

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN AL DISEÑO DE DUCTOS

1.1 Historia

El desarrollo industrial de la humanidad dio pie a la necesidad de transporte, no sólo de individuos, sino también de productos, materiales y, por supuesto, fluidos.

Al analizar el costo y la eficiencia energética de varias formas de transporte de fluidos se descubrió que el mayor beneficio se obtenía al transportarlos por ductos.

Hace muchos siglos se utilizaron por primera vez los acueductos para llevar agua desde los ríos y lagos hasta las ciudades, lo que representó una forma efectiva de tener un abastecimiento constante.

A mediados del siglo XIX, con el inicio de la explotación comercial de los hidrocarburos se tendieron las primeras líneas para transportar gas y aceite en Estados Unidos. En 1879, se tendió un oleoducto de 109 millas de largo y 6 pulgadas de diámetro entre Bradford y Allentown, mientras que en 1886 se construyó un gasoducto entre Pennsylvania y Nueva York de 87 millas de largo y un diámetro de 8 pulgadas.



Trans-Alaska Pipeline System, Autor: Ryan McFarland, con licencia de uso por los creativos comunes.

Al principio las líneas se construían con tuberías roscadas que eran unidas por los trabajadores utilizando pinzas gigantes. No fue sino hasta la segunda década del siglo XX que se empezó a utilizar la soldadura como la práctica común de construcción. Primero apareció la soldadura oxiacetilénica, pero fue rápidamente reemplazada por la soldadura eléctrica.

La segunda guerra mundial resultó un parte aguas para la construcción de oleoductos y gasoductos de gran longitud y diámetro, debido a las dificultades que se presentaron para el transporte costero en buques tanque. Al mismo tiempo, se descubrían en Rusia grandes yacimientos en Siberia, lo que propició la construcción de líneas a través de grandes distancias y ambientes hostiles, por lo que en los años 60's, se inició la construcción de un gasoducto que se fue expandiendo para, en los años 90's, llegar a una longitud de 126,000 millas de tubería, con diámetros de entre 40 y 55 pulgadas. El sistema contaba con 376 estaciones de compresión y servía a más de 500 campos.

Debido a los constantes descubrimientos de aceite y gas en diferentes regiones, la red de tuberías mundial empezó a expandirse rápidamente, sobre todo porque se comprobó que los ductos son la manera más eficiente y económica de transportar aceite y gas a través de terrenos difíciles.

Cada año son construidas miles de millas de líneas de tubería. La cantidad de líneas construidas depende en parte del número de yacimientos descubiertos, su localización y hacia dónde están creciendo los mercados; Pero la construcción también depende de la necesidad de obtener permisos, los obstáculos políticos y la disponibilidad de equipos y materiales.

A principios del siglo XXI, los retos que presenta el transporte de hidrocarburos por ductos se han incrementado, ya que las políticas de seguridad y protección ambiental son cada día más estrictas, además de que para minimizar los costos en las regiones remotas y ambientes hostiles hay que considerar cuidadosamente cada elemento de diseño y maximizar la eficiencia de las líneas.

1.2 Tipos de Ductos

Las líneas de tubería cumplen varias funciones fundamentales: las líneas de flujo, de diámetro pequeño y longitud limitada, sirven para conectar pozos individuales con las instalaciones de almacenamiento y tratamiento, otras se utilizan en los campos productores para inyectar fluidos para la recuperación mejorada. De las instalaciones de tratamiento, proceso y almacenamiento salen unas líneas de recolección de mayor diámetro que conectan con las líneas de transmisión y distribución, que son sistemas de ductos de gran diámetro y longitud que mueven el crudo y el gas de las áreas de producción hacia las refinerías y terminales de venta.

1.2.1 Ductos para flujo de Gas

Las condiciones operativas y el equipo requerido para los ductos de recolección y transmisión de gas son muy especiales. El camino del gas hacia el consumidor es más directo que el del crudo, los compresores mueven el gas a través de las líneas de flujo las cuáles operan, por lo general, a presiones más altas que las líneas de líquido.

