

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA IMPLEMENTAR UN PROCESO DE
SOLDADURA AUTOMATIZADO EN LA CONSTRUCCION DE
OLEODUCTOS Y GASODUCTOS**

**EDUARDO SILVA MEJIA
JORGE HELIO NIÑO LARA
JUAN MANUEL VILLARREAL GUARIN**



**FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECHANICAS
ESPECIALIZACION DE GERENCIA EN RECURSOS ENERGETICOS
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BUCARAMANGA **UNAB**
BUCARAMANGA
2013**

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA IMPLEMENTAR UN PROCESO DE
SOLDADURA AUTOMATIZADO EN LA CONSTRUCCION DE
OLEODUCTOS Y GASODUCTOS**

**EDUARDO SILVA MEJIA
JORGE HELIO NIÑO LARA
JUAN MANUEL VILLARREAL GUARIN**

**Monografía para optar al título de Especialista en
Gerencia de Recursos Energéticos**

**Director Monografía
Dr. Leonardo Pacheco
Docente Académico**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAICAS
ESPECIALIZACION DE GERENCIA EN RECURSOS ENERGETICOS
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BUCARAMANGA **UNAB**
BUCARAMANGA
2013**

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Ciudad y fecha (día, mes y año)

*A nuestras familias; hijos,
padres y hermanos. A
nuestras amistades y a la
Institución que nos
proporcionó herramientas
para desarrollar nuestro
posgrado.*

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la Universidad Autónoma de Bucaramanga y al excelente grupo de docentes y administrativos que contribuyeron para que esta meta se hiciera realidad. Así mismo, a ISMOCOL DE COLOMBIA S.A, que nos permitió los tiempos y la oportunidad para mejorar nuestra formación profesional.

TABLA DE CONTENIDO

1. JUSTIFICACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
1.1. OBJETO.....	9
1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO A EVALUAR	9
2. MARCOS DE REFERENCIA.....	10
2.1. MARCO TEÓRICO	10
2.1.1. Etapas en el desarrollo de un proyecto de oleoducto.....	10
2.1.2. Procesos en la construcción de un oleoducto / Gasoducto / poliducto.....	11
2.1.3. Proceso de soldadura	12
2.2. MARCO NORMATIVO	13
2.2.1. Códigos de construcción en soldadura.....	13
2.2.2. Procesos de soldadura	14
2.2.3. Tipos de Soldadura	14
2.3. MARCO CONTEXTUAL O SITUACIONAL	15
3. ESTUDIO TÉCNICO	18
3.1. ESTUDIOS PRELIMINARES	18
3.1.1. GMAW: Gas Metal Arc Welding	19
3.1.2. FCAW: Flux Core Arc Welding (Soldadura con alambres Tubulares.....)	19
3.2. SELECCIÓN Y EVALUACION TECNICA DEL SISTEMA PROPUESTO	20
3.3. INGENIERIA BASICA DEL PROYECTO	21
3.3.1. Estructura del nuevo sistema propuesto	23
4. ESTUDIO FINANCIERO	40
4.1. DETERMINACIÓN DE BENEFICIOS Y COSTOS ASOCIADOS AL PROYECTO. 41	41
4.1.1. Alcance	41
4.1.2. Análisis de productividad	41
4.1.3. Evaluación costos de producción.....	46
4.1.4. Beneficios tecnología DWS 2,0 vs SMAW	52
4.2. ESTABLECIMIENTO DEL ESCENARIO Y PARÁMETROS DE LA EVALUACIÓN	53
4.3. FLUJO DE CAJA INCREMENTAL DEL PROYECTO.....	54
4.3.1. Pautas establecidas	54
4.3.2. Flujo de caja incremental tecnología DWS 2,0 y SMAW	55
4.3.3. Análisis flujo de caja incremental tecnologías DWS 2,0 y SMAW.....	58
4.4. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD Y RIESGOS ASOCIADOS A LA INVERSIÓN	59
4.4.1. Resumen análisis sensibilidad.....	63
4.4.2. Identificación riesgos que afectan Ingresos y Egresos	65
5. CONCLUSIONES	66
6. BIBLIOGRAFÍA	67

LISTADO DE FIGURAS

FIGURA 1. ORGANIZACIÓN SECTOR HIDROCARBUROS NACIONAL. ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
FIGURA 2. ESQUEMA REGULATORIO DEL SECTOR DEL GAS NATURAL EN COLOMBIA ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
FIGURA 3. SMAW: SOLDADURA POR ARCO CON ELECTRODO REVESTIDO.....	16
FIGURA 4. ESQUEMA DE JUNTA EN SOLDADURA DE TUBERÍA	17
FIGURA 5. FRENTE DE SOLDADURA EN LA CONSTRUCCIÓN DE UN OLEODUCTO.....	18
FIGURA 6. GMAW: GAS METAL ARC WELDING	19
FIGURA 7. FCAW: FLUX CORE ARC WELDING	20
FIGURA 8. APORTE MATERIAL VS PROCESO Y DIÁMETRO DE TUBERÍA	20
FIGURA 9. PRODUCTIVIDAD VS PROCESO Y DIÁMETRO DE TUBERÍA.....	21
FIGURA 10. DWS.02: COMPONENTES.....	23
FIGURA 11. WELDING HEAD UNITS (WHU).....	24
FIGURA 12. CONTROLADOR DIGITAL DEL CABEZAL HDC.....	25
FIGURA 13. CONTROLADOR DIGITAL DE SOLDADURA WDC.....	26
FIGURA 14. MEZCLADOR DE GAS GMU	27
FIGURA 15. CENTRAL DE MANDO	28
FIGURA 16. GENERADOR DIESEL APW 2x400.....	29
FIGURA 17. EQUIPO PIPE-PRO DE MILLER.....	30
FIGURA 18. UNIDAD DE PROGRAMACIÓN WPU	30
FIGURA 19. TIENDA PROTECTORA.....	31
FIGURA 20. PAY WELDER TC150	32
FIGURA 21. PROGRAMACIÓN	33
FIGURA 22. CABEZAL DE SOLDADURA.....	34
FIGURA 23. BISELADO 1	35
FIGURA 24. BISELADO 2.....	35
FIGURA 25. PRECALENTAMIENTO.....	36
FIGURA 26. ALINEACIÓN.....	37
FIGURA 27. PASE DE RAIZ.....	38
FIGURA 28. PASE CALIENTE	39
FIGURA 29. PASE DE RELLENO Y PRESENTACIÓN	40
FIGURA 30. DISEÑO JUNTA Y PASES DE SOLDADURA TECNOLOGÍA SMAW.....	42
FIGURA 31. DISEÑO JUNTA Y PASES DE SOLDADURA TECNOLOGÍA CWS 02.....	43
FIGURA 32. GRÁFICO SENSIBILIDAD TECNOLOGÍA DWS 2,0.....	63
FIGURA 33. GRÁFICO SENSIBILIDAD TECNOLOGÍA SMAW.....	64

LISTA DE CUADROS

TABLA 1. VELOCIDAD SOLDADURA	44
TABLA 2. EQUIPOS CONSIDERADOS	45
TABLA 3. CONSUMIBLES SMAW	46
TABLA 4. RESUMEN COSTO CONSUMIBLES SMAW	46
TABLA 5. CONSUMIBLES ALAMBRE DWS 2,0	47
TABLA 6. CONSUMIBLES CO2 DWS 2,0	47
TABLA 7. CONSUMIBLES ARGÓN DWS 2,0	47
TABLA 8. RESUMEN COSTO CONSUMIBLES DWS 2,0	47
TABLA 9. DETALLE PERSONAL ESTIMADO	48
TABLA 10. RESUMEN PERSONAL ESTIMADO DWS 2,0	49
TABLA 11. RESUMEN PERSONAL ESTIMADO SMAW	49
TABLA 12. RESUMEN COSTO PERSONAL DWS 2,0	50
TABLA 13. RESUMEN COSTO PERSONAL SMAW	51
TABLA 14. RESUMEN COSTOS SISTEMA DWS 2,0 Y SMAW	52
TABLA 15. FLUJO DE CAJA INCREMENTAL TECNOLOGÍA DWS 2,0	55
TABLA 16. FLUJO DE CAJA INCREMENTAL TECNOLOGÍA SMAW	56
TABLA 17. FLUJO DE CAJA INCREMENTAL DIFERENCIA TECNOLOGÍA SMAW Y DWS 2,0	57
TABLA 18. ANÁLISIS SENSIBILIDAD INGRESOS TECNOLOGÍA DWS 2,0	59
TABLA 19. ANÁLISIS SENSIBILIDAD EGRESOS TECNOLOGÍA DWS 2,0	60
TABLA 20. ANÁLISIS SENSIBILIDAD INGRESOS TECNOLOGÍA SMAW	61
TABLA 21. ANÁLISIS SENSIBILIDAD EGRESOS TECNOLOGÍA SMAW	62
TABLA 22. RESUMEN ANÁLISIS SENSIBILIDAD TECNOLOGÍA DWS 2,0	63
TABLA 23. RESUMEN ANÁLISIS SENSIBILIDAD TECNOLOGÍA SMAW	64

1. JUSTIFICACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. OBJETO

Con la implementación de este proyecto se espera mejorar la productividad, disminuir costos por reprocesos y consumo de energía y por ende mejorar la rentabilidad del negocio. Así mismo la introducción de esta nueva tecnología trae consigo reducción de los riesgos ocupacionales y de los impactos ambientales (Descenso de los niveles de ruido, reducción de emisiones no ionizantes, disminución de gases nocivos-contaminantes, minimización de material particulado, disminución de residuos de material de aporte).

1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO A EVALUAR

Debido a la tendencia mundial de incrementar la capacidad de transporte de los ductos (Q-Rata de flujo) y necesidad de manejar mayores presiones de trabajo, se han aumentado paulatinamente el tamaño de las tuberías (Diámetros mayores a 24"). Para reducir los costos por manipulación y transporte de los tubos, se utilizan aceros de mayor resistencia y mejores propiedades físico-mecánicas, con el fin de disminuir espesores de pared y por ende reducción del peso de los tubos.

La introducción de estos nuevos aceros (API 5LX70, API 5LX80, API 5LX90) y utilizando la tecnología tradicional de soldadura (Soldadura de arco eléctrico manual y con electrodos revestidos), ha traído consigo dificultades en la soldabilidad de los mismos, problemas de calidad, reprocesos y disminución de la productividad/rentabilidad., calidad y por ende la competitividad.

La soldadura es un proceso crítico, que requiere de validación, tiene un peso e impacto alto en el proyecto, es clave ya que siempre se encuentra dentro de los procesos de la ruta crítica y es determinante en la integridad de cualquier proyecto de construcción o montajes. La utilización de tuberías de grandes diámetros y aceros de altas especificaciones, plantea la necesidad de buscar alternativas para mejorar la soldabilidad, la productividad y la calidad del proceso de soldadura.

Debido a las razones expuestas anteriormente y ante la amenaza de otras empresas que ya han incursionado en nuevas tecnologías, surge la necesidad de mecanizar esta actividad, implementando procesos semiautomáticos y automáticos de soldadura para ser competitivos y mantenernos en el mercado.

2. MARCOS DE REFERENCIA

2.1. MARCO TEÓRICO

Se denomina *oleoducto* a la tubería e instalaciones conexas utilizadas para el transporte de petróleo y sus derivados a grandes distancias. La excepción es el gas, el cual, a pesar de ser derivado del petróleo, se le denominan gasoductos a sus tuberías por estar en estado gaseoso a temperatura ambiente¹. Se les conoce como poliductos si por ellos circula productos refinados como gasolina, gas licuado, diesel y otros derivados.

Los oleoductos/gasoductos/poliductos son tubos de acero que van desde los campos petroleros hasta las refinerías, estas líneas pueden ir sobre la superficie o bajo tierra atravesando variada topografía. En su parte inicial la estación de bombeo impulsa el petróleo y dependiendo del terreno se instalan nuevas estaciones de bombeo. Los oleoductos disponen de válvulas que controlan el paso del petróleo en situaciones de emergencia.

2.1.1. Etapas en el desarrollo de un proyecto de oleoducto

Generalmente, las etapas de desarrollo de un oleoducto/gasoducto/poliducto son las siguientes:

- **Estudios de factibilidad.** Se tiene en cuenta la evaluación de la futura producción y demanda del producto, así como los costos de inversión y de transporte, aunados con la factibilidad técnica de la infraestructura requerida y con los costos y gastos de operación.
- **Estudios de detalle.** Si el estudio de factibilidad arroja resultados prometedores, se procede a la elaboración de ingeniería de detalle, ésta incluye: definición y trazado de la ruta, diseño hidráulico, diseño de la protección contra corrosión.

¹ Definición página de la enciclopedia libre Wikipedia <http://es.wikipedia.org/wiki/Oleoducto>

- **Construcción.** Una vez los estudios de factibilidad den vía libre al proyecto y se hayan realizado los estudios de detalle se da inicio a la construcción.

En la Etapa de construcción se encuentra la actividad donde se verá una intervención directa del proyecto. Por tal motivo se desglosan en el siguiente párrafo los procesos que tiene lugar en la etapa de construcción.

