

**Análisis de la viabilidad económica de la implementación de tuberías flexibles para  
transporte de hidrocarburos: un estudio desde el análisis de resultados**

**Eliana León de Ordóñez**

**Trabajo de grado para optar al título de Magíster en Administración**

**Director**

**Alfredo Enrique Sanabria Ospino**

**Magister en Finanzas**

**Universidad Santo Tomás, Bucaramanga**

**División de Ciencias Económicas y Administrativas**

**Maestría en Administración**

**2023**

### **Agradecimientos**

En este proceso quiero expresar mis agradecimientos a: Dios y a la Virgen de Guadalupe por las infinitas bendiciones; a mi esposo, Aníbal, mis hijos Juan Pablo, Sara e Isabela por ser el centro de mi vida y llenar mi corazón día a día de amor y energía; a mis padres, Martha, Armando, y Magola, a mi abuela Ana Rosa, y a mi abuelo Juan de Jesús mi ángel guardián en cada paso que he dado en mi vida; a mis hermanos, Indira, Paola, Cindy, Maira, Julián, Víctor, a mi cuñado Sergio y Santiago mi sobrino, y finalmente a mis amigos, por todo el apoyo incondicional y cariño genuino; a mi mentor y director, Dr. Alfredo Enrique Sanabria por su orientación y sabios consejos que me brindó desde el pregrado; y finalmente a la mejor Universidad, Santo Tomas de Aquino de Bucaramanga, por mantenerse siempre a la vanguardia tecnológica, en el conocimiento, la innovación, la mejor infraestructura y mantener una planta de personal de alta calidad y con sentido humano, en donde obtuve el título como profesional en Negocios Internacionales y ahora he concluido mi programa de posgrado de la Maestría en Administración.

## Contenido

|  |    |
|--|----|
| Introducción .....   | 13 |
| 1. Análisis de la viabilidad económica de la implementación de tuberías flexibles para transporte de hidrocarburos: un estudio desde el análisis de resultados ..... | 15 |
| 1.1 Definición del Problema.....   | 15 |
| 1.2 Justificación.....   | 18 |
| 2. Objetivos .....   | 22 |
| 2.1 Objetivo general .....   | 22 |
| 2.2 Objetivos específicos.....   | 22 |
| 3. Marco referencial de transporte de hidrocarburos a través de tuberías.....  | 23 |
| 3.1 Generalidades .....  | 23 |
| 3.2 Otros materiales utilizados para el transporte de hidrocarburos. ....  | 27 |
| 3.2.1 Fibra de vidrio rígida .....   | 27 |
| 3.2.2 Fibra de vidrio flexible .....   | 27 |
| 3.2.3 Polietileno reforzado con malla de acero .....   | 28 |
| 3.2.4 Polietileno con una película de poliamida.....   | 29 |
| 3.3 Antecedentes y estado del arte de las tuberías flexibles en campos petroleros.....   | 30 |
| 3.3.1 Casos de aplicación en el ámbito internacional.....  | 30 |
| 3.4 Casos de aplicación en el ámbito nacional.....   | 32 |
| 3.5 Marco teórico relacionados con Estudios Económicos.....  | 33 |
| 3.5.1 Generalidades .....  | 33 |
| 3.5.2 Principales Teorías .....  | 35 |
| 3.5.3 Indicadores financieros.....   | 38 |

|  |    |
|--|----|
| 4. Metodología .....   | 42 |
| 4.1 Tipo de estudio .....  | 42 |
| 4.2 Enfoque .....  | 42 |
| 4.3 Diseño metodológico.....   | 43 |
| 4.3.1 Fuente de datos .....  | 43 |
| 4.3.2 Métodos .....  | 43 |
| 5. Resultados .....  | 47 |
| 5.1 Resultados Objetivo 1: Identificar las características principales de las tuberías convencionales y flexibles para la conducción de hidrocarburos en superficie. ....                                  | 48 |
| 5.1.1 Comparación de las tuberías utilizadas en la industria petrolera.....  | 48 |
| 5.2 Resultados Objetivo 2: Establecer las variables esenciales en términos de inversión, instalación, mantenimiento, operación, ventas y servicios para la tubería convencional y la tubería flexible..... | 52 |
| 5.3 Resultados Objetivo 3: Evaluar el estado de resultados para la tubería convencional y la tubería flexible según las variables identificadas previamente.....   | 56 |
| 5.3.1 Estado de resultados: tubería metálica con revestimiento interno.....  | 56 |
| 5.3.2 Estado de resultados: tubería metálica sin revestimiento interno.....  | 59 |
| 5.3.3 Estado de resultados: tubería flexible Soluforce .....   | 61 |
| 5.3.4 Estado de resultados: tubería flexible Golsun .....  | 63 |
| 5.3.5 Estado de resultados: tubería flexible Fiber Spark .....   | 65 |
| 5.4 Resultados Objetivo 4: Determinar la viabilidad del uso de tuberías flexibles mediante un análisis comparativo del estado de resultados .....  | 67 |
| 5.4.1 Valor presente neto (VPN) -Tasa interna de retorno (TIR).....  | 67 |

|   |    |
|---|----|
| 5.4.2 Payback time Period (PBP) .....             | 68 |
| 5.4.3 Weighted Average Cost of Capital Debt ..... | 70 |
| 5.5 Análisis de Resultados .....                  | 73 |
| 6. Conclusiones .....                             | 74 |
| 7. Recomendaciones .....                          | 75 |
| Referencias.....                                  | 77 |

### Lista de tablas

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 1.</b> <i>Propiedades de los materiales más utilizados para la construcción de tuberías en el transporte de fluidos. Rango operacional .....</i>                                 | 29 |
| <b>Tabla 2.</b> <i>Propiedades de los materiales más utilizados para la construcción de tuberías en el transporte de fluidos, Rango operacional .....</i>                                 | 29 |
| <b>Tabla 3.</b> <i>Precio de costo asociado a cada ítem, según la tecnología a implementar. Cada ítem incluye materia prima, mano de obra y costos indirectos de fabricación.....</i>     | 55 |
| <b>Tabla 4.</b> <i>Precio de venta asociado a cada ítem, según la tecnología a implementar. Cada ítem incluye materia prima, mano de obra y costos indirectos de fabricación.....</i>     | 55 |
| <b>Tabla 5.</b> <i>Parámetros técnico-financieros para la implementación de la tecnología de tuberías convencionales y flexibles. Caso de aplicación: Piedemonte Llanero .....</i>        | 56 |
| <b>Tabla 6.</b> <i>Parámetros técnico-financieros para la implementación de la tecnología de tubería convencional con recubrimiento. Caso de aplicación: Piedemonte Llanero .....</i>     | 56 |
| <b>Tabla 7.</b> <i>Costos relacionados con la materia prima tubería convencional con recubrimiento... 57</i>  | 57 |
| <b>Tabla 8.</b> <i>Costos relacionados con la mano de obra directa tubería convencional con recubrimiento.....</i>  | 57 |
| <b>Tabla 9.</b> <i>Costos relacionados con costo, seguro y flete, puerto de destino convenido tubería convencional con recubrimiento.....</i>   | 57 |
| <b>Tabla 10.</b> <i>Total de costos tubería convencional con recubrimiento .....</i>  | 57 |
| <b>Tabla 11.</b> <i>Estado de resultados. Sección de costos y utilidades tubería convencional con recubrimiento.....</i>  | 58 |
| <b>Tabla 12.</b> <i>Parámetros técnico-financieros para la implementación de la tecnología de tuberías convencionales sin recubrimiento. Caso de aplicación: Piedemonte Llanero. ....</i> | 59 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 13.</b> <i>Costos relacionados con la materia prima de tuberías convencionales sin recubrimiento</i> .....  | 59 |
| <b>Tabla 14.</b> <i>Costos relacionados con la mano de obra directa tuberías convencionales sin recubrimiento</i> .....  | 59 |
| <b>Tabla 15.</b> <i>Costos relacionados con costo, seguro y flete, puerto de destino convenido de tuberías convencionales sin recubrimiento</i> .....                                | 60 |
| <b>Tabla 16.</b> <i>Total de costos tuberías convencionales sin recubrimiento</i> .....  | 60 |
| <b>Tabla 17.</b> <i>Total ventas tuberías convencionales sin recubrimiento</i> .....   | 60 |
| <b>Tabla 18.</b> <i>Estado de resultados. Sección de costos y utilidades tuberías convencionales sin recubrimiento</i> .....   | 60 |
| <b>Tabla 19.</b> <i>Parámetros técnico-financieros para la implementación de la tecnología de tubería flexible Soluforce. Caso de aplicación: Piedemonte Llanero</i> .....           | 61 |
| <b>Tabla 20.</b> <i>Costos relacionados con la materia prima tubería flexible Soluforce</i> .....  | 61 |
| <b>Tabla 21.</b> <i>Costos relacionados con la mano de obra directa tubería flexible Soluforce</i> .....   | 62 |
| <b>Tabla 22.</b> <i>Costos relacionados con costo, seguro y flete, puerto de destino convenido tubería flexible Soluforce</i> .....  | 62 |
| <b>Tabla 23.</b> <i>Total de costos tubería flexible Soluforce</i> .....   | 62 |
| <b>Tabla 24.</b> <i>Total de ventas tubería flexible Soluforce</i> .....   | 62 |
| <b>Tabla 25.</b> <i>Estado de resultados. Sección de costos y utilidades.</i> .....  | 62 |
| <b>Tabla 26.</b> <i>Parámetros técnico-financieros para la implementación de la tecnología de tuberías convencionales y flexibles. Caso de aplicación: Piedemonte Llanero.</i> ..... | 63 |
| <b>Tabla 27.</b> <i>Costos relacionados con la materia prima tubería flexible Golsun</i> .....   | 63 |
| <b>Tabla 28.</b> <i>Costos relacionados con la mano de obra directa tubería flexible Golsun</i> .....  | 63 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 29.</b> <i>Costos relacionados con costo, seguro y flete, puerto de destino convenido tubería flexible Golsun</i> .....   | 63 |
| <b>Tabla 30.</b> <i>Total de costos tubería flexible Golsun</i> .....  | 64 |
| <b>Tabla 31.</b> <i>Total de ventas tubería flexible Golsun</i> .....  | 64 |
| <b>Tabla 32.</b> <i>Estado de resultados. Sección de costos y utilidades tubería flexible Golsun</i> .....   | 64 |
| <b>Tabla 33.</b> <i>Parámetros técnico-financieros para la implementación de la tecnología de tuberías convencionales y flexibles. Caso de aplicación: Piedemonte Llanero.</i> ..... | 65 |
| <b>Tabla 34.</b> <i>Costos relacionados con la materia prima tubería flexible Fiber Spark</i> .....  | 65 |
| <b>Tabla 35.</b> <i>Costos relacionados con la mano de obra directa tubería flexible Fiber Spark</i> .....   | 65 |
| <b>Tabla 36.</b> <i>Costos relacionados con costo, seguro y flete, puerto de destino convenido tubería flexible Fiber Spark</i> .....  | 65 |
| <b>Tabla 37.</b> <i>Total de costos tubería flexible Fiber Spark</i> .....   | 65 |
| <b>Tabla 38.</b> <i>Total de ventas tubería flexible Fiber Spark</i> .....   | 66 |
| <b>Tabla 39.</b> <i>Estado de resultados. Sección de costos y utilidades tubería flexible Fiber Spark</i> .....  | 66 |
| <b>Tabla 40.</b> <i>Cálculo de VPN y TIR, tuberías convencionales</i> .....  | 67 |
| <b>Tabla 41.</b> <i>Cálculo de VPN y TIR, tuberías flexibles</i> .....   | 67 |
| <b>Tabla 42.</b> <i>Cálculo de payback time según resultados de inversión inicial. Tubería con revestimiento</i> .....   | 68 |
| <b>Tabla 43.</b> <i>Cálculo de payback time según resultados de inversión inicial. Tubería sin revestimiento</i> .....   | 69 |
| <b>Tabla 44.</b> <i>Cálculo de payback time según resultados de inversión inicial. Tubería Soluforce</i> ...   | 69 |
| <b>Tabla 45.</b> <i>Cálculo de payback time según resultados de inversión inicial. Tubería Golsun</i> .....  | 69 |
| <b>Tabla 46.</b> <i>Cálculo de payback time según resultados de inversión inicial. Tubería Fiber Spark</i>   | 69 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 47.</b> <i>Beta desapalancado promedio del sector hidrocarburo .....</i>                         | 71 |
| <b>Tabla 48.</b> <i>Cálculo WACC según resultados de costos totales. Tuberías con revestimiento .....</i> | 71 |
| <b>Tabla 49.</b> <i>Cálculo WACC según resultados de costos totales. Tuberías sin revestimiento .....</i> | 72 |
| <b>Tabla 50.</b> <i>Cálculo WACC según resultados de costos totales. Tuberías Soluforce .....</i>         | 72 |
| <b>Tabla 51.</b> <i>Cálculo WACC según resultados de costos totales. Tuberías Golsun .....</i>            | 72 |
| <b>Tabla 52.</b> <i>Cálculo WACC según resultados de costos totales. Tuberías Fiber Spark .....</i>       | 72 |

**Lista de figuras**

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1.</b> <i>Costo asociado a los métodos de transporte más comunes</i> .....  | 24 |
| <b>Figura 2.</b> <i>Proyectos en ejecución y futuros en transporte e infraestructura de combustibles en Colombia</i> .....  | 25 |
| <b>Figura 3.</b> <i>Variables asociadas a la implementación de las diferentes tecnologías. Compra y mantenimiento</i> ..... | 53 |
| <b>Figura 4.</b> <i>Variables asociadas a la implementación de las diferentes tecnologías. Abandono...</i>                  | 53 |
| <b>Figura 5.</b> <i>Variables asociadas a la implementación de las diferentes tecnologías. Instalación.</i>                 | 54 |

### **Resumen**

Uno de los procesos más importantes en la cadena de generación de valor de las empresas dirigida a la extracción de hidrocarburos, es el transporte de este a las centrales de tratamiento, acondicionamiento y procesamiento. De acuerdo con estadísticas presentadas por el Departamento Nacional de Planeación (DPN), cerca del 90% de los hidrocarburos producidos en el país, tienden a ser transportados por tuberías denominadas ductos, cuya característica principal es que está elaborado de materiales metálicos las cuales, dependiendo de la fase que se transporte, se le asigna un sufijo para describir el fluido (Oleoductos, Gasoductos, Poliductos). No obstante, este tipo de tuberías presenta diversos problemas, tanto económicos como operacionales asociados a la corrosión, tratamientos químicos y montajes en zonas geoméricamente irregulares. Para dar solución a este problema, diversas compañías han propuesto el uso de tuberías flexibles, construidas a base de componentes no metálicos, que mejoran la calidad, durabilidad e instalación del producto. Con base en lo anterior, el presente proyecto analizó la viabilidad económica de la implementación de tuberías flexibles para transporte de hidrocarburos, considerando tres de las principales marcas existentes actualmente en el mercado, y comparando los resultados con la implementación de tuberías convencionales. Esto se hizo a través de un estado de resultado y estudios económicos complementarios (TIR, VPN, etc.). Como conclusión, se evidenció que la tubería flexible permite alcanzar márgenes económicos mucho mayores, con tasas de retorno por encima de lo alcanzado con la tecnología convencional y payback time mucho más rápido.

*Palabras clave:* oleoductos, transporte por tuberías, análisis financiero, estado de resultados

### **Abstract**

One of the most important processes in the value generation chain of a company dedicated to the extraction of hydrocarbons is the transportation of hydrocarbons to the treatment, conditioning, and processing plants. According to statistics presented by the National Planning Department (DPN), about 90% of the hydrocarbons produced in the country tend to be transported through pipelines called ducts, whose main characteristic is that they are made of metallic materials which, depending on the phase being transported, are assigned a suffix to describe the fluid (Oil Pipelines, Gas Pipelines, Polyducts). However, this type of pipelines presents several problems, both economic and operational, associated to corrosion, chemical treatments, and assemblies in geometrically irregular areas. To solve this problem, several companies have proposed the use of flexible pipes, built with non-metallic components, which improve the quality, durability, and installation of the product. As a proof of entrepreneurship, the company REDO S.A.S. arises as a family business initially focused on the commercialization, installation, and specialized technical assistance of metallic and non-metallic piping technology. Based on the above, this project analyzed the economic feasibility of the implementation of flexible pipes for hydrocarbon transportation, considering three of the main brands in the market, and comparing the results with the implementation of conventional pipes. This was done through a profit and loss statement and complementary economic studies (IRR, NPV, etc.). As a conclusion, it was evidenced that the flexible pipeline allows reaching much higher economic margins, with rates of return above those achieved with conventional technology and a much faster payback time.

*Keywords:* pipelines, pipeline transportation, financial analysis, income statement

## Introducción

Una de las fases más significativas en el proceso de creación de valor para una empresa que se enfoca en la extracción de hidrocarburos, es el transporte de este a las centrales de tratamiento, acondicionamiento y procesamiento. De acuerdo con estadísticas presentadas por el Departamento Nacional de Planeación (DPN), cerca del 90% de los hidrocarburos producidos en el país, tienden a ser transportados por tuberías denominadas ductos, cuya característica principal es que está elaborado de materiales metálicos las cuales, dependiendo de la fase que se transporte, se le asigna un sufijo para describir el fluido (Oleoductos, Gasoductos, Poliductos). Esta tecnología ha sido implementada en Colombia durante más de 40 años y permitió reducir significativamente el costo del transporte de hidrocarburos hacia las refinerías, plantas de tratamiento y puertos de exportación.