Líneas de recolección de gas

Las líneas de flujo de gas conectan pozos individuales hacia las instalaciones de tratamiento y procesamiento o hacia ramas más grandes del sistema de recolección. La mayoría de los pozos de gas fluyen con presión suficiente para dar la energía necesaria al gas para pasar a través de la línea de recolección hacia la planta procesadora, tanto que muchas veces es necesario reducir la presión en la cabeza del pozo antes de dejar fluir el gas hacia la línea, sólo en algunos casos es necesario el uso de compresores pequeños cerca del pozo cuando la energía del mismo es insuficiente.

Esto permite el uso de tuberías de acero de menor peso y costo. La longitud de las líneas de flujo de gas desde los pozos es relativamente corta, van de menos de una milla hasta 4 ó 5. El diámetro de las mismas es también reducido, va de 2 a 4 pulgadas generalmente. Las presiones de operación son, como se dijo anteriormente, mayores que las de las líneas de flujo de aceite, abarcando un rango de entre varios centenares de libras sobre pulgada cuadrada hasta 2,000 libras sobre pulgada cuadrada o un poco más cuando se necesita llevar el gas a las plantas de tratamiento a altas presiones, ya que el exceso de presión

puede utilizarse dentro de la planta para dar energía a los equipos o para los procesos de enfriamiento.

La longitud, presión de operación y tamaño de las líneas depende de varios factores, como la capacidad del pozo, el tipo de gas producido, y las condiciones de operación y localización de la planta.

Líneas de transmisión y distribución de gas

El gas limpio y seco sale de las plantas de procesamiento y entra en las líneas de transmisión y distribución hacia las terminales de venta. Estas líneas pueden cubrir grandes distancias, extendiéndose a lo largo de cientos de miles de millas; por ejemplo el gasoducto de Europa del Norte (NEGP), que abastecerá a Alemania y en un futuro a Europa Occidental, de 1.200 kilómetros de longitud, se extenderá en una segunda fase a Holanda y Reino Unido, con lo que doblará su longitud hasta 3.000 kilómetros y la capacidad de transporte hasta 55.000 millones de metros cúbicos de gas anuales.

Las líneas de transmisión y distribución operan a altas presiones. Compresores instalados al inicio proveen la energía necesaria para mover el gas a través de la línea, pero a lo largo de la misma es necesario establecer en ubicaciones estratégicas numerosas estaciones de compresión para mantener la presión requerida. La distancia entre estas estaciones varía dependiendo del volumen de gas a transportar y el tamaño y diámetro de la línea. La capacidad de transporte se puede incrementar mediante la instalación de más compresores.

Las líneas de transmisión de gas están hechas de acero y enterradas bajo la superficie. Las secciones individuales de tubería están soldadas unas con otras y están recubiertas para evitar la corrosión. Los diámetros van desde unas cuantas pulgadas y llegan hasta las 60 pulgadas.

La operación de un sistema de distribución de gas que comprende muchas millas de tubería, estaciones de compresión y otras instalaciones representa un reto complejo para el control y manejo del flujo con la presión de operación óptima.

1.2.2 Ductos para flujo de líquido

Las líneas de flujo de aceite desde los pozos hasta las unidades de tratamiento o almacenamiento son, por lo general, tuberías que operan a una presión relativamente

baja y un diámetro de entre 2, 3 y 4 pulgadas. El tamaño varía de acuerdo a la capacidad de los pozos, la longitud de la línea y la presión a la que está produciendo el pozo. Estas líneas operan por lo regular a presiones menores a las 100 libras sobre pulgada cuadrada. La capacidad de transporte de estas tuberías varía de acuerdo al gasto que otorguen los pozos conectados a ellas, pasando de unos cuantos barriles a varios miles, por lo que la previsión en el diseño es fundamental.

