



UNIVERSIDAD
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL
PIRHUA

ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE ELECTROFUSIÓN Y TERMOFUSIÓN EN UNIÓN DE TUBERÍAS DE HDPE EN UNA REFINERÍA

Cristhian Guanilo-Briones

Piura, Octubre de 2017

FACULTAD DE INGENIERÍA

Departamento de Ingeniería Mecánico-Eléctrica

Guanilo, C. (2017). *Estudio de los procesos de electrofusión y termofusión en unión de tuberías de HDPE en una refinería* (Tesis de licenciatura en Ingeniería Mecánico-Eléctrica). Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Mecánico-Eléctrica. Piura, Perú.



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

[Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura](https://repositorio.institucional.pirhua.edu.pe/)

UNIVERSIDAD DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA



**Estudio de los procesos de electrofusión y termofusión en unión de tuberías de HDPE
en una refinería**

**Tesis para optar el Título de
Ingeniero Mecánico - Eléctrico**

Cristhian Guanilo Briones

Asesor: Mgtr. Jorge Machacuay Arévalo

Piura, octubre 2017

Este trabajo de tesis es dedicado a Dios y a la Virgen de Guadalupe que me permitieron culminar este trabajo.

A mi madre quien me dio la vida, educación y sobre todo amor y apoyo en todo momento.

A mis profesores y personas que siempre estuvieron para apoyarme.

Y a una amiga que siempre me apoya y cuida

Prólogo

En la actualidad, el polietileno de alta densidad tiene muchas aplicaciones. Más de la mitad de su uso es para la fabricación de recipientes, tapas y cierres, utensilios domésticos, juguetes y uno de sus usos más importantes para la fabricación de tuberías y conductos. En la refinería de Talara, se usan tuberías de polietileno de alta densidad (HDPE, por sus siglas en inglés) para transporte de aguas residuales y aguas producto de la lluvia, en un sistema de aguas de tuberías enterradas. Estas tuberías fueron seleccionadas por su bajo costo, flexibilidad, durabilidad, resistencia a muchas sustancias químicas y a su capacidad de resistir el proceso de esterilización, utilizando los procesos de termofusión y electrofusión para su unión o “soldadura”.

La unión por electrofusión es un proceso que ha sido utilizado en la refinería de Talara por la empresa contratista para la unión de tuberías de diámetros mayores a 20” bajo la unión espiga-campana, mientras que la unión por termofusión o soldadura a tope se usó en la unión de tuberías de diámetros menores a 20”. Sin embargo, estos procesos son relativamente nuevos, especialmente el de electrofusión, cuenta con cerca de 15 años en el mercado y recientemente utilizado en la refinería de Talara en el Perú. Aún se tienen ciertas dificultades al momento de realizar la unión y homologación del soldador.

Lo que se busca con el presente trabajo, a partir de la experiencia obtenida en campo y las lecciones aprendidas a lo largo de todo el proceso de unión, homologación, montaje e instalación de tuberías de polietileno de alta densidad, es realizar un estudio de estos dos procesos de unión, con la finalidad de crear una guía que ayude a las empresas a optimizar costos y tiempos al momento de realizar este tipo de uniones, logrando una mayor producción y asegurándose que cumplan con los estándares de calidad que la norma requiere.

Deseo agradecer a mi asesor por el constante apoyo y guía hacia mi persona a lo largo de este trabajo, a los docentes de la Universidad de Piura que me apoyaron y me hicieron sentir como en casa.

Resumen

En el presente trabajo, en el primer capítulo se resume la historia del polietileno, los procesos de electrofusión y termofusión y la refinería de Talara.

En el segundo capítulo se escribe sobre los conceptos previos que son necesarios conocer para poder entender los procesos de electrofusión y termofusión en tuberías de polietileno de alta densidad (HDPE, por sus siglas en inglés).

En el tercer capítulo se explica paso a paso los procedimientos de unión por electrofusión y termofusión que son necesarios a seguir, con la finalidad de asegurar que cumplan con los requisitos para la cual son requeridos y con los estándares de calidad que la norma lo requiera y se conocerán las ventajas que ofrece cada uno de los procesos. Se expondrán los casos que se tuvieron al momento de realizar el proceso de unión de estos tipos de tuberías, siendo el proceso de electrofusión, donde mayor dificultad se tuvo, teniendo que recurrir al proveedor de la tubería y modificar nuestro primer procedimiento debido a las fugas que se tuvo en una de las primeras pruebas realizadas a la tubería corrugada de HDPE.

En el cuarto capítulo se analizan los resultados de laboratorio de cada uno de los casos de los procesos de electrofusión y termofusión y se escribe una guía de los procesos de electrofusión y termofusión.

En conclusión, el proceso de electrofusión es un proceso que ofrece mayores ventajas que el proceso de termofusión. Sin embargo, al ser un proceso nuevo en la industria, presenta el inconveniente del costo de aprendizaje. Uno de los objetivos del presente trabajo es superarlo, ya que significa pérdidas para las empresas.

Índice

Introducción	1
Capítulo 1 Historia y Antecedentes	3
1.1. Introducción	3
1.2. Historia del polietileno	3
1.3. Polietileno de alta densidad (HDPE).....	4
1.4. Electrofusión	8
1.4.1. Antecedentes	8
1.5. Termofusión por soldadura a tope.....	11
1.6. Refinería de Talara.....	12
Capítulo 2 Conceptos y fundamentos del proceso de soldadura del polietileno.....	15
2.1. Introducción	15
2.2. Sistema de aguas aceitosas (ows) de la refinería	15
2.2.1. Instalación de tubería enterrada para HDPE	15
2.3. M55 “PE Pipe – Design and Installation”	16
2.4. Carga de tránsito	18
2.5. Polietileno (PE)	18
2.5.1. Polietileno de baja densidad (LDPE)	19
2.5.2. Polietileno lineal de baja densidad (LLDPE)	20
2.5.3. Polietileno de alta densidad (HDPE o PEAD)	20
2.5.4. Polietileno de alta densidad de alto peso molecular	22
2.5.5. Polietileno de ultra peso molecular (UHMWPE).....	22
2.6. Termofusión o soldadura a tope	23
2.6.1. Fundamentos de la soldadura a tope.....	24
2.6.2. Sistemas de soldadura a tope.....	26
2.6.3. Factores que influyen en la calidad de la soldadura	28

2.7. Electrofusión.....	29
2.7.1. Máquina de soldar.....	30
2.7.2. Aspectos relevantes de la electrofusión	31
2.8. Operador	32
2.9. Ensayos no destructivos.....	33
2.9.1. Inspección visual.....	33
2.9.2. Prueba de estanqueidad o hermeticidad	34
2.10. Prueba neumática para uniones electrosoldadas	35
2.11. Peel test.....	35
2.12. Ensayo de doblez	36
2.13. Ensayo de tracción	37
2.14. Manufacture qualified fusing procedure specification (MEFPS)	38
2.15. Fusion procedure specification (FPS).....	38
Capítulo 3 Soldadura por Termofusión y Electrofusión	41
3.1. Introducción	41
3.2. Electrofusión.....	41
3.2.1. Procedimiento de unión	46
3.2.2. Procedimiento de reforzamiento de tuberías de HDPE por soldadura por extrusión.....	48
3.2.3. Parámetros de soldadura por electrofusión	49
3.2.4. Parámetros de aceptación.....	50
3.2.5. Homologación del operador.....	51
3.2.6. Liberación de la tubería de HDPE	51
3.2.7. Consideración final	52
3.2.8. Casos a estudiar.....	53
3.3. Termofusión.....	55
3.3.1. Proceso de termofusión.....	55
3.3.2. Parámetros de la soldadura por termofusión.....	58
3.3.3. Parámetros de aceptación.....	59
3.3.4. Homologación del soldador	62
3.3.5. Liberación de la tubería de HDPE	62
3.4. Ventajas de los procesos de termofusión y electrofusión	63
3.4.1. Proceso de electrofusión	63
3.4.2. Proceso de termofusión.....	64
3.5. Comentarios finales	65
Capítulo 4 Resultados	67
4.1. Introducción	67

4.2.	Electrofusión	67
4.2.1	Aprobación del MEFPS	67
4.2.2	Homologación del operador	71
4.3.	Termofusión	77
4.3.1.	Aprobación del FPS	77
4.3.2.	Homologación del operador	78
4.4.	Guía para procedimiento de unión por electrofusión	81
4.4.1.	Homologación del Operador	81
4.4.2.	Procedimiento de unión por electrofusión.....	82
4.5.	Guía para el proceso de unión termofusión.....	86
4.5.1.	Homologación del operador o termofusionista	86
4.5.2.	Procedimiento de unión por termofusión	87
Conclusiones		89
Recomendaciones		91
Bibliografía		93
Anexos.....		95
Anexo A.	Protocolos de línea 28”-OWS-HTD-60006-PE00T-N-1	97
Anexo B.	Protocolos de línea 20”-OWS-HTD-60002-PE00T-N-1.....	101
Anexo C.	Certificado de manómetro	105
Anexo D.	Certificado de aprobación PPA&KRAH – termofusión	107
Anexo E.	Certificado de aprobación PPA&KRAH – electrofusión.....	108
Anexo F.	Prueba hidrostática – cupón termofusión	109
Anexo G.	Prueba neumática – cupón electrofusión.....	110

Índice de Figuras

Figura 1.	Hansann von Pechm.....	3
Figura 2.	Giulo Natta (izquierda) y Karl Ziegler (derecha).....	5
Figura 3.	Niño jugando con hula hoop	5
Figura 4.	Catalizadores de Ziegler-Natta.....	6
Figura 5.	Molde para tuberías de HDPE	6
Figura 6.	Tuberías lisas de HDPE	7
Figura 7.	Tuberías corrugadas de HDPE	7
Figura 8.	Calder Tech, una de las primeras empresas en trabajar con soldadura por Electrofusión.....	8
Figura 9.	Soldadura por Electrofusión.....	9
Figura 10.	Forma Espiga-Campana de Tubería HDPE	9
Figura 11.	Electrofusión	10
Figura 12.	Soldadura por Termofusión	11
Figura 13.	Petroperú	12
Figura 14.	Refinería de Talara.....	12
Figura 15.	Proyecto Modernización de Talara	13
Figura 16.	Instalación de una tubería de HDPE	16
Figura 17.	Manual AWWA – M55.....	18
Figura 18.	Estructura química del Polietileno	19
Figura 19.	Estructura del LDPE	19
Figura 20.	Molécula de HDPE	20
Figura 21.	Molécula de HDPE	21
Figura 22.	Estructura de UHMWPE, donde n es mayor a 100.....	22
Figura 23.	Máquina de soldar a tope en obra	23
Figura 24.	Parámetros de soldadura a controlar	24
Figura 25.	Tiempo a controlar durante la soldadura a tope según DVS 2207-1	25
Figura 26.	Parámetros de soldadura a tope según DVS 2207-1	27
Figura 27.	Parámetros de soldadura a tope según DVS 2207-1	27
Figura 28.	Parámetros de soldadura a tope según DVS 2207-1	27
Figura 29.	Forma incorrecta de una soldadura a tope	29
Figura 30.	Forma correcta de una soldadura a tope.....	29
Figura 31.	Electrofusión	29
Figura 32.	Pantalla de la Ritmo 800	30
Figura 33.	Ficha técnica de la Máquina de soldar	30
Figura 34.	Limpieza de una tubería.....	31

Figura 35.	Operadores de Electrofusión	32
Figura 36.	Tipos de bordones	34
Figura 37.	Prueba de presión	35
Figura 38.	Configuración de la probeta	35
Figura 39.	Configuración de la probeta	36
Figura 40.	Resultado aceptable del Peel Test	36
Figura 41.	Ensayo de DobleZ.....	37
Figura 42.	Ensayo de Tracción	37
Figura 43.	Variables del Procedimiento por electrofusión	38
Figura 44.	Variables del Procedimiento por Termofusión	39
Figura 45.	Formato de un FPS o MEFPS	40
Figura 46.	Resistencia para soldadura de electrofusión.....	42
Figura 47.	Plantilla de colocación de la resistencia	42
Figura 48.	Colocación de la plantilla junto a la resistencia	43
Figura 49.	Grapado de la resistencia en la parte interna de la campana	43
Figura 50.	Grapado de la resistencia en la parte interna de la campana	43
Figura 51.	Grapado final de la resistencia en la parte interna de la campana.....	44
Figura 52.	Unión de la espiga/campana.....	45
Figura 53.	Fijación en la unión de la espiga/campana	45
Figura 54.	Abrazaderas en la parte exterior de la campana	45
Figura 55.	Máquina de electrofusión	46
Figura 56.	Tiempo y voltaje.....	47
Figura 57.	Uniones por soldadura por extrusión	48
Figura 58.	Uniones por soldadura por extrusión	49
Figura 59.	Configuración de la junta	50
Figura 60.	Configuración de la junta	50
Figura 61.	Juntas o uniones típicas tuberías de HDPE	53
Figura 62.	Tabla proporcionada por el proveedor en un inicio	54
Figura 63.	Tabla de valores reales	55
Figura 64.	Presentación de la termofusión.....	56
Figura 65.	Refrentado	57
Figura 66.	Calentamiento de los tubos de HDPE	57
Figura 67.	Dar presión p_1 y mantener hasta el tiempo de enfriamiento.....	58
Figura 68.	Proporciones del cordón.....	60
Figura 69.	Visualmente aceptable.....	60
Figura 70.	Visualmente aceptable a pesar de la falta de homogeneidad	61
Figura 71.	Visualmente rechazable.....	61
Figura 72.	Defectos de la unión por termofusión	61
Figura 73.	Tabla a usar, en el 1er caso.....	68
Figura 74.	Tabla con valores mayores a 20 °C.....	70
Figura 75.	Configuración de la prueba a presión.....	71
Figura 76.	Preparación de las muestras	72
Figura 77.	Resultados de las muestras de doblez.....	73
Figura 78.	Resultados de las muestras de Peel test.....	73
Figura 79.	Curva Fuerza – Alargamiento del Peel Test.....	74
Figura 80.	Muestra 1 de la Prueba del Peel test.....	75
Figura 81.	Muestra 3 de la Prueba del Peel test.....	75
Figura 82.	Muestra D2 (Izquierda) y Muestra D1 (Derecha)	75
Figura 83.	Muestras sometidas al ensayo de Peel Test.....	76
Figura 84.	Curva Fuerza-Alargamiento del ensayo a tracción	79

Figura 85.	Curva Fuerza-Alargamiento del ensayo a tracción	80
Figura 86.	Ensayo de doblez cara.....	80
Figura 87.	Ensayo de doblez raíz	80
Figura 88.	Lugar de trabajo	82
Figura 89.	Colocación del anillo tensor.....	83
Figura 90.	Abrazaderas en la parte exterior de la campana.....	84
Figura 91.	Cordón de soldadura de una tubería de electrofusión	85

Índice de Tablas

Tabla 1.	Temperatura y presión de soldadura a tope en distintos países.....	11
Tabla 2.	Tabla de valores de la Figura 2.1	16
Tabla 3.	Tabla de propiedades físicas del HDPE	21
Tabla 4.	Tabla de propiedades físicas del HDPE	21
Tabla 5.	Tabla de parámetros de soldadura a tope	25
Tabla 6.	Trazabilidad de una tubería de HDPE por electrofusión.....	47
Tabla 7.	Tiempo de enfriamiento	59
Tabla 8.	Ensayos destructivos	62
Tabla 9.	Resultados del ensayo a tracción.....	78

Introducción

El continuo y constante avance de los procesos industriales y el mejoramiento de los equipos han permitido tener resinas plásticas con un mejor rendimiento para la fabricación de tuberías especiales para la minería e industria.

Las tuberías de HDPE (High Density Polyethylene) son usadas en la actualidad para numerosas aplicaciones, siendo el transporte de agua potable, el primer sector donde fueron empleadas. Sin embargo, tiene otras aplicaciones como: instalaciones de riego, conducción de aguas regeneradas, transporte de sólidos, transporte a presión de aguas residuales, entre otros.

En el presente trabajo se hablará sobre los métodos de unión para este tipo de tuberías que han sido usadas en la Refinería de Talara: electrofusión y termofusión. Los principales problemas con estos métodos, las ventajas y desventajas entre un método y otro, los ensayos a realizar para poder homologar a los operadores y la unión, así como la solución que se dio frente a estos problemas. Cabe aclarar que no profundizará en detalles de diseño de las tuberías usadas en la Refinería de Talara, dado a que la ingeniería ha sido diseñada y aprobada por la empresa contratista encargada de la construcción de la planta.

Capítulo 1

Historia y Antecedentes

1.1. Introducción

Este primer capítulo consiste en una breve historia a través del tiempo del polietileno, desde cómo fue descubierto hasta llegar al polietileno de alta densidad o HDPE, los dos procesos de soldadura o unión que son usados para unir este tipo de material, la electrofusión y termofusión; así como la refinería de Talara y el proyecto de su modernización.

1.2. Historia del polietileno

El químico alemán Hans von Pechmann, por accidente lo sintetizó por primera vez en 1898, al prepararlo mientras calentaba una estufa de diazometano.



Figura 1. Hansann von Pechm

Fuente: Página web de Wikipedia

Sus compañeros Eugen Mamberger y Friedrich Tschirner, al investigar la sustancia grasosa y blanca, encontraron largas cadenas compuestas por $-CH_2-$, al cual llamaron polimetileno.

Fue sintetizado tal y como lo conocemos en la actualidad, el 27 de marzo de 1933 por los químicos británicos: Reginald Gibson y Erick Fawcett, quienes

trabajaban para los laboratorios ICI. Esto lo consiguieron aplicando una presión de 1400 bar aproximadamente y a una temperatura de 170 °C en una autoclave, del cual se obtuvo un material de alta viscosidad y color blanquecino, conocido hoy en día como polietileno de baja densidad. Michael Perrin, en 1935, desarrolló un proceso con la finalidad de sintetizar de manera industrial el polietileno de baja densidad, siendo este polímero el primero en aplicaciones industriales. Sus primeras aplicaciones fueron en el empleo de recubrimientos para cables submarinos, construyéndose una planta para su producción, entrando en funcionamiento en setiembre de 1939. Sin embargo, con el tiempo se obtuvieron resultados insatisfactorios, para luego pasar a usar el polietileno como aislador de cables.

Con el estallido de la Segunda Guerra Mundial, los aliados al disponer de polietileno y su aplicación en el radar aerotransportado, les dio una enorme ventaja técnica en la guerra. Durante la guerra, el gobierno de Estados Unidos, persuadió a las empresas Dupont Corp y Union Carbide Corp, con la finalidad de obtener licencias de ICI, para comenzar con la producción del polietileno en los Estados Unidos, superando a Gran Bretaña en la producción a finales de la Segunda Guerra Mundial.

Al terminar la guerra mundial, el polietileno se convierte en un producto comercial, usado como envases. Sin embargo, este polietileno era suave y tenía un punto bajo de fusión, por lo que sus usos eran limitados. No se podía poner agua hirviendo en una jarra de polietileno, debido a que éste se deformaría. Debido a estas dificultades, en 1949, se pensaba que el polietileno se debía polimerizar a alta presión, lo que produjo que se desarrollaran diversos tipos de catalizadores que promoviera una polimerización de etileno a condiciones menos severas, de temperatura y presión. Siendo el catalizador de trióxido de cromo, uno de los primeros, descubierto por Roberta Naks y J. Paul Hogan de Phillips Petroleum.

Con la aparición de estos catalizadores se da origen a la aparición del polietileno de alta densidad (HDPE) del cual se profundizará en el siguiente apartado.

1.3. Polietileno de alta densidad (HDPE)

El profesor alemán Karl Ziegler, en 1953, encontró un nuevo camino para la obtención del polietileno a presión normal. Al inyectarse etileno en una suspensión de etilato de aluminio y éster titánico en un aceite, se polimeriza el etileno con el desprendimiento de calor y se obtiene un producto macromolecular. De esta forma se puede unir en una macromolécula más de 100.000 monómeros.

Este polietileno de alta densidad en un principio se usó como film para empaquetar, antes de utilizarse como botella de leche en 1964. Y debido a las numerosas ventajas que tiene por sus propiedades, precio, resistencia química y mecánica frente a otros productos, su uso comenzó a crecer en diversas aplicaciones. Cabe destacar que Ziegler compartió el premio Nobel con Giulio Natta, por sus descubrimientos en el campo de la química y tecnología de altos polímeros, quien al mismo tiempo descubrió cómo polimerizar otros monómeros para producir otros

plásticos, de los cuales el polipropileno, es el más importante. Por lo que en general, se denominan catalizadores Ziegler-Natta.



Figura 2. Giulio Natta (izquierda) y Karl Ziegler (derecha)

Fuente: Página web de Wikipedia

El catalizador de Phillips y el Ziegler Natta, al final de la década de 1950, eran usados para la producción de Polietileno de Alta Densidad (PEAD o HDPE). Siendo el de Phillips, menos costoso y más fácil de trabajar en comparación con el de Ziegler Natta. Sin embargo, Phillips tuvo problemas inicialmente para producir un producto de HDPE de calidad uniforme, por lo que se llenó de plásticos fuera de especificación. Esto más adelante, en 1957, evitaría su ruina financiera, al convertirse el hula hoop, como se muestra en la Figura 3 un juguete que consiste en un tubo de polietileno circular, en una moda para los jóvenes de los Estados Unidos.



Figura 3. Niño jugando con hula hoop

Fuente: Página web de Wikipedia

En 1957, se pone en marcha la primera planta de producción de HDPE en Italia, al fusionar Montecatini con Edinson para formar Montedison, utilizando el catalizador de bajo rendimiento Ziegler-Natta y el proceso “slurry”, que era propiedad de Montedison, ver Figura 4.

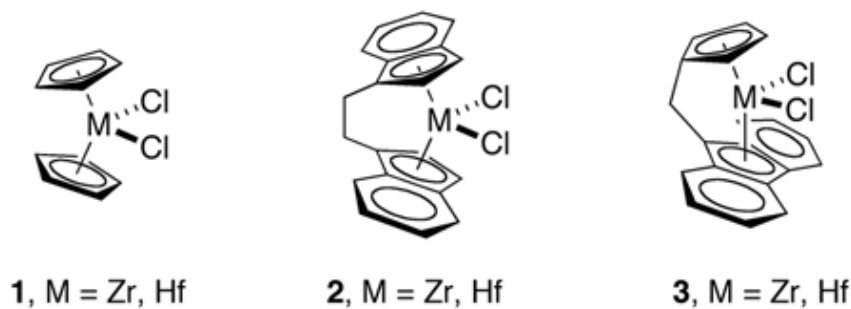


Figura 4. Catalizadores de Ziegler-Natta

Fuente: Página web de Wikipedia

A partir de la década de 1960, las personas denominaban al polietileno de baja densidad (PEBD) como polietileno de alta presión y al polietileno de alta densidad (PEAD) como polietileno de baja presión (su presión de fabricación está por debajo de los 14 MPa), de acuerdo al proceso de manufactura. Hoy en la actualidad es posible encontrar estos términos si se revisa literatura antigua, sin embargo, industrialmente se debe emplear los nombres de polietileno de baja densidad y/o polietileno de alta densidad.

En la década de 1970, se deseaba un material de baja densidad, intermedio entre los HDPEs, por un lado, y los LDPEs por el otro. Esto se consiguió mediante el desarrollo de un tercer tipo de sistema catalítico, que estaba basado en metallocenos, siendo descubierto en 1976, en Alemania, por Walter Kaminsky y Hansjörg Sinn.

En el Perú, para el proyecto de modernización de la refinería de Talara, el proveedor de esta tubería es la empresa española PPA & KRAH, con sede en Perú. La empresa proveerá de tubos y accesorios, que serán fabricados de acuerdo a la norma DIN 16961 "Thermoplastic pipes and fittings with profiles puter and smoot inner surfaces". Se fabricarán usando la tecnología de extrusión helicoidal sobre el molde que consiste en la combinación del movimiento de traslación de la cabeza de la extrusora con el movimiento de rotación del molde, generando una hélice de material que cubre la superficie del molde. Ver Figura 5.

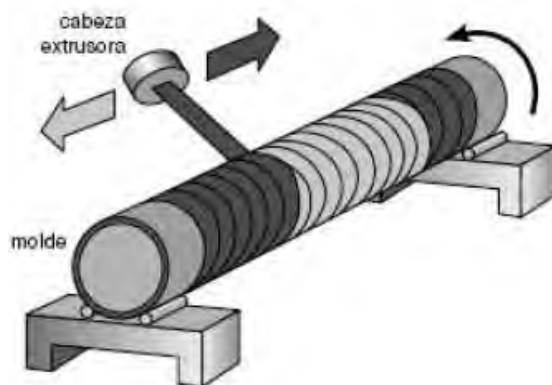


Figura 5. Molde para tuberías de HDPE

Fuente: Manual de PPA & KRAH

Se usarán dos tipos de tubería que serán fabricadas en PE100 para el sistema de tuberías enterradas para transporte de aguas aceitosas y de lluvias. El diseño y

selección de estos dos tipos de tuberías se encuentran relacionadas con la carga de tránsito a la que será sometida las tuberías. Se tendrán tuberías lisas y tuberías corrugadas de HDPE.

Las tuberías lisas, en el proyecto de modernización, tendrán diámetros de 18" y 20", como se muestra en la Figura 6. Estas serán fabricadas por extrusión continuo de espesor masivo.

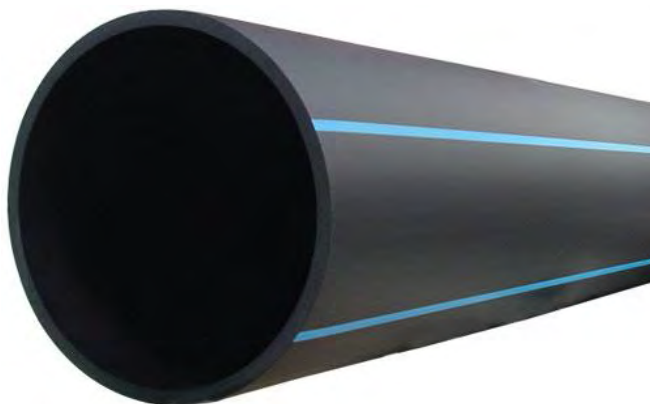


Figura 6. Tuberías lisas de HDPE
Fuente: Manual de PPA & KRAH

Las tuberías corrugadas, en el proyecto, tendrán diámetros mayores a 20", el sistema de extrusión será helicoidal sobre el molde, lo que permitirá extruir paredes sólidas y reforzarlas mediante secciones aligeradas en el exterior, incrementando de esta manera su rigidez circunferencial. Las tuberías corrugadas incorporan extremos macho-hembra o espiga-campana, donde el extremo hembra será conformado en el proceso de fabricación sobre el molde, mientras que el extremo macho cónico, será mecanizado en un paso posterior a la extrusión, después del enfriamiento de la tubería. Se seleccionan este tipo de tuberías porque a diferencia de las tuberías lisas, éstas serán instaladas en las interconexiones entre las nuevas áreas del proyecto modernización de Talara, por lo que soportan mucho mayores cargas y ciclos de tránsito. Ver Figura 7.



Figura 7. Tuberías corrugadas de HDPE
Fuente: Manual de PPA & KRAH

1.4. Electrofusión

1.4.1. Antecedentes

En la década de los 80, las herramientas de fusión de calor para la aplicación de calor en los extremos de la tubería que se querían unir eran rudimentarias. A partir de la necesidad de encontrar, nuevas herramientas y mejores técnicas para realizar estas uniones, trajo consigo nuevos procedimientos para la aplicación de calor.

Las tuberías se encontraban fabricadas de una serie de diferentes materiales con diferentes puntos de fusión, haciendo de las herramientas que aplicaban calor, en cierto modo, un producto específico para cada una de estas tuberías. Por lo que el mercado exigía un proceso de unión que permitiera unir las juntas de estas tuberías fabricadas a partir de las diferentes materias primas de polietileno, que se tenían en ese momento, mediante un proceso que le permitiera al operador, un mayor control en el proceso de unión que resulte fácil de usar y, a su vez, disminuya la posibilidad del error humano, siendo este proceso de unión el de electrofusión.

La industria de gas del Reino Unido fue la primera en adoptar este nuevo proceso de unión por electrofusión y abrió las puertas para que las empresas que se encontraban interesadas en este tipo de procesos, entraran en un nuevo mercado en una etapa temprana y formaran parte de su proceso de desarrollo, de esta forma diseñando y ofreciendo herramientas y equipos que ayudarían en la adopción del procedimiento de electrofusión. Convirtiéndose con el tiempo, en el método preferido de unión permanentemente del polietileno para su utilización en sistemas de distribución de presión. Figura 8



Figura 8. Calder Tech, una de las primeras empresas en trabajar con soldadura por Electrofusión

Fuente: Página web de Calder Tech

A mediados de 1986, se introdujo el primer modelo de caja de control de electrofusión después de rigurosas pruebas en la estación de ingeniería

“British Gas” y de investigación en el norte de Inglaterra. La caja de control fue aprobada por la “British Gas” para su uso en sistemas de transmisión y distribución de gas.