La incorporación de la tubería convencional permite la movilización de los fluidos, existen una serie de problemáticas que originan la necesidad de mejorar las tecnologías convencionales o incorporar al mercado nuevas herramientas. Los problemas asociados son corrosión, inestabilidad en condiciones de sobrepresión, y dificultad en montajes en zonas geométricamente irregulares, debido al carácter no dúctil del material de fabricación (Schlumberger, 2004). Buscando mitigar o reducir la ocurrencia de este tipo de dificultades, una de estas tecnologías emergentes se denomina tubería flexible, las cuales están compuestas por capas de polímeros que permiten mejorar propiedades de maleabilidad y resistencia a picaduras y corrosión; siendo entonces una alternativa con amplia posibilidad de mejorar el transporte de hidrocarburos. Sin embargo, al ser una tecnología relativamente nueva, pocos estudios se han desarrollado en relación con los aspectos económicos y la factibilidad de implementar estas en campos petroleros colombianos, por lo cual las empresas asociadas a la presentación de este tipo de servicios han optado por continuar con el

uso de tuberías metálicas. Simultáneamente, la incorporación de estos prototipos permitiría la reducción de los tiempos no productivos, y la consecuente mejora de la productividad no solo en operaciones de transporte, sino a su vez se a nivel de subsuelo en operaciones de perforación, siendo este una etapa con un rol muy representativo en el sector industrial de los hidrocarburos.

Aunque la implementación de las tuberías flexibles podría acarrear mayores costos de inversión, se disminuirán costos asociados a mantenimiento, restauración y reemplazo. Además, este tipo de tecnología podría ofrecer mejores garantías a nivel de seguridad, rangos operaciones y tiempos productivos. Teniendo en cuenta la temprana etapa de incorporación de la tecnología, la literatura no reporta un estudio comparativo, tanto técnicos como financieros, entre la tecnología convencional y la emergente.

Debido a la gran oportunidad que representa el estudiar esta tecnología, y en vista de que la tendencia de inversión en Colombia está enfocada en el transporte por oleoductos, la cual puede ascender hasta los cinco mil millones de dólares, el presente trabajo se centró en ejecutar un análisis de la viabilidad económica de la implementación de tuberías flexibles para transporte de fluidos en el sector hidrocarburos desde el análisis de resultados. Para cumplir con este objetivo, inicialmente se estudiaron las variables operacionales y características generales de las tuberías convencionales y flexibles, estableciendo un cuadro comparativo de los rangos operacionales y determinando/clasificando los costos según OPEX y CAPEX. Por último, se ejecutó un análisis económico, el cual consta de análisis de costos y ventas, estado de resultados, Valor Presente Neto/TIR, *Payback Time* y Costo promedio ponderado del capital (WACC). Los resultados obtenidos indican que la tecnología de tuberías flexibles presenta una oportunidad rentable y de poca inversión constante en el tiempo, obteniendo una tasa interna de retorno del 100% en promedio y reduciendo los problemas operacionales que poseen las tuberías convencionales.

## **1. Análisis de la viabilidad económica de la implementación de tuberías flexibles para transporte de hidrocarburos: un estudio desde el análisis de resultados**

### **1.1 Definición del Problema**

El petróleo es un combustible de primera necesidad que impulsa la industria y es considerado una de las principales fuentes de energía que soporta una amplia gama de actividades económicas (Kilian y Park, 2009). Por esto, la estructura de las tuberías que transportan los hidrocarburos debe mantenerse íntegra, evitando un impacto negativo sobre el ecosistema, la sociedad y la economía (Meléndez, F. *et al.*, 2017). En la actualidad, la movilización de hidrocarburos inicia en el brocal del pozo y llega a lugares específicos donde posteriormente se almacena y procesa (OPL, 2021). Para esta movilización los medios más implementados en el transporte de hidrocarburos son los autotanques y barcos, en el caso del crudo. Por otra parte, los productos que se derivan del petróleo suelen distribuirse en camiones, barcos, trenes, vagones cisterna, entre otros.

En la última parte del siglo XX, la solicitud global de petróleo sin refinar mostró una tasa de crecimiento anual notablemente constante, con un promedio cercano al 1% (IEA, 2010). Basándonos en esto, se puede inferir que el petróleo seguirá desempeñando un papel central como fuente principal de energía en las próximas cinco décadas. Con base en las proyecciones de la Agencia Internacional de Energía (AIE) (IEA, 2010), históricamente, la demanda de petróleo pesado y extrapesado ha sido marginal debido a su alta viscosidad y complejidad de composición que los hace difíciles y costosos de producir, transportar y refinar (IEA, 2022).

Naciones como China, Japón y Estados Unidos, que experimentan un aumento en su demanda energética, están impulsando la reorganización de sus sectores de refinación para hacer

frente a esta creciente necesidad de petróleo crudo. El transporte mediante oleoductos se destaca como el procedimiento más eficiente y rentable económicamente para el transporte continuo de crudo y sus derivados (Pérralta, et al., 2017). Sin embargo, este proceso enfrenta dificultades debido a la baja movilidad y fluidez del crudo, así como la acumulación de cera y asfáltenos en las paredes internas de los oleoductos, lo que hace el transporte por oleoductos uno de los problemas tecnológicos de los mercados energéticos (Martínez-Palou et al., 2011).

Con base en lo anterior, autores afirman que las tuberías que transportan estos hidrocarburos son uno de los principales focos de atención en el tema (Martínez, et al., 2011). Adicionalmente, algunas propiedades como lo son la instalación, durabilidad y mantenimiento de las tuberías que transportan crudo, y las necesidades económicas actuales han llevado a la necesidad de estudios que permitan identificar nuevas alternativas para llevar a cabo esta tarea de forma segura y eficiente, llevando por ejemplo a la incorporación de láminas metálicas y termoplásticas en estos dispositivos de transporte, garantizando inversiones optimas. Otros autores, han reportado refuerzos en las propiedades mecánicas de estos materiales con alambres de acero. A pesar de lo anterior, algunas de estas soluciones no han logrado la eficiencia y seguridad necesaria para el objetivo propuesto generando sobrecostos y perdidas en las inversiones realizadas. Razón por la cual las acciones que aporten en la disminución de costos, garantizando resistencia, baja corrosión y una adecuada relación resistencia/costos de las tuberías convencionales cobra vital importancia.

En el mismo sentido, con relación a la tubería flexible entre sus múltiples ventajas están los costos a largo plazo y tiempo operacional de uso, la movilidad, la profundidad y dimensiones alcanzadas en la perforación, además la fortaleza ante sustancias corrosivas como gases ácidos, tales como el  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{S}$ . Otras ventajas destacadas de este material en el uso en hidrocarburos es

el excelente bombeo de fluidos independientemente de su ubicación dentro del pozo, su capacidad de circular fluidos antes, durante y después de tomar los registros y su importante reducción de recursos materiales y humanos con su uso.

En la actualidad, las compañías dedicadas al sector de hidrocarburos están enfocadas en adoptar tecnologías avanzadas que optimicen sus operaciones y maximicen la rentabilidad, con el objetivo principal de generar valor. Indicadores clave como las ganancias, la rentabilidad y el flujo de caja libre son utilizados para evaluar la creación de valor y facilitar el crecimiento empresarial (Periódico de la Energía, 2018). Para los inversores, el valor se evalúa mediante una combinación de ingresos y utilidades generadas, la reinversión en el negocio, la generación de flujos de caja libre y el paralelo entre la rentabilidad o utilidad de la inversión y el costo de capital (De La Hoz Suárez et al., 2008). Cada uno de estos elementos se vuelve relevante para comprender el aporte de cada línea de negocio, lo que hace esencial una segmentación precisa de costos directos y una asignación equitativa de costos compartidos o indirectos, asegurando así un análisis objetivo y preciso de la información.

En este sentido, a lo largo del territorio colombiano, se encuentran distribuidos alrededor de 3000 kilómetros de tubería, destacando el oleoducto de Caño Limón-Coveñas, el oleoducto Orensa, y el oleoducto Colombia (Ecopetrol, 2014), donde aunque la incorporación de la tubería convencional permite la movilización de los fluidos, existen una serie de problemáticas que originan la necesidad de mejorar las tecnologías convencionales o incorporar al mercado nuevas herramientas que permitan optimizar y mejorar los procesos tanto en costos como en eficiencia. Entre las diferentes problemáticas que se observan en los oleoductos colombianos se encuentran la corrosión, inestabilidad en condiciones de sobrepresión, y dificultad en montajes en zonas geométricamente irregulares, debido al carácter no dúctil del material de fabricación

(Schlumberger, 2004). Razón por la cual y buscando mitigar o reducir la ocurrencia de este tipo de dificultades, diferentes compañías han venido realizando una serie de proyectos de investigación aplicada, dirigidos a la manufactura de tuberías flexibles con características más resistentes a las utilizadas convencionalmente, iniciar con la incorporación de estos prototipos permitiría la reducción de los tiempos no productivos, y la consecuente mejora de la productividad no solo en operaciones de transporte, sino a nivel de subsuelo en operaciones de perforación, siendo este una etapa con un rol muy representativo en la industria de los hidrocarburos, permitiendo tener adecuadas inversiones a mediano y largo plazo. Es importante contar con este tipo de análisis económicos comparativos de tuberías convencionales y flexibles en la conducción de hidrocarburos que aporten a la toma de decisiones en el ámbito administrativo. Ante lo descrito anteriormente, surge un interrogatorio: ¿Cuál es la viabilidad económica de la implementación de tuberías flexibles para transporte de hidrocarburos en Colombia?

## **1.2 Justificación**

Una mayor eficiencia en los costos del transporte de hidrocarburos es una parte esencial de la respuesta a corto y largo plazo en el mercado energético, donde en general, se ha prestado menos atención a las medidas del lado de la demanda, y donde las nuevas políticas en los principales mercados energéticos ayudan a impulsar la inversión en energías en más de USD 2 billones para 2030, generando una gran oportunidad para el crecimiento operacional, organizacional, de la tecnología y el empleo en este campo, lo que lo convierte en un importante escenario para la competencia económica internacional (IEA, 2022). Estudios internacionales prevén que, en los próximos 20 años con la transición energética, el 80% de los requerimientos energéticos del mundo provendrán del petróleo, el gas natural y el carbón(IEA, 2022). Actualmente, las operaciones de

transporte para fluidos tanto en estado gaseoso como líquido, se realiza mediante largos tramos de tubería rígida denominados oleoductos o gasoductos, de acuerdo con la fase del fluido conducido al interior de estas. Aunque la incorporación de la tubería convencional permite la movilización de los fluidos, existen una serie de problemáticas que originan la necesidad de mejorar las tecnologías convencionales o incorporar al mercado nuevas herramientas (Schlumberger, 2004), teniendo como base análisis operativos, como punto de inicio para la generación de propuestas económicas viables a partir de resultados obtenidos en la práctica.

Diferentes estudios han buscado mitigar o reducir la ocurrencia de dificultades como corrosión, inestabilidad en condiciones de sobrepresión, y dificultad en montajes en zonas geoméricamente irregulares, debido al carácter no dúctil del material de fabricación (Schlumberger, 2004), lo anterior puede generar sobrecostos, fallas en el suministro y reprocesos operativos y administrativos entre otros. En este sentido un análisis económico permitirá conocer en realidad como la incorporación de estos prototipos podría reducir tiempos no productivos, y la consecuente mejora de la productividad no solo en operaciones de transporte, sino a nivel de subsuelo en operaciones de perforación, siendo este una etapa con un rol muy representativo en la industria de los hidrocarburos.

Es conocido que el transporte de petróleo crudo puede incluir niveles elevados de azufre, sales y metales como níquel y vanadio. Los oleoductos enfrentan desafíos relacionados con la inconstancia de asfáltenos, la precipitación de parafina y la alta densidad, lo que ocasiona un flujo multifásico, obstrucción de tuberías, caídas bruscas de presión y detenciones en la producción. Remolina, et al., 2019) por esto la presente propuesta pretende a través de un análisis económico examinar la viabilidad de la implementación de tuberías flexibles para transporte de hidrocarburos, apuntando al mejoramiento de factores relacionados con las problemáticas expuestas

anteriormente en lo concerniente a costos y manejos operacionales del transporte de crudo. Teniendo en cuenta factores como el prototipo de fluido a transportar, el territorio o sector en la que se instalará la tubería, las condiciones de operación y principalmente los costos, todo esto con el fin de satisfacer las necesidades desde diversos escenarios y obtener así un estudio organizativo que aporte a la industria de hidrocarburos.

Las tuberías flexibles pueden adaptarse mejor a cambios en las condiciones del terreno, como asentamientos, cambios de temperatura y fluctuaciones en los niveles de agua. Desde el punto de vista económico, esto puede resultar beneficioso, ya que implica una disminución de los costos relacionados con la necesidad de reubicar o realizar modificaciones en la infraestructura ya existente. Es importante considerar otros aspectos relevantes como la reducción de costos de instalación ya que las tuberías flexibles son más fáciles y rápidas de instalar en comparación con las tuberías rígidas. Esto implica una reducción de los costos de mano de obra y de equipos prioritarios para la instalación. Además, las tuberías flexibles se pueden transportar y almacenar de manera más eficiente, lo que también contribuye a reducir los costos logísticos. Con relación a la vida útil de estas es mayor y tienen menor necesidad de mantenimiento porque las tuberías flexibles están diseñadas para soportar condiciones adversas y son menos propensas a la corrosión y a las fugas en comparación con las tuberías rígidas. Esto implica una vida útil más larga y una menor necesidad de mantenimiento, lo que se traduce en ahorros económicos a largo plazo. Adicionalmente, tienen mayor capacidad de resistencia a terremotos y movimientos del terreno porque tienen la capacidad de absorber y resistir movimientos sísmicos y deformaciones del terreno sin sufrir daños significativos. En áreas propensas a terremotos o con suelos inestables, esto puede ser especialmente beneficioso, ya que reduce el riesgo de interrupciones en el suministro y los costos relacionados con reparaciones y cambios.

En el ámbito de la economía, comprender y analizar los fenómenos económicos es esencial para tomar decisiones informadas, diseñar políticas efectivas y contribuir al desarrollo económico. Para lograr estos objetivos, se utilizan diversas metodologías de estudios económicos, que son enfoques y técnicas que permiten examinar y evaluar los aspectos clave de la economía.

Dentro de los sectores beneficiados y teniendo en cuenta los tiempos de crisis, donde se busca aumentar o diversificar el suministro de petróleo y gas (IEA, 2022), este proyecto aporta en el análisis económico para la toma de decisiones como punto de partida de un posible cambio estructural de estos dispositivos, manteniendo los estándares de calidad y relación costo-beneficio para el transporte de crudo.

Un análisis económico en relación a esta problemática es fundamental para evaluar la viabilidad, rentabilidad y riesgos asociados con la implementación de tuberías flexibles en oleoductos. Al considerar los aspectos económicos, las empresas pueden tomar decisiones informadas que equilibren la eficiencia, el rendimiento y los costos para lograr un desarrollo exitoso y sostenible de los oleoductos.

Estos resultados se extienden a todos los oleoductos en Colombia que tengan características similares a las analizadas en este trabajo. Adicionalmente permitirá a los administradores de los recursos y tomadores de decisiones en esta área conocer las condiciones necesarias para la implementación de tuberías flexibles para transporte de hidrocarburos desde una perspectiva organizacional. Este trabajo proporciona un marco de trabajo y herramientas analíticas que ayudarán a los investigadores y analistas a obtener información sobre su funcionamiento. Esto tendría significativas aplicaciones en la práctica, ya que los administradores de recursos podrán tomar decisiones con base en los resultados de este trabajo. Asimismo, es importante para el

gobierno nacional, en la medida que va a conocer un estudio de la viabilidad económica al implementar tuberías flexibles para el transporte de hidrocarburos.

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo general**

Efectuar un Análisis de la viabilidad económica de la implementación de tuberías flexibles para transporte de hidrocarburos.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Identificar las características principales de las tuberías convencionales y flexibles para la conducción de hidrocarburos en superficie.
- Establecer las variables esenciales en términos de inversión, instalación, mantenimiento, operación, ventas y servicios para la tubería convencional y la tubería flexible según el caso de estudio sugerido.
- Evaluar el estado de resultados para la tubería convencional y la tubería flexible según las variables identificadas previamente.
- Determinar la viabilidad del uso de tuberías flexibles mediante un análisis comparativo del estado de resultados.

