

**SEGUIMIENTO DE LOS PROCEDIMIENTOS EN LA PREFABRICACIÓN DE
LAS LÍNEAS DE CONEXIÓN DE POZOS EN LA INDUSTRIA PETROLERA**

NESTOR LEONCIO HERNANDEZ VALERO

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS SECCIONAL TUNJA
DIVISIÓN DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
TUNJA
2019**

**SEGUIMIENTO DE LOS PROCEDIMIENTOS EN LA PREFABRICACIÓN DE
LAS LÍNEAS DE CONEXIÓN DE POZOS EN LA INDUSTRIA PETROLERA**

NESTOR LEONCIO HERNANDEZ VALERO

**INFORME DE PASANTÍA EN ECOPETROL S.A, ÁREA DE CONSTRUCCIÓN
FACILIDADES DE POZOS**

DIRECTORA PASANTIA

INGENIERA LADY FAJARDO CASTELLANOS

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS SECCIONAL TUNJA
DIVISIÓN DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
TUNJA
2019**

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Tunja 20 noviembre 2019

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	13
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	15
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.2. Formulación del Problema	15
2. OBJETIVOS	16
2.1. Objetivo General	16
2.2. Objetivos Específicos.....	16
3. marco referencial.....	17
3.1. Requisitos de un Sistema De Gestión De Calidad en ecopetrol.....	19
3.2. Ingeniería del proyecto	20
3.3. Líneas de conexión	20
4.3.1 Línea de bajante conexión de pozo.	20
4.3.2 Línea de gas y de venteo anulares.....	22
4.3.3 Línea de entrada a múltiple (“efe´s”).....	24
4.3.4 Esquema de líneas de bajantes de pozo con sus elementos.	25
4. METODOLOGÍA pasantia	27
4.1. IDENTIFICACIÓN DE ETAPAS Y PROCEDIMIENTOS DE PREFABRICACIÓN	27
4.1.1 (PRIMERA ETAPA) Etapa preliminar prefabricación líneas de conexión.	29
4.1.2 (SEGUNDA ETAPA) Primera fase de Fabricación	34
4.1.3 (TERCERA ETAPA) Fase de final de fabricación.....	55
4.1.4 (CUARTA ETAPA) Elaboración de formatos HC1 y dossier constructivo....	65

4.2 DETERMINACION Y ANALISIS DE LOS TIEMPOS DE LAS ACTIVIDADES POR LINEA.....	68
4.3 NORMATIVIDAD LEGAL Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	72
4.3.1 Normatividad legal vigente.....	72
4.3.2 Especificaciones Técnicas de Ecopetrol por Etapa.	73
5 ANÁLISIS DE RESULTADOS Y FACTIBILIDAD	77
6 CONCLUSIONES.....	83
REFERENCIAS	84

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Sistemas de Recubrimiento según Agresividad del Medio Ambiente a la que está Expuesta la Infraestructura	59
Tabla 2 Sistemas de Recubrimiento	60
Tabla 3 Certificados de comisionamiento por códigos de Ecopetrol.....	67
Tabla 4 Elementos constructivos por línea	69
Tabla 5 relación del total de juntas soldadas con sus respectivas pruebas de calidad	70
Tabla 6 Análisis de tiempo línea de entrada a múltiple.....	71
Tabla 7 Análisis de tiempo línea de Bajante	71
Tabla 8 Análisis de tiempo línea de Gas anular 1.....	72
Tabla 9 Análisis de tiempo línea de Gas anular 2.....	72
Tabla 10 Especificación técnica Primera etapa prefabricación de las líneas de conexión de pozos	74
Tabla 11 Especificación técnica Segunda etapa prefabricación de las líneas de conexión de pozos	75
Tabla 12 Especificación técnica Tercera etapa prefabricación de las líneas de conexión de pozos	76
Tabla 13 Especificación técnica Cuarta etapa prefabricación de las líneas de conexión de pozos	76
Tabla 14 Actividades mecánicas con su especificación técnica	80

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Esquema Bajante de conexión tomado	21
Figura 2 Imagen de Bajante de Conexión Terminada.....	21
Figura 3 detalle de Línea de venteo gas anular 2	22
Figura 4 Línea de gas de anulares	23
Figura 5 Vista superior líneas de bajante y de gas de anulares.....	23
Figura 6 Ingreso pozos de líneas a múltiple nueva ingeniería	24
Figura 7 Esquema de Bajante de pozo y detalle de contrapozo	26
Figura 8 Procedimientos por etapa de prefabricación.....	27
Figura 9 Identificación de requerimientos por etapas de la prefabricación de una línea de conexión.....	28
Figura 10 Reductor de 6"X4" y Brida RF, SHD STD.....	32
Figura 11 Reductor de 4" X 2-1/2"	32
Figura 12 Válvulas de globo de 3 piezas (full port)	33
Figura 13 Soldadura en juntas de sokolet Welding de 4" y de 1".....	35
Figura 14 isométricos en planos Red line	37
Figura 15 Plano Red line de línea de conexión a Spool	38
Figura 16 Registro libro de tubería "libro Tubo"	39
Figura 17 Reporte de control radiográfico.....	40
Figura 18 Banco de prueba con detalle del termómetro para prueba hidrostática.	47
Figura 19 Registro de plan de prueba Hidrostática.....	48
Figura 20 Secuencia de Presurización de tuberías para prueba hidrostática.	52

Figura 21 Secuencia de Presurización de las líneas del clúster 49	53
Figura 22 Imagen del registro de la prueba en un equipo marca BARTRON	55
Figura 23 Registro de perfil de anclaje medido con Rugosímetro.....	61
Figura 24 Acabado y recubrimiento de bajante de pozo	62
Figura 25 Registro de prueba de adherencia.....	64
Figura 26 Análisis y determinación de tiempos por línea.....	69

GLOSARIO

ASME: American Society of Mechanical Engineers.

API: American Petroleum Institute.

AS BUILT: Documento planímetro donde se configura lo planteado con lo que quedo construido en el campo.

AR: Formato donde se hace el análisis de riesgo de una actividad a desarrollar.

BRIDA O FLANGE: Accesorio de tubería utilizado para acoplar secciones de tubería, para facilitar su montaje y desmontaje, cuyo diseño y construcción responde a la Norma ASME/ANSI B.16.5.

BRIDA: Accesorio utilizado en la conformación de las uniones bridadas de cañerías, cuyo diseño y construcción responde a la Norma ASME/ANSI B.16.5.

CORROSIÓN: Corrosión es el ataque destructivo de un metal por reacción química o electroquímica con su medio ambiente.

CERTIFICACIÓN: Documento emitido por un funcionario autorizado para validar el cumplimiento de los requerimientos técnicos establecidos.

CIE: Coordinación de Inspección e Integridad de Equipos.

CERTIFICADO AC-1: Es una certificación de las actividades de inspección, calibración y pruebas en frío

CC: Corriente Continua

CD: Corriente Directa.

CMMS: Sistema computarizado de Gestión de Mantenimiento.

EPP: Elementos de Protección Persona.

EMPAQUETADURA: Elemento sellante que se coloca entre dos uniones o bridas para lograr un perfecto sellado, se fabrica de diferentes materiales.

EQUIPOS DE SEGURIDAD: Equipos de protección personal.

ENSAYO NO DESTRUCTIVO (END): Técnica que permite examinar el estado real de una sección de material sin necesidad de cambiar sus propiedades físicas, químicas, mecánicas y dimensionales.

EQUIPOS DE SEGURIDAD: Equipos de protección personal que se usan para evitar contacto con el HF.

FUGAS EN PRUEBA HIDROSTÁTICA: Es la fuga del fluido durante la prueba, la cual puede ser permisible de acuerdo al standard o a la norma que rige el tipo de prueba. Si el fluido es agua la unidad de medida será la gota.

GMAW: Soldadura por arco semiautomático con material – gas activo.

GALGAS: Instrumentos de medición

HSE: Health Safety Enviroment.

INSPECCIÓN VISUAL (IV): Procedimiento, técnica o ensayo no destructivo en el cual se determina la integridad del equipo por medio de un análisis visual.

LÍNEAS DE PROCESO: Son los sistemas de tuberías de flujo con diferentes componentes tales como: Válvulas, bridas, accesorios, espárragos, dispositivos de seguridad o alivio y otros., sujetas a presión.

LUBRICANTE: material que aporta facilidad para la instalación y apretado de los pernos como propiedades físicas específicas. El valor del coeficiente de fricción del lubricante es determinante para definir el valor del torque que se deberá aplicar al perno. El torque no tiene sentido si se desconoce el valor de ese coeficiente de fricción.

MÉTODOS DE APLICACIÓN DE LOS RECUBRIMIENTOS: Alternativas para la aplicación de los recubrimientos ya sea con brocha, rodillos o rociados, dependiendo de sus limitaciones.

MATERIAL MÁS COMÚNMENTE UTILIZADO: ASTM A 194 Gr. 2H

MAWP: Maximum Allowable Working Pressure.

NTC: Norma técnica Colombiana.

NORMAS DE REFERENCIA: guías de referencia de instituciones que han realizados los estudios pertinentes con pruebas que acreditan un procedimiento, algunas organizaciones son:

ASTM: American Society for Testing and Materials.

NACE: National Association of Corrosion Engineers.

SSPC: Steel Structures Painting Council.

ISO: International Standard Organization.

NTC: Norma técnica Colombiana.

PRUEBA HIDROSTÁTICA: Permite verificar la resistencia mecánica de un sistema, equipo o activo. Sometido a un esfuerzo por alta presión. El equipo o sistema debe estar desenergizado. Esta prueba se realiza para detectar fallas

PQR: Registro de calificación del procedimiento de soldadura

PRUEBA BAJA PRESIÓN: Es un procedimiento operacional que permite verificar la resistencia mecánica de los asientos de la válvula, garantizando el sello durante el proceso sometiendo el componente a la presión más baja de operación cumpliendo con las especificaciones dadas por la norma para los distintos ratings de válvulas.

ppm: Concentración en partes por millón de soluto en una solución, en miligramos por litro (mg/l).

PIRÓMETRO: Equipo para medir la temperatura superficial de metales.

PRUEBA ALTA PRESIÓN: Es un procedimiento operacional que permite verificar la resistencia mecánica de los asientos de la válvula, garantizando el sello durante el proceso sometiendo el componente a la presión más alta de operación cumpliendo con las especificaciones dadas por la norma para los distintos ratings de válvulas.

P&ID: Diagrama de Tuberías e Instrumentación.

SOBREPRESIÓN: Es el incremento de la presión por encima de la presión de ajuste, expresada en unidades de presión.

SISTEMA DE RECUBRIMIENTO: indica el proceso de recubrimiento aplicado por capas a un sustrato metálico con la preparación de la superficie.

SAS: Sistema de Aislamiento Seguro.

SMAW: Soldadura por arco manual con electrodo metálico revestido.

SMYS: Specified Minimum Yield Strength (Resistencia mínima a la fluencia).

SPCC: Sistema de protección contra caídas.

TORQUE CONTROLADO: Ajuste del sistema de pernos de manera controlada de acuerdo a la norma ASME PCC-1 Guidelines for pressure boundary bolted flange Joint Assembly (Guía para límites de presión en bridas y juntas apernadas) para garantizar la hermeticidad y la seguridad de las juntas, reduciendo la probabilidad de fugas, derrames y explosiones durante el proceso de una planta en operación.

ULTRASONIDO (U.T): Procedimiento o ensayo no destructivo en el cual se determina la integridad del equipo por medio de la pérdida de material del mismo mediante el ultrasonido.

VÁLVULA: Dispositivo que regula, controla o cierra el paso de fluidos en uno o varios puntos de un sistema. Permite fluir en dos direcciones.

VÁLVULA DE COMPUERTA: Es una válvula que se abre levantando una compuerta o cuchilla, permitiendo así el paso del fluido diseñado para servicios donde se necesite bloqueo.

WPS: Especificación del procedimiento de soldadura

WPQ: Calificación de la habilidad del soldador

RESUMEN

Informe de pasantía realizada en la empresa Ecopetrol S.A., en este se clasifican por etapas los procesos y requerimientos para la prefabricación de líneas de conexión de pozos, se toman los tiempos requeridos para la entrega de una línea totalmente terminada, se identifica la normatividad legal vigente y las especificaciones técnicas necesarias, se realiza el análisis pertinente y se identifica la factibilidad de la prefabricación de las líneas de conexión como método para agilizar la entrada de pozos a producción.

INTRODUCCIÓN

Para la aceptación y puesta en funcionamiento de líneas de conexión de pozos y líneas en general, la empresa Ecopetrol define los requerimientos para la construcción de estas, los cuales deben cumplir con los parámetros indicados por el código ASME B31.4, y los requerimientos de los estándares API 1104, así mismo se debe cumplir con los estándares de Inspecciones y pruebas realizadas acorde a lo indicado en las normas API SPEC 5L, ASTM D7091, ASTM D4541, NACE RP 0188-90, DIN 30670, CAN/CSA Z245.21-2, ASTM A-106. Para la aceptación de estas líneas, se identifican las especificaciones técnicas propias de Ecopetrol, por etapa constructiva como referencia para la prefabricación de las líneas.

Por lo tanto Ecopetrol define y hace el seguimiento de los procedimientos indicados, acordes a la normatividad y sus especificaciones técnicas para que se cumpla con los estándares exigidos, y así garantizar que las líneas de conexión obedecen a la *ingeniería de Ecopetrol*, para esto es indispensable documentar todo el proceso e incluir los certificados pertinentes de los elementos y de equipos utilizados en las diferentes pruebas, así como de los certificados de los procedimientos realizados en la fabricación de estas líneas exigidos e indicados en las especificaciones técnicas.

Con el fin de agilizar la entrega de pozos a producción, se presenta el esquema general de actividades y procedimientos en cuatro etapas constructivas, y se identifica el tiempo que tomaría terminar una línea, el cual, sirve como referencia de análisis para determinar acciones a fin de garantizar la entrega de una línea en un tiempo determinado.

Actualmente se prefabrican las líneas de conexión conforme se da inicio a la etapa construcción de las facilidades mecánicas del clúster, para agilizar el proceso de la entrada en producción de los pozos se plantea la prefabricación de líneas, a fin de evitar demoras injustificadas por eventualidades.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Ecopetrol maneja altos niveles de calidad en ingeniería, basados en la normatividad de la industria petrolera, establece los parámetros de aceptación de acuerdo a las especificaciones técnicas definidas por la empresa. Sin embargo, existen algunos inconvenientes que hacen que los aliados contratistas, no realicen las actividades de acuerdo a lo exigido en los tiempos indicados. Algunos de estos inconvenientes son causados por falta del criterio técnico, experticia del personal del aliado o la falta de una metodología.

Para el caso particular, en la fabricación de líneas de conexión de pozos en tubería de acero, se requiere de procedimientos como el de soldadura y el de recubrimientos, en estos se realizan pruebas y ensayos no destructivos, a fin de garantizar la calidad y el cumplimiento de la norma, pero este control de calidad en ocasiones es pasado por alto por el contratista, lo que implica el incumplimiento de las normas que certifican el proceso.

También se identifica falta de verificación en cada una de las fases de construcción por parte del contratista, lo que repercute en demoras en la entrega del proyecto debido a las correcciones no previstas.

Por lo anterior, no se cumplen las actividades de acuerdo a la programación y la normatividad técnica exigida, en la fabricación de líneas de conexión.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo garantizar el seguimiento de los procesos y procedimientos que permitan el aseguramiento de la calidad en la prefabricación de las líneas de conexión de pozos?

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el cumplimiento de los procesos y procedimientos, para la prefabricación de las líneas de conexión de pozos, en la etapa tres de perforación en Ecopetrol S.A.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar cada uno de los procedimientos y requerimientos para la prefabricación de las líneas de conexión de pozos
- Analizar los tiempos de cada una de las actividades encaminadas al proceso de la prefabricación de las líneas de conexión de pozos.
- Determinar la normatividad legal vigente y las especificaciones técnicas de Ecopetrol S.A. para la prefabricación de líneas de conexión.
- Verificar la factibilidad de la prefabricación de las líneas de conexión como método para agilizar la entrada de pozos a producción en futuras campañas de conexión

3. MARCO REFERENCIAL

Ecopetrol define los requerimientos para la construcción de las líneas de conexión a partir de la normatividad y especificaciones técnicas propias de la empresa, para esto establece documentos técnicos basados en las normas internacionales de la industria petrolera que son la guía para los contratistas y la base de pago de estos. La empresa ha implementado dentro de su filosofía de trabajo una mejora continua lo cual genera que se emitan regularmente documentación actualizada de cada procedimiento, este tipo de procedimientos se deben divulgar para que sean del conocimiento del contratista.

Es así como a lo largo de la industrialización se ha hecho necesario la implementación de normatividades y procedimientos que regulen las actividades en los diferentes procesos de la industria. Tales procedimientos aceleraron la industria y perfeccionaron las técnicas, mejorando la calidad y por ende generando mayores ingresos a las empresas. Dentro de las normatividades en la industria petrolera nació la norma¹ API (The American Petroleum Institute), que es la base para la formulación de las especificaciones técnicas en la empresa Ecopetrol.

Las normas API son examinadas, revisadas, reafirmadas o retiradas normalmente cada cinco años. A veces, se hacen prórrogas por un tiempo de hasta de dos años, se pueden encontrar también versiones que reafirman la norma.

API mantiene más de 500 normas y prácticas recomendadas y brinda una ayuda para mejorar la seguridad de la industria del petróleo; algunas de estas recomendaciones son sobre el diseño y fabricación de elementos, para que se garanticen la seguridad y fiabilidad.

Así como estas normas existen otras que son la base de la ingeniería, las normas de la ASME que se usan por empresas de todo tamaño, sirven de medio para cumplir con la normas de seguridad, así como de medio para la transferencia tecnológica, lo que les permite a empresas de todos los tamaños competir básicamente de igual a igual en un mercado internacional y sirven de base para lograr una mejor fiabilidad y de esa manera brindar un uso optimizado de los recursos.

El código de la ASME de la serie B31 es referente a tuberías que cubren el transporte de hidrocarburos líquidos, la gestión de la integridad de tuberías y la

¹ RCM.GOV.CO. (2018). Marco Normativo En La Producción De Petróleo.. [online] Available at: <http://rcm.gov.co/images/2018/programas/SeminarioHidrocarburos/MarcoNormativoHernandovalencia.pdf> [Accessed 29 Nov. 2018].

calificación del personal. La industria petrolera trabaja con organismos como la ASTM y la ASME para la incorporación de nuevas tecnologías. Este tipo de organización tiene un esquema similar y es por eso que ASME publica en conjunto con la API códigos y normas afines para ser usadas tanto de manera voluntaria por la industria como por medio de citas reglamentarias obligatorias².

Otras normas como las ASTM (American Society for Testing and Materials), Sociedad Norteamericana para Pruebas y Materiales, ASTM una de las mayores de las organizaciones que desarrolla normas para ser aplicadas en la industria y gobiernos para la regulación de sus industrias y favorecer la calidad de producción en las mismas, así mismo para la elaboración de códigos y regulaciones. Estos miembros pertenecen a uno o más comités, cada uno de los cuales cubre un área temática, como por ejemplo la del acero o el petróleo³.

Las normas ASTM son "voluntarias" pero ASTM certifica y califica procedimientos que las autoridades gubernamentales las imponen en leyes para ejercer control de las actividades en la industria, Estas normas son la base de técnicas de END (ensayos no destructivos) que ayudan a asegurar la fiabilidad y seguridad de los elementos a través de la detección de fallas y defectos. Las especificaciones técnicas y normas junto con las respectivas pruebas de calidad garantizan un funcionamiento óptimo de los activos de las empresas y se ayudan a detectar anticipadamente los problemas que puedan darse en el proceso, lo que le evitará realizar el trabajo nuevamente, así como ahorrar costos de reposición. Igualmente, asegurar que los elementos serán entregados dentro de los plazos establecidos, la planificación de los proyectos, la monitorización y control de progreso, servicios de inspección de obra, la gestión de la salud, seguridad y medioambiente, así como la gestión de datos y registros⁴.

Los procedimientos nos especifican una actividad en detalle para su ejecución estas son en orden señalado y especifican las operaciones a seguir como de los responsables de las actividades y control de cumplimiento también especifican las políticas, en resumen los procedimientos especifican y detallan un proceso, los cuales conforman un conjunto ordenado de operaciones o actividades

² ASTM.ORG. (2018). ASTM International - Standards Worldwide. [online] Available at: https://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPSO11/provocative_sps011.html [Accessed 29 Nov. 2018].

³ ASTM.ORG. (2018). ASTM International - Preguntas más frecuentes. [online] Available at: <https://www.astm.org/FAQ/index-spanish.html#anchor1> [Accessed 29 Nov. 2018].

⁴ INTERTEK.ES. (2018). [En línea] Disponible en: http://www.intertek.es/uploadedFiles/wwwintertekes/Services/Industrial/Intertek_Brochure_END_V2.pdf [Ingreso 20 Sep. 2018].

determinadas secuencialmente en relación con los responsables de la ejecución, que deben cumplir políticas y normas establecidas señalando la duración y el flujo de documentos⁵.

Los documentos instructivos como manuales sirven como medio de ofrecer información organizada y estructurada para realizar actividades que deben seguirse de forma controlada y específica, a fin de ayudar a realizar una actividad técnicamente.

Ecopetrol como cualquier otra empresa exige una gestión de calidad integral y para esto se basa en sus especificaciones técnicas propias y designa el grupo de control que realiza las funciones de inspección a fin de asegurar la calidad en cualquier proceso constructivo dentro de la empresa.

3.1. REQUISITOS DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD EN ECOPETROL

Un esquema integral de calidad debe tener la participación del grupo de control de interventoría como supervisor de los procesos del contratista, el cual se debe regir por lo exigido por Ecopetrol y certificar sus procedimientos, como los pasó a paso, con el fin de garantizar una alta calidad en sus procesos y procedimientos.

Cada procedimiento conlleva el establecer formatos de seguimiento de diario e informe semanal, con el fin, de darle trazabilidad a la calidad del proyecto. Dichos formatos deben ser llevados por el grupo de control como plan de interventoría, en estos formatos se deben cuantificar según la especialidad y la unidad de medida el avance diario como del personal utilizado, dicho formato lleva una sumatoria de los avances de formatos anteriores a fin de establecer criterios de avances y de cortes, con el fin de agilizar el informe semanal y facturación del contratista.

A fin de agilizar el proceso de gestión de calidad se le informa y define al contratista las especificaciones técnicas y reglamentos de Ecopetrol para la ejecución de proyectos constructivos. Para el específico de líneas de conexión se deben considerar las especificaciones de acuerdo a la nueva ingeniería respecto de líneas de conexión que rigen la campaña de perforación para el año 2019 y futuras campañas, con lo cual se especifica la ingeniería del proyecto.

⁵ VIVANCO Vergara, M. (2018). *Los Manuales De Procedimientos Como Herramientas De Control Interno De Una Organización*. [online] Scielo.sld.cu. Available at: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202017000300038 [Accessed 29 Nov. 2018].