La configuración clásica de la soldadura por electrofusión consiste en un accesorio para electrofusión, que incluye una bobina de metal integrada para la inyección de corriente. Dos tuberías de polietileno son colocadas a ambos lados del accesorio, éste se conecta a una máquina de soldadura, donde la bobina de metal mediante el efecto Joule genera la energía necesaria para la fusión e interdifusión de las macromoléculas de polietileno en la interface conexión/tubería. Figura 9.

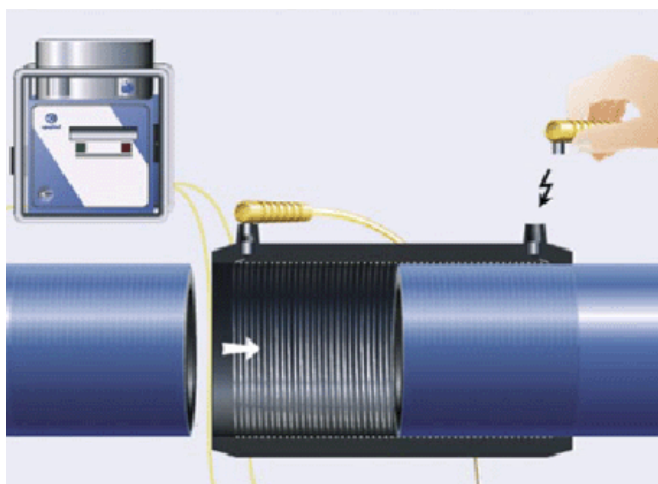


Figura 9. Soldadura por Electrofusión

Fuente: Página web de Wikipedia

En el proyecto de modernización de la refinería de Talara, se usa este proceso para unir tuberías de HDPE de diámetros de 28”, 30”, 32” y 36” bajo la forma espiga - campana, con una relación de dimensiones estándar (SDR, por sus siglas en inglés) de 26.

Cabe destacar que el proceso de unión de espiga – campana por electrofusión, es un proceso nuevo y es el primero en utilizarse en un proyecto en el Perú. Estas tuberías serán usadas en el sistema de tuberías enterradas para aguas aceitosas y de lluvias. Ver Figura 10 y Figura 11.

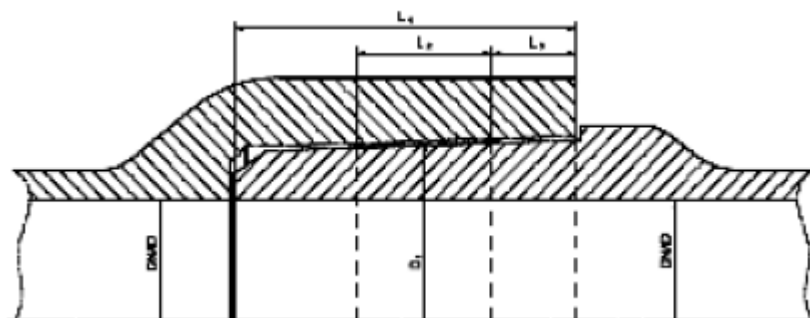


Figura 10. Forma Espiga-Campana de Tubería HDPE

Fuente: Página web de Wikipedia



Figura 11. Electrofusión

Fuente: Registro fotográfico personal

Como todo proceso nuevo, se ha tenido una serie de dificultades al momento de lograr aprobar el MEFPS (Manufacturer Qualified Fusion Procedure Specification) y homologar al operador.

En un primer momento cuando se realizaron las uniones y pegas por este procedimiento, al realizarse la prueba de estanqueidad, se encontró que todas las uniones que habían sido electrosoldadas presentaban fugas, siendo rechazadas estas pruebas por parte del cliente. Al enviarse a ensayar para poder detectar el motivo de estas fugas, los resultados presentaron que no había ocurrido una buena fusión por parte del material, por lo que el procedimiento para realizar el proceso de unión por electrofusión quedo rechazado y el operador fue descalificado.

Por tal motivo una de las primeras soluciones que se dio fue la de sellar y reforzar el interior de las pegas con la extrusora, siendo aprobada esta idea por parte del proveedor, además de repetir nuevamente todo el procedimiento, con un nuevo cuadro de parámetros de temperatura y tiempo que fue proporcionado por el proveedor, ya que el primer cuadro que se había proporcionado no contaba con muchos valores de los parámetros de temperatura y tiempo. Hay que tener en cuenta que una ciudad como Talara, por sus altas temperaturas es una de las variables más importantes a controlar.

Con las “lecciones aprendidas” de la primera prueba, se procedió nuevamente a realizar la pega, con resultados más que satisfactorios, pero con un proceso más estricto al momento de realizar las pruebas para su evaluación, con la finalidad que se cumplan con los requerimientos para su uso y bajo los estándares de calidad que garantizaran una buena pega. Sin embargo y como se muestra en los ensayos mecánicos, de los cuales se va a hablar más adelante, este proceso, aun no es perfecto y requiere tener muchos cuidados para llegar a serlo, como se mencionará en el capítulo IV de resultados, sin embargo, para los esfuerzos y condiciones a las que se va a someter, cumple con su objetivo para el cuál fue diseñado.

1.5. Termofusión por soldadura a tope

La termofusión a diferencia de la electrofusión, es un proceso más antiguo, se viene usando desde hace más de 40 años como técnica de unión de soldadura. Este proceso consiste en calentar los extremos de los tubos por medio de una placa calefactora. Luego se deben unir los extremos de cada tubo ejerciendo una presión que ha sido previamente tabulada.

En 1970, Diedrich y Gaube, realizaron estudios experimentales variando los parámetros de la soldadura a tope (presión y temperatura) comprobando el comportamiento de la soldadura, además investigaron el efecto del Índice de Fluidéz (MFR) del polietileno, realizando una publicación de dicha investigación en 1980.

En 1980, Alemania comenzó un extenso programa con la finalidad de perfeccionar los parámetros de la soldadura a tope con la placa calefactora. Varias industrias interesadas en conjunto con las universidades, trabajaron en conjunto con la finalidad de poder perfeccionar dichos parámetros. De estas investigaciones, se concluyó que no se tendría ningún efecto negativo en las uniones de polietileno si se usaban placas calefactoras que estuvieran a temperaturas entre 190 °C y 260°C, y la variación de presión estuviera entre 0.15 N/mm² y 0.45 N/mm².

Tabla 1. Temperatura y presión de soldadura a tope en distintos países

País	Alemania	Reino Unido	Holanda	Bélgica	Italia	USA	España
Temperatura de soldadura (°C)	200-220	230 ±10	210 ±10	210 ±10	210 ± 10	204 – 232	210 - 225
Presión de soldadura (N/mm ²)	0.15	0.15	0.18	0.3	0.15	0.41-0.62	0.15
Fuente: Asociación Española de Fabricantes de Tubos y Accesorios Plásticos							

En el proyecto de modernización de Talara, se usa este proceso para unir tuberías de HDPE de diámetros 18” y 20”, con un SDR de 26. Estas tuberías serán usadas en el sistema de tuberías enterradas para aguas aceitosas y de lluvias.



Figura 12. Soldadura por Termofusión

Fuente: Asociación Española de Fabricantes de Tubos y Accesorios Plásticos.

1.6. Refinería de Talara

Se instaló a inicios del siglo pasado en la provincia costera de Talara, en el departamento de Piura, convirtiéndose en la primera refinería de crudo en el país, bajo la administración estatal de Petroperú.



Figura 13. Petroperú

Fuente: Página web de Petroperú

La refinería trabaja con el petróleo que se extrae de los desiertos y el mar de Talara, en la antigüedad fue llamada “copé”, que fue muy valorada por los españoles que conquistaron el Tahuantinsuyo. En el siglo XX, gracias a esta riqueza natural que posee la ciudad de Talara, se convirtió en uno de los centros de explotación de petróleo más importantes del Perú.

Hoy en día, la refinería desarrolla actividades de refinación y comercialización de hidrocarburos en el mercado nacional e internacional, produciendo gas doméstico GLP, gasolina para motores, solventes, turbo A-1, diésel 2, petróleos industriales y asfaltos de calidad de exportación. Con una capacidad de refinación que asciende a los 65 MBD (miles de barriles por día).



Figura 14. Refinería de Talara

Fuente: Página web de Petroperú

La refinería cuenta con un esquema de refinación de mediana conversión, propio de la década de los 70, siendo pionera en el país, pero que a pesar de su buena administración, requiere con urgencia un incremento en su capacidad e

infraestructura con la finalidad de mejorar su economía y lograr producir combustibles limpios con menor contenido de azufre. Por tal motivo, el 29 de mayo del 2014, Petroperú aprueba la suscripción del contrato del proyecto de modernización de la refinería con la empresa de ingeniería Técnicas Reunidas de España. Con este proyecto se espera reducir el contenido de azufre de 1.700 partes por millón (ppm) a 50(ppm) e incrementar la refinación de petróleo a 90 MBD (mil barriles por días), con costo de aproximadamente US\$3.500 millones, de los cuales 78% será financiado por Petroperú y el 22% por la empresa Técnicas Reunidas.



Figura 15. Proyecto Modernización de Talara

Fuente: Página web de Petroperú

Capítulo 2

Conceptos y fundamentos del proceso de soldadura del polietileno

2.1. Introducción

En este capítulo se explicarán los conceptos que serán utilizados a lo largo de todo el trabajo y que son necesarios conocer para su fácil entendimiento.

2.2. Sistema de aguas aceitosas (ows) de la refinería

Es un sistema de tuberías enterradas de diferentes tipos de materiales como: fibra de vidrio, HDPE, acero al carbono y hierro dúctil, que se encuentra formado por los drenajes de los equipos y los drenajes de las áreas pavimentadas de las distintas unidades de la refinería. El sistema transportará:

- Agua contaminada o de lavado procedente de equipos por la copa de drenaje
- Agua de lavado o agua contra incendio que ha sido derramada en las zonas pavimentadas de las unidades
- Agua contaminada procedente del lavado de drenajes interiores de edificios
- Drenaje de las bases de equipos.

2.2.1. Instalación de tubería enterrada para HDPE

La instalación de las tuberías de HDPE, en la refinería se realizará de la siguiente manera, ver Figura 16:

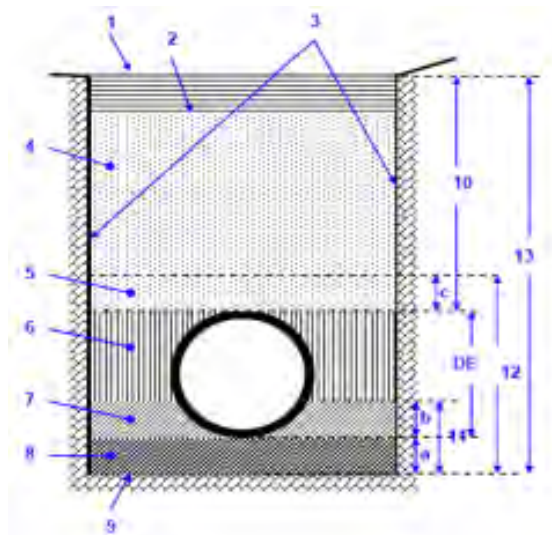


Figura 16. Instalación de una tubería de HDPE
Fuente: Página web de Petroperú

Tabla 2. Tabla de valores de la Figura 2.1

1	Superficie del terreno natural	10	Recubrimiento de la tubería
2	Borde inferior de la ruta de construcción	11	Espesor de la cama de asiento
3	Pared de la zanja	12	Espesor de relleno de contención
4	Relleno principal	13	Profundidad total de la zanja
5	Relleno superior para compactación sobre el tubo	a	Espesor medido entre el nivel inferior del tubo, no menor a 150 mm
6	Relleno principal	b	Espesor mínimo de 100 mm más 1/10 del diámetro exterior de la tubería
7	Cama de asiento superior	c	Espesor del relleno superior para compactación. Como mínimo será 150 mm
8	Cama de asiento inferior	DE	Diámetro exterior de la tubería
9	Fondo de la zanja		

Fuente: Petroperú

2.3. M55 “PE Pipe – Design and Installation”

El comportamiento de las tuberías de HDPE que serán utilizadas en el sistema de tuberías enterradas de aguas aceitosas en la refinería a corto y largo plazo sigue con las directrices del manual M55 de la Sociedad Americana de Trabajos con Agua (AWWA, por sus siglas en inglés). Siguiendo estas directrices el resultado será una tubería equilibrada (espesor de pared e inercia de perfil) con deformaciones, tensiones y coeficientes de seguridad que se encuentran dentro de los parámetros establecidos en el manual M55. La ingeniería (selección, cálculos y valores) para la selección de tuberías de HDPE han sido desarrollados por la empresa contratista, se explicarán ciertos conceptos que han sido usado al momento de diseñar las tuberías de HDPE.

Por lo que se usarán las siguientes definiciones:

Aplastamiento de la tubería (Resistencia a la compresión anular)

De la siguiente expresión se tiene el área mínima (mm²/mm) que debe tener el perfil.

$$A_{req} = \frac{P * D_m}{2 * \sigma} \quad [2.1]$$

Pandeo de la tubería (Resistencia al colapso)

$$P = \frac{5.65}{N} * \sqrt{R * B * E' * \frac{E}{12 * (DR - 1)^3}} \quad [2.2]$$

Tras desarrollar la expresión anterior se, busca despejar el momento de inercia.

$$I = \frac{P^2 * N^2 * D_e^3}{32 * R * B * E' * E} * \left(1 - \frac{3 * s}{D_e} + \frac{3 * s^2}{D_e^2} - \frac{1}{D_e^3} \right) \quad [2.3]$$

Flexión en la tubería (Deformación vertical admisible)

A partir de esta expresión se obtiene la deformación en la tubería.

$$\frac{\Delta Y}{D_m} = \frac{K * (D_l * P_m * P_t)}{\frac{2 * E}{3 * (DR - 1)} + 0.061 * E'} \quad [2.4]$$

Tras desarrollar la expresión anterior se llega a la siguiente expresión:

$$\Delta Y = \frac{K * (D_l * P_m * P_t)}{\frac{E * I}{r^3} + 0.061 * E'} \quad [2.5]$$

Estas son fórmulas, obtenidas del manual AWWA-M55, Figura 17.

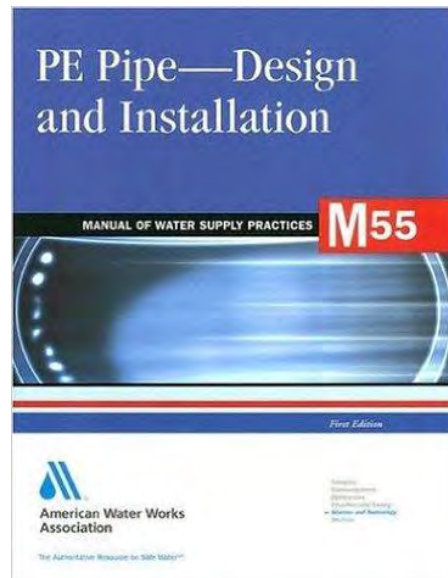


Figura 17. Manual AWWA – M55

Fuente: Página web de Amazon

2.4. Carga de tránsito

La carga de tránsito sobre la tubería depende de los siguientes factores: Tipo de pavimento (Rígido, flexible o sin pavimento) y capa de enterramiento.

Las cargas de tránsito han sido la principal razón por la cual se han usado dos tipos distintos de tuberías de HDPE (corrugadas y lisas), debido a que las tuberías corrugadas de HDPE se encuentran en las interconexiones de las distintas unidades, por lo que se encontrarán sometidas a cargas de tránsito y constante en comparación con las tuberías lisas, que han sido ubicadas dentro de cada unidad, donde se ha previsto un menor tránsito de tuberías.

Además, las tuberías corrugadas se encuentran enterradas a una mayor profundidad que las tuberías lisas, esto debido a que las cargas de los vehículos, se van disipando con la profundidad, por lo que a mayor profundidad se encuentren enterradas las tuberías menores serán los efectos de las cargas sobre éstas.

2.5. Polietileno (PE)

El polietileno es un plástico, y probablemente el más popular en el mundo debido a su bajo precio y su simplicidad al momento de su fabricación. Se obtiene de la polimerización del etileno, es químicamente inerte y su producción es de 60 millones de toneladas alrededor del mundo. Se representa $(-\text{CH}_2-\text{CH}_2)_n$; Figura 18

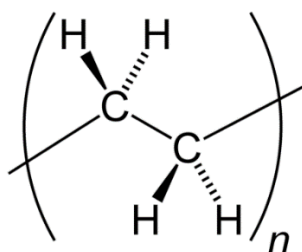


Figura 18. Estructura química del Polietileno

Fuente: Página web de Wikipedia

El polietileno se puede producir por diferentes reacciones de polimerización, teniendo diferentes tipos de polietileno para cada mecanismo de reacción. Entre los mecanismos de reacción se encuentran: Polimerización aniónica, polimerización catiónica, polimerización por radicales libres o polimerización por coordinación de iones.

Los polietilenos se clasifican en base a su densidad, según el código ASTM, según:

- Polietileno de Baja Densidad (LDPE)
- Polietileno de Alta Densidad (HDPE o PEAD)
- Polietileno lineal de baja densidad (LLDPE)
- Polietileno de Alta densidad de Alto Peso Molecular (HMW-HDPE)
- Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular (UHMWPE)

2.5.1. Polietileno de baja densidad (LDPE)

El LDPE es un polímero con estructura de cadenas muy ramificadas, lo que hace que tenga una densidad más baja en comparación con la del HDPE. Densidad entre 0.92-0.94 g/cm³. Ver Figura 19

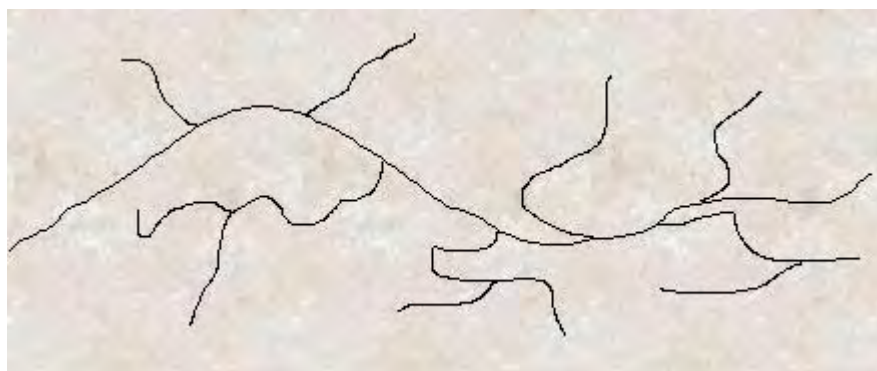


Figura 19. Estructura del LDPE

Fuente: Página web de Universidad del Sur de Misisipi

Entre sus principales características se encuentran:

- Buena resistencia al impacto.
- Color lechoso, llegando a ser transparente dependiendo de su espesor.
- Buena resistencia térmica, puede soportar temperaturas de 80°C.
- Buena resistencia química.
- Mayor flexibilidad que el HDPE.

- Dificultad para imprimir, pintar o pegar en él.

Las aplicaciones del LDPE son:

- Film para invernaderos
- Botellas
- Juguetes
- Sacos y bolsas de plástico
- Tubos y tuberías
- Base para pañales, entre otros.

2.5.2. Polietileno lineal de baja densidad (LLDPE)

El LLDPE es un polímero que posee un esqueleto lineal con ramificaciones laterales cortas y uniformes. Esto permite que su resistencia a la tracción, temperatura de fusión y agrietamiento sean mayores que el LDPE.



Figura 20. Molécula de HDPE

Fuente: Página web de Universidad del Sur de Misisipi

Entre sus principales características se encuentran:

- Buena resistencia a la tracción.
- Buena resistencia al rasgado y a la perforación.
- Buena resistencia al impacto, a temperaturas muy bajas (hasta -95°C).
- Buen comportamiento a la elongación, en películas.
- Presentan un alto brillo y poco olor.

Entre sus principales aplicaciones se encuentran:

- Cestos de residuos.
- Contenedores industriales.
- Geomembrana y tubería principalmente flexible.
- Película estirable.
- Juguetes, entre otros.

2.5.3. Polietileno de alta densidad (HDPE o PEAD)

El HDPE es un polímero de cadena lineal no ramificadas, conformado por unidades repetitivas de etileno. En su proceso de polimerización, se utiliza el catalizador de Ziegler-Natta, siendo el etileno polimerizado a bajas presiones. El proceso de conformado se puede realizar mediante los siguientes métodos: Extrusión, moldeo por inyección, rotomoldeo y compresión.



Figura 21. Molécula de HDPE

Fuente: Página web de Universidad del Sur de Misisipi

Entre sus principales propiedades se encuentran:

- Estabilidad térmica a altas temperaturas.
- Resistencia química: excelente frente a ácidos, bases y alcoholes.
- Densidad: Inferior a la del agua, entre valores de 0.945 y 0.960 g/cm³.
- Sólido, incoloro, translúcido y casi opaco a causa de su elevada densidad.
- Punto de fusión de 135°C, lo que lo hace resistencia al agua en ebullición.
- Muy buena resistencia frente al impacto.
- Es tenaz
- Se mantiene flexible aun a bajas temperaturas
- Oxidación del polietileno: en presencia de oxígeno, el polietileno es vuelve menos estable. En el estado fundido, la oxidación térmica del polietileno, porque influye sobre el comportamiento en los procesos de tratamiento, y en el estado sólido porque fija límites a ciertos usos.
- Propiedades Eléctricas: el polietileno debido a su composición química tiene una conductividad eléctrica pequeña, baja permitividad, un factor de potencia bajo y una resistencia dieléctrica elevada.

Tabla 3. Tabla de propiedades físicas del HDPE

Propiedades Físicas	
Absorción de agua en 24h (%)	< 0,01
Densidad (g/cm ³)	0,945-0,960
Índice refractivo	1,54
Resistencia a la radiación	Aceptable
Resistencia al ultra-violeta	Mala
Coefficiente de expansión lineal (K ⁻¹)	2 x 10 ⁻⁴
Grado de cristalinidad (%)	60-80

Fuente: Página web de Universidad del Sur de Misisipi

Tabla 4. Tabla de propiedades físicas del HDPE

Propiedades Mecánicas	
Módulo elástico E (N/mm ²)	1000
Coefficiente de fricción	0,29
Módulo de tracción (GPa)	0,5-1,2
Relación de Poisson	0,46
Resistencia a tracción (MPa)	15-40
Esfuerzo de rotura (N/mm ²)	20-30
Elongación a ruptura (%)	12

Fuente: Página web de Universidad del Sur de Misisipi

Entre sus principales aplicaciones se encuentran:

- Empaques para partes automotrices.
- Artículos para el hogar, como envases de alimentos, detergentes y otros productos químicos.
- Tuberías para sistemas de distribución de gas y de agua potable.
- Dispositivos protectores como cascos, coderas y rodilleras.
- Impermeabilización del terreno, entre otros

2.5.4. Polietileno de alta densidad de alto peso molecular

El HMW-HDPE a diferencia del HDPE, presenta un peso molecular entre 20,000 y 500,000 g/g-mol. Su nombre proviene del alto peso molecular que presenta a diferencia del de alta densidad.

Entre sus principales características se encuentran:

- Impermeabilidad al agua.
- Buena resistencia al rasgado.
- Presenta un amplio rango de temperaturas de trabajo ente -40°C a 120 °C.
- No guarda olores.
- Fácil impresión y doblez
- Propiedades químicas similares al HDPE

Entre sus principales aplicaciones se encuentran:

- Bolsas o empaques de alimentos.
- Tuberías a presión de gas
- Contenedores de capacidades de 200 litros
- Ductos de fibra óptica para instalaciones telefónicas.
- Parches de tuberías para distribución de agua, gas y líneas de alcantarillado.

2.5.5. Polietileno de ultra alto peso molecular (UHMWPE)

El UHMWPE se compone de cadenas extremadamente largas de polietileno que se encuentran alineadas en la misma dirección, con un peso molecular que se encuentra entre 3 000 000 y 7 500 000 g/g-mol. Figura 22.

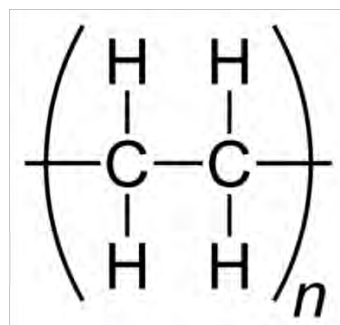


Figura 22. Estructura de UHMWPE, donde n es mayor a 100

Fuente: Página web de Wikipedia

Entre sus principales características se encuentran:

- Excelente resistencia al impacto y al desgaste por abrasión.
- Altamente resistente a productos químicos corrosivos.
- No guarda olores, insípido y no tóxico.
- Muy baja absorción de humedad y presenta un bajo coeficiente de fricción, por lo que es autolubrificante.
- Propiedades químicas similares al HDPE, con el rasgo de ser resistente a los ácidos, álcalis concentrados y numerosos disolventes orgánicos.

Entre sus principales aplicaciones se encuentran:

- Recubrimientos para bandas transportadoras.
- Partes de motores y acopladores.
- Cintas y canales de desgaste.
- Tolvas.
- Prótesis de rodilla o cadera.

2.6. Termofusión o soldadura a tope

Este tipo de soldadura es empleada en tubos a partir de 90 mm de diámetro y espesores de pared superiores a 3 mm. Este método consiste en calentar los extremos de los tubos a unir con una placa calefactora que se encuentra entre los 210 y 225 °C, y unir estos extremos, aplicando una determinada presión, previamente tabulada para cada máquina de soldar.

Las máquinas de soldar a tope se utilizan en tubos de DN 90 a 1600 mm, donde toma importancia la habilidad y formación del operador para realizar estas pegas. Estas máquinas de soldar, cada día tienden a ser más automática, lo que facilita el proceso de soldadura y permite realizar un informe de las soldaduras, con la finalidad de tener una trazabilidad de estas uniones, importante al momento de justificar el avance del día al cliente.

Las máquinas de soldar se pueden clasificar en manuales y automáticas. Las máquinas de soldar a tope manuales son aquellas donde los parámetros de soldadura son controlables por el operador, en cambio, en las máquinas de soldar automáticas, los parámetros de soldadura son controlados por la misma máquina y no pueden ser modificados por el operador. Ver Figura 23.



Figura 23. Máquina de soldar a tope en obra

Fuente: Informe de ASETUB

2.6.1. Fundamentos de la soldadura a tope

La soldadura a tope consiste en calentar los extremos de los tubos a unir con una placa calefactora que se encuentra entre los 210 y 225 °C, se une los tubos aplicando una presión que es previamente tabulada para cada tipo de tubo.

Esta presión que se utiliza para unir los tubos es una constante que para todos los casos es de 0.15 N/mm². Donde la presión que se aplicará en el sistema hidráulico es influenciada por la superficie de la sección de cada tubo a unir, siendo la presión que se unen los tubos y la sección de la superficie de los pistones, constantes prefijadas.