### **3. Marco referencial de transporte de hidrocarburos a través de tuberías**

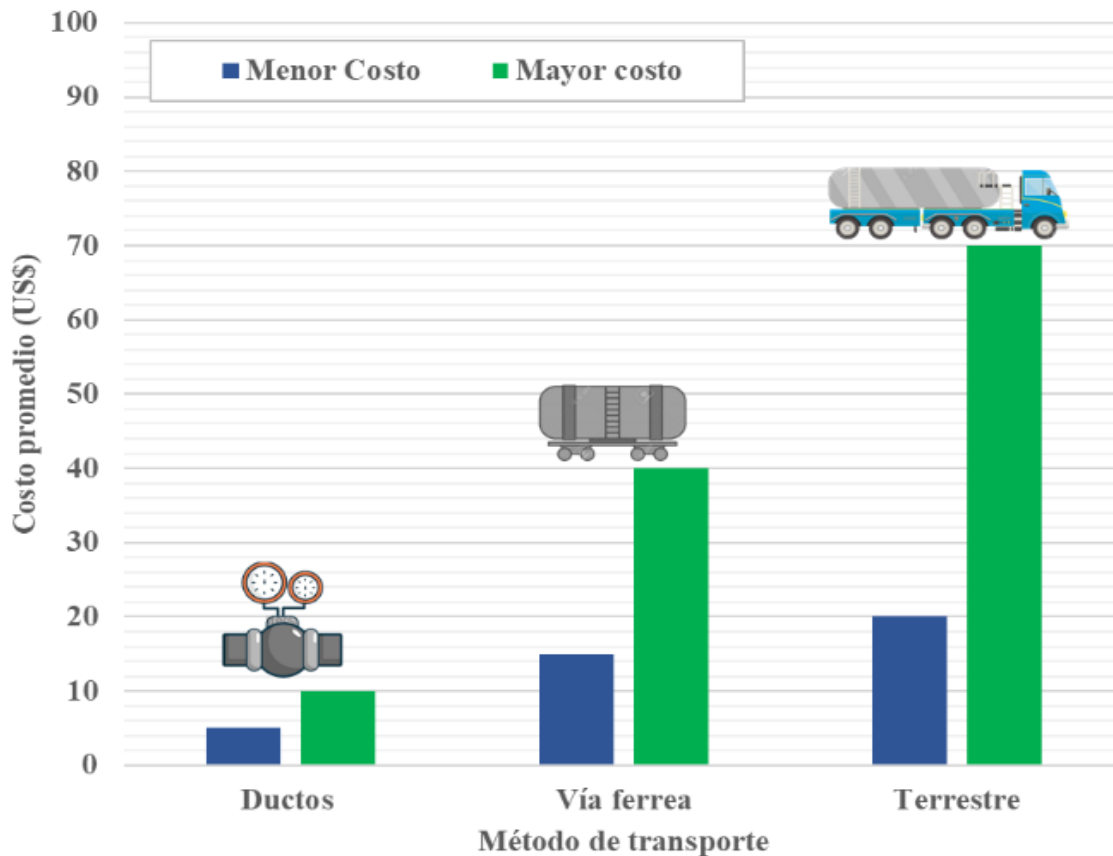
#### **3.1 Generalidades**

El transito inmediato al hallar y explotar un yacimiento es la circulación del petróleo hacia los puntos de refinación o a los puertos de embarque con destino a la exportación (ENAP, 2023). El método más frecuentemente empleado para distribuir hidrocarburos desde su lugar de extracción hasta los centros de comercialización o salida es el transporte mediante tuberías. Este proceso abarca diversas etapas, incluyendo el paso por terminales de almacenamiento del crudo e instalaciones de procesamiento de petróleo y gas. (Meléndez-Pertuz et al., 2017). Con el propósito de lograr esto, se lleva a cabo la construcción de un oleoducto, una tarea que implica el vínculo de tubos de acero a lo largo de una ruta específica, conectando así el campo productor con el lugar de refinación o embarque (Ramírez, 2006). Mediante esta vía, aproximadamente el 90% de los hidrocarburos producidos son transportados hacia refinerías y plantas de tratamiento de gas. Para ello, se dispone de un sistema de transporte que comprende unas 8.500 kilómetros de redes y canales principales de oleoductos y poliductos, los cuales llegan a los puntos de la terminal de Coveñas y Santa Marta, en el Atlántico, y Buenaventura y Tumaco, en el Pacífico (CONPES, 2016).

La capacidad de transporte de los oleoductos está relacionada con el tamaño de su diámetro, en lo consiguiente, cuanto más amplio sea el diámetro, mayor será su capacidad de resistencia. En la primera sección del oleoducto, una estación de bombeo impulsa el petróleo o fluido, y a lo largo de la ruta, se distribuye la ubicación estratégicamente a otras estaciones de bombeo según la topografía, para proporcionar la energía necesaria y garantizar el flujo del hidrocarburo. (Ramírez, 2006). Los oleoductos disponen también de válvulas que permitan controlar el paso del petróleo o fluido y atender rápida y oportunamente situaciones de emergencia (USM, 2012). La

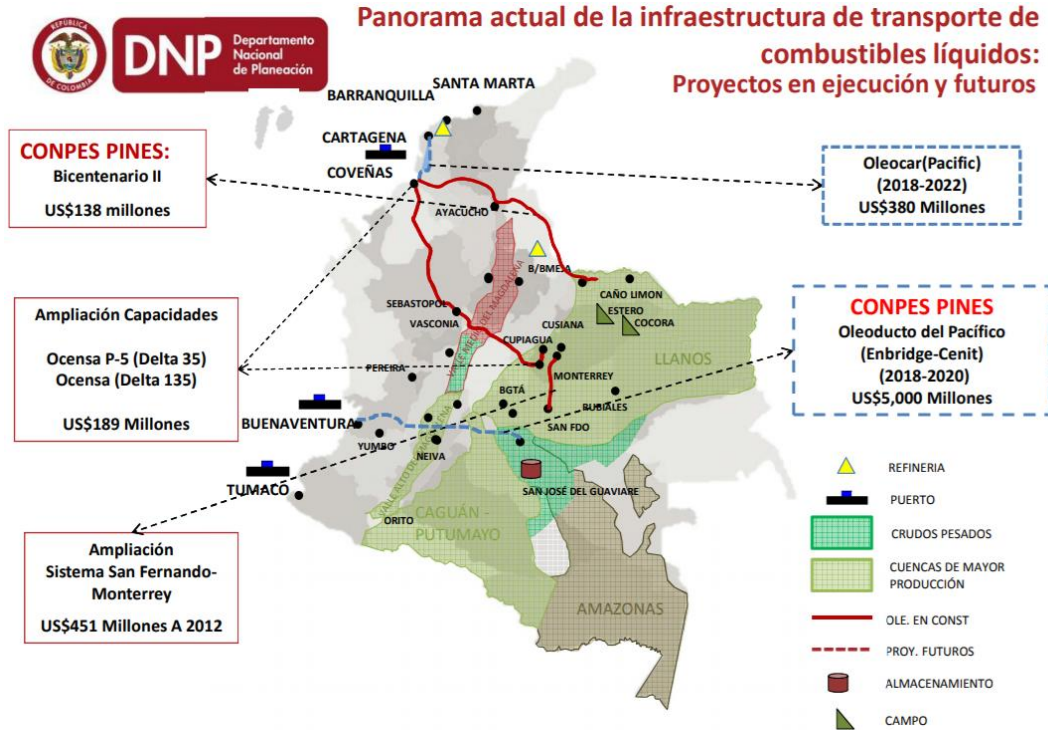
implementación de esta tecnología obedeció al descubrimiento de nuevos yacimientos en los años 70, lo cual requirió un transporte más eficiente y económico (Blanco et al., 2012) Debido a la complejidad geográfica y las características únicas de una región que incluye la cordillera de los Andes y sus tres grandes ramificaciones territoriales, la topografía se vuelve la más accidentada del continente. Los estudios correspondientes con a los costos asociados a este hito, resumidos en la figura 1, relacionan un valor promedio entre US\$5 y US\$10, en comparación con los US\$20 a US\$30 del transporte terrestre; lo que deja en evidencia la importancia de este método y justifica la inversión prospectiva en la cadena de transporte en el país, la cual asciende hasta los cinco mil millones de dólares (figura 2) ( CONPES, 2016).

**Figura 1.** Costo asociado a los métodos de transporte más comunes



Adaptado de Carnegie Mellon University. (2017).

**Figura 2.** *Proyectos en ejecución y futuros en transporte e infraestructura de combustibles en Colombia*



Tomada de CONPES. (2016).

### 3.1.1 *Materiales utilizados para la construcción de tuberías.*

- Polietileno. Los ductos de polietileno permiten un fácil y ágil manejo de conducción del agua y combustibles gaseosos, adicionalmente pueden ser instalados por varios sistemas, como son el arado topo, entubados (relining) en tubos ya presentes en la industria, instalación sin apertura de zanja, entre otros. Una de las ventajas que se resalta es su durabilidad a los largo del tiempo de uso, el cual es superior a los 50 años, con un coeficiente residual de seguridad al alcanzar este tiempo (LEGIS, 2016). Es un material de bajo peso, no se oxida ni se corroe, por lo que su mantenimiento es de bajo costo, se descompone a una temperatura entre los 100 °C y 300 °C y menos denso que el agua (LEGIS, 2016; AM Group, s.f.). Esto hace que la vida útil de este tipo de tuberías pueda estar entre 30 y 50 años.

- Acero galvanizado. Estos ductos se crean de acero dulce, de un mínimo contenido en carbono. Se identifican con una tecnología de acero negro, donde se resalta que es de un material maleable y soldable. El gran dilema del acero es su menor resistencia a la corrosión, cuando se compromete al contacto con el aire y la humedad se oxida rápidamente y puede llegar a destrozarse por completo. En consiguiente, las tuberías o ductos de acero necesitan una protección mayor superficial, que constantemente es el galvanizado. Es muy apetecida en las instalaciones de agua de consumo humano. Su recubrimiento tiene como objetivo proteger la tubería contra oxidaciones y corrosiones (LEGIS, 2016).
- Acero inoxidable. Esta tubería está creada por una aleación de hierro con un porcentaje del 10% de cromo. El cromo proporciona a la aleación la cualidad de resistencia a la corrosión, porque al integrarse con el oxígeno ambiental, crea una delgada película de óxido de cromo que protege la tubería o ducto. Es uno de los principales materiales metálicos con mayor número de aplicaciones tanto en el sector doméstico como industrial. También puede instarse en los segmentos correspondientes a la red de rociadores de extinción de incendios, por su alta capacidad de resistencia a la temperatura, debido que está oficialmente clasificada como no combustible (LEGIS, 2016).
- Cobre. Denominado técnicamente tubo de cobre estirado de precisión sin soldadura, su proceso de creación o fabricación se soporta principalmente en la extrusión y el laminado. Es una de las tuberías que más usan para la conducción de fluidos. Se construye en formato de tiras o líneas rectas de 5 m de longitud para todos sus diámetros y también en rollos de 50 m hasta un diámetro exterior de 22 mm, mediante el recocido (tratamiento térmico) del tubo. Para su uso en instalaciones de refrigeración, la tubería se crea de cobre deshidratada

y limpia interiormente, la cual se nombra de manera distinta a la de fontanería (LEGIS, 2016).

### **3.2 Otros materiales utilizados para el transporte de hidrocarburos.**

#### **3.2.1 Fibra de vidrio rígida**

La tubería de fibra de vidrio, también conocida como compuesto de fibra de vidrio, ha encontrado aplicaciones en diversas industrias, incluyendo la generación de energía, la petroquímica y la desalinización. La tubería de fibra de vidrio es resistente a la corrosión, tiene un ciclo de vida que a menudo excede los 30 años, y se ha vuelto cada vez más deseable como alternativa al acero, otras aleaciones metálicas, hierro dúctil y hormigón. Según un artículo publicado en 2008, titulado "Tubería de gran diámetro: Función duradera en un mundo en crecimiento", más de 60.000 km (37.280 millas) de tubería compuesta de gran diámetro están en funcionamiento en todo el mundo ( Beetle Plastics, 2013).

#### **3.2.2 Fibra de vidrio flexible**

Las tuberías flexibles se consideran generalmente como tuberías que se desviarán al menos un 2% de su diámetro sin ningún daño. La clave del rendimiento de una tubería flexible es su capacidad para desviarse sin que se deforme o se agriete. Las tuberías flexibles más comunes que se utilizan actualmente son las de cloruro de polivinilo (PVC), polietileno de alta densidad (HDPE) y polipropileno. Se producen numerosas variedades de cada uno de ellos. La tubería de PVC es utilizada extensamente para las alcantarillas sanitarias y las cañerías de agua. La tubería de polipropileno se utiliza tanto para aplicaciones sanitarias como aplicaciones de alcantarillado de

tormentas. Para aprovechar los beneficios y evitar las limitaciones de las tuberías flexibles, es necesario entender cómo se desempeñan y cómo se definen sus propiedades.

### **3.2.3 Polietileno reforzado con malla de acero**

La tecnología de polietileno (PE) acompañado con malla de acero es un nuevo modelo de tubo de presión. Se construye incorporando el acero reforzado en forma de malla y el polietileno a través de la tecnología de extrusión (HTIDC, 2016). La malla de acero se ejecuta enrollando y soldando constantemente los alambres transversales en espiral a los alambres longitudinales para conformar una malla cilíndrica continua. Entre sus principales propiedades están:

- La rigidez intensa, fortaleza al impacto y la solidez es más alta que los tubos ordinarios del PE.
- El coeficiente de dureza a la fluencia y el bajo coeficiente de dilatación son parecidos a los de la tubería PE.
- El rendimiento de anticorrosión es idéntico a la tubería de PE. La resistencia a la temperatura son inclusive superiores a la tubería de PE. Coeficiente de conductividad térmica bajo.
- La superficie interna es lisa sin escalar. La disminución de carga de la tubería en paralelo con la tubería de acero es un 30% menor.
- Adaptando el diámetro de los alambres de acero y el grosor de la capa de plástico, se pueden crear tubos de diferentes niveles de presión.
- La probabilidad de vida de la utilidad global es superior a 50 años.
- Su peso es menor, con un montaje más rápido y conectado por el método de electro-fusión (HTIDC, 2016).

### 3.2.4 Polietileno con una película de poliamida

El polietileno de superior consistencia (HDPE, por sus siglas en inglés) es un polímero termoplástico creado a partir del monómero etileno. En ocasiones se llama "alquitrán" o "polietileno" cuando se implementa en las tuberías de HDPE. Con una alta conexión resistencia-densidad, el HDPE se implementa en la fabricación de botellas de plástico, tuberías solidas a la corrosión, geomembranas y madera plástica. El HDPE es generalmente reciclado, y tiene el número "2" como código de selección de la resina (Mexpolimeros, 2016).

A manera de resumen, en las tablas 1 y 2 se presentan las propiedades más importantes para el transporte de fluidos de las tuberías más empleadas en la industria de los hidrocarburos.

**Tabla 1.** *Propiedades de los materiales más utilizados para la construcción de tuberías en el transporte de fluidos. Rango operacional*

| Propiedad                                    | FRP    | Acero al carbono | Acero inoxidable |
|--|--------|------------------|------------------|
| Densidad (lb/in <sup>3</sup> )               | 0,065  | 0,284            | 0,286            |
| Resistencia a la tensión final (psi)         | N.A.   | 60.000           | 75.000           |
| Fuerza axial final (psi)                     | 20.000 | N.A.             | N.A.             |
| Límite elástico (psi)                        | N.A.   | 35.000           | 30.000           |
| Resistencia a la flexión (psi)               | 26.000 | N.A.             | N.A.             |
| Coefficiente de expansión térmica (in/in-F°) | 13E6   | 6,5E6            | 9,6E6            |

Tomado de Eisenman (1999).

**Tabla 2.** *Propiedades de los materiales más utilizados para la construcción de tuberías en el transporte de fluidos, Rango operacional*

| Material                    | Módulo elástico (psi E5) | Resistencia a la tracción (psi E3) | Alargamiento a la rotura (%) | Resistencia al impacto (ft-lbf) |
|-----------------------------|--------------------------|------------------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| Polietileno (baja densidad) | 0,25 – 0,41              | 1,2 – 4,6                          | 100 – 650                    | N.A.                            |
| Polietileno (alta densidad) | 1,55 – 1,58              | 3,2 – 4,5                          | 10 – 1200                    | 0,4 – 22                        |
| Cloruro de polivinilo       | 3,5 – 6,0                | 5,9 – 7,5                          | 40 – 80                      | 0,4 – 22                        |
| Politetrafluoroetileno      | 0,58 – 0,80              | 2,0 – 5,0                          | 200 – 400                    | 3                               |
| Polipropileno               | 1,6 – 2,3                | 4,5 – 6,0                          | 100 – 600                    | 0,4 – 1,2                       |
| Poliestireno                | 3,3 – 4,8                | 5,2 – 7,5                          | 1,2 – 2,5                    | 0,35 – 0,45                     |
| Poli metacrilato de metilo  | 3,3 – 4,7                | 7,0 – 11,0                         | 2 – 10                       | 0,3 – 0,6                       |
| Fenol-formaldehído          | 4,0 – 7,0                | 5,0 – 9,0                          | 1,5 – 2,0                    | 0,24 – 4,0                      |
| Nilón 66                    | 2,3 – 5,5                | 11,0 – 13,7                        | 15 – 300                     | 0,55 – 2,1                      |
| Poliéster                   | 4,0 – 6,0                | 7,0 – 10,5                         | 30 – 300                     | 0,25 – 0,70                     |
| Policarbonato               | 3,5                      | 9,5                                | 110                          | 16                              |

Adaptado de E. Reading. (s.f.).

### **3.3 Antecedentes y estado del arte de las tuberías flexibles en campos petroleros**

#### **3.3.1 Casos de aplicación en el ámbito internacional**

*Caso I:* Tecnología GOLSUN®

Compañía: Changchun Gaoxiang Special Pipes Co LTD

Año aplicación: 2015

Aplicación: Tecnología implementada como línea de flujo en el campo Tarim localizado en el desierto de Xinjiang Taklimakan (sometido a alta radiación UV) con un fluido de alta concentración de sales. Se usó una tubería reforzada con acero y una capa interna de material polimérico no polar lo cual la hace altamente resistente a la corrosión y a los aniones de cloro (Cl-) junto con conexiones de titanio aleado. Este conjunto fue diseñado e instalado para tener una vida útil de 30 años. Bajo estas condiciones la tubería convencional de acero fallaba en un periodo de 1-2 meses. No se encontraron artículos o informe parcial de resultados.

*Caso II:* Tecnología FiberSpar®

Compañía: Fiber Glass System.

Año de aplicación: 1992, 1997, 2001, 2002, 2003.

Aplicación: Se instalaron líneas de superficie (2 pulgadas de diámetro y 22000 pies de longitud) para transporte de fluidos a pozos de inyección de Agua y CO<sub>2</sub> a alta presión (presión de operación: 2500 psi) en el campo Dollarhide en el este de Texas. En 1992 se instalaron las primeras 17 líneas para inyección de agua y en 1997 se convirtieron 5 pozos a inyección de CO<sub>2</sub>. En 2001 se retornaron los pozos a inyección de agua para un año después (2002) ser reconvertidos a inyectoras de CO<sub>2</sub> y en 2003 se convirtieron todos los 17 pozos a inyectoras de CO<sub>2</sub>. Las condiciones de flujo de CO<sub>2</sub> son: 500000 a 1000000 pies cúbicos por día, presión de 1900 psi,

temperatura entre 70°F y 80°F. Las condiciones de operación de las líneas de agua son: Flujo de 300 a 400 bbl/día, presión de 2000 psi y temperatura de 70°F – 80°F.

