta las generalidades de la estación compresora de gas EL JOBO, teniendo en cuenta que el desarrollo de este trabajo está limitado al proceso de prefabricación, el diseño es suministrado por la compañía *CCR INGENIEROS ASOCIADOS SAS* y el montaje de la estación es realizado por *CONSORCIO EL JOBO*.

Ubicada en el municipio de Sahagún, departamento de Córdoba. Es una planta de tratamiento de gas diseñada para entregar 100 (Million standard cubic feet per day) MMSCFD de gas a condiciones de Reglamento Único de Transporte (RUT) establecidas por La Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). El alcance del proyecto incluye la ingeniería, diseño, construcción, y puesta en marcha de la planta.

La planta recibe gas natural, el cual es pasado por 5 procesos principales:

1. Separación de entrada: donde se retiran los líquidos libres en el gas.
2. Compresión de primera etapa: el gas se comprime para alcanzar condiciones óptimas para el proceso de deshidratación.
3. Deshidratación con glicol: a fin de lograr un contenido de agua inferior a 6 lb/MMSCFD. El gas contiene agua la cual debe ser retirada para evitar formación de hidratos en la etapa criogénica del proceso.
4. Estabilización del gas: el gas se expande mediante una válvula de control de temperatura, la expansión súbita del gas conlleva al fenómeno Joule Thomson que implica la disminución de la temperatura del gas, logrando condensar hidrocarburos pesados contenidos en él, los cuales también serán retirados.
5. Compresión de segunda etapa: el gas tratado es nuevamente comprimido hasta alcanzar condiciones requeridas de entrega.

La planta a su vez cuenta con servicios auxiliares que permiten la operación de la misma.

.²¹ (Ver ilustración 6 y 7).

²¹ Equipos y Laboratorio de Colombia, Disponible en:http://www.equiposylaboratorio.com/sitio/contenidos_mo.php?it=5081

Ilustración 6. Simulación 3D de Distribucion Estacion EL JOBO Vista Frontal

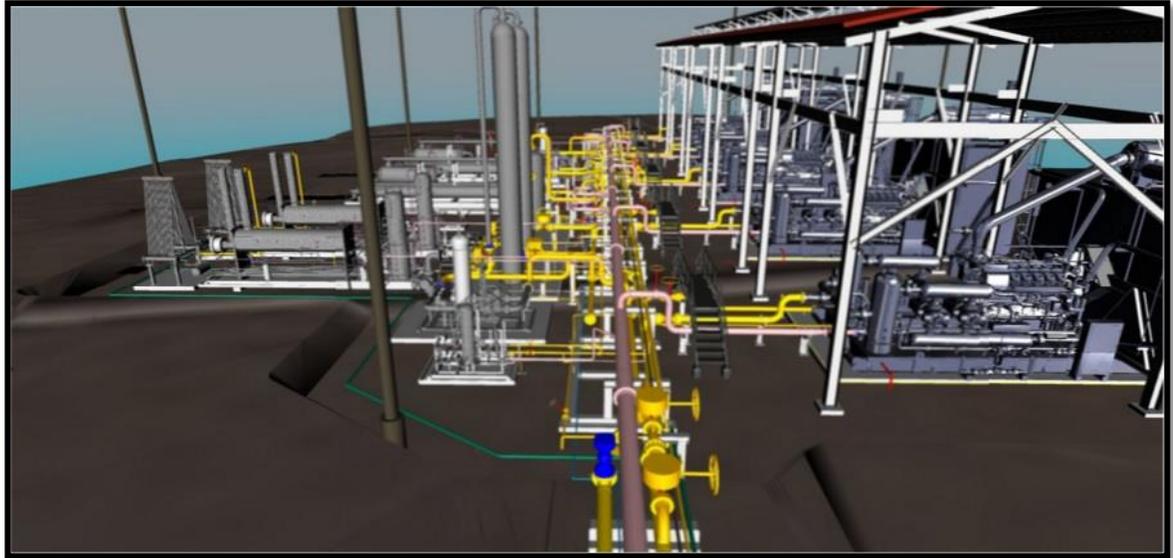
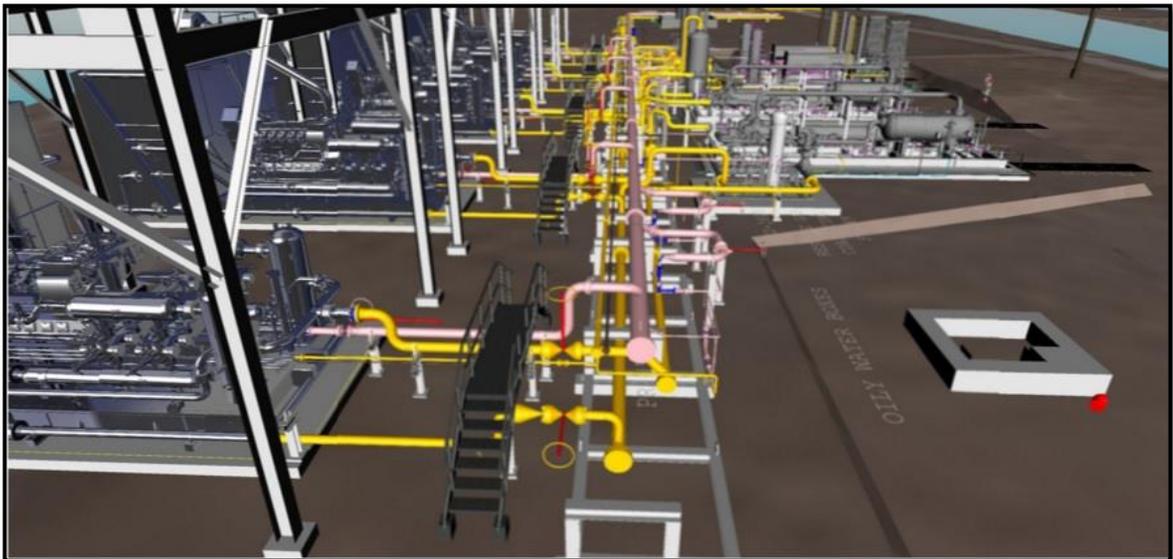


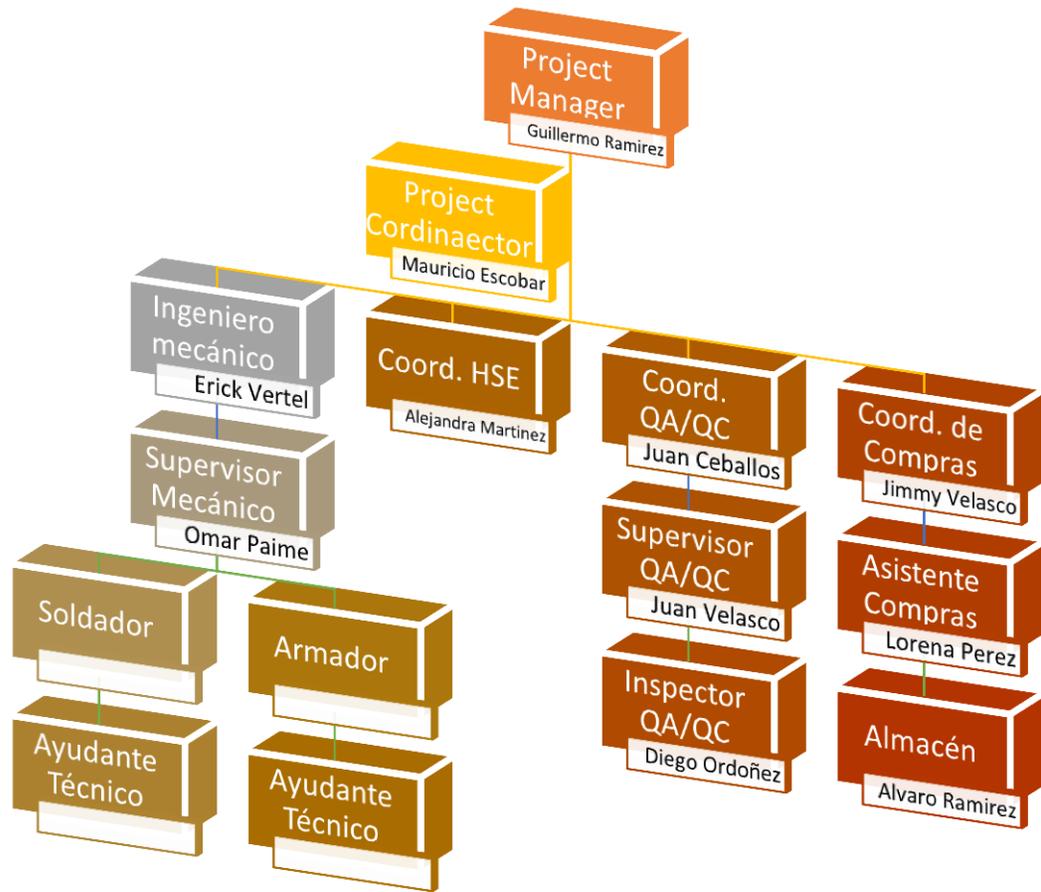
Ilustración 7. Simulación 3D de Distribucion Estacion EL JOBO Vista Posterior.



En las ilustraciones 6 y 7 se puede observar una vista frontal y otra posterior de la distribución tanto de equipos como del pipe rack (SKID) en una simulación 3D, realizada en el CAD **Cadworks**, suministrado por la empresa **CCR Ingenieros SAS**.

6.1.1. Organigrama del Proyecto Estación El Jobo.

Ilustración 8. Organigrama Prefabricado el Jobo



6.2. CONTROL DOCUMENTAL

La empresa *STEEL PREFABRICADOS Y ESTRUCTURAS* requiere entregar al cliente el dossier de fabricación del proyecto el cual contiene todos los documentos que soportan la calidad de los materiales utilizados, los procedimientos que se llevaron a cabo, y las pruebas que se realizaron para garantizar el óptimo funcionamiento de la estación compresora de gas.

En la prefabricación de las líneas de tubería de la estación compresora, la actividad más importante es la unión de los elementos o accesorios por medio de procesos de soldadura para esto el departamento de calidad cuenta con los documentos básicos para estandarizar estos procedimientos, los cuales se encuentran diligenciados, aceptados y aprobados como lo establece el capítulo IX del código ASME.

Los principales documentos de procedimientos de soldadura fueron suministrados por la empresa CCR INGENIEROS ASOCIADOS S.A.S.

6.2.1 Procedimiento de especificación de soldadura WPS

Para ejecutar la correcta aplicación de los procesos de soldadura se debe garantizar que los documentos que certifican la estandarización de la soldadura de la junta estén debidamente diligenciados, revisados, aprobados y calificados según el proceso que se vaya a emplear. Para este proyecto la empresa cuenta con la calificación de los siguientes procedimientos. (Ver Tabla 3).

Tabla 3. Proceso WPS

Tabla de WPS				
WPS No.	Proceso(s) de soldadura	N° de soporte PQR	Fecha	N° Revisión
1-1-GT/SA-CCR08	GTAW/SAW	GT/SA-CCR08	22/02/2012	1
ST-RMD-FCAW-001	GMAW(RMD)/FCAW	ST-001	30/07/2015	0
CCR09	GTAW	GT-CCR09	10/03/2012	0

El diligenciamiento de estos documentos estuvo a cargo del Ingeniero Metalúrgico Guillermo Ramírez como lo establece el código ASME en su capítulo IX en la siguiente

ilustración podemos ver uno de los WPS utilizados en el prefabricado de la estación compresora. (Ver ilustración 9 e ilustración 10).

Ilustración 9. WPS Hoja 1



QW-482 SUGGESTED FORMAT FOR WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)
(See QW-201.1, Section IX, ASME Boiler and Pressure Vessel Code)

Company Name **CCR Ingenieros Asociados.** By: **Ing. GUILLERMO RAMIREZ**

Welding Procedure Specification No. **1-1-GT/SA-CCR08** Date: **22-02-12** Supporting PQR No.(s) **GT/SA-CCR08**

Revision No. **REV. 1** Date **22/02/2012**

Welding Process(es) **GTAW / SAW** Type (s) **MANUAL/AUTOMATIC**
(Automatic: Manual, Machine or Semi-Automatic)

JOINTS (QW-402)

Joint Design **V A TOPE**

Root Spacing **1/8" ± 1/32"**

Backing (Yes) (No) **X**

Backing Material (Type) _____
(refer to both backing and retainers)

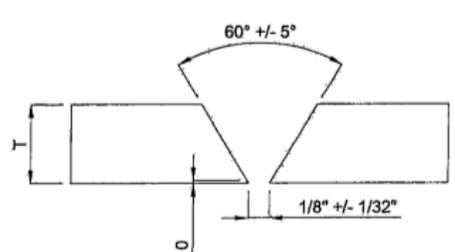
Metal Nonfusing Metal
 Nonmetallic Other

Sketches, Production Drawings, Weld Symbols or Written Description should show the general arrangement of the parts to be welded. Where applicable, the root spacing and the details of weld groove may be specified.

[At the option of the manufacturer, sketches may be attached to illustrate joint design, weld layers and bead sequence(e.g., for notch toughness procedures, for multiple process procedures etc.)]

Other (Describe) _____

Details



DISEÑO DE LA JUNTA

FIG A (BUTT JOINT)

***BASE METALS (QW-403) SA-106B - SA-106B**

P-No. **1** Group No. **1,2** To P-No. **1** Group No. **1,2**

Thickness Range: _____

Base Metal: Groove **3/16" TO 1,123"** Fillet **All**

Other **DIAMETRO ALL**

Maximum Pass Thickness ≤ 1/2" (Yes) (No)

MATERIAL

*FILLER METALS (QW-404)	GTAW	SAW
Spec. No. (SFA)	5.1	5.17
AWS No. (Class)	ER70S-6	EM12K
F No.	6	6
A No.	1	1
Size of filler Metal	3/32"	5/64"
Filler Metal, Trade Name		WEST RODE WA 61
Weld Metal	METAL DE APORTE	
Thickness Range:		
Groove	1/5" (0.2")	23/64" (0.361")
Fillet.	ALL	ALL
Electrode- Flux (Class)	N.A	EN 760 - F7A2
Flux Trade Name	N.A	NEUTRAL (LINCOLN WELD860)
Consumable insert	NA	N.A
Other	ONLY WITH FILLER METAL	NONE

*Each base metal-filler metal combination should be recorded individually.

Ilustración 10. WPS Hoja 2



CCR
Ingenieros Asociados

QW-482 (Back)

WPS No. **1-1-GT/SA-CCR08** Rev **1**

Posicion de la soldadura		POST WELD HEAT TREATMENT (QW-407)	
POSITIONS (QW-405)	Position(s) of Groove: <u>1G</u>	Temperature Range: <u>N/A</u>	
Welding Progression: Up <u>X</u> Down	Position(s) of Fillet: <u>FLAT HORIZONT (SAW)</u>	Time Range: <u>N/A</u>	
Other: _____		Other: <u>Tratamiento termico</u>	

PREHEAT (QW-406)		GAS (QW-408)	
Preheat Temperature, Minimum: <u>100°F -T<=1.25",200°F-T>1.25"</u>	Interpass Temperature Maximum: <u>550° F</u>	Percent Composition	
Preheat Maintenance: <u>UP TO FINISH THE WELDMENT</u>	(tinuous or special heating where applicable should be recorded)	Gas(es)	Flow Rate
Prealemtamiento		Shielding	Argón <u>99.9%</u> <u>20 -30 CPH</u>
		Trailing	None
		Backing	N/A
		Other	Gas

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409)								
RP - SAW								
Caracteristicas Electricas								
Weld Layer(s) or Pass (es)	Process	Classification	Diameter.	Type and Polarity	Amperage Range	Voltage Range	Travel Speed Range	Other (e.g., Remarks, Comments, Hot Wire Addition, Technique, Torch Angle, Etc.)
1	GTAW	ER705-6	3/32"	DCEN	80 - 120	12 -15	2 - 5 IPM	
2	GTAW	ER705-6	3/32"	DCEN	80 - 120	12 - 15	2 - 5 IPM	
3-n	SAW	EM12K	1/8"	Negativa	280 - 500	23 - 30	20-25 IPM	
<small>(Amperage and voltage range should be recorded for each electrode size, position, and thickness, etc)</small> Pulsing Current: <u>NA</u> Heat Input (max): <u>ANY</u> Tungsten Electrode Size and Type: <u>3/32" - 1/8"; EW Ce - 2%</u> <small>(Pure Tungsten, 2%.)</small> Mode of Metal Transfer for (FCAW): <u>N/A</u> <small>(Spray arc, short circuiting arc, etc.)</small> Electrode Wire feed speed range: <u>NA</u> Other: _____								

TECHNIQUE (QW-410)	
String or Weave Bead	<u>STRING</u>
Orifice or Gas Cup Size	<u>5/8", 3/4"</u>
Initial and Interpass Cleaning (Brushing, Grinding, etc.)	<u>BRUSHING, GRINDING</u>
Method of Back Gouging	<u>BRUSHING/GRINDING</u>
Oscillation	<u>NONE</u>
Contact Tube to Work Distance	<u>1 1/4" - 1 1/2"</u>
Multiple or Single Pass (per side)	<u>SINGLE/MULTIPLE</u>
Multiple or Single Electrodes	<u>SINGLE</u>
Electrode Spacing	<u>N.A</u>
Peening	<u>NONE</u>
Other	_____
Tecnica Utilizada	

El formato de especificación para procedimiento de soldadura (WPS) en blanco se encuentra en el anexo 1.

6.2.2 Registro de calificación de procedimiento de soldadura (PQR)

Cuando se ha realizado el WPS y se ha aprobado por el inspector de calidad de soldadura (**Certified Welding Inspector**, CWI) se procede a realizar la calificación del

mismo, para ello en inspector que asesoro y califico el procedimiento fue el **Ingeniero Rodrigo Cely**, la preparación de las juntas y la soldadura de estas según los lineamientos del procedimiento estuvieron a cargo de personal de la compañía **CCR INGENIEROS ASOCIADOS S.A.S**, los ensayos de la prueba de tensión y prueba de doblez guiado fueron hechos en el centro de materiales y ensayos SENA como se aprecia en el ejemplo (Ver ilustración 11, 12 y 13).este informe de tensión y doblez debe tener adjunto el certificado de calibración del equipo (máquina de ensayos universal).

Los PQR preparados por la compañía están descritos en la siguiente tabla.

Tabla 4. Proceso PQR

Tabla de PQR				
PQR No.	Proceso(s) de soldadura	N° WPS	Fecha	Tipo
GT/SA-CCR08	GTAW/SAW	1-1-GT/SA-CCR08	03/03/2012	Manual/Automático
ST-001	GMAW(RMD)/FCAW	ST-RMD-FCAW-001	30/07/2015	Semiauto/Manual
GT-CCR09	GTAW	CCR09	10/03/2012	Manual

En las siguientes ilustraciones se muestra como ejemplo el PQR N° GT/SA-CCR08

Ilustración 11. PQR Hoja 1 de 2

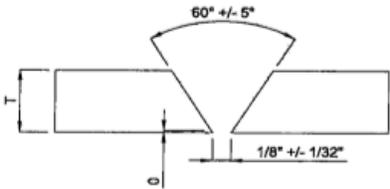
		QW-483 REGISTRO DE LA CALIFICACION DEL PRECEDIMIENTO (PQR) CODIGO ASME SEC. IX CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESION				
Nombre de la Compañía	CCR INGENIEROS ASOCIADOS	Hoja	1/2			
Nombre de los Soldadores	DANIEL CARDENAS (GTAW), EDGAR GOMEZ (SAW)					
Cedula Cuidadania	4.076.878 de Bogotá / 11.342.128 de Zipaq.		Estampe DC / EG			
PQR No.	GT/SA-CCR08	Fecha	03-Mar-12			
Proceso(s) de Soldadura	GTAW-SAW	Tipo	MANUAL / AUTOMATICO			
JUNTAS (QW-402)						
						
Diam. Pipe 6" SCH 120 (THK 0,561"/14,27mm)						
METALES BASE (QW-403)						
No. P	1	Grupo No.	1 a			
Especificación, Tipo, Grado	SA-106 GR. B					
a Especificacion, Tipo, Grado	SA-106 GR. B					
Analisis Quimico y Prop. Mec.						
a Analisis Quimico y Prop. Mec.						
Orden de espesores:						
Metal Base:	Ranura 0,561"	Filete	N/A			
Diametro Tubo:	Ranura 6"	Filete	N/A			
Otros:						
METALES DE APORTE (QW-404)						
Pase No:	1	2	3	4	5	6-n
Especificacion No SFA:	5,1	5,1	5,17	5,17	5,17	5,17
Clase No AWS:	ER70S-6	ER70S-6	EM12K	EM12K	EM12K	EM12K
Grupo No F:	6	6	6	6	6	6
Grupo No A:	1	1	1	1	1	1
Diametro:	3/32"	3/32"	5/64"	5/64"	5/64"	5/64"
Espesor de Deposito mm:	2	2	3	3	3	3
Fundente (Clase):	N/A	N/A	EN 760 - F7A2			
POSICIONES (QW-405)			P.W.H.T. (QW-407)			
Posiciones de Ranura:	1G		Rango de Temperatura	N/A		
Progresion de la Soldadura	N/A		Tiempo Mantenimiento	N/A		
Posicion(es) en Filete	N/A		Otros	N/A		
PRECALENTAMIENTO (QW-406)			GAS (QW-408)			
Temperatura Minima	100°F		Proteccion:	AR (100%)		
Temperatura Máxima Entre Pases	650°F		Arrastre:	25 cfh		
Tiempo de Mantenimiento	Hasta terminar la Soldadura		Respaldo:	N/A		