Dónde:

Sistema hidráulico: $F = p \cdot S$

Tubo: $F_1 = p_k \cdot S_1$

De estas expresiones se tendrá:

$$F = F_1$$

$$p \cdot S = p_k \cdot S_1$$

$$p = p_k \cdot \frac{S_1}{S}$$

Siendo:

- F y F_1 = Fuerza (Kg)
- p = Presión del sistema hidráulico (manómetro en bar)
- p_k = Constante de presión de soldadura: 0.15 N/mm² o 1.5 bar
- S = Superficie pistones hidráulicos (cm²)
- S_1 = Superficie sección transversal del tubo (cm²)

Parámetros de soldadura

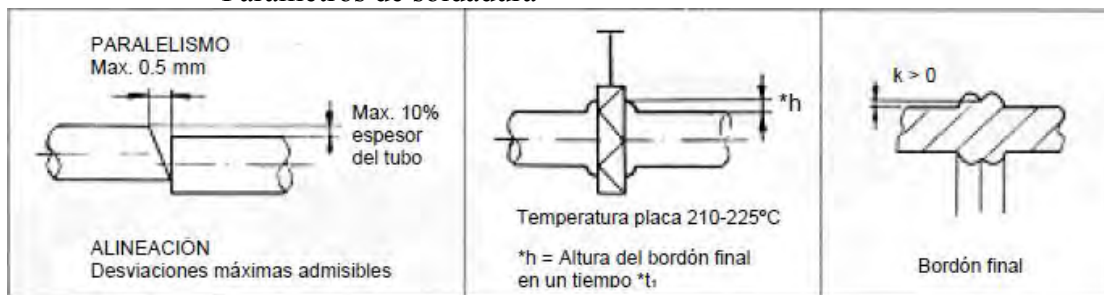


Figura 24. Parámetros de soldadura a controlar

Fuente: Informe de ASETUB

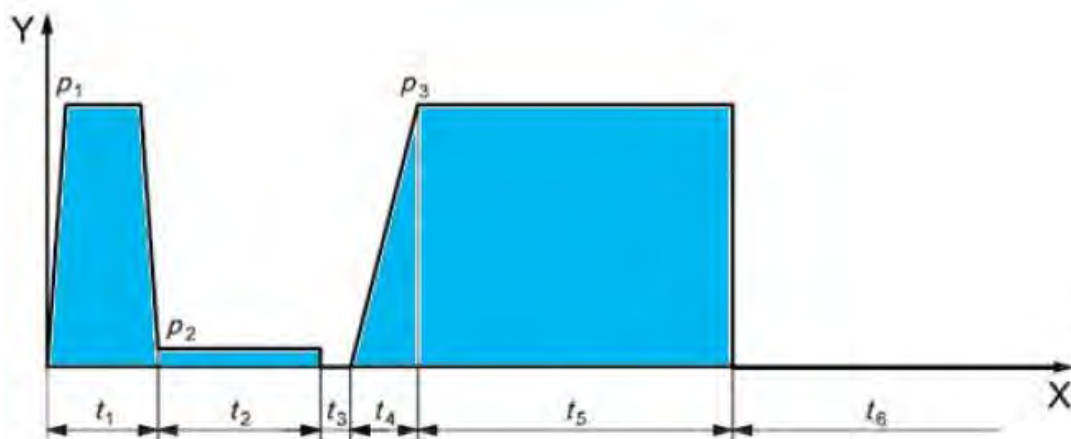


Figura 25. Tiempo a controlar durante la soldadura a tope según DVS 2207-1

Fuente: DVS 2207-1

Tabla 5. Tabla de parámetros de soldadura a tope

Espesor tubo mm	Altura bordón Inicial*h mm	Tiempo de calentamiento t2 segundos	Tiempo para retirar placa t3 segundos	Tiempo para alcanzar la presión t4 segundos	Tiempo de enfriamiento t5 minutos
Hasta 4.5	0.5	45	5	5	5
4.5 – 7	1.0	45 - 70	5 - 6	5 - 6	6 - 10
7 – 12	1.5	70 - 120	6 - 8	6 - 8	10 - 16
12 – 19	2.0	120 - 190	8 - 10	8 - 11	16 - 24
19 – 26	2.5	190 - 260	10 - 12	11 - 14	24 - 32
26 – 37	3.0	260 - 370	12 - 16	14 - 19	32 - 45
37 – 50	3.5	370 - 500	16 - 20	19 - 25	45 - 60
50 – 70	4.0	500 - 700	20 - 25	25 - 35	60 - 80

Fuente: DVS 2207-1

Dónde:

t_1 = Tiempo para la formación del cordón inicial de altura *h

t_2 = Tiempo de calentamiento en segundos

t_3 = Tiempo de retirar placa en segundos

t_4 = Tiempo para alcanzar la presión de soldadura en segundos

t_5 = Tiempo de enfriamiento en minutos

t_6 = Tiempo necesario antes de someter el tubo a presión

Se indican por orden de importancia los parámetros de soldadura, con la finalidad de obtener una soldadura que cumpla con los requerimientos y bajo los estándares de calidad:

Tiempo de calentamiento (t_2): Obtención suficiente de la zona fundida.

Tiempo enfriamiento (t_5): Se debe tener en cuenta que tiempos de enfriamiento demasiado cortos pueden dar roturas frágiles debido a tensiones internas.

Rampa de presión (t_4): Al terminar el calentamiento, los extremos de los tubos se deben juntar rápidamente, pero la presión debe ser gradual.

Retirar placa y cerrar (t_3): Esta operación se debe realizar en el menor tiempo posible, lo recomendando es menos de 10 segundos. El tiempo debe ser pequeño para que las superficies fundidas de los tubos no se enfrien.

Presión de fusión (p_1): Se encuentra en el rango de 0.10-0.22 N/mm². No se aconsejan valores más altos cuando la fuerza de arrastre (p_2) sea alta. El valor de p_1 se obtiene de la tabla de la máquina más la presión de arrastre. Donde el valor de p_2 suele ser un 10% de p_1 .

Temperatura (T): Su rango puede variar entre 200–230°C, no presenta diferencia significativa en la resistencia de la soldadura.

De estos parámetros, encontramos que pequeñas variaciones en la temperatura de la placa, así como en la presión, tienen muy poca influencia en la calidad de las uniones.

2.6.2. Sistemas de soldadura a tope

En la introducción de la norma ISO 21307: *Plastic pipe and fittings – Butt fusion joint procedure for polyethylene (PE) pipes and fittings used in the construction of gas and water distribution systems*, dice lo siguiente:

Con el incremento del uso de los materiales de polietileno bimodales, como PE 80 y PE 100, cada día están apareciendo más compuestos de PE en el mercado de tubos, acompañados de propuestas de procedimientos de soldadura a tope que a menudo difieren dentro del mismo material. El objetivo de la normalización es impulsar el uso de procedimientos similares para los mismos tipos de materiales. Por todo ello, existe una necesidad de analizar, a escala mundial, las prácticas usuales de ejecución de soldaduras a tope en sistemas de abastecimiento y distribución de agua y gas, con objeto de establecer los mejores procedimientos que garanticen la máxima calidad de las soldaduras, de modo consistente y eficiente (ISO 21307, 2011).

Dentro de esta norma, se contemplan los siguientes sistemas:

Baja presión

Temperatura de placa: 200 a 245°C

Presión inicial y presión final: $P_1 = P_3 = 0.17 \text{ N/mm}^2$

Normas de referencia; DVS 2207.1 (Alemania), NEN 7200 (Holanda), UNE 533394 (España).

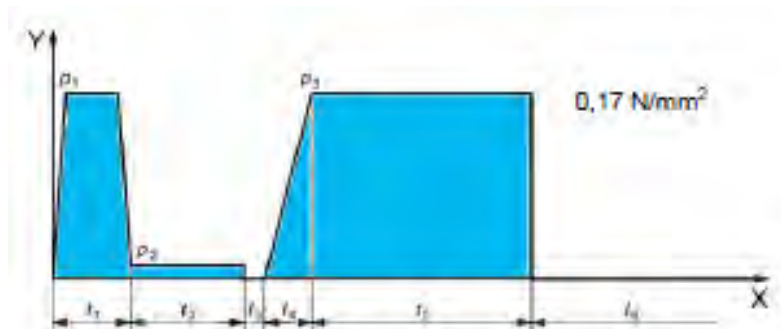


Figura 26. Parámetros de soldadura a tope según DVS 2207-1

Fuente: DVS 2207-1

Baja presión dual

Temperatura de placa: 200 a 245°C

Presión inicial y presión final: $P_1 = P_3 = 0,17 \text{ N/mm}^2$

$P_4 = 0,025 \text{ N/mm}^2$

Normas de referencia: UNI 10520 (Italia), WIS 4-32-08 (UK)

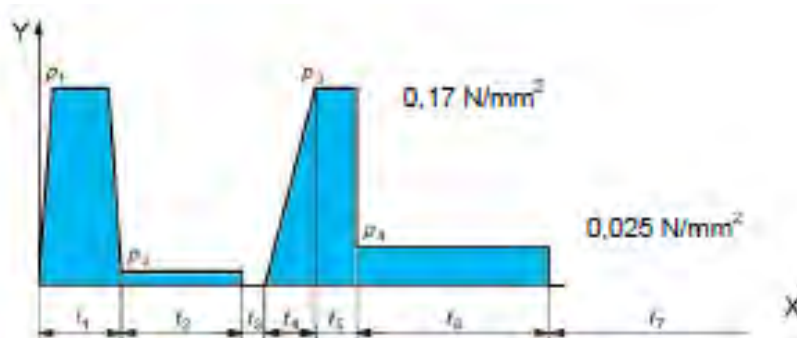


Figura 27. Parámetros de soldadura a tope según DVS 2207-1

Fuente: DVS 2207-1

Alta presión

Temperatura de placa: 200 a 230°C

Presión inicial y presión final: $P_1 = P_3 = 0,52 \text{ N/mm}^2$

Normas de referencia: ASTM D 2657 (USA)

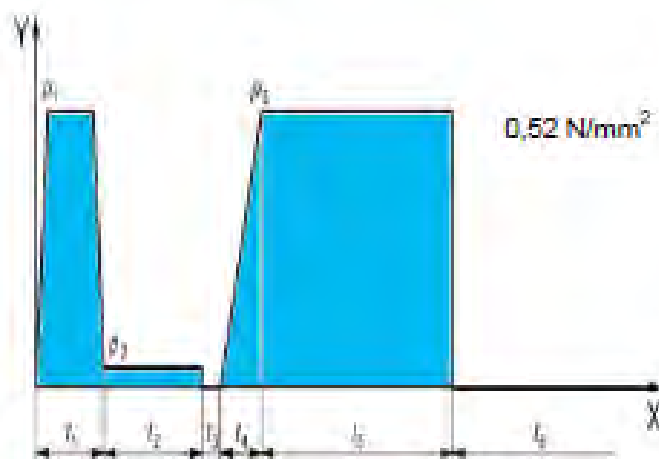


Figura 28. Parámetros de soldadura a tope según DVS 2207-1

Fuente: DVS 2207-1

2.6.3. Factores que influyen en la calidad de la soldadura

Condiciones de trabajo

Se recomienda realizar las uniones en un lugar cerrado o que se arme una tienda donde se pueda trabajar y se proteja la unión del sol, del viento y del polvo. Los fuertes vientos en la ciudad de Talara pueden causar problemas al momento de realizar la unión, debido a que pueden enfriar distintas zonas de la placa, lo que ocasiona una desigual distribución de temperatura en las mismas.

El orden y la limpieza, antes, durante y después de realizar la unión es muy importante, por lo que se debe mantener los extremos de los tubos y la placa calefactora, limpios y libres de polvo o alguna sustancia extraña que podría alterar o interferir con la calidad de la soldadura. Se recomienda no tocar con las manos las superficies a soldar que han sido refrentadas, por precaución.

Alineación

En las uniones de los tubos de HDPE, el desalineamiento no debe ser mayor del 10% del espesor del tubo, debido a que puede causar una reducción en la vida útil de la soldadura o reducir su resistencia. El desalineamiento puede ser causado por un alineamiento incorrecto del tubo en las abrazaderas de la máquina o que los extremos de los tubos a unir se encuentren mal refrentados o cortados.

Es importante tener el menor desalineamiento posible o ser nulo, para tener una buena unión o pega. En el caso de que este sea excesivo, se pueden obtener formas entalladas o afiladas, con concentración de tensiones, lo que puede producir una temprana falla en la unión.

Índice de fluidez en masa

El Índice de fluidez en masa (MFR, por sus siglas en inglés) es uno de los criterios que se tienen en cuenta al momento de realizar este tipo de soldaduras, debido a que este índice nos define la compatibilidad de la soldadura.

De acuerdo a la norma ISO 21307, cuando el MFR de 190 °C/5 kg esté situado entre 0,3 y 1,7 g/10 min, no existirán problemas en las soldaduras entre tubos de PE 80 y PE100.

Parámetros de soldadura

Con la finalidad de obtener una unión que cumpla con los requisitos y estándares de calidad, es importante tener en cuenta los siguientes parámetros de soldadura a tope: presión, temperatura y tiempo, esto nos asegura obtener una soldadura fiable y duradera.

Diferencia de espesores

Es recomendable, mediante la soldadura a tope, no unir tubos de diferente material y con distintos espesores de pared.

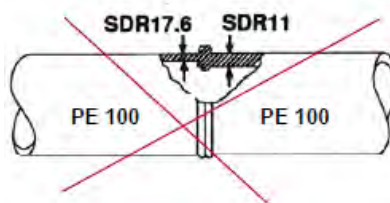


Figura 29. Forma incorrecta de una soldadura a tope

Fuente: Informe de ASETUB

El procedimiento de soldadura a tope, solo se debe unir tubos con el mismo espesor de pared:

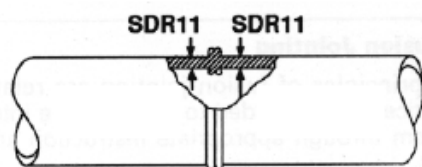


Figura 30. Forma correcta de una soldadura a tope

Fuente: Informe de ASETUB

2.7. Electrofusión

La electrofusión es un proceso de unión por calor donde, para el proyecto de la refinería, las campanas de las tuberías/accesorios llevan integradas resistencias de electrofusión. Con el paso de la tensión (V) transmitida por la máquina de soldar, las resistencias generan el calor necesario para que se funda el material y se produzca la fusión.

Durante el proceso, no se requiere movimiento longitudinal del tubo, siendo una ventaja al momento de realizar instalaciones difíciles, reparaciones o realizar cualquier tipo de operaciones posteriores a la instalación. Lo que lo convierte en un método con numerosas ventajas respecto a los métodos tradicionales existentes de unión.

La unión electrosoldada puede resistir fuerzas de tracción como presiones internas, mayores a los que puede soportar el tubo, esto debido a que el área de soldadura entre el tubo y el accesorio es muy amplia.



Figura 31. Electrofusión

Fuente: Página web de Naffco Flow Control

2.7.1. Máquina de soldar

La máquina de soldar por electrofusión, en la Refinería de Talara será la RITMO 800, cuyo proveedor es la empresa MyR Serviplast del Perú S.A.C.

Esta máquina permite realizar las uniones de tubos de 28" hasta 36" de modo manual o automático, se introducen los datos que se van a usar en obra. Y ésta, de manera automática a través de los datos y de un determinado tiempo realiza las uniones.



Figura 32. Pantalla de la Ritmo 800

Fuente: Control fotográfico personal

La ficha técnica de la máquina de soldar por electrofusión es la siguiente:

DATOS TÉCNICOS	MÁQUINA DE SOLDAR
VOLTAJE DE ENTRADA: (AC)	230 V / 30A
FRECUENCIA DE ENTRADA:	40 a 60 Hz
VOLTAJE DE SALIDA:	10 - 48 V / 120A
POTENCIA:	max. 6000W (máx. al 15% APF)
TEMPERATURA DE OPERACIÓN:	- 10°C a + 40°C
CERTIFICADO DE SEGURIDAD	IP22
PESO	36Kg
CABLE PRINCIPAL	5 m
PANTALLA	Alfanumérico
DATOS DE ENTRADA	
PARAMETROS DE SOLDADURA	MANUAL/ AUTOMATICO
FUNCIONES DE GUARDADO	
CAPACIDAD DE LA MEMORIA	2048 REGISTROS
SUPERVISION	
ENTRADA:	VOLTAJE / CORRIENTE / FRECUENCIA
SALIDA:	VOLTAJE / RESISTENCIA / CONTACTO/ CORTOCIRCUITOS / FLUJO DE CORRIENTE TIEMPO DE SOLDADURA
OTROS	LIMPIAR PANTALLA DE TEXTO
PARTES ADJUNTAS	
	DISPOSITIVO DE SOLDADURA / CABLE DE SOLDADURA / INSTRUCCIONES DE OPERACIÓN

Figura 33. Ficha técnica de la Máquina de soldar

Fuente: Procedimiento de Soldadura KRAH

2.7.2. Aspectos relevantes de la electrofusión

La unión por electrofusión es un sistema de unión seguro, eficiente y económico, sin embargo; es muy importante proteger las zonas que se van a soldar de la humedad, viento y el polvo, por tal motivo siempre se debe realizar una limpieza de las espiga-campana y tener orden y limpieza, alrededor del área de trabajo. Al igual que la soldadura a tope, se recomienda realizar estas uniones, en lugares que protejan del viento, la lluvia y los fuertes vientos.

Las embocaduras de los tubos, se realizarán introduciendo la espiga (macho) dentro de la campana (hembra) con la finalidad de evitar arrastrar residuos de la superficie con la parte inferior de la tubería. En el caso que la parte interior de los accesorios se encuentre sucio o de partículas extrañas, se procederá a limpiar con un papel limpio y ligeramente humedecido con alcohol. No se deben usar otros tipos de productos de limpieza como jabones o detergentes, de quedar residuos, esto generará una fusión defectuosa. Ver Figura 34



Figura 34. Limpieza de una tubería
Fuente: ASTUB

En el caso de las resistencias, sus extremos no deben estar en contacto durante el tiempo que se encuentre funcionando la máquina de soldar, por lo que se recomienda separarlos con material aislante, evitando de esta manera que se pueda producir un corto circuito, y afecte a la unión.

Se debe respetar el tiempo de soldadura y el tiempo de enfriamiento de la soldadura, con la finalidad de tener una unión más sólida y evitar que se generen cavidades o pequeños agujeros en la parte exterior del tubo y la parte interior del mismo, producto de la falta de fusión. Por lo que se debe evitar en todo momento el mover los tubos o que personal pueda manipularlos, durante el tiempo de soldadura y enfriamiento.

Al momento de realizar la unión, otro factor que se debe tomar en cuenta es el alineamiento, se recomienda realizar las uniones en superficies que se encuentren niveladas, en el caso que alguna superficie se encuentre desnivelada, se recomienda emparejar los tubos, con la finalidad, que estos se encuentren al mismo nivel.

Al concluirse el tiempo de soldadura, se debe verificar y reapretar los aros tensores, con la finalidad de tener una unión homogénea. Estos aros tensores, son usados con la finalidad de tener un buen apriete entre la zona que se va a soldar y la resistencia, que va a fundir el material.

La supervisión del equipo de electrofusión se debe realizar una vez iniciado el proceso de soldadura y durante la ejecución de la unión, con la finalidad de detectar errores durante el proceso y poder solucionarlos a tiempo.

2.8. Operador

Es la persona que se va a encargar de realizar la soldadura o unión por termofusión y electrofusión. Para realizar este trabajo, la persona ha recibido charlas de inducción y capacitación teórico/práctico, realizada por el proveedor, y durante estas charlas, dicha persona ha demostrado tener los conocimientos y habilidades para realizar estas uniones. Ver Figura 35.



Figura 35. Operadores de Electrofusión
Fuente: Control fotográfico

2.9. Ensayos no destructivos

Se les denomina ensayos no destructivos o nodestructive testing (NDT, por sus siglas en inglés), a las pruebas que se practican a un material, sin que estas alteren de forma permanente sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales. Estos ensayos implican un daño nulo o imperceptible en el material que se va a ensayar.

Los ensayos no destructivos que se van a realizar a las uniones de HDPE, en la refinería Talara, son los de inspección visual y prueba hidrostática, estos ensayos, son realizados con la finalidad de verificar visualmente la calidad de la junta y ver si ésta no presenta fugas.

2.9.1. Inspección visual

El examen visual es directo y el ángulo de visión no menos de 30° de la superficie a ser examinada. Pueden usarse espejos para mejorar el ángulo de visión, al igual que lentes de aumento o lupas.

Se debe tener el área suficientemente iluminada. La iluminación puede ser normal o artificial, se recomienda que el personal que realice la prueba deber realizarse un examen visual anualmente para asegurar la natural y correcta visión del mismo a la hora de realizar la prueba.

Si se encuentra la presencia de separaciones, ranuras, desalineamientos, vacíos o rebabas en la parte externa del doble reborde en el área de la soldadura, ésta se considera defectuosa, en casos que no se presencie ninguna anomalía, la soldadura se considerara aceptable.

Para el caso de las soldaduras a tope, se debe tener en cuenta lo siguiente:

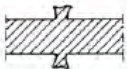
CORRECTO	
	1.- Bordón redondeado <i>Soldadura correcta</i>
INCORRECTO	
	2.- El bordón es demasiado estrecho y alto <i>Exceso de presión</i>
	3.- El bordón es muy pequeño <i>Presión insuficiente</i>
	4.- Una hendidura profunda en el centro del bordón <i>Temperatura insuficiente o tiempo de transición demasiado largo</i>
	5.- Desalineamiento <i>La desviación máxima permitida es del 10% del espesor de pared</i>
	6.- Diferentes espesores de pared <i>Se recomienda utilizar accesorios electrosoldables</i>
	7.- Los materiales tienen diferentes temperaturas de fusión

Figura 36. Tipos de bordones

Fuente: ASTUB

2.9.2. Prueba de estanqueidad o hermeticidad

Se realiza la prueba de estanqueidad o hermeticidad para detectar la presencia de fugas en el tramo instalado. Esta prueba consiste en lo siguiente:

Se debe verificar la limpieza del tramo instalado. La tubería debe estar libre de aceites, grasa, pintura u otros contaminantes que puedan enmascarar eventuales fugas.

Se cubrirán todas las entradas al tramo instalado haciendo uso de tapas ciegas, balones obturadores u otro medio apropiado.

En una de las tapas ciegas se dejará un punto para el ingreso del agua para la prueba y para la purga de aire existente. Este punto deberá quedar por encima del nivel de la tubería.

Se llena completamente de agua limpia el tramo instalado a través de una de las entradas.

Se deja el agua dentro de las tuberías por un tiempo de 1 hora, durante el cual se observa si se presentan fugas o no. Si no se observan fugas se da por aceptada la prueba.

Si se identifica la presencia de fugas en el tramo instalado, ésta deberá ser reparada y realizada una nueva prueba al terminar la reparación.

2.10. Prueba neumática para uniones electrosoldadas

Esta prueba consiste en inyectar presión hasta alcanzar los 2 bares a la unión y mantener presurizada la junta presurizada durante 1 hora. Durante ese tiempo se procederá con la inspección de la junta para detectar cualquier fuga o escape de aire.

En el caso se detecte algún problema en la soldadura por electrofusión, se repetirá la soldadura, siguiendo los pasos descritos anteriormente.

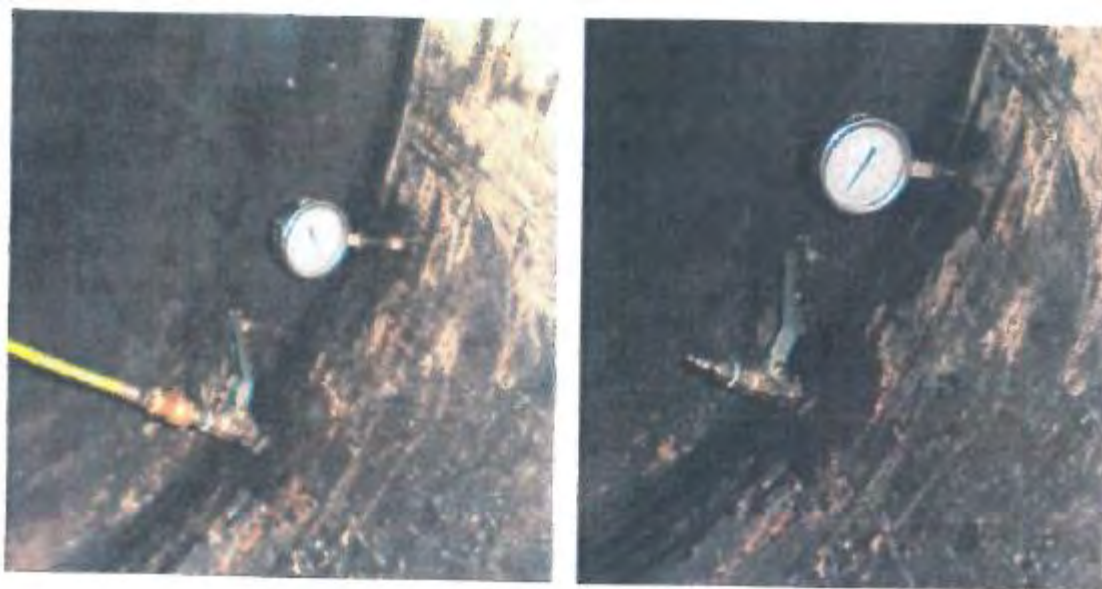


Figura 37. Prueba de presión

Fuente: Memoria técnica

2.11. Peel test

Las pruebas mecánicas de *peel test* se deben preparar las muestras de acuerdo a la Figura 35.

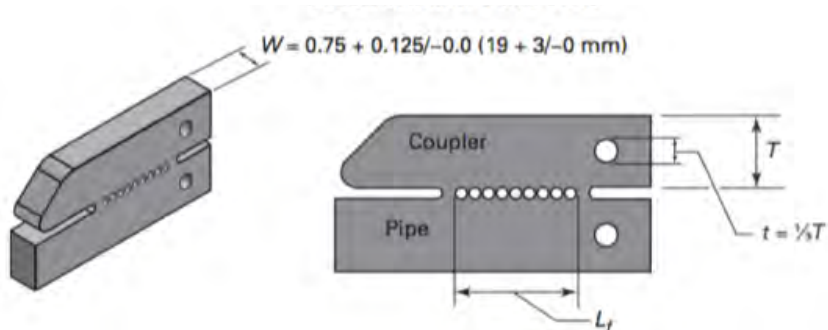


Figura 38. Configuración de la probeta

Fuente: ASME BPV Sección IX ed. 2015

En el peel test se debe aplicar tensión axial como se indica en la Figura 36.

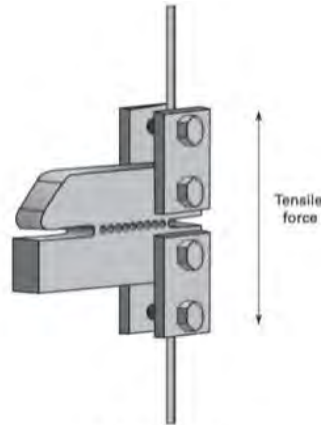


Figura 39. Configuración de la probeta

Fuente: ASME BPV Sección IX ed. 2015

Los criterios de aceptación aplicados en esta prueba de acuerdo al ASME sección IX dice que para muestras de tamaños mayores a un diámetro nominal de 8" o 200 mm no se deben separar en la interfaz de fusión de una manera quebradiza. Se permite el fallo dúctil entre las partes, el desgarramiento a través de la pared del acoplamiento o la pared del tubo y hasta un 15% de separación en los límites externos de la fuente de calor.



Figura 40. Resultado aceptable del Peel Test

Fuente: ASME BPV Sección IX ed. 2015

2.12. Ensayo de doblez

El ensayo de doblez que se realiza a las probetas, de acuerdo a las medidas que son obtenidas del ASME sección IX, consiste en aplicarle una fuerza constante, doblándola en forma de U, en el centro de la unión. Al terminar, se examina visualmente la probeta en busca de grietas u otros defectos que puedan aparecer, evaluando la calidad de la unión, su ductilidad y uniformidad del material, como la capacidad para resistir el agrietamiento durante el doblez. Se realizarán ensayos de doblez a la cara y raíz de la soldadura, como parte de los requisitos para homologar al procedimiento de fusión.

2.14. Manufacture qualified fusing procedure specification (MEFPS)

Es el procedimiento que reúne todos los parámetros esenciales y no esenciales que van a ser utilizados para realizar la unión por electrofusión. Los parámetros o variables esenciales se deben colocar obligatoriamente en el procedimiento, siendo menos importante las variables no esenciales.

Una vez realizada la unión, mediante este procedimiento, se debe proceder a validarlo por ensayos mecánicos y ensayos no destructivos, para comprobar que los parámetros variables usados en el procedimiento, me permiten obtener una unión que cumple los estándares y condiciones de servicio para el cual va a ser usada.

Paragraph		Brief of Variables	Essential	Nonessential
QF-402 Joints	.3	ϕ Joint design	X	
	.4	ϕ Fit-up gap	X	
	.1	ϕ PE Pipe	X	
QF-403 Material	.4	ϕ Pipe wall thickness		X
	.5	ϕ Fitting manufacturer	X	
	.6	ϕ Pipe diameter	X	
QF-405 Thermal	.5	ϕ Cool-down time	X	
	.6	ϕ Fusion voltage	X	
	.7	ϕ Nominal fusion time	X	
	.8	ϕ Material temperature range	X	
QF-406 Equipment	.2	ϕ Power supply		X
	.3	ϕ Power cord	X	
	.4	ϕ Processor		X
	.5	ϕ Saddle clamp	X	
QF-407 Technique	.2	ϕ Cleaning agent		X
	.3	ϕ Scraping device	X	

Figura 43. Variables del Procedimiento por electrofusión

Fuente: ASME BPV Sección IX ed. 2015

2.15. Fusion procedure specification (FPS)

Es el procedimiento que reúne todos los parámetros esenciales y no esenciales que van a ser utilizados para realizar la unión por soldadura a tope o termofusión. Los parámetros o variables esenciales, se deben colocar obligatoriamente en el procedimiento, siendo menos importante las variables no esenciales.