3.2. INGENIERÍA DEL PROYECTO

Las líneas de conexión de bajantes a pozos y las de entrada a múltiple para la nueva ingeniería se establecen en tubería de diámetro de 4” y para la tubería de gas anular en diámetro de 2”, las tuberías de las bajantes y conexión son suministradas por Ecopetrol. La lista de material de una línea se estima a partir de Diagramas de ingeniería (PI&D) en los cuales se obtienen los diámetros de todos los componentes y números de Válvulas, Bridas, Tés, Reducciones, Filtros temporales y permanentes, etc. Del Plot Plan y Planta Perfil del cual se obtiene la longitud de la tubería, y el número de Codos. El material exacto se obtiene a partir del modelo 3D o planímetro; los documentos de referencia y de consulta deben ser entregados al contratista para que realice el proyecto constructivo de acuerdo a estas normas y especificaciones que son aportados por la ingeniería de Ecopetrol para ser ejecutados por el contratista

3.3. LÍNEAS DE CONEXIÓN

Las líneas de conexión de pozos hacen referencia a aquella que son necesarias para que este entre en producción, son listadas y descritas a continuación:

- Línea de bajante de conexión de pozo
- Línea de gas y de venteo anulares
- Línea de entrada a múltiples (“efe’s”)

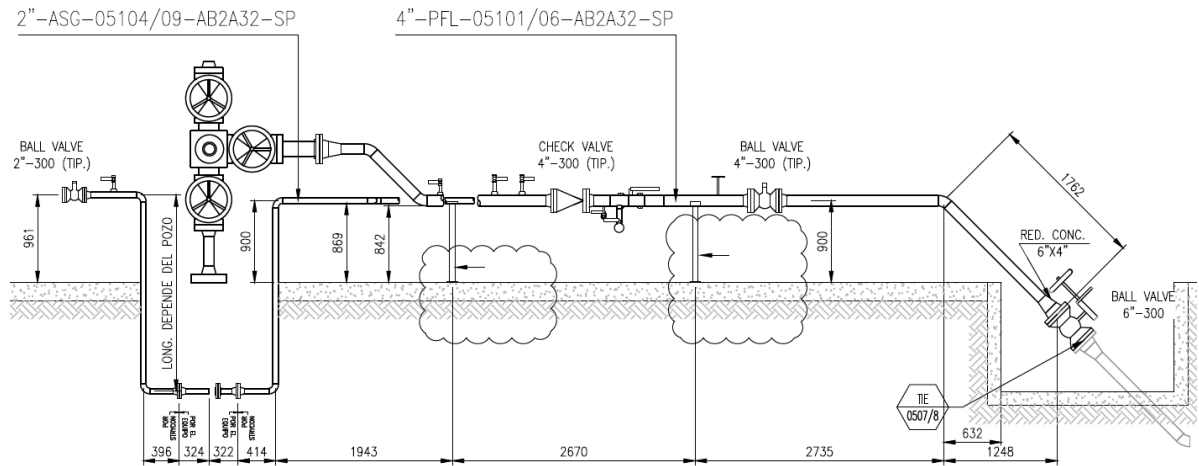
4.3.1 Línea de bajante conexión de pozo. Las líneas de bajante de conexión de pozo, como la mostrada en la Figura 1, se realizan en tubería rígida de acero al carbono 5L X42 de 4”, estas líneas de conexión de pozos deben cumplir con la norma y los parámetros indicados por el código ASME B31.4, y requerimientos específicos de Ecopetrol, suplementarios a los requerimientos de los estándares API 1104, ASME SECCION IX, ASME B31.1, ASME B31.3, ASME B31.4 y ASME B31.8.

Estas líneas conectan la válvula de pozo o “arbolito” el cual es instalado por el taladro en su fase de completamiento y es la fase final de la perforación del pozo para que este entre a producción, por lo tanto se debe conectar a la mayor brevedad posible, actualmente este proceso de completamiento es de cuatro días, tiempo en el cual se prefabrican las líneas de conexión.

El esquema mostrado en la figura 1 se observa una línea con todos sus elementos. Esta línea termina en la bayoneta de la válvula de pozo (válvula de globo de 6”), determinada por la de conexión bridada.

Para el proyecto de prefabricación se plantea una junta de oro en la bayoneta que determinara altura y posible giro, ya que la posición del arbolito no es siempre la misma para todos los contrapozos.

Figura 1 Esquema Bajante de conexión tomado



Fuente: Ecopetrol GDT-5223088-17016-ID-MET-PL-035_1 clúster 5

Figura 2 Imagen de Bajante de Conexión Terminada



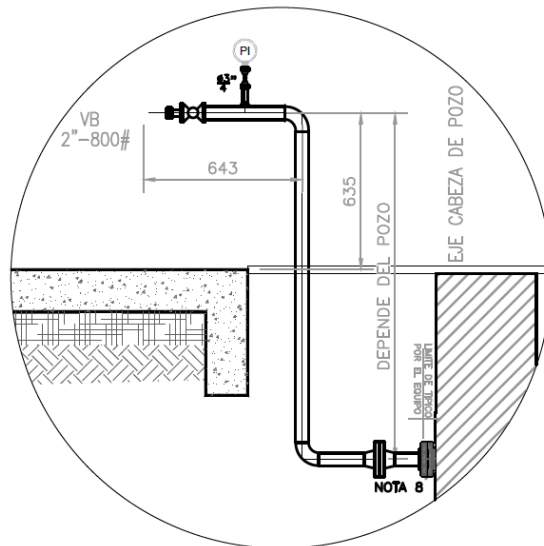
Fuente: El Autor

La línea de conexión de pozo terminada se muestra en la Figura 2, esta debe cumplir con todas las pruebas de calidad para ser aceptada por comisionamiento en la fase final del recibido se le realizan todas las pruebas funcionales para hacer parte del activo de Ecopetrol, para esta etapa debe contar con todas las certificaciones y aprobaciones para ser usada como línea de bajante de pozo.

Además de las líneas de bajantes existen las líneas anulares de gas y de venteo, son líneas de protección del cabezal de producción y estas deben cumplir con las respectivas pruebas de calidad supervisadas por el grupo encargado, dichas pruebas deben estar acorde a las especificaciones técnicas de Ecopetrol, en conjunto con las certificaciones de las pruebas, se deben diligenciar los formatos AC1 o formatos de precomisionamiento con el fin de garantizar la gestión de calidad, el armado del dossier constructivo y son la base de los formatos HC1 o de comisionamiento

4.3.2 Línea de gas y de venteo anulares. Las líneas de gas anulares y de venteo de gas anular, Figuras 3 y 4 se construyen en tubería rígida de acero al carbono de 2" suministradas por Ecopetrol, la figura 3 se observa el llamado cuello de ganso por su forma, es una línea de venteo y de verificación de presión de gas en el cabezal. Estas líneas deben cumplir con la norma y los parámetros indicados por el código ASME B31.4 y las respectivas pruebas y procedimientos.

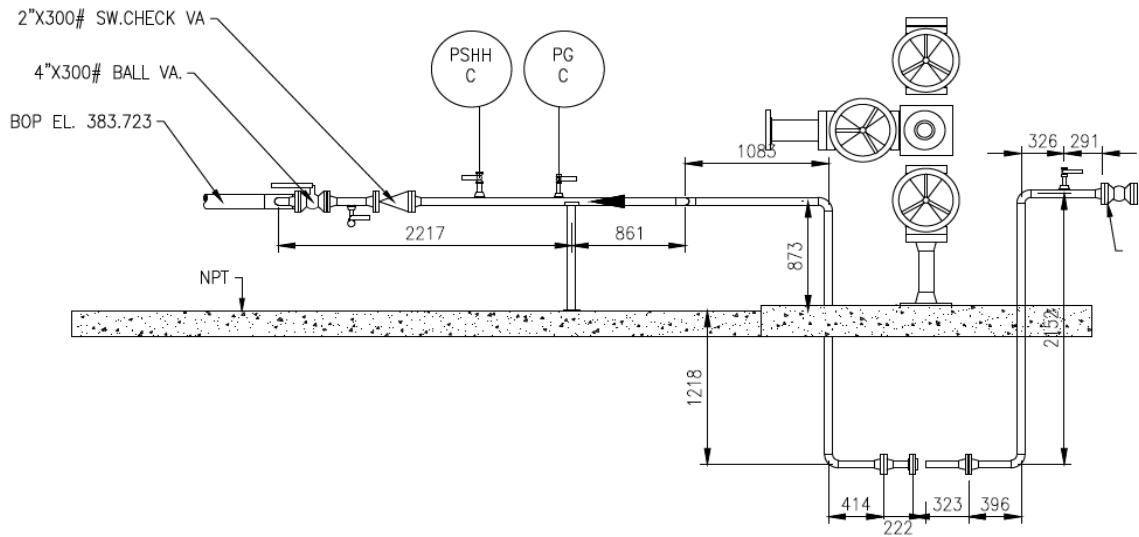
Figura 3 detalle de Línea de venteo gas anular 2



Fuente: Ecopetrol GDT-0249-17003-ID-MET-PL-003 CLUSTER 12

En la figura 4 se observa los elementos de la línea de gas anular con sus respectivos instrumentos de medición de presión.

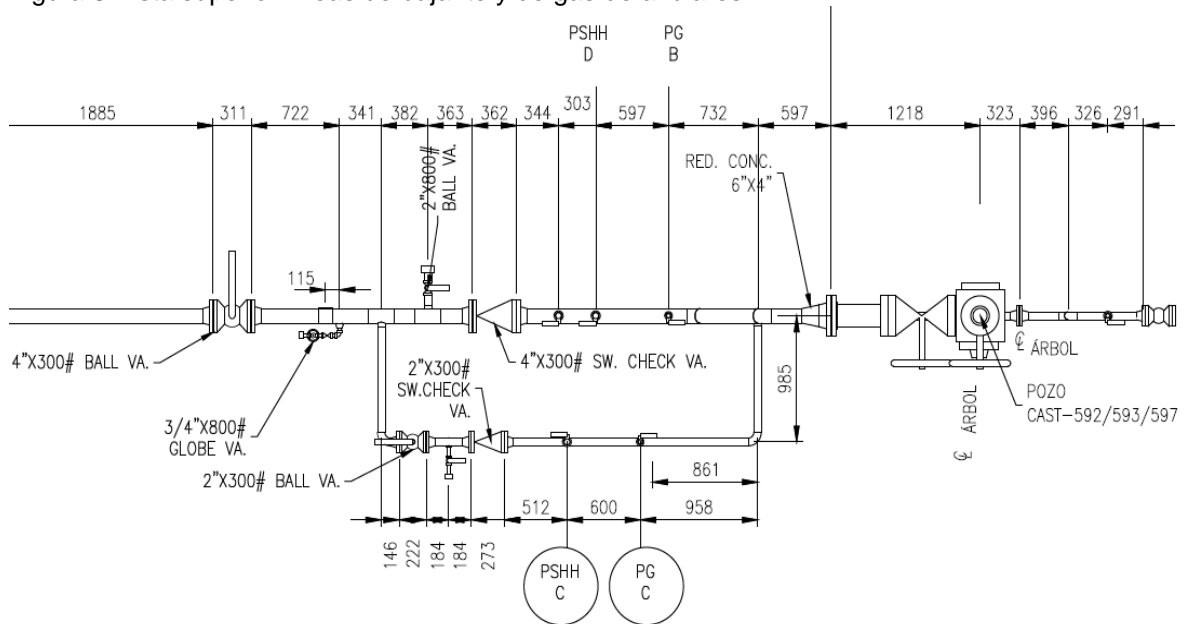
Figura 4 Línea de gas de anulares



Fuente: Ecopetrol GDT-5223088-17016-ID-MET-PL-029_1 CLÚSTER 89

En la figura 5 se observa la planimetría en vista superior de las líneas de bajante pozo y de gas con los elementos instalados en esta, se debe considerar que las líneas de gas son líneas especiales y todas las juntas de las líneas de gas deben estar soldadas de acuerdo al Código ASME B31.8 para Tuberías de Transporte y Distribución de Gas.

Figura 5 Vista superior líneas de bajante y de gas de anulares

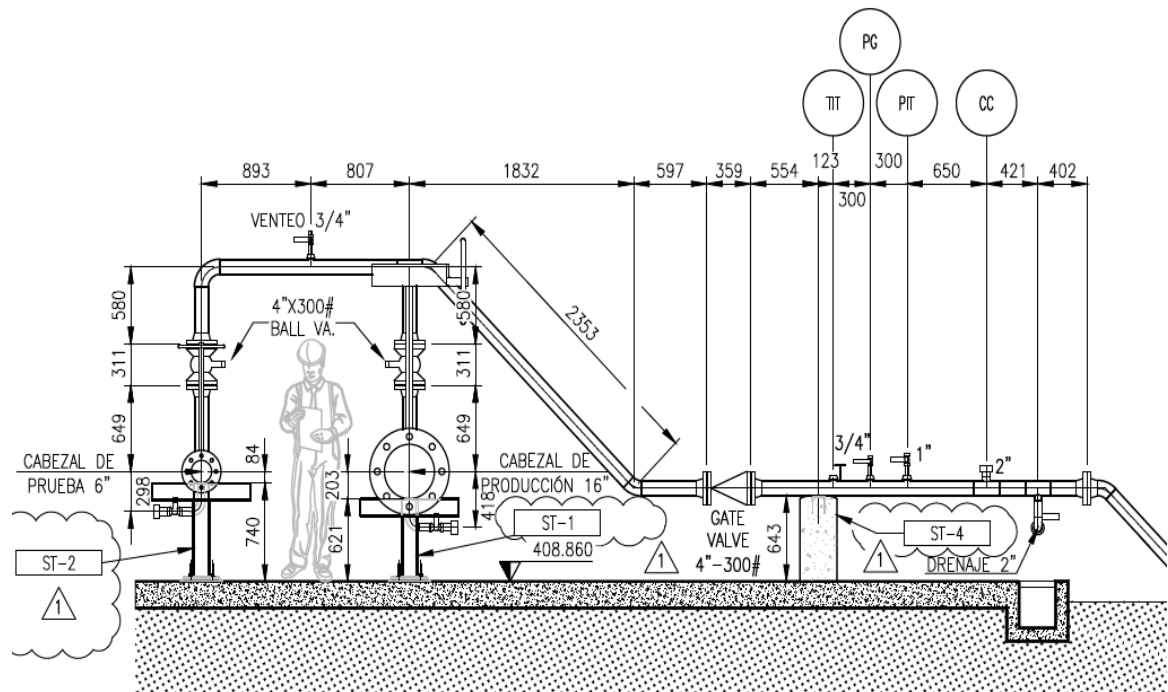


Fuente: Ecopetrol GDT-5223088-17016-ID-MET-PL-029_1 CLÚSTER 89

Ecopetrol suministra la tubería y algunos elementos en caso de no contar con estos se le solicitan al contratista para que los suministre, estos deben estar aprobados por Ecopetrol y no se deben instalar salvo aprobación y liberación por parte de Ecopetrol, este proceso de aprobación debe estar sujeto al inicio del proceso de la prefabricación de las líneas para no generar demoras en las entregas, ya que el objetivo de este proyecto es agilizar el proceso de la entrega de las líneas, se muestran los procedimientos y especificaciones técnicas de Ecopetrol para lograr establecer una formalidad en todos los contratistas con el adecuado seguimiento de calidad y el correcto control de la ingeniería para líneas de conexión de pozos a fin de agilizar el proceso.

4.3.3 Línea de entrada a múltiple (“efe’s”). Para las líneas de entrada a múltiple existen 4 tipos diferentes, de estas y se fabrican según el clúster al que se corresponda con el múltiple existente, estas diferentes entradas corresponden a ingenierías antigua existente en el campo a lo largo de 20 años de y que han ido cambiando a lo largo de este tiempo, actualmente la ingeniería determino los (PI&D) como el de la figura 6 que son los definitivos en tubería de 4” para bajantes y entradas de pozos y en 2” para líneas de gas anular.

Figura 6 Ingreso pozos de líneas a múltiple nueva ingeniería

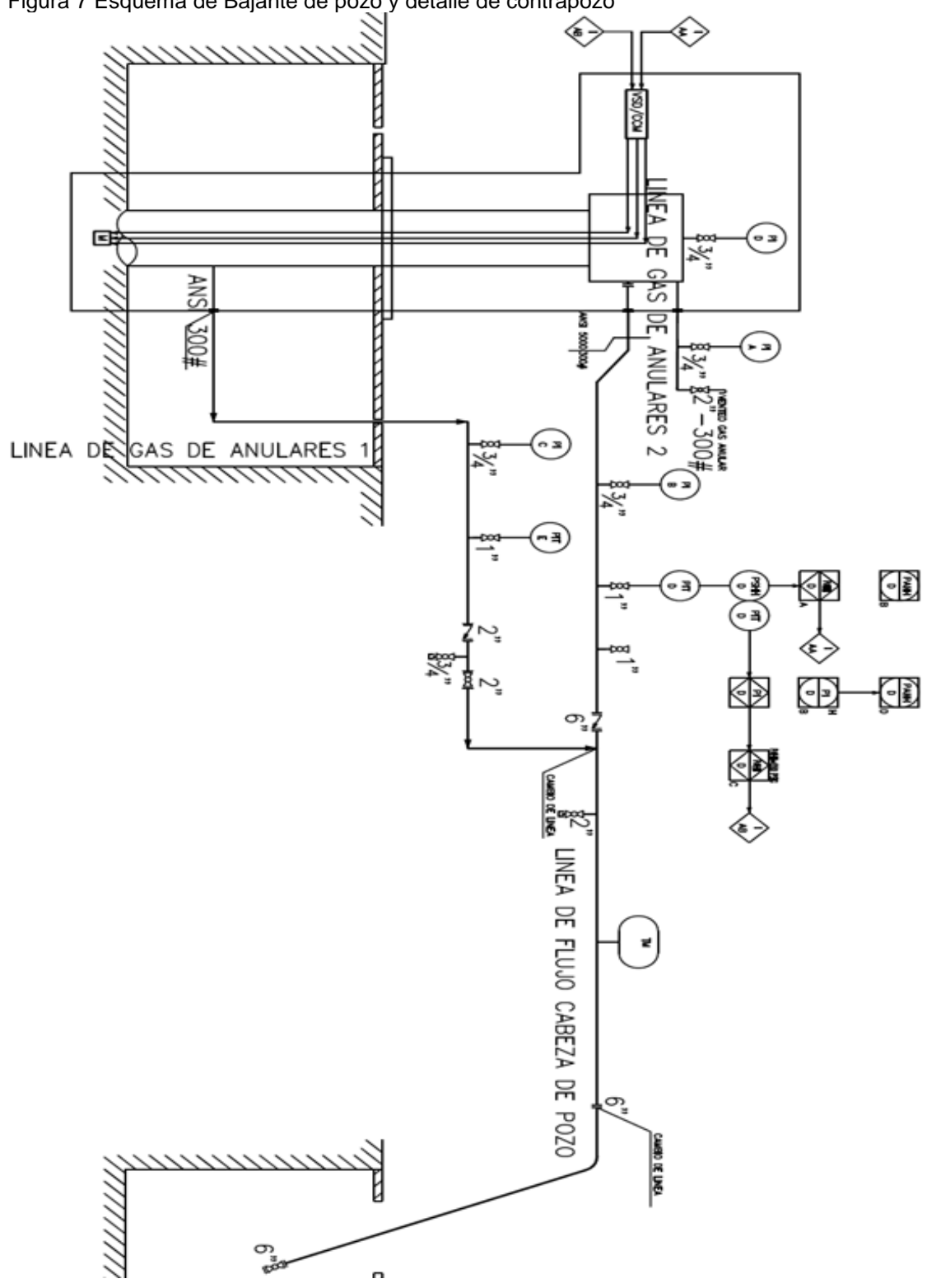


Fuente: Ecopetrol tomado de GDT-5223088-17016-ID-MET-PL-027_1-2 Clúster 107

4.3.4 Esquema de líneas de bajantes de pozo con sus elementos. En el esquema mostrado en la figura 7, se detallan las líneas de bajante, de venteo y de gas anulares, en esta se observan los elementos y diámetros en conjunto con la instrumentación, de este esquema se puede determinar el número de elementos e instrumentos por cada línea de bajante de pozo; este es el típico aprobado por Ecopetrol y aprobado para construcción en la etapa tres de perforación de 2019.

Todo el proceso constructivo debe garantizar la calidad de la líneas, ya que se plantea la prefabricación de estas para futuras campañas, las líneas deben mantener en su proceso un control de calidad por parte de Ecopetrol, así como también por parte del contratista esto debe plasmarse en los formatos y certificaciones para garantizar la línea, estos formatos junto con las especificaciones técnicas, son definidas por Ecopetrol y son reglamentarias, para ser de preciso seguimiento en los proyectos constructivos.

Figura 7 Esquema de Bajante de pozo y detalle de contrapozo



Fuente: Ecopetrol

4. METODOLOGÍA PASANTIA

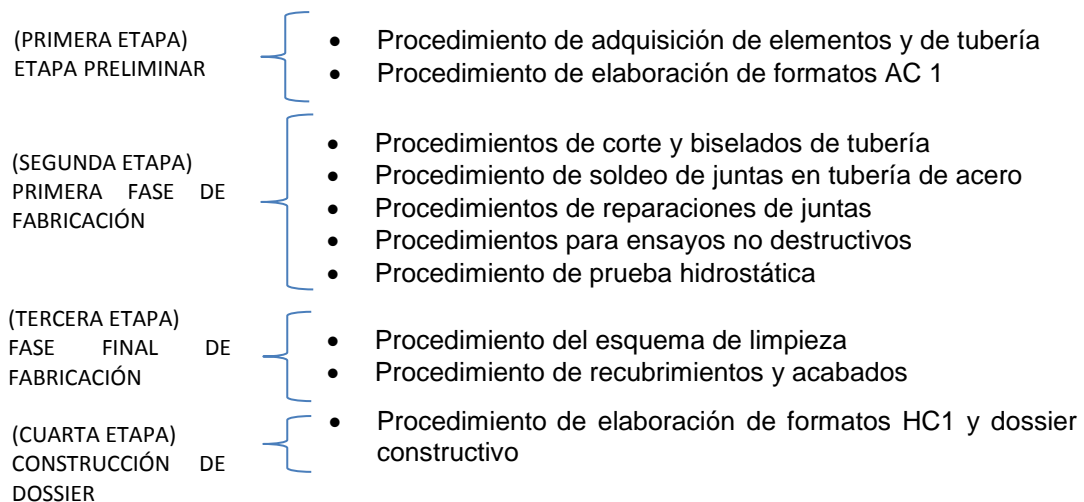
Los anteriores esbozos de las líneas de conexión de pozos son la base para el planteamiento metodológico de la propuesta de su prefabricación. Actualmente se tienen cuatro días para prefabricar la línea para su conexión, y este tiempo no se cumple porque no se prevén los imprevistos; con la implementación de una prefabricación de las líneas con anterioridad, este proceso debe lograrse de forma oportuna y ágil.