Ilustración 12. PQR Hoja 2 de 2

PQR No.	GT/SA-CCR08	Hoja	2/2																																								
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW-409)																																											
Corriente	AC _____	DC	X _____																																								
		Polaridad:	NEG. / POS.																																								
Rango de Amperaje	105-320A	Rango de Voltaje	11-30 V																																								
Tamaño Electrodo Tungsteno	3/32"	Tipo	EWTh-2																																								
Forma de Transferencia (GMAW)	N/A																																										
Rango de Velocidad Alimentación del Alambre (IPM)	150																																										
Otros	_____																																										
TÉCNICA DE APLICACIÓN (QW-410)																																											
Cordón Recto u Oscilado:	Oscilado																																										
Tamaño de la Boquilla:	# 5 - # 6																																										
Limpieza inicial y entre Pases:	Grata Circular																																										
Limpieza del Respaldo:	Grata Circular																																										
Oscilación Máxima:	2-1/2 el diámetro del electrodo																																										
Distancia entre Boquilla y Pieza:	1/4" (GTAW) - 3/4" (SAW)																																										
Pasada Simple o Múltiple:	Múltiple																																										
Rango Velocidad de Avance (IPM):	2 - 25																																										
Otros:	_____																																										
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">PASE</th> <th rowspan="2">PROCESO</th> <th colspan="2">METAL DE APORTE</th> <th colspan="2">CORRIENTE</th> <th rowspan="2">VOLTAJE</th> <th rowspan="2">Vel. de Recorrido</th> <th rowspan="2">NOTAS</th> </tr> <tr> <th>Clasificación</th> <th>Diámetro</th> <th>Polaridad</th> <th>Rango</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>GTAW</td> <td>ER70S-6</td> <td>3/32"</td> <td>DC-</td> <td>117-119</td> <td>12-13</td> <td>2 IPM</td> <td>Grata Circular</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>GTAW</td> <td>ER70S-6</td> <td>3/32"</td> <td>DC-</td> <td>117-119</td> <td>12-13</td> <td>3 IPM</td> <td>Grata Circular</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>SAW</td> <td>EM12K</td> <td>5/64"</td> <td>DC+</td> <td>250-260</td> <td>28-29</td> <td>23</td> <td>Grata Circular</td> </tr> </tbody> </table>				PASE	PROCESO	METAL DE APORTE		CORRIENTE		VOLTAJE	Vel. de Recorrido	NOTAS	Clasificación	Diámetro	Polaridad	Rango	1	GTAW	ER70S-6	3/32"	DC-	117-119	12-13	2 IPM	Grata Circular	2	GTAW	ER70S-6	3/32"	DC-	117-119	12-13	3 IPM	Grata Circular	3	SAW	EM12K	5/64"	DC+	250-260	28-29	23	Grata Circular
PASE	PROCESO	METAL DE APORTE				CORRIENTE		VOLTAJE	Vel. de Recorrido				NOTAS																														
		Clasificación	Diámetro	Polaridad	Rango																																						
1	GTAW	ER70S-6	3/32"	DC-	117-119	12-13	2 IPM	Grata Circular																																			
2	GTAW	ER70S-6	3/32"	DC-	117-119	12-13	3 IPM	Grata Circular																																			
3	SAW	EM12K	5/64"	DC+	250-260	28-29	23	Grata Circular																																			
PRUEBA DE TENSIÓN (QW-150)																																											
Identificación	Diámetro (in)	Área (in ²)	Resistencia Máxima a la Tensión	Observaciones																																							
T1	3/4	0,397	88100 psi	Rompe por la soldadura																																							
T2	3/4	0,397	89158 psi	Rompe por la soldadura																																							
PRUEBA DE DOBLEZ GUIADO (QW-160)																																											
Tipo	Resultado																																										
L1 CCR08	No reporta discontinuidades																																										
L2 CCR08	No reporta discontinuidades																																										
L3 CCR08	No reporta discontinuidades																																										
L4 CCR08	No reporta discontinuidades																																										
PRUEBA DE SOLDADURA DE FILETE (QW-180)																																											
Resultado - Satisfactorio	SI _____	N/A _____	NO _____	Penetración SI / NO _____																																							
Resultado Macro Ataque	N/A _____																																										
<p>Ensayo Dirigido por: <u>RODRIGO CELY</u></p> <p>Informe de Laboratorio No: <u>T12-23 (Centro de Materiales y Ensayos SENA)</u></p> <p><i>Certificamos que la información consignada en este registro es correcta y que las pruebas de soldadura fueron preparadas, soldadas, y probadas de acuerdo a los requerimientos del Código ASME sec. IX 2010.</i></p> <p>Elaboró <u>RODRIGO CELY</u> Firma <u></u></p> <p>CWI</p>																																											

Ilustración 13. Certificado de Pruebas de Tensión y Doblez del PQR N° GT/SA-CCR08

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO Versión N° 3 Proceso: Ejecución de Servicios Complementarios Procedimiento: Ejecución y supervisión del ensayo.				
INFORME DE ENSAYO SENA - Centro de Materiales y Ensayos - Laboratorio de Ensayos Destructivos Carrera 30 No. 17B - 25 Sur. Tel.: 5980050 Ext. 14924				
SOLICITUD DE SERVICIO: T12-23 FECHA: 2 DE MARZO DE 2012 NOMBRE DEL CLIENTE: CCR INGENIEROS ASOCIADOS SAS DIRECCION: CALLE 19 SUR NUMERO 28 - 09 TELEFONO: 3156025278 NORMA: ASME SECCION IX PROCESO: GTAW - SAW MATERIAL: ASTM A 106 GRADO B WPS: CCR08	<h1 style="color: green;">Inf. del WPQ</h1>			
EQUIPO UTILIZADO: SHIMADZU UH-50 A Certif. Calibrac. CFA-11-1438				
TENSIÓN				
	CARGA MAXIMA (lbf)	ESFUERZO MAXIMO (psi)	CARGA DE ROTURA (lbf)	ESFUERZO DE ROTURA (psi)
T1 19.00 X 13.50 mm	35026.7	88100.7	28766.4	72354.6
T2 19.00 X 13.50 mm	34651.9	89158.2	28237.4	71023.9
T1 Y T2 PRESENTAN ROTURA POR LA SOLDADURA				
Resultados				
DOBLEZ GUIADO				
L1 CCR08	No presenta discontinuidades abiertas a la superficie.			
L2 CCR08	No presenta discontinuidades abiertas a la superficie.			
L3 CCR08	No presenta discontinuidades abiertas a la superficie.			
L4 CCR08	No presenta discontinuidades abiertas a la superficie.			

FIRMA Y SELLO:



NOTA: Los resultados obtenidos en el presente informe se refieren a la muestra ensayada. Este informe no se debe reproducir sin autorización escrita por parte del laboratorio.

SENA: CONOCIMIENTO Y EMPREDIMIENTO PARA TODOS LOS COLOMBIANOS
NIT 899 999 034-1

Ilustración 14 del certificado de calidad de la maquina universal de ensayos empleada para los ensayos de tension y dobléz del PQR N° GT/SA-CCR08

Ilustración 14. Certificado de Calibración



Ingeniería de Control de Calidad
División Laboratorio



ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
LAB-037

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

NTC ISO/IEC 17025:2005 F-LAF-09-11

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
CERTIFICATE OF CALIBRATION

CERTIFICADO No **CFA-11-1438**

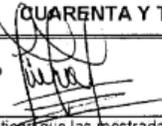
LABORATORIO DE **FUERZA**

DIRECCIÓN Carrera 52 No. 64 A - 62 Bogotá - Colombia **TELÉFONO** 57-1 231 53 97 - 609 77 12

INSTRUMENTO	MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS
MACHINE	
FABRICANTE	SHIMADZU
MANUFACTURER	
MODELO Y SERIE	UEH50A - 33099597
MODEL SERIAL NUMBER	
TRANSDUCTOR DE PRESION	N.I - N.I / N.I - N.I / N.I - N.I / N.I - N.I / N.I - N.I
LOAD CELL	
ESCALA CALIBRADA	490,3 kN / 245,2 kN / 98,07 kN / 49,03 kN / 24,52 kN
SCALE CALIBRATE	
CLASE	1
CLASS	
SOLICITANTE	SENA CENTRO DE MATERIALES Y ENSAYOS
CUSTOMER	
FECHA DE CALIBRACIÓN	2011-09-27
DATE OF CALIBRATION	aaaa-mm-dd
FECHA DE EMISIÓN	2011-09-28
DATE OF ISSUE	aaaa-mm-dd
UBICACIÓN DEL OBJETO DE PRUEBA	LABORATORIO DE ENSAYOS
LOCATION OF THE OBJECT OF IT PROVES	
NÚMERO DE PÁGINAS	CUARENTA Y TRES (43)

Firma(s) Autorizada(s)
Authorized signatory/ies

Jefe de Laboratorio
Ing. Javier González



Este certificado no atribuye al equipo otras características que las mostradas por los datos aquí contenidos, los resultados se refieren al momento y condiciones en que se efectúan las mediciones y poseen trazabilidad a patrones bien sean nacionales o extranjeros de institutos de metrología o empresas reconocidas. No se permite la reproducción parcial de este certificado. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos calibrados.

This certificate does not attribute to the instrument other characteristics than the showed in the present data, the results are referred to the conditions and moment in wich the measurements are taken and have traceability to national standards or foreign of metrological institutes or recognized companies. Partial reproduction of this document of this document is not allowed. The laboratory that issues this certificate have not responsibility for damages derived for the bad use of the calibrated Instruments.

Carrera 52 No. 64A-62 - Telefax: 609 7712 - 231 5397 - 231 9328
E-mail: icclab@etb.net.co Bogotá, D.C. - Colombia

53

6.2.3. Registro de Calificación de Habilidad del Soldador WPQ

El registro de calificación de habilidad de soldador nos soporta la condición del personal que realizara las actividades de unión por soldadura de las líneas de tubería, este documento debe estar acompañado del reporte de inspección radiográfica emitido por la empresa que presta el servicio de E.N.D. en este caso **TECNIRAD LTDA.**

Todas las probetas que se utilizaron para calificar a los soldadores fueron de tubería de acero al carbono de Diámetro = 6 pulgadas y SCH = 80.

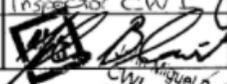
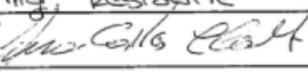
El personal que desarrollo los procesos de unión por soldadura fueron: (Ver Tabla 5).

Tabla 5. Calificación de Soldadores

Tabla de Calificación de Soldadores							
Nombre	Cedula	Estampe	Proceso				WPS N°
			RMD	GTAW	FCAW	SAW	
<i>Eduar José Bernal Pardo</i>	1099202373	EJB		X	X		GT/SA-CCR08 ST-001
<i>Omar Mauricio Bastidas</i>	79997417	OBC	X	X	X		ST-001 GT/SA-CCR08
<i>Jaidier Luis Acuña Rodelo</i>	1102574408	JLA	X	X	X		ST-001 GT/SA-CCR08
<i>Atanael Lozano Sánchez</i>	7252593	ALS	X	X	X		ST-001 GT/SA-CCR08
<i>Fabio Norberto Bonilla</i>	79798289	FNB		X	X		ST-001 GT/SA-CCR08
<i>Henry Orlando Cuervo</i>	80072381	HOC		X	X		ST-001 GT/SA-CCR08
<i>Dagoberto García Patiño</i>	18413343	DGP				X	GT/SA-CCR08
<i>José Willintong Guzmán</i>	14700084	JWG				X	GT/SA-CCR08
<i>Merardo Barón Bermúdez</i>	11301621	MBB		X	X		ST-001 GT/SA-CCR08

En la *ilustración 15 y 16* encontramos como ejemplo el registro de calificación del soldador *ATANAEL LOZANO SANCHES (ALS)* acompañado del reporte de inspección radiográfica.

Ilustración 15. WPQ de Atanael Lozano Sánchez (ALS)

		CALIFICACIÓN DE SOLDADOR EN PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPQ) ASME SECCION IX	
EMPRESA:		STEEL PREFABRICADOS Y ESTRUCTURAS	
Fecha:		04 de Agosto de 2015	
Nombre del soldador	ATANAEL LOZANO SANCHEZ	Estampe	ALS
Cédula de ciudadanía	7'252.593 de PUERTO BOYACA		
Proceso de soldadura	FCAW	Tipo	SEMIAUT. MANUAL
Identificación del WPS	ST-RMD-FCAW-001		
Material base soldado	ASTM A 106 Gr B	Espesor	0,432"
VARIABLES PARA CADA PROCESO MANUAL O SEMIAUTOMÁTICO (QW-350)			
	Valores Reales	Orden Calificado	
Respaldo (metal, cordón de soldadura, etc.) (QW-402)	Con respaldo	Con Respaldo	
ASME No. P <u>1</u> con ASME NO. P-(QW-403)	P1 a P1	P1 A P15F	
() Platina (x) Tubería (diámetro)	6"	2-7/8"-ilimitado	
Especificación de metal de aporte (de SFA) (QW-404)	5.20	5.20	
Clasificación AWS	E71T1	E71T1	
Metal de Aporte No. F	6	6	
Variiedad del metal de aporte para GTAW,PAW (QW-404)	N/A		
Inserto consumible para GTAW o PAW	N/A		
Espesor de depósito de soldadura para cada proceso	3/8"	3/4" Max.	
Posición de soldadura (QW-405)	6G	6G	
Progresión	Vert Asc.	Vert Asc.	
Gas de protección (QW-408)	Ar-CO2 (80%-20%)	Ar-CO2 (80%-20%)	
Corriente y polaridad (QW-409)	DC+	DC+	
Modo de transferencia GMAW (QW-409)	N/A		
Resultado de la inspección visual (QW-302.4)	ACEPTADO		
Doble de cara y raíz ()		Doble de lado ()	
IDENTIFICACIÓN DE LA PROBETA	RESULTADO		
			
Resultado de la prueba radiográfica (QW-304, QW-305)	Informe Tecnirad 001		
Soldadura de filete prueba de factura	N/A		
Tamaño de soldadura en filete	N/A		
Concavidad () Convexidad ()	N/A		
Inspección visual realizada por:	Ing. Juan Carlos Ceballos		
Ensayos mecánicos realizados por:	N/A		
OBSERVACIONES			
	ELABORÓ	REVISÓ/APROBÓ	
NOMBRE	Jhon Miguel Bolaños	Juan Carlos Ceballos	
CARGO	Inspector CWI	Ing. Residente	
FIRMA			

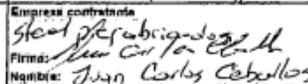
Miguel Bolaños Feria
CWI 14102571
QC1 EXP. 10/1/2017



Ilustración 16. Reporte de radiografía industrial, Atanael Lozano Sánchez (ALS)

				REPORTE DE RADIOGRAFIA INDUSTRIAL		FECHA: 17/02/2014 VERSIÓN: 1			
CR 86A N° 10A -70-Tej. 2600049-2623232-3102126965-3108881727 E-mail: tecniradiologos@tecnirad.com - tecniradltda@etb.net.co				Empresa: STEEL PREFABRICADOS Y ESTRUCTURAS Lugar: BOGOTÁ				Informe No: 001	
Inspección Radiográfica: TUBERIA DIA 2" PROCESO GTAW, TUBERIA DIA 6" PROCESO GMAW-FCAW CALIFICACION DE SOLDADOR						HOJA: 1 DE 1			
Solicitado por: ING. JONH BOLANOS						FECHA: 4 AGOSTO 2015			
Rayos X Kv: N/A mA: N/A			Fuente: 2192 - T.Focal: 3x3 mm		Materia: ACERO AL CARBON				
Actividad: 18 CI			Espeor de pared: SCH 40, SCHA 80		Diametro: 2", 6"				
Indicador de calidad: 1 ASTM B			Dist. Fuente-Película: 14" Y 8.625"		Norma: ASME IX				
Tiempo de Exposición: Min. varios Seg.			No. YB Tipo Hilos:						
Tamaño: 10" x 70mm			Técnica de exposición: EPD / VPD		Inspector Nivel II: LUIS ARTURO MELO				
No de Placas: 35			No de Uniones: 14						
Tabla de Uniones:				Tabla de Interpretación:					
KM	Ø	JUNTA	ESTAMPE	PLACA No	INTERPRETACION	CALIFICACION	OBSERVACIONES		
GTAW	2"	1	EJB	0°		OK	EDUAR JOSE BERNAL PARDO C.C. 1.099.202.373		
GTAW	2"	1	OBC	0°	PE	OK	OMAR MAURICIO BASTIDAS C.C. 79.597.417		
GTAW	2"	1	JLA	0°	PE	OK	JAIDER LUIS ACUÑA RODELO C.C. 1.102.974.405		
GTAW	2"	1	ALS	0°		OK	ATANAEL LOZANO SANCHEZ C.C. 7.252.593		
GTAW	2"	1	FNB	90°	PE	OK	FABIO NORBERTO BONILLA C.C. 70.798.289		
GTAW	2"	1	HOC	0°		OK	HERY ORLANDO CUERVO C.C. 80.072.381		
GTAW	2"	1	GLG	0°		OK	GERARDO LARA GONZALEZ C.C. 93.128.375		
GMAW	6"	1	OBC/EJB	A - B		OK			
FCAW				B - C	SI	OK			
GMAW	6"	1	JLA	A - B	PE	OK			
FCAW				B - C		OK			
GMAW	6"	1	ALS	A - B	SI	OK			
FCAW				B - C		OK			
GMAW	6"	1	OBC/FNB	A - B		OK			
FCAW				B - C		OK			
GMAW	6"	1	OBC/HOC	A - B	PE	OK			
FCAW				B - C		OK			
GMAW	6"	1	OBC/OFB	A - B	PAG	OK			
FCAW				B - C	SI	OK	OSCAR FERNANDO BARRERA C.C. 1.073.503.474		
GMAW	6"	1	OBC/GLG	A - B	IEI	OK			
FCAW				B - C		OK			
				C - A	CIR, PE	OK			

LISTA DE DEFECTOS DE SOLDADURA		
Pi- Penetración inadecuada en la raíz (Inadequate Penetration)	G- Quermónes o Chisleros (Burr - Trough)	PT- Porosidad Tubular (Wormhole)
Fi- Fusión incompleta en la raíz (Incomplete fusion)	IEE- Inclusiones de escoria alargadas (Wagon Tracks)	PV- Porosidad Alargada Vermicular (Hollow Bead)
PHL- Penetración Inadecuada debido a Hi-Low-Desplacamiento	IEA- Inclusiones de escoria aislada (Isolated slag Inclusions)	GL- Grieta Longitudinal (Cracks)
CI- Concavidad interna (Internal Concavity)	PE- Porosidad Esférica (Spherical Porosity)	GT- Grieta Transversal (Cracks)
IIF- Incompleta fusión entre pasos (Inc. Fusion due to cold lap)	Pag- Porosidad Agrupada (Cluster Porosity)	SI- Sacavado Interno (Internal Undercut)
		SE- Sacavado Externo (External Undercut)
		A- Acumulación de discontinuidades
		CIR- Cordón Irregular
		O- Otros defectos

Nombre: LUIS ARTURO MELO Firma:  Inspector Nivel II	Empresa contratada: Steel Prefabricados y Estructuras Firma:  Nombre: Juan Carlos Ceballos	Interventoría:
---	---	-----------------------

6.2.4 Libro de Tubería

Es uno de los documentos más importantes del control de calidad y trazabilidad del proyecto, puesto que, en él, se registra la información recopilada a lo largo de todo el procedimiento de aplicación e inspección de soldadura en cada junta realizada. (Ver ilustración 17).

En el libro tubo como información general se debe registrar:

- Proyecto
- Cliente
- Isométrico
- Fecha

Como información específica para cada junta:

- *No. De Junta:* se indica el número de junta perteneciente al isométrico.
- *Tipo:* se describe el tipo de junta teniendo en cuenta que para el proyecto solo se cuenta con *FLW* (Junta de Filete), *BW* (Junta a Tope), *FFW* (Junta en Campo).
- *WPS:* en este campo se registra el *WPS* con el que se realizó esta junta.
- *Descripción:* para este ítem se debe indicar los elementos que componen la junta tales como tubos o accesorios en orden de flujo del fluido, de esta manera en la celda superior el primero y en la inferior el segundo.
- *Colada:* es el número de colada de cada elemento suministrado por el certificado de calidad.
- *Material:* material de los elementos que componen la junta.
- *Diámetro:* diámetro de cada elemento perteneciente a la junta.
- *Estampe:* se registra el estampe del o los soldadores que realizaron la junta.
- *Fecha:* es la fecha en la que se termina la junta y se entrega.
- *Inspección EDN:* se registra los resultados del informe de cada uno de los ensayos realizados a la junta, siendo OK, cuando la junta es aprobada y R, cuando la junta es rechazada.

Ilustración 17. Imagen tomada de la base de datos de libros de tubería.

STEEL		LIBRO DE TUBERÍA													
PROYECTO: PREFABRICADOS EL JOBO												FECHA: AGOSTO DE 2015			
CLIENTE: VALERUS															
ISOMETRICO: 8" AOC1 HF-1606															
JUNTA	TIPO	WPS	DESCRIPCIÓN	COLADA	MATERIAL	DIÁMETRO	ESPESOR DEL TUBO Y/O ACCESORIOS	CLASE / Rating (psi)	ESTAMPE	FECHA DE SOLDADURA	INSPECCIÓN END				OBSERVACIONES
											VT	PT/MT	UT	RX	
1	BW	ST-RMD-FCAW-001	FLANGE RF-WN	39332	ASTM-A 106	2"	SCH 80	600Lb	EJB	01/10/2015	OK			OK-INF-27	Informe RX
			PIPE SMLS,CS	127119	A-106 GR B	2"	SCH 80	N/A							
2	BW	ST-RMD-FCAW-001	PIPE SMLS,CS	127119	A-106 GR B	2"	SCH 80	N/A	EJB	02/10/2015	OK	OK-INF-20		Informe PT	SPOOL 1
			SOKOLET,BW,-SP-97	14/77177	ASTM-A-105	2"X 1/2"	SCH 80	6000							
3	FW	ST-RMD-FCAW-001	PIPE SMLS,CS		A-106 GR B	1/2"	SCH 80	N/A							
			FLANGE RF-WN	39332	ASTM-A 106	2"	SCH 80	600Lb							
4	BW	ST-RMD-FCAW-001	PIPE SMLS,CS	127119	A-106 GR B	2"	SCH 80	N/A	EJB	01/10/2015	OK			OK-INF-27	
			FLANGE RF-WN	39332	ASTM-A 106	2"	SCH 80	600Lb							
OBSERVACIONES Información de la Junta															
ELABORÓ				REVISÓ/APROBÓ				VALIDO							
EMPRESA				EMPRESA											
NOMBRE				NOMBRE											
CARGO				CARGO											
FIRMA				FIRMA											

En la ilustración podemos evidenciar que la línea 1606 presenta cuatro juntas la junta 3 se debe realizar en campo, por lo cual no posee información, la junta 1 y 4 fueron inspeccionadas y aprobadas por RX, y junta 2 es aprobada por PT.