2.1.2. Procesos en la construcción de un oleoducto / Gasoducto / poliducto

Una descripción general de los procesos presentes en la etapa de construcción de un ducto se presentan a continuación, los cuales están bien definidas y estandarizadas en el código ASME B31.4 (Pipeline transportation systems for liquid hydrocarbons and other liquids):

- **Derecho de vía.** Franja de terreno que se acondiciona para el tránsito de equipos, transporte de tuberías y suministros. Depende de la topografía, tipos de cultivos afectados y diámetro de la tubería a instalar. Usualmente está entre 12 y 24 metros de ancho.
- **Limpieza y revestimiento de la tubería.** La tubería se somete a limpieza para eliminar la oxidación y demás impurezas que puedan afectar la adherencia del revestimiento, éste puede ser alquitrán de hulla, recubrimientos asfálticos, cintas y polvo epóxico.
- **Zanja.** El trazado de líneas de tuberías enterradas se hace necesario debido a diversos factores: impacto en comunidades, impacto en flora y fauna, impactos agrícolas, entre otros. Para ello se construye una zanja en función del tipo de terreno, diámetro y longitud de los tramos, normalmente pueden tener las dimensiones de ancho y profundidad entre 0.9 m y 1.5 m, y entre 0.9 m y 1.8 m respectivamente.
- **Transporte y Tendido.** El transporte se da en función de las distancias a recorrer y si existen o no vías, en éste último caso, será necesario la construcción de accesos con derecho de la vía. La longitud media de cada tubo es de 12 m, con un peso que depende del diámetro y del espesor. Un tubo de 6" y espesor de 0.2" pesa 240 Kg y uno de 24" de diámetro con un espesor de 0.5" pesa 2200 Kg.
- **Doblado.** Mediante esta operación, la tubería se adapta a las condiciones o perfiles del suelo ya sea en superficie o zanja. Los grados de deflexión que permite la tubería se dan en función de su longitud, espesor y resistencia a la fluencia.

- **Soldadura.** Como ya se mencionó, un oleoducto está compuesto principalmente de tramos de tubería soldada una con otra en sus extremos; al soldar los tubos se conforma lo que se denomina una “*lingada*”. En la mayoría de nuestros oleoductos, los procesos de soldadura se realizan de manera manual uniendo los tubos por cordones de soldadura de manera perimetral. Una vez hechas las soldaduras se realizan pruebas que demuestran su calidad, de no tener la calidad esperada se declara no apta y en primera instancia se somete a reparación la soldadura, si no es posible repararla se debe cortar una porción del tubo hacia los dos extremos con una longitud de aproximadamente un diámetro cada uno, con el fin de eliminar el efecto térmico que se ocasionó y realizar nuevamente el pegue. En el siguiente numeral (2.1.3) se amplía la descripción de este proceso.
- **Bajado y tapado:** Una vez constatado el buen estado del tubo y la soldadura, se procede a bajar el tubo al interior de la zanja garantizando que el fondo de ella no contenga materiales sólidos que puedan afectar la tubería o su recubrimiento. Luego se procede a tapar la tubería.
- **Prueba Hidrostática.** El objetivo de esta prueba es darle aceptación a la tubería soldada. Consiste en llenar el tramo a evaluar con agua y presurizarla con valores de presión muy por encima de la presión nominal o a la que el oleoducto operará.
- **Protección Catódica.** Es un mecanismo implementado como protección contra la corrosión de la tubería y se fundamenta en el establecimiento de un flujo de corriente entre la tubería y ánodos de sacrificio, estos últimos se descompondrán, pero no la línea. Para establecer la corriente a aplicar y la cantidad de ánodos de sacrificio se requiere analizar el terreno y las características de acceso a la línea.
- **Limpieza final.** En esta fase el sector se reconforma a condiciones similares a las encontradas antes de la construcción del oleoducto. Deben restaurarse cercas, limpiarse cauces naturales y en algunas ocasiones ejecutar acciones que contribuyan con el ornato del paisaje. Así mismo reparar al máximo el daño ambiental perpetrado por el desarrollo de la obra

En el siguiente numeral se definirá de manera más amplia solamente el proceso de soldadura, por ser la actividad objeto de nuestra monografía.

2.1.3. Proceso de soldadura

La soldadura es un proceso de fabricación en donde se realiza la unión de dos materiales, (generalmente metales o termoplásticos), usualmente logrado a través de la coalescencia (fusión), en la cual las piezas son soldadas fundiendo ambas y pudiendo agregar un material de relleno fundido, para conseguir un baño de material fundido (el *baño de soldadura*) que, al enfriarse, se convierte en una unión fija².

Según la Norma API 1104 y la ISO 9001, la soldadura es un proceso que requiere de validación, ya que el producto resultante no puede verificarse plenamente mediante actividades de seguimiento o medición durante su ejecución.

La validación se realiza mediante el diseño de un procedimiento o WPS (Welding Procedure Specification) que involucra variables asociadas a la clase de proceso, al material base, los equipos y sus variables eléctricas, material de aporte, precalentamiento y temperatura entre pases, rangos dimensionales tanto del metal base, como del metal de aporte, posición y dirección de aplicación, velocidad de avance y otras variables específicas de cada proceso. Dicho procedimiento (WPS) se debe calificar en un segmento de tubo de características similares a la tubería a utilizar en el proyecto, soldando una junta bajo los parámetros establecidos en el WPS, con el fin de demostrar la capacidad del proceso para alcanzar los resultados planificados. Se dice que es un sistema porque intervienen los elementos propios de este, es decir, las 5 M: mano de obra, materiales, máquinas, medio ambiente y medios escritos (procedimientos). La unión satisfactoria implica que debe pasar las pruebas mecánicas (tensión y doblaje). Las técnicas son los diferentes procesos (SMAW, GMAW, FCAW etc.) utilizados para la situación más conveniente y favorable, lo que hace que sea lo más económico, sin dejar de lado la seguridad.

La soldadura es una actividad costosa, que tiene un peso e impacto alto en el proyecto, es clave ya que en la programación del mismo, siempre se encuentra dentro de los procesos de la ruta crítica (CPM-Control Path Method) y es determinante en la integridad de cualquier proyecto de construcción o montajes.

2.2. MARCO NORMATIVO

2.2.1. Códigos de construcción en soldadura

² Definición página de la enciclopedia libre Wikipedia <http://es.wikipedia.org/wiki/Soldadura>

Los Códigos ASME que contienen los requisitos aplicables a soldadura de oleoductos y Gasoductos son:

- ASME B31.4 Tuberías de Transmisión Petróleo y otros hidrocarburos líquidos.
- ASME B31.8 Tuberías de transmisión y distribución de gas.
- ASME B31.11 Transporte de Barros

Los principales Códigos y Normas, referenciadas para calificaciones, requisitos, ejecución, inspección y ensayo de soldaduras son:

- API 1104
- ASME IX
- AWS D3.6

2.2.2. Procesos de soldadura

De acuerdo a ASME B31.4, ASME B31.8 y ASME B31-11 las soldaduras se pueden realizar con cualquier proceso, dentro de los que se encuentran:

- SMAW: Soldadura por arco con electrodo revestido,
- SAW: soldadura por arco sumergido,
- GTAW: soldadura por arco con electrodo de tungsteno y protección gaseosa (TIG)
- GMAW: Soldadura por arco alambre y protección gaseosa (MIG),
- FCAW: soldadura por arco alambre tubular,
- OFW: soldadura oxiacetilénica,
- PAW: Soldadura por arco con plasma
- Combinación de Procesos y Técnicas

Los procesos pueden utilizarse solos o combinados entre sí.

Las técnicas a utilizar pueden ser: manual, semiautomática, automática o una combinación de estas técnicas.

2.2.3. Tipos de Soldadura

Las soldaduras cubiertas por los Códigos de Construcción son:

- Soldaduras a tope
- Soldaduras Socket Weld
- Soldaduras de Filete
- Soldaduras de Sellos

Debido a que los Oleoductos y Gasoductos transportan líquidos peligrosos a altas presiones y temperaturas, su construcción se rige por normas extremadamente exigentes que responden a altos estándares de calidad, cuyos requisitos generales se encuentran plasmados en los códigos ASME B31.4 “Pipeline Transportation Systems for Liquid Hydrocarbons and other liquids” y ASME B31.8 “Gas Transmission and Distribution Piping Systems” respectivamente y de estos se direccionan a otros códigos de ASME, API, ASTM, NACE, entre otros, según la actividad constructiva en particular (Derecho de vía, zanjado, Pre-doblado y Doblado de tubería, alineación y soldadura, pintura/recubrimiento de la tubería, pruebas hidrostáticas, protección catódica, etc.).

Según la normatividad anteriormente expuesta, la tubería que se utiliza en la construcción de estos ductos es básicamente de acero al carbón y se rige por el código API 5L “Specification for Line Pipe”.

La soldadura es el proceso más complejo en la construcción de oleoductos, se rige por la Norma API 1104 “Welding of Pipeline and Related Facilities” y es la que tiene mayor responsabilidad en cuanto a la seguridad e integridad del ducto se refiere, es un proceso que maneja múltiples variables y que dependiendo de su control se reduce el riesgo o la probabilidad de falla en estas uniones soldadas.

2.3. MARCO CONTEXTUAL O SITUACIONAL

Hasta la fecha en nuestro país, en la construcción de oleoductos/gasoductos el proceso de soldadura de mayor aplicación es el SMAW(Shielded Metal Arc Welding), que es un proceso de Soldadura por Arco Eléctrico Manual con Electrodo Revestido, La característica más importante de la soldadura con electrodos revestidos, es que el arco eléctrico se produce entre la pieza y un electrodo metálico recubierto. El recubrimiento protege el interior del electrodo hasta el momento de la fusión. Con el calor del arco, el extremo del electrodo y el recubrimiento se funden, de modo que se obtiene la atmósfera adecuada para que se produzca la transferencia de metal fundido desde el núcleo del electrodo hasta el baño de fusión en el material base. Además los aceros AWS en soldadura sirven para soldaduras de baja resistencia y muy fuertes. Estas gotas de metal fundido caen recubiertas de escoria fundida procedente del recubrimiento fundido. La escoria flota en la superficie y forma, por encima del cordón de soldadura, una capa protectora del metal fundido.

Como son los propios electrodos los que aportan el flujo de metal fundido, será necesario reponerlos cuando se desgasten. Los electrodos están compuestos de dos piezas: el alma y el revestimiento.

El alma o varilla es alambre que se comercializa en rollos continuos. Tras obtener el material, el fabricante lo decapa mecánicamente (a fin de eliminar el óxido y aumentar la pureza) y posteriormente lo trefila para reducir su diámetro.

El revestimiento se produce mediante la combinación de una gran variedad de elementos (minerales varios, celulosa, mármol, aleaciones, etc.) convenientemente seleccionados y probados por los fabricantes, que mantienen el proceso, cantidades y dosificaciones en riguroso secreto.

La composición y clasificación de cada tipo de electrodo está regulada por AWS (*American Welding Society*), organismo de referencia mundial en el ámbito de la soldadura.

Este tipo de soldaduras pueden ser efectuados bajo corriente tanto continua como alterna. En corriente continua el arco es más estable y fácil de encender y las salpicaduras son poco frecuentes. En piezas gruesas el método presenta poca eficacia. La corriente alterna posibilita el uso de electrodos de mayor diámetro, con lo que el rendimiento a mayor escala también aumenta. En los dos escenarios, las intensidades de corriente oscilan entre 10 y 500 amperios.

Sin embargo, el procedimiento de soldadura con electrodo revestido no se presta para su automatización o semiautomatización; su aplicación es esencialmente manual. La longitud de los electrodos es relativamente corta: de 230 a 700 mm. El soldador tiene que interrumpir el trabajo a intervalos regulares para cambiar el electrodo y debe limpiar el punto de inicio antes de empezar a usar electrodo nuevo.

La figura 3 ilustra el proceso de soldadura SMAW:



FIGURA 1. SMAW: SOLDADURA POR ARCO CON ELECTRODO REVESTIDO

Este proceso (SMAW) es fuertemente dependiente de la capacidad del soldador de turno y presenta los siguientes inconvenientes:

- El avance, la alimentación del consumible y calidad dependen básicamente de la habilidad del soldador.
- Variabilidad del proceso (Voltaje y amperaje controlados por el soldador)
- Paradas continuas por cambio de electrodo, generando pérdida de tiempo, riesgo de aparición de discontinuidades y desperdicio del material de aporte (Colillas de soldadura).
- Altos costos y dependencia por soldadores especializados, alto consumo de combustible, equipos robustos e ineficientes, alto porcentaje de desperdicios.
- Peligros ocupacionales/impactos ambientales.
- Dificultades de soldabilidad, baja oferta y/o escasa disponibilidad de consumibles para nuevos materiales de altas propiedades mecánicas.

En el siguiente esquema se presenta un ejemplo de sección de una junta de soldadura, donde el pase No 1 corresponde al pase de raíz, el No 2 al pase caliente. los pases del 3 al 8 a los pases de relleno y el 9 y 10 a los pases de presentación.