*Caso III: Tecnología Soluforce®*

Compañía: PipeLife.

Año aplicación: 2001 – 2003.

Aplicación: Saudi Aramco instaló tubería flexible como línea de flujo para el pozo 61 (inyector de agua) en el 2001, donde se presentaban presiones de 1260 psi, una temperatura de 120°F y un caudal de 15404 BPD. Para el 2003 se realizó la misma operación para los pozos inyectores 104 y 117 los cuales presentaban las siguientes características: Presión , Temperatura , Caudal , Presión , Temperatura , Caudal . Para el 18 de diciembre de 2006 las líneas no presentaban ninguna falla.

*Caso IV: Tecnología FlexPipe LinePipe®*

Compañía: Flexpipesystems.

Año de aplicación: 2014.

Aplicación: En agosto de 2014, Beaumont Energy inició una aplicación de este tipo de tubería en Canadá (Kerrobot, Saskatchewan) para un plan de trabajo de inyección de agua, se usaron líneas de 3 y 4 pulgadas para un total de 132 km de longitud de tubería flexible enterrada. A la fecha de consulta (Febrero – 2017), la línea no presentaba ninguna falla.

*Caso V: Tecnología FlexSteel®*

Compañía: Flexsteel Pipe Technologies Inc.

Año de aplicación: No especificado

Aplicación: En México en la cuenca de Burgos (Onshore) se instalaron cerca de 70 km de tubería Flexsteel de 4 pulgadas de diámetro, resistente a presiones de 2250 psi para pozos de

inyección con altos contenidos salinos. Fueron instaladas 40 líneas de flujo de agua, donde se reportó reducción del tiempo de instalación y una mínima afectación de las áreas naturales por las que pasan las líneas. Información suministrada por el proveedor en su sitio WEB.

### **3.4 Casos de aplicación en el ámbito nacional**

En Colombia se han llevado a cabo proyectos piloto de esta tecnología. Estas obras se han llevado a cabo en Campo Orito en Putumayo, Campo Tibú en Norte de Santander y Casabe en el Valle Medio del Magdalena. El impacto de la tecnología ha generado que países del primer mundo como Alemania, Estados Unidos y Holanda despierten interés en su implementación, por lo que de manera interna diferentes compañías han realizado estudios de mercado. Esto ha permitido corroborar y rectificar que, aunque las tuberías no metálicas representen mayores costos a nivel de inversión, esta podría representar una solución viable tanto a nivel técnico como financiero basado en la vida útil promedio de estos materiales, la disminución de costos de mantenimiento y cambio, y la reducción de tiempos no productivos. Adicionalmente, el panorama de las tuberías convencionales ha cambiado a nivel de fabricación y comercialización teniendo en cuenta principalmente el incremento del precio del acero al carbono y sus derivados evidenciado durante los últimos años.

Según el instituto Asteco (2018), la industria metalúrgica está atravesando un periodo de retos debido al incremento en el valor de las materias primas, provocando así una reestructuración de los productos, los procesos y los precios al mercado actual. De manera contradictoria, el precio de materiales como la fibra de aramida, siendo esta materia prima principal de las tuberías no metálicas, ha disminuido drásticamente durante los últimos diez años. Estos cambios o

fluctuaciones permitirían que las tuberías no metálicas consolidaran puntos a favor a nivel de inversión inicial en campos petroleros.

### **3.5 Marco teórico relacionados con Estudios Económicos**

#### **3.5.1 Generalidades**

El estudio de las metodologías de estudios económicos ha sido fundamental en la evolución de la disciplina económica a lo largo de la historia. Desde los enfoques clásicos hasta los modernos, los economistas han desarrollado una variedad de herramientas y técnicas para investigar y comprender la economía en diferentes niveles, desde el análisis microeconómico de los comportamientos individuales hasta el estudio macroeconómico de las variables agregadas.

Una de las metodologías más utilizadas en los estudios económicos es el análisis económico, que se basa en la aplicación de teorías y modelos económicos para examinar el comportamiento de los agentes económicos y comprender las relaciones de causa y efecto en la economía (Romer, 1986). El análisis económico utiliza la lógica deductiva y el razonamiento económico para desarrollar teorías y modelos que ayudan a explicar y predecir los fenómenos económicos. Estos modelos económicos permiten a los economistas analizar las decisiones de los consumidores, la formación de precios en los mercados, la asignación de recursos y otros aspectos clave de la economía.

La econometría es otra metodología fundamental en los estudios económicos. Combina métodos estadísticos y modelos económicos para analizar y cuantificar las relaciones entre variables económicas (Greene, 2018). La econometría utiliza técnicas de estimación, pruebas de hipótesis y análisis de datos para estudiar las relaciones causales y obtener conclusiones empíricas.

Mediante la econometría, los investigadores pueden evaluar el impacto de políticas económicas, estimar modelos econométricos y realizar pronósticos sobre el comportamiento económico futuro.

La investigación empírica también desempeña un papel crucial en la metodología de estudios económicos. A través de la recolección y observación de datos empíricos, los investigadores pueden evaluar el impacto de políticas económicas, examinar comportamientos económicos reales y validar o refutar teorías económicas existentes (Mankiw, 2014). La investigación empírica puede basarse en datos primarios recopilados a través de encuestas y experimentos, así como en datos secundarios disponibles en fuentes gubernamentales, organismos internacionales y bases de datos económicas.

Otra metodología común en los estudios económicos es el análisis costo-beneficio (Boardman et al., 2018). Esta metodología se utiliza para evaluar proyectos o políticas económicas al comparar los costos y beneficios asociados. El análisis costo-beneficio busca cuantificar los impactos económicos y sociales de una intervención o proyecto, considerando tanto los costos directos como los beneficios tangibles e intangibles. A través del análisis costo-beneficio, se busca proporcionar una base racional para la toma de decisiones en el sector económico.

Los modelos de equilibrio general son otra herramienta importante en los estudios económicos (Argandoña, 2013). Estos modelos intentan capturar las interacciones complejas entre diferentes sectores y agentes económicos, y permiten analizar los efectos de los cambios en variables económicas clave. Los modelos de equilibrio general son particularmente útiles para evaluar el impacto de políticas económicas a gran escala, como cambios en la política fiscal, reformas estructurales o eventos económicos significativos.

Es importante destacar que las metodologías de estudios económicos son complementarias y se pueden utilizar de manera integrada para obtener una comprensión más completa de los

fenómenos económicos. Por ejemplo, el análisis económico puede proporcionar un marco teórico sólido, mientras que la econometría permite cuantificar las relaciones y validar las teorías a través de datos empíricos. La investigación empírica y el análisis costo-beneficio pueden brindar evidencia empírica sobre los impactos de políticas económicas específicas, y los modelos de equilibrio general pueden ayudar a comprender las interacciones entre diferentes sectores y agentes económicos.

Por último, las metodologías de estudios económicos proporcionan los enfoques y las herramientas necesarias para investigar, comprender y analizar los fenómenos económicos. El análisis económico, la econometría, la investigación empírica, el análisis costo-beneficio y los modelos de equilibrio general son solo algunas de las metodologías utilizadas en los estudios económicos. Estas metodologías permiten a los economistas y analistas evaluar las políticas económicas, pronosticar el comportamiento económico y brindar una base sólida para la selección de decisiones informadas en el área económica.

### ***3.5.2 Principales Teorías***

A continuación, se proporciona el contexto conceptual y teórico en el que se apoya la investigación económica, con el fin de establecer las bases teóricas sobre las cuales se construye la investigación y proporciona una comprensión más profunda de los fenómenos económicos que se investigan.

#### **3.5.2.1 Teorías macroeconómicas.**

- Teoría del ciclo económico: Examina las fluctuaciones económicas a corto plazo y busca comprender las causas de las recesiones y expansiones económicas.

- Teoría del crecimiento económico: Se enfoca en los puntos importantes del crecimiento económico a largo plazo, como la acumulación de capital, el progreso tecnológico y los factores institucionales.
- Teoría monetaria: Analiza el papel del dinero en la economía, la inflación, las políticas monetarias y sus efectos en la actividad económica (Fare, R., y Primont, D., 1995).

### **3.5.2.2 Teorías microeconómicas.**

- Teoría del consumidor: Explora la conducta de los consumidores, incluyendo las decisiones de consumo, la utilidad y las preferencias, y la demanda de bienes y servicios.
- Teoría de la producción y los costos: Examina la relación entre el número de insumos utilizados en la fabricación, la tecnología disponible y la producción resultante, así como los costos asociados (Fare, R., y Primont, D., 1995).

En la teoría de la producción y los costos, se considera que los productores buscan maximizar sus beneficios, es decir, obtener la mayor diferencia entre los ingresos generados por la venta de sus productos y los costos en los que incurren para fabricarlos. Para analizar este proceso, se emplean diferentes conceptos y relaciones clave como:

**Función de producción:** El punto de producción muestra cómo la cantidad de insumos utilizados se transforma en una cierta cantidad de productos. Puede expresarse en forma de una ecuación que relaciona los insumos (como capital y trabajo) con la producción obtenida. La función de producción puede tener diferentes formas, como lineal, cúbica o con rendimientos decrecientes (Shephard, R., 1970).

**Costos de producción:** Los costos de producción incluyen los costos de los insumos utilizados, como salarios de los trabajadores, costos de materiales y costos de capital. Los costos

se dividen en costos fijos y costos variables. Los costos fijos son aquellos que no varían con el nivel de producción, como el alquiler de la planta de producción, mientras que los costos variables cambian proporcionalmente con la producción, como los costos de materiales. El costo total de producción es la suma de los costos fijos y los costos variables (Shephard, R., 1970).

Los conceptos y relaciones mencionados anteriormente se utilizan para construir modelos económicos que permiten analizar la producción y los costos en diferentes situaciones. Estos modelos pueden ser aplicados tanto a nivel microeconómico, para entender el comportamiento de empresas individuales, como a nivel macroeconómico, para analizar la producción y los costos agregados de una economía en su conjunto.

En resumen, la teoría de la producción y los costos es esencial para comprender cómo se lleva a cabo el proceso de producción de bienes y servicios, cómo se relacionan los insumos con la producción y cómo se generan los costos en este proceso. Al proporcionar un marco teórico sólido, esta teoría permite a los economistas y empresarios tomar decisiones informadas sobre la asignación de los recursos.

- Teoría de la oferta y demanda: Estudia la relación entre la oferta y la demanda de los mercados para ultimar los precios y las cantidades de bienes y servicios intercambiados (Berndt, E., 1991).

### **3.5.2.3 Teorías de la economía del desarrollo.**

- Teoría del capital humano: Considera la educación y la formación como inversiones en capital humano, y analiza cómo afectan el crecimiento económico y los ingresos de las personas.

- Teoría del capital social: Examina el papel de las redes sociales, la confianza y las normas sociales en el desarrollo económico y la cooperación entre individuos y empresas.
- Teoría del desarrollo económico endógeno: Se centra en cómo los factores internos, como la innovación, el espíritu empresarial y las instituciones, pueden impulsar el desarrollo económico sostenible (Diewert, W., y Lawrence, D., 1981).

### 3.5.3 *Indicadores financieros*

**3.5.3.1 Costos.** El factor principal del método de contabilidad financiera es la elaboración de estados financieros de propósito global (balance y estado de resultados generales), ya que esta información generalmente es incompleta al momento de tomar decisiones, por ende, afectando la implementación o inversión en una oportunidad de negocio o tecnología emergente. Es por esto que se crea el foco de la contabilidad de gestión, una actividad que recoge la información financiera y no financiera a los inversionistas (Fernández, 2014).

Enfocando la contabilidad de gestión a soportar el objetivo de administrar en la planificación, el control y desarrollo de la ejecución de la organización con el objetivo de avanzar en la mejora continua. Finalmente, se debe recordar que la contabilidad de gestión utiliza el principio y las prácticas de la contabilidad financiera y de costos, además de otras técnicas actualizadas de gestión para el funcionamiento eficaz de una empresa (Fernández, 2014).

Sumado a esto, se debe contemplar el costo como el precio de los insumos utilizados para generar productos y los servicios esperados como resultado que contribuyan un beneficio importante a una empresa o compañía (Fernández, 2014). Generalmente, algunos costos no expiran en un solo periodo, siendo esta un concepto de relación principalmente en el proceso de la

industria, sin embargo, aunque hace referencia a los costos comerciales o de servicios que principalmente plantean como línea de los desembolsos de retribuciones, bienes, servicios e intereses (Quispe, 2012).

#### **3.5.3.1.1 Clasificación de costos.**

- Costos de inversión. Se conoce como el costo de un bien que se conforma por la unión de esfuerzos y recursos invertidos con el fin de crear algo útil; siendo representado en tiempo, esfuerzo, recurso o capital (Quispe, 2012).
- Costos de sustitución. En la actualizada teoría económica del costo, expresando en varias alternativas, y haciendo referencia puntualmente en el costo de un elemento que fue escogido en su lugar. Si se seleccionó algo, su costo estará indicado por lo que ha sido sustituido para obtenerlo. (Calderón, 2008).
- Costo activo. Hace referencia al costo que probablemente creará ingresos en un determinado lapso de tiempo como son las mercaderías, insumos, materiales, etc. (Quispe, 2012).
- Costo gasto. Se refiere al desembolso de efectivo que lleva a producir ingresos para la compañía, y del que resaltan las utilidades para un determinado periodo. En este caso los presupuestos administrativos, publicidad, depreciación de la maquinaria, etc. (Sandino, 2017).
- Es importante resalta que este es considerado uno de los más relevantes en la implementación de procesos de movilización del petróleo.

- Costo pérdida. Corresponde a la sumatoria de erogaciones de efectivo generadas en una empresa, que no producen los ingresos proyectados, por lo que no se genera un ingreso con el cual se compare el rubro inicial. (Quispe, 2012).
- Costos de producción. Estos se integran con el objetivo de cambiar de forma o de fondo la materia prima en productos semiterminados o finales. Resaltando que se combinan la materia prima, el trabajo humano y los gastos indirectos de fabricación.
- Gastos. Hace referencia a los valores utilizados para cumplir principalmente las funciones de administrar, vender y financiar.
- Flujos netos de efectivo (Ft). Se visualiza la diferencia entre ingresos y egresos obtenidos de la elaboración de un proyecto de inversión durante su ejecución (Granel, 2019).
- Valor Presente Neto (VPN). Es considerada una técnica evaluativa de inversiones que permite determinar una rentabilidad en un proyecto. Para calcularlo se debe tener en cuenta que no es la única métrica de evaluación de una inversión, y se debe considerar en conjunto con otras técnicas y análisis financieros para tomar decisiones informadas (Financiera, 2004). El valor del dinero se integra al porcentaje de interés con la cual se concretan en la línea de tiempo, es decir, en la tasa con la cual se determina el Valor Presente de los flujos de efectivo de la empresa, teniendo presente que, la entrada de dinero debe ser mayor a los egresos, para considerarse rentable, de lo contrario, no lo serán (Mete, 2014).

Donde:

(1)

Presupuesto inicial del proyecto

Flujo neto de efectivo

$k$  Tasa de descuento

t Distribución de periodo

- Rentabilidad. Conocido como el cambio expresado en porcentaje que hace referencia a la suma de dinero destinada aprovechable al principio del proyecto y al término de la vida económica (Financiera, 2004).
- Tasa Interna de Retorno (TIR) Es implementada en la evaluación de inversiones y proyectos y se representa como la tasa de descuento que reafirma el Valor Presente Neto (VPN) de un proyecto sea igual a cero, expresado en porcentaje y representando la rentabilidad anualizada del proyecto. (Mete, 2014).
- Payback Time Period (PBP) Es una herramienta que se utiliza para evaluar la liquidez y el riesgo de cada inversión, principalmente en proyectos donde la recuperación rápida de la inversión se considera importante. También es conocido como período de recuperación o plazo de recuperación. Siendo importante aclarar que el PBP no es un indicador directo de la rentabilidad, ya que solo tiene en cuenta el periodo de recuperación y no la generación de dinero posterior a este. Por otra parte, considerando la variación de los ingresos, la ecuación de PBP debe ser modificada según lo comentado por López (2018), representándose así:

Donde:

(2)

Inversión inicial del proyecto

Valor del flujo de caja del año en que se retorna la inversión

*a* Número del periodo arrojado anterior hasta recuperar el desembolso inicial

*b* Suma de los flujos hasta el final del periodo «a»

- Weighted Average Cost of Capital (WACC): Se considera un indicador financiero implementado para la evaluación del costo promedio ponderado del capital de una

compañía. Contemplando la deuda como los fondos que una empresa ha obtenido a través de préstamos, bonos u otras formas de endeudamiento. El cálculo del Costo de la Deuda se realiza de la siguiente manera: inicialmente se identifican los instrumentos de deuda, posteriormente se determina el costo de cada instrumento de deuda (determinando el costo asociado, que suele ser la tasa de interés nominal o el cupón pagado por la empresa). Luego, se calcula el costo ponderado de la deuda en función de su proporción en la estructura inicial del capital total de la . Se recomienda considerar el efecto fiscal, ya que, en muchos países, los intereses causados por el adeudo son deducibles de los impuestos, lo que disminuye el costo neto de la deuda final.

## **4. Metodología**

### **4.1 Tipo de Estudio**

Estudio Observacional de formato descriptivo de línea transversal.

### **4.2 Enfoque**

Este análisis económico contempla un enfoque cuantitativo y empírico, que se centra en la recopilación y revisión de información real para responder a preguntas de investigación. Implica la utilización de datos recopilados a través de empresas del sector y datos secundarios provenientes de otras fuentes existentes, como bases de datos económicas, informes o registros empresariales. Se emplean técnicas estadísticas y econométricas para analizar los datos y extraer conclusiones significativas de un análisis económico que involucra un estudio de costos, estado de resultados y estudios financieros complementarios.