6.3. RECEPCIÓN DE MATERIALES

Los materiales para la prefabricación de la estación compresora de gas son pedidos directamente desde el área de ingeniería al departamento de compras, el área QA/QC se encarga de la recepción, verificación y archivo de los certificados de calidad, disposición, y asignación de los materiales dentro de la planta. (Ver ilustración 18,19 y 20).

Ilustración 18. Proceso de Recepción de Materiales

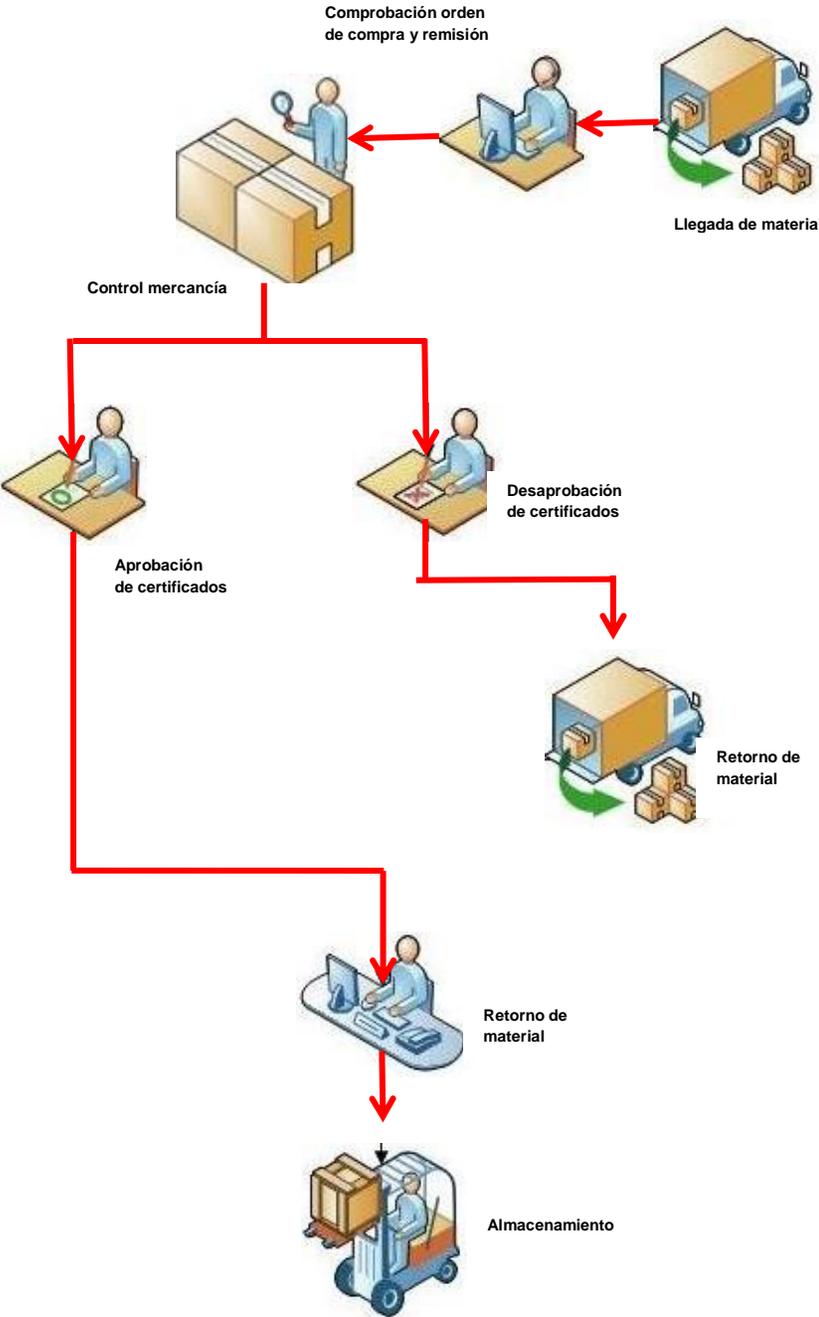


Ilustración 19. Llegada del Camión a la Planta



Ilustración 20. Descargue de Bridas de 10 pulgadas desde el Camión



En el momento de llegada del material a la planta, siempre debe estar una persona QA/QC, presente, encargada de realizar la lectura de la colada de cada una de las piezas que se van a utilizar en el proyecto, verificando que la referencia aparezca en el certificado de calidad. (Ver ilustración 21).

Ilustración 21. Brida de 8" 600lb A105N



En la Ilustración 22 podemos identificar la colada de la brida la cual viene grabada en la pieza y es: B13A5 que corresponde fielmente al certificado de calidad con el que llegó el material.

Ilustración 22. Certificado de Calidad para la Brida de 8" B13A5

ID	DESCRIPCION Description Description	OBSERVACIONES Remarks Observations	COLADA N° Heat No. N° Coche	TENSILIDAD Tensile Strength Resistencia MPa/ksi	GRUPO ELASTICO Yield Strength 0.2 % N/mm2	ALARGUE Elongation Lo: 4 %
3	WN 20 150LB STD/20 RF A105N	NE	A72A5	509	311	30
3	WN 12 300LB S40 RF A105N	NE	A48A5	517	308	30
0	WN 2 600LB STD/40 RF A105N	NE	T5AV4	516	309	31
0	WN 3 600LB STD/40 RF A105N	NE	A45M4	539	375	30
8	WN 4 600LB XS/80 RF A105N	NE	B13A5	507	311	30
5	WN 4 600LB XS/80 RF A105N	NE	B13A5	511	309	30
1	WN 8 600LB XS/80 RF A105N	NE	B13A5	507	302	29
2	WN 10 600LB S80 RF A105N	NE	B00A5	515	310	30

6.3.1 Certificados de calidad de los materiales

Cuando un fabricante suministra un producto genera todos los documentos de inspección, testificación, y/o certificación, de calidad del mismo, los cuales contienen toda la información de los ensayos y análisis que se hicieron según la norma del producto, para el

caso de los productos siderúrgicos tales como tuberías, racores, metales extruidos, bridas, tornillería, etc. La norma que regula la certificación de calidad del producto es la DIN EN 10204.

La empresa STEEL PREFABRICADOS Y ESTRUCTURAS S.A.S. en el momento de adquirir los materiales para la prefabricación del proyecto, requería a los proveedores los certificados de calidad de cada pieza, estos llegaban en el momento de la recepción del material, la documentación viene acompañada de una identificación en el producto. En la tubería generalmente encontramos datos como: fabricante, especificación API, fecha de fabricación, peso, grado, numero de colada, entre otros. El número de colada o Heat como aparece en algunos certificados es para el departamento de calidad la nomenclatura más importante pues es la que garantiza la trazabilidad entre el material (producto) y su certificación de calidad.

Tras haber realizado la verificación de la documentación de los materiales, ya quedan listos para ser asignados a los ensambles del prefabricado. Podemos encontrar algunos ejemplos de certificados de calidad en:

- Certificado de calidad de Tubería de 10" SCH 80 (Ver Anexo 4)
- Certificado de calidad de Brida de 4" S80 600Lb (Ver Anexo 5)
- Certificado de calidad de Tee de 2" NPT (Ver Anexo 6)

6.4. PLANIMETRÍA E ISOMETRÍA

Se realiza un control de planimetría e isometría teniendo en cuenta el procedimiento desde que se recibe el plano hasta que se entrega en planta para construcción. La planimetría es un plano general donde se muestra la disposición de las líneas de tubería con respecto a los equipos a instalar (*Ver ilustración 23*). La isometría es el plano detallado de la línea (tubo) para su construcción evidenciando sus medidas tanto lineales, diametrales, angulares y accesorios que se instalaran en ella. (*Ver ilustración 24*)

Ilustración 23. Planimetría

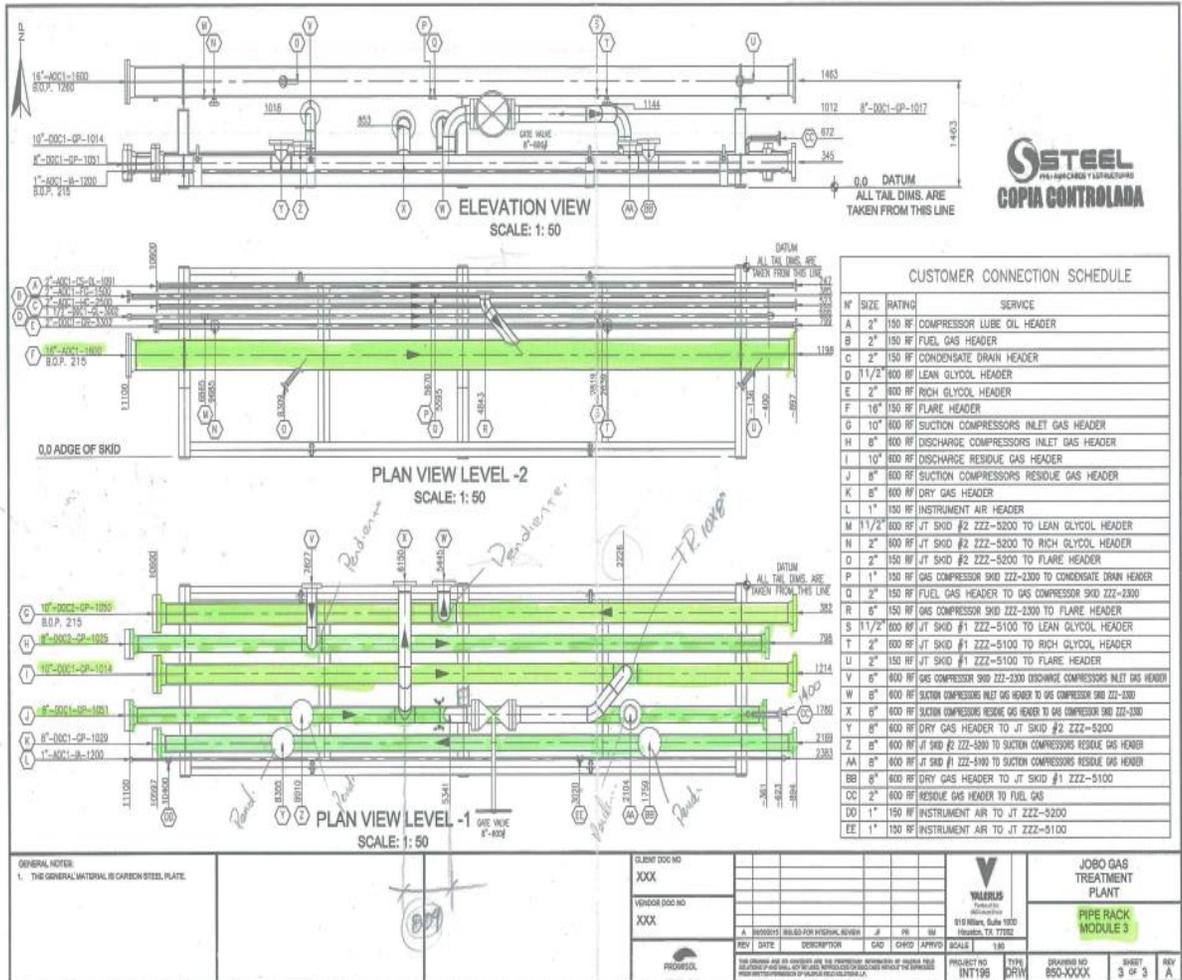
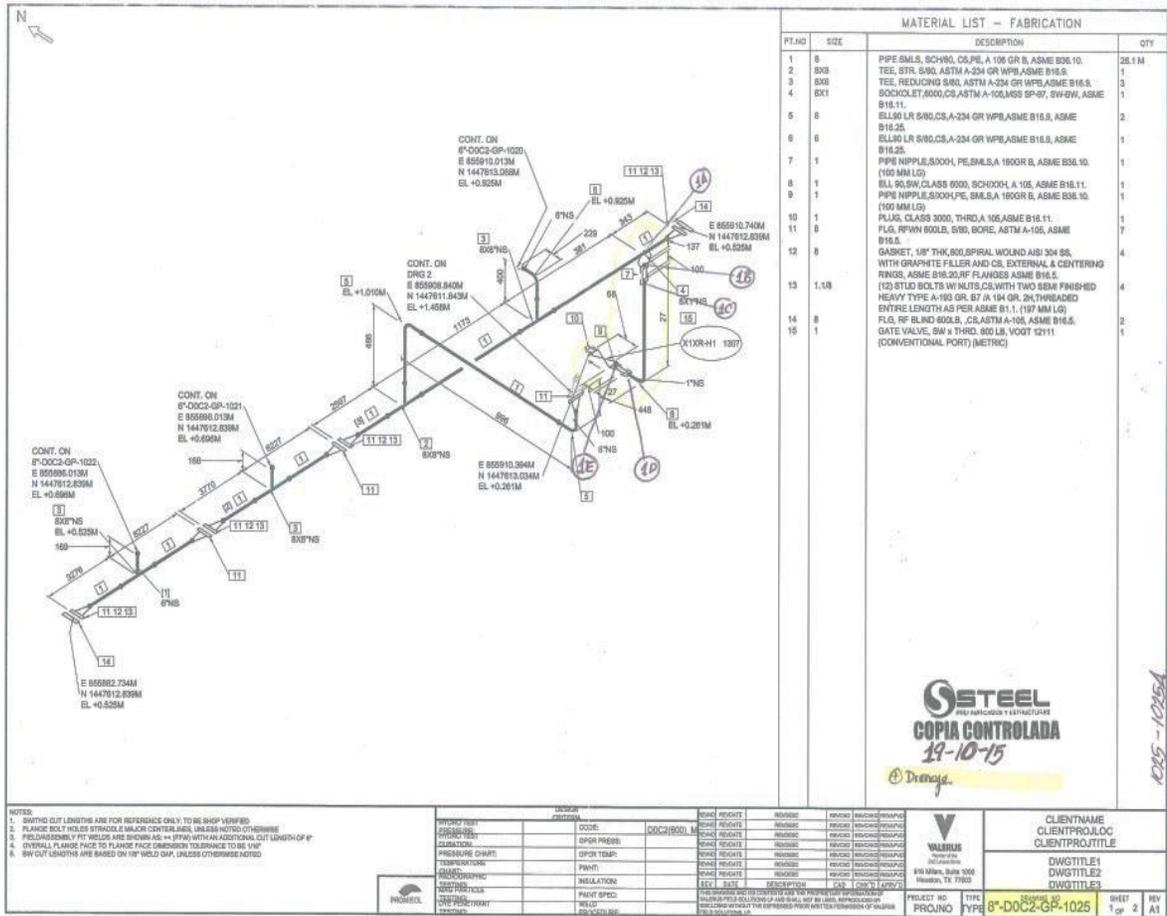


Ilustración 24. Isometría



6.4.1. Recepción del Plano

El plano es suministrado por el departamento de ingeniería y diseño en una revisión aprobada tanto por el departamento como por el cliente o auditoria, en este caso la revisión final se nombrará emitida para construcción.

6.4.2. Trazabilidad de Plano

Una vez impreso el plano lo primero que se realiza es sellar el plano con una identificación de (COPIA CONTROLADA) la cual indica que es el plano impreso en el cual estamos trabajando y es la última versión del mismo, esto para evitar que otras copias

puedan confundir nuestro proceso, sin embargo cuando algún plano tiene una modificación ya sea en construcción o directamente en el departamento de ingeniería se procede a sellar por segunda vez con una nueva identificación (COPIA SUPERADA) lo que indica que esta ya no es trabajable y que hay una nueva copia controlada más reciente. (Ver ilustración 25)

Nota: cada vez que se sella un plano se debe indicar la fecha, de esta manera se puede llevar el registro de cuando se supera el mismo.

6.4.3. Identificación de Materiales y Accesorios

Los planos suministrados por el departamento de ingeniería muestran una tabla de materiales en la cual se describe los accesorios y tubos con sus respectivas descripciones, cantidades (QTY), diámetro (SIZE), peso (WEIGHT), y longitud (mm). Se procede a realizar un comparativo de los materiales del plano con los materiales que se tiene en almacén o que como se mencionó previamente se reciben para el proyecto y se asignan al ISOMETRICO. (Ver ilustración 25)

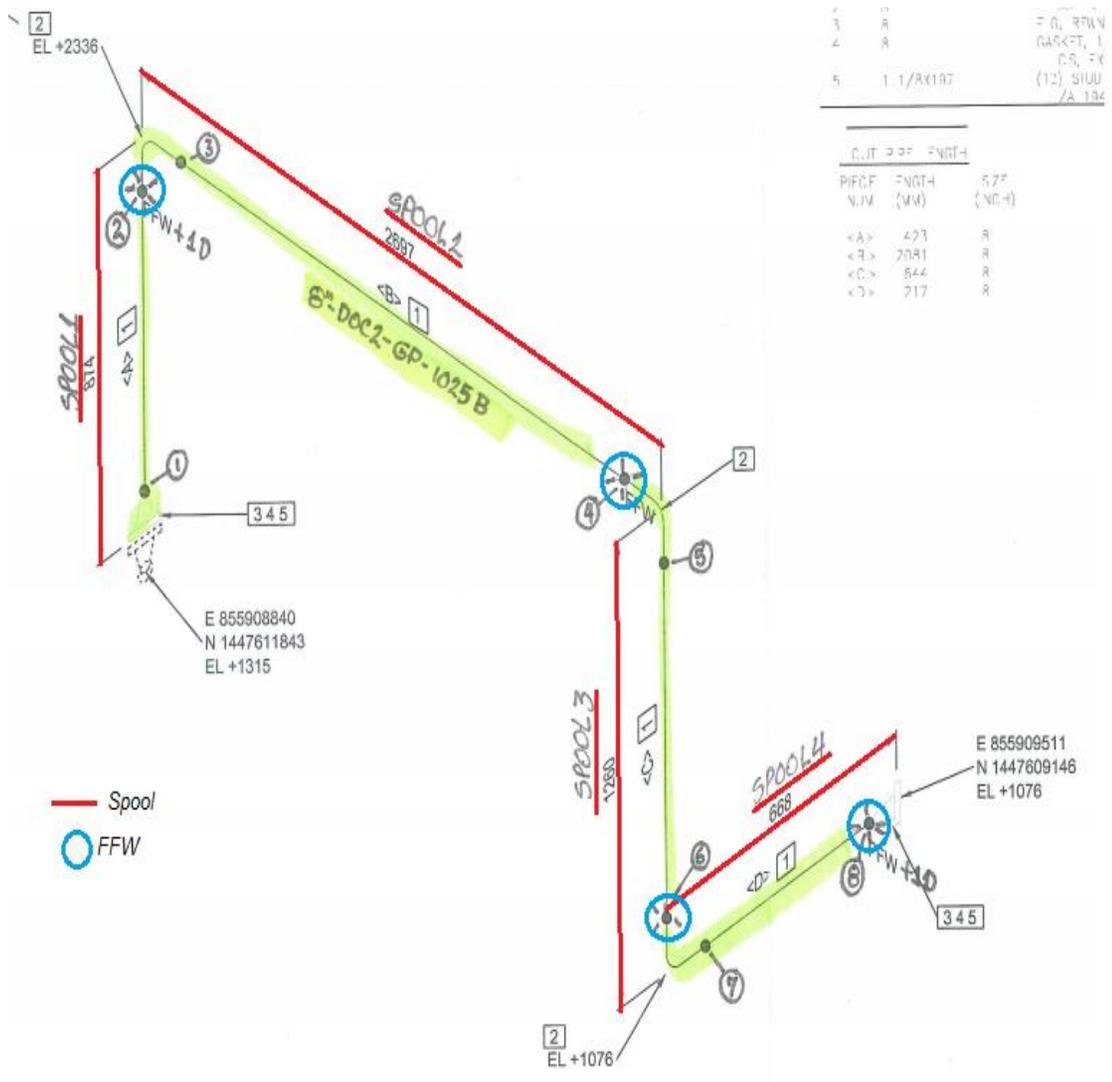
Nota: los materiales que sean asignados al isométrico para construcción deben contar con todos los certificados de calidad.

6.4.4. Nombre del Plano

Cada plano tiene un único nombre o código de referencia generado desde el departamento de diseño, estos nombres de plano son la identificación de cada uno de ellos y a su vez de las líneas (tubería) en toda la trazabilidad y a lo largo del proyecto, es decir si este nombre (código) aparece en un ensayo de radiografía o en una prueba hidrostática se ubicará la línea de tubería a la que pertenece. (Ver ilustración 25)

- Existen unas uniones soldadas que llamaremos (juntas) la división por juntas se da cuando hay una longitud o disposición que se realizará o definirá en campo (montaje) de esta manera se divide el isométrico para realizar la junta en el montaje (FFW). (Ver ilustración 26).

Ilustración 26. Spool, FFW.