De la experiencia y de lo aprendiendo en la pasantía en Ecopetrol se identificaron para el proceso de prefabricación, cuatro etapas, junto con las especificaciones técnicas de Ecopetrol

4.1. IDENTIFICACIÓN DE ETAPAS Y PROCEDIMIENTOS DE PREFABRICACIÓN

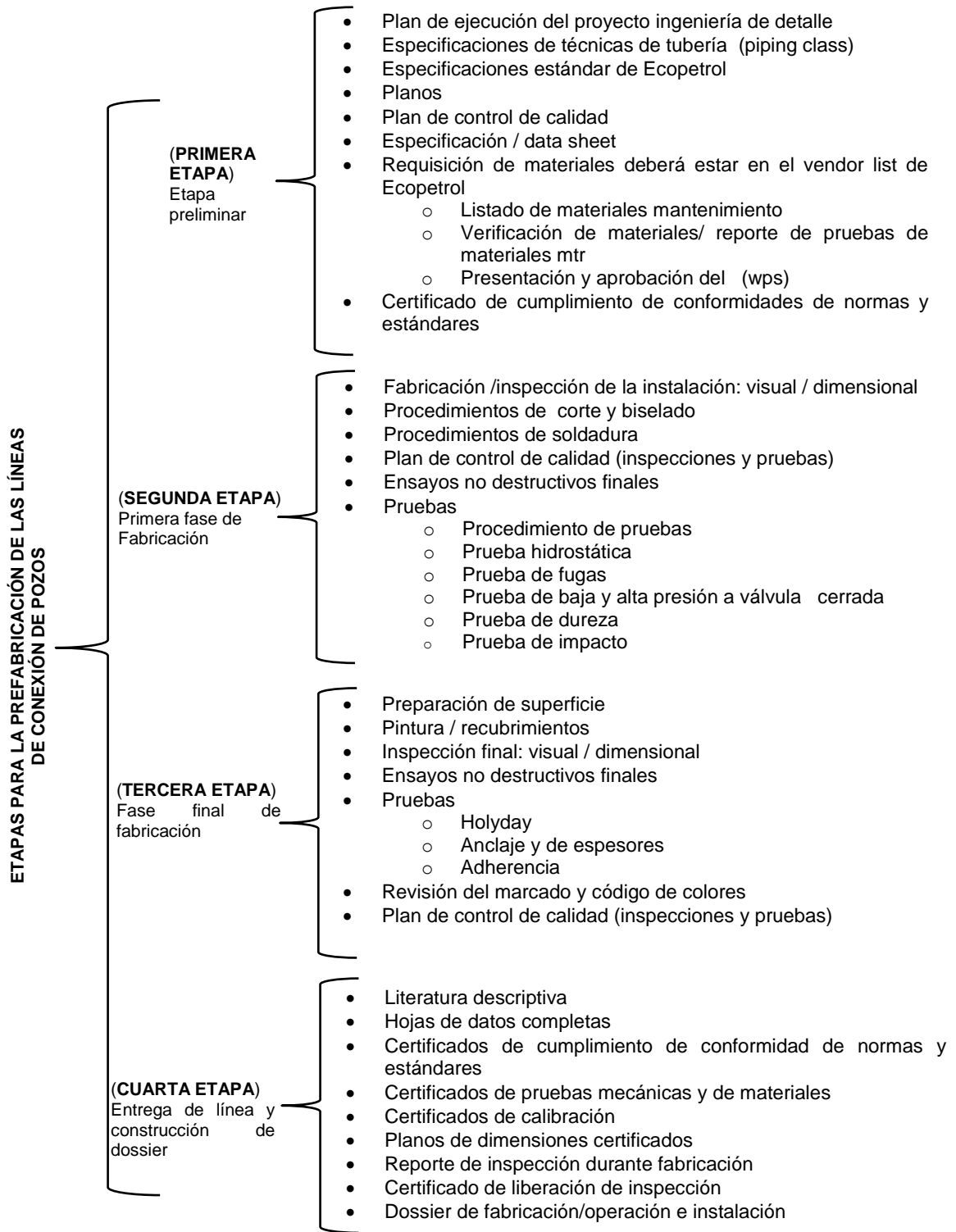
En cada una de las etapas identificadas se define los procedimientos y especificaciones técnicas para la prefabricación de las líneas, como se presenta en la figura 8. Estos procedimientos aprobados por Ecopetrol, obedecen a las normas internacionales y a las especificaciones técnicas, los procedimientos que requieran de una previa aprobación en cada una de las fases debe ser evaluado antes del inicio constructivo de la línea.

Figura 8 Procedimientos por etapa de prefabricación



Fuente: el Autor

Figura 9 Identificación de requerimientos por etapas de la prefabricación de una línea de conexión



Fuente: El Autor

De acuerdo a la experiencia en la pasantía se identificaron las actividades y procedimientos para prefabricar una línea, de esta identificación se plantea cuatro etapas básicas y se esbozó el esquema integral para su prefabricación. En lo requerimientos como se presenta en la figura 9.

4.1.1 (PRIMERA ETAPA) Etapa preliminar de la prefabricación de líneas de conexión. En la primera etapa se realiza la preparación documental, la verificación de existencias de materiales provistos por Ecopetrol y solicitud de estos, también de aquellos materiales que deben ser suministrados por el contratista. Ya que lo planteado obedece solo a la construcción de líneas de conexión de pozos se debe tener en cuenta que para logra esta conexión existen otras actividades dentro del clúster a la cual pertenece el pozo; en lo referente a la prefabricación de la línea se describen los requerimientos para la primera etapa.

- **Plan de ejecución del proyecto ingeniería de detalle:** Corresponde a la descripción detallada del proyecto, se especifican todos los procesos que necesitan ser pormenorizados y detalles técnicos para su correcta ejecución.
- **Especificaciones de técnicas de tubería (piping class):** Se define las especificaciones técnicas en el formato ECP-VIN-P-MET-FT-001, donde, se especifica el tipo de componentes, materiales y condiciones de funcionamiento.
- **Especificaciones estándar de Ecopetrol:** Ecopetrol define las especificaciones técnicas por cada especialidad, estas deben ser estudiadas por el contratista, ya que en estas también se indica la unidad de pago.
- **Planos:** Son aportados por el área de ingeniería de Ecopetrol y se hacen entrega al contratista así como de los planos: específicos, de detalle y generales, de acuerdo con la especificación, ECP-VST-G-GEN-IT-002 instructivo para la elaboración de planos.
- **Plan de control de calidad:** Son los requerimientos mínimos de calidad solicitados en el proyecto y la especificación técnica de requerimientos de calidad en proyectos - EDP-ET-451. El contratista debe asegurar que todos los requisitos técnicos y de inspección establecidos se transmitan adecuadamente a sus proveedores y contratistas para asegurar su cumplimiento y calidad.
- **Especificación / data sheet:** La documentación técnica que debe suministrar el fabricante/proveedor para cada uno de los equipos y sus componentes de acuerdo con el diseño final, para las líneas de bajantes de pozo se debe incluir la información de cada instrumento instalado sobre la línea, incluye manuales de instalación, arranque, operación y mantenimiento, listado detallado de los

repuestos para el funcionamiento de los equipos y su cantidad recomendada en stock. Los planos generales y detallados de cada equipo y sus componentes deben elaborarse de acuerdo con el estándar ECP-VST-G-GEN-IT-002.

- **Requisición de materiales deberá estar en el vendor list de Ecopetrol:** Es importante para Ecopetrol que todos los materiales de un proveedor estén dentro del “vendor list” ya que se consideran que estos cumplen con los requerimientos y calidad exigida por Ecopetrol, no se admiten aquellos que no estén este listado, para el caso particular de las líneas, Ecopetrol suministra la tubería y válvulas mayores a 2”, para requisición de materiales estos deben estar en el listado de marcas aceptadas y además tener las certificaciones y pruebas necesarias.
- **Listado de materiales MTO:** Ecopetrol entrega al contratista el MTO MATERIAL TAKE OFF consolidado por Clúster y por línea, con todas sus especificaciones técnicas y requerimientos para asegurar la calidad.
- **Verificación de materiales/ reporte de pruebas de materiales MTR:** todos los elementos utilizados en cada línea deben contar con todas las certificaciones de materiales y pruebas de calidad requerida para su instalación, en cada “libro tubo” por línea debe especificarse la colada con la certificación de esta y específicas necesarias por elemento.
- **Presentación y aprobación del (wps):** todo procedimiento que requiera de soldadura debe estar respaldado por su Especificaciones del Procedimiento en el (WPS). Esta Especificación del Procedimiento de Soldadura debe estar aprobado previamente por Ecopetrol para su guía en los procesos de soldadura en la prefabricación de líneas de conexión.

Para dar inicio a cualquier proyecto se deben consultar las normas técnicas y las especificaciones técnicas de Ecopetrol, cuando se inicia el proyecto Ecopetrol suministra estas especificaciones y requerimientos técnicos como la ingeniería de detalle y las listas de elementos para su construcción, cuando se realice la requisición de materiales (M.R) estos deben cumplir con los requerimientos de los materiales a ser suministrados para el proyecto y deberán ser suministradas con reportes de ensayos de materiales de fábrica MTR´S, de acuerdo con los estándares y códigos referenciados por Ecopetrol, para las válvulas estas deben ser suministrada con certificados de prueba hidrostática de acuerdo con API Estándar 598.

Toda WPS debe estar certificada antes de su aplicación y sus resultados deben consignarse en el documento Informe de Calificación de Procedimiento (PQR). La calificación debe realizarse de acuerdo a lo establecido por Ecopetrol. Tanto la

WPS como el PQR, deben estar en todo de acuerdo con lo dispuesto por las normas correspondientes a ASME IX. y AWS soldadura de elementos estructurales. “ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DE CONSTRUCCIÓN PARA INSTALACIÓN DE TUBERÍA” Código: EDP-ET-107

Todos los procesos en esta primera etapa son en su mayor parte documental, los cuales se deben aportar y verificar para construir el dossier de línea. Ecopetrol exige que sea en tres copias en original, toda la supervisión de materiales y elementos se realiza por el grupo de interventoría y el grupo de calidad QA/QC de Ecopetrol, así mismo el grupo de precomisionamiento establece los lineamientos para la conformación aprobación y entrega del certificado de aceptación AC-1 con el cual se certifica la actividad de Precomisionamiento, estos formato de AC-1 que son todas las actividades de inspección, calibración y pruebas en frío son evidencia de que fue revisado y aprobado en su totalidad, a continuación se describen los procedimientos que hacen parte de la primera etapa descritos en la figura 8 (Procedimientos por etapa de prefabricación).

4.1.1.1 Procedimiento de adquisición de elementos y de tubería. Todos los elementos que se requieran para el proyecto deben ser solicitados mediante los formatos de requisición de materiales y deben estar listados en el MTO (Material Take Off) del proyecto, además es deber del contratista verificar que estos elementos cuenten con la certificación necesaria para ser usados así mismo los elementos suministrados por el contratista deben cumplir con este requisito. El equipo de calidad debe verificar el estado de los elementos suministrados y verificar la documentación requerida como certificados del fabricante y colada del material.

Todo elemento que se solicite o se requiera debe contar con las certificaciones de calidad y contar con el certificado de colada donde se demuestre la norma y las especificaciones necesarias a fin de avalar el elemento por el grupo de calidad de Ecopetrol, los elementos que no tengan dichas certificaciones o su composición química no concuerde no podrán ser utilizados sin perjuicio alguno para Ecopetrol, si el contratista insiste en la utilización estos puede presentarse una NC (no conformidad), que hará que baje sus índices de desempeño o calificación como contratista. Todos los elementos deben corresponder a los listados en el MTO y ser lo más específicos posibles indicando la norma a cumplir por cada elemento como se describe a continuación.

Figura 10 Reductor de 6"X4" y Brida RF, SHD STD



Fuente: El Autor

En la figura 10 se observa un reductor de 6"X4" y una brida RF de cuello para soldar, estos elementos deben estar debidamente identificados para el caso del reductor se especifican de la siguiente forma en el requerimiento de materiales: "Carbon steel, concentric reducer, MSS SP-75 WPHY 42, dimensions as per ASME B16.9, beveled ends as per ASME B16.25, SCH STD", para el caso de la brida se especifica de esta forma: "Carbon steel, welding neck flange, ASTM A694 F42, dimensions as per ASME B16.5, raised face flanged end, RATING 300#-SCH STD", en la Figura 11 se observa un reductor de 4" X 2-1/2" y debe tener un numero de seguimiento y código donde se identifica la colada y el certificado de las pruebas realizadas para garantizar el elemento; estos certificados son necesario para garantizar la línea y armar el dossier constructivo.

Figura 11 Reductor de 4" X 2-1/2"



Fuente: El Autor"

En la Figura 12 se observa dos tipos de válvulas una de cuerpo WCB (Acero al carbono forjado grado B) en acero inoxidable, pueden ser de asientos de Viton (FKM) o de asientos de teflón (Politetrafluoroetileno. PTFE), la forma en que se lista este tipo de válvulas es de la siguiente forma: *BALL VALVE, FLOATING BALL, BODY: 2-3 PIECES - SPLIT BODY, FULL PORT, BALL: AISI 316, INSERT SEAT & SEALS: VITON, STEM: AISI 316- ANTI BLOW OUT, SEAT: VITON, LEVER OPER., W/ TWO PIPES AT ENDS, A 106 GRB x160 WT x 6" LG, CLASS 800, PE, A-105, API 607/API 6F.*

Figura 12 Válvulas de globo de 3 piezas (full port)



Fuente: El Autor

Todo implemento o material debe contar con las certificaciones necesarias a fin de construir el dossier. La certificación de la colada del material debe corresponder a la pieza y deben ser por cada elemento o donde se relacionen los mismos y en esta se debe contener la norma aplicada que debe estar acorde a lo exigido por las especificaciones de Ecopetrol.

4.1.1.2 Procedimiento de elaboración de formatos AC-1. Para la elaboración de una guía de dossier de precomisionamiento Ecopetrol Establece los lineamientos para la conformación, aprobación y entrega del certificado de aceptación AC-1, con el cual se certifica la actividad de Precomisionamiento⁶ CÓDIGO CNE ECP-

⁶ ECOPEPETROL S.A. vicepresidencia de innovación y tecnología corporativo de normas y estándares, ECP-VIN-G-GEN-G-006 guía de dossier de precomisionamiento , 17 /06 /2014

VIN-G-GEN-G-006, como de la especificaciones⁷ ECP-GTD-P-002 Procedimiento de Precomisionamiento, VIT-GTT-G-GEN-FT-003⁸ y la Guía para la Inspección de Seguridad de Pre-arranque.

Este tipo de instructivos son estricto cumplimiento y son la guía para la elaboración de los formatos y certificaciones de los procedimientos en cada fase constructiva de una línea para lo cual se especifica los alcances documentales que se requieren en esta etapa en relación con los paquetes de tubería.

4.1.2 (SEGUNDA ETAPA) Primera fase de Fabricación. A continuación se realiza la descripción de los requerimientos y procedimientos necesarios para el desarrollo de la segunda etapa, (Primera Fase de Fabricación):

• **Fabricación/inspección de la instalación: visual / dimensional.** Todos los procedimientos deben pasar por un control visual y de inspección por parte del grupo de calidad del contratista como de Ecopetrol, en este control visual se debe verificar que los elementos y la tubería instalada sean los indicados y estén conforme a la ingeniería aportada, cualquier anomalía será reportada como una no conformidad y tiene que ser evaluada en los formatos de preguntas técnicas, de lo contrario se cambiaran los elementos y tuberías que no cumplan con lo especificado.

4.1.2.1 Procedimientos de corte y biselados de tubería. La preparación del bisel se debe realizar acorde a la especificación del procedimiento de soldadura (WPS).

Los extremos de la tubería deberán ser biselados en campo por una máquina herramienta (esmeriladora, corte en frío) o máquina de corte por oxígeno o plasma. Los extremos de los biseles deben ser lisos y uniformes, y deben ser acorde con la especificación del procedimiento de soldadura (WPS).

Ecopetrol puede permitir imperfecciones menores en los extremos de la tubería para que sean reparadas mecánicamente, antes del montaje para la soldadura. Las reparaciones con soldaduras en los extremos de la tubería no son permitidas.

⁷ ECOPETROL S.A. vicepresidencia de innovación y tecnología corporativo de normas y estándares ECP-GTD-P-002 Procedimiento de precomisionamiento , 17 /06 /2014

⁸ ECOPETROL S.A. vicepresidencia de innovación y tecnología corporativo de normas y estándares,VIT-GTT-G-GEN-FT-003 guía para la inspección de seguridad en el pre-arranque 17 /06 /2014

4.1.2.2 Procedimiento de soldadura. La especificación técnica EDP-ET-131⁹ establece los requerimientos técnicos, documentación y aseguramiento de calidad que deben cumplir los contratistas para la aplicación de soldadura en construcciones nuevas o en servicio, de los sistemas de tuberías de proceso, sistemas de tubería de compresión, bombeo, transmisión y distribución de gas, sistemas para transporte de hidrocarburos, gases y líquidos de petróleo de los distintos campos de Ecopetrol.

En la Figura 13 se pueden observar el proceso de soldadura por lo general la unión de un Nipple se realiza un *socket 6000#, BWxSW, ASTM A 694 F42, dimensions as per MSS-SP-97, socket welding ends as per ASME B16.11, beveled end as per ASME B16.25*, se debe contar con un WPS aprobado donde se determina el proceso de soldadura a efectuar el cual indica el número de pases electrodos a utilizar y si requiere un tratamiento especial. En los planos de soldadura nos indicara el tipo socket, para el caso particular de las líneas de pozos deben ser del tipo socket welding

Figura 13 Soldadura en juntas de sokolet Welding de 4" y de 1"



Fuente: El Autor

Los requerimientos de calidad son de estricto cumplimiento y deben ser supervisados por el grupo de calidad y de interventoría para lo cual para el proceso de prefabricación se debe contra el plan de control de calidad. El contratista deberá implementar un sistema de calidad que cumpla con los requisitos de esta especificación y los requisitos especificados en el Anexo Q de las especificaciones técnicas (EDP-ET-002, EDP-ET-003, EDP-ET-004, DP-ET-

⁹ ECOPETROL S.A. vicepresidencia de innovación y tecnología corporativo de normas y estándares, EDP-ET-131 Especificación Técnica De Soldadura En Sistemas De Tubería, 25/08/2017

005). Y la especificación técnica EDP-ET-131 (ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DE SOLDADURA EN SISTEMAS DE TUBERIA), dentro de este control de calidad se debe mantener un registro de inspección como se describe a continuación:

• **Registros de inspección:** El contratista debe mantener actualizado una base de datos con la siguiente información::

- Línea o isométrico
- Identificación de junta
- Tipo de junta
- Piping class
- WPS utilizado
- Estampe de los soldadores
- Fecha de ejecución
- Ensayos no destructivos(informe y resultado)
- PWHT
- Dureza
- PMI

De los datos registrados se debe emitir un informe diario con los siguientes indicadores.

- Avance de la producción de soldadura.
- Juntas rechazadas, total de Juntas del proyecto.
- Porcentaje de reparación individual por soldador.
- Avance de NDE y de soldadura, UT o RX.
- Avance de procesos especiales por soldadura (NACE, otros).

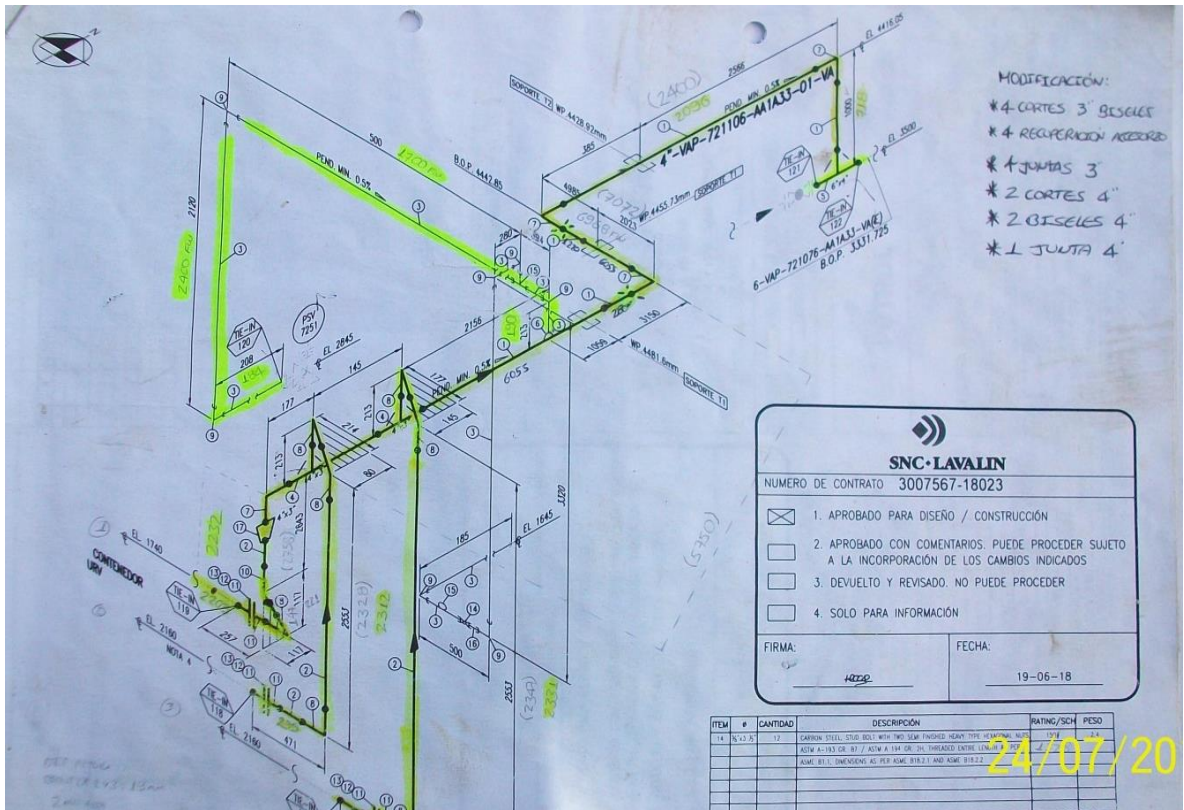
Estos indicadores definen el pago al contratista y están referidos en las especificaciones técnicas de Ecopetrol, así mismo para el control de calidad es importante llevar un registro de las actividades en las planimetrías o planos constructivos, existen los planos denominados “planos AS BUILT” los cuales se inician con la elaboración en obra de los “planos red” que son como los mostrados en la Figura 14. Las actualizaciones de los Planos se deben realizar durante toda la etapa de la construcción por parte de los Ingenieros y Supervisores encargados de la dirección del proyecto, es importante verificar dimensiones, establecer las localizaciones corregir y considerar los cambios encontrados.

En informes de avances se indicara en la planimetría las juntas soldadas y conforme a la especificación EDP-ET-131 se debe indicar las juntas a las cuales se les realizaran pruebas radiográficas, que corresponde al 20% de las juntas, las

otras pruebas en esta etapa corresponden a inspección visual y tintas que se les realiza al 100% de las juntas. Estos datos de avances ilustrados en la planimetría deben registrarse en el “libro tubo” el cual resume todas las actividades sobre la línea y muestra información adicional sobre materiales y certificaciones de estas.

En la figura 15 observamos un plano “red line”, isométrico de una línea de conexión a múltiple o a spool con 15 juntas donde el supervisor señaló que las juntas 1, 3, 13, 15, se les realizaron pruebas radiográficas.