Normalmente la energía propia del yacimiento hace fluir al aceite a través de las líneas de flujo, pero cuando no es suficiente se necesita utilizar bombas para llevar el líquido del pozo a las instalaciones. Las instalaciones a las que descargan son, por lo general, tanques de almacenamiento. Antes de llegar al tanque de almacenamiento, el fluido pasa por varias etapas de separación. Las líneas cuentan con equipo de medición para saber cuál es el aporte individual de cada pozo.

El material del que están construidas es casi siempre acero, aunque para algunas aplicaciones se llega a utilizar tubería de plástico. Las diferentes secciones se unen unas a otras mediante soldadura o siendo enroscadas.

En cuanto al peso de las secciones, éste es bajo debido a las presiones no muy elevadas que se manejan, por ejemplo, el espesor de pared de una tubería de 3 pulgadas de diámetro es de apenas 0.216 pulgadas, dando como resultado un peso de 7.58 libras por pie de tubería.

De acuerdo al potencial de corrosión del crudo que se vaya a manejar, las líneas pueden ser recubiertas internamente para prevenir la corrosión, también cuando son enterradas bajo la superficie se recubren externamente.

Líneas de recolección de aceite

Sirven para transportar el aceite desde las instalaciones de almacenamiento y tratamiento en campo hacia instalaciones de almacenamiento más grandes. Consisten normalmente de líneas con un diámetro entre 4 y 8 pulgadas y cuyo tamaño depende de varios factores, como la cantidad de crudo a transportar y el largo de la tubería.

Líneas de transporte y distribución de crudo

Son sistemas de ductos de gran diámetro y que se extienden a grandes distancias para llevar el crudo hacia las terminales de venta y refinerías. La red comprende una gran variedad de tamaños de tubería y de capacidades. Se requiere colocar bombas al inicio de las líneas y varias estaciones de bombeo espaciadas a lo largo de la red para mantener la presión al nivel requerido para sobrepasar la fricción, los cambios de elevación y otras pérdidas.

Por lo general se encuentran instaladas bajo tierra, recubiertas exteriormente para evitar la corrosión. Se dimensionan de acuerdo al volumen esperado y operan por lo general a presiones de operación superiores que las de las líneas de recolección. Son fabricadas en acero y unidas por soldadura.

1.2.3 Ductos para flujo bifásico

En la mayoría de los casos lo que se busca es transportar los hidrocarburos en una sola fase, ya sea como líquido en un oleoducto o como gas a través de un gasoducto, ya que, por ejemplo, en una línea diseñada para transportar líquido, la presencia de gas ocasiona problemas operativos, reduce la capacidad de flujo y ocasiona problemas de cavitación en las bombas, mientras que la presencia de líquidos en una línea de gas provoca daños en los compresores y disminuye su eficiencia.

Sin embargo, a veces es más práctico o económico transportar líquido y gas en el mismo ducto, esto ocurre sobre todo cuando el flujo viene directamente de un pozo y es necesario llevar la producción hacia las instalaciones de separación.

El principal problema que se presenta durante el flujo de dos fases son los diferentes regímenes de flujo que pueden presentarse, de los cuales el más peligroso es el flujo tipo bache, que para ser manejado, requiere equipo especial. La caída de presión debida a cada régimen es diferente y es difícil predecir exactamente qué régimen de flujo se va a presentar y en dónde para ciertas condiciones operativas, ya que cualquier ligera variación en la presión puede ocasionar un cambio de régimen de flujo, lo que afectará en gran medida la eficiencia de flujo de la línea.

Desde los años 80, en el mar del Norte se han operado grandes líneas de flujo bifásico de manera exitosa, apoyando el diseño en el modelado computacional del flujo en dos fases, ya que el diseño adecuado y hasta la ruta pueden influir mucho en el desempeño.

1.2.4 Otros

Ductos para transportar productos derivados

Incluye el transporte de productos refinados del crudo como la gasolina de diferentes grados, la turbosina para los aviones, diesel y aceites. También se transportan a veces mezclas de hidrocarburos que llegan a un punto donde son separados para vender individualmente el butano, etano, etc.