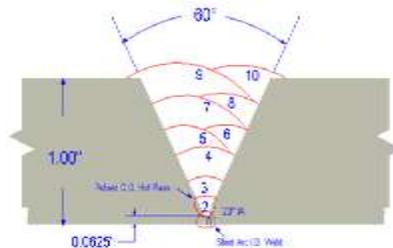


FIGURA 2. ESQUEMA DE JUNTA EN SOLDADURA DE TUBERÍA

Debido a la tendencia mundial de incrementar la capacidad de transporte de los ductos (Q-Rata de flujo) y necesidad de manejar mayores presiones de trabajo, se han aumentado paulatinamente el tamaño de las tuberías (Diámetros mayores a 24"), ya que las pérdidas hidráulicas disminuyen a medida que aumenta el diámetro de la tubería.

Para reducir los costos por fabricación, transporte, manipulación de la tubería y en todas las actividades de construcción (Riego, pre-doblado y doblado, izaje, bajado y tapado de tubería, etc.), se utilizan aceros de mejores propiedades físico-mecánicas y de resistencia a la fluencia mayores o iguales a 70000 PSI, con el fin de disminuir espesores de pared y por ende reducción del peso de cada tubo. La resistencia a la fluencia se deduce de la fórmula que se presenta a continuación:

$$S = P * D / 2t^3$$

Donde:

S: Resistencia a la fluencia del material

P: Presión interna

D: Diámetro interior de la tubería

t: Espesor de pared

En la figura 5 se presenta una fotografía de un frente de soldadura de línea regular en un oleoducto de 30”.



FIGURA 3. FRENTE DE SOLDADURA EN LA CONSTRUCCIÓN DE UN OLEODUCTO

La introducción de estos nuevos aceros (API 5LX70, API 5LX80, API 5LX90) y utilizando la tecnología tradicional de soldadura (Soldadura de arco eléctrico manual y con electrodo revestido), ha generado dificultades en la soldabilidad de los mismos, problemas de calidad, re-procesos y disminución de la productividad/rentabilidad y por ende la competitividad.

En el siguiente capítulo se desglosará con mayor detalle las posibilidades y tecnologías que ofrece el mercado actual que resuelvan las dificultades ya mencionadas.

3. ESTUDIO TÉCNICO

3.1. ESTUDIOS PRELIMINARES

³ Formula referenciada en el código ASME B31.4 numeral 402.3.

Debido a las limitaciones propias del proceso de soldadura, se hará una revisión en el mercado de las tecnologías que pueden dar solución a estas limitaciones o mejorar considerablemente el proceso de soldadura en tubería y que ya han sido aceptados por el código API 1104, son los siguientes.

3.1.1. GMAW: Gas Metal Arc Welding

Es un proceso de soldadura que emplea un arco entre un electrodo continuo de metal de aporte y el charco de soldadura, ejecutándose bajo protección de gas que es suministrado externamente. La figura 6 muestra una representación del proceso de soldadura GMAW.

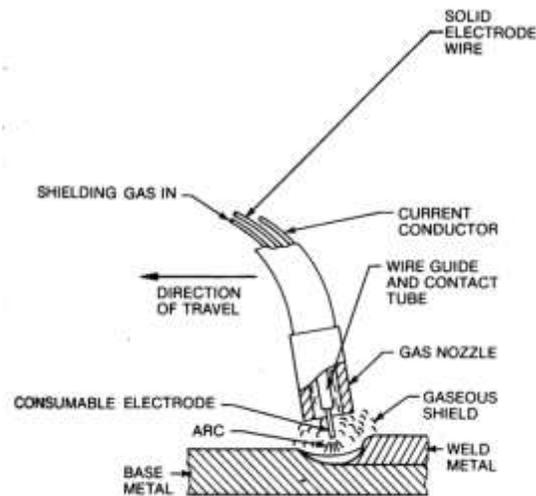


FIGURA 4. GMAW: GAS METAL ARC WELDING

3.1.2. FCAW: Flux Core Arc Welding (Soldadura con alambres Tubulares)

La soldadura con alambres tubulares, es muy parecida a la soldadura GMAW en cuanto a manejo y equipamiento se refiere. Sin embargo, el electrodo continuo no es sólido si no que está constituido por un tubo metálico hueco que rodea al núcleo, relleno de flux (fundente, que tiene como función fundamental crear la capa gaseosa protectora al baño de soldadura). El electrodo se forma, a partir de una banda metálica que es conformada en forma de U en una primera fase, en cuyo interior se deposita a continuación el flux y los elementos aleantes, cerrándose después mediante una serie de rodillos de conformado.

Como en la soldadura MIG/MAG (*Metal Inert Gas / Metal Active Gas*), el proceso de soldadura con alambres tubulares depende de un gas de protección, para proteger la zona soldada de la contaminación atmosférica. El gas puede ser aplicado o bien de forma separada, en cuyo caso el alambre tubular se denomina de protección gaseosa, o bien, se genera por la descomposición de los elementos contenidos en el flux, en cuyo caso hablaremos de alambres tubulares autoprottegidos. Además del gas de protección, el núcleo de flux produce una escoria que protege al metal depositado en el enfriamiento. Posteriormente se elimina la escoria.

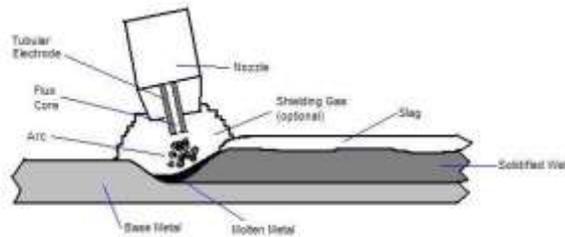


FIGURA 5. FCAW: FLUX CORE ARC WELDING

3.2. SELECCIÓN Y EVALUACION TECNICA DEL SISTEMA PROPUESTO

En las figuras 8 y 9 se presentan las curvas de productividad VS proceso y diámetro de tubería, correspondiente a los procesos SMAW y GMAW de soldadura.

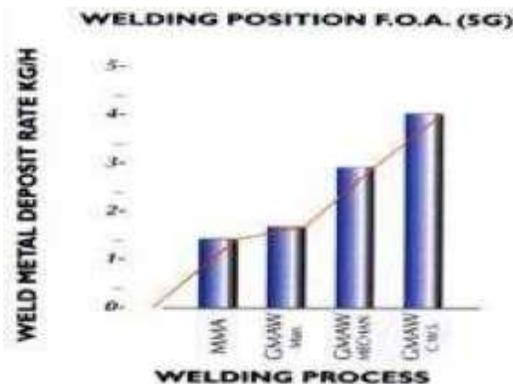


FIGURA 6. APOORTE MATERIAL VS PROCESO Y DIÁMETRO DE TUBERÍA

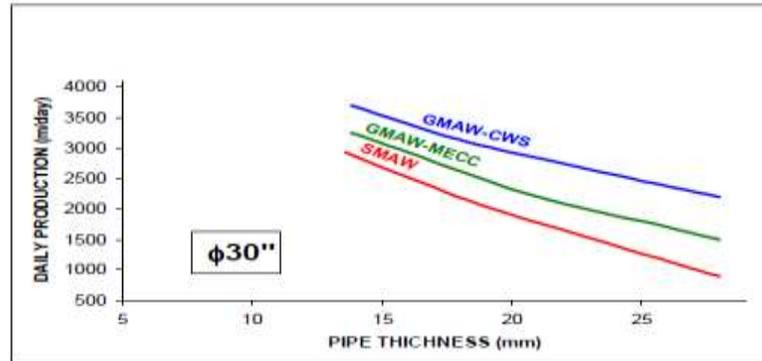


FIGURA 7. PRODUCTIVIDAD VS PROCESO Y DIÁMETRO DE TUBERÍA

De las gráficas anteriores y de lo expuesto en el capítulo anterior, se deduce que las alternativas para tuberías de grandes diámetros (mayores a 24 pulgadas) y aceros de altas resistencias, se encuentran en los procesos GMAW y FCAW, los cuales ofrecen mejor soldabilidad, mayor productividad y calidad.

Debido a las razones expuestas anteriormente y ante la amenaza de otras empresas que ya han incursionado en nuevas tecnologías, surge la necesidad de modernizar esta actividad, utilizando procesos GMAW y FCAW mejorados, que son procesos semiautomáticos, que facilitan la mecanización y automatización de los frentes de soldadura para ser competitivos y mantenernos en el mercado.

3.3. INGENIERIA BASICA DEL PROYECTO

Por la efectiva asesoría técnica que implica contar con un buen respaldo técnico, personal altamente calificado en estos procesos que garantice un mantenimiento no solo preventivo/correctivo, sino un mantenimiento predictivo que se anticipe a los problemas evitando pérdidas de tiempo por paradas en el proceso; y además dicha firma debe contar con un buen posicionamiento en el mercado, sólida representación en el país que cuente con un buen inventario de consumibles y repuestos y buenos precios. En base a los criterios anteriormente mencionados se selecciona el sistema de soldadura automática, DWS.2 (Digital Welding System) ofrecida por la firma "Piping Welding Technology-PWT", cuyos componentes (estructura) se presenta en la Figura 8, firma que goza de prestigio por sus innovaciones y desarrollo tecnológico, así como por el amplio respaldo de las compañías que forman parte del Holding de empresas "ITW (Illinois Tools Works)"

A continuación se presentan especificaciones más relevantes del sistema:

DWS.02: CARACTERÍSTICAS GENERALES

Tipo de soldadura:

- GMAW – Gas Metal Arc Welding (MIG) aplicado en el Pase raíz “ROOT” (ver figuras 30 y 31).
- FCAW – Flux Core Arc Welding, aplicado en los pases Caliente, Relleno y presentación “HOT, FILL, CAP” (ver figuras 30 y 31).

Aplicaciones:

- Todo tipo de acero normalmente soldado mediante el proceso GMAW
- Todo tipo de tubo de diámetro > 355mm (14”);
- Todo tipo de tubo con espesor > 6mm;
- Alambre sólido o con núcleo de fundente (diámetro 0,8-2,0mm);
- Biseles estándares, reducidos o modificados.

Parámetros de soldadura:

- Corriente =Max 400 A
- Tensión =Max 35 V
- Velocidad soldadura =Max 160 cm/min
- Avance alambre =Max 16 m/min
- Velocidad oscilación =Max 3.2 m/min
- Ancho oscilación =Max 32 mm
- Tiempo de espera =Max 3.2 sec.
- Todas las pasadas de soldadura se efectúan desde el exterior.
- Se pueden soldar diámetros entre 14” y 60” cambiando sólo el anillo de guía del cabezal.
- Aplicación de los parámetros mejores en cada sección de la junta, gracias a un sistema patentado.
- Monitoreo constante de todos los parámetros de soldadura mediante un controlador electrónico.
- Máxima flexibilidad durante las operaciones en obras.
- Almacenamiento digital de todos los parámetros.
- Funcionamiento perfecto desde -20°C hasta +60°C.
- Fácil de utilizar, reduce al mínimo las intervenciones del operador.
- Fácil a instalar en cualquier tipo de tractor de ruedas u orugas.

- Práctico mando a distancia
- Posibilidad de visualizar todos los parámetros en el cabezal
- Cada cabezal puede soldar tubos de diámetro entre 14" y 60" sin necesidad de ajuste

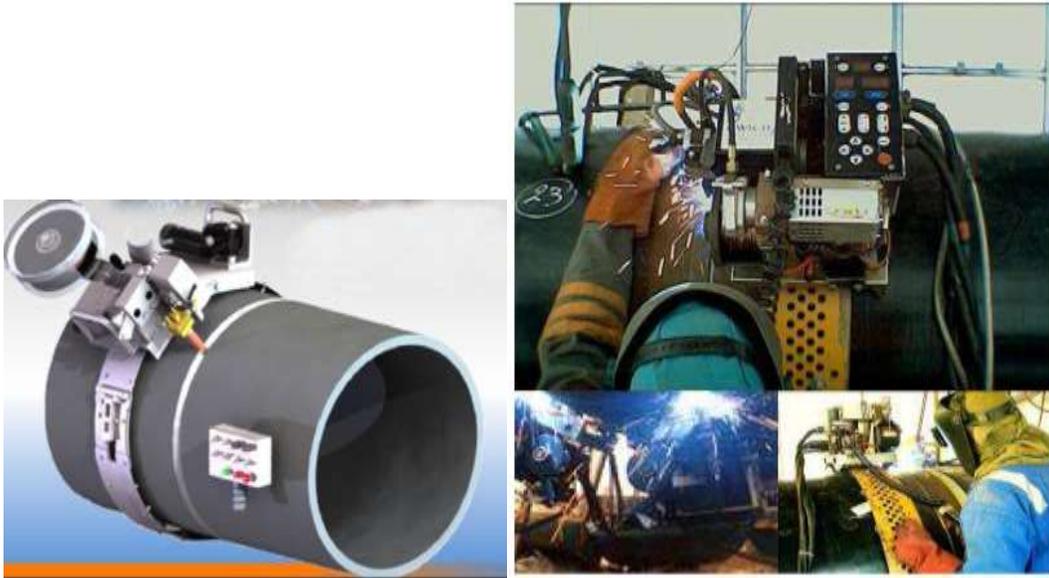


FIGURA 9. WELDING HEAD UNITS (WHU)

3.3.1.2. Controlador digital del cabezal HDC

El controlador HDC controla el proceso de soldadura y el cabezal, y monitorea todas las funciones del sistema.