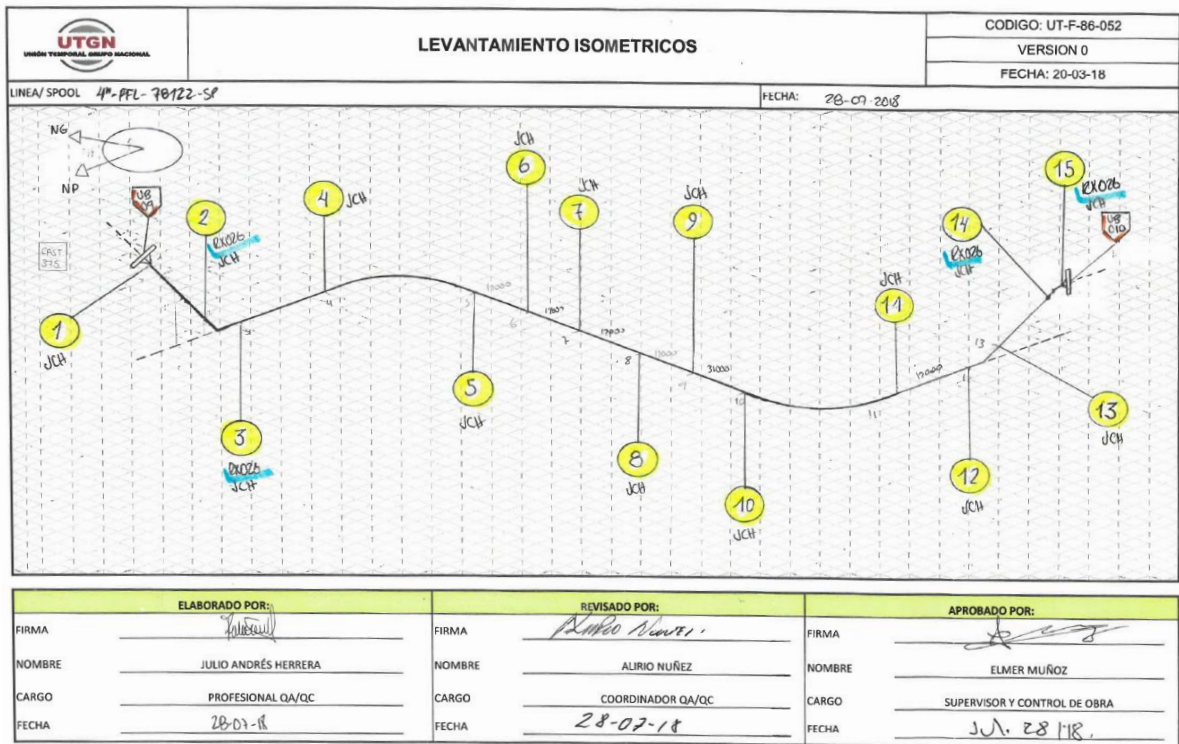
Figura 14 isométricos en planos Red line



Fuente: Ecopetrol planimetría de isométrico línea 4"- VAP-721106ATA33-01-VA

Este isométrico de la empresa UTGN corresponde a una línea de entrada a spool del clúster 78 y se debe presentar en el informe de inspección de calidad, la línea debe contar con su respectivo libro tubo en el que se registra de forma ordenada las juntas con sus intervenciones. Todo isométrico o planimetría debe estar firmado y abalado por el grupo de calidad tanto de Ecopetrol como del contratista y se debe identificar la línea y el número de juntas en las cuales se muestra el estampe de cada soldador y la identificación “RX” con el consecutivo para la junta radiografiada como lo observado en la figura 15.

Figura 15 Plano Red line de línea de conexión a Spool



Fuente: Cortesía de la empresa UTGN informe clúster 78

Dentro de los registros el llamado “libro tubo” o formato de libro de tubería ver Figura 16, en el cual se registra el consecutivo de la línea del isométrico, según la descripción del libro tubo mostrado en la figura, la junta J3 está dada entre una curva de 45 grados y un tubo ambos de diámetro de 4”, se identifica el material y la colada como el número de certificación para el control de calidad y elaboración del dossier constructivo de la línea, se debe registrar el estampe del soldador y el registro del procedimiento de soldadura aprobada; para el caso particular de la junta J3 se le realizó un procedimiento de RX (control radiográfico), se deben llevar los registros de cada prueba para el control de calidad de la línea.

Figura 16 Registro libro de tubería "libro Tubo"

UTGN														FORMATO LIBRO DE TUBERÍA				UT-F-06-013					
														VERSIÓN: 0				20/03/2018					
CONTRATO No. 3011895														OBJETO: Construcción de Obras civiles eléctricas, mecánicas e instrumentación requeridas por Escopetel y su grupo empresarial para la vigencia 2017 - 2020 para el HUB Llanos, con opción de dos años, especialidad "Redesmas".									
LINEA O ISOMETRICO 4" PFL 78122-AB2A32-SP														ODE 1				1		DE 2			
ITEM	DESCRIPCION	MATERIAL	DIAMETRO	SCH	RATING	No. INERNO TUBO O ACCESORIO	COLADA	CODIGO DE CERTIFICADO	No. DE CERTIFICADO	LONGITUD AVANCE (mts)	TIPO GRADO CURVA	LONGITUD TOTAL (mts)	No. JUNTA	SOLDADURA				E. N. D.					
														PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA				ESTAMPE				FECHA	
1	Carbon steel, elbow 45 gradees. MSSS SP - 75	ASTM A584 F52	4"	STD	A300	21	A1384	MEC011	17374	0,06	N/A	0,06		1 PASE	2 PASE	3 PASE	4 PASE	04/06/2018	-	-	INF26	-	-
2	Carbon Steel, Pipe ASME B36.10 BE Seamless, API 5L GR. X 42	API 5L GR. X42	4"	STD	N/A	111	WG81391	MEC007	3212000188801-1	0,9	N/A	3,467		1 PASE	2 PASE	3 PASE	4 PASE	05/06/2018	-	-	-	-	-

ITEM	DESCRIPCION	MATERIAL	DIAMETRO	SCH	RATING	No. INERNO TUBO O ACCESORIO	COLADA
3	Carbon steel, elbow 45 gradees. MSSS SP - 75	WPHY 52	4"	STD	N/A	28	A0851L
4	Carbon steel, Pipe ASME B36.10 BE Seamless, API 5L GR. X 42	API 5L GR. X42	4"	STD	N/A	111	WG81391



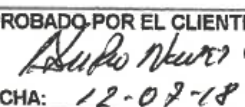
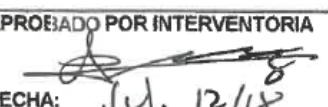
COLADA	CODIGO DE CERTIFICADO	No. CERTIFICADO	LONGITUD DE AVANCE (mts)	TIPO GRADO CURVA	LONGITUD TOTAL (mts)	No. JUNTA
A0851L	MEC010	94353	0,06	N/A	2,504	J3
WG81391	MEC007	3212000188801-1	0,9	N/A	3,467	J4

No. JUNTA	SOLDADURA						E. N. D.				COMENTARIO
	PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA	ESTAMPE				FECHA	LP	IV	RX	No. Rep	
		1 PASE	2 PASE	3 PASE	4 PASE						
J3	UTGN - 004	JCH	JCH	JCH	JCH	04/06/2018	-	-	INF26	-	-
J4	UTGN - 005	JCH	JCH	JCH	JCH	05/06/2018	-	-	-	-	-

Fuente: Cortesía de la empresa UTGN informe clúster 78

En la figura 17 se puede observar el control radiográfico de la línea del isométrico del clúster 78 en este control radiográfico se debe registra la línea y el estampe del soldador, si la junta no es aprobada debe repetirse y si el defecto o imperfección continua se debe calificar nuevamente al soldador y el contratista debe presentar registro de esta calificación para control de calidad.

Figura 17 Reporte de control radiográfico

		RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL			RC-GO-405	
Fecha: 12/07/2018		REPORTE No: 28		Hoja: 2 de 3		
Lugar: CASTILLA LA NUEVA - META		PROYECTO:				
EMPRESA: UTGN		EQUIPO: CLUSTER 78	RAYOS GAMA: 16 Ci	RAYOS X KV Ma		
PELICULA TIPO: II		MARCA: STRUCTURIX D7	MATERIAL: ACERO AL CARBONO	ESPESOR: STD. DIAMETRO EXTERNO: 4"		
No DE PLACAS : 72		TECNICA DE EXPOSICION : PD/ VIS.		TIEMPO DE EXPOSICION: 15SEG. DIST. FUENTE PLACA: 4,5".		
No DE JUNTAS : 26		NORMA DE INTERPRETACION: API 1104.		INDICADOR DE CALIDAD No 1 B TIPO ASTM		
Φ	JUNTA	UBICACION	ESTAMPE	INTERPRETACION	CALIFICACION	OBSERVACIONES
4"	1	A -- B	JCH		OK	4" PFL - 78117 - AB2A32 - SP
		B -- C			OK	
		C -- A		IE	OK	
4"	3	A -- B	JCH		OK	4" PFL - 78117 - AB2A32 - SP
		B -- C			OK	
		C -- A			OK	
4"	13	A -- B	JCH	IE	OK	4" PFL - 78117 - AB2A32 - SP
		B -- C			OK	
		C -- A			OK	
		A -- B			OK	
<input type="checkbox"/> FL = FISURAS LONGITUDINALES <input type="checkbox"/> FT = FISURAS TRANSVERSALES <input type="checkbox"/> Q = QUEMADO <input type="checkbox"/> FF = FALTA DE FUSION <input type="checkbox"/> FP = FALTA DE PENETRACION <input type="checkbox"/> SI = SOCAVADO INTERNO <input type="checkbox"/> SE = SOCAVADO EXTERNO CE: CONCAVIDAD EXTERNA CI: CONCAVIDAD INTERNA <input type="checkbox"/> EXP: EXCESO DE PENETRACION.		<input type="checkbox"/> PV = POROSIDAD VERMICULAR <input type="checkbox"/> PAG = POROSIDAD AGRUPADA <input type="checkbox"/> PA = POROSIDAD AISLADA <input type="checkbox"/> EA = ESCORIAS ALINEADAS <input type="checkbox"/> IE = INCLUSIONES <input type="checkbox"/> HL = DESALINEAMIENTO <input type="checkbox"/> Cir = CORDON IRREGULAR		<input type="checkbox"/> A = SOPLADURAS <input type="checkbox"/> B = INCLUSIONES <input type="checkbox"/> C = RECHUPES <input type="checkbox"/> D = GRIETAS <input type="checkbox"/> E = CORTES FRIOS <input type="checkbox"/> F = ACCESORIOS NO <input type="checkbox"/> G = OTROS		
NIVEL II: EDISSON GARZON LOPEZ  FECHA: JULIO 12 DEL 2018.		APROBADO POR EL CLIENTE:  FECHA: 12-07-18		APROBADO POR INTERVENTORIA  FECHA: Jul. 12/18		

Fuente: Cortesía de la empresa UTGN informe clúster 78

Por lo general el contratista sub-contrata este servicio para lo cual este debe informar a Ecopetrol, de lo contrario no puede ser abalado o aprobado, este procedimiento se debe realizar por el profesional pertinente con su registro pertinente, este registro o documento debe hacer parte del dossier de fabricación para asegurar la calidad de la línea.

En este control de calidad se debe realizar necesariamente una auditoria para garantizar que el procedimiento de soldadura cumple con lo exigido por Ecopetrol

• **Auditoria de calidad:** Durante la ejecución de los trabajos de soldadura se realizan auditorias de seguimiento para verificar y asegurar el cumplimiento de los indicadores de gestión de calidad. Durante esta auditoria se diligenciará la Lista de Chequeo de Evaluación Focalizada de soldadura según la especificación técnica EDP-F-044 de Ecopetrol, así mismo se realizan las auditorías necesarias cuando así sea requerido.

Con el fin de establecer un control de calidad los contratistas deben llevar completo registro de las actividades que garanticen a Ecopetrol la calidad de la línea, en este control se debe llevar un registro de la inspección visual de la soldadura para garantizar cumplimiento de la calidad, en la figura 17 vemos el control radiográfico que se le realizó a la junta (J3) también se observa de la interpretación de las juntas (J1) y (J3), catalogadas como "IE" (Inclusiones), dependiendo del grado de la inclusión se aprueba o rechaza; esta interpretación la debe estar proferida por el profesional pertinente para el caso debe ser un NEIS nivel 2 o superior y estar auditado por la interventoría, si fuera rechazado se debe reparar la junta sin perjuicio de costo para Ecopetrol y debe ser asumido por el contratista y seguir nuevamente el procediendo de aprobación.

Todas las certificaciones y documentaciones deben contar con el consecutivo y registro de identificación para el seguimiento de la línea, en el libro tubo debe coincidir los números de registro como la identificación de la línea, existen otras certificaciones que son de la fase final de la línea como son las pruebas de recubrimientos y de pruebas hidrostáticas, para elaborar el dossier constructivo por línea.

• **Requerimientos específicos:**

- La especificación del procedimiento de soldadura (WPS) se debe presentar para información a Ecopetrol.
- El contratista debe preparar y mantener actualizado un cuadro "Mapa Soldadura" para asegurar y controlar los procedimientos de soldadura utilizados.
- El ITP plan de pruebas e inspección del contratista y sus subcontratistas debe contener los criterios de aceptación o rechazo de soldadura y ensayos END según los códigos o especificaciones técnicas definidos por Ecopetrol.
- El contratista debe contar con un plan de calidad para la ejecución, control y supervisión de las actividades de soldadura y ensayos no destructivos.

- El piping class aplicable del proyecto debe estar definido y entendido por el contratista
- El contratista debe tener determinado la cantidad aproximada de juntas por diámetro, espesor y material y los registros deben estar disponibles.
- El contratista debe suministrar todos los certificados de los materiales MTR (Pipe, Fittings, Valves, Supports), metal de aporte (alambres y electrodos), consumibles de soldadura (Fundente, gas de protección y de respaldo).
- El contratista debe tener un reporte de inspección visual de cada una de las junta realizadas donde se identifique el número de la junta tamaño de la soldadura y aspecto visual libre de indicaciones relevantes, en caso de presentarse deben caracterizarlas con galgas y reportarlas.

Los formatos para desarrollar los WPS, PQR y WPQ de cada compañía deben cumplir con los mínimos requerimiento definidos en BPVC ASME IX 2017(última edición y adenda) y de más normas aplicables para ser aceptados por el grupo de control de calidad de Ecopetrol

4.1.2.3 Procedimientos para ensayos no destructivos. Ecopetrol define los requerimientos de las Especificaciones Técnicas De Construcción Para Ensayos No Destructivo, en el Código EDP-ET-104¹⁰, (ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DE CONSTRUCCIÓN PARA ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS) y debe ser de obligatoria consulta la cual define que para toda junta de producción debe inspeccionarse visualmente en todas y cada una de las etapas de su ejecución. Las fallas detectadas durante esta inspección deben corregirse para poder proseguir con su ejecución.

Se deberá presentar con anterioridad los procedimientos de END para su aprobación por parte de Ecopetrol, la especificación técnica a la que debe referirse es la VTE-PAS-P-MET-ET 005 Ensayos no destructivos de Ecopetrol y se indican a continuación

• **Método de Ensayos Radiográficos (RT)**¹¹. El contratista que realice las radiografías en la producción de soldaduras deberá preparar y presentar para

¹⁰ ECOPETROL. S.A. Especificación técnica de construcción para ensayos no destructivos. 21 septiembre 2017.

¹¹ ECOPETROL. S.A. Especificación técnica ensayos no destructivos. 22 junio 2017.

información de Ecopetrol., un procedimiento para inspección por radiografía, cumpliendo los requerimientos del código de diseño.

El personal deberá tener un dosímetro de película individual. El contratista proveerá mecanismos y avisos de peligro de radiación así como de aislamiento del área en la zona de ejecución del radiografiado.

La superficie de la junta será tratada removiéndose ondulaciones o irregularidades excesivas al grado en que la imagen resultante no oculte o confunda la imagen de los defectos. La superficie deberá encontrarse libre de escorias, salpicaduras, grasas o cualquier otro objeto que impida la inspección radiográfica.

Como películas Ecopetrol en sus especificaciones técnicas define, la película AGFA Structurix D7, con traslapes de mínimo 2 pulgadas. Tiempos y temperatura para el revelado serán ajustados al fabricante del reactivo utilizado. Las películas deben estar libre de defectos, maltratos, residuos químicos que puedan ocultar o confundir las imágenes de los defectos de las juntas soldadas. Películas que se presenten veladas, rayadas, manchas de agua o químicos, huellas dactilares, dobladuras, así como mal contacto entre película y pantalla que induzca a pérdida de detalle serán motivo de rechazo.

Las películas tendrán identificación que indique el nombre de Ecopetrol, No. de contrato, Fecha, No. de junta, m. Debidamente distribuidos de manera que no obstruyan la imagen de la soldadura.

La técnica radiográfica a utilizar será doble pared con presentación de una cara. Los tiempos de exposición serán determinados por el Técnico NST Nivel 3. Las radiografías serán interpretadas según API 1104, cuya evaluación y observación se debe hacer en negatoscopio de suficiente intensidad luminosa y con sistema anti calórico que evite deformación de la radiografía. Para las radiografías de reparaciones se agregara la letra R en las columnas de observaciones del reporte que incluirá los datos esenciales del ensayo. Así mismo, el criterio de aceptación o rechazo está dado por la norma aplicada.

El contratista debe efectuar un control radiográfico en los porcentajes dados o estipulados en los planos, de las juntas soldadas en línea según especificación técnica se exige que se realicen al 20% de las juntas. Dichas juntas serán seleccionadas por Ecopetrol y radiografiadas en un (100%) sobre la totalidad de la circunferencia.

• **Inspección de soldaduras por ultrasonido (UT).** El contratista que realice la inspección por ultrasonido en la producción de soldaduras deberá preparar y presentar para información de Ecopetrol un procedimiento para inspección, cumpliendo los requerimientos del código de diseño, este método es utilizado para la liberación de una junta cuando esta requiera de una soldadura de campo o la llamada “junta de oro” la cual solo debe de ser de una por línea y es permitida

como método de liberación o de aprobación de una junta en una línea previamente prefabricada en taller, esta junta es para bajantes de pozo en la bayoneta ya que no es estándar la altura del “arbolito” pues depende de muchos factores en la perforación e instalación del tubo director.

Para el examen ultrasónico UT, existe los métodos: de contacto y de inmersión. En el reporte se indicaran los valores máximos y mínimos que determinan el rango de aceptabilidad y tolerancias de cordones de junta, este tipo de inspecciones por lo general se realizan a las juntas que necesitan ser verificadas en campo ya que es un método de fácil consecución; pero por especificaciones técnicas de Ecopetrol el control que se lleva en las etapas constructivas es el de control radiográfico de las juntas y este método de examen será realizado como método de liberación de una junta en campo cuando la necesidad o se requiera por disponibilidad técnica

• **Inspección por Partículas Magnéticas (MT).** El contratista que realice la inspección por partículas magnéticas en la producción de soldaduras deberá preparar y presentar para información de Ecopetrol., un procedimiento para inspección, cumpliendo los requerimientos del código de diseño.

El método aplica para detectar discontinuidades superficiales y sub superficiales, la técnica usa campos magnéticos y partículas magnéticas para detectar fallas metalográficas por medio de este examen.

• **Inspección por Tintas Penetrantes (PT).** El contratista debe realizar inspección por tintas penetrantes a la totalidad de las juntas en la producción de soldaduras y deberá preparar y presentar para información de Ecopetrol, un procedimiento para inspección, cumpliendo los requerimientos del código de diseño.

En las especificaciones técnicas de Ecopetrol, especifica que el examen con tintas penetrantes es utilizado para localizar discontinuidades abiertas a la superficie en materiales no porosos. Este ensayo debe realizarse después del examen visual de juntas, sockolet y tuberías menores e iguales a 2” de diámetro. Para este examen encontramos dos tipos de tintas, una visible y otra fluorescente y ambas lavables o removibles con solventes.

La intervención por líquidos penetrantes sirve como método para detectar discontinuidades que se encuentran abiertas y se les aplica al 100% de las juntas soldadas en la línea de conexión, estas discontinuidades a detectar son:

- Porosidades
- Traslapes en frío
- Grietas

Los defectos detectados por cualquier método de END, deberán repararse y se informados a interventoría y grupo de calidad para que certifique su reparación y aprobación para liberar la línea, de lo contrario se detiene hasta que se normalice la situación.

Una junta puede repararse hasta dos veces; si continuo o persiste el defecto nuevamente, la junta deberá cortarse y reemplazarse por un tramo de tubería nuevo de mínimo 1 metro de longitud en la línea regular y el soldador debe ser recalificado en la WPS aplicada¹².

La aplicación de métodos de control de calidad END no necesariamente determina la liberación de una junta soldada y si el grupo de calidad exige otros métodos de ensayos destructivos el contratista debe estar en la obligación de realizarlos.

Cuando el número de juntas defectuosas sea igual o superior al diez por ciento (10%) de las pegas inspeccionadas por los END, tomadas en el muestreo realizado por Ecopetrol ésta ordenará la inspección por END de las soldaduras adicionales que juzgue conveniente en ese tramo del soldador que presenta los defectos. Cuando la junta sea necesario repararla después de la prueba de presión deberá ser radiografiada o por especificación y aprobación del grupo de interventoría podrá ser liberada por medio de la prueba por ultrasonido.

4.1.2.4 Procedimiento de prueba hidrostática. La prueba hidrostática de sistemas de tubería consiste en someterla a una presión interna la cual ha sido previamente definida. Mediante esta prueba es posible detectar en frío y en corto tiempo, fugas por uniones bridadas y/o deficiencias tanto en la resistencia de los materiales como en las soldaduras de los componentes expuestos a presión, para la especificación técnica se debe referir a documento de especificación técnica para prueba hidrostática (ECP-VIN-P-MET-ET-012), Guía Técnica para elaboración de pruebas hidrostáticas (ECP-VIN-M-MEE-GT-011).

Todas las tuberías de acero, sin limitación de ningún tipo, serán sometidas a la prueba de presión hidrostática, bajo la inspección y supervisión Ecopetrol, toda línea sin excepción debe contar con el registro de la prueba como de su aprobación para ser aceptada de lo contrario deberá ser evaluada en su conjunto.

• **Descripción de los trabajos.** Toda la tubería debe ser probada. Antes de iniciar se deberá presentar el procedimiento de la misma a Ecopetrol, en acuerdo con la especificación referenciada. El personal certificado, los equipos, la herramienta,

¹² ECOPETROL S.A. Especificación técnica de construcción para ensayos no destructivos CODIGO EDP-ET-104

instrumentos y todos los elementos necesarios para adelantar las labores de la prueba –limpieza, llenado, elevación, sostenimiento, despresurizado, vaciado y secado-, junto con sus registros son por cuenta del contratista¹³.

Todos aquellos requerimientos de seguridad y preparación están descritos en el documento de especificación técnica para prueba hidrostática (ECP-VIN-P-MET-ET-012) y el contratista debe seguir esta especificación técnica¹⁴

Previo a la realización de la prueba de presión hidrostática, se deberá asegurar el retiro o bloqueo de todos los dispositivos de alivio de presión, así como de los elementos que no sean capaces de soportar la presión de prueba. Una vez la prueba hidrostática haya sido completada, se deberán reinstalar o reactivar los dispositivos que fueron removidos o bloqueados para tal fin.

El personal a cargo o el inspector deberán tener en cuenta que en caso de que se detecten fugas durante la realización y/o inspección de la prueba hidrostática, por seguridad no es conveniente manipular o reapretar las conexiones y/o accesorios (tales como tuercas/espárragos, tapones de intercambiadores o de serpentines de hornos) durante las etapas de incremento de presión o mientras que estos componentes se encuentren sometidos a la presión final de prueba.

• **Requerimientos generales para la realización de pruebas hidrostáticas en sistemas de tubería.** Se debe referir a la Guía Técnica para elaboración de pruebas hidrostáticas (ECP-VIN-M-MEE-GT-011)¹⁵ de Ecopetrol.

Para los manómetros a emplear en el montaje de la prueba hidrostática deberán ser adecuados para el rango de presión en evaluación. El indicador de presión deberá tener un rango entre 1.5-4 veces el valor de la presión de prueba.

- Así mismo, el manómetro deberá poseer una identificación visible y vigente de su calibración, aún si este indicador de presión es nuevo. La fecha de vigencia de la calibración será de 1 año.
- El manómetro deberá estar ubicado en el punto más alto sobre el recipiente o sistema de tubería y, de ser posible, en posición vertical.

¹³ ECOPETROL S.A. Vicepresidencia De Innovación Y Tecnología Corporativo De Normas Y Estándares, Código ECP-VIN-P-MET-ET-012 Especificación Técnica Para Prueba Hidrostática 09/04/2014

¹⁵ ECOPETROL S.A. Vicepresidencia De Innovación Y Tecnología Corporativo De Normas Y Estándares, Código ECP-VIN-M-MEE-GT-011 Guía Técnica Para Elaboración de Pruebas Hidrostáticas en Tanques de Almacenamiento 15/11/2013

Las facilidades de venteo y drenaje utilizadas para el montaje de la prueba de presión hidrostática deberán estar ubicadas en los puntos más alto y más bajo (respectivamente) del sistema y/o del equipo a evaluar en la Figura 18 se visualiza el montaje del punto más alto del banco de prueba donde se ubican instrumentos y facilidades para la medición de temperatura, presión y línea del registrador de la prueba.