Una vez realizada la unión, mediante este procedimiento, se debe proceder a validarlo por ensayos mecánicos y ensayos no destructivos, para comprobar que los parámetros variables usados en el procedimiento, me permiten obtener una unión que cumple los estándares y condiciones de servicio para el cual va a ser usada.

Paragraph		Brief of Variables	Essential	Nonessential
QF-402 Joints	.1	φ Joint type	X	
	.2	φ Pipe surface alignment	X	
QF-403 Material	.1	φ PE	X	
	.3	φ Wall thickness	X	
	.4	φ Cross-sectional area		X
QF-404 Position	.1	φ Position	X	
QF-405 Thermal Conditions	.1	φ Heater surface temperature	X	
	.2	φ Interfacial pressure	X	
	.3	Decrease in melt bead width	X	
	.4	Increase in heater removal time	X	
	.5	Decrease in cool-down time	X	
QF-406 Equipment	.1	φ Fusing machine manufacturer		X
QF-407 Technique	.1	φ Shop to field, or vice versa		X

Figura 44. Variables del Procedimiento por Termofusión

Fuente: ASME BPV Sección IX ed. 2015

En la Figura 45, se puede observar un formato que puede ser usado por las empresas como modelo de un FPS o un MEFPS. Cabe tener en cuenta que, a diferencia de las soldaduras de aceros, estos procedimientos no tienen que ser evaluados y aprobados por un certified welding inspector (CWI, por sus siglas en inglés), sino por un ingeniero con conocimientos en el tema de plásticos.

Company Name _____ By _____	
Fusing Procedure Specification No. _____ Date _____	
Revision No. _____ Date _____	
FPS qualification ☐ By testing ☐ MEFPS ☐ If qualified by testing, supporting PQR No.(s) _____	

Joints (QF-402) Joint Design _____ Pipe End Cut max. out-of-square _____ Maximum Fit-up Gap _____ Max. Axial Misalignment _____ Max. out-of-roundness _____ Sketches, production drawings, joint symbols, or written description should show the general arrangement of the parts to be fused. Where applicable, the details of the joint groove may be specified.	Details
---	----------------

Materials (QF-403) Fitting Specification _____ Classification _____ to Pipe Specification _____ Classification _____ Fitting Manufacturer _____ Pipe Size (diameter) _____ Pipe Wall Thickness _____

Thermal Conditions (QF-405) Minimum material & fusing temperature _____ °F (°C) Maximum material and fusing temperature _____ °F (°C) Nominal fusion time at minimum temp _____ Nominal fusion time at maximum temp _____ Minimum cool down time at min. temp _____ Minimum cool down time at max. temp _____ Fusion Voltage _____ Other _____

Equipment (QF-406) Minimum Power Supply _____ (KVA) Processor Manufacturer _____ Model _____ Power Cord: Material _____ Max. length _____ ft (m) Min. Gage _____ Min. Amps _____ Saddle Clamp Type _____ ☐ N/A Other _____
--

Technique (QF-407) Pre-scrape cleaning fluid _____ Post-scrape cleaning agent _____ Scraping Device _____ Pipe marker type _____ Other _____
--

Figura 45. Formato de un FPS o MEFPS
 Fuente: ASME BPV Sección IX ed. 2015

Capítulo 3

Soldadura por Termofusión y Electrofusión

3.1. Introducción

En este capítulo se explicarán los pasos a seguir para tener una buena unión por los procesos de electrofusión y termofusión, así como los pasos necesarios para homologar al manufacture qualified fusing procedure specification (MEFPS), fusión procedure specification (FPS) y operador para cada proceso de unión respectivo cabe resaltar que estos pasos son como una “receta de cocina” que se deben seguir con exactitud para lograr preparar un “buen plato”, en nuestro caso tener una unión que cumpla con los estándares y requisitos de calidad para lo cual es requerida.

3.2. Electrofusión

Las tuberías de polietileno de alta densidad (HDPE) corrugadas serán unidas mediante soldadura por electrofusión para lo cual se debe seguir el siguiente procedimiento:

Primero y antes de iniciar con el proceso de unión por electrofusión, se procederá a realizar la limpieza de las caras interior de las campanas y exterior de la espiga para ello se usará un trapo con algodón y alcohol isopropílico (se puede usar alcohol etílico al 99.8 %). Es muy importante que las caras interiores se encuentren limpias y libres de partículas con la finalidad que no ocurra interferencia durante la soldadura.

Seguidamente, se instalarán las resistencias en la cara interior de las campanas; para la fijación de éstas se usará grapas, estas grapas se pueden encontrar fácilmente en una librería, su única finalidad es de fijar las resistencias. En la resistencia se deberá distinguir las espiras de inicio y fin que irán conectadas a la máquina.



Figura 46. Resistencia para soldadura de electrofusión

Fuente: Memoria técnica

A través de unas plantillas se colocarán las resistencias, éstas cuentan con 2 agujeros por donde se introducirán las puntas de las resistencias. Cuidadosamente se coloca sobre el riel de la plantilla el resto de espiras de electrofusión y se repartirá uniformemente, evitando deformar/sobrepasar la rigidez de la resistencia.

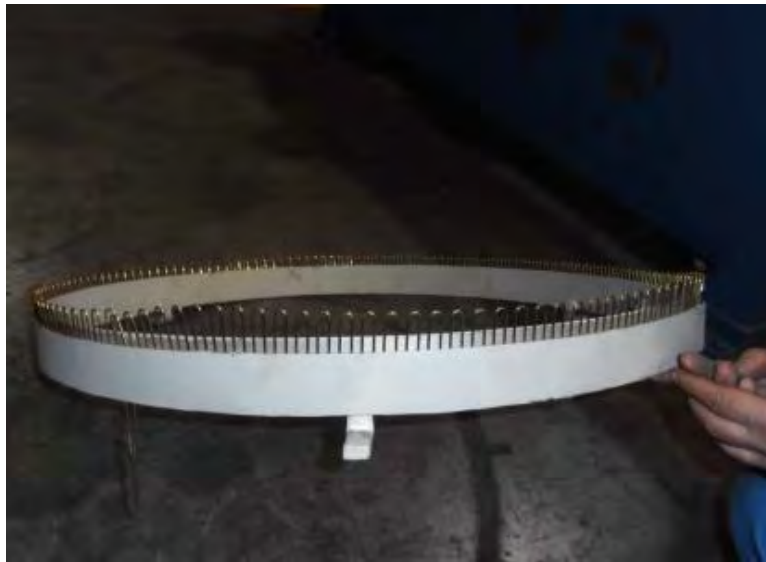


Figura 47. Plantilla de colocación de la resistencia

Fuente: Memoria técnica

Se colocará la plantilla con la resistencia, en el interior de la campana hasta los topes de la plantilla y se ajustará al diámetro de la campana por medio de un anillo tensor, este anillo tiene la función de asegurar la buena posición y fijación de la plantilla.



Figura 48. Colocación de la plantilla junto a la resistencia

Fuente: Memoria técnica

Fijado la plantilla mediante el anillo tensor, se continuará con el grapado de la resistencia en el interior de la campana.



Figura 49. Grapado de la resistencia en la parte interna de la campana

Fuente: Memoria técnica

Una vez realizado el grapado de la parte interior se retirará cuidadosamente la plantilla y se graparán las espiras del exterior, teniendo especial cuidado en el grapado de los hilos de conexión con la máquina de electrofusión. Se debe evitar que durante la fundición del HDPE las resistencias puedan entrar en contacto entre sí, pudiendo generar un cortocircuito, alterando los resultados de la unión.



Figura 50. Grapado de la resistencia en la parte interna de la campana

Fuente: Memoria técnica

Cabe destacar que la plantilla de colocación de la resistencia es un instrumento que permite realizar este trabajo de una manera rápida y sencilla, sin embargo, de no

contar con una, es importante la habilidad del operador para realizar la colocación de la resistencia y su engrapado, de acuerdo a las recomendaciones del apartado anterior.



Figura 51. Grapado final de la resistencia en la parte interna de la campana

Fuente: Memoria técnica

Antes de realizar la unión de la espiga y la campana se recomienda realizar una nueva inspección con la finalidad de verificar que las espiras de la resistencia ya engrapadas estén en buenas condiciones y uniformes, tal que haya continuidad y no se generen problemas durante la fusión.

Para tuberías de diámetro nominal (DN, por sus siglas en inglés) mayor de 800 mm se debe situar en el interior de la tubería junto al extremo hembra un aro tensor interior, esto con la finalidad que una vez ubicado en su posición definitiva, aumentar el diámetro del macho, aumentando la presión en la zona de fusión. En el caso que se tenga tuberías con 2 resistencias se utilizarán 2 aros tensores.

Para la unión por espiga-campana, el acople se realizará mediante una fuerza axial aplicada progresivamente desde el lado de la espiga hacia la campana para evitar arrastrar materiales extraños al interior de la zona de fusión, se debe tener cuidado de no tensionar de más las componentes ni golpearlas.

Cuando los tubos no puedan ensamblarse en forma manual, se recurrirá a la ayuda de equipos adicionales. Una práctica común es mediante el uso de correas rodeando el perímetro de los dos caños a unir y un dispositivo de tiro adecuado, haciendo fuerza entre ellas, o bien, entre la tubería y la estructura de entibado de la zanja.



Figura 52. Unión de la espiga/campana

Fuente: Memoria Técnica

Es recomendable el uso de eslingas y correas con la finalidad de asegurar introducir correctamente la espiga en la campana, y lograr tener una correcta zona de fusión, teniendo cuidado de no tensionar de más estos componentes.



Figura 53. Fijación en la unión de la espiga/campana

Fuente: Memoria Técnica

Se instalarán abrazaderas en la parte exterior de la campana con la finalidad de tener una mayor presión, sin embargo, estas abrazaderas pueden ser opcionales, siempre y cuando se ha logrado tener una buena presión en la zona de fusión.

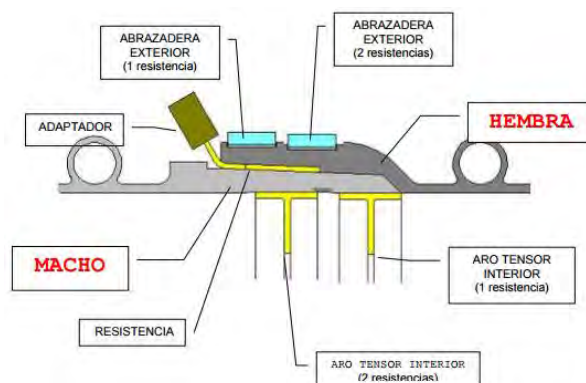


Figura 54. Abrazaderas en la parte exterior de la campana

Fuente: Memoria Técnica

3.2.1. Procedimiento de unión

Cabe indicar que previo a todo proceso de unión por electrofusión se deberá tener el (MEFPS) con todas las variables esenciales y no esenciales que se han tomado en cuenta para este proceso de unión aprobados, así como el operador encontrarse homologado.

Luego de su acople o ensamble, las tuberías se alinearán axial y verticalmente. En lo posible el fusionista deberá introducirse dentro del tubo y verificar que el aro tensor continúe en la posición correcta luego del ensamble, siempre y cuando el diámetro del tubo lo permita y sea una condición segura para el fusionista. Así también se verificará que los extremos de los tubos estén realmente en contacto, comprobando el espacio existente entre las superficies a fusionar a lo largo de toda la circunferencia de contacto. Si existieran diferencias destacables se corregirá modificando el registro del aro tensor con lo que se aumentará el diámetro del mismo hasta conseguir eliminar esas diferencias o atenuarlas al máximo.

A continuación, se colocará un adaptador conectado a los bornes salientes de la resistencia eléctrica que se encuentra en la zona de contacto de los tubos, y a éste se conectarán los terminales del equipo de electrofusión. Los cables de conexión deberán cortarse de manera que el adaptador casi toque el extremo de la campana. Se debe tener especial cuidado que no se produzcan fuerzas de tracción ni fuerzas de compresión sobre los cables de conexión, pudiendo ocasionar un corto circuito.



Figura 55. Máquina de electrofusión

Fuente: Memoria técnica

Se procederá a seleccionar el modo automático en la máquina de electrofusión y se introducirán los datos de tiempo y voltaje, de acuerdo al diámetro de la tubería que se desee unir y la temperatura ambiente que nos encontremos al momento de realizar la pega, cabe destacar que estos datos de tiempo y voltaje se encuentran en una tabla proporcionado por el proveedor de la tubería.



Figura 56. Tiempo y voltaje

Fuente: Memoria técnica

Es recomendable, con el fin de evitar tener un corte inesperado de energía eléctrica que pueda afectar la fusión correcta en la junta, tener una fuente local que alimente exclusivamente a la máquina.

Se iniciará la aplicación de calor por efecto joule a través de la resistencia.

Una vez transcurrido los 2/3 del tiempo de fusión se deberá ajustar suavemente el aro tensor interno y las abrazaderas para aumentar la presión sobre la campana en el último tercio del proceso. Éste debe ser un ajuste menor para que se mantengan unidas la cara interior de la campana con la exterior de la espiga.

Una vez que la máquina indique que el tiempo de fusión ha terminado, inmediatamente comenzará el tiempo de enfriamiento que será de similar o igual duración al tiempo de fusión. Durante el tiempo de enfriamiento se puede desconectar la máquina de electrofusión, pero se deberán mantener la abrazadera exterior y el aro tensor interno en sus posiciones iniciales, se tendrá un especial cuidado en no mover las piezas fusionadas durante el proceso de enfriamiento.

Para tener una trazabilidad y un mayor control, con la finalidad de reportar al cliente, se deberá marcar la unión con un marcador metálico resistente al agua especificando número de junta, día, voltaje de soldado, hora y máquina utilizada. Además, todo el procedimiento de fusión es grabado automáticamente por el equipo de electrofusión, lo que nos permite tener un mayor control de las uniones realizadas.

Tabla 6. Trazabilidad de una tubería de HDPE por electrofusión

Línea	Juntas	Operador	Voltaje	Tiempo	Fecha	H. inicio	H. final
28"-OWS-HTN-60008-PE00T	CJE-01	C.C.Z	25	1080	14/10/2016	11:15	11:33
	CJE-02	C.C.Z	25	1080	14/10/2016	14:00	14:18
	CJE-03	C.C.Z	25	1080	14/10/2016	10:30	10:38

Fuente: Control interno propio de pegas

Una vez terminada la unión, lo primero que se debe realizar es la inspección visual de los empalmes, donde se tomará en cuenta los siguientes criterios:

- El cordón de soldadura por fusión debe ser continuo y consistente en tamaño alrededor de toda la circunferencia de la tubería.
- El cordón doble de soldadura por fusión debe ser uniforme.
- No debe haber socavación en las orillas externas del cordón de soldadura por fusión del HDPE
- No debe haber vacíos o huecos visible entre los cordones de soldadura de fusión.
- No debe haber desalineamientos entre los extremos de las tuberías.
- No debe haber porosidad notoria en el cordón de la soldadura.

3.2.2. Procedimiento de reforzamiento de tuberías de HDPE por soldadura por extrusión

Este proceso será usado con la finalidad de reforzar y asegurar la hermeticidad en la tubería de HDPE que tiene el tipo de unión espiga–campana soldado con electrofusión, por lo que se extruye una cinta de polímero derretido en el borde interior de junta de la unión (campana-espiga) asegurándonos de que no existan fugas en la tubería.

Este método es aplicable solamente en tuberías de HDPE que requieren ser rellenadas en bordes entre unión de tuberías.

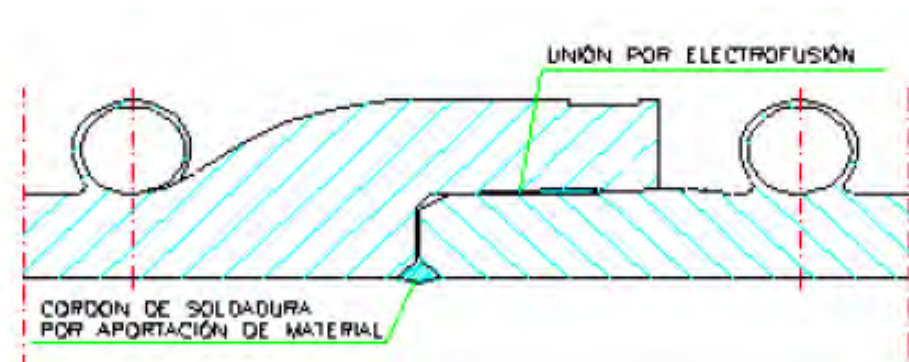


Figura 57. Uniones por soldadura por extrusión

Fuente: Memoria técnica

El equipo de soldadura por extrusión tiene un componente controlador de temperatura de propulsión manual y utiliza material adicional para realizar la soldadura, con soldadura de aporte de HDPE de 4 mm o 5mm. El material de aporte para el proceso de extrusión debe ser del mismo material y características del material base.

La tubería de HDPE debe estar libre de cualquier materia extraña de adherencia permanente, impurezas, piedras u otros objetos adheridos a ella por lo que se debe limpiar y secar la superficie a soldar con un paño de algodón. En caso, exista presencia de grasas, aceites u otros derivados del

petróleo sobre la zona a extruir se debe eliminar la zona contaminada usando un esmeril con disco de lija o limpiar con un solvente.

Antes de posicionar la extrusora sobre la zona a soldar se debe precalentar el inicio del área a soldar con un equipo de aire caliente, se posicionará la extrusora sobre la superficie de la tubería a soldar previamente esmerilada y avanzar a velocidad constante. Siempre mantener la máquina centrada sobre la línea que se está soldando y levemente inclinada hacia la parte esmerilada.

Revisar constantemente la sección (forma y dimensiones) del cordón de soldadura. Si el cordón es más alto que el espesor de la superficie externa de la tubería HDPE o tiene mucha rebaba, inclinar la extrusora hacia la horizontal y se deberá de esmerilar para emparejar. Mantener la soldadura hasta el término evitando interrumpir el cordón, bajo ninguna circunstancia se permitirá el uso de trapos húmedos para enfriar la soldadura por extrusión.

La soldadura por extrusión se utiliza también cuando se presenten reparaciones en la tubería, éstas deberán realizarse preferentemente sobre el nivel superior de la tubería que es la zona que soporta menor esfuerzo durante la operación para esta aplicación (drenaje por gravedad). Una vez culminada la reparación se inspecciona visualmente y la aprobación final será al realizar la prueba de hermeticidad o estanqueidad

3.2.3. Parámetros de soldadura por electrofusión

Los parámetros a ingresar en la máquina son el voltaje y tiempo, éstos vienen dados por una tabla que es proporcionada por el proveedor, donde del diámetro de la tubería indica el voltaje a ingresar, y la temperatura ambiente a la que se va a realizar la unión de la junta indica el tiempo que va a durar la soldadura.

DN	Voltaje (V)	Tiempo (s)	Tiempo (s)	Tiempo (s)	Tiempo (s)	Tiempo (s)	Tiempo (s)	Tiempo (s)	Tiempo (s)	Tiempo (s)
		T° Amb 45° a 50°	T° Amb 40° a 45°	T° Amb 35° a 40°	T° Amb 30° a 35°	T° Amb 25° a 30°	T° Amb 20° a 15°	T° Amb 15° a 10°	T° Amb 10° a 5°	T° Amb 5° a 0°
DN600	24 Volt	795 hasta 840	840 hasta 865	865 hasta 930	930 hasta 975	975 hasta 1020	1020 hasta 1065	1065 hasta 1115	1115 hasta 1165	1065 hasta 1250
DN700	25 Volt	860 hasta 920	920 hasta 960	960 hasta 1000	1000 hasta 1040	1040 hasta 1060	1060 hasta 1120	1120 hasta 1170	1170 hasta 1230	1230 hasta 1260
DN800	33 Volt	795 hasta 840	840 hasta 865	865 hasta 930	930 hasta 975	975 hasta 1020	1020 hasta 1065	1065 hasta 1100	1100 hasta 1150	1150 hasta 1200
DN900	39 Volt	420 hasta 480	480 hasta 540	540 hasta 600	600 hasta 660	660 hasta 720	720 hasta 780	780 hasta 840	840 hasta 920	920 hasta 1000
DN1000	40 Volt	880 hasta 930	930 hasta 980	980 hasta 1030	1030 hasta 1080	1080 hasta 1130	1080 hasta 1130	1130 hasta 1180	1180 hasta 1220	1220 hasta 1270
DN1200	43 Volt	900 hasta 960	960 hasta 1020	1020 hasta 1080	1080 hasta 1140	1140 hasta 1200	1200 hasta 1260	1260 hasta 1320	1320 hasta 1360	1380 hasta 1440
DN1400	48 Volt	1200 hasta 1260	1260 hasta 1320	1320 hasta 1380	1380 hasta 1440	1440 hasta 1500	1500 hasta 1560	1560 hasta 1620	1620 hasta 1700	1700 hasta 1760
DN1500	48 Volt	1400 hasta 1450	1450 hasta 1520	1520 hasta 1600	1600 hasta 1680	1680 hasta 1760	1760 hasta 1800	1800 hasta 1860	1860 hasta 1940	1940 hasta 2000
DN1600*	48 Volt	630 hasta 680	680 hasta 730	730 hasta 780	780 hasta 830	830 hasta 880	880 hasta 930	930 hasta 1000	1000 hasta 1070	1070 hasta 1150
DN2000*	39 Volt	950 hasta 1000	1000 hasta 1050	1050 hasta 1100	1100 hasta 1150	1150 hasta 1200	1200 hasta 1250	1250 hasta 1300	1300 hasta 1350	1350 hasta 1400
DN2400*	45 Volt	1020 hasta 1080	1080 hasta 1140	1140 hasta 1200	1200 hasta 1260	1260 hasta 1300	1300 hasta 1440	1440 hasta 1500	1500 hasta 1560	1560 hasta 1620
*Dos Alambres de soldadura, promedio										
**Cuatro Alambres de soldadura										

Figura 58. Uniones por soldadura por extrusión

Fuente: Memoria técnica

3.2.4. Parámetros de aceptación

Una vez realizada la unión por electrofusión, para la aprobación del MEFPS se realizará una inspección visual de la pega y una prueba neumática a 2 bares a una probeta.

3.2.4.1. Inspección visual

Se realizará el ensayo de inspección visual en la probeta de HDPE para verificar la correcta unión de la espiga-campana y la correcta aplicación del material de aporte durante el proceso de extrusión.

3.2.4.2. Prueba de presión para uniones electrosoldadas

Al terminarse la extrusión o soldadura por aporte de material, la configuración de la soldadura por electrofusión permite llevar a cabo pruebas de presión por unión. Para lo cual se procederá a realizar dos perforaciones que comuniquen con la cámara de aire que se genera en cada soldadura por electrofusión.



Figura 59. Configuración de la junta

Fuente: Memoria técnica

En uno de los agujeros, producto de las perforaciones, se atornilla una conexión rápida con válvula que permite introducir aire en la cámara generada entre la soldadura por electrofusión y el cordón de soldadura interior. En el segundo agujero se colocará el manómetro, éste debe encontrarse con fecha de calibración vigente.



Figura 60. Configuración de la junta

Fuente: Memoria técnica

Se presuriza hasta alcanzar los 2 bares. Y para nuestro caso se mantendrá la junta presurizada durante 1 hora. Durante ese tiempo se procederá con la inspección de la junta para detectar cualquier fuga o escape de aire.

En el caso se detecte algún problema en la soldadura por electrofusión, se repetirá la soldadura siguiendo los pasos descritos anteriormente.

3.2.5. Homologación del operador

3.2.5.1. Inducción al operador

Una de los requisitos para realizar la homologación del operador es que éste haya concluido de manera satisfactoria las charlas teórico/prácticas o inducciones llevadas a cabo por el proveedor, donde quede evidenciado tener conocimiento de todo el procedimiento a llevar a cabo, y durante la práctica haya demostrado su habilidad para realizar estas uniones. Como se ha mencionado, en este tipo de uniones toma importancia la habilidad del operador para realizar la unión.

3.2.5.2. Ensayos destructivos

De acuerdo a las Global Practices y por recomendación del proveedor, se deben realizar para la tubería por unión de electrofusión, los ensayos de prueba de piling y de doblez.

Para realizar estos ensayos, fueron enviados cupones a ensayar al laboratorio de materiales de la Pontifica Universidad Católica del Perú

3.2.6. Liberación de la tubería de HDPE

Como parte de los trabajos en la Refinería de Talara, para liberación y aceptación de la tubería de HDPE, el cliente pide realizar los ensayos de inspección visual a las uniones de HDPE y prueba de estanqueidad a toda la línea.

Como se observa en el anexo A, la línea 28"-OWS-HTD-60008-PE00T-N-1 aprobó satisfactoriamente el ensayo de inspección visual y prueba de estanqueidad.

3.2.6.1. Inspección visual

Este ensayo se realizará a todas las uniones de la tubería de HDPE verificando la correcta unión de la espiga-campana y asegurándose que se hayan seguido todos los pasos del procedimiento de unión por electrofusión.

3.2.6.2. Prueba de estanqueidad o hermeticidad

Se realiza la prueba de estanqueidad o hermeticidad para detectar la presencia de fugas en el tramo instalado. Primero se verificará la limpieza del tramo instalado, la tubería debe estar libre de aceites, grasa, pintura u otros contaminantes que puedan enmascarar eventuales fugas.

Se cubrirán todas las entradas al tramo instalado haciendo uso de tapas ciegas, balones obturadores u otro medio apropiado.

En una de las tapas ciegas se dejará un punto para el ingreso del agua para la prueba y para la purga de aire existente. Este punto deberá quedar por encima del nivel de la tubería.

Se llena completamente de agua limpia el tramo instalado a través de una de las entradas.

La prueba de estanqueidad tiene una duración de 1 hora, durante este tiempo se inspeccionará si se presentan fugas o no, en las uniones, en caso no se presenten fugas se da por aceptada la prueba.

Si se identifica la presencia de fugas en el tramo instalado, esta deberá ser reparada y se realizará una nueva prueba al terminar la reparación.

3.2.7. Consideración final

Se debe tener que el Código ASME B31.3 Edición 2014, indica que para las juntas fusionadas y electrofusionadas de tuberías de polietileno (PE, por sus siglas en inglés) se deberá preparar un procedimiento calificado de unión (BPS, por sus siglas en inglés). Este código detalla que debe existir un procedimiento escrito detallado y que deberá ser calificado por una prueba de ensamble, una prueba de explosión y una prueba hidrostática.

Sin embargo, en ninguna parte del Código ASME B31.3 Edición 2014 se ha considerado la ejecución de uniones tipo socket electrofusionadas (espiga-campana), incluso en la descripción de los procesos no se ha considerado ésta. El estándar que este código ASME B31.3 recomienda para realizar las uniones electrofusionadas es el ASTM F1055 y en éste tampoco aparece la unión tipo socket.

Por lo tanto, si es una unión que no está claramente especificada en el Código ASME B31.3 se recomienda seguir las especificaciones del fabricante de tuberías o en sus defectos una RP (Práctica Recomendada) de ensamblaje del fabricante o proveedor de este tipo de fabricaciones.