6.4.6. Asignación de Juntas

En la copia controlada se enumeran todas las juntas a realizar, el orden se da de acuerdo al sentido de flujo del fluido. *(Ver ilustración 27)*

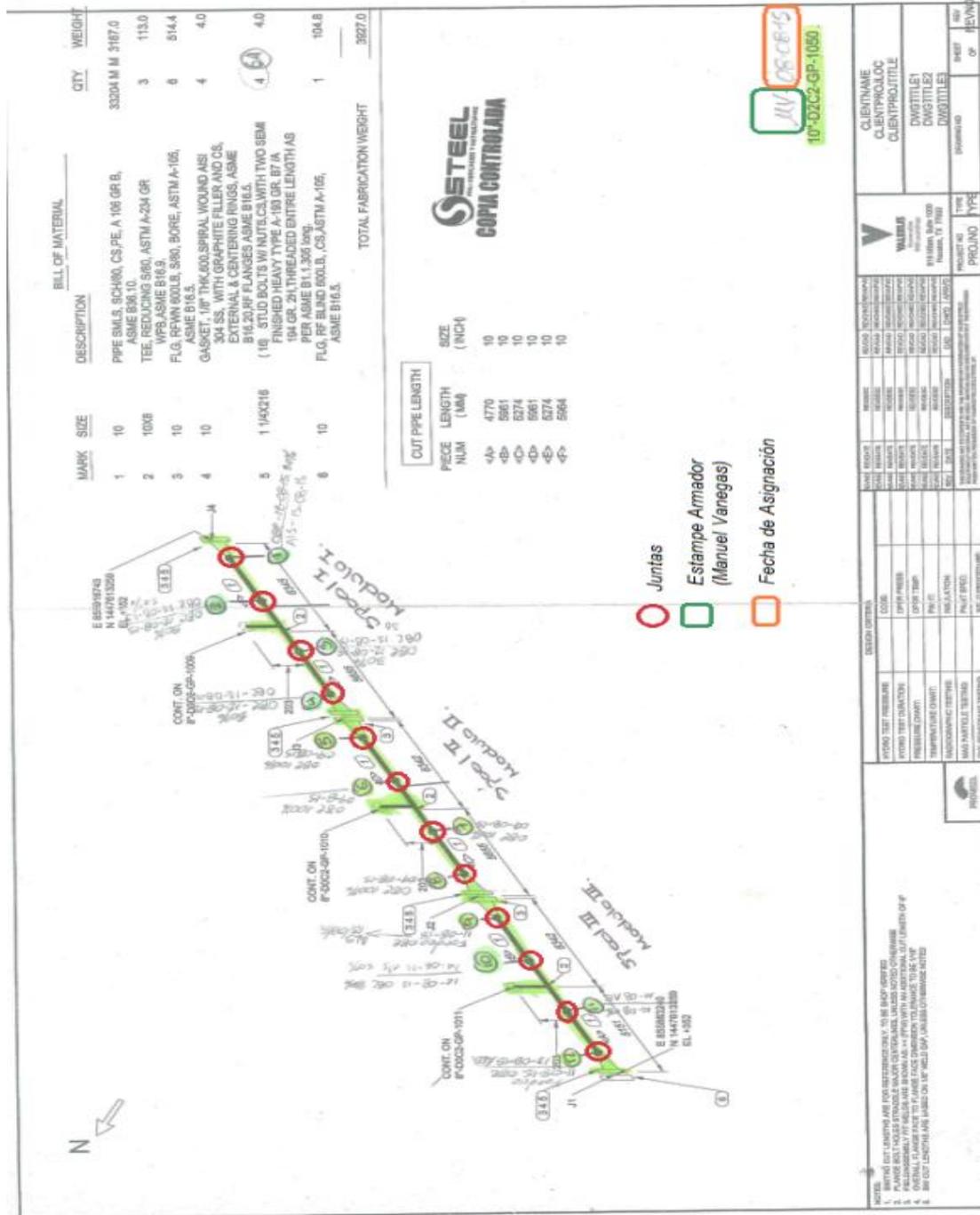
Nota: las juntas FFW o de campo así se realicen en el montaje se enumeran para que la trazabilidad del prefabricado coincida con la del montaje.

6.4.7. Asignación de Armador (Tubero) y Fecha

Luego de realizar cada uno de estos pasos y una vez esté listo el plano es asignado a un armador quien se encargara de la construcción del elemento o línea así mismo se marca la fecha de entrega para tener controlado el tiempo de construcción y poder cumplir con el cronograma.

El control por parte del departamento de calidad (QA/QC) continua una vez el plano baja a planta y se asigna a un armador (tubero), supervisando que este último alimente el plano con el numero único de cada accesorio o tubo (colada – heat), este paso tiene gran importancia ya que con el plano del armador se diligencian posteriormente algunos documentos y formatos para el dossier. *(Ver ilustración 27)*

Ilustración 27. Juntas- Estampe armador.



6.5. PROCESO CONSTRUCTIVO DE ARMADO

6.5.1. Personal

Para ejecutar el correcto trazado, corte, alineación y trazabilidad de tubería, se debe garantizar las competencias y la experiencia del personal, por medio de la documentación que acredite la formación de personal calificado para desarrollar la actividad (revisión de hoja de vida).

El personal calificado, debe presentar las respectivas pruebas aplicables a cada uno de los cargos según el siguiente cuadro:

Tabla 6. Proceso Armado

CARGO	TIPO DE PRUEBA		RESPONSABLE DE LA EVALUACION	FORMATO DE RESULTADOS (Registro)
	TEORICA	PRACTICA		
<i>Tubero</i>	X	X	Supervisor de tubería	
<i>Ayudantes Técnicos (esmeriladores)</i>		X	Supervisor de tubería	N/A

Los tubero y los ayudantes técnicos (esmeriladores) deben demostrar la destreza y conocimientos en su respectiva área de acción. Los resultados de las pruebas junto con las hojas de vida serán los soportes que garantizarán las competencias de este personal.

Las personas que intervinieron en el proceso de armado se presentan en la tabla 7.

Tabla 7. Listado Armadores

ARMADOR	ESTAMPE
DIEGO ALARCON	DA
JHON GOMEZ	JG
LUIS LOPEZ	LL
LUIS MORENO	LM
MANUEL VANEGAS	MV

En la primera columna se encuentra el nombre del armador y en la segunda el estampe con el que se identifica a lo largo del proyecto.

6.5.2 Trazado

- Para realizar el trazo en la tubería se debe tener en cuenta las dimensiones de los spools con las medidas que se dan para ajuste en campo. Estas dimensiones deben tener las tolerancias, dadas para realizar el corte adecuado de la tubería.
- En los extremos de cada “spool” prefabricado se debe prever una longitud mínima de cien (100) milímetros para realizar ajustes de campo, tanto en la parte vertical como horizontal.
- Para la conexión a equipos se debe dejar tramos de ajuste en los tres (3) ejes (x,y,z).
- Cuando las isometrías indiquen una soldadura a ajustar en campo (FFW), y se proporcionen los 100 mm adicionales para ajuste, no se requerirá el biselado de ese extremo.
- Los trazos se deben hacer de tal manera que queden perpendiculares al eje del tubo. Para adelantar esta actividad se utiliza la herramienta necesaria para garantizar dicha perpendicularidad, se utilizará nivel, escuadra punzón, rayador centro punto, grapas, y toda la herramienta manual necesaria para la correcta ejecución de la actividad.

6.5.3 Corte y Biselado

- El corte de tuberías de acero al carbono podrá realizarse mediante métodos mecánicos, equipo semiautomático para biselar con soplete, torno y/o biseladora.

- Antes de realizar la actividad de corte debe trasladarse la trazabilidad del tubo a la sección a cortar, esto con el fin de que no pierdan la trazabilidad de materiales, debe marcarse sobre la superficie del tubo la colada y material con metal marker de un color que contraste.
- Se utilizará para realizar el corte equipo de plasma, oxicorte, torno, biseladora, fresa, etc., para cumplir con la geometría del bisel, se utilizará pulidora manual, lima, o el equipo mecánico requerido para la elaboración del mismo.
- La preparación de extremos biselados debe cumplir con el diseño de la junta (Angulo talón y hombro) de acuerdo con lo indicado en la especificación del procedimiento de soldadura (WPS) y deben ser verificados por el Inspector QA-QC.
- Los extremos de las tuberías deben estar libres de entallas, abolladuras o cualquier otro daño fuera de los criterios de aceptabilidad del código aplicable.
- El corte debe ser uniformemente circular, sin indicaciones de ovalamiento y/o abolladuras y estar libre de ralladuras y cortes.
- Los biseles de la tubería se limpiarán perfectamente con equipo mecánico (discos abrasivos, gratas y limas) hasta dejar el metal libre de óxido e irregularidades en toda la superficie.
- Las tuberías con uniones soldables de filete de traslape (SW) deben ser cortadas en forma recta y no deben presentar rebaba, se debe realizar la respectiva verificación de perpendicularidad utilizando la escuadra metálica, niveles y herramienta necesaria para garantizar la perpendicularidad de los elementos.
- Las tuberías con uniones soldables tipo “branch” necesarios para el ensamble de accesorios, debe utilizarse equipo de oxicorte o taladro magnético (para los orificios de diámetro que se disponga broca), después de realizar el respectivo trazo del centro del agujero. Después de realizar el hueco, se pule dando

definición a el contorno con herramientas como pulidoras, motortool, lima etc., con el fin de garantizar la redondez y acabado de los cortes. No se deben dejar rebabas en ningún caso. Se debe cumplir con los requerimientos de nivelación, perpendicularidad y paralelismo. (Ver ilustración 28).

Ilustración 28. Corte y Biselado



En la ilustración 28 se puede observar la biseladora semiautomática, el proceso de biselado en un tubo de 8”.

6.5.4 Alineación

En esta fase se deben seguir los siguientes parámetros:

- Previo a actividad se deben limpiar los extremos biselados con cepillo de alambre incluyendo como mínimo 1 pulgada de la superficie interna y externa del tubo.

- Se deben tomar las precauciones necesarias para que el interior de los tubos se mantenga libre de suciedad (guantes, cascos, electrodos, polines etc.). Al finalizar cada jornada de trabajo, los extremos de la tubería deberán ser taponados convenientemente para evitar la entrada de mugre y elementos perjudiciales que afecten la integridad del sistema.
- Para la alineación y perpendicularidad de las piezas a unir se utilizarán grapas y espaciadores.
- Los extremos biselados tanto del tubo como de los accesorios deben ser alineados de tal forma que el desalineamiento en los dos elementos no sobrepasen las tolerancias permitidas de acuerdo con lo indicado en la especificación del procedimiento de soldadura (WPS) y deben ser verificados por el Inspector QA-QC.
- Para la alineación se deben utilizar grapa externa, collarines de tubería, grapas de cadena etc. Según el requerimiento de la junta se puede realizar alineación manual, o con ayuda de dispositivos y herramienta indicada; se debe cumplir con las tolerancias indicadas antes de proceder a soldar.

Para diámetros menores o iguales a 16 pulgadas se puede puntear la junta con penetración completa y puntos suficientes para soportar la junta y soltar la herramienta de alineación. Los puntos solo pueden ser hechos por un soldador calificado en el procedimiento que corresponda a la junta. *(Ver ilustración 29).*

Ilustración 29. Proceso de Armado.



Se puede ver como se realiza el proceso de armado y alineación de una junta brida – tubo de 10 “

6.6. PROCESO CONSTRUCTIVO DE SOLDADO

6.6.1 Personal

Para ejecutar la correcta aplicación del procedimiento de soldadura, se deben garantizar las competencias y experiencia del personal, por medio de la documentación que acredite la formación de personal calificado para desarrollar la actividad.

Los soldadores deben presentar y aprobar las pruebas correspondientes en cada uno de los procedimientos aprobados (*WPS*); se debe emitir el respectivo *WPQ* para cada uno de ellos; todo el personal que este calificado debe quedar relacionado en el registro de soldadores calificados; la documentación de cada uno de los soldadores debe ser verificada.

Los nombre y estampes de los soldadores calificados y que realizaron las actividades para el proyecto son mencionados. (Ver ilustración 30).

Ilustración 30. Personal Capacitado en Proceso de Soldadura



6.6.2. Equipos

Los equipos que se utilicen en el desarrollo de las actividades tendrán las inspecciones pre-operacionales diarias. El contratista debe presentar para validación del cliente previa al inicio de los trabajos los certificados que garanticen la correcta operación en caso de cualquier tipo de vehículo que sean usados en las operaciones relacionadas con el constructivo de soldadura, así como las inspecciones pre-operacionales de las herramientas que se utilicen en las actividades.

Todos los equipos de soldadura, biseladoras, pulidoras y demás equipos utilizados durante el proceso de soldadura deben ser mantenidos en buenas condiciones. Las conexiones a tierra de las máquinas de soldadura y la tubería, deben ser revestidas en bronce para evitar quemones a la tubería.

Antes de iniciar y para dar inicio a cualquier actividad de construcción, donde se requiera el uso de equipos y/o herramientas de medición que deban ser calibrados para poder ser utilizados en las diferentes actividades del proyecto, se presentarán los correspondientes certificados de calibración por escrito, expedidos por una entidad certificada de reconocimiento nacional o internacional, aceptada y aprobada por el cliente, con la debida antelación. (Ver ilustración 31).

Ilustración 31. Equipos de Soldadura (A) EQUIPO SAW (B) Equipos PIPE PRO



Los certificados de calibración que se presentan estarán acorde con lo estipulado en la norma ISO 17025 “*Standard for Accreditation of Calibration and Testing Facilities*”, y como mínimo deberán contener la siguiente información:

- Fecha de recepción del equipo, calibración y emisión,
- Identificación clara del tipo, marca y modelo del equipo y/o herramienta a calibrar,
- Identificación del método de calibración,
- Resultado de la calibración,
- Nombre, firma y sello de los responsables de la expedición del certificado.

6.6.3. Preparación de la junta

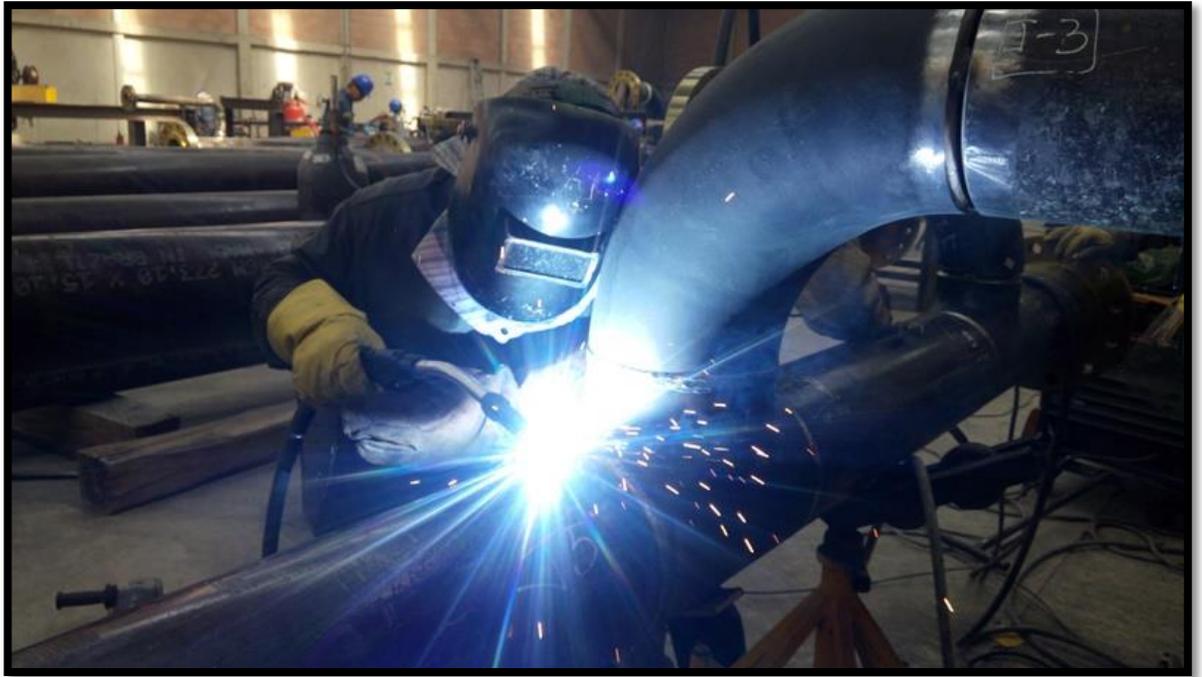
Posicionar el spool de la manera más adecuada para realizar la soldadura. Realizar el alistamiento de la herramienta necesaria para ejecutar la actividad, (hornos, electrodos, consumibles, pulidoras, discos, gratas, extensiones, equipo de soldar etc.). Luego de realizar el alistamiento de la tubería y de los equipos y consumibles se debe asegurar que la tubería esté debidamente apoyada, en los soportes.

6.6.2 Aplicación de la soldadura

- Si el procedimiento de soldadura lo establece, las juntas deben ser precalentadas por medio de una antorcha abastecida con gas en lo mínimo de 100mm a ambos lados del eje de soldadura. El control de la temperatura debe realizarse con tiza térmica.
- La soldadura se inicia con el pase de raíz (fondeo). El pase de raíz o de penetración se limpia utilizando disco abrasivo o según aplique para el procedimiento, la tubería debe permanecer apoyada en los soportes, y no debe ser movida hasta que el pase esté completo, después de terminado el pase de raíz se procede a aplicar el segundo pase o pase caliente (tener en cuenta el tiempo entre pases que ordena el WPS). Del segundo pase en adelante, limpiar la superficie con grata circular o disco abrasivo con el fin de eliminar trazas de fundente y escoria que hayan quedado depositados. En lo posible se debe realizar una limpieza superficial, pero retirando los sobre espesores formados por la reiniciación del arco.
- Proceder con los pases de relleno y presentación, esto se hace dentro de los tiempos límites establecidos, para aplicar estos cordones se debe cumplir con los parámetros exigidos en el WPS. El pase de presentación debe limpiarse con grata circular y todas las salpicaduras deben retirarse con cincel. Las uniones soldadas no deberán sufrir movimientos bruscos antes de que se hayan enfriado suficientemente.

- Durante y después de la aplicación de cada uno de los cordones de soldadura el inspector QA/QC debe realizar los controles establecidos.
- Todas las soldaduras deben ser inspeccionadas visualmente (100%)
- Los resultados de las juntas sometidas a inspección visual deberán ser consignados en el formato, estos registros deben ser controlados por el inspector QA/QC y que es el responsable del control de la documentación.
- Las juntas de soldadura hechas a tope serán inspeccionadas visualmente al 100% en la longitud total del cordón y entre pases, además se inspeccionaran por (Ultrasonido-UT o Radiografía -RT), bajo código de diseño establecido, o bajo las especificaciones técnicas del cliente.
- El ensayo por ultrasonido y por radiografía, y el proceso de informes e interpretación de resultados deben realizar de acuerdo con los procedimientos aprobados y deben tener su certificado como NIVEL I y/o II en la técnica.
- Para juntas en filete: Tubería a accesorios socket weld (sw) /bridas slip-on/ accesorios o-lets (sockolet, elbolet, threadolet, weldolet, etc.), (PT/MT) tanto al pase de raíz como al pase de presentación serán inspeccionadas según demande las especificaciones técnicas del cliente o el código a aplicar.
- Para juntas en filete de tubería a soportes auxiliares de tubería (tipo patín, refuerzo, freno, guía, soporte de codo, etc.) soldados directamente al tubo se ejecutarán (PT/MT) tanto al pase de raíz como al pase de presentación, según aplique.
- El ensayo por líquidos penetrantes, debe efectuarse de acuerdo con el procedimiento aprobado, y por personal calificado para ejecución del ensayo. (*Ver ilustración32*)

Ilustración 32. Aplicación de Soldadura

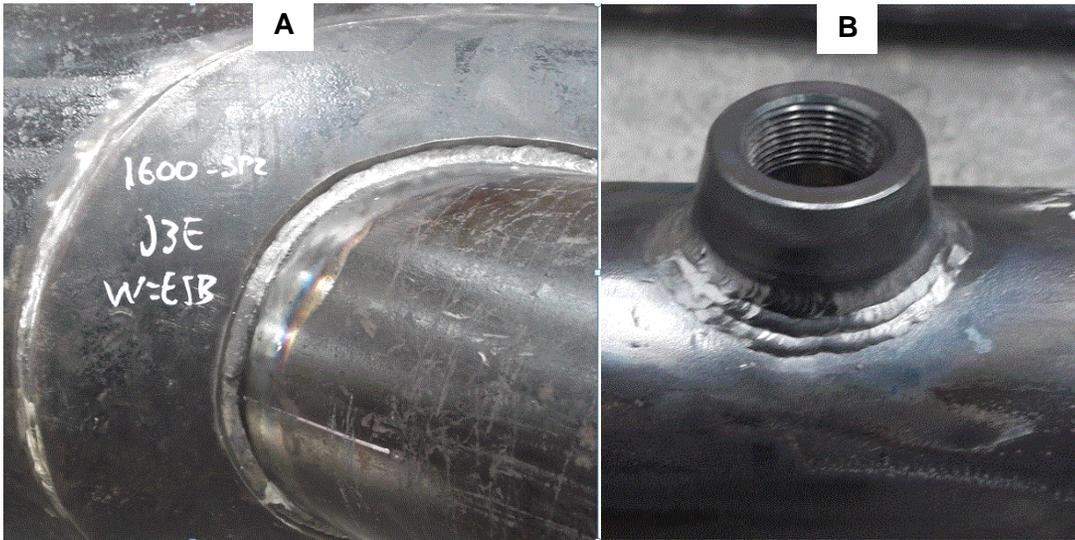


6.7. INSPECCIÓN VISUAL

La Inspección visual es parte fundamental, es el primer proceso en el control de la calidad se realiza a todas las juntas en el proyecto, la inspección se da como un acompañamiento al proceso de soldadura. Iniciando en la fundición (Pase raíz) seguido por el relleno y finalizando en la presentación, este cobra importancia, ya que da el aval para realizar los siguientes ensayos (END),

Si una junta soldada es rechazada por el proceso de inspección visual debe re-procesarse para ser corregida, y hasta no ser aprobada por visual no puede continuar el proceso constructivo y de ensayos. (Ver ilustración 33).

Ilustración 33. Junta Pase Raíz (A) y Junta Relleno-Presentación (B)



En la ilustración 13 se puede observar en la parte (A) una junta que tiene pase de fondo (Raíz) y uno de relleno, soldada por EJB de la línea 1600, ubicada en la junta 3E del SPOOL 2.

En la parte (B) se puede observar una junta de filete de socket – tubo, con los cordones de soldadura ya en presentación esto indica que la junta está lista para ser inspeccionada en END.

6.8. RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL (RX-GAMAGRAFIA)

Este ensayo es parte del control de calidad estipulado en los pliegos del contrato y se debe realizar al 100% de las juntas butt Weld (juntas a tope).

6.8.1. Programación de Radiografía

Para este es necesario coordinar con la empresa prestadora de servicios de RX la disponibilidad, y elaborar una programación con un marcaje de juntas para el día de la inspección, cabe resaltar que todas las inspecciones por el método de radiografía se realizan en horario nocturno por lineamientos de seguridad industrial. (Ver ilustración 34).