Además, lee los parámetros de soldadura almacenados en el cartucho de memoria y los envía al cabezal de soldadura. Administra también el sistema de control de la corriente y el mezclador de gas.

Cada cabezal WHU cuenta con un controlador digital.

En el panel frontal se visualizan los parámetros de cada sección del tubo.



FIGURA 10. CONTROLADOR DIGITAL DEL CABEZAL HDC

3.3.1.3. Controlador digital de soldadura WDC

El controlador WDC suministra la tensión necesaria a la antorcha de soldadura del cabezal.

Está controlado por la unidad HDC.

En el panel frontal se visualizan la tensión y la corriente de soldadura.

Cada controlador WDC suministra la tensión adecuada a un cabezal.



FIGURA 11. CONTROLADOR DIGITAL DE SOLDADURA WDC

3.3.1.4. Mezclador de gas GMU

El sistema de soldadura DWS 02 cuenta con un mezclador que permite crear la mezcla correcta de CO₂ y Argón para la soldadura.

Utilizando el controlador HCU el operador puede decidir si utilizar una mezcla de gases o sólo CO₂.

Cada mezclador suministra el gas a dos cabezales de soldadura.

El sistema está equipado también con reductores y unidades de precalentamiento.



FIGURA 12. MEZCLADOR DE GAS GMU

3.3.1.5. Central de mando

La central de mando contiene los controladores HDC y WDC, el mezclador de gas y el tablero eléctrico que alimenta todo el sistema.

La central se puede equipar con un sistema de enfriamiento o de calentamiento para trabajar en condiciones ambientales extremas.



FIGURA 13. CENTRAL DE MANDO

3.3.1.6. Generador diesel APW 2x400

El generador diesel APW 2x400 ha sido concebido específicamente para alimentar el sistema DWS 02.

- Suministro de tensión para la soldadura.
- Suministro de tensión para el sistema electrónico.
- Suministro de tensión para los aparatos auxiliares (biseladora, cepillos, etc.).

El generador APW 2x400 se puede también utilizar para la soldadura manual con electrodos revestidos. En este caso, el generador está equipado con dos mandos a distancia para corriente y tensión.



FIGURA 14. GENERADOR DIESEL APW 2x400

3.3.1.7. Procesos de soldaduras a utilizar

Este sistema aplica en el pase de raíz el proceso MIG mejorado con tecnología “Regulated Metal Deposition (RMD)” de “MILLER-PipePro”, quien utiliza **software para modificar la transferencia por cortocircuito en el proceso GMAW, que controla la corriente durante todas las etapas del corto y en** los pases caliente, de relleno y de presentación, se empleará la tecnología “Propulse”, igualmente de “MILLER-PipePro”.



FIGURA 15. EQUIPO PIPE-PRO DE MILLER

3.3.1.8. Unidad de programación WPU

La unidad de programación es un ordenador especial que permite programar los parámetros de soldadura necesarios por cada pasada y cada sección de la junta.

Además, permite guardar los datos del proceso de soldadura en el cartucho de memoria.



FIGURA 16. UNIDAD DE PROGRAMACIÓN WPU

3.3.1.9. Tienda protectora

Esta tienda es necesaria para proteger las operaciones de soldadura contra el viento y la lluvia.

Esta protección es muy importante para evitar defectos de soldadura, puesto que el proceso GMAW utiliza gases protectores.

- Características de la tienda PWT
- Fácil de montar y desmontar
- Fácil de utilizar
- Ventilador para la recirculación del aire
- Cajas para apoyar los cabezales de soldadura
- Tamaño: 3,5m x 2,2m x h 2,5m
- Peso reducido (700Kg)

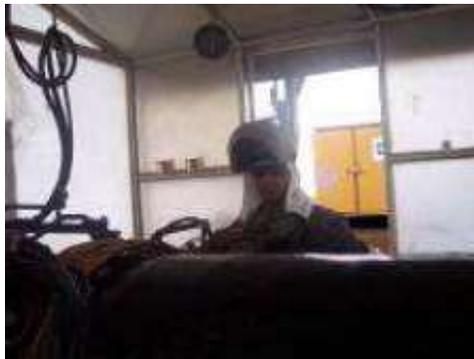


FIGURA 17. TIENDA PROTECTORA

3.3.1.10. Tractor de soldadura (Pay Welder TC150)

El tractor TC150 ha sido diseñado y fabricado específicamente para transportar y desplazar el sistema de soldadura DWS02 en la zona de trabajo.

La máquina ha sido ampliamente probada en todos los tipos de suelo, demostrando fiabilidad y potencia en cualquier condición climática, desde las temperaturas polares hasta los climas desérticos.

Cuenta con una grúa, que permite levantar la tienda protectora hasta 5m del suelo, y un porta bombonas móvil.



FIGURA 18. PAY WELDER TC150

3.3.1.11. Funcionamiento programación

El sistema DWS 02 permite programar los parámetros necesarios por cada sección del tubo.

Cada mitad de la circunferencia del tubo está dividida en 12 secciones de 15° (es posible programar criterios de división diferentes).

Por cada sección y por cada pasada de soldadura es posible definir:

- Velocidad de soldadura
- Avance del alambre
- Ancho de la oscilación
- Velocidad de oscilación
- Tiempo de espera
- Tensión de soldadura

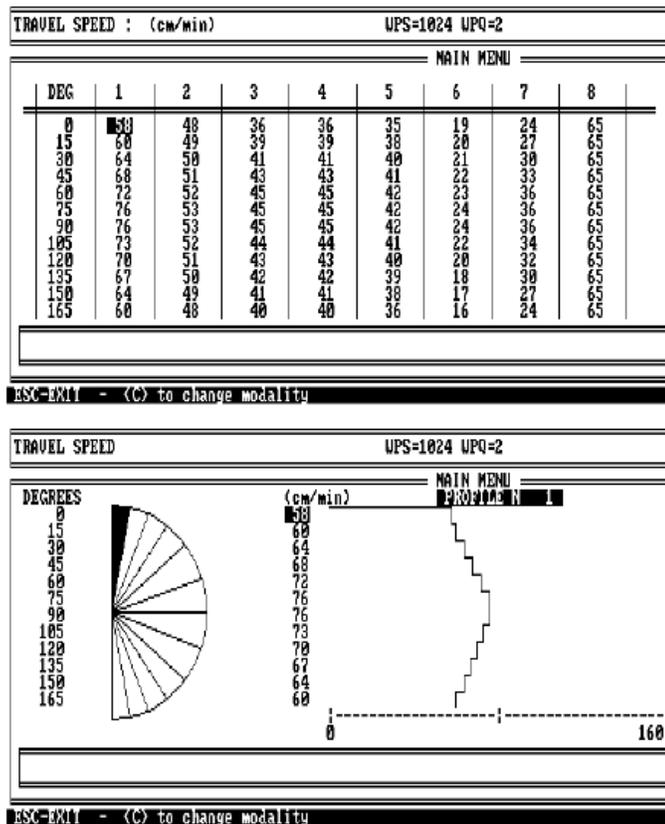


FIGURA 19. PROGRAMACIÓN

3.3.1.12. Funcionamiento del cabezal de soldadura

Cada cabezal de soldadura se desplaza a lo largo de la circunferencia del tubo realizando las pasadas programadas. Además, el cabezal detecta la posición alcanzada y transmite la información al controlador HCU.

La unidad HCU recibe el dato, lee los parámetros correspondientes en la memoria y los comunica al cabezal de soldadura. Los parámetros necesarios por cada pasada (raíz, pasada en caliente, relleno y recubrimiento) se programan desde la unidad WPU y se guardan en el cartucho de memoria para poderlos transferir al controlador HCU.

Gracias a este sistema, el trabajo del operador se reduce a pocas, simples operaciones:

- Arranque y paro de la soldadura
- Posicionamiento de la antorcha (por Arriba/abajo y a la derecha/izquierda)
- Comprobación de la tensión (+0.8v)
- Comprobación de la oscilación (+1mm)



FIGURA 20. CABEZAL DE SOLDADURA

3.3.1.13. Trabajo en Obras

Biselado 1

El sistema DWS garantiza los mejores resultados, desde el punto de vista de la calidad y productividad, cuando se utilizan biseles estrechos, compuestos o especiales.

Los biseles especiales ofrecen las siguientes ventajas:

- Buena penetración durante la pasada de raíz
- Excelente fusión lateral
- Mayor velocidad de soldadura;
- Mejor relación de deposición;
- Menos material de relleno;
- Mejor flujo del gas de protección

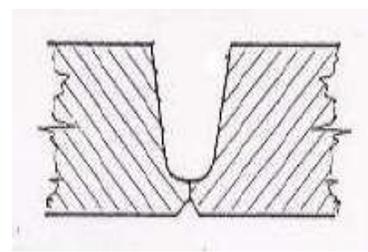


FIGURA 21. BISELADO 1

Biselado 2

- Para crear los biseles apropiados es necesario utilizar una biseladora hidráulica especial.
- La biseladora está disponible para tubos de diámetro entre 6" y 60", con cualquier espesor < 50mm. La máquina se puede utilizar con cualquier tipo de acero.
- Para funcionar, la biseladora necesita de una motobomba especial, llamada central hidráulica. Está disponible con motor diesel o eléctrico.



FIGURA 22. BISELADO 2

Pre calentamiento

La operación de pre calentamiento es necesaria para calentar los extremos de los tubos antes de la soldadura.

De esta manera, se obtiene una buena refrigeración del tubo después de la pasada de raíz y se mantienen las características metalúrgicas correctas durante la soldadura.

El pre calentamiento se puede realizar mediante un quemador de gas propano o un serpentín calentador de inducción.

- El quemador de gas es simple y económico.
- El calentador de inducción es más seguro, más rápido, y produce un calor uniforme y de buena calidad.



FIGURA 23. PRECALENTAMIENTO

Unión de los Tubos

- La alineación de los tubos antes de la pasada de raíz se realiza gracias a un sistema neumático que cuenta con zapatos de cobre patentados.
- Este alineador está disponible para tubos de diámetro entre 8" y 60".
- La apertura del bisel es de 0-0,5 mm.



FIGURA 24. ALINEACIÓN

Pasada de Raíz

Una vez posicionada la cabina de soldadura, los operadores comprueban y sujetan los dos cabezales de soldadura en el raíl de guía. Entonces seleccionan la primera pasada, comprueban y posicionan la antorcha al centro del bisel y empiezan la soldadura.

Los dos cabezales trabajan contemporáneamente en los dos lados de la junta, de arriba abajo, de 0° a 180°. Los cabezales se detienen automáticamente al alcanzar la posición de paro programada.

Tras haber completado la primera pasada, en el caso de producción rápida, se puede desplazar la estación de soldadura hasta la junta siguiente; entonces, es posible desbloquear el alineador interno para transferirlo a la misma junta. En el caso de producción normal, la misma estación puede realizar también las pasadas siguientes.

La velocidad de soldadura durante la primera pasada puede alcanzar los 135cm/min (máximo) y los 100cm/min (media).



FIGURA 25. PASE DE RAÍZ

Pasada caliente

Tras haber completado la pasada de raíz, es necesario realizar seguidamente la pasada caliente, para evitar que la junta se enfríe con respecto a la temperatura entre pasadas.

Este aspecto es muy importante para mantener las buenas características metalúrgicas de la junta.

Antes de iniciar la pasada, es necesario posicionar los cabezales y activar los parámetros para la segunda pasada.

Finalizada la operación, en el caso de producción rápida, se puede desplazar la estación de soldadura hasta la junta siguiente. De lo contrario, el mismo cabezal puede efectuar también las otras pasadas.

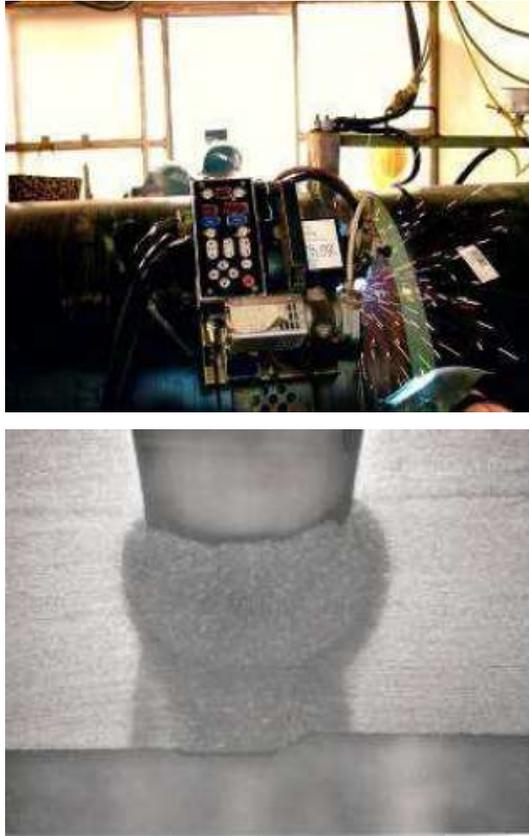


FIGURA 26. PASE CALIENTE

Relleno y recubrimiento

Después de la pasada caliente, los otros cabezales pueden realizar todas las pasadas de relleno necesarias para completar el espesor del tubo.