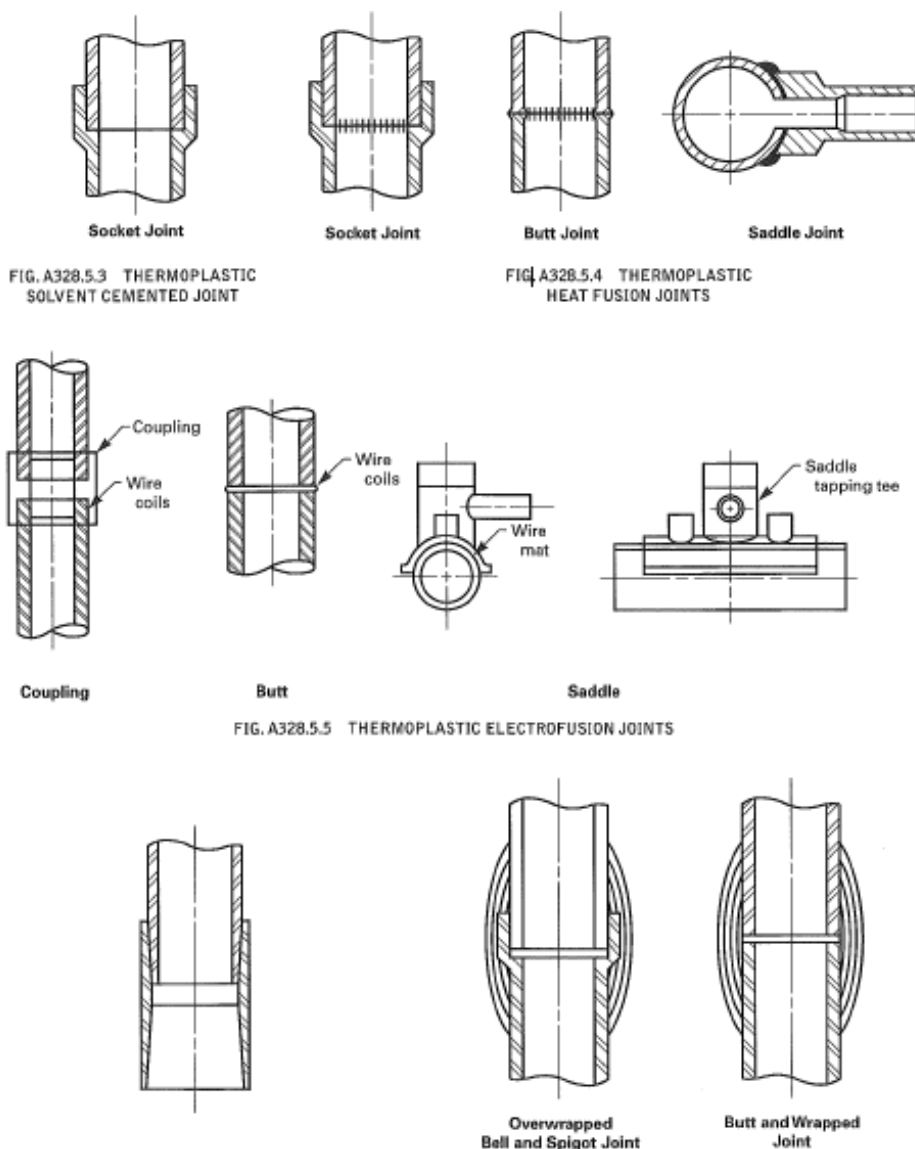


Figura 61. Juntas o uniones típicas tuberías de HDPE

Fuente: ASME B31.3 ed. 2014

3.2.8. Casos a estudiar

3.2.8.1. Primer caso

Los primeros trabajos por unión de electrofusión se realizaron de acuerdo al procedimiento descrito apartados anteriores. Sin embargo, durante la realización de estas pegas se ingresaron los datos de la Figura 62 proporcionada por el proveedor para este tipo de uniones, sin embargo, estos datos eran incompletos dado a que no contiene los valores reales que debieron usarse en su momento.

DN	Voltaje (V)	Tiempo (sg) T° Amb.20° a 15°	Tiempo (sg) T° Amb.15° a 10°	Tiempo (sg) T° Amb.10° a 5°	Tiempo (sg) T° Amb.5° a 0°
DN300	15 Volt	700 hasta 735	735 hasta 770	770 hasta 805	805 hasta 840
DN400	18 Volt	800 hasta 840	840 hasta 880	880 hasta 920	920 hasta 960
DN500	20 Volt	900 hasta 945	945 hasta 990	990 hasta 1035	1035 hasta 1080
DN600	24 Volt	1020 hasta 1065	1065 hasta 1115	1115 hasta 1165	1065 hasta 1250
DN700	25 Volt	1080 hasta 1120	1120 hasta 1170	1170 hasta 1230	1230 hasta 1280
DN800	33 Volt	1020 hasta 1065	1065 hasta 1100	1100 hasta 1150	1150 hasta 1200
DN900	39 Volt	720 hasta 780	780 hasta 840	840 hasta 920	920 hasta 1000
DN1000	40 Volt	1080 hasta 1130	1130 hasta 1180	1180 hasta 1220	1220 hasta 1270
DN1100	41 Volt	1200 hasta 1250	1250 hasta 1320	1320 hasta 1400	1400 hasta 1480
DN1200	43 Volt	1200 hasta 1260	1260 hasta 1320	1320 hasta 1380	1380 hasta 1440
DN1300	46 Volt	1300 hasta 1430	1430 hasta 1500	1500 hasta 1560	1560 hasta 1620
DN1400	48 Volt	1500 hasta 1560	1560 hasta 1620	1620 hasta 1700	1700 hasta 1760
DN1500	48 Volt	1740 hasta 1800	1800 hasta 1860	1860 hasta 1940	1940 hasta 2000
DN1600*	32 Volt	1080 hasta 1120	1120 hasta 1170	1170 hasta 1220	1220 hasta 1270
DN1800*	40 Volt	880 hasta 930	930 hasta 1000	1000 hasta 1070	1070 hasta 1150
DN2000*	39 Volt	1200 hasta 1250	1250 hasta 1300	1300 hasta 1350	1350 hasta 1400
DN2400*	45 Volt	1300 hasta 1440	1440 hasta 1500	1500 hasta 1560	1560 hasta 1620
* Dos Alambres de soldadura, promedio					
**Cuatro Alambres de soldadura					

Figura 62. Tabla proporcionada por el proveedor en un inicio

Fuente: Memoria técnica

Al observar la Figura 62, ésta cuenta con datos de temperatura ambiente de hasta 20°C como máximo, sin embargo, en Talara y en temporada de verano, las temperaturas que presenta la ciudad son mayores a los 25 °C, esto genera un dato erróneo al momento de ingresar el tiempo de fusión.

Al realizar estas pegas utilizando esta tabla resultó fugas al momento de realizar la prueba estanqueidad, siendo rechazadas inmediatamente por el cliente. La solución planteada para estas fugas fue la soldadura por extrusión como refuerzo, sin embargo, la presencia de fugas evidenció fallos en el momento de seguir los pasos del procedimiento.

Se tomaron muestras y se enviaron a ensayar a los laboratorios de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), con la finalidad de poder analizar y encontrar las posibles fallas, siendo estos resultados analizados en el siguiente capítulo.

3.2.8.2. Segundo Caso

En este segundo caso, y de acuerdo a los resultados de las muestras del laboratorio de la UNI que se enviaron a ensayar, se concluyó que el tiempo de fusión era uno de los principales problemas, se evidenciaba que no había logrado fusionarse totalmente el material.

Se observó con el proveedor que las temperaturas en la ciudad de Talara eran mucho mayores a las que se encontraban en su tabla de valores. En respuesta, el proveedor proporcionó una nueva tabla que incluía valores mayores de temperatura a usar y a su vez, valido la utilización de la soldadura por extrusión como refuerzo a la soldadura por electrofusión. El contratista solicitó la validación por

parte del proveedor para seguir utilizando la soldadura por electrofusión como refuerzo en las demás tuberías de HDPE que faltaban unir.

Con la nueva tabla de valores Figura 63, se siguieron los mismos pasos que son descritos en este procedimiento y se obtuvieron nuevas muestras que fueron llevadas a ensayar a los laboratorios de la Pontificia Universidad Católica del Perú, obteniendo resultados más que satisfactorios, demostrando que dichas muestras cumplían con los requerimientos para los cuales se iba a usar dicha unión. Además, se inspeccionó visualmente y se realizó la prueba de presión para comprobar la resistencia de la unión.

Estos resultados y valores, serán analizados y comparados con el primer caso, en el siguiente capítulo.

DN	Voltaje (V)	Tiempo (s) T° Amb 45° a 50°	Tiempo (s) T° Amb 40° a 45°	Tiempo (s) T° Amb 35° a 40°	Tiempo (s) T° Amb 30° a 35°	Tiempo (s) T° Amb 25° a 30°	Tiempo (s) T° Amb 20° a 15°	Tiempo (s) T° Amb 15° a 10°	Tiempo (s) T° Amb 10° a 5°	Tiempo (s) T° Amb 5° a 0°
DN600	24 Volt	795 hasta 840	840 hasta 865	865 hasta 930	930 hasta 975	975 hasta 1020	1020 hasta 1065	1065 hasta 1115	1115 hasta 1165	1065 hasta 1250
DN700	25 Volt	860 hasta 920	920 hasta 960	960 hasta 1000	1000 hasta 1040	1040 hasta 1060	1060 hasta 1120	1120 hasta 1170	1170 hasta 1230	1230 hasta 1260
DN800	33 Volt	795 hasta 840	840 hasta 865	865 hasta 930	930 hasta 975	975 hasta 1020	1020 hasta 1065	1065 hasta 1100	1100 hasta 1150	1150 hasta 1200
DN900	39 Volt	420 hasta 480	480 hasta 540	540 hasta 600	600 hasta 660	660 hasta 720	720 hasta 780	780 hasta 840	840 hasta 920	920 hasta 1000
DN1000	40 Volt	880 hasta 930	930 hasta 980	980 hasta 1030	1030 hasta 1080	1080 hasta 1130	1080 hasta 1130	1130 hasta 1180	1180 hasta 1220	1220 hasta 1270
DN1200	43 Volt	900 hasta 960	960 hasta 1020	1020 hasta 1080	1080 hasta 1140	1140 hasta 1200	1200 hasta 1260	1260 hasta 1320	1320 hasta 1360	1380 hasta 1440
DN1400	48 Volt	1200 hasta 1260	1260 hasta 1320	1320 hasta 1380	1380 hasta 1440	1440 hasta 1500	1500 hasta 1560	1560 hasta 1620	1620 hasta 1700	1700 hasta 1760
DN1500	48 Volt	1400 hasta 1450	1450 hasta 1520	1520 hasta 1600	1600 hasta 1680	1680 hasta 1760	1760 hasta 1800	1800 hasta 1860	1860 hasta 1940	1940 hasta 2000
DN1600	48 Volt	630 hasta 680	680 hasta 730	730 hasta 780	780 hasta 830	830 hasta 880	880 hasta 930	930 hasta 1000	1000 hasta 1070	1070 hasta 1150
DN2000	39 Volt	950 hasta 1000	1000 hasta 1050	1050 hasta 1100	1100 hasta 1150	1150 hasta 1200	1200 hasta 1250	1250 hasta 1300	1300 hasta 1350	1350 hasta 1400
DN2400	45 Volt	1020 hasta 1080	1080 hasta 1140	1140 hasta 1200	1200 hasta 1260	1260 hasta 1300	1300 hasta 1440	1440 hasta 1500	1500 hasta 1560	1560 hasta 1620

Figura 63. Tabla de valores reales

Fuente: Memoria técnica

3.3. Termofusión

3.3.1. Proceso de termofusión

Este proceso se realizará para unión de tuberías de HDPE lisas de 18" y 20". Para estas uniones al igual que en la unión por electrofusión, el orden y limpieza son muy importante en el área de trabajo, así como el realizar estas uniones en un área de trabajo que se encuentre protegida contra el viento, las lluvias y otras condiciones ambientales que podrían afectar la calidad de la pega.

3.3.1.1. Presentación

Una vez colocada la tubería sobre la máquina se buscará que estén perfectamente alineadas y se verificaran las siguientes condiciones:

- Perpendicularidad de las caras con el eje de la tubería.
- Contacto de las caras de los extremos, este debe ser total
- Alineamiento. La tolerancia de desalineamiento para tubos es 10 % del mínimo espesor.

En este paso se debe ajustar la Presión de Arrastre, que es la fuerza necesaria para mover el tubo, montado en la máquina.



Figura 64. Presentación de la termofusión

Fuente: Informe de ASTUB

3.3.1.2. Refrendado

Se coloca el refrendador entre los extremos de las tuberías y se procederá a unir ambas caras del tubo al refrendador. Se acciona el motor para el cepillado de ambas caras, una vez comprobada que ambas caras se encuentren selladas perfectamente y que no existan desniveles, se pasa a retirar el refrendador.

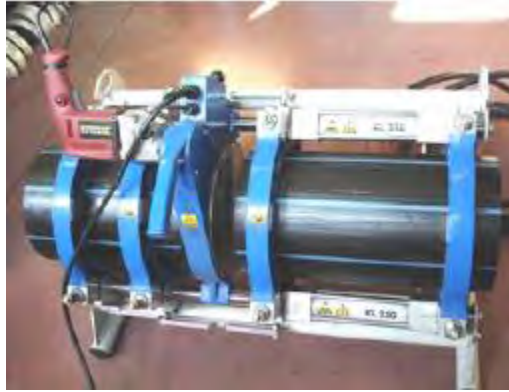


Figura 65. Refrentado

Fuente: Informe de ASTUB

Una vez que se ha retirado el refrendador se deberá retirar la viruta que queda en las superficies, sin tocar las superficies.

3.3.1.3. Fusión y unión de extremos

Antes de comenzar a calentar las placas de soldar, éstas deberán ser limpiadas con alcohol con la finalidad de eliminar cualquier partícula que pueda existir en las caras de estas placas. La plancha Calefactora (Heater) al alcanzar la temperatura recomendada (210-225°C) se procederá a colocarla entre los extremos. La diferencia de temperatura entre dos puntos del plato calefactor en diámetros grandes de tubería no debe exceder los 15°C.

La plancha se pone en contacto con las tuberías con una presión de arrastre determinada. Se aplica la presión mínima de contacto (p_1) con el plato calefactor. Esta presión es el resultado de usar las formulas descritas en el capítulo 2, de acuerdo a los parámetros que se tienen.

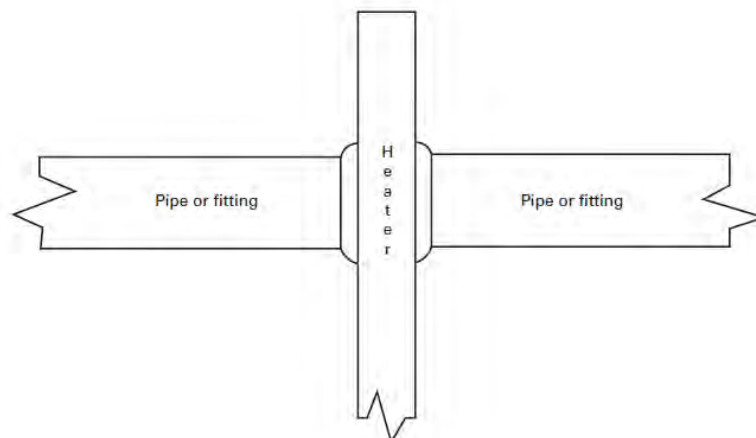


Figura 66. Calentamiento de los tubos de HDPE

Fuente: ASME sección IX

Se calienta hasta formar un espesor de cordón, este cordón tendrá una altura inicial que no será mayor a 6 mm, luego se irá reduciendo la presión mínima hasta llegar a cero.

Se separan las tuberías para retirar la plancha calefactora. El tiempo que dura la maniobra de retiro de plancha y la junta de ambas caras, no debe ser mayor de 10 segundos.

Se juntan rápidamente, pero sin golpear violentamente los extremos de las tuberías hasta la presión p_1 . Se toma el tiempo de enfriamiento.



Figura 67. Dar presión p_1 y mantener hasta el tiempo de enfriamiento

Fuente: Informe de ASTUB

3.3.1.4. Enfriamiento

Después de juntar las superficies de las tuberías, éstas se dejarán enfriar por un tiempo de enfriamiento t_5 , dato que se obtiene de tablas.

Finalizado este paso. Se aflojan las abrazaderas de la máquina, y pasa a retirar la tubería.

3.3.2. Parámetros de la soldadura por termofusión

Los parámetros indicados varían de acuerdo a la relación de dimensiones estándar (SDR, por sus siglas en inglés), al diámetro de la tubería y a la temperatura del medio ambiente.

Temperatura superficial: El valor de la temperatura recomendada por el fabricante para la fusión varía entre 400°F – 450°F. Valores cercanos al límite inferior para tuberías de pequeño diámetro son recomendables por la facilidad de controlar el espesor del cordón, y valores cercanos al límite

superior para tuberías de diámetros mayores con el objetivo de acelerar la fusión.

Presión de refrendado: Los fabricantes recomiendan que el valor de este parámetro este entre los valores de 50 – 85 psi.

Presión de calentamiento: Esta presión se mantiene ligeramente a 0 psi y se controla con la geometría del bordón que se va formando, conforme se calienta el material.

Presión de unión: Los valores de presión son variables y dependientes del diámetro y SDR de la tubería. El fabricante ha elaborado tablas con algunos valores fruto de algunas pruebas con su material. Estos valores son solo referencias ya que se han observado variaciones notables de uno a otro fabricante.

Tiempo de enfriamiento t_5 : Los fabricantes recomiendan como dato referencial practico un tiempo de enfriamiento de 25 minutos por pulgada de espesor de tubería.

Para trabajos a temperatura ambiente de 75°F (24°C), se recomienda

Tabla 7. Tiempo de enfriamiento

Espesor: Pulgadas	Tiempo enfriamiento: minutos
Hasta 0.2"	5
0.2" a 0.4"	5 a 10
0.4" a 0.6"	10 a 15
0.6" a 0.8"	15 a 20
0.8" a 1.2"	20 a 30
1.2" a 1.6"	30 a 40
1.6" a 2.0"	40 a 50
2.0" a 2.4"	50 a 60
2.4" a 2.8"	60 a 70
2.8" a 3.2"	70 a 80

Fuente: Informe de ASTUB

Luego del tiempo de enfriamiento en la máquina se recomienda 15 minutos de enfriamiento posterior, antes de someter a la junta a esfuerzos severos ya sea por maniobra o doblez.

3.3.3. Parámetros de aceptación

Una vez realizada la unión por termofusión, para la aprobación del *fusion procedure specification* (FPS) se realizará una inspección visual de la unión y una prueba hidrostática a 2 bares.

3.3.3.1. Inspección visual

El examen visual es directo y el ángulo de visión no menos de 30° de la superficie a ser examinada. Pueden usarse espejos para mejorar el ángulo de visión, al igual que lentes de aumento o lupas.

En este examen se examinarán las proporciones del cordón, así como la homogeneidad de éste, nos podemos referenciar de los criterios que se encuentran en el ASME sección IX para determinar los criterios de aceptación o de rechazo del cordón.

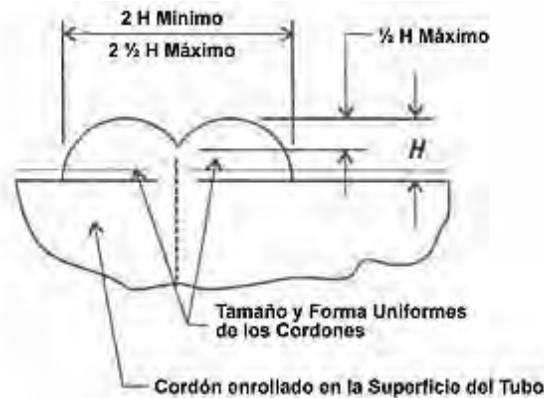


Figura 68. Proporciones del cordón

Fuente: Informe de Performance Pipe

Dentro de los criterios de aceptación de la inspección visual del cordón encontramos.

Uniformidad del cordón alrededor de la tubería.

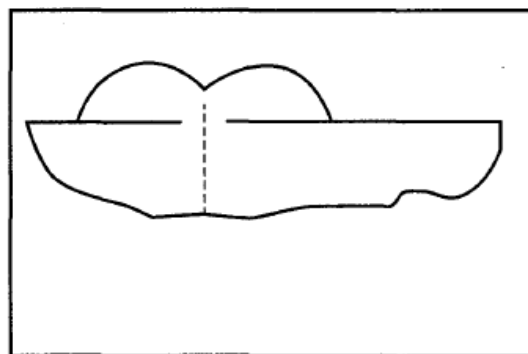


Figura 69. Visualmente aceptable

Fuente: Asme sección IX

En el caso de no tener uniformidad alrededor del cordón de la tubería, el desajuste o la distancia de la altura de estos, no debe ser mayor al 10 % del grosor nominal de pared.

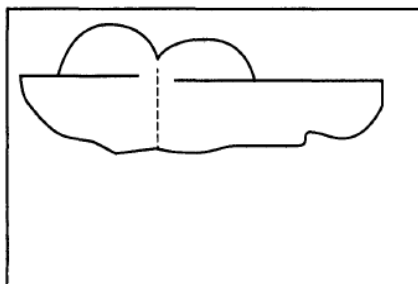


Figura 70. Visualmente aceptable a pesar de la falta de homogeneidad

Fuente: Asme sección IX

Se rechaza una junta cuando la ranura en V del cordón traspase la unión y funda parte del material.

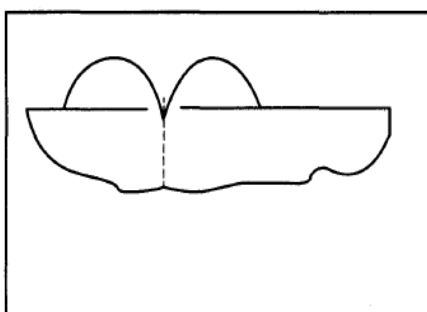


Figura 71. Visualmente rechazable

Fuente: Asme sección IX

Encontramos otros factores que visualmente pueden rechazar a la soldadura, tal y como indica la Figura 72.

INCORRECTO	DESCRIPCIÓN DEL DEFECTO	CAUSA
	El borbón es demasiado estrecho y alto	Exceso de presión
	El borbón es muy pequeño	Presión insuficiente
	Una hendidura profunda en el centro del borbón	Temperatura insuficiente ó tiempo de transición demasiado largo
	Desalineamiento	La desviación máxima permitida es del 10% del espesor de la pared
	Diferentes espesores de pared. Se recomienda utilizar accesorios electrosoldables	
	Los materiales tienen diferentes temperaturas de fusión	
	Existencia de contaminación. Superficies a unir no están suficientemente limpias	

Figura 72. Defectos de la unión por termofusión

Fuente: Informe de ASTUB

3.3.3.2. Prueba hidrostática

A la probeta de unión por termofusión se colocarán dos discos ciegos en la entrada y la salida del tubo, en uno de los discos ciego se colocará un manifold de prueba por donde ingresará presión hasta que el manómetro marque 2 bares. Al termino de 1 hora, se verificará que la presión no ha disminuido y la unión no presente fugas, comprobado esto, se da por aceptada la prueba hidrostática.

3.3.4. Homologación del soldador

Ensayos destructivos: De acuerdo a la norma ASME sección IX, se seguirán los siguientes parámetros adjuntos en la Tabla 8.

Tabla 8. Ensayos destructivos

Item	Descripción	Norma de Ensayo	Cantidad Mínima de ensayos	Observaciones
1	Ensayo de Doblado de Cara – Termofusión	ASME IX	02	Se requieren, 02 especímenes cortados con una separación de 180°. La longitud y el ancho de cada muestra deberán ser de 50 cm y 10 cm respectivamente.
2	Ensayo de Doblado de Raíz – Termofusión	ASME IX	02	Se requieren, 02 especímenes cortados con una separación de 180°. La longitud y el ancho de cada muestra deberán ser de 50 cm y 10cm respectivamente.
3	Ensayo de Tracción – Termofusión. Velocidad: 600mm/min.	ASME IX	04	Se requieren, probetas extraídas a 90° respecto a las demás muestras. La longitud y el ancho de cada muestra deberán ser de 50 cm y 10 cm respectivamente.

Fuente: Realización propia

Para realizar estos ensayos, se enviaron cupones a ensayar al laboratorio de materiales de la Pontifica Universidad Católica del Perú.

Estos resultados serán evaluados como casos, en el siguiente capítulo.

3.3.5. Liberación de la tubería de HDPE

Como parte de los trabajos en la Refinería de Talara, para liberación y aceptación de la tubería de HDPE, el cliente pide realizar los ensayos de inspección visual a las uniones de HDPE y prueba de estanqueidad a toda la línea.

Como se observa en el anexo B, la línea 20”-OWS-HTD-60002-PE00T-N-1 aprobó satisfactoriamente el ensayo de inspección visual y prueba de estanqueidad.

3.3.5.1. Inspección visual

Este ensayo se realizará a todas las uniones de la tubería de HDPE verificando que las uniones cumplan con los requisitos descritos en el 3.3.3.1 y asegurándose que se hayan seguido todos los pasos del procedimiento de unión por electrofusión.

3.3.5.2. Prueba de estanqueidad o hermeticidad

Se realizará la prueba de estanqueidad o hermeticidad para detectar la presencia de fugas en el tramo instalado, primero se debe verificar la limpieza del tramo instalado. La tubería debe estar libre de aceites, grasas, pintura u otros contaminantes que puedan enmascarar eventuales fugas.

Se cubrirán todas las entradas al tramo instalado haciendo uso de tapas ciegas, balones obturadores u otro medio apropiado.

En una de las tapas ciegas se dejará un punto para el ingreso del agua para la prueba y para la purga de aire existente. Este punto deberá quedar por encima del nivel de la tubería.

Se llena completamente de agua limpia el tramo instalado a través de una de las entradas.

Se deja el agua dentro de las tuberías por una hora, tiempo en el cual se observa si presenta fugas o no, si no se observan fugas se da por aceptada la prueba.

Si se identifica la presencia de fugas en el tramo instalado, esta deberá ser reparada y se realizará una nueva prueba al terminar la reparación.

3.4. Ventajas de los procesos de termofusión y electrofusión

3.4.1. Proceso de electrofusión

Fácil manejo y operatividad de la máquina de electrofusión. Esto permite al operador tener un mayor control de las juntas que está realizando debido a que la máquina puede trabajar en modo automático.

Las máquinas de electrofusión minimizan los fallos y errores que se pueden producir durante la realización de la unión debido a que nos permite corregir los parámetros ni bien estos son detectados.

Ideal para realizar la unión en condiciones difíciles, además de no requerir el movimiento del tubo. No es necesario que el operador cambie de posiciones para realizar la soldadura o unión, es la máquina que mediante la

resistencia va fundiendo el material y después de un tiempo de enfriamiento, genera la unión.

Aplicable en uniones de tubos de media densidad (PE80) y alta densidad (PE100), además de distintos espesores de pared con la utilización de accesorios.

Este proceso es ideal para realizar reparaciones debido a que no es necesario mover la tubería ni mucho menos desarmar el tendido de la tubería para realizar la reparación.

Asegura tener un alto estándar de vida útil y seguridad en las uniones realizadas por estos procesos, no requiere recambios continuos y es ideal para realizarla en diámetros de diámetros pequeños y grandes, teniendo uniones confiables y duraderas.

Menos parámetros a controlar a comparación de otros tipos de uniones. Los parámetros a control son el tiempo y el voltaje que son ingresados de forma manual a la máquina. Sin embargo, estos parámetros no requieren un mayor seguimiento por el contrario es necesario realizar seguimiento a la máquina de electrofusión cada cierto tiempo durante el tiempo de fusión con la finalidad de verificar que no haya ocurrido una caída de tensión o una variación en estos parámetros.

A pesar de tener un costo más elevado en comparación con la unión por termofusión, este proceso presenta muchas más ventajas y una de sus principales y ya mencionado es su fácil operatividad y manejo, lo que permite tener una mejor trazabilidad de las juntas.

3.4.1.1. Posibles causas de fallas en el proceso de electrofusión

Entre las principales fallas encontramos, las siguientes:

- Tensión incorrecta del grupo electrógeno.
- Incorrecta introducción del tiempo de fusión y del voltaje de la máquina.
- Incorrecta utilización del aro tensor, no generando buena área de contacto entre la resistencia y el tubo.

Movimiento del tubo durante la fusión.

- Contaminación o suciedad presente en la tubería o accesorios.
- Mala preparación de la superficie y de la zona fusión.
- No respetar el correcto tiempo de enfriamiento.
- Malas condiciones ambientales.

3.4.2. Proceso de termofusión

En el proceso de termofusión, los tubos y conexiones se fusionan entre sí molecularmente obteniendo una tubería continua que garantiza el tener el

más alto grado de seguridad en las instalaciones de agua fría y caliente para consumo, calefacción, de desagüe, entre otros usos.

Se recomienda su uso para tuberías de diámetros mayores a diferencia de la tubería de electrofusión convencionales. En la Refinería de Talara, es usado para diámetros de 18" y 20", siendo estos diámetros grandes, en comparación con la de otros tipos de materiales.

Mejor conocimiento del proceso de termofusión en comparación que el proceso de espiga/campana, el proceso de termofusión es un proceso de mayor uso en el Perú por lo que se tiene un mayor manejo de información y operadores mejor capacitados en este tipo de uniones.

El buen cumplimiento de su procedimiento de unión y el buen control de sus parámetros permite tener una unión que cumpla con los estándares y requisitos de calidad para lo cual van a ser requeridos.