En el formato de programación de rx se diligencia de la siguiente forma:

- *Proyecto*: proyecto para el cual se realiza la radiografía.
- *Contrato*: si se tiene el número y el código de contrato
- *Cliente*: el cliente para el cual se realiza el contrato o auditor.
- *Fecha*: la fecha de la programación para realizar el ensayo.
- *Localización*: lugar en el cual se desarrollarán los ensayos o pruebas.
- *#*: Ítem de radiografía a realizar.
- *Isométrico*: nombre-código único de identificación de plano o isométrico para el que se realizara la prueba.
- *Junta*: número de junta (soldadura) del isométrico mencionado al que se realizara prueba.
- *Estampe Soldador*: cada soldador tiene un estampe único que en la mayoría de los casos se da con las letras iniciales de su nombre y apellido, este estampe es muy importante porque con él se identifica quien hizo la junta y se lleva un control y una trazabilidad del defecto logia para cada soldador.
- *Diámetro*: se refiere al diámetro de la junta a inspeccionar.
- *Schedule*: se refiere al Schedule (espesor de pared) de la junta a inspeccionar.
- *Ensayo*: se menciona el ensayo no destructivo a realizar entre los que encontramos (**RT-UT-PT-MT**). Teniendo en cuenta que en el proyecto solo se realizaron radiografía y líquidos.
- *Fecha*: se indica la fecha que debe quedar en la placa radiográfica para el buen manejo de la trazabilidad.
- *Observaciones*: este espacio se da para indicar al radiólogo o personal que realice el ensayo cualquier indicación relevante con tratamientos térmicos de la junta o si es necesario tomar toda la junta o un tramo debido a alguna reparación a la misma.

Ilustración 34. Formato de Programación de END.

		PROGRAMACION DE END						
PROYECTO: PREFABRICADO EL JOBO								
CONTRATO:		CLIENTE: VALERUS			FECHA: 05/10/15			
LOCAIZACIÓN: INTALACIONES STEEL								
#	ISOMÉTRICO	JUNTA	ESTAMPE SOLDADOR	DIÁMETRO	SCHEDULE	ENSAYO	FECHA	OBSERVACIONES
1	10"-D2C2-GP-0001	23	JWG	10"	SCH 80	RX	05/10/2015	
2	10"-D2C2-GP-0001	18	JWG	10"	SCH 80	RX	05/10/2015	
3	10"-D2C2-GP-0001	10	JWG	10"	SCH 80	RX	05/10/2015	
4	10"-D2C2-GP-0001	9	JWG	10"	SCH 80	RX	05/10/2015	
5	8"-D0C1-GP-1134	7	JWG	8"	SCH 80	RX	05/10/2015	
6	2"-AOC1-HC-2500	20	HOC	2"	SCH 80	RX	05/10/2015	
7	2"-AOC1-HC-2500	21	HOC	2"	SCH 80	RX	05/10/2015	
8	2"-AOC1-HC-2500	24	HOC	2"	SCH 80	RX	05/10/2015	
9	10"-D2C2-GP-0001	6	EJB	10"	SCH 80	RX	05/10/2015	
10	10"-D2C2-GP-0001	24	EJB	10"	SCH 80	RX	05/10/2015	
11	10"-D0C2-GP-1050-A	9	JLA	10"	SCH 80	RX	05/10/2015	
12	10"-D0C2-GP-1050-A	16	JLA	10"	SCH 80	RX	05/10/2015	
13	10"-D0C1-GP-1114	6A	OBC	8"	SCH 80	RX	29/09/2015	REPARACION- 29-09-2015 A-B ESTAMPE HOC/DGP
14	10"-D0C1-GP-1114	6B	OBC	8"	SCH 80	RX	29/09/2015	REPARACION- 29-09-2015 C-A ESTAMPE EJB
15	8"D2C2-GP-1001	3	EJB	8"	SCH 80	RX	29/09/2015	REPARACION 29-09-2015 B-C ESTAMPE EJB
16	10"-D0C2-GP-1050-A	7	JLA	10"	SCH 80	RX	29/09/2015	REPARACION 29-09-2015 A-B ESTAMPE JLA
17	10"-D2C2-GP-0001	7	EJB	10"	SCH 80	RX	05/10/2015	
18	10"-D2C2-GP-0001	8	EJB	10"	SCH 80	RX	05/10/2015	
19	12"-D0C1-GP-1029-2	1	DGP	12"	SCH 80	RX	05/10/2015	ALIVIO
20	8"-D0C1-GP-1028	15	DGP	12"	SCH 80	RX	05/10/2015	ALIVIO
OBSERVACIONES								
		ELABORÓ	APROBÓ/REVISÓ		VALIDÓ			
EMPRESA								
NOMBRE								
CARGO								
FIRMA								

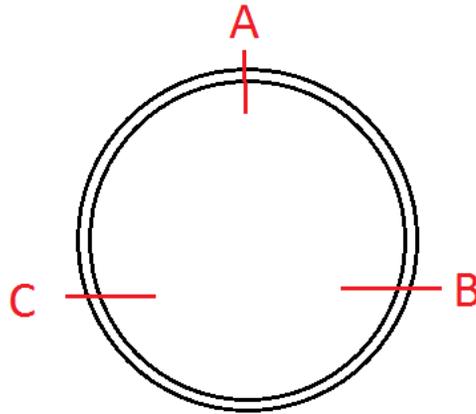
6.8.2. Toma de Placas

La toma de placas y la realización del ensayo de radiografía es contratada con la empresa **CEND calidad y ensayos no destructivos**. Quienes se comprometen a realizar los ensayos, generar los informes de aceptación o rechazo, e interpretar dichos resultados.

En cuanto a la toma de placas en tubería se realiza dividiendo el tubo en secciones de acuerdo a su diámetro, sin embargo, a lo largo del proyecto la mayor parte de la tubería

fue seccionada en 3 partes y su disposición se muestra en la siguiente ilustración. (Ver ilustración 35).

Ilustración 35. División de Tubería para toma de Placas Radiográficas.



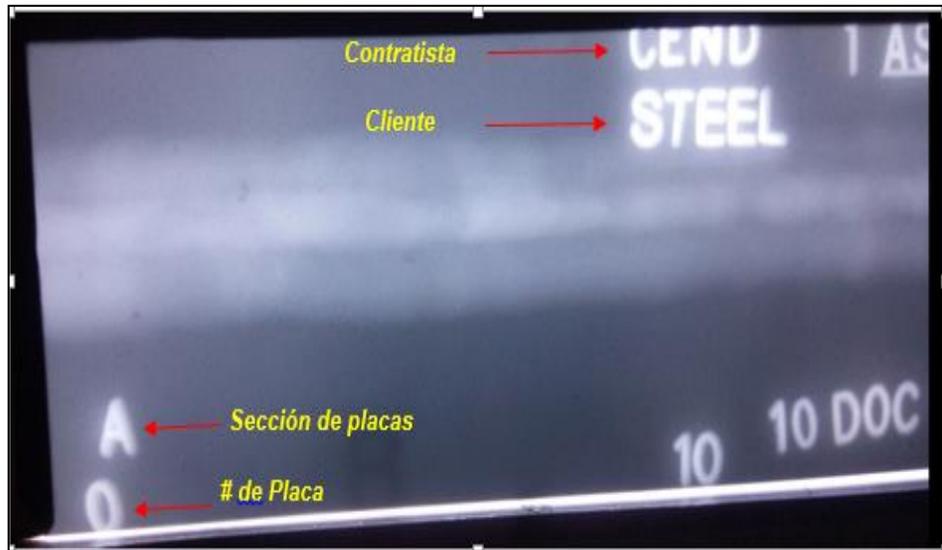
Las placas de una toma con división de tres secciones serán nombradas placa (A-B), (B-C), (C-A). En caso de tener un diámetro mayor o menor el tubo las secciones aumentarán o disminuirán correspondientemente, en el caso de ser diámetros menores a 2" solo se generan dos secciones una llamada P0 y la otra P90.

Nota: cada placa tiene marcada el número de junta, la parte o sección (No de placa), estampe, nombre de la empresa y el isométrico o nombre de línea. (Ver ilustración 36 y 37).

Ilustración 36. Marcación Placa Radiográfica.



Ilustración 37. Marcación Placa Radiográfica.



6.8.3. Resultados

Los resultados son suministrados por CEND en un formato que es nombrado informe REPORTE INSPECCIÓN RADIOGRÁFICA. En este formato es suministrada toda la información necesaria para soportar los resultados de las pruebas cabe resaltar algunos ítems de esta:

- *Fecha:* La fecha de la realización del ensayo.
- *Diámetro:* se refiere al diámetro de la junta a inspeccionar.
- *Junta:* número de junta (soldadura) del isométrico mencionado al que se realizará prueba.
- *Estampe:* cada soldador tiene un estampe único que en la mayoría de los casos se da con las letras iniciales de su nombre y apellido, este estampe es muy importante porque con él se identifica quien hizo la junta y se lleva un control y una trazabilidad del defecto logia para cada soldador.
- *Placa No:* Es la sección de la junta tomada en la radiografía.

- *Interpretación:* Es el espacio donde se indica cuáles fueron los resultados de cada junta si el espacio está vacío no hay ninguna indicación, si el espacio tiene una sigla el mismo formato ofrece una caja donde se indican las siglas con cada uno de sus significados.
- *Calificación:* la calificación se da con dos siglas *R:* cuando es necesario realizar una reparación de la junta o la sección de la misma y *OK:* cuando la junta está bien y es aprobada.
- *Observaciones:* este espacio se da para escribir cualquier indicación relevante, sin embargo, en este proyecto fue utilizado para indicar la línea a la que pertenece la junta.
- *Firma:* En este espacio plasma la rúbrica o firma del inspector que realizó la interpretación de los resultados de la toma radiográfica. (*Ver ilustración 38*).

Ilustración 38. Reporte Inspección Radiográfica.

 CEND CALIDAD Y ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS		SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN		CODIGO: CEND-END-F-301			
		PROCESO E.N.D		EMISION: 12 ENERO 2012			
		REPORTES INSPECCIÓN RADIOGRAFICA		REV: 0			
				HOJA 1 DE 3			
CARRERA 22 N° 63C - 30 PBX : 3003802		EMPRESA: STEEL PREFABRICADO Y ESTRUCTURAS		INFORME: 012-A			
E-MAIL: yefferson.correa@cend.co		LUGAR: MADRID					
CEL: 3102216507 - 3124507371		INSPECCIÓN RADIOGRAFICA :		FECHA: 11-SEPTIEMBRE - 2015			
Nuestros Servicios: Asesorías, Interventoría Radiografía Industrial, Tintas Penetrantes Partículas Magnéticas, Ultrasonido, wps, pqr		PREFABRICADO EL JOBO					
Rayos X		Fuente: Ir 192 T.Focal: 3x3 mm	MATERIAL	ACERO AL CARBON			
Kv	N/A	mA	N/A				
Tipo :		Structurix D7	ACTIVIDAD	ESPESOR DE PARED			
Tamaño :		7"-14" x 70mm	50 CI	SCH 80			
No de Placas		No de Uniones	Dist Fuente-Película	DIAMETRO			
86	24	6.5" 8.5" 10.5" 14.5"	INDICADOR DE CALIDAD	2" 6" 8" 14"			
No de Uniones		Tiempo de Exposición	ASTM - B	NORMA INTERPRETACIÓN:			
86		Min. VARIOS Seg.	No 1 Tipo Hilos	ASME B31.3			
No de Uniones		Técnica de exposición	NOMBRE TECNICO	INSPECTOR:			
24		EPD/VPS - EPD/VPD	JAMES BLANCO				
KM	Ø	JUNTA	ESTAMPE	PLACA No	INTERPRETACION	CALIFICACION	OBSERVACIONES
	2"	8	HOC	P0º		OK	2"-D0C2-HF-1601
				P90º		OK	
	2"	8	HOC	P0º		OK	2"-D0C2-HF-1602
				P90º		OK	
	2"	5	HOC	P0º		OK	2"-D0C2-HF-1606
				P90º		OK	
	2"	5	HOC	P0º		OK	2"-D0C2-HF-1607
				P90º		OK	
	2"	5	HOC	P0º		OK	2"-D0C2-HF-1605
				P90º		OK	
	2"	5	HOC	P0º		OK	2"-D0C2-HF-1625
				P90º		OK	
	6"	3	JLA	A - B		OK	8"-AOC1-HF-1614
				B - C	PE	OK	
				C - A	PE	OK	
	6"	3	HOC	A - B		OK	8"-AOC1-HF-1615
				B - C	PE	OK	
				C - A	PE	OK	
PI-	Penetración inadecuada en la raíz (Inadequate Penetration)		Q-	Quemones o Cráteres (Burn - Trough)		PT-	Porosidad Tubular (Wormhole)
PI-	Fusión incompleta en la raíz (Incomplete fusion)		IEE-	Inclusiones de escoria alargadas (Wagon Tracks)		PV-	Porosidad Alargada Vermicular (Hollow Bead)
PHL-	Penetración inadecuada debido a Hi-Low/ Desalineamiento		IEA-	Inclusiones de escoria aislada (Isolated slag inclusions)		GL-	Grieta Longitudinal (Cracks)
CI-	Concavidad interna (Internal Concavity)		PE-	Porosidad Esterica (Spherical Porosity)		GT-	Grieta Transversal (Cracks)
FP-	Incompleta fusión entre pases (Inc. Fusion due to cold lap)		Pag -	Porosidad Agrupada		SI -	Socavado Interno (Internal Undercut)
						SE -	Socavado Externo (External Undercut)
						A-	Acumulación de discontinuidades
						GIR-	Cordon Irregular
EMPRESA:	CALIDAD Y ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS		STEEL PREFABRICADO			INTERVENTORIA	
NOMBRE:	ESTIBER CORREA R.						
FIRMA:	 CEND		 EMPRESA E.N.D. SISTEMAS INTEGRADOS DE GESTIÓN			 INTERVENTORIA	
FECHA:	11-SEPTIEMBRE-2015						
CALIDAD Y ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS NIT. 900.805.293-3							

De este informe se puede deducir que todas las juntas inspeccionadas fueron aprobadas por el inspector, sin embargo, en cuatro placas se evidencia en la interpretación que existen unas indicaciones de porosidad esférica (PE) pero no genera rechazo por parte del inspector debido a que se encuentra en los límites establecidos por la norma.

6.8.4. Interpretación de Resultados

La interpretación de las placas es realizada por personal calificado, suministrado por CEND quienes se desplazan a las instalaciones de STEEL Prefabricados y Estructuras, acompañados de personal del departamento de calidad revisan en un cuarto oscuro y con un negatoscopio cada una de las placas que tienen indicaciones para reparar. (Ver ilustración 39)

Ilustración 39. Indicación de defectología



Una vez se determina que hay que realizar la reparación se genera un CALCO este calco es una copia calcada directamente de la placa a mano alzada, el cual se dispone en la parte del tubo que tiene marcada la misma sección y se ubica el defecto posteriormente se realiza la reparación y una nueva toma de la sección reparada para su aprobación. (Ver ilustración 40 y 41).

Ilustración 40. Calco 1, Junta 2"

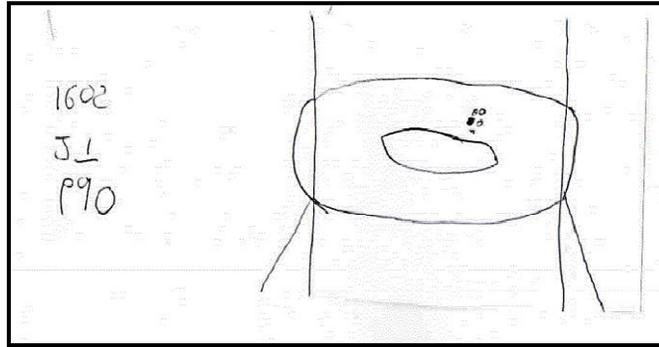
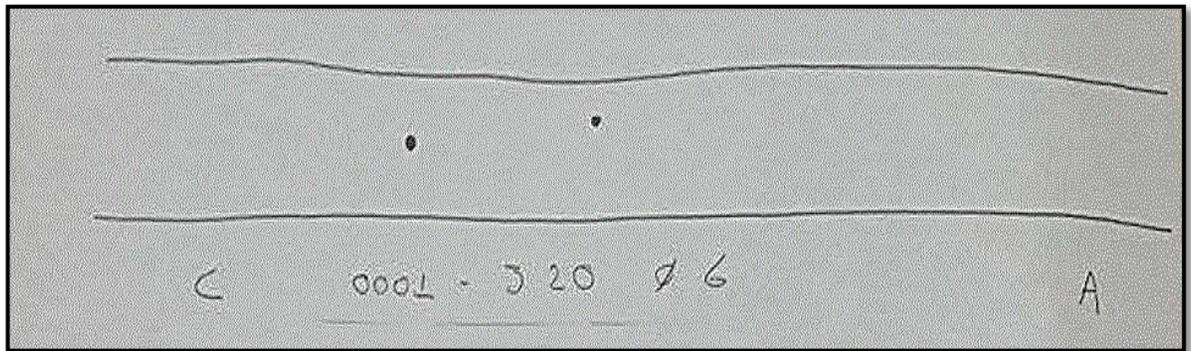


Ilustración 41. Calco 2, Junta 6"



6.9. LÍQUIDOS PENETRANTES

Este ensayo también es parte del control de calidad estipulado en los pliegos del contrato y se debe realizar al 100% de las juntas Fillet Weld (juntas de filete), en el pase de raíz y presentación.

6.9.1. Programación de Líquidos Penetrantes

En este caso STEEL cuenta con un personal calificado (nivel II) para la realización de estos ensayos en el momento necesario, es decir como estas pruebas se realizan a lo largo del proceso de soldadura de cada junta de filete, una vez se culmina un pase de soldadura se realiza el ensayo y cuando se finaliza la presentación de la misma se repite el ensayo.

6.9.2. Realización del Ensayo

El ensayo se realiza en 3 pasos:

1. **Limpieza inicial:** La clave de la calidad de este ensayo radica en la buena limpieza, la junta debe ser entregada por el soldador limpia de escoria y cualquier material particulado, posteriormente se realiza una limpieza con paño humedecido con cleaner. (Ver ilustración 42).

Ilustración 42. Limpieza Inicial



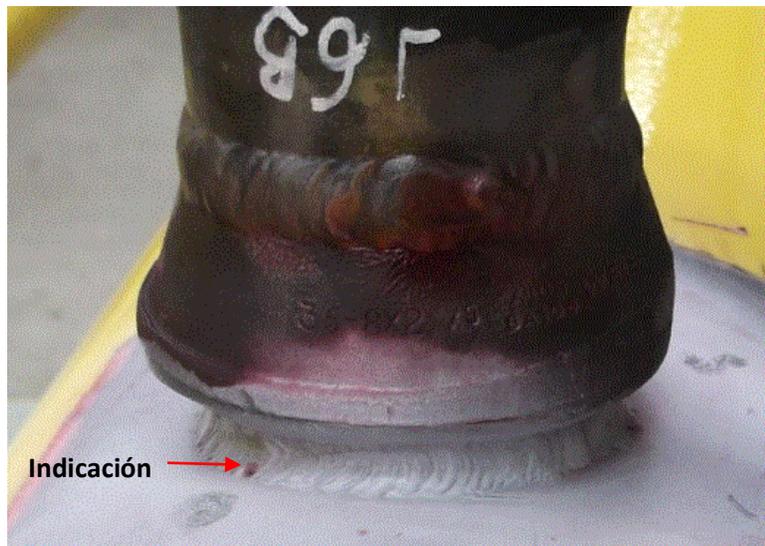
2. **Aplicación Penetrante:** la aplicación del penetrante se realiza a lo largo de la junta a inspeccionar, el líquido penetra en las discontinuidades y se deja en un tiempo estimado dependiendo de las condiciones ambientales entre 1 a 20 min. (Ver ilustración 43).

Ilustración 43. Aplicación Penetrante



3. **Aplicación Revelador:** Una vez pasa el tiempo de penetración se realiza una segunda limpieza exhaustiva para retirar todos los excesos de penetrante y poder garantizar que las indicaciones arrojadas por el ensayo son reales. Pasados unos minutos de la limpieza se procede a aplicar el revelador el cual por efecto de capilaridad mostrara las indicaciones con un tono rojizo. (Ver ilustración 44).

Ilustración 44. Aplicación Penetrante



6.9.3. Registro de Líquidos Penetrantes

Para los resultados son registrados en un formato llamado Registro de Líquidos Penetrantes este es diligenciado por el inspector nivel dos que realiza y evalúa la inspección de la junta por este método. (Ver ilustración 45).

A continuación, se mencionarán algunos de los ítems más importantes de este formato.