### **4.3 Diseño metodológico**

#### **4.3.1 Fuente de Datos**

- Datos Primarios la información fue recopilada directamente de empresas que utilizan tuberías flexibles para transporte de hidrocarburos. Esto incluye datos financieros, costos de adquisición, costos operativos y de rendimiento económico.
- Datos secundarios: Fuentes adicionales de información como informes de mercado, estudios previos, estadísticas económicas y financieras relacionadas con el transporte de hidrocarburos y el uso de tuberías flexibles.

#### **4.3.2 Métodos**

Recopilación de datos primarios: Realización de encuestas a empresas del sector que utilizan tuberías flexibles. Obtención de información detallada sobre los costos y beneficios asociados con este tipo de tuberías.

Recopilación de datos secundarios: Revisión de informes de mercado, estudios previos y fuentes de datos económicos y financieros para obtener información contextual sobre la industria y los factores económicos relevantes.

Análisis económico: Posterior a lo anterior se realizó una selección económica de tipo financiero para respaldar la viabilidad económica de la implementación de tuberías flexibles. Calcular los costos totales, los ingresos esperados y los indicadores financieros relevantes, como el Valor Presente Neto (VPN) Para calcular el Valor Presente Neto, se siguieron los siguientes pasos:

Se establecieron los flujos de efectivo esperados que generarán en el plan durante su vida útil. Estos flujos incluyen ingresos por ventas, costos operativos, inversiones adicionales, recuperación de inversiones iniciales.

Calcular el valor presente de cada flujo de efectivo: Se aplicó la fórmula del valor presente para cada flujo de efectivo. La fórmula del valor presente es:

$$VP = F / (1 + i)^n$$

Donde VP es el valor presente, F es el flujo de efectivo en un periodo dado, i es la tasa de descuento y n es el periodo en el que ocurre el flujo de efectivo.

Se sumaron las cifras presentes de los flujos en efectivo: Esta suma representa el valor presente total de los flujos de efectivo del proyecto. Posterior a esto se restó la inversión inicial al valor presente total obtenido, esto nos dará el Valor Presente Neto (VPN) del proyecto. El VPN se interpreta de la siguiente manera: si el VPN es positivo, significa que la inversión generó un retorno mayor que la tasa de descuento establecida y se considera una inversión rentable. Por el contrario, si el VPN es negativo, la inversión no cumpliría con los requisitos mínimos de rentabilidad.

Adicionalmente, se analizó la rentabilidad con otro parámetro como la tasa interna de retorno (TIR). Para calcular la TIR, se siguieron los siguientes pasos:

Se establecieron los flujos de efectivo esperados que generará el proyecto a lo largo de su durabilidad. Posterior es esto, se supone una tasa de descuento inicial y se calcula el VPN utilizando esa tasa. Luego se ajusta la tasa de descuento hasta que el VPN sea igual a cero. Este proceso se realiza mediante métodos de prueba y error o mediante el uso de funciones o herramientas en software especializado o en hojas de cálculo. Se interpreta de la siguiente manera: si la TIR es mayor que la tasa de descuento utilizada, significa que el proyecto o plan es rentable

y genera un rendimiento superior a la tasa de descuento. Por el contrario, si la TIR es menor que la tasa de descuento, el proyecto no cumple con los requisitos mínimos de rentabilidad financiera.

Otro indicador a elaborar en este proyecto es el Payback time period, dividiendo el costo inicial de la inversión entre los flujos de efectivo generados por la inversión en cada período. A medida que se van sumando los flujos de efectivo, se determina cuánto tiempo se tarda en alcanzar el punto en el que la suma de los flujos de efectivo iguala o supera el costo inicial.

Por último, se calculará el El Weighted Average Cost of Capital (WACC), para evaluar el costo promedio ponderado de capital de la empresa. El cálculo del Costo de la Deuda se realizó usando un enfoque común así: Primero se identificaron los instrumentos de deuda, luego determinaron el costo de cada instrumento de deuda, que puede ser la tasa de interés nominal., posterior a estos se calcula el costo ponderado de la deuda en función de su proporción en la estructura de capital total de la empresa. Para el cálculo de este parámetro se utilizó la siguiente ecuación:

Donde: (3)

Costo promedio de la deuda

Costo promedio del patrimonio

*D* Razón de endeudamiento

*E* Razón patrimonial

Impuesto de renta nacional

Para este indicador se tuvieron en cuenta 3 aspectos fundamentales: Tasa libre del mercado, retorno del mercado y Beta (Bursitia, 2019). La tasa libre de riesgo (Rf) es el principal factor del modelo WACC (Bursitia, 2019). Para deducir la tasa libre de riesgo se tomó la rentabilidad seleccionada por los títulos de deuda pública al tiempo que se desea realizar la inversión. El retorno

del mercado (Rm) equivale al promedio de rentabilidad del índice accionario. Para el caso particular de la presente investigación, 6.7% es el valor promedio obtenido según los cálculos entre los años 2008 a 2021 (Grupo Aval, 2021). Por último, con los datos anteriores se obtiene la rentabilidad esperada del mercado y el costo del capital.

El coeficiente beta (Bu) es el otro aspecto a considerar ya que mide el grado de variabilidad de la rentabilidad de una acción respecto a la rentabilidad promedio del mercado en que se negocia.

Una vez descritas las principales tuberías utilizadas en el transporte de hidrocarburos, se procedió a recopilar información para realizar un análisis comparativo de las tecnologías, tomando como metodología la evaluación semicuantitativa, asignando un valor según el rendimiento de la tubería a parámetros como: Corrosión interna, presión de operación, vida útil, resistencia mecánica, corrosión externa, temperatura de operación, aplicabilidad, superficie interna y daño debido a factores externos a la operación. Adicionalmente, se tendrán en cuenta para el estado de resultados variables como materia prima, mano de obra directa y costos indirectos de fabricación y valores de ventas de tuberías flexibles y convencionales.

Presentación de resultados: Se presentarán los resultados del análisis económico en forma de tablas, gráficos y análisis narrativo. Por último, se interpretan los resultados y se discute su implicancia para la viabilidad económica de la implementación de tuberías flexibles.

**Tabla 3.** *Metodología para la clasificación de variables, evaluación económica y selección de tuberías*

| <b>Fases</b>   | <b>Proceso</b>  |
|--|---|
| Identificar las características principales de las tuberías convencionales y las tuberías flexibles para la conducción de hidrocarburos en superficie. | Establecer un cuadro comparativo entre los rangos de operación de las tuberías convencionales y flexibles.<br>Reconocer el intervalo para el precio comercial de ambas tecnologías. |
| Establecer las variables esenciales en términos de inversión, instalación, mantenimiento, operación, ventas y  | Identificar y organizar los gastos de CAPEX y OPEX para la instalación y operación de la tecnología de tuberías flexibles.  |

| Fases  | Proceso  |
|--|--|
| servicios para la tubería convencional y la tubería flexible según el caso de estudio planteado.                                 | Programar una hoja de cálculo para evaluar la viabilidad económica a partir del estudio de parámetros financieros como el VPN, TIR, <i>pay back time</i> y WACC.   |
| Evaluar el estado de resultados para la tubería convencional y la tubería flexible según las variables identificadas previamente | Recopilar a información de un caso piloto de aplicación de la tecnología en el Piedemonte llanero.<br>Ingresar los datos de entrada al modelo previamente programado.  |
| Determinar la viabilidad del uso de tuberías flexibles mediante un análisis comparativo del estado de resultados.                | Ejecutar el estado de resultados para tuberías metálicas y tuberías flexibles.<br>Comparar los datos obtenidos a través de la programación con los proporcionados por el caso de aplicación.<br>Seleccionar el escenario más factible. |

Para realizar el estudio económico relacionado con la implementación de la tecnología de tuberías flexibles para transporte de fluidos en el sector hidrocarburo, se identificaron las variables de inversión, instalación, mantenimiento, operación, ventas y servicios tanto para tuberías flexibles como para convencionales. Asimismo, toda la evaluación económica fue ejecutada tomando como base de estudio un periodo de 30 años, un tramo de 10 km y un requerimiento de 6 pulgadas.

El punto de inicio fue el análisis de los costos relacionados con las actividades más relevantes dentro de cada tipo de tubería y posteriormente se compararon entre sí con las actividades similares de las tuberías. Se analizó la rentabilidad con parámetros como el Valor Presente Neto y la tasa interna de retorno Estas actividades se analizarán a continuación, haciendo acotación en dos tipos de tuberías convencionales y tres tipos de tuberías flexibles.

## 5. Resultados

## **5.1 Resultados Objetivo 1: Identificar las características principales de las tuberías convencionales y flexibles para la conducción de hidrocarburos en superficie.**

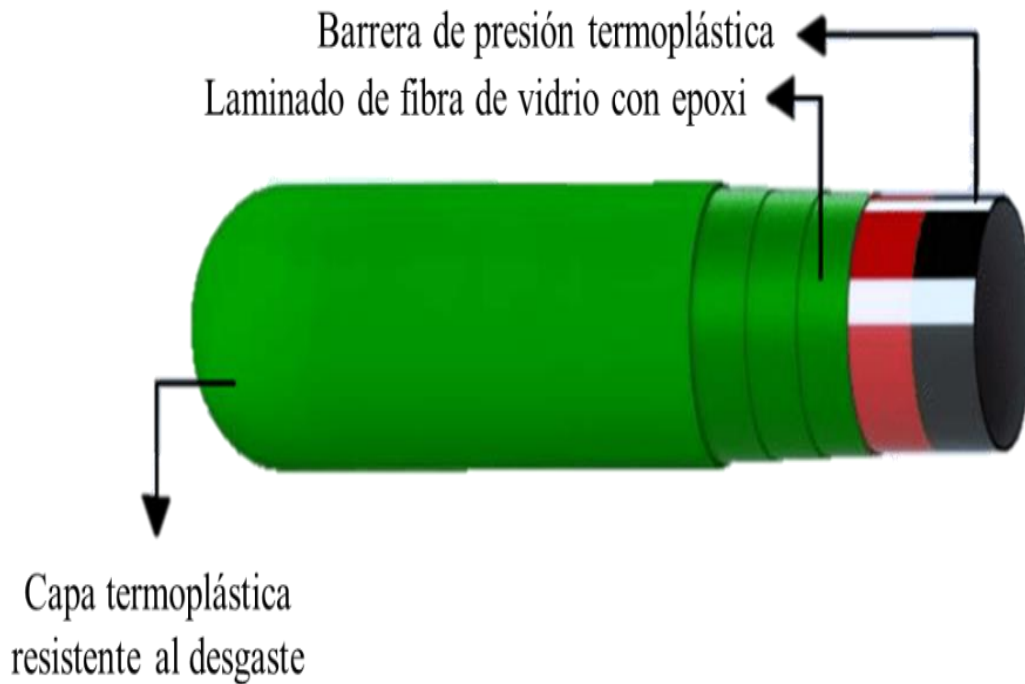
### ***5.1.1 Comparación de las tuberías utilizadas en la industria petrolera***

- Tuberías sin costura. La tubería de acero sin costura son fabricados al pasar el acero líquido por una varilla para genera un cilindro hueco.
- Tuberías con costura. Estos, se elaboran gracias al proceso de doblaje de láminas y soldadura de costuras, reconocidas hoy por hoy gracias a los diversos avances tecnológicos, a los cuales se les atribuyen diferentes usos.
- Estas tecnologías flexibles de material compuesto de filamentos enrollables tienen un trazado anisótropo, debido a los diversos ángulos que evidencian las láminas de refuerzo, pudiendo estar expuestas a cargas termo mecánicas debido al fluido constante, y como característica principal tienen poca dureza a la flexión comparadas con tuberías de acero (Gonzales et al., 2016). En la figura 6, se presenta el esquema de una tubería flexible (Fiberspar), según las laminaciones.
- Tuberías sin costura. Los conductos o tubos de acero sin costura se crean a través del paso de acero líquido por una varilla para crear un tubo o conducto hueco.
- Tuberías con costura. Los tubos de acero con costura se realizan a través del doblado de láminas y soldando las costuras. En la actualidad debido a los grandes avances en la tecnología, estos tubos o conductos pueden ser aplicados en diferentes usos.

Las tuberías flexibles de producto compuesto de tecnología de filamentos envolventes tienen una conducta anisótropo, debido a la variabilidad en sus ángulos que tienen las capaz de refuerzo. Las tuberías pueden estar expuestas a cargas termo mecánicas debido al fluido circulante,

y se determina por tener una menor rigidez a la flexión comparadas con tuberías de acero (Gonzales et al., 2016). En la figura 6, se presenta el esquema de una tubería flexible (*Fiberspar*), según las laminaciones.

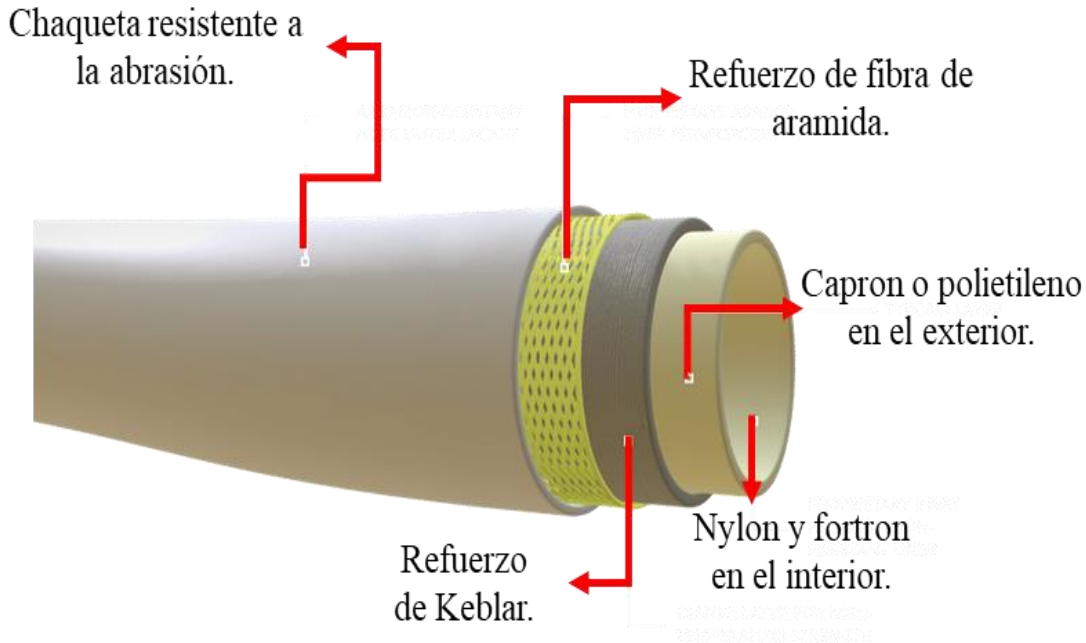
**Figura 3.** Tubería *Fiberspar*, modelo constructivo



Adaptado de Gonzales (2016).

Destacando algunas de las más utilizadas en la industria en general, la tubería *Poliflow* es ligera, rápida y fácil de instalar y tiene menores costes operativos continuos que la tubería de acero, lo que permite a las empresas de exploración y producción de petróleo y gas conseguir que los pozos fluyan rápidamente y aumentar la rentabilidad (figura 4).

**Figura 4.** Tubería *Poliflow*, modelo constructivo



Adaptado de Phillips (2018).

Por otra parte, La compañía Soluforce RLP® es una tubería no metálica competente para transportar fluidos como agua, gas y petróleo a presiones elevadas, elaborada y certificada con los parámetros API RP 15S. Con 30 veces más resistente que el acero y se evidencia ser más adaptado y fuerte al calor que las tuberías de acero (conductor de calor), además su material no sufre corrosión (Soluforce®, 2011). Soluforce RLP se crea a partir de una variabilidad de insumos de acuerdo con las aplicaciones: como lo son el Soluforce gas y petróleo, soportando presiones de hasta 105 bar (1.500 psi), siendo más ahorrador que el acero, con una estabilidad de uso de más de 20 años (50 años si se encuentra bajo tierra), más resistencia al fuego, de instalación rápida y fácil adicionalmente requiere menor mano de obra, nulo mantenimiento y una resistencia superior a la corrosión.

**Tabla 4.** Análisis comparativo de las tecnologías, metodología de evaluación semicuantitativa. Tuberías metálicas

| Factor                       | Grado                                    | Rango de puntaje | API 5L grado B | Acero con inhibidor | Acero recubierto |
|------------------------------|--|------------------|----------------|---------------------|------------------|
| Corrosión interna            | No resiste CO <sub>2</sub>               | 0                | 0              | 20                  | 20               |
|                              | Resiste CO <sub>2</sub>                  | 20               |                |                     |                  |
| Corrosión externa            | Requiere protección                      | 0                | 0              | 0                   | 0                |
|                              | No requiere protección                   | 15               |                |                     |                  |
| Presión de operación         | < 150 psi                                | 0                | 20             | 20                  | 20               |
|                              | > 150 psi                                | 20               |                |                     |                  |
| Temperatura de operación     | < 45°C                                   | 0                | 15             | 15                  | 15               |
|                              | > 45°C                                   | 15               |                |                     |                  |
| Vida útil                    | < 5 años                                 | 0                | 0              | 5                   | 10               |
|                              | 5 – 10 años                              | 5                |                |                     |                  |
|                              | > 10 años                                | 10               |                |                     |                  |
| Instalación y sostenibilidad | Difícil instalación y mantenimiento      | 0                | 10             | 10                  | 5                |
|                              | Fácil instalación, difícil mantenimiento | 5                |                |                     |                  |
|                              | Fácil instalación y mantenimiento        | 10               |                |                     |                  |
| Resistencia mecánica         | No resiste                               | 0                | 5              | 5                   | 5                |
|                              | Resiste                                  | 5                |                |                     |                  |
| Superficie interna           | Rugosa                                   | 0                | 0              | 0                   | 2,5              |
|                              | Lisa                                     | 2,5              |                |                     |                  |
| Daño por factores externos   | Probable                                 | 0                | 0              | 0                   | 0                |
|                              | Poco probable                            | 2,5              |                |                     |                  |
| <b>Total</b>                 |  | <b>0 – 100</b>   | <b>50</b>      | <b>75</b>           | <b>77,5</b>      |

Adaptado de Ecopetrol S.A. (2008).