La mayoría de las veces se utiliza la misma tubería para transportar diversos productos, se hace mediante el bacheo, sin utilizar una barrera física entre los productos, sino que la diferencia de densidades se encarga de mantenerlos separados. Hacer esto requiere sofisticados métodos de diseño y control.

El diámetro típico de estos ductos va de 8 a 16 pulgadas.

Ductos para flujo de gas natural licuado

El gas natural licuado es gas natural enfriado y comprimido en una planta de licuefacción a unas condiciones de presión y temperatura a las cuales existe en forma líquida.

Las ventajas que ofrece este método es que la densidad del gas licuado es mucho mayor que en su estado gaseoso, lo que permite utilizar tuberías de diámetro reducido para transportar grandes cantidades de gas.

La desventaja es que hay que mantener el gas a una temperatura suficientemente baja para que continúe en fase líquida durante todo el trayecto, lo que requiere de aislamiento especial para los ductos y estaciones de enfriamiento; también se requiere de un acero especial debido a las bajas temperaturas.

Ductos para CO₂

Uno de los métodos de recuperación mejorada más utilizados consiste en la inyección de dióxido de carbono al yacimiento, lo que ha creado la necesidad de transportarlo hacia los campos petroleros. Para hacer esto es necesaria la instalación de ductos de transporte y líneas de distribución.

Las consideraciones de diseño para el manejo del CO_2 son únicas, ya que se requieren presiones operativas especiales para mantenerlo en estado líquido, además de que al escoger la presión de succión de la bomba hay que tener cuidado para evitar la cavitación si se vaporiza un poco del líquido.

También la selección de las tuberías es difícil porque las propiedades únicas del dióxido de carbono pueden provocar efectos de fractura diferentes a los que se ven comúnmente en líneas de gas.



Tuberías apiladas, Great Southern Press 2009.

1.3 Fabricación

La fabricación de los ductos es un asunto importante, ya que hay que tomar en cuenta factores como la resistencia, el costo, las temperaturas, presiones y agentes corrosivos internos y externos a los que estarán sometidos durante su vida útil y muchos otros detalles como la facilidad para ser soldadas.

Los principales puntos a considerar durante la fabricación de tuberías son las funciones que van a desempeñar y el costo. De acuerdo a esto se va a decidir el tipo de acero a emplear, el recubrimiento que se le va a poner y el método y tipo de soldadura a utilizar.

Existen varias técnicas de fabricación que proporcionan diferentes características a los ductos, de acuerdo al método que se utilice se tendrán diferentes valores de fuerza, espesor de pared, resistencia a la corrosión y limitaciones de presión y temperatura.

Muchos de los ductos que se fabrican actualmente son hechos de acuerdo a las especificaciones del Instituto Americano del Petróleo (API por sus siglas en inglés).

Las tuberías API son diseñadas por su mínimo esfuerzo de cedencia en libras sobre pulgada cuadrada. El esfuerzo de cedencia representa la tensión requerida para que se produzca una elongación permanente en la tubería.

Las tuberías fabricadas de acuerdo a los estándares API son fabricadas a horno abierto o en horno eléctrico.

1.3.1 Métodos de fabricación

La forma de fabricación de las tuberías se divide en dos categorías: El método continuo o “sin costuras” y el método soldado. Estas categorías se refieren a la forma en que cada sección de tubería es fabricada y no a la forma en que son unidas.

El método de fabricación continuo o “sin costuras”, se hace perforando una barra de acero con un mandril para producir una tubería que no tiene discontinuidades ni uniones. Este método provee según los códigos una mayor fuerza y resistencia a las presiones, además de que permite espesores de pared más grandes pero, por otro lado, sólo permite la fabricación de tuberías de tamaño pequeño.