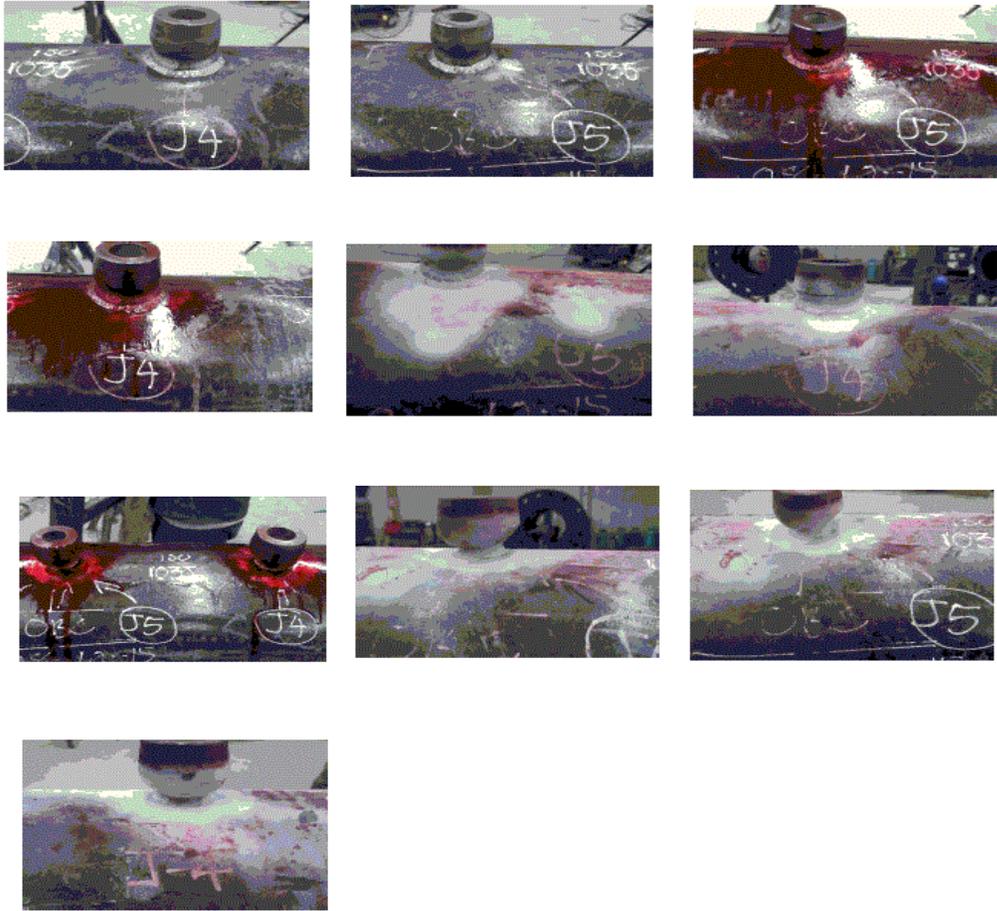
- *Proyecto:* proyecto para el cual se realiza la inspección.
- *Reporte No:* Número único de reporte cada reporte tiene que tener una numeración para su trazabilidad

- *Línea*: nombre-código único de identificación de plano o isométrico para el que se realizará la prueba.
- *Fecha*: La fecha de la realización del ensayo.
- *Tipo de Tintas*: se indica el tipo de tinta utilizada de los dos tipos existentes para este proyecto solo se realizó con tipo II coloreadas, existen otras como fluorescentes.
- *Método*: Depende de la solubilidad en este caso se realizaron removibles con solvente.
- *Diámetro y no de junta(s)*: diámetro de la tubería y la cantidad o nombre de la junta que es inspeccionada.
- *Limpiador*: Se menciona la marca, el lote, la referencia, y la fecha de vencimiento.
- *Penetrante*: Se menciona la marca, el lote, la referencia, y la fecha de vencimiento.
- *Revelador*: Se menciona la marca, el lote, la referencia, y la fecha de vencimiento.
- *Temperatura de superficie (°C / °F)*: Con un termómetro infra rojo se registra la medida de la temperatura de chapa- o superficie del material.
- *Intensidad de la luz*: Con un luxómetro se registra la medida de la intensidad de luz del ambiente.
- *Tiempo de penetración (min)*: Se indica el tiempo que el penetrante permanece en la junta a inspeccionar.
- *Tiempo de revelado (min)*: Se indica el tiempo que el revelador permanece en la junta a inspeccionar.
- *Resultados*: En este espacio se registra la aprobación o el rechazo de la junta inspeccionada.
- *Registro fotográfico*: Se debe adjuntar un registro fotográfico de la inspección para sustentar los resultados. (Ver ilustración 46).

Ilustración 45. Registro de Líquidos Penetrantes

		REGISTRO DE LIQUIDOS PENETRANTES	
PROYECTO:	PREFABRICADO EL JOBO	REPORTE No:	ST-PJO-008
		FECHA:	05/09/2015
LINEA	8"-DOC2-GP-1035		
	<input type="checkbox"/> MONTAJE <input checked="" type="checkbox"/> PREFABRICADO <input type="checkbox"/> INSPECCIÓN VISUAL		
ELEMENTO:	SOKOLET CS SW-8W SP97		
TIPO DE TINTAS:	COLOREADAS TIPO II		
METODO:	<input type="checkbox"/> A. REMOVIBLE CON AGUA <input checked="" type="checkbox"/> C. REMOVIBLE CON SOLVENTE		
DIÁMETRO Y No DE JUNTA(S):	3/4"- 1/2"	J5-J4	
MATERIAL:	ASTM-A 105		
PRUEBA EJECUTADA SEGUN DOCUMENTO:	ASME SECC:	B31.3	
	API No:		
	OTROS:		
LIMPIADOR MARCA:	MAGNAFLUX	REFERENCIA	SKC-5 LOTE No.: 40405 FECHA VENC: Mar-19
PENETRANTE MARCA:	MAGNAFLUX	REFERENCIA	SKL-SP2 LOTE No.: 1711 FECHA VENC: Jun-17
REVELADOR MARCA:	MAGNAFLUX	REFERENCIA	SKD-S2 LOTE No.: 2683 FECHA VENC: Jun-18
LIMPIEZA Y PREPARACION DE LA SUPERFICIE:	Manual (liso y limpia) paño humedo		
TEMPERATURA DE SUPERFICIE (°C / °F):	20,6	EQUIPO:	TERMOMETRO INFRA ROJO FECHA CALIBRACI: 15/08/2015 SERIAL: 11054918
INTENSIDAD DE LA LUZ:	1974 LUX	EQUIPO:	LUXOMETRO EXTECH FECHA CALIBRACI: 20/08/2015 SERIAL: 130622442
TIEMPO DE PENETRACION (min):	15 min	REMOCION:	Manual con paño humedo
TIEMPO DE REVELADO (min):	10 min		
ILUMINACION:	1974 lux	TEMPERATURA MEDIDA:	20,6 °C
OBSERVACIONES:	se inspeccionaron las juntas en pase de raiz y presentacion		
RESULTADOS:	No se encontraron indicaciones relevantes o que ameriten algun tipo de reparacion , el resultado es satisfactorio para cada una de ellas.		
ESQUEMA O CROQUIS:			
OBSERVACIONES			
SE REALIZO ENSAYO POR METODO LIQUIDOS PENETRANTES (PT) A LA RAIZ Y PRESENTACION DE LAS JUNTAS NOMBRADAS			
	ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ
EMPRESA:	STEEL PREFABRICADOS Y ESTRUCTURAS	STEEL PREFABRICADOS Y ESTRUCTURAS	
NOMBRE:	JUAN CAMILO VELASCO GAMBA	JUAN CARLOS CEBALLOS	
CARGO:	INSPECTOR QIA/QC	ING. RESIDENTE	
FIRMA:	NIVEL II		

Ilustración 46. Registro Fotográfico

		REGISTRO DE LIQUIDOS PENETRANTES	
			
	ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ
EMPRESA:	STEEL PREFABRICADOS Y ESTRUCTURAS	STEEL PREFABRICADOS Y ESTRUCTURAS	
NOMBRE:	JUAN CAMILO VELASCO GAMBA	JUAN CARLOS CEBALLOS	
CARGO:	INSPECTOR QI/QC	ING. RESIDENTE	
FIRMA:	NIVEL II		

Los resultados del informe que se muestra en la ilustración están implícitos en la casilla RESULTADOS, donde se evidencia que no se encontraron indicaciones relevantes que ameriten algún tipo de reparación para las juntas evaluadas.

6.9.4. Resultados

Para el prefabricado de la estación compresora de gas EL JOBO se realizó la inspección al 100% de la junta FLW por el ensayo de líquidos penetrantes, los resultados fueron muy satisfactorios ya que ninguna junta fue rechazada, solo se realizaron pequeños ajustes, pero todo dentro de los parámetros establecidos por la norma.

6.10. LIMPIEZA, APLICACIÓN Y END A RECUBRIMIENTO

El proceso de recubrimientos fue contratado con la empresa GAVAR Ltda. Quienes se encargan de realizar la preparación de la superficie, aplicación de recubrimiento y realización de END para estos.

Según el sistema estipulado por el cliente VALERUS quien en los pliegos de contrato indica que todo el proceso de recubrimiento se realiza bajo un sistema propio de su compañía (*Tabla 8.*).

Tabla 8. System 1.

System 1 - Exterior Painting of Equipment and Skids, Compression Units (Insulated and Un-insulated) (Epoxy/Polyurethane)					
Coat	Specification	DFT (Mils)	STD Part No.	Low VOC Part No.	Color
Surface Preparation	SSPC-SP-6	2-3 mil (Blast Profile)	--	--	--
Prime Coat (Epoxy)	Valerus	4 - 6	Part A-B58W610	Part A-B58W620	Contrasting to finish coat
			Part B- B58V600	Part B-B58V620	
Finish Coat (Polyurethane)	Valerus	3 - 4	Part A-B65W311	Part A-B65W625	Gray (Fed Std. 16251) (RAL-7042)
			Part B-B60V30	Part B-B65V625	

Como se muestra en la tabla la limpieza se realiza bajo los estándares (SSPC) *society for protective coating* y para este caso bajo el tipo de limpieza SP-6 del cual son

especificados sus parámetros en los documentos suministrados por el cliente. (Ver *ilustración 47*).

Ilustración 47. Documento Suministrado por Cliente, Especificaciones de Preparación de Superficie

6.1 SSPC Types

6.1.1 SSPC-SP1 SOLVENT CLEANING

Removal of all visible oil, grease, soil, drawing and cutting compounds, and other soluble contaminants from steel surfaces with solvent, vapor, cleaning compound, alkali, emulsifying agent, or steam

6.1.2 SSPC-SP2 HAND TOOL CLEANING

Removes all loose mill scale, loose rust, loose paint, and other loose detrimental foreign matter by hand chipping, scraping, sanding, and wire brushing.

6.1.3 SSPC-SP3 POWER TOOL CLEANING

Removes all loose mill scale, loose rust, loose paint, and other loose detrimental foreign matter by power wire brushing, power sanding, power grinding, power tool chipping, and power tool descaling.

6.1.4 SSPC-SP5 / NACE 1 WHITE METAL BLAST CLEANING

When viewed without magnification, the surface shall be free of all visible oil, grease, dust, dirt, mill scale, rust, coating, oxides, corrosion products and other foreign matter.

6.1.5 SSPC-SP6 / NACE 3 COMMERCIAL BLAST CLEANING

When viewed without magnification, the surface shall be free of all visible oil, grease, dust, dirt, mill scale, rust, coating, oxides, corrosion products and other foreign matter of at least 66- $\frac{2}{3}$ % of unit area, which shall be a square 3 in. x 3 in. (9 sq. in.). Light shadows, slight streaks, or minor discolorations caused by stains of rust, stains of mill scale, or stains of previously applied coating in less than 33- $\frac{1}{3}$ % of the unit area is acceptable.

This document is the property of Valerus Field Solutions, LP. This information is proprietary and shall not be disclosed outside your organization, nor shall it be duplicated, used or disclosed for any purpose other than as permitted under written agreement with Valerus Field Solutions, LP or its subsidiaries.

Page 5 of 10

El sistema específico que la aplicación del recubrimiento se realiza por método bicapa, primero se aplica un imprimante o base (macropoxy) y por último un acabado (acrolon) las características de los espesores son mencionados en la tabla 8 (sistema 1).

6.10.1. End a Recubrimientos

El departamento de calidad se encarga de realizar la auditoria a todas las pruebas realizadas por la empresa GAVAR LTDA. En el proceso de limpieza por sandblasting se realiza una prueba de perfil de anclaje, su resultado debe estar en el rango de (2–3 mils).

6.10.1.1. Medición de Espesores

La medición de espesores se debe realizar a lo largo del proceso de aplicación de la pintura, cuando la pintura esta húmeda se toma la medida con una galga para medición de espesores húmedos, si la pintura esta seca se realiza la medición con un equipo

llamado POSITEITOR, la medición de espesor para el imprimante (Macropoxy) en seco debe estar en el rango de (4-6mils). (Ver ilustración 48).

Ilustración 48. Medición de Espesores Imprimante



Una vez aplicada la última capa del acabado (acrolon) se realiza la medición cuando la pintura ya está seca, los espesores del acabado deben tener un rango de (3-4) es decir cuando se realiza la medición final el rango del espesor de todo el esquema de pintura debe encontrarse entre (7-10mils). (Ver ilustración 49).

Ilustración 49. Medición de Espesores Acabado



6.10.1.2. Prueba de Adherencia

Pasados unos días y dejando un tiempo estipulado (tiempo de curado) se realiza la última prueba, esta prueba tiende a ser destructiva ya que la pintura tiende a sufrir daños que posteriormente deben ser reparados. El ensayo consiste en pegar unos dados sobre la superficie a inspeccionar, dejarlos secar por algunas horas y posteriormente con un instrumento llamado ELCOMETER se realiza la prueba por arranque, al final se compara la máxima presión soportada por el dado antes de desgajar. (Ver ilustración 50, 51 y 52).

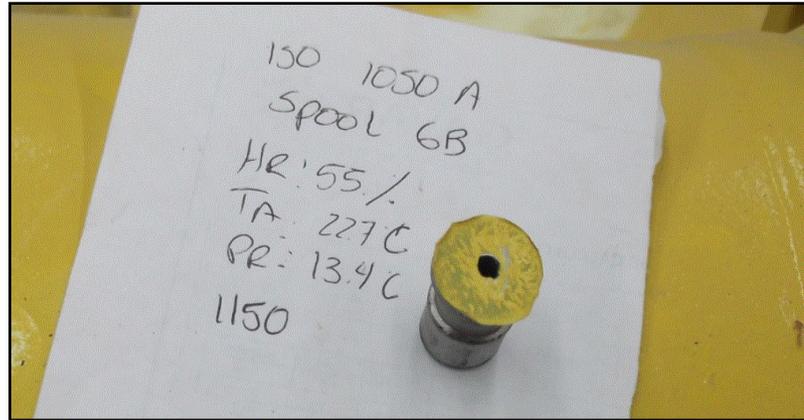
Ilustración 50. Fijación de Dado



Ilustración 51. Montaje de Ensayo d Adherencia



Ilustración 52. Resultados de ensayo



6.10.2. Formato

STEEL suministra un formato de resultados para las pruebas de recubrimientos y GAVAR Ltda. está encargada de diligenciarlo bajo los estándares estipulados por el cliente. (Ver ilustración 53, 54, 55 y 56).

Ilustración 53. Preparación de Superficies

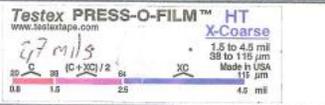
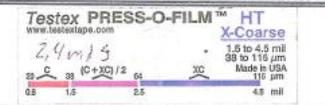
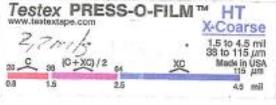
		LIMPIEZA Y APLICACIÓN DE REVESTIMIENTO																
		PROYECTO: PREFABRICADO EL JOBO CLIENTE: VALERAS - CONSORCIO EL JOBO LOCALIZACIÓN: MADRID FECHA: 07/09/2015																
PREPARACION DE SUPERFICIES																		
Condiciones ambientales																		
Hora		%HR		T _a °C		T _s °C		T _d °C		Δ °C		Lluvia	Hora lluvia	Hora lluvia				
INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	SI	NO	INICIAL	FINAL			
09:20	13:00	55,3	57,8	19,3	21	20	20	9,3	10,8	10,7	9,2		X					
Marca de equipo:		C.E.M		Modelo:		DT-3321		S/N		10086342		Fecha de calibración:				07/07/2015		
Grado de limpieza																		
Condición inicial del sustrato grado:		B		Tipo de limpieza:		sandblasting		SSPC-SP		6		¿Condición final del sustrato satisfactorio?				SI	X	NO
Perfil de anclaje (Rugosidad) [mils]																		
1 ^{ra} lectura								2 ^{da} lectura										
Marca de equipo:		MITUTOYO		Modelo:		2804S-10		S/N		RHJ464		Fecha de calibración:				07/07/2015		
APLICACION DE REVESTIMIENTO																		
Condiciones ambientales																		
Hora		%HR		T _a °C		T _s °C		T _d °C		Δ °C		Lluvia	Hora lluvia	Hora lluvia				
INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	SI	NO	INICIAL	FINAL			
14:00	18:10	46,2	59,6	21	19	25	24	11	9,2	14	14,8		X					
13:00	15:40	57,5	59,1	19	18,5	27	25	10,4	11	16,6	14		X					
Marca de equipo:		C.E.M		Modelo:		DT-3321		S/N		10086342		Fecha de calibración:				07/07/2015		
Esquema de revestimiento																		
Esquema:				BICAPA				Especificación:				MACROPOXY 646 Y ACROLON 218						
Capa	Marca	Referencia				Lote				Fecha de vencimiento								
AUTOIMPRIMANTE	SHERMAN W.	MACROPOXY PARTE A				N/A				N/A								
AUTOIMPRIMANTE	SHERMAN W.	MACROPOXY PARTE B				N/A				N/A								
ACABADO	SHERMAN W.	ACROLON 218 PARTE A				N/A				N/A								
ACABADO	SHERMAN W.	ACROLON 218 PARTE B				N/A				N/A								
Espesor de Película Humeda [mils]																		
Capa	Elemento/Línea/sométrico/Juntas						Promedio		Observaciones									
AUTOIMPRIMANTE	ISO 1025 SPL2, ISO 1014 SPL1, ISO1029 SPL1, ISO 134 SPL1, ISO 1034 SOL2, ISO 1050 SPL1						11,0 mils											
ACABADO	ISO 1025 SPL2, ISO 1014 SPL1, ISO1029 SPL1, ISO 134 SPL1, ISO 1034 SOL2, ISO 1050 SPL1						6,0 mils		AMARILLO OCRE1021									
OBSERVACIONES																		
LOTE N°1 DE SPOOL																		
																		
EMPRESA:	ELABORO			REVISO/APROBO			VALIDO											
NOMBRE:	GAVAR																	
CARGO:	YENNY CARDENAS																	
FIRMA:	QA/QC																	

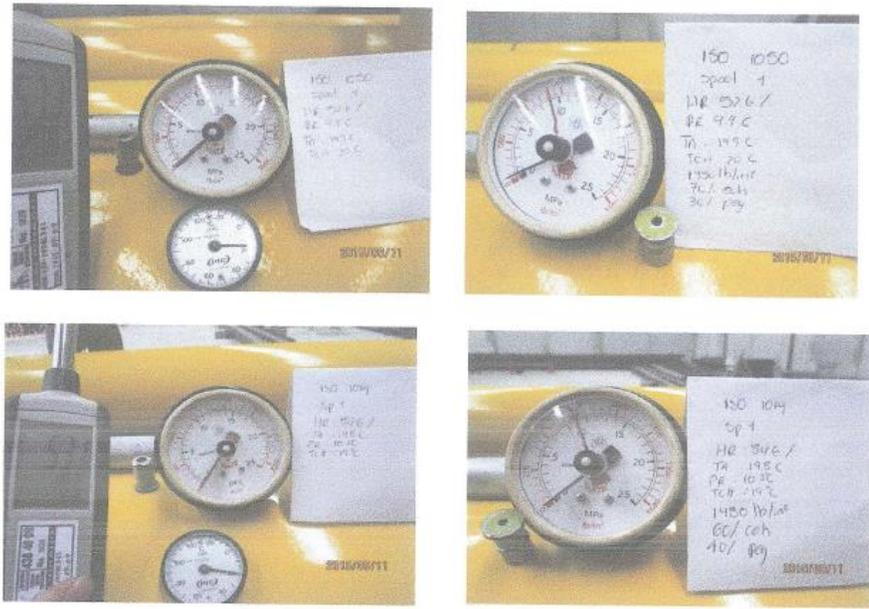
Ilustración 54. Registro Fotográfico

		LIMPIEZA Y APLICACIÓN DE REVESTIMIENTO	
PROYECTO: PREFABRICADO EL JOBO			
CLIENTE: VALERAS-CONSORCIO EL JOBO		FECHA: 07/09/2015	
LOCALIZACION: MADRID			
RÉGISTRO FOTOGRAFICO			
			
	ELABORO	REVISOR/APROBO	VALIDO
EMPRESA:	GAVAR		
NOMBRE:	YENNY CARDENAS		
CARGO:	QA/QC		
FIRMA:			

Ilustración 55. END Recubrimiento de Superficies

		END RECUBRIMIENTO DE SUPERFICIES			
PROYECTO: PREFABRICADO EL JOBO					
CONTRATO:		CLIENTE: VALERAS-CONSORCIO EL JOBO		FECHA: 09/09/2015	
LOCALIZACION: MADRID					
Esquema de revestimiento					
Esquema: BICAPA			Especificación: MACROPOXY 646 Y ACROLON 218		
Capa	Marca	Referencia	Observaciones		
AUTOIMPRIMANTE	SHERMAN W.	MACROPOXY PARTE A	N/A		
AUTOIMPRIMANTE	SHERMAN W.	MACROPOXY PARTE B	N/A		
ACABADO	SHERMAN W.	ACROLON 218 PARTE A	N/A		
ACABADO	SHERMAN W.	ACROLON 218 PARTE B	N/A		
Espesor de recubrimiento [mils]					
Capa	Elemento/Línea/Isométrico/Juntas			Promedio	Observaciones
AUTOIMPRIMANTE	ISO 1025 SPL2, ISO 1014 SPL1, ISO1029 SPL1, ISO 134 SPL1, ISO 1034 SOL2, ISO 1050 SPL1			6,0 mils	
ACABADO	ISO 1025 SPL2, ISO 1014 SPL1, ISO1029 SPL1, ISO 134 SPL1, ISO 1034 SOL2, ISO 1050 SPL1			3,0 mils	
Marca de equipo:	DEFELSKO	Modelo:	POSITECTOR STD	S/N	733917
				Fecha de calibración:	12/03/2015
CONTINUIDAD ELECTRICA (Holiday)					
Elemento/Línea/Isométrico/Juntas			Observaciones		
N/A					
Equipo de: Alta ___; Baja ___		Voltaje:		Reparación: SI ___; NO ___	
Resultado:					
Marca de equipo:		Modelo:		S/N	
				Fecha de calibración:	
ADHERENCIA SEGÚN NORMA : ASTM 4541					
Elemento/Línea/Isométrico/Juntas		Medida	Requerida	Tipo de falla	OK
ISO 1050 SPOOL 1		1350Lb/in2	900 Lb/in2	30% Peg 70%Coh	X
ISO 1014 SPOOL 1		1450Lb/in2	900 Lb/in2	40% Peg 60%Coh	X
Marca de equipo:	HATE	Modelo:	SIN	S/N	89865008
				Fecha de calibración:	07/07/2015
OBSERVACIONES					
ADHERENCIA AL LOTE 1: ISO 1025 SPL2, ISO 1014 SPL1, ISO1029 SPL1, ISO 134 SPL1, ISO 1034 SOL2, ISO 1050 SPL1					
		ELABORÓ		REVISÓ/APROBÓ	
EMPRESA:		GAVAR			
NOMBRE:		YENNY CARDENAS			
CARGO:		QA/QC			
FIRMA:					

Ilustración 56. END Recubrimiento de Superficies-Registro Fotográfico

		END RECUBRIMIENTO DE SUPERFICIES	
PROYECTO: PREFABRICADO EL JOBO			
CONTRATO:		CLIENTE: VALERAS-CONSORCIO EL JOBO	FECHA: 09/09/2015
LOCALIZACION: MADRID			
REGISTRO FOTOGRAFICO			
			
	ELABORÓ	REVISÓ/APROBÓ	VALIDÓ
EMPRESA:	GAVAR		
NOMBRE:	YENNY CARDENAS		
CARGO:	QA/QC		
FIRMA:			

6.11. PRUEBA HIDROSTÁTICA

Es conocida también como prueba hidráulica, esta se desarrolló en la planta en Madrid, el consorcio El Jobo, quienes fueron responsables del montaje en campo, se encargaron de la realización de esta prueba, bajo la auditoria de **VALERUS** (cliente directo), **PROMISOL** (operadores de la estación compresora) y **CANACOL ENERGY** (Cliente final), el departamento QA/QC de Steel Prefabricados se limitó al suministro de espacio y personal técnico, los resultados de las pruebas fueron registrados por las empresas anteriormente mencionadas.