3.5. Comentarios finales

Durante el proceso de unión por termofusión y electrofusión en la Refinería de Talara, se tuvo cierta dificultad en la unión por electrofusión debido a que es un proceso relativamente nuevo en el mundo, no cuenta con más de 50 años, y tanto este proceso como el tipo de unión espiga/campana son el primer caso que son usados en el Perú, en algún proyecto por lo que no se contaba con mayor información disponible, además de la proporcionado por el proveedor.

Sin embargo, esta tesis, contiene los pasos y recomendaciones necesarias a seguir, con la finalidad de tener una adecuada unión por electrofusión que cumpla con los estándares de calidad y requisitos de operación para la cual fue diseñada. De igual forma con el proceso de termofusión, sin embargo, este proceso es más conocido, pero si no se tiene cuidado con los parámetros esenciales y se siguen los pasos indicados, no se tendrá una buena pega.

Capítulo 4

Resultados

4.1. Introducción

En este capítulo se expondrán los resultados de los ensayos realizados a las probetas de unión por termofusión y electrofusión, así como las pruebas realizadas a la tubería con la finalidad de homologar al operador y validar el *manufacture qualified fusing procedure specification* (MEFPS, por sus siglas en inglés) y *fusion procedure specification* (FPS, por sus siglas en inglés).

4.2. Electrofusión

4.2.1 Aprobación del MEFPS

Como se mencionó en el capítulo anterior, en el MEFPS se incluyen todas las variables esenciales y no esenciales que han sido consideradas al momento de realizar la unión por termofusión. Por tal motivo, es necesario realizar una probeta con todas las variables esenciales y no esenciales que hemos considerado en el MEFPS, y ésta será sometida a ensayos de inspección visual y prueba de presión.

El ensayo de inspección visual se recomienda que sea realizado por inspector de inspección visual nivel II y además éste sea quien supervise la prueba de presión verificando que no presenta fugas por la junta.

En este apartado se evaluarán dos casos, que se realizaron en la Refinería de Talara.

4.2.1.1 Primer caso

En este primer caso, en un inicio no se contó con la presencia del proveedor de la tubería, a causa del elevado costo de traer al proveedor a la refinería, por lo que no se realizó prueba de presión,

esta prueba fue recomendada por el proveedor, así como la utilización de la soldadura por extrusión como refuerzo, posteriormente.

Por lo que, al momento de realizar la unión, ésta fue realizada sin la soldadura por extrusión como refuerzo.

Se usó un primer procedimiento que se encontraba aprobado por la empresa contratista.

DN	Voltaje (V)	Tiempo (sg) Tª Amb.20° a 15°	Tiempo (sg) Tª Amb.15° a 10°	Tiempo (sg) Tª Amb.10° a 5°	Tiempo (sg) Tª Amb.5° a 0°
DN300	15 Volt	700 hasta 735	735 hasta 770	770 hasta 805	805 hasta 840
DN400	18 Volt	800 hasta 840	840 hasta 880	880 hasta 920	920 hasta 960
DN500	20 Volt	900 hasta 945	945 hasta 990	990 hasta 1035	1035 hasta 1080
DN600	24 Volt	1020 hasta 1065	1065 hasta 1115	1115 hasta 1165	1065 hasta 1250
DN700	25 Volt	1080 hasta 1120	1120 hasta 1170	1170 hasta 1230	1230 hasta 1280
DN800	33 Volt	1020 hasta 1065	1065 hasta 1100	1100 hasta 1150	1150 hasta 1200
DN900	39 Volt	720 hasta 780	780 hasta 840	840 hasta 920	920 hasta 1000
DN1000	40 Volt	1080 hasta 1130	1130 hasta 1180	1180 hasta 1220	1220 hasta 1270
DN1100	41 Volt	1200 hasta 1250	1250 hasta 1320	1320 hasta 1400	1400 hasta 1480
DN1200	43 Volt	1200 hasta 1260	1260 hasta 1320	1320 hasta 1380	1380 hasta 1440
DN1300	46 Volt	1300 hasta 1430	1430 hasta 1500	1500 hasta 1560	1560 hasta 1620
DN1400	48 Volt	1500 hasta 1560	1560 hasta 1620	1620 hasta 1700	1700 hasta 1760
DN1500	48 Volt	1740 hasta 1800	1800 hasta 1860	1860 hasta 1940	1940 hasta 2000
DN1600*	32 Volt	1080 hasta 1120	1120 hasta 1170	1170 hasta 1220	1220 hasta 1270
DN1800*	40 Volt	880 hasta 930	930 hasta 1000	1000 hasta 1070	1070 hasta 1150
DN2000*	39 Volt	1200 hasta 1250	1250 hasta 1300	1300 hasta 1350	1350 hasta 1400
DN2400*	45 Volt	1300 hasta 1440	1440 hasta 1500	1500 hasta 1560	1560 hasta 1620
* Dos Alambres de soldadura, promedio					
**Cuatro Alambres de soldadura					

Figura 73. Tabla a usar, en el 1er caso

Fuente: Memoria Técnica

Se tiene una tubería de 28" o de 700 mm, los datos que son sacados de esta tabla, son los siguientes:

- Voltaje: 25 Voltios
- Tiempo a usar de 1080 a 1120 segundos.

En el caso del tiempo a usar se recomienda siempre usar el tiempo mayor debido a que un mayor un tiempo de fusión nos asegura tener una mayor fusión del material en la zona de fusión. El tiempo a usar será de 1120 segundos.

Se analizará la línea 28"-OWS-HTD-60006-PE00T, esta línea al momento de realizar la prueba de estanqueidad, se evidenció fuga de agua en las juntas.

Supervisión al observar esto, procedió a rechazar la prueba y el procedimiento que se usó para realizar la pega.

Se contrató una empresa encargada de ensayos e inspección con la finalidad de investigar las fallas, se realizó la prueba de tracción de manera interna y no oficial junto con la empresa

contratista, estos resultaron arrojaron una falta de fusión en la zona de fusión debido a una mala colocación de la resistencia, esto produjo que en el momento de fundir el material no se tenga una fusión completa en la zona de fusión.

Se solicitó una nueva tabla, como se observa en la Figura 73 solo contiene temperaturas de 20 a 15 °C, mientras en Talara se tienen temperaturas mayores a los 25 °C. Además, se propuso reforzar internamente las uniones de electrofusión mediante el uso de la soldadura por extrusión con la finalidad de tener un buen sellado, evitando la presencia de fugas.

Estas soluciones fueron presentadas, sin embargo, no fueron aceptadas por el cliente, sin la aprobación previa del proveedor de la tubería. Por tal motivo, los trabajos en tuberías de HDPE, fueron detenidos hasta que el proveedor diera su visto bueno y proporcionara valores reales para las temperaturas que se tienen en la Refinería de Talara. De esta manera el MEFPS y el procedimiento de construcción fueron rechazados.

4.2.1.2 Segundo Caso

Producto de la fuga en las juntas de HDPE se contactó con el proveedor y se acordó su presencia en la Refinería de Talara.

El proveedor KHAA proporcionó una nueva tabla con valores mayores a temperaturas de 20 °C y se validó frente al cliente el uso de la soldadura por extrusión como refuerzo en la unión de la soldadura por electrofusión. Además, se comprometió a capacitar y a dictar charlas de inducción a los operadores, emitiendo certificados aprobados por el cliente, para presentar a la empresa supervisora.

Con estos cambios se modifica el procedimiento que había sido rechazado, donde se incluyen la nueva tabla de valores de tiempo y voltaje, además de la soldadura por extrusión, estos pasos son considerados y descritos en el procedimiento y explicados paso a paso, en el capítulo 3.

DN	Voltaje (V)	Tiempo (s) T° Amb 45° a 50°	Tiempo (s) T° Amb 40° a 45°	Tiempo (s) T° Amb 35° a 40°	Tiempo (s) T° Amb 30° a 35°	Tiempo (s) T° Amb 25° a 30°	Tiempo (s) T° Amb 20° a 15°	Tiempo (s) T° Amb 15° a 10°	Tiempo (s) T° Amb 10° a 5°	Tiempo (s) T° Amb 5° a 0°
DN600	24 Volt	795 hasta 840	840 hasta 865	865 hasta 930	930 hasta 975	975 hasta 1020	1020 hasta 1065	1065 hasta 1115	1115 hasta 1165	1065 hasta 1250
DN700	25 Volt	860 hasta 920	920 hasta 960	960 hasta 1000	1000 hasta 1040	1040 hasta 1060	1060 hasta 1120	1120 hasta 1170	1170 hasta 1230	1230 hasta 1260
DN800	33 Volt	795 hasta 840	840 hasta 865	865 hasta 930	930 hasta 975	975 hasta 1020	1020 hasta 1065	1065 hasta 1100	1100 hasta 1150	1150 hasta 1200
DN900	39 Volt	420 hasta 480	480 hasta 540	540 hasta 600	600 hasta 660	660 hasta 720	720 hasta 780	780 hasta 840	840 hasta 920	920 hasta 1000
DN1000	40 Volt	880 hasta 930	930 hasta 980	980 hasta 1030	1030 hasta 1080	1080 hasta 1130	1080 hasta 1130	1130 hasta 1180	1180 hasta 1220	1220 hasta 1270
DN1200	43 Volt	900 hasta 960	960 hasta 1020	1020 hasta 1080	1080 hasta 1140	1140 hasta 1200	1200 hasta 1260	1260 hasta 1320	1320 hasta 1360	1380 hasta 1440
DN1400	48 Volt	1200 hasta 1260	1260 hasta 1320	1320 hasta 1380	1380 hasta 1440	1440 hasta 1500	1500 hasta 1560	1560 hasta 1620	1620 hasta 1700	1700 hasta 1760
DN1500	48 Volt	1400 hasta 1450	1450 hasta 1520	1520 hasta 1600	1600 hasta 1680	1680 hasta 1760	1760 hasta 1800	1800 hasta 1860	1860 hasta 1940	1940 hasta 2000
DN1600	48 Volt	630 hasta 680	680 hasta 730	730 hasta 780	780 hasta 830	830 hasta 880	880 hasta 930	930 hasta 1000	1000 hasta 1070	1070 hasta 1150
DN2000	39 Volt	950 hasta 1000	1000 hasta 1050	1050 hasta 1100	1100 hasta 1150	1150 hasta 1200	1200 hasta 1250	1250 hasta 1300	1300 hasta 1350	1350 hasta 1400
DN2400	45 Volt	1020 hasta 1080	1080 hasta 1140	1140 hasta 1200	1200 hasta 1260	1260 hasta 1300	1300 hasta 1440	1440 hasta 1500	1500 hasta 1560	1560 hasta 1620

Figura 74. Tabla con valores mayores a 20 °C

Fuente: Memoria técnica

Para una tubería de 28” o de 700 mm, con temperatura ambiente entre 25 a 30°C.

Los datos obtenidos de la tabla son los siguientes:

- Voltaje: 25 Voltios
- Tiempo a usar de 1040 a 1080 segundos.

Se analizará la línea 28”-OWS-HTD-60006-PE00T.

A estas tuberías se realizarán las pruebas de inspección visual y la prueba de estanqueidad.

4.2.1.2.1 Inspección visual

Se realiza este ensayo no destructivo con la finalidad de comprobar que las uniones realizadas a estas tuberías cumplen con lo requerido y no presentan fallas, fisuras o grietas. Este ensayo se realizó al terminar la pega siendo aceptada y validada por todas las personas involucradas.

4.2.1.2.2 Prueba neumática

Como se observa en el anexo G, la prueba neumática, se realiza a 2 bar y con un tiempo de espera de 1 hora. En esta prueba se sigue la configuración como se muestra en la Figura 75.

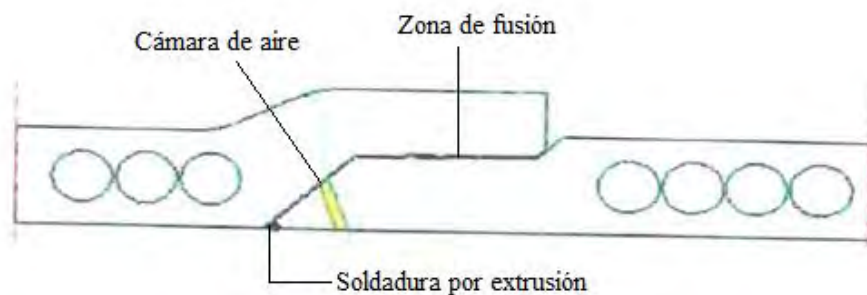


Figura 75. Configuración de la prueba a presión

Fuente: Memoria Técnica

El manómetro que será usado para la prueba debe encontrarse debidamente calibrado y con fecha de calibración vigente, su certificado de calibración es 435-CFP-2016. Cabe destacar que los instrumentos de medición que son usados en las pruebas de presión o hidrostáticas, deben encontrarse con calibración vigente, caso contrario la prueba es invalidada.

Al cabo de 1 hora, esta prueba no presento una caída de presión y se mantuvo en 2 bares, quedando de esta manera el procedimiento de MEFPS, aprobado.

4.2.2 Homologación del operador

En el caso del 1er caso, no se realizó la prueba de presión. La prueba de estanqueidad fue rechazada por fuga en las juntas, el operador no fue homologado.

4.2.2.1 Segundo Caso

Con la prueba de presión y la inspección visual aprobadas. El siguiente paso es homologar al operador, para lo cual es necesario que, al inicio de toda actividad, este haya aprobado sus charlas de inducción teórico/prácticas que son dictadas por un especialista designado por el proveedor. En el anexo E se presenta el certificado de un operador que ha aprobado de manera satisfactoria las charlas de inducción. Además de las inducciones, es necesario realizar ensayos destructivos del Peel Test y el ensayo de doblez con la finalidad de verificar la calidad de la pega y comprobar que se cumplen con los requisitos y condiciones para la cual fue diseñada.

4.2.2.1.1 Ensayos destructivos para electrofusión

Códigos, estándares o especificaciones de referencia que serán usados:

- ASME BPV Code Section IX. Qualification Standard for Welding, Brazing, and Fusing Procedures; Welders, Brazers; and Welding, Brazing, and Fusing Operators.
- AWS B2.1 – Specification for Welding Procedure and Performance Qualification
- AWS A3.0 – Standard Welding Terms and Definitions

1. Ensayo de doblez

Las pruebas se realizaron en el Laboratorio de Materiales – PUCP.

La prueba de doblez consiste en la preparación de muestras de acuerdo a la Figura 4.4 las cuales deben tener 1.5mm de espesor. Las muestras para la prueba mecánica deben cumplir con las indicaciones del párrafo QF-302.2 (1) Electrofusión Bend Test, así mismo, estas fueron extraídas de acuerdo al párrafo QF-143.3.1 y las pruebas realizadas de acuerdo con el párrafo QF-143.3.3 y QF-143.3.4, estos párrafos pertenecen al ASME BPV sección IX ed. 2015. Como se muestra en la Figura 76.

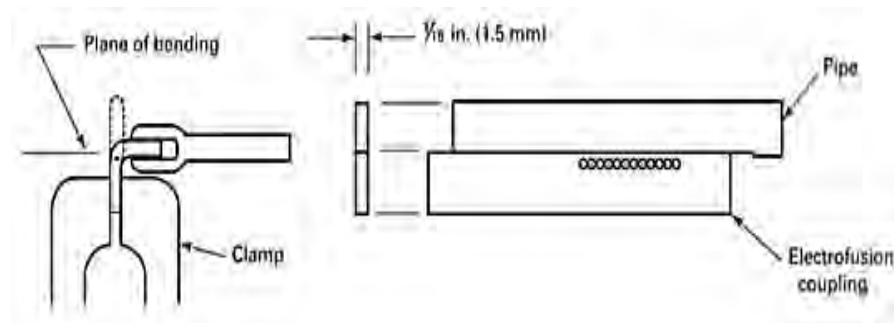


Figura 76. Preparación de las muestras

Fuente: ASME BPV Sección IX ed. 2015

Se ensayaron 04 muestras para pruebas de doblez de las cuales, una de ellas se fracturó y destruyó en el proceso de maquinado y preparación final de la muestra debido a la presencia del alambre de cobre en la zona de fusión, por lo tanto, quedaron sólo 3 muestras para las pruebas respectivas. De estas tres se obtuvieron los siguientes resultados:

MUESTRA	ÁNGULO DE DOBLADO	INSPECCIÓN VISUAL	TIPO DE FRACTURA	EVALUACIÓN DEL ENSAYO
D1	90°	CONFORME	Frágil	NO CONFORME
D2	90°	CONFORME	Frágil	NO CONFORME
D3	90°	CONFORME	Dúctil	CONFORME
D4	90°	CONFORME	---	---

Figura 77. Resultados de las muestras de doblez

Fuente: Informe de laboratorio de Pontificia Universidad Católica del Perú

Las muestras tienen que ser dobladas 4 veces en ambas direcciones y no presentar fractura frágil, ni presentar falta de fusión o fisuras en el centro de la muestra.

- La muestra D1 se fracturó durante el segundo doblado, presentando una fractura frágil.
- La muestra D2 se fracturó durante el tercer doblado, en los extremos de la muestra y debido a la presencia de la muesca dejada por el alambre de cobre.
- La muestra D3 no se fracturó durante los 4 doblados realizados, por lo tanto, la fractura que muestra es dúctil y paso satisfactoriamente la evaluación del ensayo.
- La muestra D4 no se realizó ensayo destructivo.

2. Ensayo de Peel test

Se tuvieron 04 probetas para pruebas de Peel test, de las cuales se obtuvieron los siguientes resultados:

MUESTRA	LONG. SOLDADA (mm)	CARGA MÁXIMA (kN)	TIPO DE FRACTURA	EVALUACIÓN DEL ENSAYO
1	64	2.55	Dúctil	CONFORME
2	62	2.08	Frágil	NO CONFORME
3	66	2.29	Frágil	NO CONFORME
4	63	2.29	Frágil	NO CONFORME

Figura 78. Resultados de las muestras de Peel test

Fuente: Informe de laboratorio de Pontificia Universidad Católica del Perú

- La muestra 1 no presentó una falla frágil, debido a la presencia de una buena fusión en la cara de contacto entre la Espiga y la Campana, por lo tanto, la muestra es aceptada.

- La muestra 2 se fracturó desde el inicio y presenta una fractura frágil en la zona de fusión, debido a una falta de fusión entre la Espiga y Campana.
- La muestra 3 se fracturó desde el inicio y presenta una fractura frágil en la zona de fusión, debido a una falta de fusión entre la Espiga y Campana.
- La muestra 4 se fracturó en la mitad de la prueba, debido la presencia de una zona de la cara de fusión con falta de fusión y esto se evidencio al ver las muestras fracturadas.

A continuación, se muestran las curvas de esfuerzos – deformación en donde se aprecia que la muestra 1 (curva A1) tiene una fractura dúctil, la muestra 4 (curva B2) tuvo una mejor respuesta, pero de igual forma muestra una fractura frágil y las muestras 2 (curva A2) y 3 (curva B1) muestran fracturas frágiles desde el inicio de la prueba. Ver Figura 79.

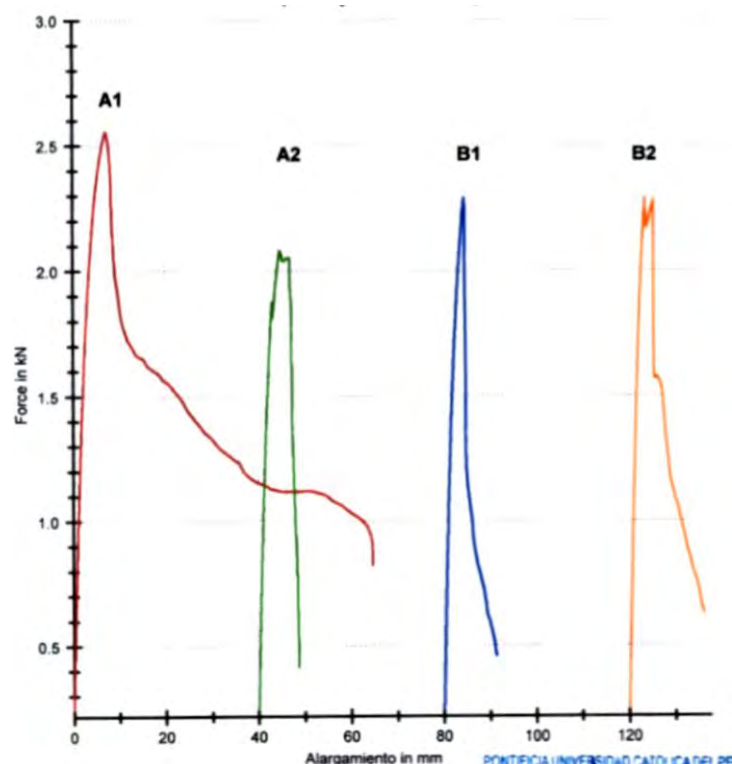


Figura 79. Curva Fuerza – Alargamiento del Peel Test

Fuente: Informe de laboratorio de Pontificia Universidad Católica del Perú

En la Figura 80, se aprecia una fractura dúctil, lo cual demuestra una buena fusión entre las caras de fusión de la Espiga y Campana.

En la Figura 81, se aprecia una fractura frágil, lo cual demuestra falta fusión entre las caras de fusión de la Espiga y Campana.

En la Figura 82, se tiene la Muestra D2 (Izquierda) que se fractura durante el tercer doblado, se aprecia la fisura en los extremos de la muestra. Muestra D1 (Derecha) que no se fractura durante el desarrollo de los cuatros doblados.



Figura 80. Muestra 1 de la Prueba del Peel test
Fuente: Informe de laboratorio de Pontificia Universidad Católica del Perú



Figura 81. Muestra 3 de la Prueba del Peel test
Fuente: Informe de laboratorio de Pontificia Universidad Católica del Perú



Figura 82. Muestra D2 (Izquierda) y Muestra D1 (Derecha)
Fuente: Informe de laboratorio de Pontificia Universidad Católica del Perú

En la Figura 83, se muestran las cuatro muestras de las pruebas de Peel Test, la muestra identificada como N° 2 en la fotografía es la que paso satisfactoriamente la prueba mecánica.



Figura 83. Muestras sometidas al ensayo de Peel Test

Fuente: Informe de laboratorio de Pontificia Universidad Católica del Perú

De los ensayos se tiene lo siguiente:

Las muestras que han pasado satisfactoriamente las pruebas, sí presentaron fusión completa y son las probetas extraídas de las zonas de mayor apriete y mejor disposición del anillo de cobre. Así mismo, la preparación de la probeta durante el maquinado ha sido mejor seleccionada y estuvo libre de muescas que generaron concentradores de esfuerzo.

Las muestras que no pasaron satisfactoriamente las pruebas, de acuerdo al estándar y procedimiento de prueba aplicado, presentaron concentradores de esfuerzos debido a las muescas generadas por el calentamiento de los filamentos de cobre durante el proceso de electrofusión. Estas zonas siempre presentarán una fractura frágil, los filamentos de cobre con este proceso de fusión no llegan al punto de dilución y por ende generarán ranuras y muescas, y estos filamentos se desprenderán durante la prueba de tracción.

Cabe indicar que las cuatro muestras superaron una fuerza de tracción de 2kN, demostrando buenas condiciones de fusión y operatividad para las condiciones de trabajo a las cuales van a estar sometidas las tuberías (transporte de fluidos no peligrosos, ni presurizados).

Se deberá realizar aprietes interior y exteriores al 25 %, 50 % y 75 % del tiempo de fusión. Si es posible el tiempo de fusión deberá ser superior al indicado en las tablas en un 15 % a 20 %.

4.3. Termofusión

4.3.1. Aprobación del FPS

Como se mencionó en el capítulo anterior, en el FPS se incluyen todas las variables esenciales y no esenciales que han sido consideradas al momento de realizar la unión por termofusión. Por tal motivo, es necesario realizar una probeta con todas las variables esenciales y no esenciales que hemos considerado en el FPS, y ésta será sometida a ensayos de inspección visual y prueba de presión.

El ensayo de inspección visual se recomienda que sea realizado por inspector de inspección visual nivel II y además éste sea quien supervise la prueba de presión verificando que no presenta fugas por la junta.

Para la aprobación del FPS se realizarán los ensayos de inspección visual y una prueba de presión.

4.3.1.1. Inspección visual

En este ensayo no destructivo se busca que el bordón obtenido en el proceso de unión por termofusión sea aceptable y no presente discontinuidades o falta de fusión.

4.3.1.2. Prueba de presión

Como se observa en el anexo F, la prueba de presión se realizó a 2 bares y con un tiempo de espera de 1 hora. En esta prueba a diferencia de la prueba de presión realizada a la probeta de electrofusión, se colocarán dos tapas que sellan la entrada y salida de la tubería, esto debido a que los diámetros de este tipo de tubería son menores y se cuenta con tapas de estos diámetros. Se inyectará presión, a través de un manifold que es puesto en la entrada con la finalidad de probar la integridad de la unión.

El manómetro a utilizarse en la prueba debe encontrarse debidamente calibrado y con fecha de calibración vigente, su certificado de calibración 435-CFP-2016.

Al término de 1 hora, esta prueba no presenta una caída de presión y se mantuvo en 2 bares, quedando de esta manera el FPS aprobado.

4.3.2. Homologación del operador

Con la prueba de presión y la inspección visual aprobadas. El siguiente paso es homologar al operador para lo cual es necesario que este haya aprobado sus charlas de inducción teórico/prácticas que son dictadas por un especialista designado por el proveedor. En el anexo D, se presenta un certificado a un operador que ha pasado las charlas. Además de las inducciones es necesario realizar ensayos destructivos de tracción y el ensayo de doblez con la finalidad de verificar la calidad de la pega y verificar que se cumplen los requisitos y condiciones para la cual fue diseñada.

4.3.2.1. Ensayo destructivos para unión por termofusión

Códigos, estándares o especificaciones de referencia, que serán usados

- ASME BPV Code Section IX. Qualification Standard for Welding, Brazing, and Fusing Procedures; Welders, Brazers; and Welding, Brazing, and Fusing Operators.

Las pruebas fueron realizadas en el Laboratorio de Materiales – PUCP para lo cual se enviaron 8 muestras: 2 de doblado de raíz, 2 de doblado de cara y 4 para ensayo de tracción.

Dichas muestras fueron extraídas de una tubería de HDPE de 500 mm con un SDR 26.

4.3.2.1.1. Ensayo de tracción

Resultados de la examinación

Tabla 9. Resultados del ensayo a tracción

Muestra		TR1	TR2	TR3	TR4
Sección Transversal (axb)	Ancho (mm)	10.11	10.11	9.98	10.02
	Espesor (mm)	20.28	19.73	20.65	19.97
	Área (mm ²)	205	199.5	206.1	200.1
Cargas (KN)	Máxima	5.57	5.49	5.69	5.57
Esfuerzos (MPa)	Máxima	27	28	28	28

Fuente: Informe de laboratorio de Pontificia Universidad Católica del Perú

Incertidumbres (Factor de cobertura $K=2$, para un nivel de confianza de 95%)

- Esfuerzo máximo (MPa) ± 0.9

Velocidad de ensayo: 600 mm/min.

Al realizar el ensayo de tracción se tienen los siguientes gráficos de las muestras:

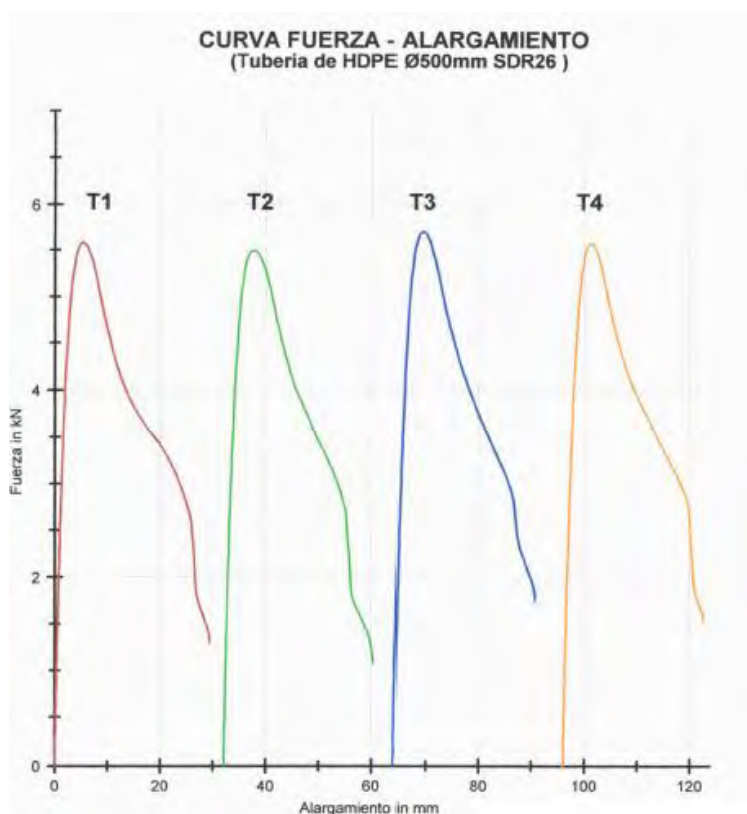


Figura 84. Curva Fuerza-Alargamiento del ensayo a tracción

Fuente: Informe de laboratorio de Pontificia Universidad Católica del Perú

De los gráficos se tiene que:

- La muestra TR1 fracturó en Material Base – Fractura Dúctil
- La muestra TR2 fracturó en Material Base – Fractura Dúctil
- La muestra TR3 fracturó en Material Base – Fractura Dúctil
- La muestra TR4 fracturó en Material Base – Fractura Dúctil

Las cuatro muestras superaron una fuerza de tracción de 2kN, demostrando buenas condiciones de fusión y operatividad para las condiciones de trabajo a las cuales van a estar sometidas las tuberías (transporte de fluidos no peligrosos, no presurizados).