Tubería sin costuras, © 2009 ACEROS BOEHLER UDDEHOLM S.A

La otra categoría de fabricación es la de las tuberías soldadas, que se pueden hacer de varias formas, y varían entre sí por el número de costuras longitudinales y el tipo de equipo para soldar que se utilice.

Una forma de fabricación es por el método del soldado en un extremo, que se hace metiendo placas de acero caliente a unas moldeadoras que les dan una forma hueca y circular y hace que los dos extremos de la placa se unan, dejando en la unión una costura o junta.



Tubería con costura, HiSupplier.com

También existe el método de soldado en espiral, que se logra doblando placas de acero en forma de espiral y después se procede a soldar donde se tocan las esquinas, produciendo costuras o juntas. Este método cuenta con la ventaja de que se pueden fabricar ductos de más de 64 pulgadas de diámetro exterior.

Las fabricadas por el método de la doble costura presentan diámetros exteriores mayores a 36 pulgadas.



Tubería soldada en espiral, derechos registrados Shandong Jingta Steel Co., Ltd.

Las especificaciones del API también describen las dimensiones, pesos y longitudes para cada tamaño y grado, así como las tolerancias permitidas.

Durante la fabricación de las tuberías se pone especial atención en la composición química del acero y se hacen pruebas de tensión, fractura, ductilidad y pruebas hidrostáticas, para asegurar que cumplan los requerimientos para cada grado.

Las tuberías se fabrican ya sea con extremos planos para soldarse o con extremos roscados.

1.3.2 Información en la tubería

En cuanto a la información que deben llevar a la vista las tuberías, deben tener marcado lo siguiente:

- 1.- Nombre del Fabricante.
- 2.- Tamaño de la tubería en pulgadas.
- 3.- Peso de la tubería en libras por pie.
- 4.- Grado.
- 5.- Proceso utilizado para fabricar la tubería (sin costuras, soldadura continua, etc.).
- 6.- Tratamiento de calor al que fue sometida.
- 7.- Presión con la que se probó, en caso de que sea mayor a la tabulada en la especificación.

1.3.3 Materiales

Las tuberías son fabricadas con aceros con diferentes composiciones químicas y propiedades físicas.

La composición química del acero se modifica para proporcionar ciertas propiedades específicas. Para cada grado se proporciona una lista detallada de las cantidades de cada elemento que debe contener el acero para fabricar tubería de un grado específico.

El carbón es el elemento principal en todos los aceros. La cantidad de carbón afecta la fuerza, ductilidad y otras propiedades físicas del acero.

El contenido máximo de carbón varía entre 0.21% y 0.31% dependiendo del grado de acero utilizado y del método de fabricación.

También se establecen en las especificaciones, los contenidos de manganeso, fósforo, azufre, vanadio y titanio, aunque no todos estos componentes están presentes en todos los grados, algunos se añaden sólo para proporcionar propiedades especiales.

El contenido requerido de manganeso, por ejemplo, aumenta conforme el grado aumenta.

1.3.4 Recubrimiento

Para proteger de la corrosión y de otros efectos de daño, los ductos son recubiertos externa e internamente según sean las necesidades.

El recubrimiento externo inhibe el flujo de corriente eléctrica desde la tubería y la consecuente pérdida de acero. El recubrimiento interno se utiliza para mejorar las condiciones de flujo y para proteger contra la corrosión ocasionada por el mismo fluido transportado.

Para extender la vida de las tuberías de una manera económica se puede recurrir al recubrimiento externo anti-corrosión, mientras que una envoltura que cubra el recubrimiento provee una protección extra.

El esmalte de carbón es el recubrimiento exterior más utilizado, aunque también se utilizan esmalte de asfalto y polietileno.

Las características de un buen recubrimiento son las siguientes: fácil de aplicar, buena adhesión de la tubería, alta resistencia al impacto, flexibilidad, resistencia al estrés provocado por la tierra, resistencia al flujo del recubrimiento, resistencia al agua, resistencia eléctrica, estabilidad química y física, resistencia a las bacterias de la tierra, a los organismos marinos y a la separación catódica.