Figura 18 Banco de prueba con detalle del termómetro para prueba hidrostática



Fuente: El Autor

La presión de prueba no deberá ser aplicada hasta que el sistema de tubería y/o el recipiente y su contenido estén a la misma temperatura. Es recomendable que la temperatura del metal durante la prueba de presión no sea inferior a 16°C (60°F) y no supere los 49°C (120°F). Para garantizar una estabilidad térmica las pruebas se realizan en horas vespertinas o nocturnas ya que en el día las temperaturas sobre las superficies de la tubería pueden superar fácilmente los 49°C, para la prueba se debe garantizar una estabilidad térmica de por lo menos 4 horas para que esta sea satisfactoria, la variación de temperatura afecta la presión de prueba y esta debe mantenerse durante toda la prueba. El mayor valor de la presión de prueba nunca deberá sobrepasar el 6% del valor definido para la prueba de presión.

- **Plan de prueba hidrostática y registros.** Se debe listar las líneas a las que se les realizara la prueba hidrostática y registrar los datos de línea para la prueba; se deben registrar los cálculos teóricos y determinar el volumen de agua requerida para el proceso en la figura 19 este registro de la prueba hidrostática debe ser avalado previamente por el personal encargado de interventoría de Ecopetrol.

Figura 19 Registro de plan de prueba Hidrostática

		PLAN DE PRUEBA HIDROSTATICA		UT-F-86-036
				VERSION: 0
				20/03/2018
CONTRATO No:	3011686	OBJETO:	*CONSTRUCCIÓN DE OBRAS CIVILES, ELÉCTRICAS, MECÁNICAS E INSTRUMENTACIÓN REQUERIDAS POR ECOPEPETROL Y SU GRUPO EMPRESARIAL PARA LA VIGENCIA 2017-2020 CON OPCIÓN DE DOS AÑOS*	
LINEA / ISOMETRICO:	4"-PFL-78102-AB2A32-SP; 4"-PFL-78107-AB2A32-SP; 4"-PFL-78112-AB2A32-SP; 4"-PFL-78117-AB2A32-SP			
LONGITUD DE LINEA:	La longitud total de las tres líneas es 312 metros lineales con el avance de los accesorios.			
VOLUMEN TEORICO DE AGUA PARA LLENADO	2,5 m3 - 667,5 Galón - 2529,5 Litros			
PUNTO ALTO	756,3 psig			
PUNTO BAJO	687,5psig			
UBICACION DE CABEZALES	Multiple CL 78			
UBICACION DE INSTRUMENTACION	Banco de Prueba a 10 m alejados de los tres cabezales que se encuentran ubicados en el multiple.			
UBICACION DE EQUIPOS DE PRUEBA	10 metros alejados de los tres cabezales de prueba que se encuentran ubicados en el multiple.			
DESCRIPCION DE LLENADO	La fuente del agua de prueba fue captada cluster 70			

Fuente. Cortesía de la empresa UTGN informe prueba hidrostática clúster 49

Se debe realizar el listado de chequeo de la prueba y debe certificarse en el formato adecuado avalado por el grupo de interventoría el cual debe estar acorde al plan de la prueba donde se identifique las líneas a probar. Ya que este procedimiento requiere de una preparación especial y de un tiempo requerido condicionado por condiciones ambientales, los contratistas por facilidad de las dos partes realizan esta prueba a varias líneas de forma simultánea y es totalmente valido, el requerimiento es que se deben relacionar todas las líneas a probar en los formatos correspondientes y que una prueba hidrostática valida es para el grupo de líneas y no de forma parcial para cada línea

La prueba debe contar con registro de limpieza interna para garantizar el retiro de los materiales sólidos y contaminantes que puedan afectar su desempeño durante la vida útil de la tubería esta limpieza se denomina “flushing” y corresponde a una de las labores de pre-comisionado del activo.

• **Alistamiento de la línea para la prueba hidrostática.**

1. Punto para instalar el cabezal de prueba
2. Puntos más altos para venteos de cada una de las líneas que entran en prueba hidrostática.
3. Realizar el torque uniones bridadas, para hermetizar el tramo de línea a probar; mediante bridas ciegas y/o paletas.
4. Retirar de la línea o no incluir en prueba aquellos elementos que no deben entrar en prueba de presión, tales como: válvulas cheques (ó retirar lengüeta), válvulas de diluvio, válvulas de control, filtros, instrumentos, etc.
5. Establecer el punto de llenado del sistema a probar. y si requiere de medidor cuenta galones, cuando, el volumen de agua supera los 6 Metros cúbicos.
6. Lugar del punto de inyección y presurización del agua se realizará por la facilidad del cabezal de prueba ubicado en el múltiple.
7. El agua de la prueba de presión deberá ser de piscina y provista por carro tanques y la motobomba debe de estar libre de impurezas y material orgánico, y el PH entre 7 y 8.

• **Lista de chequeo para prueba hidrostática.** Se realiza un check list de la prueba con el personal encargado de la prueba con el aval de interventoría de Ecopetrol y se registra en el formato de lista de chequeo de la prueba. Formato UT-F-86-039 correspondiente a cada paso de las actividades. (Figura 19)

• **Limpieza interna de la tubería.** La limpieza interna de la tubería se realizará antes y después de realizada la prueba hidrostática donde se realizará de la siguiente manera:

1. Flushing con agua e inyección de aires a 30 PSI con rompimiento de geomembrana a cada línea.

2. Alistamiento de la línea para realizar la limpieza por medio (blow down con aire) para líneas menores o iguales a 12"

• **Llenado de la línea.** Se debe registrar el paso a paso del procedimiento del llenado de la línea asegurando el purgado y verificar la liberación de baches de aire mediante los venteos de las líneas ubicadas en los puntos altos y bajos de la línea.

Pasos de llenado:

- Volumen de agua a requerirse para la prueba.
 - Realizar el venteo por el ó los puntos más altos (Facilidades soldadas de y/o en brida ciega instalada en uno de los extremos de la línea)
 - Delimitar con cinta y avisos de peligro las áreas involucradas en la prueba
 - Colocar personal supervisor HSE
 - Instalar una motobomba de llenado que será alimentada por el carro tanque
 - Alistado de manguera de llenado que alimentará las líneas hasta que queden totalmente empaquetadas, asegurando el venteo en el punto del múltiple
- **Estabilización Térmica.** Una vez terminado el llenado de la tubería y antes de iniciar el proceso de presurización se llevara un registro de temperatura y presión cada 30 minutos (medido en la termocupla instalada a 30,4 ft de la cabeza de prueba), en un periodo mínimo de 4 horas y se considera aceptable cuando la diferencia entre las dos últimas lecturas de temperaturas no superen 1 °C. La estabilización térmica se realiza una vez se ha efectuado el llenado con un tiempo aproximado de 2 horas como máximo.
- **Presurización de la línea.** Para la presurización de la línea requiere:
- Ecopetrol y por medio de la interventoría libere el sistema a probar, una vez verifique que se ha realizado el desalojo del aire atrapado en el sistema y cuando estén dadas las condiciones técnicas y condiciones de seguridad establecidas.

- Seguir el procedimiento general de prueba hidrostática Aprobada en los registros de Ecopetrol
 - Una vez se haya realizado los respectivos venteos y de estar seguros de la ausencia de aire en la línea, se instalarán los tapones en las facilidades de venteo con las válvulas en posición abierta; para iniciar el proceso de presurización.
 - Registro de las etapas de presurización. Se realiza con un transmisor indicador de presión
 - Registro de la temperatura, con un transmisor de temperatura
 - Tiempo de presurización se realizará 3 etapas de acuerdo a lo establecido en la ficha técnica.
- **Ensayo Pulsatorio.** Durante la presurización, la cual se debe hacer gradualmente, se recomiendan periodos de estabilización en un mínimo de 15 minutos en los cuales, entre las dos últimas lecturas de temperaturas la diferencia no debe superar 1 °C. Como se indica en la Figura 20, los puntos en los que se pueden realizar estas verificaciones son al 25%, 50% y 75% de la presión de prueba hidrostática para los que se tienen n periodos de estabilización.
- **Prueba “test” de aire.** Para los tramos de tubería, en los que existan puntos intermedios ubicados más altos que las cabezas de instrumentación se requiere verificar la existencia de aire en la sección de prueba para lo cual, la cantidad de aire residual deberá ser menor al 0.2% del volumen de líquido dentro de la sección.

$$\% \text{ Contenido de Aire} = (\text{Volumen Medido} / \text{Volumen Teórico de la Línea}) \times 100$$

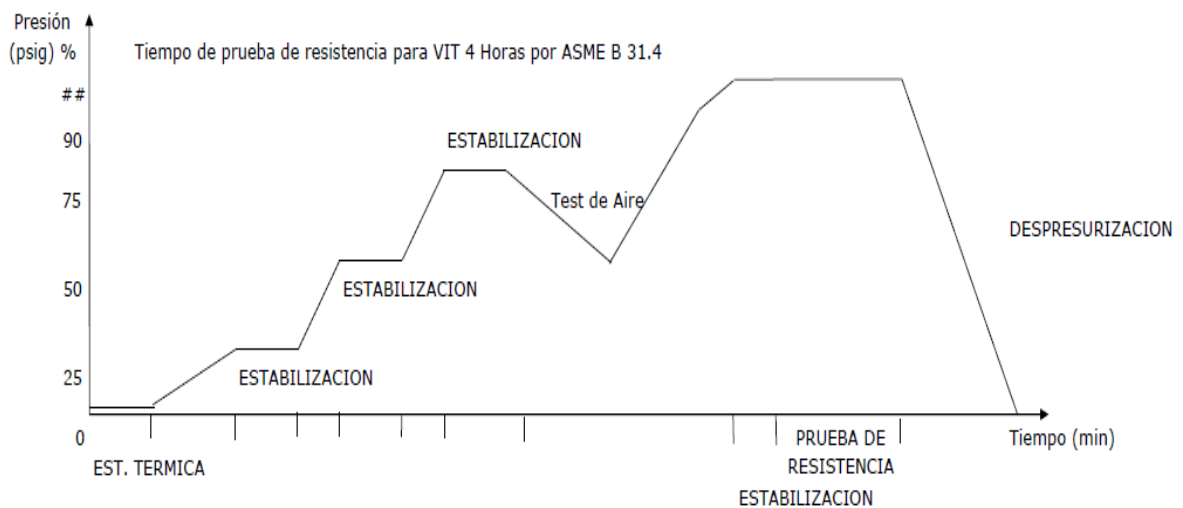
Se continua presurizando hasta el 75% de la Presión de Prueba, una vez se ha alcanzado el 75% de la Presión de Prueba se mantiene por un periodo de 2 horas, con lecturas cada 15 minutos. Después de la estabilización al 75% de la Presión de Prueba, El test de aire deberá realizarse de la siguiente manera:

- Una vez se ha logrado la estabilización al 75% de la presión de prueba, se procede llenar un recipiente tarado extrayendo una muestra del volumen de agua, hasta obtener un descenso de 30 psi en la presión de a prueba. El volumen obtenido se compara con el definido por la ecuación de % Contenido de Aire anteriormente descrita

- Cuando el valor del Test de Aire sea aceptable, se despresuriza hasta el 50% de la presión de prueba y se vuelve a presurizar nuevamente hasta que se alcance la presión al 95% de la presión de prueba y se mantiene por 30 minutos, entonces la presurización debe continuar hasta la Presión de Prueba Final Especificada a una Rata de Presurizado menor a 7 psig/min. (Ver Figura 21 Secuencia de Presurización de tuberías para prueba hidrostática)

- **Prueba de Resistencia.** Inmediatamente después de efectuar el test de aire y se ha despresurizado hasta el 50%, se procede a presurizar hasta el 100%, en este punto se realiza un periodo de estabilización y se procede a la prueba de resistencia de acuerdo al ASME B 31.3 numeral C437.4.1, ASME B 31.4 numeral C437.4.1., ASME B 31.8 numeral C437.4.1.

Figura 20 Secuencia de Presurización de tuberías para prueba hidrostática.



Fuente: ASME B 31.4

Se debe iniciar con una velocidad de 3 pies/seg hasta alcanzar un máximo de 20 pies/seg y luego para finalizar bajar a una velocidad de 3 pies/seg.

Antes de comenzar las pruebas, se deben instalar nuevas hojas en los registradores de presión y temperatura de manera que toda la prueba quede en la misma tabla. El responsable de la prueba debe registrar la hora, la temperatura del tubo, la temperatura ambiente y las lecturas de presión de peso muerto en los se debe llevar formatos al comienzo de la prueba en el formato “Reporte de Prueba de Resistencia Hidrostática”, del Responsable de las Pruebas. Se debe repetir el registro de estas lecturas cada 15 minutos durante las primeras 2 horas de la prueba y cada 30 minutos durante el resto de la prueba.

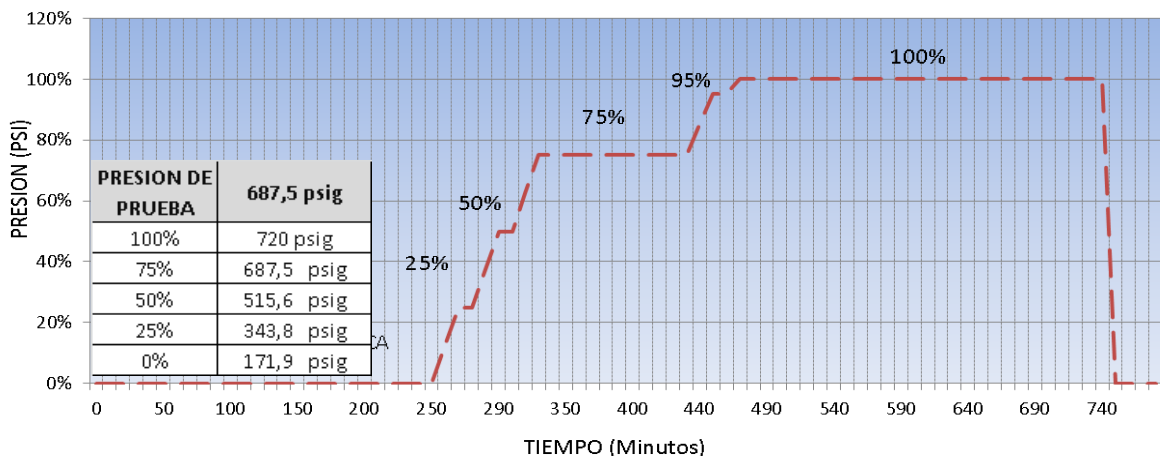
Cuando se drena o se agrega un volumen de agua para mantener la presión mínima de prueba, se debe registrar la siguiente información:

- Volumen
- Hora
- Temperatura del tubo
- Temperatura ambiente

• **Inicio de la prueba hidrostática.** Finalizado el llenado de la tubería y su correspondiente purga, se ejecuta la estabilización térmica que consiste en dejar reposar el agua durante 4 horas. Tomando registros cada 30 minutos de temperatura en T1 Y T2, T3 y T4, T5 y T6, donde se buscaba obtener valores con una diferencia máxima de 1°C entre los termómetros instalados en la tubería y los ubicados en el cabezal de prueba, de acuerdo a la especificación EDO-ET-126. Pasado el tiempo de estabilización térmica, se inicia la prueba hidrostática con una serie de presiones y se comprueba la estabilidad térmica

• **Registro de sostenimiento presión.** Se procede a la rampa de presurización como se puede ver en la figura 21 de la secuencia de Presurización de la prueba hidrostática al 25%, 50% y al 75% en esta se inicia un tiempo de sostenimiento inicial al 75% presión de prueba durante un periodo de estabilización de 2 horas. Se procede a verificar la ausencia de fugas en el sistema para poder continuar con la prueba de resistencia y elevar la presión a 95% presión de prueba, y se tiene un tiempo de sostenimiento de 15 minutos.

Figura 21 Secuencia de Presurización de las líneas del clúster 49



Fuente: cortesía de la empresa UTGN informe prueba hidrostática clúster 49

Luego se aumenta a una presión del 100% presión de prueba, durante un periodo de estabilización de 4 horas.

Durante el periodo de presión al 50% de prueba se deben verificar las fugas se acostumbra a utilizar agua jabonosa para revisar una posible fuga si se evidencia goteo el grupo de interventoría junto con el supervisor de la prueba pueden detener la prueba y despresurizar la línea para verificar sellado hermético, si la línea no presenta escape se procede con la prueba y se registra, figura 22

Para que la prueba hidrostática sea satisfactoria la presión de estatización se debe mantener por un tiempo de 4 horas, el registro de la carta como se ve en la Figura 22, es para temperatura 70°F y con una presión de estabilización de 700 PSI que se mantuvo desde las 4 Am hasta las 8 AM, sin caídas de presión la carta se debe guardar y avalar como registro de la prueba y construcción del dossier constructivo, para el registro de la prueba hidrostática

• **Vaciado de las líneas.** Una vez terminada la prueba, se procede a realizar el vaciado de la línea. Se conectará el compresor en la parte del múltiple y se vaciara por el punto más bajo que está ubicado en la caja de válvulas este método se realizará por medio de inyección de aire hasta que no emane agua en el otro extremo.

Figura 22 Imagen del registro de la prueba en un equipo marca BARTRON

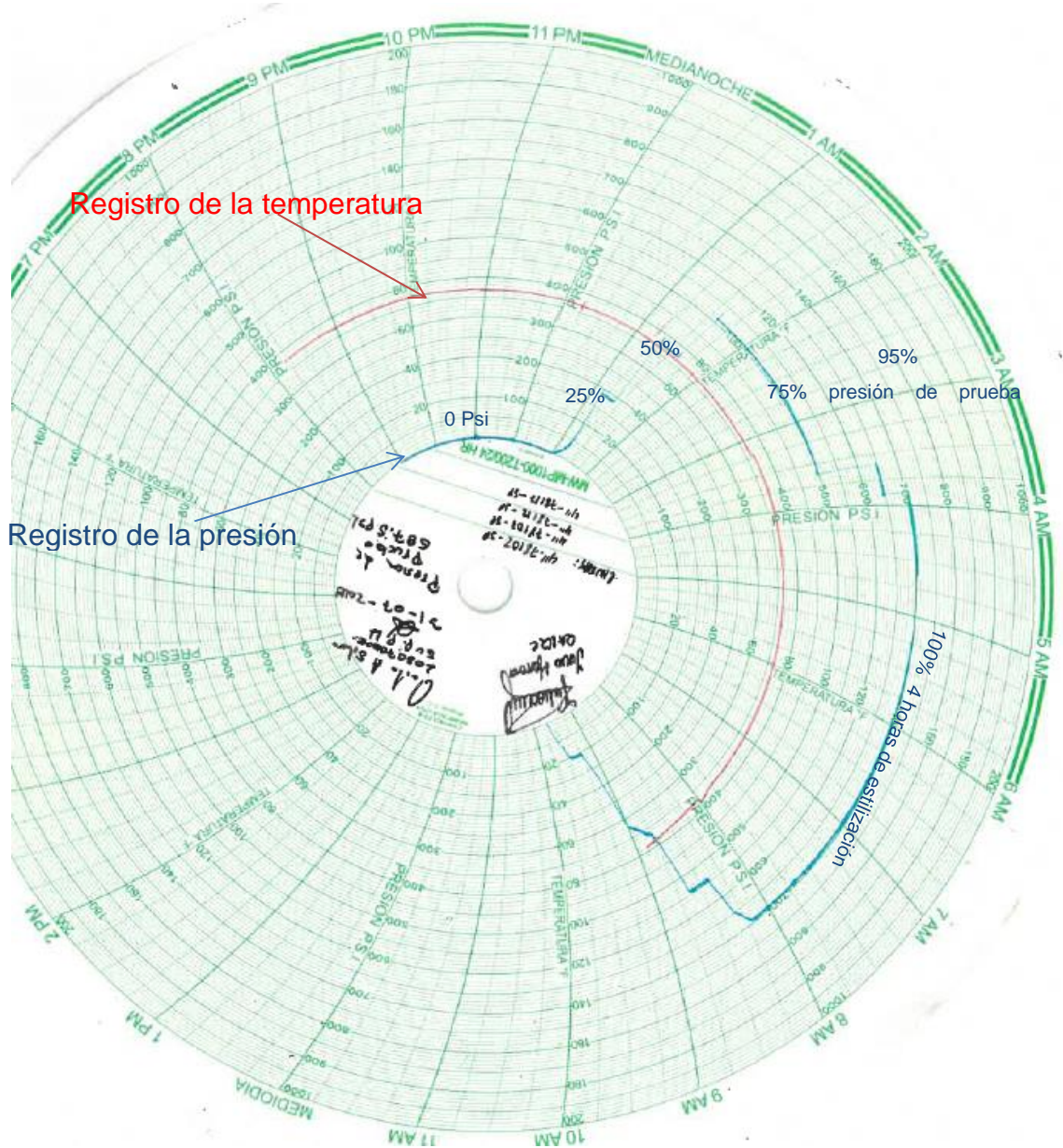


Imagen cortesía de la empresa UTGN informe prueba hidrostática clúster 49

4.1.3 (TERCERA ETAPA) Fase de final de fabricación. Para la etapa final de prefabricación se realiza el esquema de limpieza y de recubrimientos, en esta etapa se deben haber aprobado todas las anteriores fases ya que al recubrir la pieza ya no se debe realizar acciones que afecten la protección si es necesaria una reparación de una soldadura se debe contar con la inspección y pruebas antes mencionadas y realizar reparación del recubrimiento, es de mencionar que

esta y todas las etapas requieren la gestión documental requerida para construir el dossier constructivo de la pieza como registro para futuras intervenciones o garantías, se debe referir a las especificaciones técnicas de Ecopetrol “Especificación Técnica Para La Aplicación De Recubrimientos A Estructuras Metálicas Asociadas A Equipo Estático” Código CNE ECP-VIN-P-MAT-ET-011, Instructivo Para Evaluación De Espesores De Película Seca De Recubrimientos Orgánicos CÓDIGO GTN-I-681, Especificación Técnica De Recubrimientos FBE Para Operación En Alta Temperatura (95°C A 150°C) Aplicados En Planta Sobre Tubería De Acero Al Carbono Código CNE ECP-VIN-P-MAT-ET-014, las actividades para esta etapa son:

- Preparación de superficie
- Pintura / recubrimientos Inspección final: visual / dimensional
- Ensayos no destructivos finales
- Pruebas:
 - Holyday
 - Anclaje y de espesores
 - Adherencia
- Revisión del marcado y código de colores
- Plan de control de calidad (inspecciones y pruebas)

Y los procedimientos básicos para esta etapa son:

- Procedimiento del esquema de limpieza
- Procedimiento de recubrimientos y acabados

• **Preparación de superficie.** El operador de Sandblasting revisa el estado de los equipos, accesorios y material verificando que la arena este seca y exenta de limos y arcillas, se debe verificar el grado de limpieza visualmente y se toma el perfil de anclaje, este valor se registra en la bitácora o en el Formato de “Sandblasting y Pintura”.

La preparación de superficie para tubería revestida con FBE, se le efectuará un arenado ligero hasta lograr un perfil de anclaje de 1 mil. La frecuencia de la toma del perfil de anclaje se hará por superficie preparada.

Para las juntas y accesorios se realiza un sandblasting con chorro de arena a presión hasta obtener un grado de limpieza SSPC-SP10 y un perfil de anclaje de 2 – 2.5 mils. La frecuencia de la toma del perfil de anclaje se hará por superficie preparada.

Después de ejecutada esta actividad se debe diligenciar el Formato Informe diario, para registrar el avance de la misma.