4.3.2.1.2. Ensayo de doblez

De acuerdo a la norma ASME sección IX, se tiene la siguiente forma:

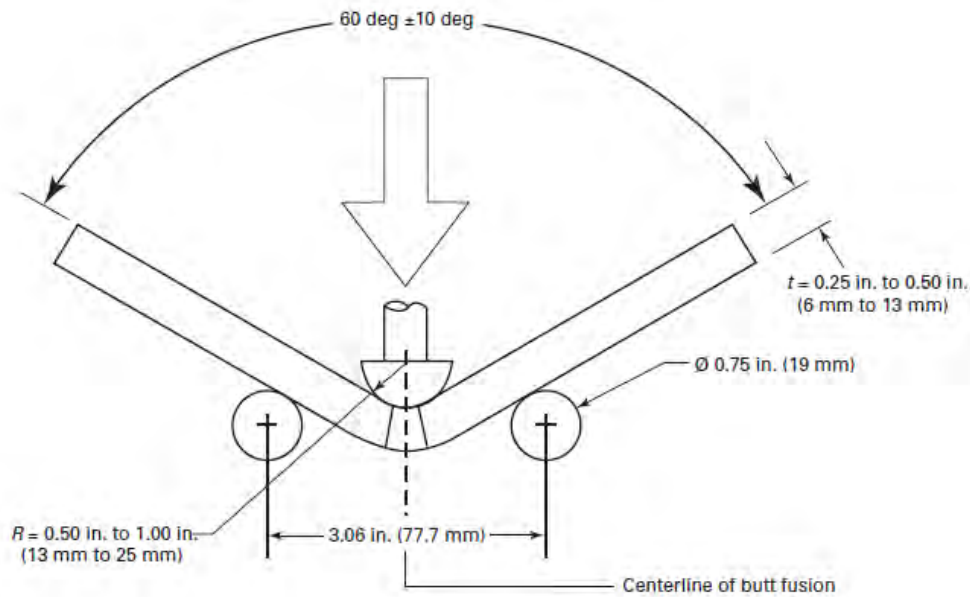


Figura 85. Curva Fuerza-Alargamiento del ensayo a tracción

Fuente: Informe de laboratorio de Pontificia Universidad Católica del Perú

Ensayo de doblez cara

MUESTRA	ÁNGULO DE DOBLADO	PRESENCIA DE DISCONTINUIDADES	OBSERVACIONES
DC1	180°	---	CONFORME
DC2	180°	---	CONFORME

Figura 86. Ensayo de doblez cara

Fuente: Informe de laboratorio de Pontificia Universidad Católica del Perú

Ensayo de doblez raíz

MUESTRA	ÁNGULO DE DOBLADO	PRESENCIA DE DISCONTINUIDADES	OBSERVACIONES
DR1	180°	---	CONFORME
DR2	180°	---	CONFORME

Figura 87. Ensayo de doblez raíz

Fuente: Informe de laboratorio de Pontificia Universidad Católica del Perú

Se observa que los ensayos de doblez, tanto en la raíz como en la cara, no presentan discontinuidades que puedan ocasionar un fallo en la soldadura. Por lo que la soldadura demuestra buenas condiciones de fusión y operatividad.

4.4. Guía para procedimiento de unión por electrofusión

Para conseguir una adecuada unión que cumpla con los estándares y requisitos para la cual fue diseñada, se debe seguir los siguientes pasos:

4.4.1. Homologación del Operador

El operador debe aprobar satisfactoriamente sus charlas de inducción teórico/práctico, donde quede demostrado frente al instructor su habilidad y conocimientos de los pasos a seguir desde la limpieza de las caras de la tubería hasta el tiempo de enfriamiento final de la unión de electrofusión.

Preparar una probeta siguiendo los pasos explicados en la charla y en el MEFPS que será sometida a inspección visual y prueba de neumática.

Aprobados la prueba de presión e inspección visual, lo siguiente será validar el MEFPS mediante ensayos mecánicos.

4.4.1.1. Aprobación del MEPFS

Para aprobar el MEFPS es necesario realizar los ensayos mecánicos de peel test y ensayo de doblez, para estos ensayos y de acuerdo a la norma es necesario preparar probetas, éstas serán enviadas a ensayar a un laboratorio que cuenta con los instrumentos necesarios para realizar dichos ensayos.

Los ensayos mecánicos me permiten verificar que las variables esenciales y no esenciales que han sido consideradas en el MEFPS, así como los valores de tiempo y voltaje que he considerado para preparar mi junta, cumplen con los requisitos de diseño para él cual van a ser requeridos.

Estos ensayos deben ser evaluados por un ingeniero experto en el tema que valide los resultados obtenidos de los ensayos. Con los resultados positivos de los ensayos me permite aprobar el MEFPS y de esta manera homologar al operador.

4.4.2. Procedimiento de unión por electrofusión

Antes de empezar con el proceso de unión de electrofusión, se recomienda realizar esta soldadura en un ambiente libre de polvo y de vientos fuertes que puedan generar variación durante el proceso de unión. En el caso de la refinería se acondiciono una carpa en el terreno de trabajo con la finalidad de proteger a la probeta de los fuertes vientos y polvo que existen en ella.



Figura 88. Lugar de trabajo

Fuente: Control fotográfico interno

Los pasos a seguir para el procedimiento de electrofusión son los siguientes:

Limpieza de las caras interior de las campanas y exterior de la espiga.

Instalación de resistencias en la cara interior de las campanas, para la fijación de estas resistencias se usará grapas. En la resistencia, se deberá distinguir las espiras de inicio y fin que irán conectadas a la máquina.

A través de unas plantillas se colocarán las resistencias, éstas cuentan con 2 agujeros por donde se introducirán las puntas de las resistencias. De no contar con una plantilla, es importante la habilidad del operador para realizar la colocación de la resistencia y su engrapado

Se colocará la plantilla con la resistencia, en el interior de la campana hasta los topes de la plantilla y se ajustará al diámetro de la campana por medio de un anillo tensor.



Figura 89. Colocación del anillo tensor

Fuente: Control fotográfico interno

Fijado la plantilla, mediante el anillo tensor, se continuará con el grapado de la resistencia, en el interior de la resistencia en la campana.

Una vez realizado el grapado de la parte interior se retirará cuidadosamente la plantilla y se graparán las espiras del exterior teniendo especial cuidado en el grapado de los hilos de conexión con la máquina de electrofusión.

Realizar una inspección verificando que las espiras de la resistencia ya engrapadas estén en buenas condiciones y uniformes tal que haya continuidad y no se genere problemas durante la fusión.

Para la unión por espiga-campana (electrofusión) el acople se realizará mediante una fuerza axial aplicada progresivamente desde el lado de la espiga hacia la campana para evitar arrastrar materiales extraños al interior de la zona de fusión, se debe tener cuidado de no tensionar de más, las componentes ni golpearlas.

Cuando los tubos no puedan ensamblarse en forma manual, se recurrirá a la ayuda de equipos adicionales. Una práctica común es mediante el uso de correas rodeando el perímetro de los dos caños a unir y un dispositivo de tiro adecuado, haciendo fuerza entre ellas, o bien, entre la tubería y la estructura de entibado de la zanja.

Se puede instalar abrazaderas en la parte exterior de la campana con la finalidad de tener una mayor presión, sin embargo, estas abrazaderas pueden ser opcionales, si se ha logrado tener una buena presión en la zona de fusión.



Figura 90. Abrazaderas en la parte exterior de la campana

Fuente: Control fotográfico interno

Luego de su acople o ensamble, las tuberías se alinearán axial y verticalmente. Comprobando el espacio existente entre las superficies a fusionar a lo largo de toda la circunferencia de contacto, si existieran diferencias destacables se corregirá modificando el registro del aro tensor con lo que se aumentará el diámetro del mismo hasta conseguir eliminar esas diferencias o atenuarlas al máximo.

A continuación, se colocará un adaptador conectado a los bornes salientes de la resistencia eléctrica que se encuentra en la zona de contacto de los tubos, y a éste se conectarán los terminales del equipo de electrofusión. Tener especial cuidado que no se produzcan fuerzas de tracción ni fuerzas de compresión sobre los cables de conexión, pudiendo ocasionar un corto circuito.

Se procederá a seleccionar el modo automático en la máquina de electrofusión y se introducirán los datos de tiempo y voltaje, de acuerdo al diámetro de la tubería que se desee unir y la temperatura ambiente, a la que nos encontremos al momento de realizar la pega, cabe destacar que estos datos de tiempo y voltaje se encuentran en una tabla proporcionado por el proveedor.

Recomendable con el fin de evitar tener un corte inesperado de la energía eléctrica que pueda afectar la fusión correcta en la junta, tener una fuente local que alimente exclusivamente a la máquina.

Se iniciará la aplicación de calor por efecto joule a través de la resistencia.

Una vez transcurrido los 2/3 del tiempo de fusión se deberá ajustar suavemente el aro tensor interno y las abrazaderas para aumentar la presión sobre la campana en el último tercio del proceso. Este debe ser un ajuste menor para que se mantengan unidas la cara interior de la campana con la exterior de la espiga.

Una vez que la máquina indique que el tiempo de fusión ha terminado, inmediatamente comenzará el tiempo de enfriamiento que será de similar duración al tiempo de fusión. Durante el tiempo de enfriamiento se puede desconectar la máquina de electrofusión, pero se deberán mantener la abrazadera exterior y el aro tensor interior en sus posiciones iniciales, y se tendrá un especial cuidado en no mover las piezas fusionadas durante el proceso de enfriamiento.

Terminada la unión, lo primero que se debe realizar es la inspección visual de los empalmes, donde se tomará en cuenta los siguientes criterios:

- El cordón de soldadura por fusión debe ser continuo y consistente en tamaño alrededor de toda la circunferencia de la tubería.
- No debe haber socavación en las orillas externas del cordón de soldadura por fusión del HDPE
- No debe haber vacíos o huecos visible entre los cordones de soldadura de fusión.
- No debe haber desalineamientos entre los extremos de las tuberías.
- No debe haber porosidad notoria en el cordón de la soldadura.



Figura 91. Cordón de soldadura de una tubería de electrofusión

Fuente: Control fotográfico interno

Terminado la pega de la tubería, se procederá a reforzar estas uniones mediante la soldadura por extrusión con la finalidad de reforzar y asegurar la hermeticidad en la tubería de HDPE que tienen el tipo de unión espiga–campana soldados con electrofusión.

Antes de posicionar la extrusora sobre la zona a soldar se debe precalentar el inicio del área a soldar con el equipo de aire caliente, se posicionará la extrusora sobre la superficie de la tubería a soldar previamente esmerilada y avanzar a velocidad constante. Siempre mantener la máquina centrada sobre la línea que se está soldando y levemente inclinada hacia la parte esmerilada.

Revisar constantemente la sección (forma y dimensiones) del cordón de soldadura. Si el cordón es más alto que el espesor de la superficie externa de la tubería HDPE o tiene mucha rebaba, inclinar la extrusora hacia la horizontal se debe de esmerilar para emparejar. Mantener la soldadura hasta su término evitando interrumpir el cordón, bajo ninguna circunstancia se permitirá el uso de trapos húmedos para enfriar la soldadura por extrusión.

Siguiendo estos pasos se asegura la aprobación del MEFPS, homologación del operador y obtener una junta que cumple con los requisitos de calidad y de diseño. Estos pasos son el resultado de las lecciones aprendidas del proceso de unión por electrofusión en la Refinería de Talara, esto debido a que en las normas aún no hay mayor información acerca de la soldadura por electrofusión y del tipo de unión tipo espiga-campana

Como se mencionó anteriormente, un procedimiento es como una receta de cocina por lo se debe seguir cada uno de los pasos descritos en esta guía.

4.5. Guía para el proceso de unión termofusión

4.5.1. Homologación del operador o termofusionista

El operador debe aprobar satisfactoriamente sus charlas de inducción teórico/práctico, donde quede demostrado frente al instructor su habilidad y conocimientos de los pasos a seguir desde la limpieza de las caras de la tubería hasta el tiempo de enfriamiento final de la unión de termofusión o soldadura a tope.

Preparar una probeta siguiendo los pasos explicados en la inducción y en el FPS, esta probeta será sometida a inspección visual y prueba de presión.

Aprobados la prueba de presión e inspección visual, lo siguiente será validar el FPS mediante ensayos mecánicos.

4.5.1.1. Aprobación del FPS

Para aprobar el FPS es necesario realizar los ensayos mecánicos de tracción y doblez, para estos ensayos y de acuerdo a la norma es necesario preparar probetas, éstas serán enviadas a ensayar a un laboratorio que cuenta con los instrumentos necesarios para realizar dichos ensayos.

Los ensayos mecánicos me permiten verificar que las variables esenciales y no esenciales que han sido consideradas en el FPS, así como los valores de tiempo y voltaje que he considerado para preparar mi junta, cumplen con los requisitos de diseño para él cual van a ser requeridos.

Estos ensayos deben ser evaluados por un ingeniero experto en el tema que valide los resultados obtenidos de los ensayos. Con los resultados positivos de los ensayos me permite aprobar el FPS y de esta manera homologar al operador.

4.5.2. Procedimiento de unión por termofusión

Montar una tienda o carpa para proteger la probeta de los fuertes vientos y polvo que existen en la Refinería de Talara.

Se coloca la tubería sobre la máquina verificando las siguientes condiciones:

- Perpendicularidad de las caras con el eje de la tubería.
- Contacto de las caras de los extremos, este debe ser total
- Alineamiento, la tolerancia de desalineamiento para tubos es 10% del mínimo espesor.

Se coloca el refrentador entre los extremos de las tuberías y se procederá a unir ambas caras del tubo al refrentador. Se acciona el motor para el cepillado de ambas caras, una vez comprobada que ambas caras se encuentren selladas perfectamente y no existan desniveles, se pasa a retirar el refrentador.

Retirar la viruta que queda en las superficies, sin tocar las superficies.

Limpiar con alcohol las caras de las placas a soldar.

La plancha Calefactora (Heater) debe alcanzar la temperatura recomendada (210-225 °C), esta temperatura debe ser comprobado usando un pirómetro o termómetro de contacto. Se procede a colocarla entre los extremos.

La plancha se pone en contacto con las tuberías con una presión de arrastre previamente calculada. Aplicar la presión mínima de contacto (p_1) con el plato calefactor.

Se calienta hasta formar un espesor de cordón, este cordón tendrá una altura inicial que no será mayor a 6 mm, luego se proceda a ir reduciendo la presión mínima hasta llegar a cero.

Se separa las tuberías para retirar la plancha calefactora. El tiempo que dura la maniobra de retiro de plancha y la junta de ambas caras, no debe ser más de 10 segundos.

Se juntan rápidamente, pero sin golpearlas violentamente los extremos de las tuberías hasta la presión p_1 . Se toma el tiempo de enfriamiento.

Después de juntar las superficies de las tuberías, éstas se dejarán enfriar por un tiempo de enfriamiento t_5 , dato obtenido de tablas.

Finalizado este paso. Se aflojan las abrazaderas de la máquina, y se retira la tubería.

Conclusiones

El aporte de esta tesis son las guías que permiten realizar estos procesos de manera sencilla para obtener unas uniones que cumplan con los estándares y requisitos de calidad para lo cual es requerida basándose en el estudio de los procesos de electrofusión y termofusión, sus parámetros a controlar en cada proceso, el procedimiento constructivo de cada uno de estos procesos, homologación de los operadores, ensayos destructivos y no destructivos requeridos en cada proceso. Con las guías se pretende ahorrar tiempo en el proceso de aprendizaje de este tipo de uniones, esto debido a que cuando un proceso es relativamente nuevo conlleva una inversión de tiempo y dinero en el aprendizaje del personal.

El tipo de unión espiga/campana utilizado en la refinería de Talara para uniones de HDPE de tubería corrugada no es considerada dentro del código ASME B31.3. Edición 2014 y ASTM F1055. Por lo que este tipo de unión es totalmente nueva y por el momento no se encuentra contemplado en la norma. Por lo tanto, si es una unión que no está claramente especificada en el Código ASME B31.3 Edición 2014 y por ende no podemos derivar directamente al Código ASME BPV Sección IX Edición 2015, lo único que se puede hacer o se recomienda hacer, es seguir las especificaciones del fabricante de tuberías o en sus defectos una RP (Práctica Recomendada) de ensamblaje del fabricante u proveedor de este tipo de fabricaciones.

A diferencia de la electrofusión, el proceso de termofusión es más estandarizado y se tuvo menores dificultades al momento de realizar las pruebas y ensayos necesarios para realizar la homologación del operador y la aprobación del *fusion procedure specification* (FPS). Sin embargo, en la termofusión se tiene una mayor cantidad de parámetros a controlar siendo necesario que sean anotados por el operador conforma van pasando los tiempos con la finalidad de tener un mejor control de estas uniones.

De los resultados de laboratorio se concluye que las muestras que han pasado satisfactoriamente las pruebas presentan fusión completa y son las probetas que fueron extraídas de las zonas de mayor apriete y mejor disposición del anillo de cobre. Así mismo se tiene un buen maquinado al momento de la preparación de la probeta por lo que estuvieron libres de muescas que son las principales generadoras de concentración de esfuerzo.

Las muestras que no pasaron satisfactoriamente las pruebas, de acuerdo al estándar y al procedimiento de prueba que fueron aplicados, presentaron concentradores de esfuerzos a causa de las muescas generadas por el calentamiento de los filamentos de cobre durante el proceso de electrofusión. Estas zonas presentan una fractura frágil, los filamentos de cobre con este proceso de fusión no llegan al punto de difusión y por ende generarán ranuras y muescas, y estos filamentos se desprenderán durante la prueba de tracción.

Sin embargo, las cuatro muestras superaron una fuerza de tracción de 2kN demostrando que poseen buenas condiciones de fusión y operatividad para las condiciones de trabajo a las cuales van a estar sometidas las tuberías, transporte de aguas aceitosas y de lluvia por gravedad.

En el ensayo de tracción se pudo corroborar que al someterse a una prueba de carga para las muestras de tuberías de polietileno de alta densidad (HDPE) unidas mediante un proceso de termofusión de acuerdo a la norma ASTM D 2657, no se evidencia rotura en las uniones termofusionadas, éstas fallaron en el material base por lo que su condición es aceptable.

La muestra cumple con los requerimientos de esfuerzo de fluencia, esfuerzo de tracción y alargamiento especificados por las normas para el material ASTM D 638.

El ensayo de doblez se realizó a las muestras de HDPE donde se obtuvieron superficies libres de fisuras y muescas en la cara exterior de doblado, lo que cumple con los requerimientos de ASTM F2620.

Recomendaciones

Se recomienda, dadas las condiciones de trabajo de las líneas de tuberías (presión, temperatura y fluido de transporte), la liberación final de las juntas electrofusionadas mediante la realización de las pruebas de estanqueidad, las cuales garantizarán la no presencia de discontinuidades pasantes en la unión electrofusionada y por ende una fusión óptima.

Mejorar la presión del anillo interior con la finalidad de tener aún mejores resultados a los obtenidos actualmente, esto permitirá tener una mejor área de contacto y tener una mejor fusión del material.

Se debe controlar la instalación de la resistencia debido a que las grapas deben garantizar que el filamento de cobre quede bien adherido a la tubería de HDPE y no exista un gap (aire o separación) entre ellas.

Se deberá realizar aprietes interior y exteriores al 25 %, 50 % y 75 % del tiempo de fusión. Si es posible el tiempo de fusión deberá ser superior al indicado en las tablas en un 15 % a 20 %, esto debido a la humedad que puede haber en el ambiente y con la finalidad de asegurar la fusión total y correcta del material de HDPE.

Bibliografía

Smith, Edward, “Manual del Ingeniero Mecánico”, Prentice-Hall, 1994.

J. A. Pero-Sanz Elorz, “Ciencia e ingeniería de los materiales”, Editorial Dossat, 2ed. Madrid, 1998.

William D. Callister, “Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales”, Editorial Reverté, S.A.; Barcelona, 1995

R. Flinn, P. K. Trojan, “Materiales de ingeniería y sus aplicaciones”, Editorial Mc Graw Hill Latinoamericana, 1979.

Van Vlack, Lawrence, “Materiales para Ingeniería”, Compañía editorial Continental, S.A. de C.V., México, 4 edición. 1984

Qualification Standard for Welding, Brazing, and Fusing Procedures; Welders, Brazers; and Welding, Brazing, and Fusing Operators, ASME BPV Code Section IX, 2015.

Specification for Welding Procedure and Performance Qualification, AWS B2.1, 2014

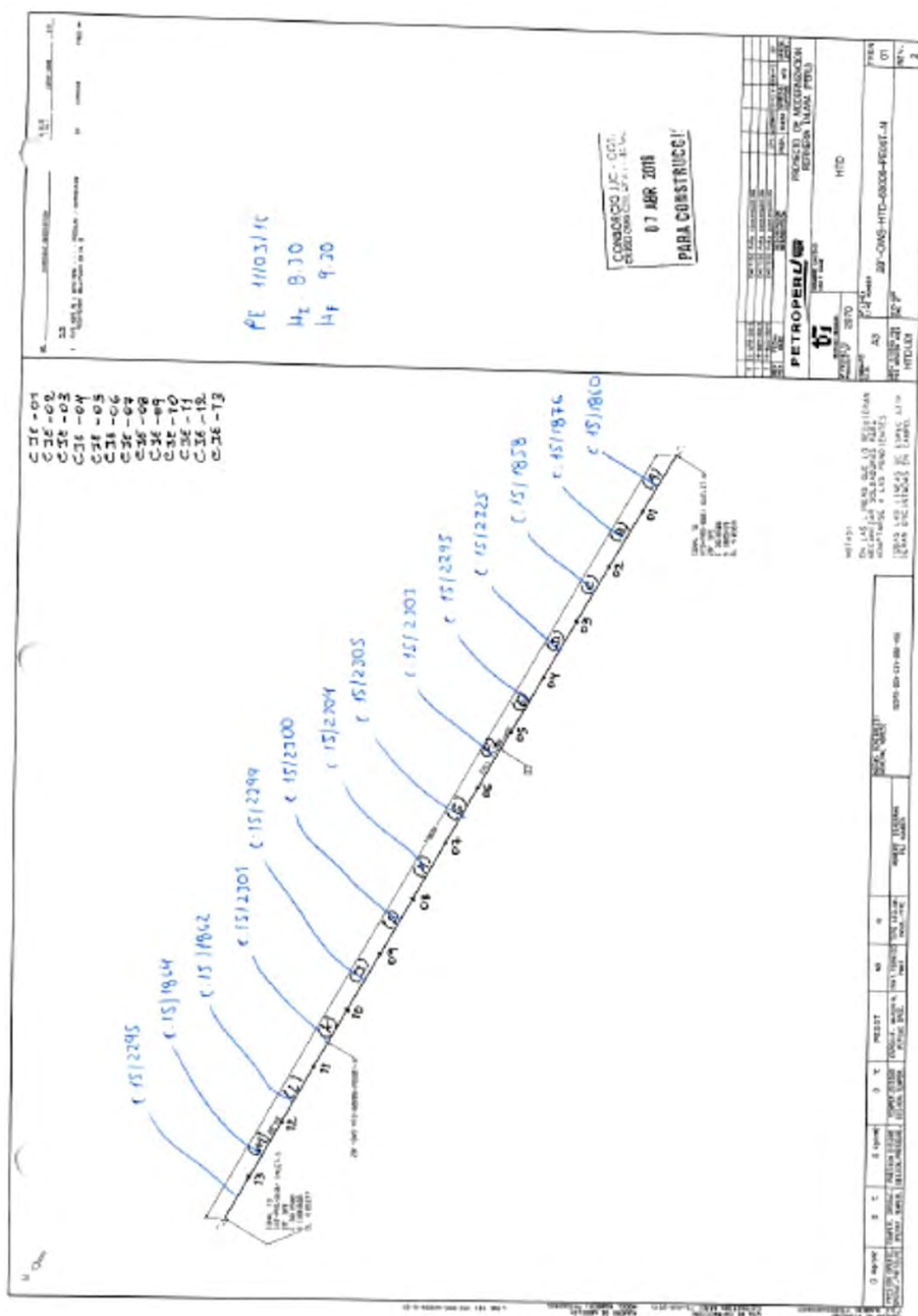
Standard Welding Terms and Definitions, AWS A3.0, 2001.

Process Piping, American Society of Mechanical Engineers, ASME B31.3, 2014.