Antes de empezar la soldadura, se deben posicionar los cabezales y programar las pasadas deseadas.

El número de pasadas de relleno es reducido al mínimo, gracias al diseño del bisel y a la alta relación de deposición.

El sistema DWS 02 permite efectuar recubrimientos con resultados excelentes, sobre todo en lo que se refiere a las características metalúrgicas y al perfil exterior de la junta.



FIGURA 27. PASE DE RELLENO Y PRESENTACIÓN

4. ESTUDIO FINANCIERO

En el estudio financiero se determinan los beneficios, los costos asociados al proyecto, el flujo de caja incremental, el análisis de sensibilidad y los riesgos asociados al proyecto. En el caso en estudio se procederá con la comparación de la tecnología enunciada en el numeral anterior (DWS 2,0) y el método tradicional que se viene utilizando en la actualidad (SMAW) para la soldabilidad de oleoductos y gasoductos.

Para realizar este estudio se tomará como modelo la construcción de un oleoducto que tendrá las siguientes características y/o especificaciones:

- **Diámetro Exterior: 30"**
- **Espesor de pared: 11.1 mm**
- **Longitud del oleoducto: 240 Km**

4.1. DETERMINACIÓN DE BENEFICIOS Y COSTOS ASOCIADOS AL PROYECTO

Una vez definida la tecnología automática DWS 2.0 para la evaluación comparativa y estudio de factibilidad, a continuación se detalla el alcance, el análisis de productividad, la evaluación de los costos de producción y las conclusiones de este análisis.

4.1.1. Alcance

En el presente capítulo se realizará un análisis financiero con el fin de implementar una nueva tecnología para el proceso de soldadura en oleoductos, mediante DWS 2.0 GMAW tecnología automática en lugar de la tecnología SMAW.

El siguiente análisis se lleva a cabo de acuerdo a los siguientes pasos:

- Análisis de productividad
- Evaluación costos de producción
- Conclusiones

Para el análisis se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos numéricos de un caso típico de un oleoducto construido por la compañía Ismocol de Colombia S.A, mediante la utilización de la tecnología SMAW. La información técnica, rendimientos y requerimientos de personal y equipos de la tecnología DWS 2.0 GMAW fue suministrado por la compañía Italiana *Pipe Welding Technology*, perteneciente al grupo de compañías *ITW company*.

- Diámetro exterior tubería 30"
- Espesor de la pared tubería 11,1 mm
- Longitud 240 kilómetros

Este escenario fue seleccionado debido a que la compañía Ismocol de Colombia S.A. tiene firmado un contrato marco con la empresa "Pacific Rubiales Energy" en campo Rubiales y Quifa, cuyo alcance es la construcción de líneas y facilidades, y en el cual se contempla la construcción de una línea de diámetro 30" y longitud 240 kilómetros.

4.1.2. Análisis de productividad

La finalidad del análisis de productividad es establecer el equipo y tiempo necesario para los trabajos de soldadura de un oleoducto de 240 kilómetros de diámetro exterior 30" WT 11,1 mm.

Los principales factores que influyen en la productividad de un sistema de soldadura son los siguientes. En el numeral a continuación se tratará con mayor detalle cada uno de los factores.

- B1 - Número de soldaduras
- B2 - Velocidad de soldadura
- B3 - Velocidad de operación (*line-up*, herramientas, cepillado, pulido, colocación y operaciones complementarias)

A continuación enumeramos los parámetros contemplados en la prueba del caso:

- Diámetro exterior tubería 30"
- Espesor de la pared tubería 11,1 mm
- Longitud 240 kilómetros
- Material tubería: API 5L X70
- Horas de trabajo diarias: 10 h/día
- Número de día por semana: 6 días
- Material de relleno:
DWS 2.0: alambre sólido Φ 1.2 mm para toda clase pases AWS. ER 70 S-6 (ver ficha técnica Anexo 1).
GMAW: Electrodo Φ 4 mm Clase AWS E-6010 (pase penetración y caliente), Φ 5 mm Clase AWS E-8010 (pase relleno y presentación) (ver ficha técnica Anexo No 2).

4.1.2.1. B1 - Número de soldaduras

Definido el espesor y especificación de la tubería, y el material de aporte, se procede con la elaboración de los diseños de las juntas y los pasos (cordones) de soldadura.

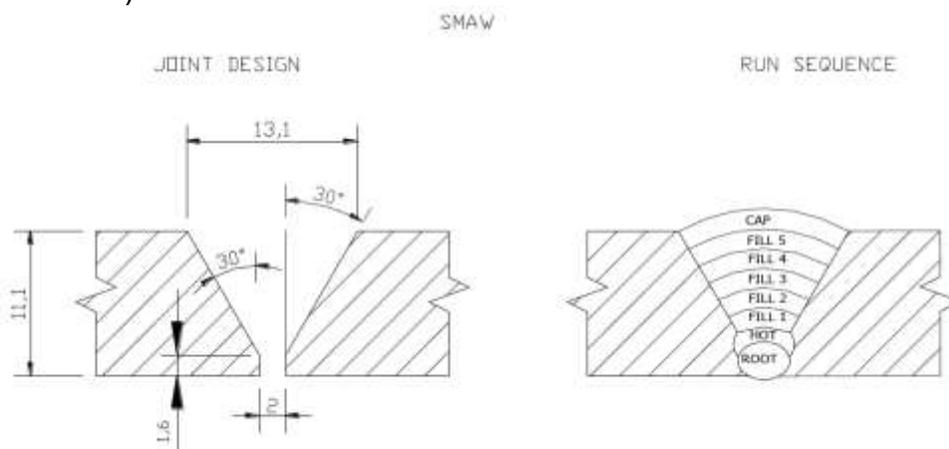


FIGURA 28. DISEÑO JUNTA Y PASES DE SOLDADURA TECNOLOGÍA SMAW

CWS 02

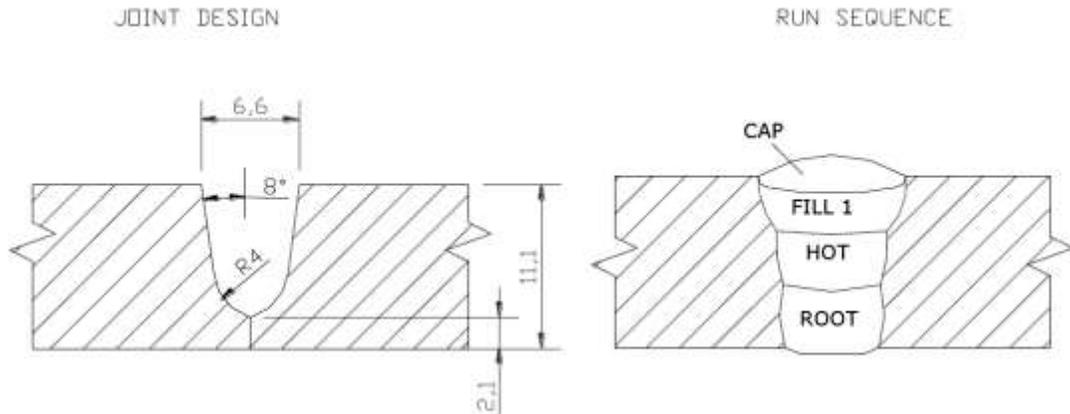


FIGURA 29. DISEÑO JUNTA Y PASES DE SOLDADURA TECNOLOGÍA CWS 02

Las figuras 30 y 31 muestran las capas de necesarias para completar la unión soldada para los sistemas SMAW y CWS 02, respectivamente. El número de capas para completar la unión soldada usando el sistema de soldadura SMAW es mucho más mayor que el número de pases necesario utilizando el sistema automático DWS 2,0 GMAW.

4.1.2.2. B2 – Velocidad de soldadura

La tabla 1 comparativo que muestra la velocidad promedio de viaje de cada pasada para ambos procesos, DWS 2,0 y SMAW. En esta tabla se relacionan los pases de soldadura detallados en los diseños de junta indicados en las figuras 30 y 31. La siguiente clasificación de los pases de soldadura se realiza en base a la teoría descrita en el numeral 3.3.1.13 “Trabajos en obra” de la presente monografía:

- Pasada de Raíz (R)
- Pasada caliente (H)
- Relleno (F1, F2, F3, F4, F5)
- Recubrimiento (C)

Avg. Travel Speed [cm/min]		
	DWS 2.0	SMAW
R	80	25
H	50	23
F1	40	20
F2	--	18
F3	--	16
F4	--	14
F5	--	14
C	22	12

Tabla 1. Velocidad soldadura

4.1.2.3. B3 – Velocidad de operación (tiempo medio de operación)

A continuación se detallan los tiempos medios de operación para las actividades de alineación y limpieza de juntas en cada uno de los sistemas evaluados.

- Alineación

- DWS 2,0: 120 s
- SMAW: 180 s

- Limpieza

- DWS 2,0: 20% de Arc-time

No hay escoria presente. Alguna limpieza es necesaria en posiciones de inicio / parada.

- SMAW: 50% de Arc-time

Todos los pases deben ser cuidadosamente limpiados (utilizando disco y grata) para la eliminación de la escoria. Se requiere más tiempo en el reemplazo del electrodo durante la ejecución del pase.

En la tabla 2 se describen los equipos requeridos para el completamiento de los trabajos alineación y soldadura de los sistema DWS 2,0 y SMAW.

PHASE	SMAW MANUAL	GMAW DWS 2.00
Pipe-end cleaning	1 Tractor whit generator for grinder and brushes	
Beveling		1 Side boom, 1 Beveling machine, 1 Power unit for beveling machine
Clamping	1 Side boom , 1 standard pneumatic internal clamp	1 Side boom , 1 modified pneumatic internal clamp
Root pass	1 Pay-welder, 1 Welding Generator (3 welding stations)	1 Pay-welder, 1 DWS 2.0 unit
Hot pass	1 Pay-welder, 1 Welding Generator (2 welding stations)	1 Pay-welder, 1 DWS 2.0 unit
Fill 1	1 Pay-welder, 1 Welding Generator (2 welding stations)	1 Pay-welder, 1 DWS 2.0 unit
Fill 2	1 Pay-welder, 1 Welding Generator (4 welding stations)	
Fill 3	1 Pay-welder, 1 Welding Generator (4 welding stations)	
Fill 4	1 Pay-welder, 1 Welding Generator (6 welding stations)	
Fill 5	1 Pay-welder, 1 Welding Generator (6 welding stations)	
Cap	1 Pay-welder, 1 Welding Generator (6 welding stations)	2 Pay-welder, 2 DWS 2.0 unit

Tabla 2. Equipos considerados

Pay-Welders y cabezales / estaciones de soldadura totales

- DWS 2.0
Total Pay-Welders: 5 und
Total cabezales soldadura: 10 und
- SMAW
Total Pay-Welders: 8 und
Total estaciones soldadura: 33 und

Producción obtenida

- DWS 2.0 (datos teóricos)

Producción promedio diaria: 90 juntas/día
 Máxima producción diaria: 110 juntas/día
 Días requeridos para completar el trabajo 214 Km: 217 días

- SMAW (datos tomados de un proyecto ejecutado por la empresa Ismocol de Colombia S.A.)
 Producción promedio diaria: 90 juntas/día
 Máxima producción diaria: 110 juntas/día
 Días requeridos para completar el trabajo 214 Km: 217 días

Los costos serán evaluados de acuerdo a los anteriores datos.

4.1.3. Evaluación costos de producción

El Propósito del análisis de costos de producción es la determinación de la previsión de costos para un oleoducto de extensión 240 kilómetros de diámetro exterior 30 " y espesor 11,1 mm.

Para la evaluación de los costos de producción tomamos los parámetros más representativos del proceso de soldadura, como lo son los costos de consumibles (C1), personal (C2), equipos (C3) y otros gastos (C4) como material menor, herramienta menor, e imprevistos.

4.1.3.1. C1 – Consumibles

- SMAW

Length (Km)	O.D. Inches	W.T. (mm)	Total Joints*	Kg/Joint	Total - Kg.
240.00	30	11.1	19512	3.62	70637

Tabla 3. Consumibles SMAW

En condiciones ideales la eficiencia del electrodo es del 90% y su desperdicio del 20%.

Descripción	Cantidad (Kg)	Vr. Unitario (\$/Kg)	Vr. Total
Electrodos	70.637	\$ 11.810	\$ 834,222,970

Tabla 4. Resumen costo consumibles SMAW

TOTAL CONSUMIBLES (C1) = \$ 834.222.970

- DWS 2,0

Alambre

Length (Km)	O.D. Inches	W.T. (mm)	Total Joints*	Kg/Joint	Total - Kg.
240.00	30	11.1	19512	1.59	31055

Tabla 5. Consumibles alambre DWS 2,0

CO2

Length (Km)	O.D. Inches	W.T. (mm)	Total Joints*	Kg/Joint	Total - Kg.
240.00	30	11.1	19512	0.56	10832

Tabla 6. Consumibles CO2 DWS 2,0

Argón

Length (Km)	O.D. Inches	W.T. (mm)	Total Joints*	M ³ /Joint	Total - M ³
240.00	30	11.1	19512	0.10	2029

Tabla 7. Consumibles Argón DWS 2,0

En condiciones ideales la eficiencia del electrodo es del 99% y su desperdicio del 15%.