**Tabla 5.** Análisis comparativo de las tecnologías, metodología de evaluación semicuantitativa. Tuberías flexibles. Tomado de Ecopetrol S.A.

| Factor                       | Fibra de vidrio rígida | Fibra de vidrio flexible | Polietileno con malla de acero | Polietileno con poliamida | Poliflow  |
|------------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------------|---------------------------|-----------|
| Corrosión interna            | 20                     | 20                       | 0                              | 20                        | 20        |
| Corrosión externa            | 15                     | 15                       | 15                             | 15                        | 15        |
| Presión de operación         | 20                     | 20                       | 20                             | 0                         | 20        |
| Temperatura de operación     | 15                     | 15                       | 15                             | 15                        | 15        |
| Vida útil                    | 10                     | 10                       | 5                              | 10                        | 10        |
| Instalación y sostenibilidad | 5                      | 5                        | 5                              | 5                         | 5         |
| Resistencia mecánica         | 0                      | 0                        | 0                              | 0                         | 0         |
| Superficie interna           | 2,5                    | 2,5                      | 2,5                            | 2,5                       | 2,5       |
| Daño por factores externos   | 2,5                    | 2,5                      | 2,5                            | 2,5                       | 2,5       |
| <b>Total</b>                 | <b>90</b>              | <b>90</b>                | <b>65</b>                      | <b>70</b>                 | <b>90</b> |

Adaptado de Ecopetrol S.A. (2008).

En las tablas 7 y 8 se presenta el análisis comparativo de las tecnologías, con la respectiva indicación de representación de cada valor asignado. Como se puede observar, el estudio técnico

exhibe una gran oportunidad para la implementación de las tecnologías de tuberías flexibles. Sin embargo, es necesario realizar un estudio económico para determinar la rentabilidad de la aplicación de este tipo de tecnologías.

## 5.2 Resultados Objetivo 2: Establecer las variables esenciales en términos de inversión, instalación, mantenimiento, operación, ventas y servicios para la tubería convencional y la tubería flexible

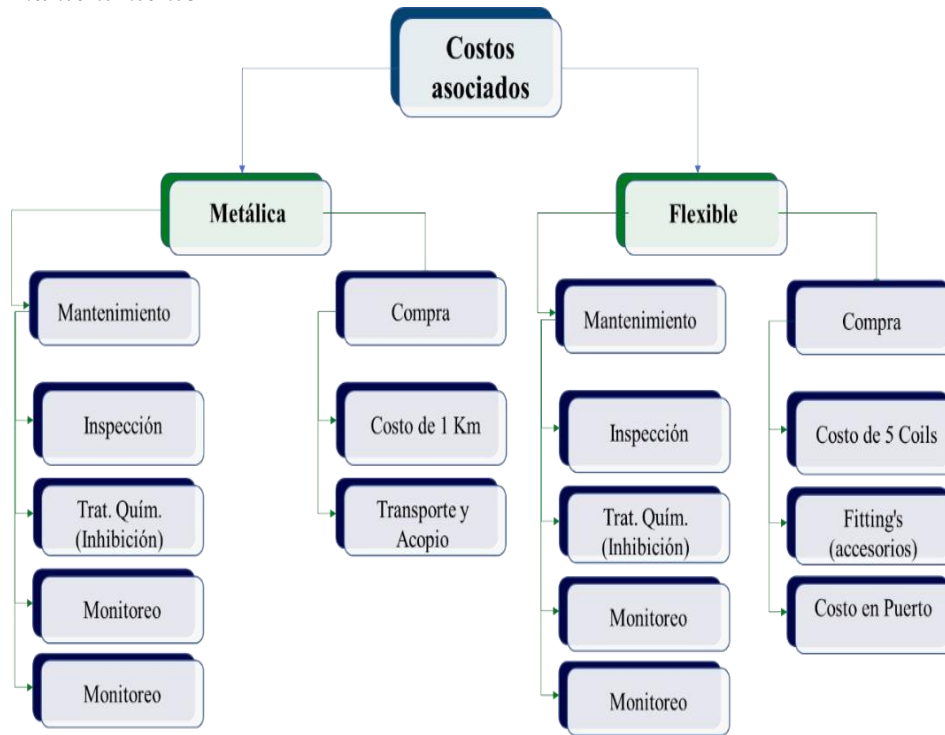
**Tabla 6.** Clasificación de las variables operacionales según costos operacionales (OPEX) y Gastos de Capital (CAPEX)

| Tubería Metálica                 | Tubería Flexible             |
|----------------------------------|------------------------------|
| CAPEX                            | CAPEX                        |
| Inspección                       | Inspección                   |
| Tratamiento Químico (Inhibición) | Monitoreo                    |
| Monitoreo                        | Marraneo                     |
| Limpieza interna                 | Tratamiento químico          |
| Costos de abandono               | Costos de abandono           |
| OPEX                             | OPEX                         |
| Costo de 1000 m                  | Costo de 1000 m              |
| Transporte y Acopio              | Transporte y Acopio          |
| Instalación tramo enterrado      | Instalación tramo enterrado  |
| Prueba hidrostática              | Prueba hidrostática          |
| Desplazamiento de fluidos        | Desplazamiento de fluidos    |
| Tie-In (intervención de línea)   | Tie-In                       |
| Excavación y Relleno             | Excavación y Relleno         |
| Sand Blasting y pintura ext.     | Sand Blasting y pintura ext. |
| Ensayos de soldadura             | Radiografía                  |

Adaptado de Ecopetrol S.A. (2008).

En las figuras 3, 4, 5 se presentan las variables más relevantes relacionadas con compra y mantenimiento, abandono e instalación de tuberías convencionales y flexibles en la industria de hidrocarburos.

**Figura 3.** Variables asociadas a la implementación de las diferentes tecnologías. Compra y mantenimiento



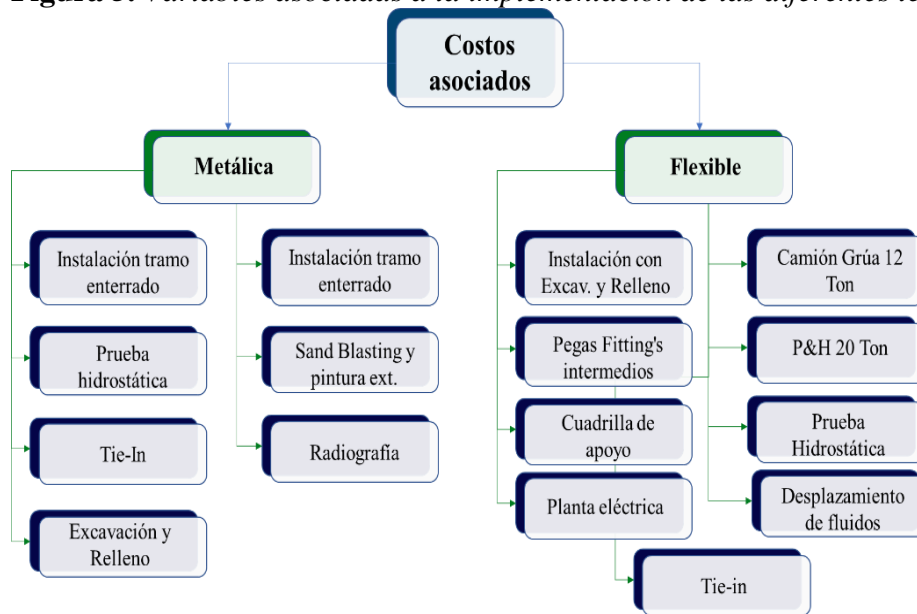
Adaptado de Ecopetrol S.A. (2008).

**Figura 4.** Variables asociadas a la implementación de las diferentes tecnologías. Abandono



Adaptado de Ecopetrol S.A. (2008).

**Figura 5.** Variables asociadas a la implementación de las diferentes tecnologías. Instalación



Adaptado de Ecopetrol S.A. (2008).

Después de lo anterior expuesto, en las tablas 7 y 8 se presenta el precio de costo de cada una de las variables, y el precio de venta estimado para cada una de las tuberías seleccionadas para el análisis. Cabe aclarar que la venta de esta tecnología incluye un servicio completo, desde la instalación hasta la remediación por abandono. La base de cálculo del estudio fue de 10 km de tubería. Como se puede observar, aspectos como la inspección y el abandono son semejantes para todas las tecnologías utilizadas; debido principalmente a que, tanto en tuberías flexibles como en convencionales, los procedimientos de inspección, tratamiento, monitoreo y remediación son similares técnicamente.

**Tabla 3.** Precio de costo asociado a cada ítem, según la tecnología a implementar. Cada ítem incluye materia prima, mano de obra y costos indirectos de fabricación

| Alternativa tecnológica | Instalación    | Mantenimiento  | Inspección   | Abandono      |
|-------------------------|----------------|----------------|--------------|---------------|
| Metálica con RI         | \$ 340,696,606 | \$ 24,024,000  | \$ 3,950,000 | \$ 41,341,980 |
| Metálica sin RI         | \$ 248,022,472 | \$ 180,024,000 | \$ 3,950,000 | \$ 41,341,980 |
| Soluforce               | \$ 306,236,822 | \$ 2,440,000   | \$ 3,950,000 | \$ 41,341,980 |
| Golsun                  | \$ 274,931,822 | \$ 2,440,000   | \$ 3,950,000 | \$ 41,341,980 |
| <i>Fiber Spark</i>      | \$ 318,884,822 | \$ 3,620,000   | \$ 3,950,000 | \$ 41,341,980 |

**Tabla 4.** Precio de venta asociado a cada ítem, según la tecnología a implementar. Cada ítem incluye materia prima, mano de obra y costos indirectos de fabricación

| Alternativa tecnológica | Instalación    | Mantenimiento  | Inspección    | Abandono       |
|-------------------------|----------------|----------------|---------------|----------------|
| Metálica con RI         | \$ 797'856.781 | \$ 61'600.000  | \$ 10'000.000 | \$ 104'663.240 |
| Metálica sin RI         | \$ 620'592.001 | \$ 461'600.000 | \$ 10'000.000 | \$ 104'663.240 |
| Soluforce               | \$ 936'819.491 | \$ 8'000.000   | \$ 10'000.000 | \$ 104'663.240 |
| Golsun                  | \$ 851'719.491 | \$ 8'000.000   | \$ 10'000.000 | \$ 104'663.240 |
| <i>Fiber Spark</i>      | \$ 970'179.491 | \$ 8'000.000   | \$ 10'000.000 | \$ 104'663.240 |

Por su parte, en la tabla 8 se presenta la clasificación de los parámetros, según la consideración del tipo de costo.

### 5.3 Resultados Objetivo 3: Evaluar el estado de resultados para la tubería convencional y la tubería flexible según las variables identificadas previamente.

El Estado de resultados es un análisis financiero, donde se presenta la información relacionada con el ingreso, costo y gasto asociado dentro del periodo financiero de estudio dentro de una empresa. Adicionalmente se resalta el esfuerzo que se desarrolla para lograr resultados. La diferencia entre los resultados y los esfuerzos es un indicador de la eficiencia de la administración y se utiliza como medida para evaluar su desempeño (Universidad Veracruzana, 2011).

#### 5.3.1 Estado de resultados: tubería metálica con revestimiento interno

A continuación, se observa el Estado de resultados con información relacionada a tuberías convencionales. En las tablas 9 y 10 se muestran los parámetros técnico-financieros que fueron tenidos en cuenta para la implementación de la tecnología de tuberías convencionales en el presente estudio.

**Tabla 5.** Parámetros técnico-financieros para la implementación de la tecnología de tuberías convencionales y flexibles. Caso de aplicación: Piedemonte Llanero

| Parámetros         | Unidad | Valor     |
|--------------------|--------|-----------|
| Servicios          | %      | 3         |
| Salarios           | %      | 3         |
| Comisión gerente   | \$     | 1'000.000 |
| Comisión ventas    | \$     | 865.000   |
| Longitud del tramo | km     | 10        |
| Vida útil          | Años   | 20 – 30   |
| Inspección         | Años   | 5 – 10    |

**Tabla 6.** Parámetros técnico-financieros para la implementación de la tecnología de tubería convencional con recubrimiento. Caso de aplicación: Piedemonte Llanero

| Parámetros    | Unidad | Valor |
|---------------|--------|-------|
| Vida útil     | Años   | 30    |
| Inspección    | Años   | 5     |
| Mantenimiento | Años   | 1     |

A continuación, en las tablas 11 a 14 se observan los costos relacionados con la materia prima y la mano de obra directa en lo relacionado a instalación, mantenimiento, inspección y abandono de tubería convencional con recubrimiento.

**Tabla 7.** *Costos relacionados con la materia prima tubería convencional con recubrimiento.*

| <b>Costos del Servicio</b> | <b>0 - 1</b>           | <b>15</b>             | <b>30</b>             |
|----------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Instalación                | \$2,258,068,700        |                       |                       |
| Mantenimiento              | \$ 135,520,000         | \$ 204.986.160        | \$ 319.361.757        |
| Inspección                 |                        | \$ 18.529.224         |                       |
| Abandono                   |                        |                       | \$ 302.141.082        |
| <b>Total</b>               | <b>\$2,393,588,700</b> | <b>\$ 223.515.384</b> | <b>\$ 621.502.839</b> |

**Tabla 8.** *Costos relacionados con la mano de obra directa tubería convencional con recubrimiento*

| <b>Costos del Servicio</b> | <b>0 - 1</b>         | <b>15</b>            | <b>30</b>            |
|----------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Instalación                | \$ 47,214,960        |                      |                      |
| Mantenimiento              | \$ 46,160,000        | \$ 9,317,553         | \$ 14,516,444        |
| Inspección                 |                      | \$ 3,403,327         |                      |
| Abandono                   |                      |                      | \$ 55,495,301        |
| <b>Total</b>               | <b>\$ 53,374,960</b> | <b>\$ 12,720,880</b> | <b>\$ 70,011,744</b> |

**Tabla 9.** *Costos relacionados con costo, seguro y flete, puerto de destino convenido tubería convencional con recubrimiento*

| <b>Costos del Servicio</b> | <b>0 - 1</b>            | <b>15</b>             | <b>30</b>             |
|----------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Instalación                | \$ 1,101,682,402        |                       |                       |
| Mantenimiento              | \$ 98,560,000           | \$ 149,080,843        | \$ 232,263,096        |
| Inspección                 |                         | \$ 37,814,743         |                       |
| Abandono                   |                         |                       | \$ 616,614,453        |
| <b>Total</b>               | <b>\$ 1,200,242,402</b> | <b>\$ 186,895,586</b> | <b>\$ 848,877,549</b> |

**Tabla 10.** *Total de costos tubería convencional con recubrimiento*

| <b>Costos del Servicio</b> | <b>0 - 1</b>            | <b>15</b>             | <b>30</b>              |
|----------------------------|-------------------------|-----------------------|------------------------|
| Instalación                | \$ 3,406,966,063        |                       |                        |
| Mant.                      | \$ 240,240,000          | \$ 363,384,555        | \$ 566,141,297         |
| Inspección                 |                         | \$ 59,747,294         |                        |
| Abandono                   |                         |                       | \$ 974,250,835         |
| <b>Total</b>               | <b>\$ 3,647,206,063</b> | <b>\$ 423,131,850</b> | <b>\$1,540,392,133</b> |

Como se sabe los costos son el valor monetario de la utilización de los diferentes factores que hace relevancia el ejercicio de una actividad económica direccionada a la producción de un

bien o servicio. Por cuanto la salida de monto monetario es con la línea intencional de obtener una ganancia económica y esto lo hace una inversión (González et al., 2012). En las tablas anteriores se observan las inversiones a realizar discriminado por áreas con la tubería convencional con recubrimiento. Finalmente, la tabla 16 hace un resumen del total de costos necesarios para el uso de tuberías convencionales sin revestimiento para transporte de hidrocarburos en Colombia.