Una vez terminado el Sandblasting se efectuará el primer pase de pintura para evitar oxidaciones o contaminación del área preparada, de lo contrario se deberá proteger las piezas con un manto aislante con el fin de protegerlo de la acción de la humedad del ambiente.

• **Reparaciones.** A las áreas que requieren reparación en el recubrimiento existente se les realizara una limpieza SSPC-SP-3 la cual se realizara con grata mecánica por medio de una pulidora, verificando que el área quede libre de impurezas. Posteriormente se le dará perfil de anclaje con un lijado por medio de lija 80. Garantizando el traslape de 2" sobre el revestimiento existente.

• **Desarrollo de la actividad de limpieza.** En el desarrollo de la actividad se debe verificar los controles de seguridad e higiene como los procedimientos a seguir y se debe verificar las siguientes condiciones ambientales

- Humedad relativa no debe superar el 85%.
- La diferencia entre la temperatura del metal y la temperatura del punto de Rocio debe ser mayor a 3°C.
- No pueden existir precipitaciones o lluvia que mojen la superficie.
- Condiciones ambientales según fabricante (para el esquema de pintura)

• **Limpieza de superficie.** En la limpieza de superficies metálicas para las tuberías suministradas por Ecopetrol en líneas de conexión sin recubrimiento se les realiza un esquema **SSPC-SP-10** y para la preparación de las superficies para reparaciones o con recubrimiento se realiza **SSPC-SP- 2** y **SSPC-SP-3** y se describen a continuación:

SSPC-SP-2 (Limpieza con herramientas manuales): Se prepara la superficie por medio de herramientas manuales (cepillos manuales, lijas, etc) para eliminar impurezas y pequeñas imperfecciones, se utiliza también como método de reactivación y dar anclaje al esquema de pintura en reparaciones o cuando el grupo de calidad así lo exija

SSPC-SP-3 (Limpieza con herramientas manuales mecánicas): se utiliza como para la preparación de superficie o limpieza utilizando herramientas eléctricas o

neumáticas de mano, también se utiliza como método de activación para dar anclaje a reparaciones de recubrimiento en líneas.

SSPC-SP-10 (Limpieza con chorro al metal casi blanco): Limpieza con Chorro al Metal casi blanco hasta que al y la norma exige que al menos el 95% de la superficie esté libre de impurezas y suciedades.

4.1.3.1 Procedimiento y esquema de limpieza. Antes de realizar cualquier actividad se le debe presentar a Ecopetrol el procedimiento que deberá certificarse por Ecopetrol y este procedimiento presentando debe estar en concordancia con lo descrito por el fabricante para su uso como procediendo de recubrimiento.

Para el procedimiento de limpieza y de pintura se debe contar con el personal calificado para tal fin y son básicamente los siguientes:

- Coordinador de actividad
- Supervisor
- Operador de equipo
- Personal HSE

4.1.3.2 Procedimiento de recubrimiento y pintura. El procedimiento de aplicación del recubrimiento debe estar sujeto a las indicaciones del fabricante, este debe cumplir con los requerimientos existentes para la temperatura del campo castilla y chichimene que es mayor a 70°C.

El esquema de pintura debe estar acorde a este criterio para lo cual la base para este procedimiento es la Especificación Técnica De Construcción Para Preparación De Superficie Y Aplicación De Pintura Para Tuberías Desnudas¹⁶, Código EDP-ET-115, Especificaciones Técnicas Para La Aplicación De Recubrimientos En Tuberías Aéreas Y Exterior De Tanques, Vasijas Y Recipientes A Presión A Temperaturas En Operación Entre 70 Y 120 °C Código CNE: ECP-VIN-P-MAT-ET-003¹⁷ de 22/03/2012 el cual especifica esquemas de más de 70°C, se debe cumplir con el código de colores y demarcaciones apropiadas y

¹⁶ ECOPETROL S.A. Vicepresidencia De Innovación Y Tecnología Corporativo De Normas Y Estándares, EDP-ET-115 Especificación Técnica De Construcción Para Preparación De Superficie Y Aplicación De Pintura Para Tuberías Desnudas 21/09/2017

¹⁷ ECOPETROL S.A. Vicepresidencia De Innovación Y Tecnología Corporativo De Normas Y Estándares, Especificaciones Técnicas Para La Aplicación De Recubrimientos En Tuberías Aéreas Y Exterior De Tanques, Vasijas Y Recipientes A Presión A Temperaturas En Operación Entre 70 Y 120 °C Código CNE: ECP-VIN-P-MAT-ET-003 de 22/03/2012

aprobadas por Ecopetrol sobre la guía sobre código de colores y señales industriales Código ECP-DHS-G-009¹⁸. Así mismo se debe referirse a la especificación técnica Especificación técnica para suministro y aplicación de pintura en tuberías y equipos, CÓDIGO CNE VEP-GDT-P-MEE-ET-007

- **Sistema de recubrimiento.** Para la protección de estructuras nuevas o para mantenimientos generales, se deberán utilizar las alternativas de recubrimientos indicados de la tabla 1 (Sistemas de Recubrimiento según Agresividad del Medio Ambiente a la que está Expuesta la Infraestructura) y de la tabla 2 (Sistemas de Recubrimiento), obtenidas a partir de la norma ISO 12944-5, estudios previos de recubrimientos y experiencias del equipo de trabajo. Para la identificación de las líneas la capa de acabado y en la identificación de equipos y tuberías se debe tener como referencia la especificación técnica ECP-DHS-G-009, y en esta se define el tipo de color a utilizar de acuerdo al fluido que circula por la línea, para el caso de la líneas de conexión debe ser en color gris.

Tabla 1 Sistemas de Recubrimiento según Agresividad del Medio Ambiente a la que está Expuesta la Infraestructura

INFRAESTRUCTURA	AMBIENTE*				
	Urbano	Rural	Industrial Bajo	Industrial Medio	Industrial Alto
Techo Tanques	A1	A1	A1, A2	A2, A3	A3
Cuerpo Tanques	A1	A1	A1, A2	A2, A3	A3, A4
Tubería Planta	A1	A1	A1, A2	A2	A2 A3
Tubería regular	A1	A1	A1, A2	A1, A2	A2
Tanques y tuberías con aislamiento térmico	A5	A5	A5	A5	A5

*Según la clasificación de la norma ISO 12944-2

Fuente: Ecopetrol (ECP-VIN-P-MAT-ET-003)

¹⁸ ECOPETROL S.A. Vicepresidencia De Innovación Y Tecnología Corporativo De Normas Y Estándares, ECP-DHS-G-009 Código de Colores y Señales Industriales. 21/09/2017

Tabla 2 Sistemas de Recubrimiento

A1	A2	A3	A4	A5
Epóxico: 6 mils	Silicato de Zn: 3 mils	Inorgánico de Zn: 3 mils	Inorgánico de Zn: 3 mils	Epoxizinc: 6 mils
Poliuretano: 3 mils	Epóxico: 6 mils	Epóxico: 6 mils	Epóxico: 6 mils	
	Poliuretano: 3 mils	Poliuretano: 3 mils	Polisiloxano: 3 mils	

Fuente: Ecopetrol (ECP-VIN-P-MAT-ET-003)

• **Desarrollo de la actividad de recubrimiento y pintura.** El recubrimiento se realizará con pintura epóxico según requerimiento en especificaciones técnicas de Ecopetrol o según lo consignado en bitácora.

Una vez realizada la preparación de la superficie y dependiendo de las condiciones meteorológicas del momento se procede a aplicar la pintura con equipo de rocío, se aplicará la pintura hasta alcanzar un espesor de película seca según especificaciones técnicas. Revisión de espesor con equipo calibrado.



La primera capa se aplicará una vez terminada la limpieza y esta no puede ser superior a 3 horas tiempo en el cual se deberá repetir la limpieza para garantizar el sustrato, las condiciones ambientales deben ser las adecuadas para la aplicación del recubrimiento (temperatura superficial este al menos 3°C por encima del punto de rocío, humedad relativa menor al 85% y condiciones específicas de aplicación de cada producto)¹⁹. La ejecución de las diferentes capas debe estar acorde al producto y especificaciones del fabricante en cuanto a los espesores por capa y el tiempo de secado entre estas, el espesor de película seca final, los porcentajes de dilución, entre otros.

Todas las superficies deben estar secas y limpias, antes de la aplicación de la pintura, la aplicación del esquema de pintura está determinado por el fabricante y puede ser con brocha, rodillo o por aspersion, se debe certificar el procedimiento y estar avalado por Ecopetrol.

No se debe realizar aplicación de recubrimientos en condiciones atmosféricas adversas o cuando la humedad relativa sea muy elevada lo que puede generar condensación sobre la línea. No se debe aplicar ninguna pintura cuando la temperatura atmosférica sea menor de 40°F, o mientras la superficie que va a ser pintada esté por encima de los 150°F.

¹⁹ ECOPETROL S.A. Especificación técnica para la aplicación de recubrimientos a Estructuras metálicas asociadas a equipo estático CÓDIGO CNE: ECP-VIN-P-MAT-ET-011

Figura 23 Registro de perfil de anclaje medido con Rugosimetro

		REGISTRO DE PERFILES DE ANLAJE		UT-F-86-40
				VERSIÓN : 0
				20/03/2018
'CONSTRUCCIÓN DE OBRAS CIVILES, ELÉCTRICAS, MECÁNICAS E INSTRUMENTACIÓN REQUERIDAS POR ECOPETROL Y SU GRUPO EMPRESARIAL PARA LA VIGENCIA 2017-2020 CON OPCIÓN DE DOS AÑOS'				
CONTRATO No.:				REPORTE N°: <u>23</u>
LINEA/ISOMETRICO:		<u>4"-PFL-78117-AB2A32-SP</u>		
PREPARACION DE SUPERFICIE:		<u>SP10</u>		FECHA: <u>14/07/2018</u>
JUNTA	ABCISA (KIM)	REGISTRO	VALOR (mils)	OBSERVACIONES
J3	N/A		2,6	HORA: 09:20 am HUMEDAD RELATIVA: 63,8 Ta=33,2 °c Tmetal=32,6°c GRADO DE LIMPIEZA: SP 10 EQUIPO UTILIZADO: Rugosimetro PosiTector

Fuente: cortesía de la empresa UTGN registro de pruebas de adherencia clúster 78

Una vez realizado el procedimiento de la limpieza de la tubería y las condiciones están dadas para la aplicación del esquema de recubrimientos se registra las pruebas de anclaje como el observado en la figura 23, donde en las observaciones se anotan todos los datos específicos necesarios para ser aprobado. En la figura 23 (registro de perfil de anclaje) se observa que el anclaje es de 2,6 mils, y el procedimiento para obtener este grado de anclaje en el esquema de limpieza se realizó por medio de sandblasting con chorro de arena a presión hasta obtener un grado de limpieza SSPC-SP10 y un perfil de anclaje de 2 – 2.5 mils según las especificaciones técnicas de Ecopetrol.

La especificación técnica a la cual debe referirse el contratista es la EDP-ET-117 "ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DE CONSTRUCCIÓN PARA PREPARACIÓN Y PINTURA DE SUPERFICIES METÁLICAS" y ECP-VIN-P-MAT-ET-002 "APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS EN TUBERÍAS AÉREAS EXTERIOR TANQUES, VASIJAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN A TEMPERATURA OPERACIÓN 70 °C", además las indicadas en el presente documento como referencia y base de reglamentación para los contratistas.

- **Aplicación de la Pintura por Rociado (Spray).** La utilización de equipos de rociado debe estar calibrado y en óptimas condiciones para que no genere traslapes de pintura, debe contar con los respectivos medidores que permita calibrar la presión de adecuada.

La pintura se aplica en una capa uniforme y sin excesivos traslapes como se observa en la figura 24. La boquilla de atomización se ajusta de forma que la pintura sea aplicada de manera uniforme. Este método debe estar acorde a lo especificado por el fabricante, y deben ser adjuntadas para verificar el correcto procedimiento de aplicación

Figura 24 Acabado y recubrimiento de bajante de pozo



Fuente: El Autor

En este tipo de aplicación, de debe cumplir con las recomendaciones de fabricante mezclando los componentes en porcentajes según ficha técnica de la pintura, la cantidad de solvente a usar igualmente debe ser la recomendada y en las cantidades del fabricante de la pintura, la temperatura de pintura y la técnica de aplicación deben ser las designadas, por lo que se formula y planea adecuadamente el proceso para cada aplicación en particular.

- **Reparaciones de pintura.** En campo en las áreas para Reparaciones se demarcara asegurando mínimo 2” de traslape del punto de reparación hacia el recubrimiento en buen estado, se aplicara el revestimiento con brocha de cerda animal.

El control QA/QC o en su defecto el aplicador debe verificar los espesores de película húmeda para controlar el espesor de película seca. Se realizara el aseguramiento con las mediciones de condiciones ambientales, perfil de anclaje, espesores, adherencia y medición de discontinuidad con equipo “Holiday Detector” durante el desarrollo de la actividad.

- **Revisión del marcado y código de colores.** Ecopetrol define en su especificaciones técnicas el marcado y los colores que se deben utilizar para identificar las líneas ya que dependiendo del fluido transportado deberán identificarse por medio de colores distintivos y se debe referir al documento ECP-DHS-G-009, Código de Colores y Señales Industriales

- **Plan de control de calidad (inspecciones y pruebas).**

- La pintura debe recibirse en recipientes sellados con la aprobación por el equipo de calidad y debe almacenarse bajo cubierta en las condiciones fijadas por el fabricante.
- No es recomendada la aplicación de pintura cuando la temperatura atmosférica sea menor de 40 °F
- La verificación de espesores en las pinturas y recubrimientos. Se debe utilizar para la evaluación del espesor del recubrimiento en seco un medidor de espesores, el protector 6000, al menos una prueba por cada 9 m2 y en sentido horario por las cuatro caras 12 – 3 – 6 - 9.
- Para la verificación de la Adherencia el valor mínimo de adherencia al metal base entre pinturas y del sistema total de pintura, para aceptación, es de 900 PSI, y su verificación según norma ASTM D4541, esta prueba destructiva consistirá de 3 ensayos para áreas menores de 100 m2 y para áreas más grandes un ensayo por cada 100 m2 adicionales, en la Figura 25(registro de prueba de adherencia), vemos una prueba denominada pull off con resultados de 1650 PSI con falla de pegante o razón del desprendimiento del dado de la prueba.
- La presencia de porosidades o discontinuidades, se verificaran mediante el detector “Holiday Detector”. La tensión que se deberá aplicar en la prueba

con el “Holiday Detector” con voltaje de 1500 voltios a 30 cm/s en un solo sentido.

- Se debe inspeccionar visualmente la pintura para verificar el cumplimiento del acabado superficial del sistema de pintura, no debe estar mareado o con empolladuras.

Figura 25 Registro de prueba de adherencia

UTGN		REGISTRO PRUEBAS DE ADHERENCIA			UT-F-86-41	
					VERSIÓN: 0	
					20/03/2018	
OBJETO:	"CONSTRUCCIÓN DE OBRAS CIVILES, ELÉCTRICAS, MECÁNICAS E INSTRUMENTACIÓN REQUERIDAS POR ECOPETROL Y SU GRUPO EMPRESARIAL PARA LA VIGENCIA 2017-2020 CON OPCIÓN DE DOS AÑOS"				REPORTE No.:	
LINEAISOMETRICO:	4"-PFL-78102-AB2A32-SP; 4"-PFL-78107-AB2A32-SP; 4"-PFL-78112-AB2A32-SP; 4"-PFL-78117-AB2A32-SP; 4"-PFL-78122-AB2A32-SP; 4"-PFL-78127-AB2A32-SP; 4"-PFL-78132-AB2A32-SP.					
METODO:	Pull - Off		TIPO DE PINTURA:	HEMPADUR 87540		
JUNTA	ABCISA(KM)	REGISTRO			RESULTADO (PSI)	OBSERVACIONES
N/A	N/A				1.650	100% PEGANTE

Fuente: Cortesía de la empresa UTGN registro de pruebas de adherencia clúster 78

- **Controles durante la aplicación del recubrimiento.** El proceso de aplicación de pintura, será realizado solamente en ambientes secos o ambiente controlados. La aplicación de recubrimiento, se efectuará bajo condiciones adecuadas de temperatura y humedad relativa, de modo que la temperatura superficial esté al menos 3°C por encima del punto de rocío y la humedad relativa menor de 85%. Este control se llevará a cabo usando termómetros de superficie, bulbo seco y

bulbo húmedo y carta psicométrica, o así mismo termo-higrómetros electrónicos certificados²⁰.

- **Control Visual:** Se efectuará durante la aplicación de pinturas y con posterioridad a la finalización del sistema. El coordinador de la actividad deberá registrar las imperfecciones y se deberá repetir el proceso de recubrimientos si el defecto es visible.

- **Control de Espesores:** Para la medición del espesor de película húmeda se utilizan galgas. Para la medición de espesor de película seca, se utilizarán medidores de espesor por inducción magnética para sustratos ferrosos, de acuerdo a la norma SSPC-PA-2. El espesor de película seca, debe estar dentro del rango de espesor total citado en la tablas 2 y 3.

Adherencia de la película seca de la pintura de imprimación, de imprimación más barrera y del sistema total con equipo mecánico, tres (3) lecturas en la estructura y/o probetas preparadas y aplicadas en paralelo con la estructura por área/día. De encontrarse un valor de adherencia en las probetas por debajo de 1000 psi se tomarán lecturas adicionales; estas lecturas deben ser de 1000 psi, según norma ASTM D4541 método de prueba de resistencia al desprender recubrimientos usando un probador mecánico portátil de adherencia. Las pruebas de adherencia deben estar abaladas por el control de calidad de Ecopetrol y deben ser certificadas.

- **Ensayo de Porosidad o Discontinuidad Eléctrica:** El ensayo se efectuará sobre sistemas de recubrimiento aplicado ya curado. Para ductos se efectuará sobre el 100% del área, de acuerdo con la norma ASTM G-62. Para la medida de pago se debe referir a la Especificación Técnica De Construcción Para Preparación De Superficie Y Aplicación De Pintura Para Tuberías Desnudas Código EDP-ET-115²¹

4.1.4 (CUARTA ETAPA) Elaboración de formatos HC1 y dossier constructivo. Para cada línea se debe entregar el dossier constructivo y en este se deben relacionar todas las certificaciones y formatos de pre-comisionamiento

²⁰ ECOPETROL S.A. Especificación técnica para la aplicación de recubrimientos a estructuras metálicas asociadas a equipo estático CÓDIGO CNE: ECP-VIN-P-MAT-ET-011

²¹ ECOPETROL S.A. Vicepresidencia De Innovación Y Tecnología Corporativo De Normas Y Estándares, EDP-ET-115 Especificación Técnica De Construcción Para Preparación De Superficie Y Aplicación De Pintura Para Tuberías Desnudas 21/09/2017

(formatos AC1) y de comisionamiento (formatos HC1) debidamente aprobados y sin pendientes para ser parte del activo de Ecopetrol, los documentos que deben ser entregados se relacionan a continuación:

- Literatura descriptiva
- Hojas de datos completas
- Certificados de cumplimiento de conformidad de normas y estándares
- Certificados de pruebas mecánicas y de materiales
- Certificados de calibración
- Planos de dimensiones certificados
- Reporte de inspección durante fabricación
- Certificado de liberación de inspección

Culminada la etapa de construcción y de precomisionamiento donde se certifica la funcionalidad de los sistemas y subsistemas en frío y paquetes requeridos por la matriz de certificación antes de ser energizado el sistema, los formatos AC1 deben estar formalizados y aprobados por Ecopetrol y por el grupo de comisionamiento.

La fase final del Comisionamiento consiste en la certificación de pruebas funcionales, simuladas, en caliente, HC1 y para que estas sean aprobadas no deben existir ningún pendiente tipo A o pendiente funcional, antes de iniciar con las pruebas funcionales se realiza el recorrido de levantamiento de pendientes, con el fin de verificar que los pendientes tanto A como B se resolvieron, es posible el arranque con pendientes tipo B en un límite propuesto en comité ya que dichos pendientes no son funcionales algunos pendiente tipo B son por demarcaciones los cuales no generan un posible problema funcional.

4.1.4.1 Procedimiento de elaboración de formatos HC1 y dossier constructivo. Se inicia con el comité de aceptación del AC-1 y se verifican los certificados pertinentes si existe algún pendiente se debe realizar el recorrido de levantamiento de pendientes y de continuar se fija un tiempo y responsable del levantamiento de este para finalizar con la entrega del expediente HC-1 al grupo de operaciones por parte del grupo de Comisionamiento y del líder del proyecto

En la tabla 3 se define el código de la especificación de Ecopetrol por cada certificado de comisionamiento para la terminación mecánica de cada línea en el área de construcción.

Tabla 3 Certificados de comisionamiento por códigos de Ecopetrol

LISTADO DE CHEQUEOS Y CERTIFICADOS COMISIONAMIENTO		
CÓDIGO ECP	CÓDIGO PRE	NOMBRE
CERTIFICADO DE TERMINACIÓN MECÁNICA		
ECP-GTD-F-070	AC-1	Certificado de aceptación
CERTIFICADOS MECÁNICOS		
ECP-GTD-F-088	M1	Certificado de alineamiento de maquinaria método del reloj.
ECP-GTD-F-089	M1A	Certificado de alineamiento de maquinaria método láser.
ECP-GTD-F-090	M2	Certificado de completamiento de la instalación de maquinaria.
ECP-GTD-F-091	M3	Lista de chequeo de la instalación mecánica.
ECP-GTD-F-092	M7	Propósito General.
ECP-GTD-F-094	MH1	Certificado de instalación mecánica de Equipo de levante.
ECP-GTD-F-093	MH2	Certificado de Aceptación Equipos de Elevación Mecánicas
CERTIFICADOS DE TUBERÍA		
ECP-GTD-F-095	P2	Limpieza.
ECP-GTD-F-096	P2A	Pintura.
ECP-GTD-F-097	P3	Prueba de Presión (Hidrostática / Neumática).
ECP-GTD-F-098	P4	Terminación de Tuberías.
ECP-GTD-F-099	P6	Chequeo pre-prueba.
ECP-GTD-F-100	P6A	Lista de chequeo Pre - Prueba (Leak test).
ECP-GTD-F-101	P7	Chequeo Post-prueba.
ECP-GTD-F-102	P15	Certificado de Tie - In.
ECP-GTD-F-111	QC05	Registro de terminación de soldaduras.
ECP-GTD-F-112	QP01	Trazabilidad de materiales.
CERTIFICADOS DE PENDIENTES		
ECP-GTD-F-071	PL	Civil.
ECP-GTD-F-074	PL	Mecánico.
ECP-GTD-F-075	PL	Tubería.
ECP-GTD-F-072	PL	Eléctrico.
ECP-GTD-F-073	PL	Instrumentación.

Fuente: Ecopetrol S.A

Los procedimientos identificados en esta última etapa son documentales al igual que la primera etapa y además de esta documentación se le sumara todos aquellos formatos y demás certificaciones y formatos HC1 de la cuarta etapa para construir el dossier.

Este documento es abalado por el líder del proyecto y gestor del mismo como representante de Ecopetrol, un dossier debe ser entregado en tres copias físicas e igual número de copias digitales, ya que durante el trascurso de la prefabricación de la línea se iba construyendo tal documento solo se requiere del balance de pagos de avances parciales para determinar el pago total al contratista.

Los diferentes formatos y certificaciones HC-1 están establecidos en procedimiento de precomisionamiento para proyectos de infraestructura Código

ECP-GTD-P-002 de Ecopetrol, todos los certificados y formatos como la matriz de riesgos deben estar abaladas por el grupo de interventoría y en conjunto con el grupo Massy encargado del comisionamiento se realizan los recorridos y levantamientos de pendientes, para el arranque no deben existir pendientes tipo A considerados esenciales y del tipo B hasta 12 pero se debe determinar el compromiso de cumplimiento, todas las revisiones deben ser certificadas y relacionarse en los capítulos del dossier constructivo para el seguimiento y aseguramiento de la calidad²².