1.4 Prácticas de construcción y equipo

Hay muchas variantes que intervienen en la construcción de las líneas de ductos y que hacen que se deban utilizar diferentes técnicas, métodos y equipos de acuerdo al clima, el área geográfica, el tipo de terreno, el tipo de tubería a utilizar, los permisos a obtener y las regulaciones de seguridad y protección ambiental que se deban observar.

De la inversión total que debe hacerse para un sistema de tuberías para el transporte de hidrocarburos, alrededor del 45% se debe simplemente a los costos de construcción.

Cuando se revisan los criterios de diseño se debe considerar que cambian de acuerdo a las especificaciones gubernamentales y de las agencias reguladoras y que éstas varían de acuerdo a la localización, la cercanía con centros de población y a las condiciones de seguridad que se deban cumplir para con los trabajadores e instalaciones.

Debido a la importancia que ha cobrado en los últimos tiempos la protección del medio ambiente, en la mayoría de los casos se debe entregar, antes de empezar a construir, un estudio detallado acerca del impacto ambiental que se espera.

Por lo general, la construcción de los sistemas de ductos consiste en unir, por medio de soldadura, numerosos tramos de tubería. Conforme se va haciendo esto, es necesario ir haciendo pruebas a las uniones soldadas y a la soldadura en sí para ver que funcionen de manera correcta.

Una vez soldada la línea, se entierran bajo la superficie para tener mayor protección, aunque a veces por diversas razones, como el tipo de suelo, algunos tramos quedan instalados sobre el nivel del suelo.

Antes de ponerse en operación, las líneas deben ser probadas para cerciorarse de que no haya fugas, el método de prueba más común son las pruebas hidrostáticas, que consisten en llenar los ductos con agua y utilizando una presión mayor que la presión de operación del diseño.

1.4.1 Construcción de líneas en tierra

La construcción de todas las líneas debe tener una secuencia: Primero hay que diseñar la línea y seleccionar una ruta adecuada basándose en factores técnicos y económicos.

En segundo lugar hay que obtener los permisos de paso y construcción de acuerdo a los estatutos vigentes en la región. Como tercer paso se hace la instalación y se conecta con las facilidades de origen y destino.

Para reducir los costos y aumentar la facilidad de instalación es importante seleccionar adecuadamente la ruta. Pequeñas modificaciones para evitar cambios bruscos de elevación, el paso por ríos y carreteras o áreas de difícil acceso pueden hacer una gran

diferencia, aunque es importante analizar detalladamente las ventajas y desventajas de cada cambio en particular.

Para determinar la ruta se debe primero inspeccionar el terreno, es recomendable obtener una vista aérea del lugar. Los cambios de elevación del terreno se deben tomar muy en cuenta, ya que tienen un profundo impacto en el diseño ya que interfieren con la capacidad de flujo, la potencia y espaciamiento requeridos para las estaciones de bombeo o compresión y en general el equipo necesario para la instalación y operación de las líneas. Una vez que se ha definido la ruta es necesario obtener los permisos correspondientes a lo largo de todo el terreno por el que atravesará la tubería. Los permisos se dan de acuerdo al tipo, tamaño y diámetro de las tuberías, equipo y personal necesario para instalarlas y el tiempo que se estima para hacerlo.

1.4.2 Pasos para la instalación

Los pasos principales para hacer la instalación de una línea de tubería son:

- 1.- Obtener los permisos y limpiar el terreno.
- 2.- Cavar zanjas donde se colocará la tubería.
- 3.- Formar filas de tubería a lo largo del terreno, cerca de la zanja.
- 4.- Soldar los diferentes tramos de tubería.
- 5.- Aplicar los recubrimientos al exterior de las tuberías.
- 6.- Bajar la tubería a la zanja.
- 7.- Rellenar la zanja.
- 8.- Probar la línea para asegurarse de que no haya fugas.
- 9.- Limpiar y secar la línea después de las pruebas y prepararla para operación.