Una vez definidos los consumos teóricos de los consumibles del sistema DWS 2,0 procedemos a la valorización de estos con base a los datos de las tablas No. 4, 5 y 6.

Descripción	Cantidad	Vr. Unitario (\$/und)	Vr. Total
Wire	31.055 Kg	\$ 10.629	\$ 330,083,595
CO ₂	10.832 Kg	\$ 1.653	\$ 12.562.800
Argon	2.029 m3	\$ 5.905	\$ 29.820.250

Tabla 8. Resumen costo consumibles DWS 2,0

TOTAL CONSUMIBLES (C1) = \$ 372.466.645

4.1.3.2. C2 – Personal

En las siguientes tablas se detallan la cantidad de personal requerido por cargo y frente de soldadura de los sistemas SMAW y DWS 2,0. En la tabla 8 podemos apreciar la cantidad detallada de personal para cada uno de los pases de soldadura y en las tablas 10 y 11 se resume el personal requerido para cada uno de los sistemas.

PHASE	SMAW MANUAL		GMAW DWS 2.0	
	EQUIPMENT	PERSONNEL	EQUIPMENT	PERSONNEL
Pipe-end cleaning	1 Tractor whit generator for grinder and brushes	2 Grinder operators, 1 Tractor operator		
Beveling			1 Side boom, 1 Beveling machine, 1 Power unit for beveling machine	1 Side boom operator, 2 beveling machine operators
Clamping	1 Side boom , 1 standard pneumatic internal clamp	1 Side boom operator, 2 internal clamp operators	1 Side boom , 1 modified pneumatic internal clamp	1 Side boom operator, 2 internal clamp operators
Root pass	1 Pay-welder, 1 Welding Generator (8 welding stations)	1 pay welder operator, 3 welders, 3 welders assistant, 2 grinding and brushing operators	1 Pay-welder, 1 DWS 2.0 unit	1 pay welder operator, 2 welding operators
Hot pass	1 Pay-welder, 1 Welding Generator (4 welding stations)	1 pay welder operator, 2 welders, 2 welders assistant, 2 grinding and brushing operators	1 Pay-welder, 1 DWS 2.0 unit	1 pay welder operator, 2 welding operators
Fill 1	1 Pay-welder, 1 Welding Generator (4 welding stations)	1 pay welder operator, 2 welders, 2 welders assistant, 2 grinding and brushing operators	1 Pay-welder, 1 DWS 2.0 unit	1 pay welder operator, 2 welding operators
Fill 2	1 Pay-welder, 1 Welding Generator (8 welding stations)	1 pay welder operator, 4 welders, 4 welders assistant, 4 grinding and brushing operators		
Fill 3	1 Pay-welder, 1 Welding Generator (8 welding stations)	1 pay welder operator, 4 welders, 4 welders assistant, 4 grinding and brushing operators		
Fill 4	1 Pay-welder, 1 Welding Generator (8 welding stations)	1 pay welder operator, 6 welders, 6 welders assistant, 6 grinding and brushing operators		
Fill 5	1 Pay-welder, 1 Welding Generator (8 welding stations)	1 pay welder operator, 6 welders, 6 welders assistant, 6 grinding and brushing operators		
Cap	1 Pay-welder, 1 Welding Generator (8 welding stations)	1 pay welder operator, 6 welders, 6 welders assistant, 6 grinding and brushing operators	2 Pay-welder, 2 DWS 2.0 unit	2 pay welder operator, 4 welding operators ¹⁷

Tabla 9. Detalle Personal estimado

Totales para un extensión de 240 kilómetros.

- DWS 2,0

• OPERATORS	• QTY.	• SPARE QTY.
• Side-boom operators	• 02	• 02
• Beveling machine operators	• 02	• 02
• Pay-Welder operators	• 05	• 02
• Automatic Welding Operators	• 10	• 04
• Preheating Operators	• 04	• 01
• Grinding operators (head cleaning)	• 02	• 01
• Co-operators (preheating + band posit. + line-up)	• 08	• 02
• Maintenance technicians (1 electrot. + 1 tool tech.)	• 02	• \
• Charge man	• 01	• \
• Automatic Welding qualified Technician	• 01	• \

Tabla 10. Resumen personal estimado DWS 2,0

Los totales para una extensión de 240 kilómetros:

- 14 Operadores de soldadura automática
- 36 Otro personal
- 1 Técnico de soldadura automática

- SMAW

• OPERATORS	• QTY.	• SPARE QTY.
• Tractor operators	• 01	• 01
• Side-boom operators	• 01	• 01
• Pay-Welder operators	• 08	• 02
• Welders	• 33	• 08
• Preheating Operators	• 04	• 01
• Grinding operators	• 35	• 08
• Co-operators (preheating +welder assistants. + line-up)	• 37	• 10
• Maintenance technicians (1 electrot. + 1 tool tech.)	• 02	• \
• Charge man	• 01	• \

Tabla 11. Resumen personal estimado SMAW

Los totales para una extensión de 240 kilómetros:

- 35 Soldadores
- 70 Otro personal

Facilidades

Dentro del rubro de facilidades se incluyó el transporte terrestre del personal al sitio de obra, el alojamiento y el servicio de catering de este.

- DWS 2,0
 - 1 bus para el transporte de 48 personas por día
 - Alojamiento para 48 personas
 - Centro de catering Small X 217 días
- SMAW
 - 3 buses para el transporte de 153 personas por día
 - Alojamiento para 105 personas
 - Centro de catering Small X 217 días

Costos

A continuación se resumen los costos de salarios, acomodación, transporte, catering, elementos de protección personal y seguros, asociados al personal del grupo de soldadura.

- DWS 2,0

Descripción	Valor (\$)
- Salarios Soldadores \$ 30.706 / hora x 10 horas / día x 217 días x 14 soldados.	\$ 932.848.280
Ayudantes \$ 14.881 / hora x 10 horas / día x 217 días x 36 ayudantes.	\$ 1.162.503.720
- Acomodación \$ 47.240 / habitación / día x 217 días x 50 habitaciones.	\$ 512.554.000
- Transporte \$ 25.982 / bus / día x 217 días x 1 bus.	\$ 5.638.094
- Catering (alimentación) \$ 21.258 / persona / día x 217 días x 50 personas.	\$ 230.649.300
- Elementos protección personal \$ 472.400 / persona x 50 personas	\$ 23.620.000
- Seguros \$ 118.100 / persona x 50 persona	\$ 5.905.000

Tabla 12. Resumen costo personal DWS 2,0

TOTAL PERSONAL (C2) = \$ 2.873.718.394

- SMAW

Descripción	Valor (\$)
- Salarios Soldadores \$ 59.050 / hora x 10 horas / día x 217 días x 35 soldadores Ayudantes.	\$ 4.484.500.000
\$ 14.881/ hora x 10 horas / día x 217 días x 70 ayudantes.	\$ 2.260.423.900
- Acomodación \$ 47.240 / habitación / día x 217 días x 105 habitaciones	\$ 1.076.363.400
- Transporte \$ 25.982 / bus / día x 217 días x 3 bus.	\$ 16.914.282
- Catering (alimentación) \$ 21.258 / persona / día x 217 días x 105 personas.	\$ 484.363.530
- Elementos protección personal \$ 472.400 / persona x 105 personas.	\$ 49.602.000
- Seguros \$ 118.100 / persona x 105 persona.	\$ 12.400.500

Tabla 13. Resumen costo personal SMAW

TOTAL PERSONAL (C2) = \$ 8.384.915.112

4.1.3.3. C3 – Equipos

- DWS 2,0

TOTAL EQUIPOS (C3) = \$ 3.779.200.000

- SMAW

TOTAL EQUIPOS (C3) = \$ 354.300.000

4.1.3.4. C4 – Otros Gastos (Material menor, herramienta menor, imprevistos)

Para el costo de los otros gastos como material menor, herramienta menor, e imprevistos tenemos en cuenta un 15% (quince por ciento) teórico respecto al costo del personal de cada uno de los sistemas.

- DWS 2,0 (15% del Costo de Personal (C2))

TOTAL OTROS GASTOS (C4) = 15% x \$ 2.873.718.394 = \$ 431.057.759

- SMAW (15% del Costo de Personal (C2))

TOTAL OTROS GASTOS (C4) 15% x \$ 8.384.915.112 = \$ 1.257.737.267

4.1.3.5. Resumen de todos los costos

A continuación el resumen de todo los costos, para los procesos de DWS 2,0 y SMAW.

Descripción	SMAW	DWS 2.0
Salario soldadores	\$ 4.484.500.000	\$ 932.848.280
Salario ayudantes	\$ 2.260.423.900	\$ 1.162.503.720
Acomodación	\$ 1.076.363.400	\$ 512.554.000
Catering	\$ 484.363.530	\$ 230.649.300
Transporte	\$ 16.914.282	\$ 5.638.094
Elementos protección personal	\$ 49.602.000	\$ 23.620.000
Seguros	\$ 12.400.500	\$ 5.905.000
Equipos	\$ 354.300.000	\$ 3.779.200.000
Consumibles	\$ 834,222,970	\$ 372.466.645
Otros	\$ 1.257.737.267	\$ 431.057.759
TOTAL	\$ 9.996.604.879	\$ 7.456.442.798

Tabla 14. Resumen costos sistema DWS 2,0 y SMAW

4.1.4. Beneficios tecnología DWS 2,0 vs SMAW

- Ahorro de alrededor de 2.5400 millones de pesos es decir, 25%.
- Disminución costo de la junta soldada de \$ 499.830 a \$ 372.822.
- Aumento en la capacidad de producción (reducción tiempo).
- Reduce el costo de reparación de defectos (defectos mínimos y de mejor calidad).
- Reduce el costo del alambre de soldadura.
- Reduce los costos de mano de obra (Menos soldadores y ayudantes)
- Reduce el problema de encontrar soldadores calificados.
- Reduce el uso de equipo pesado.
- Reducción impacto ambiental por reducción de emisiones atmosféricas como consecuencia de la disminución de equipos.

4.2. ESTABLECIMIENTO DEL ESCENARIO Y PARÁMETROS DE LA EVALUACIÓN

Luego de establecidos los costos asociados del proyecto, proponemos los siguientes escenarios, variables y parámetros de evaluación para el estudio de factibilidad objetivo de la presente monografía:

- La rentabilidad WACC esperada será del 10% de los costos directos.
- Escenario de inflación 4%
- Tasas de interés DTF+9% (5,29% E.A. DTF noviembre 01 de 2012)
- Tasa de cambio (1 EUR = 2.362 COP para 01/11/2012)
- La financiación del proyecto se realizará con el 70% de recursos de terceros (bancos) y el restante 30% con recursos propios.
- El flujo de caja se elaborará de manera mensual, según avance de obra del proyecto. Los ingresos corresponderán a la facturación mensual que generará el proyecto.
- Para la evaluación optamos por la modalidad de alquiler de los equipos de soldadura automática a una empresa extranjera, con amplia experiencia en soldadura de oleoducto y gasoductos.
- Supondremos que para el desarrollo del proyecto, se cuenta con un acuerdo con las comunidades de influencia del proyecto, afectadas por la disminución de la mano de obra durante la implementación de los procesos automáticos. Como contraprestación a la disminución en la utilización de Mano de Obra local, se garantizará una inversión social equivalente a trescientos millones de pesos mensuales m/cte. (\$ 300.000.000).
- Debido a que esta tecnología es relativamente nueva en su utilización en Colombia, se incorporará en los costos la asistencia técnica por parte del proveedor de los equipos de soldadura automática, para la capacitación, entrenamiento y calificación de soldadores/operarios, así como costos por capacitación de personal de supervisión y aseguramiento de calidad (transferencia de tecnología).
- Como línea base dispondremos de toda la información derivada de los procesos de licitación y proyectos de Ismocol de Colombia S.A., en los cuales se haya utilizado soldadura manual.

4.3. FLUJO DE CAJA INCREMENTAL DEL PROYECTO

El flujo de caja incremental del proyecto será elaborado con base al escenario y los parámetros de evaluación establecidos en el numeral anterior; así como los costos asociados al proyecto detallados en el numeral 4.1. A continuación las pautas y el flujo de caja incremental de cada una de las tecnología en estudio (DWS 2,0 y SMAW):

4.3.1. Pautas establecidas

Las siguientes son las pautas base para la elaboración del flujo de caja incremental:

- DWS 2,0

Periodo análisis	= 216 días = 7 meses+1 meses ingresos (1)
Costo total sistema DWS 2,0	= \$ 7.456.442.798
Depreciación equipos	= 0% (equipos alquilados)
Valor salvamento HOY	= 0% (equipos alquilados)
Impuestos	= 33 %
W.A.C.C	= 10%
Egresos	= serán establecidos según avance del proyecto hasta completar el 100%.
Ingresos	= supondremos que el proyecto se realiza dentro de los costos establecidos y obteniendo una utilidad del 18%, libre de impuestos.
Inversión social	= 300.000.000 mensuales

(1) por efectos de facturación del proyectos se establece un (1) mes más.