4.2 DETERMINACION Y ANALISIS DE LOS TIEMPOS DE LAS ACTIVIDADES POR LINEA

Identificadas las etapas se procede a tomar el tiempo de fabricación de cada una de estas, y el tiempo total de entrega de una línea para la conexión del pozo. Se debe tener en cuenta que para cada una de las etapas se siguen procedimientos y requerimientos exigidos por la empresa, los cuales incluyen la entrega de formatos diligenciados y certificados según corresponda, esta documentación se trabaja durante la ejecución de las labores.

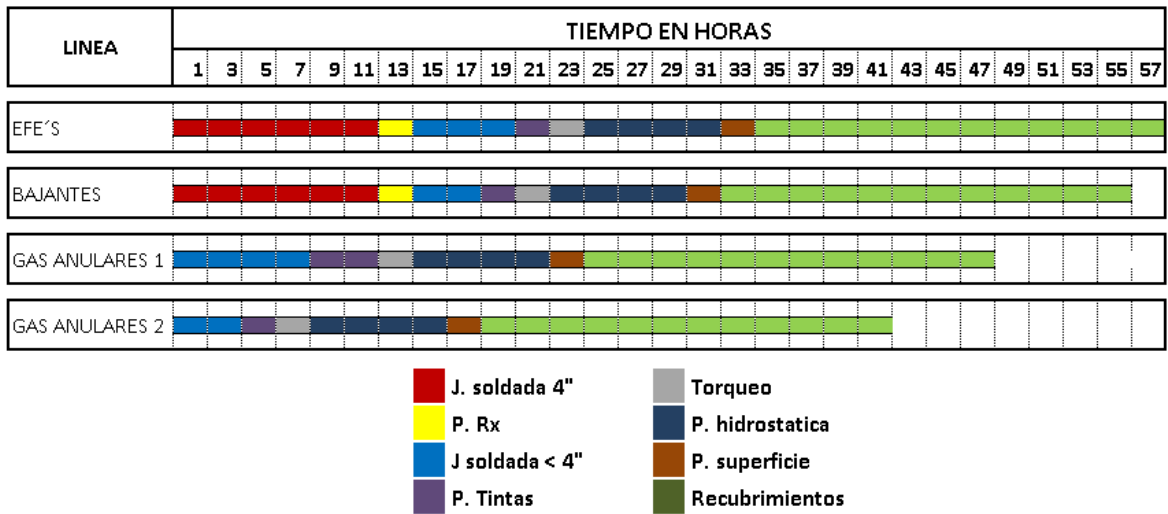
Actualmente el tiempo que se lleva desde el completamiento del pozo hasta la entrada en producción es de *cuatro días*, en estos cuatro días se realiza la prefabricación de línea, lo que se hace, a medida que el taladro termina la perforación del pozo.

La propuesta planteada es prefabricar las líneas, para que una vez completado el pozo este se conecte inmediatamente con la línea prefabricada, cumpliendo con la documentación y certificaciones necesarias para que el pozo entre en *cuatro horas a producción*.

Para poder determinar el tiempo de fabricación de cada una de las líneas es necesario identificar cada elemento y su proceso de instalación, como también de las diferentes pruebas y ensayos END, para esto se promedió el tiempo tomado de diferentes procesos y procedimientos por cada línea, como se muestra en la Figura 26.

²² ECOPETROL S.A. Vicepresidencia De Innovación Y Tecnología Corporativo De Normas Y Estándares, Código ECP-GTD-P-003 Procedimiento De Comisionamiento Para Proyectos De Infraestructura 15/06/2010

Figura 26 Análisis y determinación de tiempos por línea



Fuente: El Autor

En el desarrollo de la pasantía se identificaron cuatro etapas básicas para entregar una línea a producción, dos de estas conllevan la construcción, allí se toma el tiempo de construcción por línea, información que debe servir como base al contratista para programar la construcción de estas; en la Tabla 4. Elementos constructivos por línea, se puede ver el elemento, su diámetro y la prueba que se le realiza para la inspección de calidad. La cantidad de pruebas están determinadas por las especificaciones técnicas de Ecopetrol es así que ya en lo referido anteriormente se muestra el porcentaje de las pruebas que deben estar acordes a lo exigido por Ecopetrol.

Tabla 4 Elementos constructivos por línea

TIPO DE LÍNEA	BRIDAS		SOCKOLET				THREDOLET		NIPLE			
	Cant. (4")	Prueba (100%)	Cant.			Prueba (100%)	Cant. (2")	Prueba (100%)	Cant.			Prueba
			(1")	(3/4")	(2")				(1")	(3/4")	(2")	
EFE'S (línea conexión entrada múltiple)	5	TOR.	3	2	1	T.P	1	T.P	2	5	3	T.P
BAJANTES (línea de conexión bajante del pozo)	5	TOR.	3	1	1	T.P			4	1	2	T.P
LÍNEA DE GAS ANULARES 1	4	TOR.	1	2		T.P			1	3		T.P
LÍNEA DE GAS ANULARES 2				1		T.P				1	1	T.P

TIPO DE LÍNEA	CODOS				VALVULAS					REDUCCION
	Cant.			Prueba (100%)	Cant.				CHEQUE	Cant.
	(1")	(3/4")	(2")		(1")	(3/4")	(2")	(4")		(6" x 4")
EFE'S (línea conexión entrada múltiple)		1	1	T.P	2	4	2		1 (4")	
BAJANTES (línea de conexión bajante del pozo)	1		1	T.P	2	1	1	1	1(4")	1
LÍNEA DE GAS ANULARES 1		1			1	2	1		1(2")	
LÍNEA DE GAS ANULARES 2						1	1			

Fuente: El autor

En la tabla 5 se relacionan las juntas soldadas y pruebas por línea y de acuerdo a los instructivos y especificaciones técnicas de Ecopetrol, se promedió el tiempo que conlleva fabricar una línea con todas las pruebas de calidad. Paralelamente a la fabricación se entiende que existe una serie de documentos que son necesarios para dar trazabilidad y construcción del dossier constructivo, que no fueron analizados porque por ser paralelos deben tomar el mismo tiempo ya que uno es requisito del otro, a modo de ejemplo cuando se realice una prueba de tintas, estas deben certificarse documentalmente para su aprobación y así poder continuar con el proceso de fabricación y los siguientes pasos como el de pruebas de fugas o hidrostática y así sucesivamente como se analizó en la figura 26.

Tabla 5 relación del total de juntas soldadas con sus respectivas pruebas de calidad

TIPO DE LÍNEA	TOTAL JUNTAS SOLDADAS				TOTAL DE PRUEBAS A JUNTAS				
	(1")	(3/4")	(2")	(4")	RX (4")	T.P	HIDROSTATICA	INSPECCION VISUAL	TORQUEOS
EFE'S (Entrada múltiple)	6	10	6	13	3	22	1	35	5
BAJANTES DE POZOS	6	2	7	13	3	15	1	28	5
LÍNEA DE GAS ANULARES 1	2	6	16			24	1	24	4
LÍNEA DE GAS ANULARES 2			7			7	1	7	

Fuente: El Autor

En la primera fase constructiva de las líneas se promedió los tiempos de construcción por etapas identificando las juntas como se ve en la tabla 6 con sus respectivas pruebas de calidad como son el de: (T.P) tintas penetrantes, pruebas radiográficas, prueba hidrostática y de torques, posteriormente en la segunda

etapa constructiva se determinan los tiempos que requieren los procedimientos de preparación de superficie y de recubrimientos junto con las pruebas de anclaje y de holiday, para poder determinar el tiempo total que se requiere para entregar una línea terminada en su fase constructiva.

En las tablas 6 a la 9 se analizan los tiempos mostrados en la figura 26 y para su comprensión se muestra cada actividad con un color específico para que de esta manera se entienda con claridad la actividad o proceso y la cantidad de estos junto con el tiempo requerido por dicha actividad, y así determinar el tiempo requerido por línea. Para el caso particular mostrado en la tabla 6 (EFE'S - Entrada múltiple) el tiempo requerido es de 56,4 horas.

Tabla 6 Análisis de tiempo línea de entrada a múltiple

EFE'S (Entrada múltiple)				
Tipo	Descripción	Cant.	T(min)/ Junta	Horas
J. soldada 4"	Corte biselado y soldadura de 13 juntas de 4"	13	50	10,8
P. Rx	Pruebas RX de 3 Juntas	3	20	1,0
J soldada < 4"	Soldadura de 22 juntas menores de 4"	22	22	6,6
P. Tintas	22 pruebas de tintas penetrantes juntas menores de 4"	22	10	3,7
Torque	5 torques	5	15	1,3
P. hidrostática	Prueba hidrostática	1		8
P. superficie	Preparación de la superficies y verificación de anclaje	1		1
Recubrimientos	Recubrimientos pruebas de anclaje y de holiday detector	1		24
TOTAL (h)				56,4

Fuente: El Autor

Tabla 7 Análisis de tiempo línea de Bajante

BAJANTES				
Tipo	Descripción	Cant.	T(min)/ Junta	Horas
J. soldada 4"	Corte biselado y soldadura de 13 juntas de 4"	13	50	10,8
P. Rx	Pruebas RX de 3 Juntas	3	20	1,0
J soldada < 4"	Soldadura de 15 juntas menores de 4"	15	22	5,5
P. Tintas	15 pruebas de tintas penetrantes juntas menores de 4"	15	10	2,5
Torque	5 torques	5	15	1,3
P. hidrostática	Prueba hidrostática	1		8
P. superficie	Preparación de la superficies y verificación de anclaje	1		1
Recubrimientos	Recubrimientos pruebas de anclaje y de holiday detector			24
TOTAL (h)				54,1

Fuente: El Autor

Tabla 8 Análisis de tiempo línea de Gas anular 1

LINEA DE GAS ANULARES 1				
Tipo	Descripción	Cant.	T(min)/ Junta	Horas
J soldada < 4"	Soldadura de 24 juntas menores de 4"	24	22	8,8
P. Tintas	15 pruebas de tintas penetrantes juntas menores de 4"	24	10	4,0
Torque	4 torques	4	15	1,0
P. hidrostática	prueba hidrostática	1		8
P. superficie	Preparación de la superficies y verificación de anclaje	1		1
Recubrimientos	Recubrimientos pruebas de anclaje y de holiday detector	1		24
			TOTAL (h)	46,8

Fuente: El Autor

Tabla 9 Análisis de tiempo línea de Gas anular 2

LINEA DE GAS ANULARES 2				
Tipo	Descripcion	Cant.	T(min)/ Junta	Horas
J soldada < 4"	Soldadura de 24 juntas menores de 4"	7	22	2,6
P. Tintas	15 pruebas de tintas penetrantes juntas menores de 4"	7	10	1,2
P. hidrostática	prueba hidrostática	1		8
P. superficie	Preparación de la superficies y verificación de anclaje	1		1
Recubrimientos	Recubrimientos pruebas de anclaje y de holiday detector	1		24
			TOTAL (H)	36,7

Fuente: El Autor

4.3 NORMATIVIDAD LEGAL Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

4.3.1 Normatividad legal vigente. En la Constitución Política de 1886 se estableció como principio la propiedad del Estado sobre el Subsuelo y con el Decreto legislativo 2310 de 1974 se le Encargo de manera privativa a Ecopetrol de las actividades de exploración y explotación, y con el Decreto 1760 de 2003 separó las responsabilidades empresariales y regulatorias que hasta ese momento estaban en cabeza de Ecopetrol, y así se crea la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) entidad que asumió las responsabilidades de Hidrocarburos

Ecopetrol participa como empresa estatal de las operaciones de exploración y explotación de conformidad con lo establecido en la Ley 1118 de 2006 y asume

los campos del HUB llanos para su explotación directa, para lo cual establece contratos marcos con empresas privadas para la ejecución de obras y construcciones, y de estos contratos marco se desprende la ejecución para realizar trabajos en el área de facilidades, que tiene a cargo de la intervención directa de los clúster para la perforación de pozos y por consiguiente el de fabricación de líneas de conexión para dichos pozos.

Ecopetrol dentro de su normativa institucional, designa y establece criterios de aceptación en el área de construcción y reglamenta estas labores mediante sus especificaciones técnicas que deben ser cumplidas por los contratistas que fueron designados mediante los contratos marco, y establece las normas técnicas propias para la realización de las líneas de conexión.

4.3.2 Especificaciones Técnicas de Ecopetrol por Etapa. Ecopetrol define para todos los contratistas los lineamientos técnicos e indica las especificaciones técnicas por especialidad en cada fase de construcción. En las tablas 10 a la 13 a partir del estudio se listo las especificaciones técnicas y recomendaciones por etapa, y estas son la base del reglamento a seguir por los contratistas en las actividades mecánicas, para la prefabricación de las líneas de conexión, con su especificación técnica se indica las actividades mecánicas y la especificación técnica de Ecopetrol, la cual es de obligatoria consulta ya que en esta también define medida de pago. Las normas que se describen a continuación son específicamente para la especialidad de mecánica en el área de facilidades, así como las dadas por Ecopetrol y son las descritas en este documento, como base de referencias técnicas aprobadas por Ecopetrol. En el análisis de las especificaciones técnicas a fin de lograr la prefabricación de líneas de conexión de pozos, se agruparon por las etapas de prefabricación de las líneas de conexión como se puede ver en las tablas a continuación.

Tabla 10 Especificación técnica Primera etapa prefabricación de las líneas de conexión de pozos

PRIMERA ETAPA (Etapa preliminar)		
ESPECIFICACIÓN, CODIGO	DESCRIPCIÓN:	CODIGO/ESTANDAR:
ECP-DHS-I-085	Instructivo de seguridad para trabajo en excavaciones	
CP-VIN-G-GEN-MT-002	Requisición de materiales deberá estar en el vendor list de Ecopetrol e– manual de marcas aceptadas.	
ECP-VIN-GEN-MT-002	Manual de marcas aceptadas	
ECP-VIN-P-MET-FT-004	Lista de chequeo precomisionamiento de tuberías	
ECP-VST-P-MET-ET-001	Especificación técnica para compra de tubería	
ECP-VST-P-MET-ET-002	Especificación técnica para compra de válvulas de bola de 2" y mayores.	
ECP-VST-P-MET-ET-003	Especificación técnica para compra de válvulas de compuerta de 2" y mayores.	
ECP-VST-P-MET-ET-004	Especificación técnica para compra de válvulas de cheque de 2" y mayores.	
ECP-VST-P-MET-ET-013	Especificaciones generales de tubería.	
ECP-VIN-G-GEN-G-006	Guía de dossier de precomisionamiento	
GST-GST-F-034	Formato matriz de precomisionamiento y comisionamiento	
ECP-VIN-G-GEN-MT-002/ECP-VIN-G-GEN-PT-002/ECP-VST-P-MET-ET-013	MR accesorios	ASME B16.5 / ASME B16.9 / ASME B16.11 / MSS SP 97
ECP-VIN-G-GEN-MT-002/ECP-VIN-G-GEN-PT-002/ECP-VST-P-MET-ET-013	M.R. de espárragos y empaques	ASME B16.20/ ASME B1.1/ASME B18.2.1/ASME B18.2.2
ECP-VIN-G-GEN-MT-002/ECP-VIN-G-GEN-PT-002/ECP-VST-P-MET-ET-013	M.R. de tubería	ASTM D7091/ASTM D4541 / API SPEC 5L / NACE RP 0188.90 / DIN 30670, CAN / CSA Z24521.2 / ASTM A-106

Fuente: El Autor

Tabla 11 Especificación técnica Segunda etapa prefabricación de las líneas de conexión de pozos

SEGUNDA ETAPA (Primera fase de Fabricación)		
ESPECIFICACIÓN, CODIGO	DESCRIPCIÓN:	CODIGO/ESTANDAR:
ECP-VIN-P-MET-ET-015	Especificación técnica de tubería según ASME B31.4 – AB2A32	
EDP-ET-125	Especificación técnica de construcción para transporte y acopio de tubería	
EDP-ET-100	Especificación técnica de construcción para corte y biselado de tubería	
EDP-ET-107	Especificación técnica de construcción para instalación de tubería	
ECP-VST-P-MET-ET-013	Especificaciones generales de tubería.	
EDP-ET-131	Especificación técnica de soldadura en sistemas de tubería	API STD 598 / ASME B16.34 / ASME B31.3
RFN-G-4043	Guía de entrenamiento aplicar soldadura a tuberías de acero al carbono espesor XSS con proceso SMAW	PI 1104, ASME SECCION IX, ASME B31.1, ASME B31.3, ASME B31.4 y ASME B31.8,
GAC-I-028	Aplicación de soldadura en tuberías de acero al carbono en espesores entre 1/16" y 9/16" con el proceso SMAW-GMAW	
ECP-VST-P-MET-ET-009	Especificación técnica para inspección y pruebas válvulas de bola, compuerta, tapón y retención en Ø2" Y mayores y ratings de 150# y superiores	ASME Sección I, II, V, ASME Sección VIII D1. 1, Sección IX ANSI B 31.1, ANSI B31. 3, NORMA A.W.S. A5.1, NORMA A.W.S. A5.18
ECP-VST-P-MET-ET-011	Especificación técnica para montaje de tubería aérea y enterrada	
EDP-ET-104	Especificación técnica de construcción para ensayos no destructivos	
ECP-VST-P-MET-ET-007	Especificación técnica para montaje de válvulas.	
ECP-VST-P-MET-ET-009	Especificación Técnica para Inspección y Pruebas Válvulas de Bola, Compuerta, Tapón y Retención en 2" y mayores y Ratings de 150# y superiores.	
ECP-CNE-I-MEE-ET-024	Especificación de pruebas a presión en tuberías	
ECP-VIN-P-MET-FT-005	Lista de chequeo pre-pruebas (fugas)	
ECP-VIN-P-MET-FT-006	Lista de chequeo post-pruebas	
EDP-ET-118	Especificación técnica de construcción para prueba hidrostática de tubería	
EDP-ET-119	Especificación técnica de construcción para prueba neumática	
EDP-ET-126	Especificación técnica de construcción para pruebas a presión en tuberías	
ECP-VIN-P-MET-FT-003	Formato lista de verificación para pruebas a presión en sistemas de tuberías	
ECP-VIN-P-MET-FT-002	Ficha técnica de pruebas a presión en sistemas de tubería	
EDP-ET-113	Especificación técnica de construcción para torqueo entre bridas	
EDP-ET-104	Especificación técnica de construcción para ensayos no destructivos	

Fuente: El Autor

Tabla 12 Especificación técnica Tercera etapa prefabricación de las líneas de conexión de pozos

TERCERA ETAPA (Fase de final de fabricación)		
ESPECIFICACIÓN, CODIGO	DESCRIPCIÓN:	CODIGO/ESTANDAR:
ECP-DHS-G-009	Guía sobre código de colores y señales industriales	
ECP-VIN-P-MAT-ET-002	Aplicación de recubrimientos en tuberías aéreas exterior tanques, vasijas y recipientes a presión a temperatura operación 70 °C	
ECP-VIN-P-MAT-ET-003	Aplicación recubrimientos en tuberías aéreas exterior tanques, vasijas recipientes presión temperatura operación entre 70 Y 120 °C	
ECP-VIN-P-MAT-ET-004	Aplicación de recubrimientos en interior de tanques, vasijas y recipientes a presión a temperaturas en operación hasta 70 °C	
ECP-VIN-P-MAT-ET-005	Aplicación de recubrimientos en interior de tanques, vasijas y recipientes a presión a temperaturas en operación entre 70 - 120 °C	
ECP-VIN-P-MAT-ET-006	Aplicación de recubrimientos en campo para tuberías enterradas a temperaturas hasta 70 °C	
ECP-VIN-P-MAT-ET-007	Especificación de recubrimiento en tuberías enterradas a temperaturas mayor a 70°C HASTA 120 °C.	
ECP-VIN-P-MAT-ET-011	Especificación técnica para la aplicación de recubrimientos a estructuras metálicas asociadas a equipo estático	
ECP-VIN-P-MAT-ET-015	Especificación técnica de recubrimientos FBE para operación hasta temperaturas de 95 °C.	
EDP-ET-117	Especificación técnica de construcción para preparación y pintura de superficies metálicas	
EDP-ET-115	Especificación técnica de construcción para preparación de superficie y aplicación de pintura	

Fuente: El Autor

Tabla 13 Especificación técnica Cuarta etapa prefabricación de las líneas de conexión de pozos

CUARTA ETAPA (Entrega de línea y construcción de dossier)		
ESPECIFICACIÓN, CODIGO	DESCRIPCIÓN:	CODIGO/ESTANDAR:
ECP-VIN-P-AST-G-004	Guía del Dossier de Construcción.	
ECP-VIN-G-GEN-G-006	Guía de dossier de precomisionamiento	
GST-GST-F-034	Formato matriz de precomisionamiento y comisionamiento	
ECP-GTD-P-003	Procedimiento para Entrega y Cierre de Proyectos.	
VIT-GTT-G-GEN-FT-001	Guía para la Inspección de Seguridad de Pre-arranque.	
ECP-VST-O-PRO-MT-001	Requisitos del Sistema de Calidad.	
EDP-ET-002	Especificación técnica de requerimientos de calidad para contratos de comisionamiento de proyectos – anexo Q comisionamiento	

Fuente: El Autor

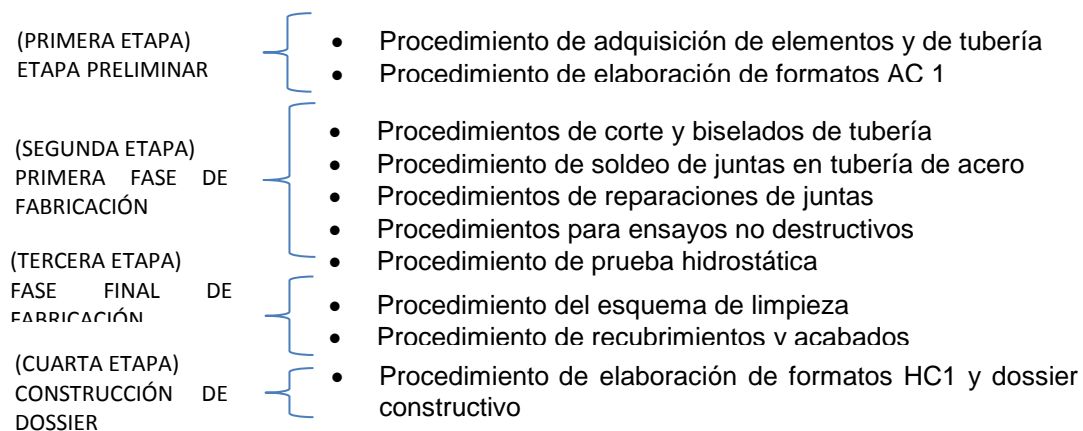
5 ANÁLISIS DE RESULTADOS Y FACTIBILIDAD

A partir de la identificación de las actividades y los procedimientos se hizo el promedio de los tiempos para la prefabricación de cada una de las líneas de conexión de pozos, así mismo se determinó las especificaciones técnicas y el seguimiento de cada una de estas para un control de calidad en el proceso.

Con esta información se puede determinar el tiempo de prefabricación de cada una de las líneas cumpliendo con las normas específicas por etapa y establecer criterios para que el contratista determine la mejor forma y programe sus avances a fin de entregar una línea totalmente terminada para conectar el pozo a producción en un tiempo específico y determinado.