6.12. DESPACHO

Para el despacho del material se realiza una marcación en una lámina metálica que se estampa por impacto con el nombre de la línea al que pertenece el spool, seguido a esto se amarra o suelda a la tubería o al material perteneciente. (Ver ilustración 57).

Ilustración 57. Material embalado



6.12.1. Embalaje

Para el embalaje se cubre el material que podría sufrir daños durante el transporte, teniendo en cuenta que el desplazamiento es realizado de Bogotá a Montería, se utiliza plástico (vinipel) y cartón para dividir y evitar que el material se raye. (Ver ilustración 58).

Ilustración 58. Material Final para Envío



6.12.2. Disposición de Material

Para el cargue del material se utilizaron vehículos de transporte de carga, que en su mayoría fueron mulas o cama bajas. Las actividades de cargue fueron asignadas a personal capacitado en elevación de cargas y operación de los equipos de izaje tales como: montacargas y camión grúa, (Ver ilustración 59, 60, 61, 62 y 63).

Ilustración 59. Cargue del Material



Ilustración 60. Cargue del Material con Montacargas



Ilustración 61. Cargue de Material con Camión Grúa

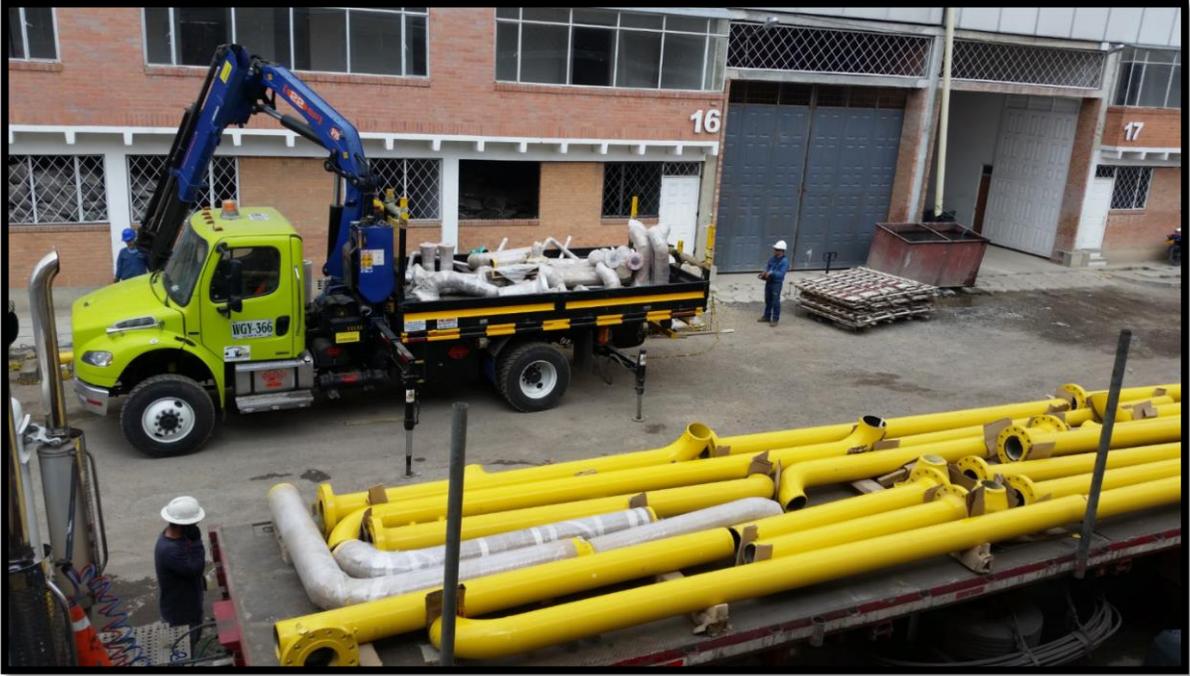


Ilustración 62. Cargue Total de Material



Ilustración 63. Envío de Material



7. MEJORAS Y APORTES AL DESARROLLO DEL PROYECTO

7.1. ELABORACIÓN DE BASE DE DATOS PARA EL CONTROL DE MATERIALES

La disposición y control tanto de los materiales como sus certificados de calidad es una de las tareas más importantes para garantizar la trazabilidad del proyecto, el área de calidad vio la necesidad de crear una base de datos donde se registren la información más importante referente a las tuberías y accesorios. (Ver ilustración 64).

Ilustración 64. Sello de Recepción de Materiales



La base de datos fue creada en un archivo en formato EXCEL (.xlsx), este documento se encuentra adjunto en el CD del proyecto, en la ilustración x podemos ver como se organizó la información dentro de una tabla. (ver anexo digital 1 y Tabla 9)

Tabla 9. Tabla de Base de Datos de Materiales Recibidos

DESCRIPCION	Ø	UND	CANT	OC	Nº REMISION	PROVEEDOR	FECHA	COMENTARIOS
CAP SW 1" - 6000Lb ASTM A 105 ASME B16.11	1"	und.	1	90	RMC-1508582	JD VALVULAS	27/08/2015	
CAP SW 1" - 6000Lb ASTM A 105 ASME B16.11	1"	und.	1	110	RMC-1509588	JD VALVULAS	11/09/2015	
COUPLING 1" THR 3000Lb A105N GALVANIZED	1"	und.	4	108	S-001-0000010172	TUVAPOR LTDA	02/09/2015	
COUPLING 1" THR 3000Lb A105N GALVANIZED	1"	und.	7	209	10366	TUVAPOR LTDA	16/10/2015	
COUPLING 1" THRD 3000 A105N	1"	und.	5	31	5112004740	CASAVAL S.A	06/08/2015	
COUPLING 1" THRD 6000 A105N	1"	und.	1	108	S-001-0000010163	TUVAPOR LTDA	02/09/2015	
ELL45 1 THR 3000Lb ASTM A 105	1"	und.	1	209	10360	TUVAPOR LTDA	15/10/2015	
ELL45 1 THR 3000Lb ASTM A 105	1"	und.	4	209	10361	TUVAPOR LTDA	15/10/2015	
ELL90 1 SW 3000Lb ASTM A 105	1"	und.	19	209	10360	TUVAPOR LTDA	15/10/2015	
ELL90 1 SW 3000Lb ASTM A 105	1"	und.	1	214	1510625	JD VALVULAS	16/10/2015	
ELL90 1 SW 6000Lb ASTM A 105	1"	und.	1	208	RMC-1510622	JD VALVULAS	13/10/2015	
ELL90 1 SW 6000Lb ASTM A 105	1"	und.	1	201	RMC-1509614	JD VALVULAS	30/09/2015	
ELL90 1 THR 3000Lb ASTM A 105	1"	und.	6	30	RMC-1508563	JD VALVULAS	06/08/2015	

7.2. ELABORACIÓN DE BASE DE DATOS, MASTER DE SOLDADURA

Al realizar un proyecto que contiene las todas las etapas como lo son, ingeniería, fabricación y montaje, se genera demasiada información, pensando en esto se plantea realizar un base de datos llamada MASTER (*ver anexo digital 2*), en la cual se pueda consignar la mayor cantidad de información posible y que sea de fácil manejo por cualquier departamento.

El realizar este master ayuda al control de la información generada desde ingeniería hasta el momento del montaje en campo, de igual manera cabe aclarar que para futuros proyectos el diligenciamiento del mismo debe realizarse por cada departamento, y a medida que el proyecto avance el suministro de datos será realizado por el departamento al que correspondan las actividades según cronograma.

Nota: para este proyecto el departamento de Calidad del prefabricado realizo la tarea de generar el formato y registrar toda la información que en él se encuentra, ayudando así a llevar un orden óptimo desde ingeniería y entregar de la manera más clara y concisa la información a la empresa que realizaría el montaje.

Una de las ventajas más importantes que se obtiene al realizar el MASTER, es el poder realizar el análisis de los datos generados en el proyecto, y tenerlos en cuenta como lecciones aprendidas para futuros proyectos. De esta manera es posible optimizar y aplicar correcciones en procesos que no tuvieron el mejor rendimiento o calificación en el proyecto del prefabricado, también se puede ver cuáles fueron los procesos o el personal que tuvo mejor desempeño y así tenerlos para los proyectos venideros.

A continuación, se procede a explicar los ítems del MASTER que tiene una completa relación con el prefabricado. (*Ver ilustración 65*).

- *Información Junta Soldada*: está compuesto por las características y dimensiones principales que contiene la junta soldada ya sea solo tubería o accesorios. Entre los cuales se encuentra número de Junta, Diámetro, Rating, Shedule y Tipo, este último refiriéndose a la posición que tiene un material frente al otro en el momento de soldar (ejemplo: junta a tope – junta de filete).

- *Información Proceso de Armado:* para este ítem es necesario diligenciar tres columnas, la primera fecha de armado, en la que se indica la fecha en la que se realizó el armado de la junta y la entrega al soldador de la misma. La segunda es el estampe del armador, indicándonos a si cual fue el armador que realizó el proceso para esa junta.

- *Información Proceso de soldado (Pase 1):* la sección donde se diligencia este proceso está compuesta por tres columnas:
 1. Fecha de pase 1: Para esta columna se debe indicar la fecha en la que se realizó el pase de fondeo y caliente, de esta manera se procederá a enviar al relleno y presentación.
 2. Estampe Soldador 1: se menciona el estampe del soldador que realizó el proceso de fondeo y pase caliente, a si se podrá llevar un rendimiento y posterior análisis para pagos a soldadores.
 3. Proceso Fondeo: se indica cual fue el proceso utilizado para realizar el fondeo y pase caliente de la junta, esto debe estar relacionado con los WPS, de ninguna manera se debe realizar un proceso que previamente no este calificado en un PQR.

- *Información Proceso de soldado (Pase 2):* En esta sección el diligenciamiento se realiza bajo los mismos parámetros que fueron mencionados en el punto anterior, teniendo en cuenta que serán con base en el segundo proceso de soldadura llamado relleno y presentación.

- *Estatus Soldadura:* En esta columna la información requerida obedece a si la soldadura ya fue realizada en su totalidad para esta junta el indicativo es OK, si la junta no es realizada no se debe diligenciar la casilla, pero si la junta se realizara en montaje o campo se asigna FFW.

- *Estatus END:* Es una de las secciones que cobra mayor importancia ya que nos indica si la junta es aprobada, si la junta cumple con los criterios de evaluación de

los END se asigna OK, si la junta fue inspeccionada por el método de líquidos penetrantes y es aprobada se diligencia con PT, si la junta no ha sido evaluada o tiene reparación pendiente no se diligencia la casilla (se deja en blanco).

- *Reparaciones:* La sección de reparaciones tiene tres columnas en la primera se indica las juntas que son evaluadas y no son aprobadas, estas con una **R**. En la segunda columna se indican juntas que fueron reparadas y nuevamente no fueron aprobadas, en la tercera se indica si la junta fue reparada por segunda vez posteriormente evaluada y aun así no cumplió los criterios. Esto indica que la junta tiene una tercera reparación y debe ser cortada y realizada de nuevo.

Ilustración 65. Nomenclatura de Master

INGENIERIA	
	NOMBRE DEL PLANO (LINEAS)
MONTAJE	
	INF. MONTAJE
PREFABRICADO	
	INF. JUNTA SOLDADA
	INF. PROCESO ARMADO
	INF. PROCESO SOLDADO (PASE 1)
	INF. PROCESO SOLDADO (PASE 2)
	ESTATUS SOLDADURA
	ESTATUS END
	REPARACIONES

7.3. IMPLEMENTACIÓN DE PLATINAS DE MARCACIÓN.

Para garantizar la trazabilidad de los materiales que se empleen durante la prefabricación se hace necesario llevar un control estricto acerca de la identificación de la tubería.

Para esto se marcan los tubos con metal market. Se deben marcar la totalidad de los tubos o spool a prefabricar, la información consignada en el tubo debe corresponder a la colada de lote de tubería, además de la línea y el spool al que corresponde dicho tramo de tubería. Esta marcación debe realizarse antes de ejecutar el corte.

Además de la marcación directa sobre la superficie del tubo, se debe identificar cada spool con una platina metálica la cual estará marcada con un grabado de golpe, donde irá el número de línea y spool del isométrico, esta platina irá sujeta a la brida del tubo por medio de alambre, esto con el fin de evitar que, durante el transporte, y posterior proceso de pintura no se vaya a perder la trazabilidad del tubo y tener un adecuado control en el momento del montaje del isométrico.

Nota: algunas platinas fueron sujetadas al tubo por medio de un punto de soldadura, generalmente los spool que no tenían bridas. (Ver ilustración 66 y 67).

Ilustración 66. Platina de Marcación (Antes)



Ilustración 67. Platina de marcación (después)



8. ANÁLISIS DE DEFECTOLOGÍA

8.1 ANÁLISIS DE DEFECTOLOGÍA POR SOLDADOR

La tabla con los resultados de la defectología por soldador es realizada de acuerdo a la información suministrada en la base de datos MASTER.

Se indica que las juntas totales que fueron reparadas en el proyecto ascienden a 79 juntas sin embargo 14 de ellas tuvieron que ser reparadas por segunda vez y aún más crítica 3 juntas en el proyecto fueron cortadas y se realizaron completas nuevamente desde el inicio. . (Ver Tabla 10).

Tabla 10. Estampe

ESTAMPE PRESENT										
ESTAMPE FONDEO	ALS	DGP	EJ B	FNB	HOC	JL A	JWG	MB B	OBC	Total general
ALS										
Cuenta de 1ra. Reparación	2									2
Cuenta de 2da. Reparación	1									1
Cuenta de 3ra. Reparación										
EJB										
Cuenta de 1ra. Reparación			5			1	2	6		14
Cuenta de 2da. Reparación								3		3
Cuenta de 3ra. Reparación								1		1
FNB										
Cuenta de 1ra. Reparación				4						4
Cuenta de 2da. Reparación										
Cuenta de 3ra. Reparación										
HOC										
Cuenta de 1ra. Reparación		5			12					17
Cuenta de 2da. Reparación					1					1
Cuenta de 3ra. Reparación										
JLA										
Cuenta de 1ra. Reparación		3				6				9
Cuenta de 2da. Reparación						1				1
Cuenta de 3ra. Reparación										
OBC										
Cuenta de 1ra. Reparación	14	1				1	1		16	33

Cuenta de 2da. Reparación	2								6	8
Cuenta de 3ra. Reparación	1								1	2
Total Cuenta de 1ra. Reparación	16	9	5	4	12	8	3	6	16	79
Total Cuenta de 2da. Reparación	3				1	1		3	6	14
Total Cuenta de 3ra. Reparación	1							1	1	3

Tabla realizada en Microsoft Excel con la herramienta Tabla dinámica

La tabla con los resultados de la defectología por soldador es realizada de acuerdo a la información suministrada en la base de datos MASTER.

Se indica que las juntas totales que fueron reparadas en el proyecto ascienden a 79 juntas sin embargo 14 de ellas tuvieron que ser reparadas por segunda vez y aún más crítica 3 juntas en el proyecto fueron cortadas y se realizaron completas nuevamente desde el inicio.

Según indican los resultados obtenidos los soldadores cuya defectología fue la más crítica tanto por la cantidad de juntas reparadas como por la repetición de reparaciones fueron

- **ALS:** 16 juntas para reparar, 3 con segunda reparación y 1 una con reproceso total.
- **OBC:** 16 juntas para reparar, 6 con segunda reparación y 1 una con reproceso total.
- **HOC:** 12 juntas para reparar, 1 con segunda reparación.
- **MBB:** 6 juntas para reparar, 3 con segunda reparación y 1 una con reproceso total.

Nota: ya que las juntas soldadas en la mayoría de los casos fueron realizadas por dos soldadores se adjudicaba la reparación al soldador que estuvo a cargo del proceso de relleno y presentación de la junta.

Para realizar un análisis más detallado, concreto y veras, se deben comparar los resultados obtenidos con la tabla 11, donde se indican la cantidad de juntas realizadas por cada soldador. . (Ver Tabla 11).

Tabla 11. Resultados Obtenidos

ESTAMPE	JUNTAS SOL EN PRESENTACION	JUNTAS NO APROBADAS	PORCENTAJE
ALS	39	16	41%
OBC	80	16	20%
DGP	140	9	6%
EJB	109	5	5%
FNB	4	4	100%
HOC	139	12	9%
JLA	140	8	6%
JWG	26	3	12%
MBB	14	6	43%
TOTAL	691	79	

Como se evidencia en la tabla 11 es preciso indicar que el soldador que obtuvo el mayor porcentaje de falla y por ende el menor rendimiento fue FNB, para el cual ninguna junta realizada tuvo una óptima calificación, seguido a este, con porcentajes de 43% para ALS y 41% para MBB, es indispensable indicar que estos soldadores fueron suspendidos de sus labores por el bajo rendimiento.

Los dos soldadores con mejor rendimiento y aprobación de juntas fueron EJB con 5% y JLA con 4%, lo cual es muy aceptable para un proyecto como el que se desarrolló.

8.2 ANÁLISIS DE DEFECTOLOGÍA POR PROCESO DE SOLDADURA.

La tabla con los resultados de la defectología por proceso de soldadura es realizada de acuerdo a la información suministrada en la base de datos MASTER. . (Ver Tabla 12).

Como se explicó anteriormente las juntas totales a reparar son :

- 1ra. Reparación = 79
- 2da. Reparación = 14
- 3ra. Reparación = 3

Tabla 12. Resultados de la Defectología

PRO. PRESENTACION					
PRO. FONDEO	FCAW	GTAW	SAW	SMAW	Total general
GTAW					
Cuenta de 1ra. Reparación		15	7		22
Cuenta de 2da. Reparación		1			1
Cuenta de 3ra. Reparación					
RMD					
Cuenta de 1ra. Reparación	46		5	6	57
Cuenta de 2da. Reparación	10			3	13
Cuenta de 3ra. Reparación	2			1	3
Total Cuenta de 1ra. Reparación	46	15	12	6	79
Total Cuenta de 2da. Reparación	10	1		3	14
Total Cuenta de 3ra. Reparación	2			1	3

Tabla realizada en Microsoft Excel con la herramienta Tabla dinámica

El procedimiento que tiene mayor defectología es (RMD-FCAW) con 46 juntas en reparación, teniendo en cuenta que fue el procedimiento con el que se realizó la mayor cantidad de juntas en el proyecto (270), se obtiene un porcentaje de 17% de defectología, este porcentaje no es el mejor posible ya que según los estándares proporcionados por el fabricante del equipo, los defectos no deben superar el 10% de las soldaduras realizadas. (Ver Tabla 13).

Tabla 13. Procedimiento

ESTAMPE	JUNTAS SOL EN PRESENTACION	JUNTAS NO APROBADAS	PORCENTAJE
RMD-FCAW	267	46	17%
RMD-SAW	87	5	6%
RMD-SMAW	15	6	40%
GTAW-GTAW	247	15	6%
GTAW-SAW	79	7	9%
TOTAL	695	79	11%

El procedimiento (*RMD-SAW*) muestra que los defectos equivalen a 5 de las 87 juntas soldadas, de esta manera se obtiene los mejores resultados en cuanto a procesos, El proceso (*RMD-SMAW*) fue un procedimiento de prueba pero los resultados obtenidos no fueron los esperados, ya que muestra un 40% de defectología por lo cual es el de menor aprobación en el proyecto.

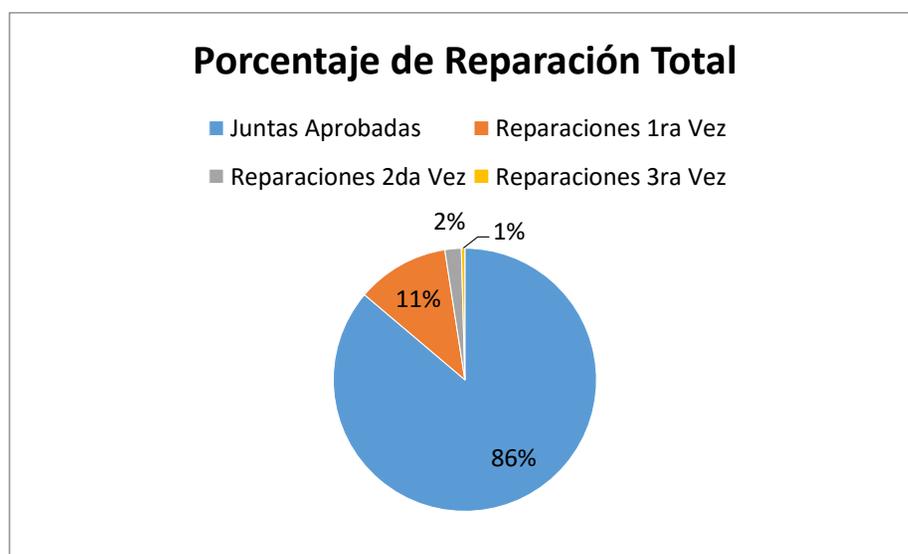
Se observa que los procedimientos que contienen *GTAW* como lo son (*GTAW-GTAW*) Y (*GTAW-SAW*) no presentan mayor cantidad de rechazos en las juntas realizadas, puesto que el *GTAW* se considera un proceso muy limpio y *SAW* se desarrolló como un proceso semiautomático en el proyecto.