Anexos

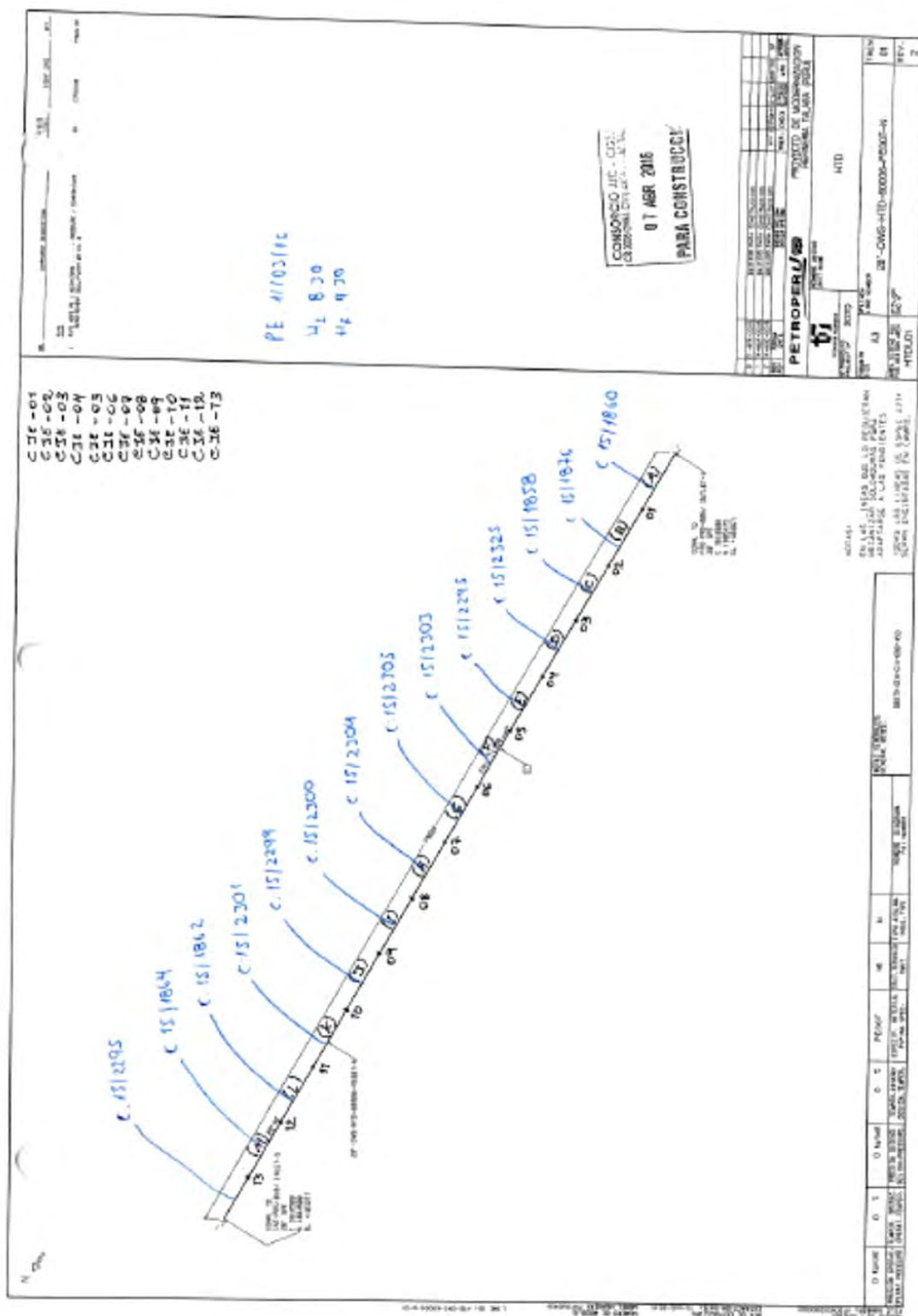
a) Informe de inspección visual de soldadura

[illegible]



b) Prueba de fugas en sistemas no sujetos a presión (gravedad)

 		PRUEBA DE FUGAS EN SISTEMAS NO SUJETOS A PRESION (GRAVEDAD)		No: 02870-028-CN-34 Rev. 01 Fecha: 18/08/15 Página: 1 de 1
PROYECTO No:	COSTO	INFORME No:	32	
EMPLEADOR R:	PETROPERU	SUBCONTRATISTA:	CONSORCIO J.R.-COSAPI	
SISTEMA:		SUBCONTRATO No:	02070-25203	
SISTEMA: ~				
ELEMENTO PARTE PRUBADO: <u>Línea 28"-6WJ-MTD-60006-DECOOT-N</u>				
Este certificado se emite al SUBCONTRATISTA de los términos del Contrato, Especificaciones de Proyecto y Procedimientos de Calidad para certificar que todos estos Pruebas se han realizado según a los				
PLANO No:	MATERIAL:		HDPE	
LINEA No:	ISOMETRICO No:		28"-6WJ-MTD-60006-DECOOT-N	
IDENTIFICACIÓN ARQUETA: MTD-PRD-006 → INT-PRJ-DVD				
Criterio de aceptación (Pérdida de agua admisible): ~ Pérdida admisible en sistema gravitales: ~ Pérdida admisible en aguas residuales sanitarias: <u>0 pérdida de agua</u>				
DIAMETRO TUBERIA: <u>28"</u>				
MÉTODO DE PRUEBA: <u>Estanqueidad</u> OTROS: ~				
ALTURA COLUMNA DE AGUA EN PUNTO DE PRUEBA (m): ~		DESPUÉS DE PRUEBA(m): ~		
ALTURA COLUMNA DE AGUA EN EL EXTREMO MAS BAJO (m): ~				
FECHA Y HORA COMIENZO:	<u>11/03/16</u>	<u>8:30</u>	PERDIDA DE AGUA (cm ³):	<u>0</u>
FECHA Y HORA FINALIZACIÓN:	<u>11/03/16</u>	<u>9:30</u>	DURACION DE LA PRUEBA (horas):	<u>1h</u>
(ALTURA MINIMA COLUMNA DE AGUA SEGÚN PLANO)				
RESULTADO DE LA PRUEBA: ACEPTADO ☒ RECHAZADO ☐				
CROQUIS PRUEBA 				
OBSERVACIONES: <u>Se adjunta isométrica</u>				
SUBCONTRATISTA		CONTRATISTA (TRT)		EMPLEADOR o CPT
NOMBRE: <u>CONSORCIO J.R.-COSAPI</u> <u>CR 2603 CERRA CHU 1- S.D. SALADA</u> V.  VICTOR E. CONDOR FIGUEROA INGENIERO DE CALIDAD FECHA: <u>11/03/16</u>		<u>Pedro ALBERTO</u>  <u>17-03-16</u> 		<u>Antonia Beltrán</u>   <u>11/03/2016</u>



Anexo B. Protocolos de línea 20"-OWS-HTD-60002-PE00T-N-1

a) Informe de inspección visual de soldadura



INFORME DE INSPECCIÓN VISUAL DE SOLDADURAS

Nº: 02070-COM-PP-12
Rev. 01
Fecha: 01/03/2015
Página: 1 de 1

PROYECTO Nro.: 02070

EMPLEADOR: PETROPERU

SISTEMA/SUBSISTEMA:-

DESCRIPCIÓN: ISOMETRICO 20"-OWS-HTD-60002-PE00T-N

INFORME Nro.: 515

SUBCONTRATISTA: CONSORCIO JJC-COSAPI

SUBCONTRATO Nro.: 02070-25205

CÓDIGO DE BARRAS: -

Este certificado no sirve si Subcontratista de las Terminas del contrato. Especificaciones del Proyecto o Procedimientos de Calidad para contratos que estos siempre han sido realizados de acuerdo a ellos.

ISOMETRICO / PLANO				JUNTA				SOLDADOR		INSPECCIÓN VISUAL DE SOLDADURAS		FECHA	OBSERVACIONES	
NÚMERO	REV.	TREN	SPOOL	Nro	Tipo	DIAM.	SCH (mm)	RAÍZ	RELLENO	PREPARACIÓN DE BISELES	PREPARACIÓN DE JUNTA			INSPECCIÓN SOLDADURA
20"-OWS-HTD-60002-PE00T-N	1	1	60002	1	CJ	20"	-	-	-	-	OK	OK	14/05/2016	
														

SUBCONTRATISTA

Nombre: William Vega

Prima: 3000 OBRERA CIVIL AREA 1-REF. TALARA

Fecha: 14-05-2016

Ingeniero de Calidad Mecánico

CONTRATISTA (TRT)

Nombre: OLMAN DIAZ

Prima: [Signature]

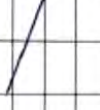
Fecha: 18/05/2016

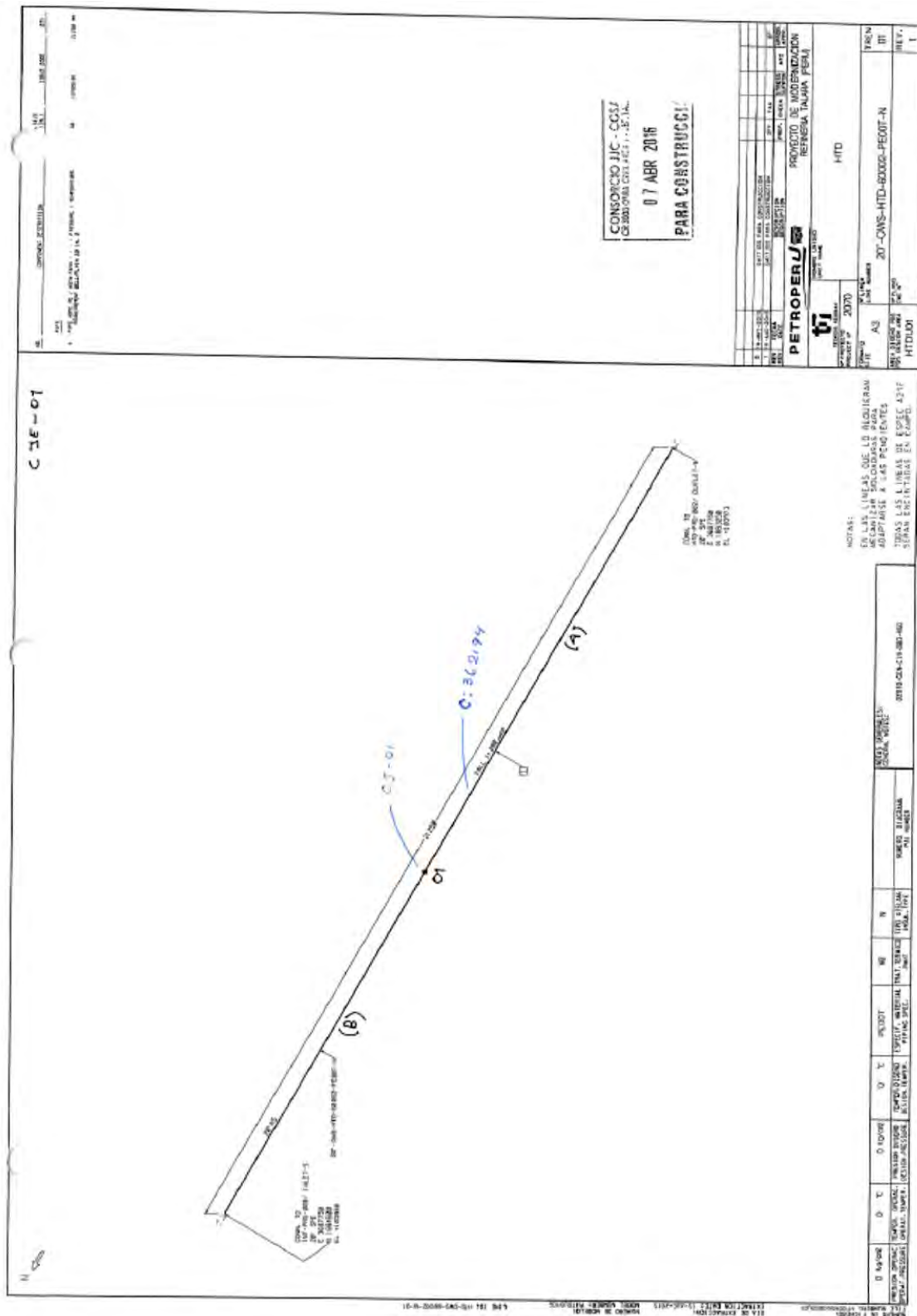
EMPLEADOR O CPT

Nombre: Antonio Betrán

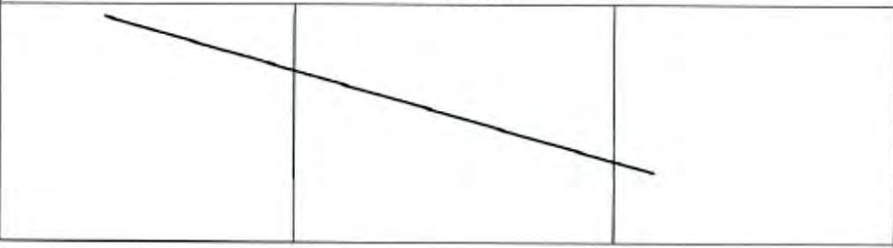
Prima: [Signature]

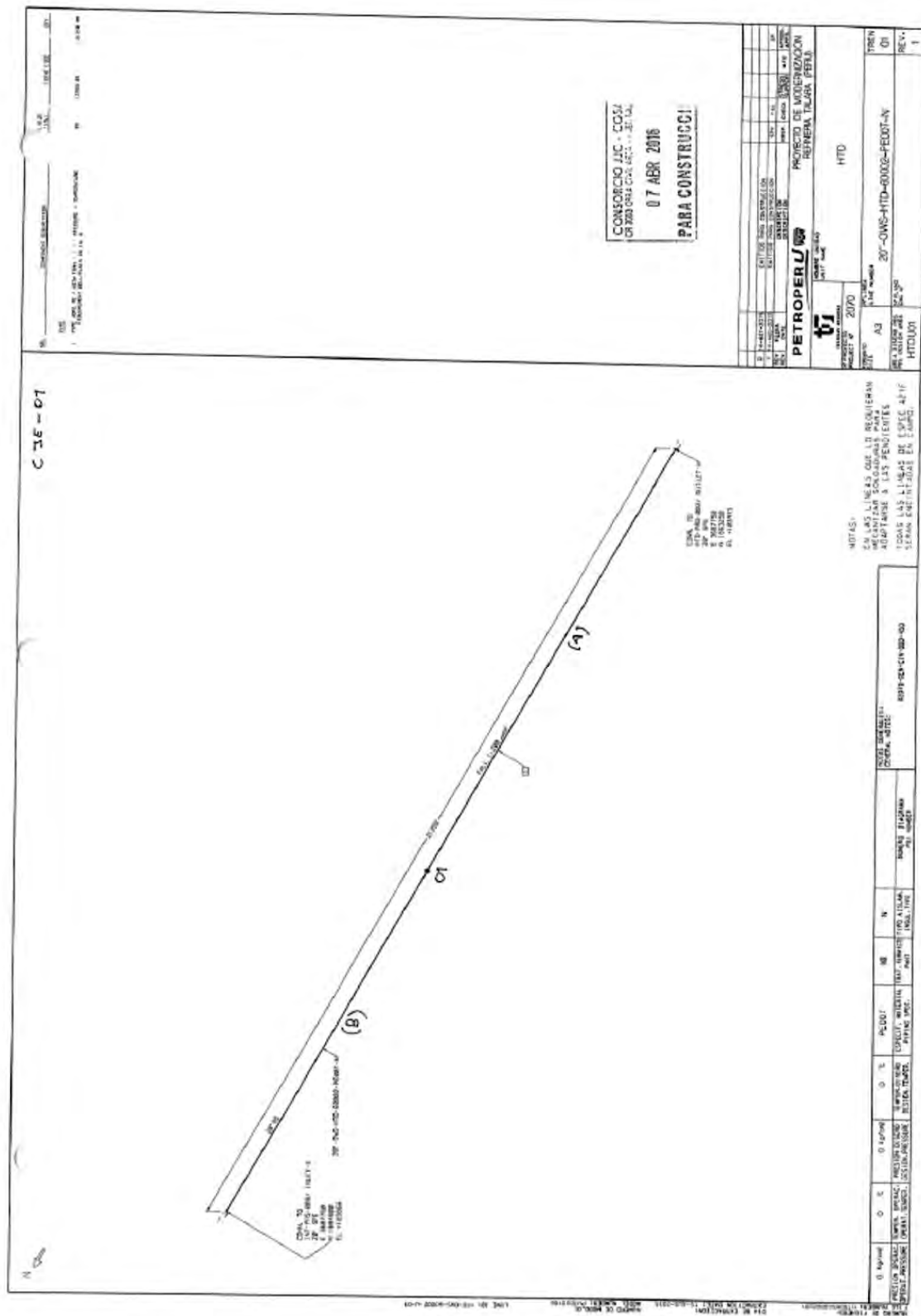
Fecha: 19-05-2016



b) Prueba de fugas en sistemas no sujetos a presión (gravedad)

 		PRUEBA DE FUGAS EN SISTEMAS NO SUJETOS A PRESION (GRAVEDAD)		No: 02070-COM-CIV-34 Rev: 01 Fecha: 10/08/15 Página: 1 de 1
PROYECTO No: 02070		INFORME No: <u>515</u>		
EMPLEADOR: PETROPERU		SUBCONTRATISTA: Comercio JJC-Cosapi		
SISTEMA: -		SUBCONTRATO No: 02070-25205		
SUBSISTEMA: -				
ELEMENTO/ PARTE PROBADO:				
Linea 20"-OWS-HTD-60002-PE00T-N-1				
Este certificado no exime al SUBCONTRATISTA de los Términos del Contrato, Especificaciones de Proyecto o Procedimientos de Calidad pero confirma que todas estas Pruebas se han realizado según ellos				
PLANO No: -		MATERIAL: HDPE		
LINEA No: 20"-OWS-HTD-60002-PE00T-N-1		ISOMETRICO No: 20"-OWS-HTD-60002-PE00T-N-1		
IDENTIFICACION ARQUETA: <u>HID-PRD-002 → HTD-PES-003</u>				
Criterio de aceptación (Pérdida de agua admisible) - Pérdida admisible en sistema pluviales: - Pérdida admisible en aguas residuales sanitarias: 0 pérdida de agua				
DIAMETRO TUBERIA: 20"				
METODO DE PRUEBA: Estanqueidad OTROS: -				
ALTURA COLUMNA DE AGUA EN PUNTO DE PRUEBA (m): -			DESPUES DE PRUEBA(m): -	
ALTURA COLUMNA DE AGUA EN EL EXTREMO MAS BAJO (m): -				
FECHA Y HORA COMIENZO: <u>14-05-16 / 11:30 am</u>		PERDIDA DE AGUA (cm3): 0		
FECHA Y HORA FINALIZACION: <u>14-05-16 / 12:30 pm</u>		DURACION DE LA PRUEBA (horas): 1h		
(ALTURA MINIMA COLUMNA DE AGUA SEGUN PLANO)				
RESULTADO DE LA PRUEBA: ACEPTADO ☒ RECHAZADO ☐				
CROQUIS PRUEBA				
				
OBSERVACIONES:				
* Se adjunta isométrico				
SUBCONTRATISTA		CONTRATISTA (TRT)		EMPLEADOR o CPT
NOMBRE: <u>William Vega</u> FIRMA:  FECHA: <u>14-05-16</u> William Vega Anhuaman Ingeniero en Calidad Mecánica		NOMBRE: <u>OLIVAR DIAZ</u> FIRMA:  FECHA: <u>14/05/2016</u> 		NOMBRE: <u>Ing. Antonio Beltrán</u> FIRMA:  FECHA: <u>15-05-2016</u> 



Anexo C. Certificado de manómetro



SERVICIO METROLÓGICO

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° 435 -CFP-2016-

Página 1 de 2

Fecha de Emisión : 2016/08/15
 Expediente : 568
 1. SOLICITANTE : COSAPI S.A.
 DIRECCIÓN : Carretera Panamericana Sur Km. 19.2 - Villa el Salvador-Lima.
 2. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : MANÓMETRO DE DEFORMACIÓN ELÁSTICA
 Marca : TESS
 Serie : No Indica
 Alcance de Indicación : 0 psi a 600 psi / 0 bar a 40 bar
 División de escala : 10 psi / 1 bar
 Clase de exactitud : No Indica
 Posición de Trabajo : Vertical
 Diámetro de rosca : 1/2" NPT
 Diámetro de caja : 4.0"
 Procedencia : Canadá
 Identificación : MFP-02 (*)
 FECHA DE CALIBRACIÓN : 2016/08/13

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

GRUPO MEDICIONES PERÚ S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

3. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

La calibración se realizó tomando como referencia el Procedimiento PC-004: "Procedimiento de Calibración de Manómetros, Vacuómetros y Manovacúómetros de deformación elástica". Edición 01. 2000. INDECOPI.

4. LUGAR DE CALIBRACIÓN

La calibración se realizó en el laboratorio de Grupo Mediciones Perú S.A.C.



Este documento puede ser reproducido totalmente con autorización de GRUPO MEDICIONES PERÚ S.A.C.

Mantenimiento, Calibración, Certificación, Fabricación y Venta de Equipos e Instrumentos de Medición
 Mz. XX2 N° 16 Parcela 10-1 - Los Olivos - Lima-Perú - Central: (51-01) 637 5444 / 637 5952 / RPM: *185092 / RPM: *996517913 / Mov. 996517913 / Mov. 980295786
 E-mail: contacto@grupomedicionesperu.com / medicionesperu@grupomedicionesperu.com / Web: www.grupomedicionesperu.net

5. CONDICIONES AMBIENTALES

	Inicial	Final
Temperatura °C	18,9	19,2
Humedad Relativa %HR	72,1	72,2

6. TRAZABILIDAD

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
Patrón de Referencia	Manómetro Digital	CPU-377-2015

7. OBSERVACIONES

(*) Código grabado en el instrumento.

Con fines de identificación se colocó una etiqueta adhesiva de color verde con la indicación "CALIBRADO".

La periodicidad de la calibración depende del uso, mantenimiento y conservación del instrumento de medición.

8. RESULTADOS

RESULTADOS DE CALIBRACIÓN

PRESION INDICADA MANÓMETRO A CALIBRAR (psi)	PRESIÓN INDICADA MANÓMETRO PATRÓN		ERROR		DE HISTÉRESIS (psi)
	ASCENSO (psi)	DESCENSO (psi)	DE INDICACIÓN		
			ASCENSO (psi)	DESCENSO (psi)	
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100.0	94.29	92.41	5.74	7.59	-1.85
200.0	195.57	193.28	4.43	6.72	-2.29
300.0	296.83	295.16	3.02	4.84	-1.82
400.0	397.47	396.13	2.53	3.87	-1.34
500.0	497.43	496.66	2.57	3.34	-0.77
600.0	595.02	598.59	4.98	1.41	3.57

Máximo Error de Indicación	7,59 psi	Máximo Error de Histéresis	3,57 psi
----------------------------	----------	----------------------------	----------

Incertidumbre de la Medición $\pm$ 7,23 psi

El error máximo permitido para manómetros de 0 psi a 600 psi de clase de exactitud 1,6 es de $\pm$ 9,60 psi.

Fin del Documento



Este documento puede ser reproducido totalmente con autorización de GRUPO MEDICIONES PERU S.A.C.

Mantenimiento, Calibración, Certificación, Fabricación y Venta de Equipos e Instrumentos de Medición
Mz. AX2 N° 16 Parcela 10-E - Las Olivas - Lima-Perú - Central: (51-01) 637 5944 / 637 5952 - RPM: 7185092 / RPM: 8996517913 / Mov: 996517913 / Mov: 980295786
E-mail: ventas@grupomedicionesperu.com / medicionesperu@yahoo.es / Web: www.grupomedicionesperu.net

Anexo D. Certificado de aprobación PPA&KRAH – termofusión



CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Se otorga el presente documento, al **Sr. CAMPOS ZAPATA CRISTIAN EDUARDO**, identificado con **DNI N° 46350158**, habilitándolo para la operación de soldado de tuberías de HDPE por TERMOFUSION. Este certificado se emite en base a la documentación que aquí abajo se lista:

- Homologación emitida por ROTHENBERGER con fecha 20 de Setiembre de 2013, la que consistió en formación teórica y práctica de 72 horas para operación de maquinaria de soldadura por TERMOFUSIÓN ROTHENBERGER quedando apto para desempeñarse como operador para EQUIPO P-160 hasta P-630.
- Homologación emitida en obra por CPT/TRT/JJC-COSAPI recogida en el documento 1270-02-90-Q09-INS-P-0070.
- Procedimiento constructivo de aplicación para estos trabajos 02070-GEN-QUA-CSP-02-027, el cual es totalmente conforme con las indicaciones técnicas dadas por PPA para la ejecución de estos trabajos.

Lima, 10 de mayo de 2016
PPA&KRAH, S.A.
 Beltrán, 5 - Pl. Al Godao
 ED 010 Vitoria (Navarra)
 CPTA 0000117 TALLER 002 490 999



Responsable de Calidad

Supervisor de Soldadura

Anexo E. Certificado de aprobación PPA&KRAH – electrofusión



91571000

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Se otorga el presente documento, al Sr. CAMPOS ZAPATA CRISTIAN EDUARDO, identificado con DNI N° 46350158, habilitándolo para la operación de soldado de Tuberías de HDPE por ELECTROFUSIÓN. Este certificado se emite en base a la documentación que aquí abajo se lista:

- Homologación emitida por ROTHENBERGER – Pipetool Technologies at Work, con fecha 28 de enero de 2016, la que consistió en formación teórica y práctica con equipos de soldadura de ELECTROFUSIÓN ROTHENBERGER modelos ROWELD ROFUSE 400 Y 1200 TURBO.
- Homologación emitida en obra por CPT/TRT/JJC-COSAPI recogida en el documento 1270-02-90-Q09-INS-P-0070.
- Procedimiento constructivo de aplicación para estos trabajos 02070-GEN-QUA-CSP-02-027, el cual es totalmente conforme con las indicaciones técnicas dadas por PPA para la ejecución de estos trabajos.

CONSORCIO JJC-COSAPI
CR 3003 OBRA CIVIL DEL TUNEL TALARA

William Vega Anhuaman
Ingeniero de Calidad Mecánico



Supervisor de Soldadura
29/05/2016

Lima, 10 de mayo de 2016

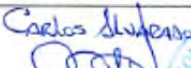


Responsable de Calidad

Anexo F. Prueba hidrostática – cupón termofusión

 		REGISTRO PRUEBA PRESION		No: 00070-CON-PP-25 Rev: 01 Fecha Rev: 05/08/2015 Página: 1 de 1
PROYECTO No: 2076		INFORME No.:		
EMPLEADOR: PETROPERU		SUBCONTRATISTA: Consorcio JIC-COSAPI		
SISTEMA No: —		SUBCONTRATO No: 02070-25205		
SUBSISTEMA No: —		CODIGO BARRAS: —		
AREA:		UNIDAD:		
Este certificado no exime al SUBCONTRATISTA de los Términos del Contrato, Especificaciones de Proyecto o Procedimientos de Calidad pero confirma que todas estas Pruebas se han realizado según ellos.				
PAQUETE DE PRUEBA No.:		Rev.:		
PRESION DE DISEÑO (Psi/bar):		PRESION DE PRUEBA (Psi/bar): 6.5 bar		
FLUIDO DE PRUEBA: Agua		TIPO DE PRUEBA (H,M,E,V): Hidrostática		
TIEMPO DE PRUEBA (Min): 60 min		TEMPERATURA AMB. (°C): 24 °C		
PROCEDIMIENTO DE PRUEBA:				
Nota *: H= Hidráulica, N=Neumática, E= Estanqueidad, V= Visual				
MANOMETRO No	IDENTIFICACIÓN		RANGO	FECHA CALIBRACION
1	MFP-01		0-40 bar	13-08-2016
2	7		7	7
3	7		7	7
MANIFOLD DE PRUEBA No	IDENTIFICACIÓN	DOSSIER No	DIAMETRO DE MANIFOLD	RANGO
7	7	7	7	7
TOMA DATOS MANOMETRO 1			TOMA DATOS MANOMETRO 2	
FECHA Y HORA		PRESION (Psi/bar)	FECHA Y HORA	
19/10/2016 - 14:35		6.5 bar	19/10/2016 - 15:25	
19/10/2016 - 14:45		6.5 bar	19/10/2016 - 15:35	
19/10/2016 - 14:55		6.5 bar	7	
19/10/2016 - 15:05		6.5 bar	7	
19/10/2016 - 15:15		6.5 bar	7	
RESULTADO				
ACEPTADO ☒ RECHAZADO ☐				
OBSERVACIONES: Cupón de prueba N°01 20" (DN-500) SDR 26 - TERMOFUSIÓN.				
SUBCONTRATISTA		CONTRATISTA (TRT)		
NOMBRE: CONSORCIO JIC-COSAPI FIRMA:  FECHA: 19-10-16		NOMBRE: FRANKY ROMERO FIRMA:  FECHA: 19-10-16		
				

Anexo G. Prueba neumática – cupón electrofusión

 		REGISTRO PRUEBA PRESION		No. 02079-CCN-PIP-25 Rev. 01 Fecha Rev.: 05/08/2015 Página: 1 de 1
PROYECTO No: 2070		INFORME Nro.:		
EMPLEADOR: PETROPERU		SUBCONTRATISTA: Consorcio JJC-COSAPI		
SISTEMA No: -		SUBCONTRATO No: 02070-25205		
SUBSISTEMA No: -		CODIGO BARRAS: -		
AREA:		UNIDAD:		
Este certificado no exime al SUBCONTRATISTA de los Términos del Contrato, Especificaciones de Proyecto o Procedimientos de Calidad pero confirma que todas estas Pruebas se han realizado según ellos.				
PAQUETE DE PRUEBA No.:		Rev.:		
PRESION DE DISEÑO (Psi/bar):		PRESION DE PRUEBA (Psi/bar): 02 bar		
FLUIDO DE PRUEBA: Aire		TIPO DE PRUEBA (H,N,E,V)*: Neumática		
TIEMPO DE PRUEBA (Min): 60 min		TEMPERATURA AMB. (°C): 28°C		
PROCEDIMIENTO DE PRUEBA:				
Nota *: H= Hidráulica, N=Neumática, E= Estanqueidad, V= Visual				
MANOMETRO No	IDENTIFICACIÓN		RANGO	FECHA CALIBRACION
1	MFP-02		0 - 40 bar	13-08-2016
2	7		7	7
3	7		7	7
MANIFOLD DE PRUEBA No	IDENTIFICACIÓN	DOSSIER No	DIAMETRO DE MANIFOLD	RANGO
7	7	7	7	7
TOMA DATOS MANOMETRO 1			TOMA DATOS MANOMETRO 2	
FECHA Y HORA	PRESION (Psi/bar)		FECHA Y HORA	PRESION (Psi/bar)
08/10/2016 - 10:30	02 bar		08/10/2016 - 11:20	02 bar
08/10/2016 - 10:40	02 bar		08/10/2016 - 11:30	02 bar
08/10/2016 - 10:50	02 bar		7	7
08/10/2016 - 11:00	02 bar			
08/10/2016 - 11:10	02 bar			
RESULTADO				
ACEPTADO ☒ RECHAZADO ☐				
OBSERVACIONES: Cupón de prueba 32" (DN-800) - Electrofusión.				
SUBCONTRATISTA		CONTRATISTA (TRT)		EMPLEADOR o CPT
NOMBRE: CONSORCIO JJC-COSAPI FIRMA:  FECHA: 08-10-16		NOMBRE: Carlos Sluense FIRMA:  FECHA: 08/10/16		NOMBRE:  FIRMA:  FECHA: 08/10/16