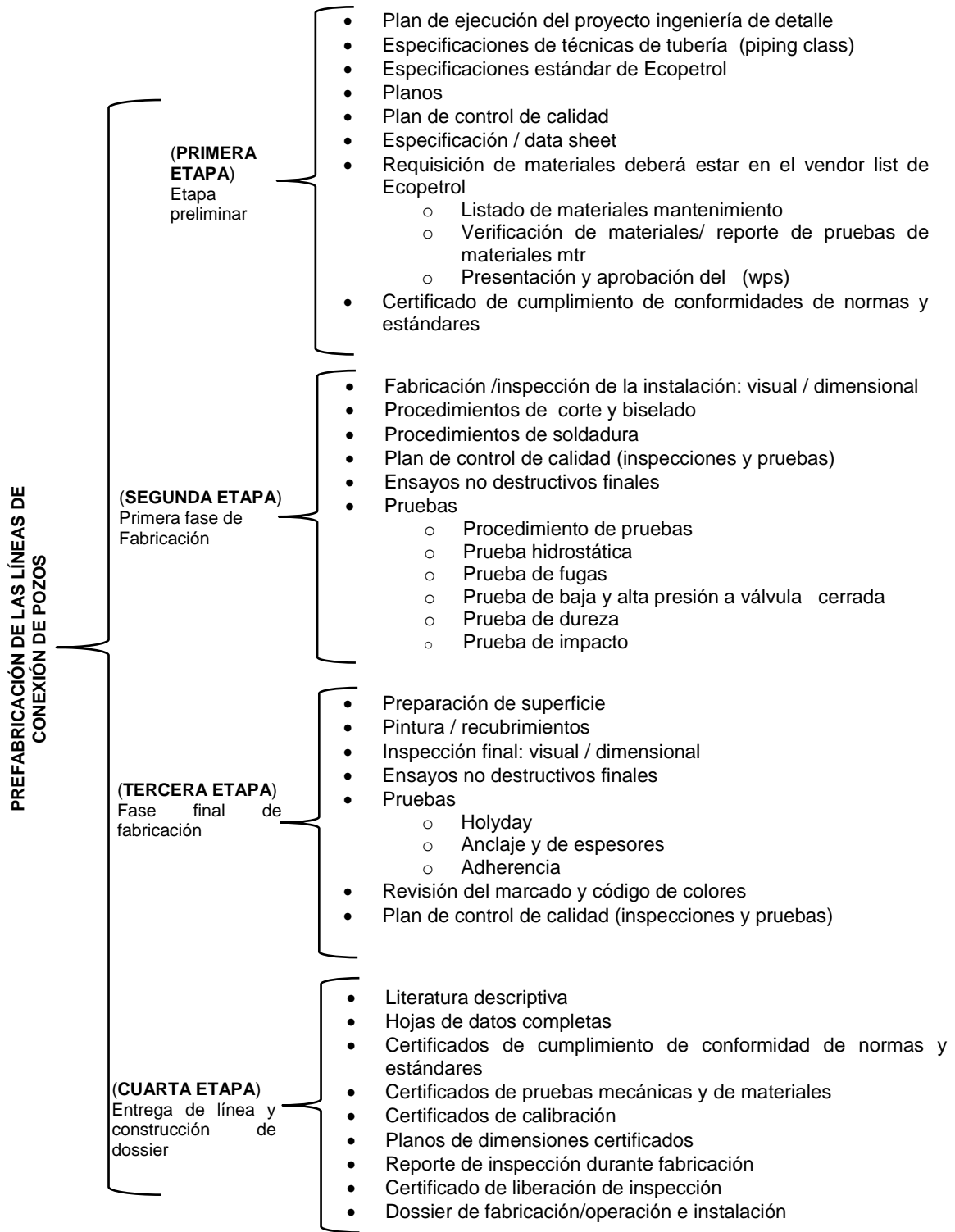
En cuanto a las actividades se dividieron por etapas como se mostró en la Figura 9 y los procedimientos por cada una de estas, los cuales corresponden a los obligatorios exigidos por Ecopetrol y que deben cumplir con las normas y especificaciones técnicas propias, para lo cual también se determinó las normas que el contratista debe cumplir por etapa y por procedimiento como se vio en las tablas del capitulo 5.3 (Especificaciones Técnicas De Ecopetrol Por Etapa), en la figura 8 (Procedimientos Por Etapa De Prefabricación) se puede ver los procedimientos más importantes los cuales corresponden a : procedimiento de soldadura, prueba hidrostática y de recubrimientos, donde se realizó énfasis y se determinó las especificaciones y recomendaciones técnicas de Ecopetrol. Junto con estos estos tres que conllevan los restantes son de vital importancia en la prefabricación; como se mencionó a lo largo del documento los procesos documentales son paralelos y son requisito para continuar cada proceso.

Figura 8 Procedimientos por etapa de prefabricación



Fuente: El Autor

Figura 9 Identificación de requerimientos por etapas de la prefabricación de una línea de conexión



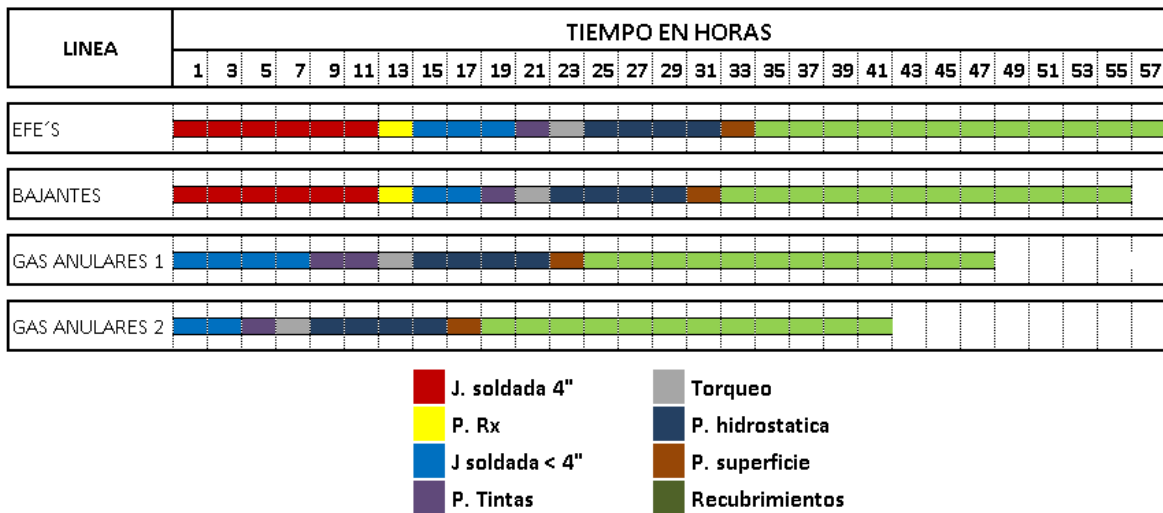
Fuente: El Autor

De la identificación de cada uno de los tiempos para el proceso de prefabricación de cada una de las líneas como se puede ver en la figura 26 (Análisis y determinación de tiempos por línea), se puede analizar cómo el contratista puede realizar el prefabricado de cada una de las líneas estudiadas en un tiempo determinado.

A partir del análisis de estos tiempos se puede determinar cómo se debe ejecutar los trabajos por parte del contratista ya que se puede analizar este tiempo por jornada laboral de 8 horas/día lo que significaría que una línea de entrada a múltiple llamada "EFE" tomaría 7 días y si se prefabricara como actualmente se realiza, esta tendría tres días de retraso ya que se supone que se cuenta con cuatro días para entregar la línea, tiempo requerido por el taladro para completar el pozo y la conexión de este, pero este tiempo puede ser menor porque las jornadas laborales pueden ser continuas y en lo referente a prueba hidrostática como se estudió en este documento se realiza en horas vespertinas y pueden realizarse a más de una línea de forma simultánea.

El tiempo determinado por el promedio en base de lo observado en la pasantía, puede ser utilizado como herramienta por el contratista para determinar hitos y el personal necesario para disminuir este tiempo y establecer una línea de montaje.

Figura 26 Análisis y determinación de tiempos por línea



Fuente: El Autor

Ya que el fin es la prefabricación de las líneas de conexión de pozos estas deben cumplir con la normatividad técnica para la industria del petróleo y Ecopetrol en

base de su experiencia y basados en la normatividad internacional para la industria establece las normas técnicas que se reglamentan como base de criterio técnico y de pago para el contratista. Con la prefabricación previa de las líneas de conexión de pozos se evitaban retrasos por eventualidades sobre la marcha y al seguir reglas y normas específicas de Ecopetrol se garantiza que no deben existir eventualidades técnicas ya que se cumple con la calidad exigida en el tiempo indicado al seguir la normatividad, en la Tabla 14 se identificaron las actividades en la especialidad de Mecánica complementarias a las descritas en las Tablas 10 a la 13, que fueron por etapas, y son base para que el contratista las utilice como guía y regla de uso para garantizar el cumplimiento y calidad.

Tabla 14 Actividades mecánicas con su especificación técnica

CODIGO POR ACTIVIDAD MECANICA	
CODIGO	DESCRIPCIÓN
	PREPARACIÓN DE SUPERFICIE Y APLICACIÓN DE PINTURA PARA TUBERÍAS DESNUDAS
EDP-ET-115	PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE
EDP-ET-115	LIMPIEZA CHORRO ABRASIVO METAL CASI BLANCO GRADO SSPC-10
EDP-ET-115	TUBERIAS ENTERRADAS
EDP-ET-115	AREA EXTERIOR DE TUBERIAS EN OPERACIÓN ENTRE 70C Y 120C, SISTEMA DE RECUBRIMIENTO EPOXICO FENOLICO 100% SOLIDOS
EDP-ET-115	TUBERÍAS AÉREAS
EDP-ET-115	AREA EXTERIOR DE TUBERIAS EN OPERACIÓN ENTRE 70C Y 120C, SISTEMA DE RECUBRIMIENTO A1
	PREPARACIÓN DE SUPERFICIE Y APLICACIÓN DE PINTURA PARA TUBERÍA REVESTIDA
EDP-ET-116	REPARACIÓN DEL REVESTIMIENTO
	ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS EN TUBERIAS
EDP-ET-104	RADIOGRAFÍAS
EDP-ET-104	TINTAS PENETRANTES
EDP-ET-104	ULTRASONIDOS
	PRUEBAS HIDROSTATICAS
EDP-ET-118	PARA TUBERÍAS
	PRUEBA NEUMATICA
EDP-ET-119	PRUEBA NEUMÁTICA DE REFUERZO DE BOQUILLA
	SOPORTES PARA TUBERÍAS
EDP-ET-122	PREFABRICACIÓN Y MONTAJE DE SOPORTES METÁLICOS PARA TUBERÍA (El suministro de la tubería de soporte es por cuenta de Ecopetrol)
EDP-ET-122	PREFABRICACIÓN Y MONTAJE DE SOPORTES METÁLICOS PARA TUBERÍA (Incluye suministro de tubería)
EDP-ET-121	SUMINISTRO, PREFABRICACIÓN Y MONTAJE DE SOPORTES AUXILIARES Y METÁLICOS PARA TUBERÍAS (Incluye todos los materiales)
	DESMANTELAMIENTO TUBERIA VALVULAS Y ACCESORIOS
EDP-ET-101	DESMANTELAMIENTO DE TUBERIA VALVULAS, ACCESORIOS AISLAMIENTO Y SOPORTERIA
	PREFABRICACIÓN Y MONTAJE DE TUBERÍA Y ACCESORIOS
EDP-ET-114	PREFABRICACIÓN Y MONTAJE DE SPOOL (Incluye transporte, corte, biselado, alineación, soldadura, limpieza, pintura, suministro de empaques y espárragos)

EDP-ET-114	SPOOL HASTA 3" DE DIÁMETRO (Incluye suministro de tuberías, válvulas (THD/SW) y accesorios)
EDP-ET-114	SPOOL PARA DIÁMETROS MAYORES A 3" HASTA 6"
EDP-ET-114	SPOOL PARA DIÁMETRO DE 16" HASTA 20"
EDP-ET-114	PREFABRICACIÓN Y MONTAJE DE MÚLTIPLES (MANIFOLD) (Incluye transporte, corte, biselado, alineación, soldadura, limpieza, pintura, suministro de empaques y espárragos)
EDP-ET-114	HASTA 3" DE DIÁMETRO (Incluye suministro de tuberías, válvulas (THD/SW) y accesorios)
EDP-ET-114	PARA DIÁMETROS MAYORES A 3" HASTA 6"
EDP-ET-114	PARA DIÁMETRO DE 16" HASTA 20"
	MONTAJE DE VÁLVULAS, FILTROS, CHEQUES Y CIEGOS BRIDADOS (Incluye el suministro de empaques y espárragos con su respectivo torqueo)
EDP-ET-110	MONTAJE DE VÁLVULAS, FILTROS, CHEQUES (Incluye el suministro de empaques y espárragos con su respectivo torqueo)
EDP-ET-110	DIÁMETRO DE 2" HASTA 6"
	CORTE Y BISELADO DE TUBERÍA
EDP-ET-100	TUBERÍAS DE CUALQUIER DIÁMETRO Y ESPESOR
	INSTALACIÓN LINEAS DE TUBERÍA DE PROCESOS EN TRAMOS RECTOS (Incluye transporte, cargue y descargue de tubería, tendido, corte y biselado, doblado, alineación, soldadura, revestimiento de juntas, zanjado, bajado y tapado de tubería)
EDP-ET-107	PARA DIÁMETROS DE 2" HASTA 6"
EDP-ET-107	ENTERRADA (incluye excavación y relleno compactado)
EDP-ET-107	ENTERRADA (incluye excavación y relleno compactado)
EDP-ET-107	SOBRE SOPORTES
EDP-ET-123	SUMINISTRO DE PERSONAL PARA CUADRILLAS (INCLUYE ELEMENTOS DE PROTECCION PERSONAL, SEGURIDAD SOCIAL Y HERRAMIENTAS DE MANO PARA LABORES PUNTUALES POR LLAMADO)
EDP-ET-123	OBRERO
EDP-ET-123	AYUDANTE TÉCNICO
EDP-ET-123	SUPERVISOR MECÁNICO
EDP-ET-123	SOLDADOR 1ª
EDP-ET-123	TUBERO
EDP-ET-123	PAILERO
EDP-ET-123	PINTOR
EDP-ET-123	ALQUILER DE EQUIPOS Y/O HERRAMIENTAS
EDP-ET-123	EQUIPOS DE OXICORTE CON MANGUERAS 20 MT
EDP-ET-123	MÁQUINA DE SOLDAR DIESEL SOBRE TRAILER 400 AMPERIOS, MASA Y PINZA CON 50 M DE CABLE C/U
EDP-ET-123	PULIDORA CON EXTENSIÓN DE 30 MTS
EDP-ET-123	CARRO TANQUE 3000 GALONES
EDP-ET-123	CAMIÓN GRÚA 10 TON Ó CAMIÓN DE VACIO
EDP-ET-123	FRACK TANK 400 BLS
EDP-ET-123	GRÚA DE 20 TON
EDP-ET-123	CARGADOR DE ESTIBAS -FORKLIFT-
EDP-ET-123	EQUIPO ILUMINACION PORTATIL *
EDP-ET-123	EQUIPO PORTÁTIL DETECTOR DE TUBERIAS METALICAS ENTERRADAS

Fuente: Ecopetrol S.A

La propuesta de indicar las especificaciones técnicas a seguir en los procedimientos para prefabricar las líneas de conexión de pozos es porque actualmente se generan retrasos en el conexionado de pozos debido a eventualidades sobre la marcha lo que causan retrasos, las eventualidades cuando son de orden técnico son por no seguir la normatividad y se convierten en inconformidades que resolverlas generan pérdidas de tiempo por los trámites, estas inconformidades técnicas se resuelven en comités técnicos y por medio de preguntas técnicas al departamento de ingeniería de Ecopetrol, si se siguen los procedimientos basados en las normas técnicas aprobadas e igual para la requisición de materiales no se debería generar inconformidades.

Ecopetrol basa sus normas en normas internacionales para la industria que son exigidas a todos los contratistas sin exención y son de estricto cumplimiento, con esta información se garantiza que se puede prefabricar cumpliendo lo exigido en un tiempo programado como se vio en el presente informe ya que se analizaron los tiempos y las normas por etapa de prefabricación.

6 CONCLUSIONES

Con el trabajo realizado, el contratista de Ecopetrol podrá presupuestar los tiempos necesarios para el desarrollo de cada una de las etapas, de la prefabricación de una línea de conexión de pozo. Además, conocerá de forma rápida las especificaciones técnicas que debe cumplir, lo que minimiza el riesgo de faltas en la normatividad requerida.

Al implementar la prefabricación de las líneas de conexión con un adecuado control y verificación de calidad, se agilizará la entrada a producción de pozo, ya que se contará con la línea terminada para el conexiónado una vez este la perforación culminada. Este proceso de prefabricación de las líneas debe ser proyectado, una vez conocido el número de pozos y la programación del taladro.

La prefabricación de las líneas de conexión, llevaran a la producción a un pozo, después de terminada la perforación, en un periodo de cuatro horas; Actualmente, el periodo es de cuatro días.

La pasantía realizada fue enriquecedora en el proceso de formación del programa de Ingeniería Mecánica, ya que se adquirieron conocimientos sobre procedimientos y procesos de línea, además, de la experiencia vivenciada en la fabricación de líneas y el conexiónado a pozo.

REFERENCIAS

ASTM.ORG. (2018). ASTM International - Standards Worldwide. [En línea] Disponible en: https://www.astm.org/Snews/Spanish/Spso11/Provocative_Spso11.Html [Revisado 29 Noviembre. 2018].

ASTM.ORG. (2018). ASTM International - Preguntas más frecuentes. [En línea] disponible en: <https://www.astm.org/FAQ/index-spanish.html#anchor1> [Revisado 29 Noviembre. 2018].

ECOPETROL S.A. Especificación técnica de construcción para prefabricación y montaje de tubería y accesorios, Desarrollo De Proyectos Vicepresidencia De Ingeniería Y Proyectos CODIGO: EDP-ET-114. 21 septiembre 2017

ECOPETROL S.A. Especificación técnica de construcción para preparación y pintura de superficies metálicas, Desarrollo De Proyectos Vicepresidencia De Ingeniería Y Proyectos CODIGO: EDP-ET-117. 21 septiembre 2017

ECOPETROL S.A. Especificación técnica de construcción para prueba hidrostática de tubería, Ecopetrol Desarrollo De Proyectos Vicepresidencia De Ingeniería Y Proyectos, CODIGO: EDP-ET-118. 21 septiembre 2017

ECOPETROL S.A. Especificación técnica instalación tubing, Desarrollo De Proyectos Vicepresidencia De Ingeniería Y Proyectos 2017 CODIGO: EDP-ET-352. 21 septiembre 2017

ECOPETROL S.A. Especificación técnica de construcción para ensayos no destructivos, Desarrollo De Proyectos Vicepresidencia De Ingeniería Y Proyectos CODIGO: EDP-ET-104. 21 septiembre 2017.

ECOPETROL S.A Especificaciones De Recubrimientos, Vicepresidencia De Servicios y Tecnología Corporativos de Normas y Estándares CÓDIGO: CNE ECP-VST-P-MAT-ET-001. 23 Mayo 2011

ECOPETROL S.A. Especificaciones Técnicas Para La Aplicación De Recubrimientos En Campo Para Tuberías Enterradas A Temperaturas Hasta 70

°C, Vicepresidencia De Servicios y Tecnología Corporativos de Normas y Estándares CÓDIGO: CNE ECP-VIN-P-MAT-ET-006. 25 Mayo 2012

ECOPETROL S.A Bases Y Criterios De Diseño De Tubería, vicepresidencia regional Orinoquía gerencia de operaciones de desarrollo y producción castilla, contrato n° 5223088 Dis/182-ot16: "ingeniería de detalle campaña de perforación etapa 1&2 – modulo 5.", CÓDIGO: GDT-5223088-17016-ID-METCD-001, octubre 2017

ECOPETROL S.A. especificación técnica de construcción para instalación de tubería, Desarrollo de proyectos vicepresidencia de ingeniería y proyectos. CODIGO: EDP-ET-107. 21 septiembre 2017.

ECOPETROL S.A. Guía de dossier de precomisionamiento, Vicepresidencia de innovación y tecnología corporativo de normas y estándares, CODIGO: ECP-VIN-G-GEN-G-006. 17 de junio 2014.

ECOPETROL S.A. Procedimiento de precomisionamiento, Vicepresidencia de innovación y tecnología corporativo de normas y estándares CODIGO: ECP-GTD-P-002, 17 de junio 2014.

ECOPETROL S.A. Guía para la inspección de seguridad en el pre-arranque, Vicepresidencia de innovación y tecnología corporativo de normas y estándares, CODIGO: VIT-GTT-G-GEN-FT-003. 17 de junio 2014.

ECOPETROL S.A. Especificación Técnica De Soldadura En Sistemas De Tubería, Vicepresidencia de innovación y tecnología corporativo de normas y estándares, CODIGO: EDP-ET-131. 25 de agosto de 2017

ECOPETROL S.A. Especificación Técnica De Construcción Para Preparación De Superficie Y Aplicación De Pintura Para Tuberías Desnudas, Vicepresidencia De Innovación Y Tecnología Corporativo De Normas Y Estándares, CODIGO: EDP-ET-115 21 de septiembre de 2017

ECOPETROL S.A. Especificaciones Técnicas Para La Aplicación De Recubrimientos En Tuberías Aéreas Y Exterior De Tanques, Vasijas Y Recipientes A Presión A Temperaturas En Operación Entre 70 Y 120 °C, Vicepresidencia De Innovación Y Tecnología Corporativo De Normas Y Estándares, CÓDIGO CNE: ECP-VIN-P-MAT-ET-003. 22 de marzo de 2012.

ECOPETROL S.A. Código de Colores y Señales Industriales, Vicepresidencia De Innovación Y Tecnología Corporativo De Normas Y Estándares, CÓDIGO: ECP-DHS-G-009. 21 de septiembre de 2017.

ECOPETROL S.A. Especificación Técnica Para Prueba Hidrostática, Vicepresidencia De Innovación Y Tecnología Corporativo De Normas Y Estándares, CÓDIGO: ECP-VIN-P-MET-ET-012. 9 de abril de 2014.

ECOPETROL S.A. Guía Técnica Para Elaboración de Pruebas Hidrostáticas en Tanques de Almacenamiento, Vicepresidencia De Innovación Y Tecnología Corporativo De Normas Y Estándares, CÓDIGO: ECP-VIN-M-MEE-GT-011. 15 de noviembre de 2013

ECOPETROL S.A. Procedimiento De Comisionamiento Para Proyectos De Infraestructura, Vicepresidencia De Innovación Y Tecnología Corporativo De Normas Y Estándares, CÓDIGO: ECP-GTD-P-003 15 de junio de 2010.

MIPSA, Inspección por líquidos penetrantes, [En línea] Disponible en, <https://www.mipsa.com.mx/dotnetnuke/Procesos/Soldadura-inspeccion-liquidos>, [Revisado 29 Nov. 2018].

RCM.GOV.CO. (2018). Marco Normativo En La Producción De Petróleo. [En línea] Disponible en: <http://rcm.gov.co/images/2018/programas/SeminarioHidrocarburos/MarcoNormativoHernandovalencia.pdf> [Revisado 29 Noviembre. 2018].

VIVANCO Vergara, M. (2018). *Los Manuales De Procedimiento Línea como Herramientas De Control Interno De Una Organización*. [En línea] Scielo.sld.cu. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-3620201700030003 [Revisado 29 Noviembre. 2018].

VDOCUMENTS. Asme Sección V Artículo 6 Inspección Por Líquidos Penetrantes (Español).Pdf [en línea] disponible en <https://vdocuments.mx/asme-seccion-v-articulo-6-inspeccion-por-liquidos-penetrantes-espanolpdf.html>