**Tabla 15.** Total ventas uso de tuberías convencionales sin revestimiento

| Costos del Servicio | 1                       | 15                      | 30                     |
|---------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| Instalación         | \$ 7,978,567,808        |                         |                        |
| Mant.               | \$ 616,000,000          | \$ 931,755,271          | \$1,451,644,352        |
| Inspección          |                         | \$ 151,258,972          |                        |
| Abandono            |                         |                         | \$2,466,457,811        |
| <b>Total</b>        | <b>\$ 8,594,567,808</b> | <b>\$ 1,083,014,243</b> | <b>\$3,918,102,163</b> |

**Tabla 11.** Estado de resultados. Sección de costos y utilidades tubería convencional con recubrimiento

| Costos                      |                   |                          |                         |
|-----------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|
| Estado de costos            | Inversión inicial |                          | Total (30 años)         |
| Inventario inicial MP       | \$                | -                        | \$ -                    |
| Compras netas MP            | \$                | 2,258,068,700            | \$ 9,102,312,474        |
| Inventario final MP         | \$                | -                        | \$ -                    |
| Costo MP consumida          | \$                | 2,258,068,700            | \$ 9,102,312,474        |
| MOD                         | \$                | 47,214,960               | \$ 413,165,458          |
| CIF                         | \$                | 1,101,682,402            | \$ 6,600,559,124        |
| Costo de producción         | \$                | 3,406,966,063            | \$ 16,116,037,056       |
| Inventario inicial PP       | \$                | -                        | \$ -                    |
| Inventario final PP         | \$                | -                        | \$ -                    |
| Costo PT                    | \$                | 3,406,966,063            | \$ 16,116,037,056       |
| Inventario inicial PT       | \$                | -                        | \$ -                    |
| Inventario final PT         | \$                | -                        | \$ -                    |
| CMV                         |                   | \$3,406,966,063          | \$16,116,037,056        |
| Resultados                  |                   |                          |                         |
| Estado de resultados        | Inversión inicial |                          | Total (30 años)         |
| Ventas netas                | \$                | -                        | \$ 40,524,398,882       |
| CMV                         | \$                | 3,406,966,063            | \$ 16,116,037,056       |
| Utilidad bruta              | \$                | - 3,406,966,063          | \$ 24,408,361,825       |
| Gastos administración       | \$                | -                        | \$ 570,904,988          |
| Gastos ventas               | \$                | -                        | \$ 493,832,815          |
| Utilidad operativa          | \$                | - 3,406,966,063          | \$ 23,343,624,022       |
| Gastos financieros          | \$                |                          | \$ 853,290,055          |
| Utilidad antes de impuestos | \$                | - 3,406,966,063          | \$ 22,490,333,966       |
| Impuestos                   | \$                | -                        | \$ 8,546,109,010        |
| <b>Utilidad Neta</b>        |                   | <b>\$- 3,406,966,063</b> | <b>\$13,944,224,957</b> |

### 5.3.2 Estado de resultados: tubería metálica sin revestimiento interno

Una vez identificados los costos asociados a cada ítem según las diferentes tecnologías de tuberías convencional con recubrimiento para transporte de hidrocarburos, se procedió a realizar el análisis económico para determinar la rentabilidad de tuberías metálicas sin revestimiento que se observa a continuación:

**Tabla 12.** *Parámetros técnico-financieros para la implementación de la tecnología de tuberías convencionales sin recubrimiento. Caso de aplicación: Piedemonte Llanero*

| Parámetros    | Unidad | Valor |
|---------------|--------|-------|
| Vida útil     | Años   | 20    |
| Inspección    | Años   | 5     |
| Mantenimiento | Años   | 1     |

En la tabla 17 se observan datos de vida útil, inspección y mantenimiento (en años) de tuberías metálicas sin recubrimiento.

**Tabla 13.** *Costos relacionados con la materia prima de tuberías convencionales sin recubrimiento*

| Costos del Servicio | 0 – 1                  | 10                     | 20                      | 30                     |
|---------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| Instalación         | \$1,646,093,760        |                        | \$ 2,886,435,372        |                        |
| Mant.               | \$1,292,480,000        | \$1,686,393,245        | \$ 2,266,371,503        | \$3,045,813,785        |
| Inspección          |                        | \$ 15,983,472          | \$ 21,480,449           |                        |
| Abandono            |                        |                        |                         | \$ 302,141,082         |
| <b>Total</b>        | <b>\$2,938,573,760</b> | <b>\$1,702,376,716</b> | <b>\$ 5,174,287,325</b> | <b>\$3,347,954,867</b> |

**Tabla 14.** *Costos relacionados con la mano de obra directa tuberías convencionales sin recubrimiento*

| Costos del Servicio | 0 – 1                | 10                   | 20                    | 30                    |
|---------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Instalación         | \$ 47,214,960        |                      | \$ 82,791,718         |                       |
| Mant.               | \$ 46,160,000        | \$ 60,228,330        | \$ 80,941,839         | \$ 108,779,064        |
| Inspección          |                      | \$ 2,935,740         | \$ 3,945,389          |                       |
| Abandono            |                      |                      |                       | \$ 55,495,301         |
| <b>Total</b>        | <b>\$ 93,374,960</b> | <b>\$ 63,164,070</b> | <b>\$ 167,678,946</b> | <b>\$ 164,274,365</b> |

**Tabla 15.** *Costos relacionados con costo, seguro y flete, puerto de destino convenido de tuberías convencionales sin recubrimiento*

| Costos del Servicio | 0 – 1                   | 10                    | 20                     | 30                     |
|---------------------|-------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|
| Instalación         | \$ 1,101,682,402        |                       | \$1,379,861,972        |                        |
| Mantenimiento       | \$ 461,600,000          | \$ 602,283,302        | \$ 809,418,394         | \$1,087,790,638        |
| Inspección          |                         | \$ 32,619,330         | \$ 43,837,651          |                        |
| Abandono            |                         |                       |                        | \$ 616,614,453         |
| <b>Total</b>        | <b>\$ 1,563,282,402</b> | <b>\$ 634,902,631</b> | <b>\$2,233,118,018</b> | <b>\$1,704,405,090</b> |

**Tabla 16.** *Total de costos tuberías convencionales sin recubrimiento*

| Costos del Servicio | 0 – 1                   | 10                     | 20                      | 30                      |
|---------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Instalación         | \$ 2,480,224,722        |                        | \$ 4,349,089,063        |                         |
| Mantenimiento       | \$ 1,800,240,000        | \$2,348,904,876        | \$ 3,156,731,737        | \$ 4,242,383,487        |
| Inspección          |                         | \$ 51,538,541          | \$ 69,263,489           |                         |
| Abandono            |                         |                        |                         | \$ 974,250,835          |
| <b>Total</b>        | <b>\$ 4,280,464,722</b> | <b>\$2,400,443,417</b> | <b>\$ 7,575,084,289</b> | <b>\$ 5,216,634,322</b> |

**Tabla 17.** *Total ventas tuberías convencionales sin recubrimiento*

| Costos del Servicio | 1                       | 10                      | 20                      | 30                      |
|---------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Instalación         | \$ 6,205,920,008        |                         | \$10,882,118,298        |                         |
| Mant.               | \$ 4,616,000,000        | \$ 6,022,833,017        | \$ 8,094,183,941        | \$10,877,906,376        |
| Inspección          |                         | \$ 130,477,318          | \$ 175,350,605          |                         |
| Abandono            |                         |                         |                         | \$ 2,466,457,811        |
| <b>Total</b>        | <b>\$10,821,920,008</b> | <b>\$ 6,153,310,335</b> | <b>\$19,151,652,845</b> | <b>\$13,344,364,187</b> |

La tabla 23 hace un resumen del total de costos necesarios para el uso de tuberías convencionales sin revestimiento para transporte de hidrocarburos en Colombia.

**Tabla 18.** *Estado de resultados. Sección de costos y utilidades tuberías convencionales sin recubrimiento*

| Estado de costos      | Costos |                   |                   |
|-----------------------|--------|-------------------|-------------------|
|                       |        | Inversión inicial | Total (30 años)   |
| Inventario inicial MP | \$     | -                 | \$ -              |
| Compras netas MP      | \$     | 1,646,093,760     | \$ 66,419,625,862 |
| Inventario final MP   | \$     | -                 | \$ -              |
| Costo MP consumida    | \$     | 1,646,093,760     | \$ 66,419,625,862 |
| MOD                   | \$     | 47,214,960        | \$ 2,398,973,805  |
| CIF                   | \$     | 1,101,682,402     | \$ 25,252,200,015 |
| Costo de producción   | \$     | 2,794,991,123     | \$ 94,070,799,681 |
| Inventario inicial PP | \$     | -                 | \$ -              |
| Inventario final PP   | \$     | -                 | \$ -              |
| Costo PT              | \$     | 2,794,991,123     | \$ 94,070,799,681 |

| <b>Costos</b>               |                          |                 |                        |
|-----------------------------|--------------------------|-----------------|------------------------|
| Inventario inicial PT       | \$                       | -               | \$ -                   |
| Inventario final PT         | \$                       | -               | \$ -                   |
| <b>CMV</b>                  | \$                       | 2,794,991,123   | \$ 94,070,799,681      |
| <b>Resultados</b>           |                          |                 |                        |
| <b>Estado de resultados</b> | <b>Inversión inicial</b> |                 | <b>Total (30 años)</b> |
| Ventas netas                | \$                       | -               | \$ 239,935,532,205     |
| CMV                         | \$                       | 2,794,991,123   | \$ 94,070,799,681      |
| Utilidad bruta              | \$                       | 2,794,991,123   | \$ 145,864,732,524     |
| Gastos administración       | \$                       | -               | \$ 570,904,988         |
| Gastos ventas               | \$                       | -               | \$ 493,832,815         |
| Utilidad operativa          | \$                       | - 2,794,991,123 | \$ 144,799,994,721     |
| Gastos financieros          | \$                       |                 | \$ 6,100,496,912       |
| Utilidad antes de impuestos | \$                       | - 2,794,991,123 | \$ 138,699,497,809     |
| Impuestos                   | \$                       | -               | \$ 46,693,181,347      |
| <b>Utilidad Neta</b>        | \$                       | - 2,794,991,123 | \$ 92,006,316,462      |

### 5.3.3 Estado de resultados: tubería flexible Soluforce

A continuación, se presentará el análisis técnico-financiero de costos (materia prima, mano de obra directa y costos indirectos de fabricación) y ventas de tuberías flexibles y convencionales, según los parámetros presentados en la metodología

**Tabla 19.** Parámetros técnico-financieros para la implementación de la tecnología de tubería flexible Soluforce. Caso de aplicación: Piedemonte Llanero

| <b>Parámetros</b> | <b>Unidad</b> | <b>Valor</b> |
|-------------------|---------------|--------------|
| Vida útil         | Años          | 30           |
| Inspección        | Años          | 10           |
| Mantenimiento     | Años          | 1            |

**Tabla 20.** Costos relacionados con la materia prima tubería flexible Soluforce

| <b>Costos del Servicio</b> | <b>0 – 1</b>           | <b>10</b>            | <b>30</b>             |
|----------------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|
| Instalación                | \$1,299,000,000        |                      |                       |
| Mant.                      | \$ 18,000,000          | \$ 23,485,917        | \$ 42,418,179         |
| Inspección                 |                        | \$ 15,983,472        |                       |
| Abandono                   |                        |                      | \$ 302,141,082        |
| <b>Total</b>               | <b>\$1,317,000,000</b> | <b>\$ 39,469,389</b> | <b>\$ 344,559,261</b> |

**Tabla 21.** *Costos relacionados con la mano de obra directa tubería flexible Soluforce.*

| Costos del Servicio | 0 – 1                 | 10                  | 30                   |
|---------------------|-----------------------|---------------------|----------------------|
| Instalación         | \$ 160,306,202        |                     |                      |
| Mant.               | \$ 1,600,000          | \$ 2,087,637        | \$ 3,770,505         |
| Inspección          |                       | \$ 2,935,740        |                      |
| Abandono            |                       |                     | \$ 55,495,301        |
| <b>Total</b>        | <b>\$ 161,906,202</b> | <b>\$ 5,023,377</b> | <b>\$ 59,265,806</b> |

**Tabla 22.** *Costos relacionados con costo, seguro y flete, puerto de destino convenido tubería flexible Soluforce*

| Costos del Servicio | 0 – 1                   | 10                   | 30                    |
|---------------------|-------------------------|----------------------|-----------------------|
| Instalación         | \$ 1,603,062,018        |                      |                       |
| Mant.               | \$ 4,800,000            | \$ 6,262,911         | \$ 11,311,514         |
| Inspección          |                         | \$ 32,619,330        |                       |
| Abandono            |                         |                      | \$ 616,614,453        |
| <b>Total</b>        | <b>\$ 1,607,862,018</b> | <b>\$ 38,882,241</b> | <b>\$ 627,925,967</b> |

**Tabla 23.** *Total de costos tubería flexible Soluforce*

| Costos del Servicio | 0 – 1                   | 10                   | 30                     |
|---------------------|-------------------------|----------------------|------------------------|
| Instalación         | \$ 3,062,368,220        |                      |                        |
| Mant.               | \$ 24,400,000           | \$ 31,836,466        | \$ 57,500,198          |
| Inspección          |                         | \$ 51,538,541        |                        |
| Abandono            |                         |                      | \$ 974,250,835         |
| <b>Total</b>        | <b>\$ 3,086,768,220</b> | <b>\$ 83,375,006</b> | <b>\$1,031,751,034</b> |

**Tabla 24.** *Total de ventas tubería flexible Soluforce*

| Costos del Servicio | 1                       | 10                    | 30                     |
|---------------------|-------------------------|-----------------------|------------------------|
| Instalación         | \$ 9,368,194,914        |                       |                        |
| Mant.               | \$ 80,000,000           | \$ 104,381,855        | \$ 188,525,240         |
| Inspección          |                         | \$ 130,477,318        |                        |
| Abandono            |                         |                       | \$2,466,457,811        |
| <b>Total</b>        | <b>\$ 9,448,194,914</b> | <b>\$ 234,859,173</b> | <b>\$2,654,983,052</b> |

**Tabla 25.** *Estado de resultados. Sección de costos y utilidades*

| Estado de costos      | Costos |                   |                  |
|-----------------------|--------|-------------------|------------------|
|                       |        | Inversión inicial | Total (30 años)  |
| Inventario inicial MP | \$     | -                 | \$ -             |
| Compras netas MP      | \$     | 1,299,000,000     | \$ 2,494,962,485 |
| Inventario final MP   | \$     | -                 | \$ -             |
| Costo MP consumida    | \$     | 1,299,000,000     | \$ 2,494,962,485 |
| MOD                   | \$     | 160,306,202       | \$ 298,803,296   |
| CIF                   | \$     | 1,603,062,018     | \$ 2,524,495,447 |
| Costo de producción   | \$     | 3,062,368,220     | \$ 5,318,261,229 |
| Inventario inicial PP | \$     | -                 | \$ -             |
| Inventario final PP   | \$     | -                 | \$ -             |
| Costo PT              | \$     | 3,062,368,220     | \$ 5,318,261,229 |
| Inventario inicial PT | \$     | -                 | \$ -             |
| Inventario final PT   | \$     | -                 | \$ -             |

| <b>Costos</b>               |                          |                        |                         |
|-----------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|
| <b>CMV</b>                  | \$                       | 3,062,368,220          | \$ 5,318,261,229        |
| <b>Resultados</b>           |                          |                        |                         |
| <b>Estado de resultados</b> | <b>Inversión inicial</b> |                        | <b>Total (30 años)</b>  |
| Ventas netas                | \$                       | -                      | \$ 15,946,513,906       |
| CMV                         | \$                       | 3,062,368,220          | \$ 5,318,261,229        |
| Utilidad bruta              | \$                       | - 3,062,368,220        | \$ 10,628,252,677       |
| Gastos administración       | \$                       | -                      | \$ 570,904,988          |
| Gastos ventas               | \$                       | -                      | \$ 493,832,815          |
| Utilidad operativa          | \$                       | - 3,062,368,220        | \$ 9,563,514,874        |
| Gastos financieros          | \$                       | -                      | \$ 203,071,953          |
| Utilidad antes de impuestos | \$                       | - 3,062,368,220        | \$ 9,360,442,921        |
| Impuestos                   | \$                       | -                      | \$ 4,099,527,676        |
| <b>Utilidad Neta</b>        | <b>\$</b>                | <b>- 3,062,368,220</b> | <b>\$ 5,260,915,244</b> |

### 5.3.4 Estado de resultados: tubería flexible Golsun

**Tabla 26.** Parámetros técnico-financieros para la implementación de la tecnología de tuberías convencionales y flexibles. Caso de aplicación: Piedemonte Llanero

| <b>Parámetros</b> | <b>Unidad</b> | <b>Valor</b> |
|-------------------|---------------|--------------|
| Vida útil         | Años          | 30           |
| Inspección        | Años          | 10           |
| Mantenimiento     | Años          | 1            |

**Tabla 27.** Costos relacionados con la materia prima tubería flexible Golsun

| <b>Costos del Servicio</b> | <b>0 – 1</b>           | <b>10</b>            | <b>30</b>             |
|----------------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|
| Instalación                | \$1,390,200,000        |                      |                       |
| Mant.                      | \$ 18,000,000          | \$ 23,485,917        | \$ 42,418,179         |
| Inspección                 |                        | \$ 15,983,472        |                       |
| Abandono                   |                        |                      | \$ 302,141,082        |
| <b>Total</b>               | <b>\$1,408,200,000</b> | <b>\$ 39,469,389</b> | <b>\$ 344,559,261</b> |

**Tabla 28.** Costos relacionados con la mano de obra directa tubería flexible Golsun

| <b>Costos del Servicio</b> | <b>0 – 1</b>          | <b>10</b>           | <b>30</b>            |
|----------------------------|-----------------------|---------------------|----------------------|
| Instalación                | \$ 123,556,202        |                     |                      |
| Mant.                      | \$ 1,600,000          | \$ 2,087,637        | \$ 3,770,505         |
| Inspección                 |                       | \$ 2,935,740        |                      |
| Abandono                   |                       |                     | \$ 55,495,301        |
| <b>Total</b>               | <b>\$ 125,156,202</b> | <b>\$ 5,023,377</b> | <b>\$ 59,265,806</b> |

**Tabla 29.** Costos relacionados con costo, seguro y flete, puerto de destino convenido tubería flexible Golsun

| <b>Costos del Servicio</b> | <b>0 – 1</b>     | <b>10</b>    | <b>30</b>     |
|----------------------------|------------------|--------------|---------------|
| Instalación                | \$ 1,235,562,018 |              |               |
| Mant.                      | \$ 4,800,000     | \$ 6,262,911 | \$ 11,311,514 |

| Costos del Servicio | 0 – 1                   | 10                   | 30                    |
|---------------------|-------------------------|----------------------|-----------------------|
| Inspección          |                         | \$ 32,619,330        |                       |
| Abandono            |                         |                      | \$ 616,614,453        |
| <b>Total</b>        | <b>\$ 1,240,362,018</b> | <b>\$ 38,882,241</b> | <b>\$ 627,925,967</b> |

**Tabla 30.** Total de costos tubería flexible Golsun

| Costos del Servicio | 0 – 1                   | 10                   | 30                     |
|---------------------|-------------------------|----------------------|------------------------|
| Instalación         | \$ 2,749,318,220        |                      |                        |
| Mant.               | \$ 24,400,000           | \$ 31,836,466        | \$ 57,500,198          |
| Inspección          |                         | \$ 51,538,541        |                        |
| Abandono            |                         |                      | \$ 974,250,835         |
| <b>Total</b>        | <b>\$ 2,773,718,220</b> | <b>\$ 83,375,006</b> | <b>\$1,031,751,034</b> |