1.4.3 Equipo utilizado

Para limpiar el terreno se utilizan normalmente vehículos pesados de remoción y demolición como los trascabos que van quitando todo a su paso. Para hacer las zanjas en tierra relativamente suave, basta con utilizar equipo pequeño como vehículos con pequeñas barrenas montadas, ahora que si el terreno es más duro y la distancia más grande, hay que utilizar excavadoras.

Las tuberías son transportadas al lugar por camiones que las depositan a un lado de las zanjas a lo largo de la ruta para tenerlas fácilmente disponibles cuando empiece el armado.

Una vez armada la línea, se procede al soldado, ya sea utilizando equipo manual o automático. Los equipos para soldar vienen montados en pequeños camiones o camionetas. Después de que sean soldados, se utilizan las pinzas de alineamiento y para inspeccionar las soldaduras se utiliza comúnmente el método de rayos X.

Se llevan también máquinas dobladoras para ajustar la línea a los cambio de elevación. También se utilizan máquinas especiales para hacer el recubrimiento.

Para bajar la línea ya soldada a la zanja se utilizan grúas con las que van descendiendo lentamente hasta quedar en el lugar establecido.

1.5 Métodos y equipo de soldado

De una forma burda, se puede decir que la soldadura es un proceso para unir metales en el cual la coalescencia se produce al calentar a una temperatura determinada que permita unirlos con o sin la ayuda de un metal de relleno.

Los controles tan estrictos que se aplican al procedimiento de soldado y a los soldadores exigen una inspección exhaustiva y una capacitación continua.

El procedimiento se puede hacer tanto de forma manual como de forma automática, la mayoría de las operaciones de soldadura en la industria se hacen de forma manual. El soldador sostiene el electrodo en sus manos y lo va moviendo a una distancia adecuada alrededor del área a soldar.

Por lo general, diferentes soldadores van dando sucesivamente los pases requeridos para soldar la tubería, se empieza por el pase raíz que es el más profundo y con el que se empieza a unir, posteriormente se hace el pase de calor y al final los pases de relleno, a veces hasta pases de detalle para refinar el trabajo.

A partir de los años 60's, se empezaron a desarrollar sistemas automáticos de soldadura, utilizando sistemas automáticos que ofrecen varias ventajas como mayor velocidad y precisión, así como menor consumo de soldadura, pero por otro lado provocan costos de transporte y energía y a veces son difíciles de llevar a lugares apartados.

Se utilizan principalmente 4 métodos de soldado:

Soldadura con arco de metal revestido: El arco eléctrico produce calor derritiendo un electrodo consumible y un poco del metal que se está soldando. Cuando se enfría el metal, se endurece y forma la soldadura

Soldadura con arco sumergido: En este proceso también se suministra el calor a través del arco que va derritiendo el electrodo; sin embargo, lo que se deposita en la junta es un complejo granular de silicatos. Se llama de arco sumergido, por que el arco queda cubierto por el líquido que se produce.

Soldadura con arco de gas-metal: También utiliza el calor de un arco eléctrico. El arco queda cubierto por un gas inerte como argón o helio. Se utiliza sobre todo para soldar metales difíciles y aleaciones susceptibles a la contaminación de la atmósfera.

Soldadura con un arco de gas-tungsteno: se recubre el arco con un gas inerte durante el proceso y se va consumiendo un electrodo. Este procedimiento es útil para soldar material delgado y para hacer el primer pase, el de raíz. Permite un buen control del calor y es posible utilizarlo para soldar sin metal de relleno.



Soldado manual de la tubería, ESAB Welding and cutting,2006.

REFERENCIAS

KENNEDY John L; Oil and Gas Pipeline Fundamentals; Pennwell nontechnical Series, Tulsa Oklahoma, 366 pp.

PARISHER Roy A.; Pipe drafting and design; Gulf Professional Publishing; USA 2002, 311 pp.

YONG Bai, Pipelines and risers; Elsevier 2001.