- SMAW

Periodo análisis	= 216 días = 7 meses+1 meses ingresos (1)
Costo total sistema DWS 2,0	= \$ 9.996.604.879
Depreciación equipos	= 0% (equipos alquilados)
Valor salvamento HOY	= 0% (equipos alquilados)
Impuestos	= 33 %
W.A.C.C	= 10%
Egresos	= supondremos que el proyecto se realiza dentro de los costos establecidos y obteniendo una utilidad del 18%.

(2) por efectos de facturación del proyectos se establece un (1) mes más.

4.3.2. Flujo de caja incremental tecnología DWS 2,0 y SMAW

- DWS 2,0

Egresos totales	7.456.442.798			
Inversión social x mes	300.000.000			
Ingresos totales	11.795.993.757			
Utilidad	18%			
Impuestos	33%			
Interes financiamiento	14,29%	EA	1,12%	
Financiamiento recursos terceros	70,00%			
W.A.C.C	10,00%			

C.BASE TECNOLOGÍA DWS 2,0								
Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8
Avance Ejecución	13%	13%	15%	16%	15%	14%	14%	
Inversión								
(+) Ingresos Operacionales	0	1.533.479.188	1.533.479.188	1.769.399.064	1.887.359.001	1.769.399.064	1.651.439.126	1.651.439.126
(+) Valor salvamento								
(+) Total Ingresos	0	1.533.479.188	1.533.479.188	1.769.399.064	1.887.359.001	1.769.399.064	1.651.439.126	1.651.439.126
(-) Egresos operacionales	-1.269.337.564	-1.269.337.564	-1.418.466.420	-1.493.030.848	-1.418.466.420	-1.343.901.992	-1.343.901.992	0
Flujo de Fondos Acumulado (antes de impu	-1.269.337.564	-1.005.195.940	-890.183.172	-613.814.956	-144.922.375	280.574.697	588.111.831	2.239.550.957
(-) Gastos financieros	-9.945.314	-7.875.753	-6.974.623	-4.809.266	-1.135.473	2.198.315	4.607.881	0
(-) Depreciación	0	0	0	0	0	0	0	0
(-) Impuestos	0	0	0	0	0	0	0	-746.442.334
(-) Total Egresos	-1.279.282.878	-1.277.213.317	-1.425.441.043	-1.497.840.114	-1.419.601.893	-1.341.703.677	-1.339.294.111	-746.442.334
Flujo de Caja	-1.279.282.878	256.265.871	108.038.145	271.558.950	467.757.108	427.695.387	312.145.015	904.996.792
Flujo de Caja Acumulado	-1.279.282.878	-1.023.017.007	-914.978.862	-643.419.912	-175.662.804	252.032.583	564.177.598	1.469.174.390
TIR	18%							
VPN	\$429.685.305							
MAX ENDEUDAMIENTO	-888.536.295							
PAYOUT	5							

Tabla 15. Flujo de caja incremental tecnología DWS 2,0

- SMAW

Egresos totales	9.996.604.879		
Ingresos totales	11.795.993.757		
Utilidad	18%		
Impuestos	33%		
Interes financiamiento	14,29%	EA	1,12%
Financiamiento recursos terceros	70,00%		
W.A.C.C	10,00%		

C.BASE TECNOLOGÍA SMAW								
Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8
Avance Ejecución	13%	13%	15%	16%	15%	14%	14%	
Inversión								
(+) Ingresos Operacionales	0	1.533.479.188	1.533.479.188	1.769.399.064	1.887.359.001	1.769.399.064	1.651.439.126	1.651.439.126
(+) Valor salvamento								
(+) Total Ingresos	0	1.533.479.188	1.533.479.188	1.769.399.064	1.887.359.001	1.769.399.064	1.651.439.126	1.651.439.126
(-) Egresos operacionales	-1.299.558.634	-1.299.558.634	-1.499.490.732	-1.599.456.781	-1.499.490.732	-1.399.524.683	-1.399.524.683	0
<i>Flujo de Fondos Acumulado (antes de impuestos)</i>	-1.299.558.634	-1.065.638.080	-1.031.649.624	-861.707.341	-473.839.072	-103.964.691	147.949.752	1.799.388.878
(-) Gastos financieros	-10.182.097	-8.349.320	-8.083.019	-6.751.514	-3.712.549	-814.568	0	0
(-) Depreciación	0	0	0	0	0	0	0	0
(-) Impuestos	0	0	0	0	0	0	0	-593.798.330
(-) Total Egresos	-1.309.740.731	-1.307.907.954	-1.507.573.751	-1.606.208.295	-1.503.203.281	-1.400.339.251	-1.399.524.683	-593.798.330
Flujo de Caja	-1.309.740.731	225.571.234	25.905.437	163.190.769	384.155.720	369.059.813	251.914.443	1.057.640.796
Flujo de Caja Acumulado	-1.309.740.731	-1.084.169.497	-1.058.264.060	-895.073.291	-510.917.571	-141.857.758	110.056.685	1.167.697.481
TIR	14%							
VPN	\$196.198.044							
MAX ENDEUDAMIENTO	-909.691.044							
PAYOUT	6							

Tabla 16. Flujo de caja incremental tecnología SMAW

- DIFERENCIA ENTRE DWS 2,0 Y SMAW

W.A.C.C 10,00%

C.BASE TECNOLOGÍA DWS 2,0								
Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8
Flujo de Caja SMAW	-1.309.740.731	225.571.234	25.905.437	163.190.769	384.155.720	369.059.813	251.914.443	1.057.640.796
Flujo de Caja DWS 2,0	-1.279.282.878	256.265.871	108.038.145	271.558.950	467.757.108	427.695.387	312.145.015	904.996.792
Flujo de Caja (Diferencia)	-2.589.023.609	481.837.105	133.943.582	434.749.719	851.912.828	796.755.200	564.059.458	1.962.637.588
TIR	16%							
VPN	\$625.883.349							

Tabla 17. Flujo de caja incremental Diferencia tecnología SMAW y DWS 2,0

4.3.3. Análisis flujo de caja incremental tecnologías DWS 2,0 y SMAW

Una vez elaborado el flujo de caja incremental para cada una de las tecnologías, procedemos a extraer los resultados y principales indicadores:

- General
 - Por tratarse de un proyecto de construcción no presenta una inversión inicial como tal, sino un flujo de fondos proveniente de los ingresos y egresos obtenidos durante el desarrollo del proyecto.
 - Los impuestos se calcularon al final del periodo en análisis y corresponden al 33,33% de la utilidad neta obtenida.
 - Los gastos financieros corresponden al 30% del flujo de fondos negativo acumulado y su interés es del 1,12% E.M.

- DWS 2,0
 - La tasa interna de retorno "TIR" obtenida es el 18%, superior a la rentabilidad del 10% esperada.
 - El valor presente neto obtenido es de \$ 429.685.305, permitiendo reflejar una maximización de la inversión a una tasa de descuento del 10% (W.A.C.C).
 - El máximo endeudamiento corresponde al 30% del flujo negativo acumulado, equivalente a la suma de \$ 888.536.295.
 - El flujo de caja se mantiene negativo hasta el cinco (5) mes.

- SMAW
 - La tasa interna de retorno "TIR" obtenida es el 14%, superior a la rentabilidad del 10% esperada.
 - El valor presente neto obtenido es de \$ 196.198.044, permitiendo reflejar una maximización de la inversión a una tasa de descuento del 10% (W.A.C.C).
 - El máximo endeudamiento corresponde al 30% del flujo negativo acumulado, equivalente a la suma de \$ 909.691.044.
 - El flujo de caja se mantiene negativo hasta el sexto (6) mes.

4.4. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD Y RIESGOS ASOCIADOS A LA INVERSIÓN

Para el análisis de sensibilidad se procede a calcular el valor de la variable “switching value” que hace cero el Valor Presente Neto “VPN” o igualar la Tasa Interna de Retorno a la tasa de descuento del proyecto. Este ejercicio se realiza en una hoja de cálculo de Excel y su resultado se presenta a continuación:

- DWS 2,0 (Valor variable “switching value” para los ingresos)

Factor SV Ingresos 0,86

C.BASE TECNOLOGÍA DWS 2,0								
Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8
Avance Ejecución	13%	13%	15%	16%	15%	14%	14%	
Inversión								
(+) Ingresos Operacionales	0	1.418.832.281	1.418.832.281	1.637.114.170	1.746.255.115	1.637.114.170	1.527.973.225	1.527.973.225
(+) Valor salvamento								
(+) Total Ingresos	0	1.418.832.281	1.418.832.281	1.637.114.170	1.746.255.115	1.637.114.170	1.527.973.225	1.527.973.225
(-) Egresos operacionales	-1.269.337.564	-1.269.337.564	-1.418.466.420	-1.493.030.848	-1.418.466.420	-1.343.901.992	-1.343.901.992	0
Flujo de Fondos Acumulado (antes de impu	-1.269.337.564	-1.119.842.847	-1.119.476.986	-975.393.664	-647.604.969	-354.392.791	-170.321.558	1.357.651.667
(-) Gastos financieros	-9.945.314	-8.774.017	-8.771.150	-7.642.251	-5.074.013	-2.776.683	-1.334.477	0
(-) Depreciación	0	0	0	0	0	0	0	0
(-) Impuestos	0	0	0	0	0	0	0	-452.505.301
(-) Total Egresos	-1.279.282.878	-1.278.111.581	-1.427.237.570	-1.500.673.099	-1.423.540.433	-1.346.678.675	-1.345.236.469	-452.505.301
Flujo de Caja	-1.279.282.878	140.720.700	-8.405.289	136.441.071	322.714.682	290.435.495	182.736.756	1.075.467.924
Flujo de Caja Acumulado	-1.279.282.878	-1.138.562.178	-1.146.967.467	-1.010.526.396	-687.811.714	-397.376.219	-214.639.463	860.828.461
TIR	10%							
VPN	\$0							
MAX ENDEUDAMIENTO	-888.536.295							
PAYOUT	7							

Tabla 18. Análisis sensibilidad ingresos tecnología DWS 2,0

- DWS 2,0 (Valor variable “switching value” para los egresos)

Factor SV Egresos 1,22

C.BASE TECNOLOGÍA DWS 2,0								
Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8
Avance Ejecución	13%	13%	15%	16%	15%	14%	14%	
Inversión								
(+) Ingresos Operacionales	0	1.656.977.418	1.656.977.418	1.911.897.021	2.039.356.822	1.911.897.021	1.784.437.219	1.784.437.219
(+) Valor salvamento								
(+) Total Ingresos	0	1.656.977.418	1.656.977.418	1.911.897.021	2.039.356.822	1.911.897.021	1.784.437.219	1.784.437.219
(-) Egresos operacionales	-1.478.206.641	-1.478.206.641	-1.659.469.201	-1.750.100.482	-1.659.469.201	-1.568.837.921	-1.568.837.921	0
Flujo de Fondos Acumulado (antes de impu	-1.478.206.641	-1.299.435.864	-1.301.927.647	-1.140.131.108	-760.243.487	-417.184.387	-201.585.089	1.582.852.130
(-) Gastos financieros	-11.581.812	-10.181.136	-10.200.659	-8.932.976	-5.956.540	-3.268.657	-1.579.428	0
(-) Depreciación	0	0	0	0	0	0	0	0
(-) Impuestos	0	0	0	0	0	0	0	-527.564.615
(-) Total Egresos	-1.489.788.453	-1.488.387.777	-1.669.669.860	-1.759.033.458	-1.665.425.741	-1.572.106.578	-1.570.417.349	-527.564.615
Flujo de Caja	-1.489.788.453	168.589.641	-12.692.442	152.863.563	373.931.081	339.790.443	214.019.870	1.256.872.604
Flujo de Caja Acumulado	-1.489.788.453	-1.321.198.812	-1.333.891.254	-1.181.027.691	-807.096.610	-467.306.167	-253.286.297	1.003.586.307
TIR	10%							
VPN	\$0							
MAX ENDEUDAMIENTO	-1.034.744.649							
PAYOUT	7							

Tabla 19. Análisis sensibilidad egresos tecnología DWS 2,0

- SMAW (Valor variable “switching value” para los ingresos)