Cabe resaltar que estéticamente las juntas realizadas con *SAW* fueron las de mejor apariencia y presentación.

8.3 ANÁLISIS PORCENTAJE DE REPARACIÓN TOTAL.

La reparación de las juntas de soldadura en el prefabricado son deficiencias en el proceso específicamente, y representa pérdidas económicas significativas para la empresa, pues son reparaciones que deben realizarse y corregirse obligatoriamente, estos defectos en las juntas no deben superar el 10% de la cantidad total de juntas realizadas. (Ver ilustración 68).

Ilustración 68. Diagrama porcentual de reparaciones totales

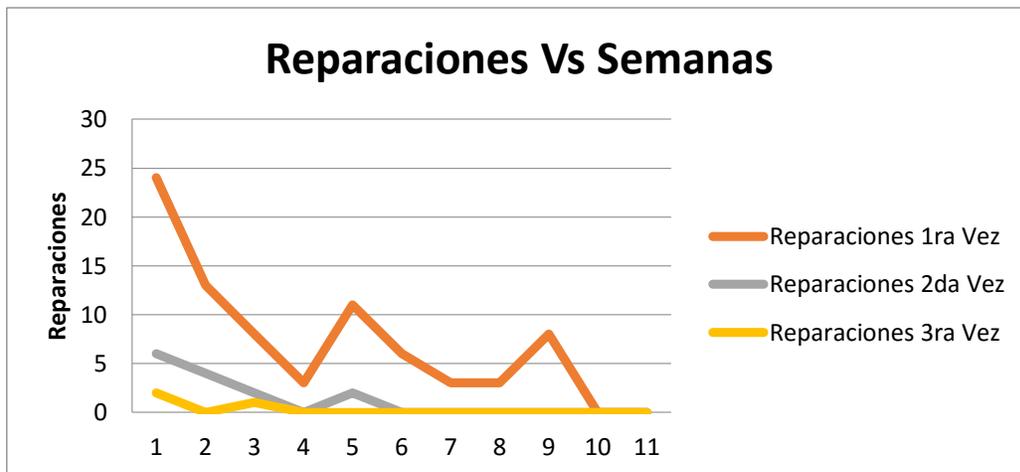


En la ilustración 68 podemos ver como se superó en 1 punto porcentual la cantidad de reparaciones a las juntas soldadas, lo que implica realizar un estudio de las causas en estos defectos para poder corregirlas en un próximo proyecto.

8.4 ANÁLISIS ENTRE REPARACIONES Y SEMANAS (*TIEMPO*)

Con los datos obtenidos a lo largo del proyecto, tras culminar el proceso de prefabricación, el departamento de calidad de la empresa **Steel prefabricados y estructuras S.A.S.** realizó un análisis entre la cantidad de reparaciones en las juntas, los tipos de reparaciones y el tiempo transcurrido en semanas, con lo cual se obtuvo el siguiente gráfico. (*Ver ilustración 69*).

Ilustración 69. Gráfica de datos entre reparaciones y semanas transcurridas



De la anterior grafica podemos analizar que la mayor cantidad de juntas reparadas se desarrollaron en las primeras 5 semanas del prefabricado, lo que plantea empezar a determinar los motivos por los cuales se presentaron estos defectos en las uniones soldadas. Algunas de las posibles variables que pudieron o no dar lugar a las reparaciones son:

- Experiencia de los soldadores.
- Continuidad en el proyecto.
- Mejoras en las prácticas de manufactura.
- Mejoras en los equipos de soldadura.

9. CONCLUSIONES

- El proceso de armado se realizó de la manera más óptima posible esto se ve reflejado en los rendimientos en cuanto a tiempo que obtuvo este procedimiento, es necesario aclarar que los armadores generaban bonificaciones por realizar tareas en menor tiempo, esto puede ser una buena estrategia para futuros proyectos si quiere optimizar costos.
- El proyecto tubo un punto porcentual fuera del rango total permisible según los criterios de calidad. esto indica que no genero el mejor rendimiento en cuanto al proceso de soldadura, el rango de defectología establecido de estar entre 5% y 10%.
- Los factores que influyeron en la defectología radican en la falta de limpieza de las juntas por parte del esmerilador teniendo en cuenta que debe estar en todo momento bajo supervisión del soldadores entre pases de soldadura.
- La implementación por primera vez del equipo pipe –pro es una de las causas de los altos niveles de defectología generados por este proceso, ya que el quipo requiere un grado de experiencia superior al que tenían, lo cual se ve corregido a lo largo del proyecto ya que el personal adquiere mejores destrezas par la utilización del mismo.
- Los procesos *GTAW* y *SAW*, tiene pocos rechazos por parte defectología ya que en el caso de *GTAW* es un proceso muy limpio, generando poca escoria, En cuanto a *SAW* es un proceso que se desarrolló con un equipo Semiautomático y al tener una buena calibración genera una soldadura muy confiable y de excelente presentación.
- la utilización de bases de datos para ingresar la información referente a documentación de calidad de materiales, hicieron posible un mejor control y un fácil acceso a los archivos necesarios para elaborar el dossier de prefabricación del proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

- *Muñoz Álvaro*, Martínez Ernesto, Facultad de ingeniería en mecánica y ciencias de la producción: Escuela superior politécnica del litoral (ESPOL) Guayaquil, Ecuador. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/24347/1/cicyt%20alvaro%20mu%C3%B1oz.pdf>
- *Gracia Gil Eduardo*, ELT, Zaragoza, Noviembre 2006, Disponible en: <http://www.elt.es/documentos/dossier.pdf>
- *Alcalá Luis Fernando*, Universidad Libre Colombia, 2012, Disponible en: <http://repository.unilibre.edu.co/bitstream/10901/6386/1/AlcalaRamirezLuisFernando2012.pdf>
- *Talavera Pleguezuelos*, C: “Métodos y Herramientas de Mejora aplicados en la Administración Pública” Ed: Unión Iberoamericana de Municipalistas. Granada, 2013. (ISBN: ISBN: 978-84-937777-6-0, Disponible en: <http://www.aiteco.com/el-control-de-calidad-herramientas-basicas/>
- *Disponible en:* https://es.wikipedia.org/wiki/Control_de_calidad
- *Manual de Soldadura*, octava edición, (1991) American Welding Society, Miami {UT3} {UT4} El Manual de Procedimiento de soldadura por arco, 13ª edición, (1994), Lincoln Electric Company, Cleveland- Disponible en: <http://www.lincolnelectric.com/es-mx/support/process-and-theory/Pages/high-yield-pipe-detail.aspx>
- *Revista Metal Actual Edición 25*, Disponible en: http://www.metalactual.com/revista/25/procesos_asme.pdf

- *Revista Metal Actual Edición 25*, Disponible en: http://www.metalactual.com/revista/25/procesos_asme.pdf
- *Disponible en:* <http://www.lincolnelectric.com/es-mx/support/process-and-theory/Pages/arc-welding-detail.aspx>
- *Eygeralde Miguel*, Disponible en: <http://campusvirtual.edu.uy/archivos/mecanicageneral/soldadura/08%20Proceso%20GTAW.pdf>
- *El proceso de soldadura por arco revestido*, Disponible en: <http://campusvirtual.edu.uy/archivos/mecanica-general/MATERIAL%20BIBLIOGRAFICO%20TECNICO%20PARA%20APOYO%20DOCENTE/APORTES%20VARIOS%20PARA%20DOCENTES/CURSO%20SOLDADURA%20PRACTICO/Capitulo%20III-b%20-%20EI%20Proceso%20de%20Soldadura%20por%20Arco%20con%20Electr.pdf>
- *Equipo de soldadura PipePro 300* , Disponible en: http://www.itw-welding.es/ITW_welding/Productos_Miller_Multipro_files/Pipepro%20300-spa.pdf
- *Disponible en:* <http://www.aulafacil.com/cursos/l20147/empresa/organizacion/calidad-en-la-empresa-y-organizaciones/el-control-de-calidad>
- *Disponible en:* <http://www.aulafacil.com/cursos/l20147/empresa/organizacion/calidad-en-la-empresa-y-organizaciones/el-control-de-calidad>
- *Gazsi Peter. (2012, octubre 17). ¿Qué son las certificaciones de calidad?* Disponible en: <http://www.gestiopolis.com/que-son-las-certificaciones-de-calidad/>

- *Equipos y Laboratorio de Colombia*, Disponible en:http://www.equiposylaboratorio.com/sitio/contenidos_mo.php?it=5081
- *Universidad Pedagógica y tecnológica de Colombia*,2014, Disponible en:http://www.uptc.edu.co/facultades/f_ciencias/pregrado/fisica/inf_adicional/laboratorios/gammagrafia

ANEXOS

Anexo 1. Formato en blanco WPS Hoja 2



QW-482 (Back)

WPS No. _____ Rev. _____

POSITIONS (QW-405) Position(s) Groove _____ Welding Progression: Up _____ Down _____ Position(s) of Fillet _____ Other _____	POST WELD HEAT TREATMENT (QW-407) Temperature Range _____ Time Range _____ Other _____																																													
PREHEAT (QW-406) Preheat Temperature, Min _____ Interpass Temperature, Max _____ Preheat Maintenance _____ <small>(Continuous or special heating where applicable should be recorded)</small>	GAS (QW-408) Percent Composition <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;"></th> <th style="width: 30%;">Gas(es)</th> <th style="width: 30%;">(Mixture)</th> <th style="width: 30%;">Flow Rate</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Shielding</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Trailing</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Backing</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Other</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Gas(es)	(Mixture)	Flow Rate	Shielding				Trailing				Backing				Other																												
	Gas(es)	(Mixture)	Flow Rate																																											
Shielding																																														
Trailing																																														
Backing																																														
Other																																														
ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409) _____ _____																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">Weld Layer(s) or Pass(es)</th> <th style="width: 10%;">Process</th> <th style="width: 10%;">Classification</th> <th style="width: 10%;">Diameter</th> <th style="width: 10%;">Type and Polarity</th> <th style="width: 10%;">Amperage Range</th> <th style="width: 10%;">Voltage Range</th> <th style="width: 10%;">Travel Speed Range</th> <th style="width: 20%;">Other (e.g., Remarks, comments, Hot Wire Addition, Technique Torch Angle, Etc.)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>		Weld Layer(s) or Pass(es)	Process	Classification	Diameter	Type and Polarity	Amperage Range	Voltage Range	Travel Speed Range	Other (e.g., Remarks, comments, Hot Wire Addition, Technique Torch Angle, Etc.)																																				
Weld Layer(s) or Pass(es)	Process	Classification	Diameter	Type and Polarity	Amperage Range	Voltage Range	Travel Speed Range	Other (e.g., Remarks, comments, Hot Wire Addition, Technique Torch Angle, Etc.)																																						
<small>(Amperage and voltage range should be recorded for each electrode size, position and thickness, etc)</small> Pulsing Current _____ Heat Input (Max) _____ Tungsten Electrode Size and Type _____ Mode of Metal Transfer for (FCAW) _____ Electrode Wire Feed Speed Range _____ Other _____																																														
TECHNIQUE (QW-410) String or Weave Bead _____ Orifice or Gas Cup Size _____ Initial and Interpass Cleaning (Brushing, Grinding, etc) _____ Method of Back Gouging _____ Oscillation _____ Contact Tube to Work Distance _____ Multiple or Single Pass (per side) _____ Multiple or Single Electrodes _____ Peening _____ Other _____																																														
Remark: _____																																														

ELABORÓ		REVISÓ/APROVÓ	
FIRMA:		FIRMA:	
NOMBRE:		NOMBRE:	
CARGO:		CARGO:	
FECHA:		FECHA:	

Anexo 2. Formato en blanco PQR Hoja 1

 QW-483 REGISTRO DE LA CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO (PQR) CÓDIGO ASME SEC. IX CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN							
Nombre de la compañía _____	Hoja <u>1/2</u>						
Nombre de los soldadores _____							
Cedula de ciudadanía _____	Estampe _____						
PQR No. _____	Fecha _____						
Proceso(s) de Soldadura _____	Tipo _____						
JUNTAS (QW-402)							
Diseño de la junta de prueba (Se registra el espesor de los metales soldados y el proceso utilizado)							
METAL BASE (QW-403)							
No. P _____ Grupo No. _____	a						
No. P _____ Grupo No. _____							
Especificacion, Tipo, Grado _____							
a Especificacion, Tipo, Grado _____							
Análisis Químico y Prop. Mec. _____							
a Análisis Químico y Prop. Mec. _____							
Orden de espesores: _____							
Metal base: _____	Ranura _____ Filete _____						
Diámetro Tubo: _____	Ranura _____ Filete _____						
Otros: _____							
METALES DE APORTE (QW-404)							
Pase No: _____	1	2	3	4	5	6-n	
Especificacion No SFA: _____							
Clase No AWS: _____							
Grupo No F: _____							
Grupo No A: _____							
Diámetro: _____							
Espesor de Deposito mm: _____							
Fundente (Clase): _____							
POSICIONES (QW-405)				P.W.H.T. (QW-407)			
Posiciones de Ranura: _____				Rango de Temperatura _____			
Progresion de la soldadura _____				Tiempo Mantenimiento _____			
Posicion(es) en Filete _____				Otros _____			
PRECALENTAMIENTO (QW-406)				GAS (QW-408)			
Temperatura minima _____				Proteccion: _____			
Temperatura maxima entre pases _____				Arrastre: _____			
Tiempo de mantenimiento _____				Respaldo: _____			

Anexo 2. Formato en blanco PQR Hoja 2

PQR No. _____		Hoja 2/2				
CARACTERISTICAS ELECTRICAS (QW-409)						
Corriente	AC _____	DC _____	Polaridad: _____			
Rango de Amperaje	_____	Rango de voltage	_____			
Tamaño Electrodo Tungsteno	_____	Tipo:	_____			
Forma de Transferencia (GMAW)	_____					
Rango de velocidad de alimentacion de alambre (IPM)	_____					
Otros:	_____					
TÉCNICA DE APLICACIÓN (QW-410)						
Cordon Recto u Oscilado:	_____					
Tamaño de la Boquilla:	_____					
Limpieza inicial y Entre Pases:	_____					
Limpieza del Respaldo:	_____					
Oscilacion Maxima:	_____					
Distancia entre Boquilla y Pieza:	_____					
Pasada Simple o Multiple:	_____					
Rango Velocidad de Avance (IPM):	_____					
Otros:	_____					
PASE	PROCESO	METAL DE APORTE	CORRIENTE	VOLTAGE	Vel. De Recorrido	NOTAS
1						
2						
3						
PRUEBA DE TENSION (QW-150)						
Identificacion	Diametro (in)	Area (in2)	Resistencia maxima a la Tension	Observaciones		
T1						
T2						
PRUEBA DE DOBLEZ GUIADO (QW-160)						
Tipo	Resultado					
PRUEBA DE SOLDADURA DE FILETE (QW-180)						
Resultado - Satisfactorio	SI _____	NO _____	Penetracion SI/NO	_____		
Resultado Macro Ataque	_____					

Ensayo Dirigido por: _____
 Informe de laboratorio No _____

Certificamos que la informacion consignada en este registro es correcta y que las pruebas de soldadura fueron preparadas, soldadas, y probadas de acuerdo a los requerimientos del codigo ASME sec. IX 2010

Elaboro: _____ Firma _____

Anexo 5. Certificado de calidad Brida de 4"



SHANXI GUANLI FLANGE CO LTD
CHENJIAYING DINGXIANG



CERTIFICATE OF CHEMICAL ANALYSIS AND MECHANICAL PROPERTIES

(MILL TEST CERTIFICATE AS PER EN 10 204 3.1)

Scope of Validity of the Approval as Material Manufacturer in acc.to PED 97/23/EC by TUV

Stamp of Manufacture:
Herstellerzeichen:



Certificate No.IC-GL-13282-2
Work Inspector's Stamp:
Stempel des Werksachverständigen:



Customer: GROUPE GENOYER GENOYER S A ZI - 9/11 3EME RUE 13127 VITROLLES -FRANCE

Page 2

ORDER NUMBER 33200/00	Dated: AUG.11.2013	Works No.: 2013-282-2
Article: FLANGES	Conforming To ASME B16.5	Invoice No.: GL13B074
Material: A105	Melting Process: E	
Specification/Requirements	PED97/23/EC AND NACE MR 01.75	

A. Content of the delivery

Item	Quantity	Standard						Heat No
0067	5	ASME B16.5	WN	800LB	4"	S80	RF	13L3-05363
0084	8	ASME B16.5	WN	900LB	6"	S120	RTJ	13L3-05363
0092	3	ASME B16.5	WN	900LB	6"	S160	RTJ	13L3-05363
0095	2	ASME B16.5	WN	900LB	6"	XXS	RTJ	13L3-05363
0101	10	ASME B16.5	WN	1500LB	4"	S160	RTJ	13L3-05363
0104	10	ASME B16.5	WN	1500LB	4"	XXS	RTJ	13L3-05363
0115	8	ASME B16.5	BL	300LB	4"		RF	13L3-05363
0118	4	ASME B16.5	BL	300LB	6"		RF	13L3-05363
0122	10	ASME B16.5	BL	600LB	4"		RF	13L3-05363
0123	5	ASME B16.5	BL	600LB	6"		RF	13L3-05363
0130	10	ASME B16.5	BL	900LB	4"		RTJ	13L3-05363
0144	10	ASME B16.5	SW	150LB	1"	S80	RF	13L3-05363

B. Chemical analysis

Heat No	C%	Mn%	P%	S%	Si%	Cr%	Ni%	Mo%
13L3-05363	0.17	1.04	0.014	0.008	0.22	0.018	0.011	0.002
Heat No	V%	Cu%	Nb%	AL%	Cu+Ni+Cr+Mo+V%	Cr+Mo	C.Eq%	
13L3-05363	0.001	0.010	0.001	-----	0.04	0.02	0.35	

C. Mechanical properties tests

Heat Treatment: Normalized at temperature 910°C (±10°C) - Cooled in still air.

Heat No	Yield Strength (Mpa)	Tensile Strength (Mpa)	Elongation(%)	Red Of Area (%)	Impact Test	Hardness(HB)
					(J)	
13L3-05363	314	515	33	67	*****	152

D.C.Eq=C+Mn/6+(Cr+Mo+V)/5+(Ni+Cu)/15

E. Visual examination and dimensional check: without complaint

F. Testing and examinations as per material standard: without complaint

G. The goods are manufactured according to a quality management system approved and registered to ISO 9001:2008

Place DingXiang

Inspection Date AUG.11.2013

QA Manager

Y/REF: OC 2012533 PREP: 265244

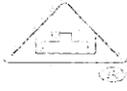
O/REF: 0824911

ITEM See detail.



Genoyer S.A, Société Anonyme à Directoire et Conseil de Surveillance au capital de 61 179 048 €
RCS/Salon 063 803 704 - Siret 063 803 704 00061 - APE 4669 B - TVA FR 54 063 803 704
9/11, rue de Lisbenne, Z.I., C.S. 60061, F-13742 Vitrolles, France
Tel: +33 (0) 443 794 959 - Fax: +33 (0) 442 794 979 / +33 (0) 443 795 771

Anexo 6. Certificado de calidad Tee 2"



BOTH-WELL STEEL FITTINGS CO., LTD.

NO.303, REN-SIN ROAD, REN-WU DISTRICT, KAOSIUNG CITY TAIWAN R.O.C.(81460)
 TEL : (886)7-3711536, 3710497, 3720260 FAX : (886)7-3713864, 3713886
 WEB SITE : http://www.bothwell.com.tw E-Mail : box@bothwell.com.tw



MILL TEST & INSPECTION CERTIFICATE

ACCORDING TO EN 10204 : 2014 3.1

CERT NO : 140628
 ORDER NO : 2012739

INVOICE NO : BW01310212036
 L/C NO :

PAGE : 26
 DATE : 03/15/2014
 ORIGIN : TAIWAN

ITEM	RAW HEAT NO. HEAT CODE	QTY	DESC/GRADE OR SPECIFICATION NO. CHEMICAL COMPOSITION(%) MECHANICAL PROPERTIES. SUPPLIER.
76	338796 4218	50 PCS	TEE A105 1-1/2" 6000# NPT C:0.20 Si:0.20 Mn:0.81 P:0.016 S:0.011 Cu:0.21 Cr:0.07 Ni:0.04 Mo:0.01 V:0.002 Nb:0.001 N:- Ce:0.368 TS(Ksi):76.2 YS 0.2%(Ksi):51.6 EL(%):33.0 R.A.(%):64.5 Hardness1(HBW):143 Hardness2(HBW):145
77	337640 4165	20 PCS	TEE A105 2" 6000# NPT C:0.19 Si:0.20 Mn:0.83 P:0.024 S:0.008 Cu:0.10 Cr:0.11 Ni:0.04 Mo:0.01 V:0.001 Nb:0.002 N:- Ce:0.362 TS(Ksi):75.2 YS 0.2%(Ksi):53.4 EL(%):37.2 R.A.(%):67.3 Hardness1(HBW):143 Hardness2(HBW):144
78	328901 3814	360 PCS	FULL CPLG A105 1/2" 6000# NPT C:0.200 Si:0.200 Mn:0.830 P:0.013 S:0.009 Cu:0.110 Cr:0.090 Ni:0.060 Mo:0.020 V:0.002 Nb:0.001 N:- Ce:0.372 TS(Ksi):75.2 YS 0.2%(Ksi):50.1 EL(%):32.6 R.A.(%):64.3 Hardness1(HBW):144 Hardness2(HBW):143
79	0093862 4153	60 PCS	FULL CPLG A105 3/4" 6000# NPT C:0.19 Si:0.19 Mn:0.91 P:0.013 S:0.006 Cu:0.20 Cr:0.08 Ni:0.06 Mo:0.01 V:0.001 Nb:0.000 N:- Ce:0.377 TS(Ksi):76.3 YS 0.2%(Ksi):55.2 EL(%):35.8 R.A.(%):64.5 Hardness1(HBW):144 Hardness2(HBW):145

WE CERTIFY THE ABOVE MENTIONED FITTINGS HAVE BEEN MANUFACTURED,
 SAMPLED, TESTED, AND INSPECTED IN ACCORDANCE WITH THE
 SPECIFICATIONS SHOWN

C.C. Huang
 Q.C. MANAGER

C.L. Ko
 INSPECTOR