Factor SV Ingresos 0,89

C.BASE TECNOLOGÍA SMAW								
Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8
Avance Ejecución	13%	13%	15%	16%	15%	14%	14%	
Inversión								
(+) Ingresos Operacionales	0	1.480.923.497	1.480.923.497	1.708.757.882	1.822.675.074	1.708.757.882	1.594.840.690	1.594.840.690
(+) Valor salvamento								
(+) Total Ingresos	0	1.480.923.497	1.480.923.497	1.708.757.882	1.822.675.074	1.708.757.882	1.594.840.690	1.594.840.690
(-) Egresos operacionales	-1.299.558.634	-1.299.558.634	-1.499.490.732	-1.599.456.781	-1.499.490.732	-1.399.524.683	-1.399.524.683	0
Flujo de Fondos Acumulado (antes de impuestos)	-1.299.558.634	-1.118.193.771	-1.136.761.006	-1.027.459.905	-704.275.563	-395.042.364	-199.726.357	1.395.114.333
(-) Gastos financieros	-10.182.097	-8.761.096	-8.906.571	-8.050.192	-5.518.029	-3.095.174	0	0
(-) Depreciación	0	0	0	0	0	0	0	0
(-) Impuestos	0	0	0	0	0	0	0	-460.387.730
(-) Total Egresos	-1.309.740.731	-1.308.319.730	-1.508.397.303	-1.607.506.973	-1.505.008.761	-1.402.619.857	-1.399.524.683	-460.387.730
Flujo de Caja	-1.309.740.731	172.603.767	-27.473.806	101.250.909	317.666.313	306.138.025	195.316.007	1.134.452.960
Flujo de Caja Acumulado	-1.309.740.731	-1.137.136.964	-1.164.610.770	-1.063.359.861	-745.693.548	-439.555.523	-244.239.516	890.213.444
TIR	10%							
VPN	\$0							
MAX ENDEUDAMIENTO	-909.691.044							
PAYOUT	7							

Tabla 20. Análisis sensibilidad ingresos tecnología SMAW

- SMAW (Valor variable “switching value” para los egresos)

Factor SV Egresos 1,12

C.BASE TECNOLOGÍA SMAW								
Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8
Avance Ejecución	13%	13%	15%	16%	15%	14%	14%	
Inversión								
(+) Ingresos Operacionales	0	1.656.977.418	1.656.977.418	1.911.897.021	2.039.356.822	1.911.897.021	1.784.437.219	1.784.437.219
(+) Valor salvamento								
(+) Total Ingresos	0	1.656.977.418	1.656.977.418	1.911.897.021	2.039.356.822	1.911.897.021	1.784.437.219	1.784.437.219
(-) Egresos operacionales	-1.454.051.687	-1.454.051.687	-1.677.751.947	-1.789.602.076	-1.677.751.947	-1.565.901.817	-1.565.901.817	0
Flujo de Fondos Acumulado (antes de impuestos)	-1.454.051.687	-1.251.125.956	-1.271.900.485	-1.149.605.540	-788.000.665	-442.005.461	-223.470.059	1.560.967.160
(-) Gastos financieros	-11.392.557	-9.802.625	-9.965.395	-9.007.209	-6.174.019	-3.463.132	0	0
(-) Depreciación	0	0	0	0	0	0	0	0
(-) Impuestos	0	0	0	0	0	0	0	-515.119.163
(-) Total Egresos	-1.465.444.244	-1.463.854.312	-1.687.717.342	-1.798.609.285	-1.683.925.966	-1.569.364.949	-1.565.901.817	-515.119.163
Flujo de Caja	-1.465.444.244	193.123.106	-30.739.924	113.287.736	355.430.856	342.532.072	218.535.402	1.269.318.056
Flujo de Caja Acumulado	-1.465.444.244	-1.272.321.138	-1.303.061.062	-1.189.773.326	-834.342.470	-491.810.398	-273.274.996	996.043.060
TIR					10%			
VPN					-0			
MAX ENDEUDAMIENTO					-1.017.836.181			
PAYOUT					7			

Tabla 21. Análisis sensibilidad egresos tecnología SMAW

4.4.1. Resumen análisis sensibilidad

A continuación se presenta un resumen del análisis de sensibilidad realizado a cada una de las tecnologías:

- DWS 2,0

Descripción	C. Base	S.V	
		0,86	1,22
		Ingresos	Costos
TIR	18%	10,0%	10,0%
VPN	\$429.685.305	\$0	\$0
MAX ENDEUDAMIENTO	-\$888.536.295	-\$888.536.295	-\$1.034.744.649
PAYOUT	5	7	7

Tabla 22. Resumen Análisis sensibilidad tecnología DWS 2,0

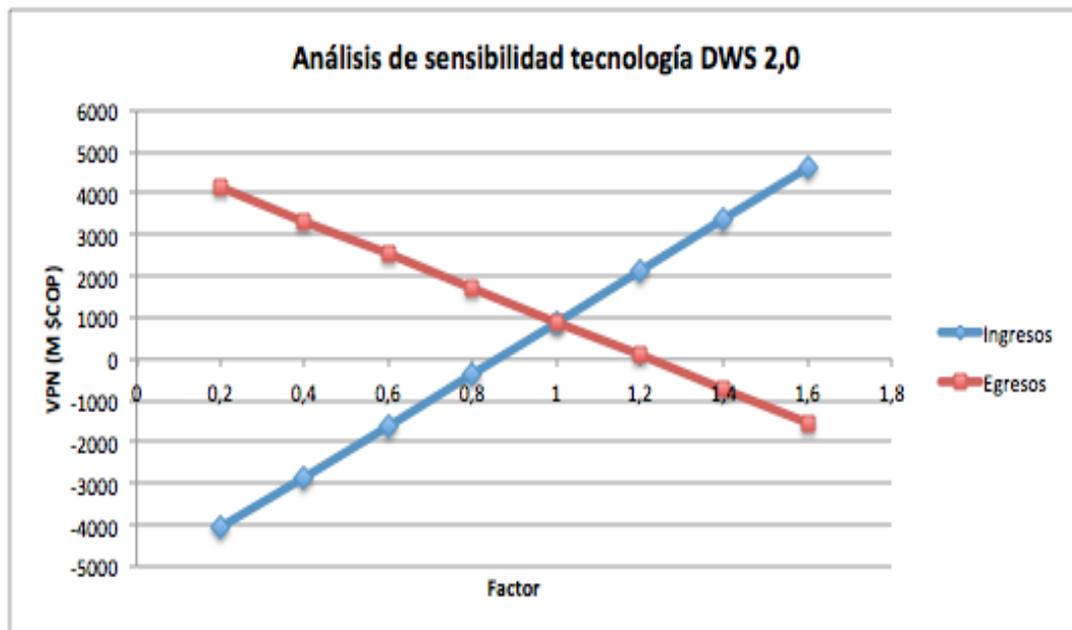


FIGURA 30. GRÁFICO SENSIBILIDAD TECNOLOGÍA DWS 2,0

- SMAW

Descripción	C. Base	S.V	
		0,89	1,12
		Ingresos	Costos
TIR	14%	10,0%	10,0%
VPN	\$196.198.044	\$0	-\$0
MAX ENDEUDAMIENTO	-\$909.691.044	-\$909.691.044	-\$1.017.836.181
PAYOUT	6	7	7

Tabla 23. Resumen Análisis sensibilidad tecnología SMAW

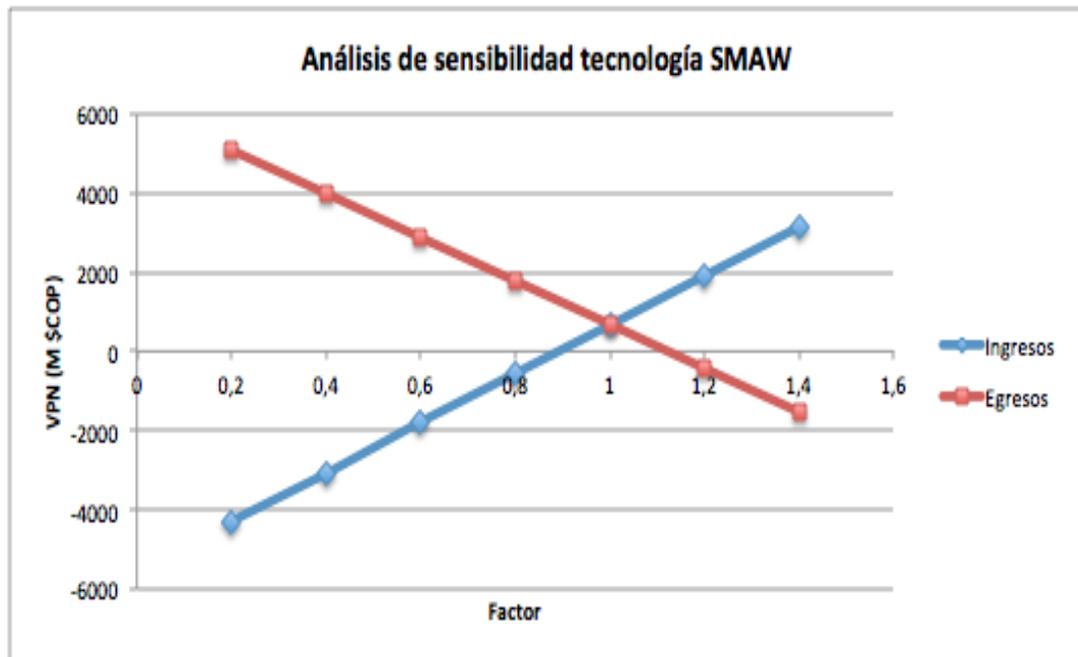


FIGURA 31. GRÁFICO SENSIBILIDAD TECNOLOGÍA SMAW

4.4.2. Identificación riesgos que afectan Ingresos y Egresos

A continuación relacionamos los posibles riesgos que pudieren en dado caso afectar los ingresos y egresos del proyecto:

- Aumento en la tasa de cambio del dólar y por ende un aumento en el costo de los equipos de soldadura.
- Conflicto y posible paro de las comunidades locales por disminución en la contratación de personal en el frente de soldadura.
- Cambio en la legislación colombiana en cuanto a impuesto se refiere.
- Falta de capacidad financiera.
- Permisos, impuestos, licencias y autorizaciones requeridas de terceros no previstos o que surgan durante la ejecución del proyecto.
- Especificaciones del contratante deficientes o faltantes.
- Fenomeno natural que impacta la obra.
- Aumento en el costo de los consumibles y materiales de aporte como los gases de protección y los alambres de soldadura.
- Fenomeno natural que impacta la obra.
- Incidencia en la ejecución del contrato por sabotaje, secuestro o vandalismo.
- Deficiencia en los equipos y maquinaria.
- Demoras por consecución de permisos ambientales y otros legales que puedan afectar la ejecución del contrato.

5. CONCLUSIONES

- La tecnología automática DWS 2,0 presenta las siguientes características, en comparación con el método de soldadura manual:
 - Mejor calidad de la soldadura en términos de características y con tasas de reparación entre 1-5% (manual 15%).
 - Cuadrilla de soldadura de tamaño reducido (menos soldadores, amoladores, operados, equipos, etc.).
 - Rápida capacitación de soldadores locales como operadores de automática.
 - Menores gastos de insumos de soldadura (e.g. 30" esp. 11mm → 1,6 kg alambre/pega contra 3,6 kg de electrodos).
 - Genera ahorro en la construcción del ducto debida a menor desperdicio de tiempo y menor duración de toda la obra.
 - Producción diaria no alcanzable con soldadura manual en ductos de grande diámetro (hasta 60 pega /día en 52", 150 pegas/día en 20", etc.).
- En el análisis de los indicadores financieros de ambas tecnología DWS 2,0 y SMAW, se obtienen Tasas Internas de Retorno "TIR" superiores a la rentabilidad esperada del 10% y valores positivos en el Valor Presente Neto "VPN", lo cual nos garantizaría la rentabilidad del negocio.
- A pesar de lo expuesto en el punto anterior la ejecución de este tipo de proyectos, presenta una alta sensibilidad a factores externos que pudieren afectar la rentabilidad de estos. Por lo que es importante implementar estrategias que garanticen que el proyecto sea ejecutado dentro del plazo y tiempo presupuestados.
- La implementación de la soldadura automática DWS 2,0 mejorará la productividad, disminuirá costos por reprocesos y consumo de energía y por ende mejorará la rentabilidad del negocio. Así mismo la introducción de esta nueva tecnología trae consigo reducción de los riesgos ocupacionales y de los impactos ambientales (Descenso de los niveles de ruido, reducción de emisiones no ionizantes, disminución de gases nocivos-contaminantes, minimización de material particulado, disminución de residuos de material de aporte).

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Pagina web fabricación tecnología automática DWS 2,0
<http://www.pwtsrl.com>
- [2] INFANTE, Arturo. Evaluación Económica de Proyectos de Inversión. Biblioteca Banco Popular, Cuarta edición, Cali, 1978.
- [3] American Society Welding, manual de soldadura, tomo I.
- [4] ANZOLA ROJAS Sérvulo. Administración De Pequeñas Empresas. Editorial Mc Graw Hill. 1ª edition, 1993.
- [5] API Standard 1104. Nineteenth Edition, September 1999. Welding of Pipelines and Related Facilities.
- [6] BIONDI, Mario y C.T. de Zandona, María Fundamentos de la Contabilidad de, Ed. Macchi, cuarta edición actualizada, Buenos Aires, 1991.
- [7] VARELA V. Rodrigo. "Evaluación económica de alternativas operacionales y proyectos de inversión". Editorial Norma. Bogotá 1982. ISBN 34-8276-382-2.