**Tabla 31.** Total de ventas tubería flexible Golsun

| Costos del Servicio | 1                       | 10                    | 30                     |
|---------------------|-------------------------|-----------------------|------------------------|
| Instalación         | \$ 8,517,194,914        |                       |                        |
| Mant.               | \$ 80,000,000           | \$ 104,381,855        | \$ 188,525,240         |
| Inspección          |                         | \$ 130,477,318        |                        |
| Abandono            |                         |                       | \$2,466,457,811        |
| <b>Total</b>        | <b>\$ 8,597,194,914</b> | <b>\$ 234,859,173</b> | <b>\$2,654,983,052</b> |

**Tabla 32.** Estado de resultados. Sección de costos y utilidades tubería flexible Golsun

| Estado de costos            | Costos                    |                         |
|-----------------------------|---------------------------|-------------------------|
|                             | Inversión inicial         | Total (30 años)         |
| Inventario inicial MP       | \$ -                      | \$ -                    |
| Compras netas MP            | \$ 1,390,200,000          | \$ 2,586,162,485        |
| Inventario final MP         | \$ -                      | \$ -                    |
| Costo MP consumida          | \$ 1,390,200,000          | \$ 2,586,162,485        |
| MOD                         | \$ 123,556,202            | \$ 262,053,296          |
| CIF                         | \$ 1,235,562,018          | \$ 2,156,995,447        |
| Costo de producción         | \$ 2,749,318,220          | \$ 5,005,211,229        |
| Inventario inicial PP       | \$ -                      | \$ -                    |
| Inventario final PP         | \$ -                      | \$ -                    |
| Costo PT                    | \$ 2,749,318,220          | \$ 5,005,211,229        |
| Inventario inicial PT       | \$ -                      | \$ -                    |
| Inventario final PT         | \$ -                      | \$ -                    |
| <b>CMV</b>                  | <b>\$ 2,749,318,220</b>   | <b>\$ 5,005,211,229</b> |
| Estado de resultados        | Resultados                |                         |
|                             | Inversión inicial         | Total (30 años)         |
| Ventas netas                | \$ -                      | \$ 15,095,513,906       |
| CMV                         | \$ 2,749,318,220          | \$ 5,005,211,229        |
| Utilidad bruta              | \$ - 2,749,318,220        | \$ 10,090,302,677       |
| Gastos administración       | \$ -                      | \$ 570,904,988          |
| Gastos ventas               | \$ -                      | \$ 493,832,815          |
| Utilidad operativa          | \$ - 2,749,318,220        | \$ 9,025,564,874        |
| Gastos financieros          | \$ -                      | \$ 182,312,962          |
| Utilidad antes de impuestos | \$ - 2,749,318,220        | \$ 8,843,251,912        |
| Impuestos                   | \$ -                      | \$ 3,825,548,143        |
| <b>Utilidad Neta</b>        | <b>\$ - 2,749,318,220</b> | <b>\$ 5,017,703,768</b> |

## 5.3.5 Estado de resultados: tubería flexible Fiber Spark

**Tabla 33.** Parámetros técnico-financieros para la implementación de la tecnología de tuberías convencionales y flexibles. Caso de aplicación: Piedemonte Llanero

| Parámetros    | Unidad | Valor |
|---------------|--------|-------|
| Vida útil     | Años   | 20    |
| Inspección    | Años   | 10    |
| Mantenimiento | Años   | 1     |

**Tabla 34.** Costos relacionados con la materia prima tubería flexible Fiber Spark

| Costos del Servicio | 0 – 1                  | 10                   | 20                      | 30                    |
|---------------------|------------------------|----------------------|-------------------------|-----------------------|
| Instalación         | \$1,240,680,000        |                      | \$ 2,175,539,890        |                       |
| Mant.               | \$ 30,000,000          | \$ 39,143,196        | \$ 52,605,182           | \$ 70,696,965         |
| Inspección          |                        | \$ 15,517,933        | \$ 20,854,805           |                       |
| Abandono            |                        |                      |                         | \$ 302,141,082        |
| <b>Total</b>        | <b>\$1,270,680,000</b> | <b>\$ 54,661,129</b> | <b>\$ 2,248,999,877</b> | <b>\$ 372,838,047</b> |

**Tabla 35.** Costos relacionados con la mano de obra directa tubería flexible Fiber Spark

| Costos del Servicio | 0 – 1                 | 10                  | 20                    | 30                   |
|---------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|
| Instalación         | \$ 177,106,202        |                     | \$ 310,556,797        |                      |
| Mant.               | \$ 600,000            | \$ 782,864          | \$ 1,052,104          | \$ 1,413,939         |
| Inspección          |                       | \$ 2,850,233        | \$ 3,830,474          |                      |
| Abandono            |                       |                     |                       | \$ 55,495,301        |
| <b>Total</b>        | <b>\$ 177,706,202</b> | <b>\$ 3,633,097</b> | <b>\$ 315,439,375</b> | <b>\$ 56,909,240</b> |

**Tabla 36.** Costos relacionados con costo, seguro y flete, puerto de destino convenido tubería flexible Fiber Spark

| Costos del Servicio | 0 – 1                   | 10                   | 20                     | 30                    |
|---------------------|-------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|
| Instalación         | \$ 1,771,062,018        |                      | \$3,105,567,969        |                       |
| Mant.               | \$ 5,600,000            | \$ 7,306,730         | \$ 9,819,634           | \$ 13,196,767         |
| Inspección          |                         | \$ 31,669,252        | \$ 42,560,827          |                       |
| Abandono            |                         |                      |                        | \$ 616,614,453        |
| <b>Total</b>        | <b>\$ 1,776,662,018</b> | <b>\$ 38,975,982</b> | <b>\$3,157,948,430</b> | <b>\$ 629,811,220</b> |

**Tabla 37.** Total de costos tubería flexible Fiber Spark

| Costos del Servicio | 0 - 1                   | 20                     | 40                      | 60                      |
|---------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Instalación         | \$ 3,188,848,220        | \$5,591,664,656        | \$10,099,168,356        |                         |
| Mant.               | \$ 36,200,000           | \$ 63,476,919          | \$ 114,646,377          | \$ 207,064,109          |
| Inspección          |                         | \$ 67,246,106          | \$ 121,453,947          |                         |
| Abandono            |                         |                        |                         | \$ 2,364,762,490        |
| <b>Total</b>        | <b>\$ 3,225,048,220</b> | <b>\$5,722,387,681</b> | <b>\$10,335,268,680</b> | <b>\$ 2,571,826,600</b> |

**Tabla 38.** Total de ventas tubería flexible Fiber Spark

| Costos del Servicio | 0 – 1            | 10             | 20               | 30               |
|---------------------|------------------|----------------|------------------|------------------|
| Instalación         | \$ 9,701,794,914 |                | \$17,012,156,108 |                  |
| Mant.               | \$ 80,000,000    | \$ 104,381,855 | \$ 140,280,484   | \$ 188,525,240   |
| Inspección          |                  | \$ 126,677,008 | \$ 170,243,306   |                  |
| Abandono            |                  |                |                  | \$ 2,466,457,811 |
| <b>Total</b>        | \$ 9,781,794,914 | \$ 231,058,863 | \$17,322,679,898 | \$ 2,654,983,052 |

**Tabla 39.** Estado de resultados. Sección de costos y utilidades tubería flexible Fiber Spark

| Costos                      |           |                        |                          |
|-----------------------------|-----------|------------------------|--------------------------|
| Estado de costos            |           | Inversión inicial      | Total (30 años)          |
| Inventario inicial MP       | \$        | -                      | \$ -                     |
| Compras netas MP            | \$        | 1,240,680,000          | \$ 5,181,996,182         |
| Inventario final MP         | \$        | -                      | \$ -                     |
| Costo MP consumida          | \$        | 1,240,680,000          | \$ 5,181,996,182         |
| MOD                         | \$        | 177,106,202            | \$ 578,384,256           |
| CIF                         | \$        | 1,771,062,018          | \$ 5,833,896,847         |
| Costo de producción         | \$        | 3,188,848,220          | \$ 11,594,277,284        |
| Inventario inicial PP       | \$        | -                      | \$ -                     |
| Inventario final PP         | \$        | -                      | \$ -                     |
| Costo PT                    | \$        | 3,188,848,220          | \$ 11,594,277,284        |
| Inventario inicial PT       | \$        | -                      | \$ -                     |
| Inventario final PT         | \$        | -                      | \$ -                     |
| CMV                         | \$        | 3,188,848,220          | \$ 11,594,277,284        |
| Resultados                  |           |                        |                          |
| Estado de resultados        |           | Inversión inicial      | Total (30 años)          |
| Ventas netas                | \$        | -                      | \$ 33,283,362,404        |
| CMV                         | \$        | 3,188,848,220          | \$ 11,594,277,284        |
| Utilidad bruta              | \$        | - 3,188,848,220        | \$ 21,689,085,120        |
| Gastos administración       | \$        | -                      | \$ 570,904,988           |
| Gastos ventas               | \$        | -                      | \$ 493,832,815           |
| Utilidad operativa          | \$        | - 3,188,848,220        | \$ 20,624,347,316        |
| Gastos financieros          | \$        | -                      | \$ 660,518,052           |
| Utilidad antes de impuestos | \$        | - 3,188,848,220        | \$ 19,963,829,264        |
| Impuestos                   | \$        | -                      | \$ 7,640,383,570         |
| <b>Utilidad Neta</b>        | <b>\$</b> | <b>- 3,188,848,220</b> | <b>\$ 12,323,445,695</b> |

Es importante destacar que todas las tecnologías generan valor en la empresa, ya que el estado de resultados arrojó un saldo positivo al terminar el ciclo de vida del proyecto.

Para la realización de este análisis se parte de un estado de resultados, discriminado para cada tipo de tubería.

#### 5.4 Resultados Objetivo 4: Determinar la viabilidad del uso de tuberías flexibles mediante un análisis comparativo del estado de resultados

Posteriormente, a la determinación del estado de resultados se procedió a determinar la viabilidad del uso de tuberías flexibles mediante un análisis comparativo para determinar la rentabilidad y la generación de valor de este proyecto, a través de los indicadores especificados a continuación:

##### 5.4.1 Valor presente neto (VPN) -Tasa interna de retorno (TIR)

Siguiendo el proceso planteado por Moncayo *et al.* (2011), se analizó la rentabilidad con parámetros como el Valor Presente Neto (VPN) y la tasa interna de retorno (TIR). A diferencia del cálculo de la rentabilidad, estos factores tienen en cuenta el tiempo en el cual se alcanza el valor total de utilidades, por lo cual son parámetros importantes para el estudio económico, a la hora de invertir en un proyecto. Para estos cálculos, se utilizaron los valores obtenidos de la utilidad neta anual y la inversión inicial. En las tablas 45 y 46 se esquematizan los resultados.

**Tabla 40.** Cálculo de VPN y TIR, tuberías convencionales

| Tuberías Convencionales |                   |                   |
|-------------------------|-------------------|-------------------|
| Tasa de descuento: 12%  |                   |                   |
| TIPO                    | Con RI            | Sin RI            |
| TIR                     | 60%               | 71%               |
| VPN                     | \$ 12,196,088,708 | \$ 48,257,769,458 |

**Tabla 41.** Cálculo de VPN y TIR, tuberías flexibles

| Tuberías Flexibles     |                  |                  |                   |
|------------------------|------------------|------------------|-------------------|
| Tasa de descuento: 12% |                  |                  |                   |
| TIPO                   | Soluforce        | Golsun           | Fiber Spark       |
| TIR                    | 102%             | 105%             | 91%               |
| VPN                    | \$ 8,324,863,406 | \$ 7,646,451,416 | \$ 10,163,880,618 |

Como se observa en las tablas anteriores, es evidente que las tuberías flexibles tienen mayor rentabilidad de acuerdo a la TIR (99%), comparados con las tuberías convencionales (65%

aproximadamente). Razón por la cual, las tuberías flexibles se presentan como un campo de inversión con gran proyección en la industria del transporte de hidrocarburos.

Sin embargo, se destaca que el valor presente neto es mayor en las tuberías con recubrimiento. A pesar de lo anterior y con el fin de generar valor a la empresa, es conveniente sugerir la implementación de tuberías flexibles, ya que presentan mejor tasa interna de retorno y permiten la ejecución de nuevos proyectos en un menor lapso que las convencionales.

#### 5.4.2 *Payback time Period (PBP)*

El tiempo de retorno de inversión (PBP) se define como el cálculo del tiempo necesario (normalmente expresado en años) para recuperar una inversión. Así, se determina un punto de equilibrio de la inversión (Paltrinieri y Khan, 2016). El PBP de una determinada inversión en seguridad es un posible factor causal de que se siga adelante con el proyecto, debido a que siempre se busca un retorno de capital rápido. Teniendo esta información, se procedió a realizar el cálculo del PBP, en conjunto con los datos obtenidos del estado de resultados.

**Tabla 42.** *Cálculo de payback time según resultados de inversión inicial. Tubería con revestimiento*

| <b>Costos del Servicio</b> |    | <b>Valor</b>          |
|----------------------------|----|-----------------------|
| Costo de Instalación       | \$ | 3,406,966,063         |
| Costo de Mantenimiento     | \$ | 11,429,517,869        |
| Costos de Inspección       | \$ | 305,302,289           |
| Costo de Abandono          | \$ | 974,250,835           |
| <b>Costos Totales</b>      | \$ | <b>16,116,037,056</b> |
| <b>Venta del Servicio</b>  |    | <b>Valor</b>          |
| Costo de Instalación       | \$ | 7,978,567,808         |
| Costo de Mantenimiento     | \$ | 29,306,456,075        |
| Costos de Inspección       | \$ | 772,917,188           |
| Costo de Abandono          | \$ | 2,466,457,811         |
| <b>Costos Totales</b>      | \$ | <b>40,524,398,882</b> |

**Tabla 43.** *Cálculo de payback time según resultados de inversión inicial. Tubería sin revestimiento*

| Costos del Servicio    |    | Inversión total |
|------------------------|----|-----------------|
| Costo de Instalación   | \$ | 6,829,313,785   |
| Costo de Mantenimiento | \$ | 85,647,166,371  |
| Costos de Inspección   | \$ | 305,302,289     |
| Costo de Abandono      | \$ | 974,250,835     |
| <b>Costos Totales</b>  | \$ | 93,756,033,280  |
| Venta del Servicio     |    | Valor           |
| Costo de Instalación   | \$ | 17,088,038,306  |
| Costo de Mantenimiento | \$ | 219,608,118,900 |
| Costos de Inspección   | \$ | 772,917,188     |
| Costo de Abandono      | \$ | 2,466,457,811   |
| <b>Costos Totales</b>  | \$ | 239,935,532,205 |

**Tabla 44.** *Cálculo de payback time según resultados de inversión inicial. Tubería Soluforce*

| Costos del Servicio    |    | Inversión total |
|------------------------|----|-----------------|
| Costo de Instalación   | \$ | 3,062,368,220   |
| Costo de Mantenimiento | \$ | 1,160,840,143   |
| Costos de Inspección   | \$ | 120,802,030     |
| Costo de Abandono      | \$ | 974,250,835     |
| <b>Costos Totales</b>  | \$ | 5,318,261,229   |
| Venta del Servicio     |    | Valor           |
| Costo de Instalación   | \$ | 9,368,194,914   |
| Costo de Mantenimiento | \$ | 3,806,033,257   |
| Costos de Inspección   | \$ | 305,827,924     |
| Costo de Abandono      | \$ | 2,466,457,811   |
| <b>Costos Totales</b>  | \$ | 15,946,513,906  |

**Tabla 45.** *Cálculo de payback time según resultados de inversión inicial. Tubería Golsun*

| Costos del Servicio    |    | Inversión total |
|------------------------|----|-----------------|
| Costo de Instalación   | \$ | 2,749,318,220   |
| Costo de Mantenimiento | \$ | 1,160,840,143   |
| Costos de Inspección   | \$ | 120,802,030     |
| Costo de Abandono      | \$ | 974,250,835     |
| <b>Costos Totales</b>  | \$ | 5,005,211,229   |
| Venta del Servicio     |    | Valor           |
| Costo de Instalación   | \$ | 8,517,194,914   |
| Costo de Mantenimiento | \$ | 3,806,033,257   |
| Costos de Inspección   | \$ | 305,827,924     |
| Costo de Abandono      | \$ | 2,466,457,811   |
| <b>Costos Totales</b>  | \$ | 15,095,513,906  |

**Tabla 46.** *Cálculo de payback time según resultados de inversión inicial. Tubería Fiber Spark*

| Costos del Servicio    |    | Inversión total |
|------------------------|----|-----------------|
| Costo de Instalación   | \$ | 8,009,794,361   |
| Costo de Mantenimiento | \$ | 1,722,230,049   |
| Costos de Inspección   | \$ | 117,283,524     |
| Costo de Abandono      | \$ | 974,250,835     |
| <b>Costos Totales</b>  | \$ | 10,823,558,769  |

| <b>Venta del Servicio</b> |    | <b>Valor</b>          |
|---------------------------|----|-----------------------|
| Costo de Instalación      | \$ | 26,713,951,022        |
| Costo de Mantenimiento    | \$ | 3,806,033,257         |
| Costos de Inspección      | \$ | 296,920,314           |
| Costo de Abandono         | \$ | 2,466,457,811         |
| <b>Costos Totales</b>     | \$ | <b>33,283,362,404</b> |

En general, el tiempo de retorno de inversión es rápido (máx. 15 años), y la ganancia general de proyecto puede ser hasta de 15 años. Cabe destacar que el proyecto con menor PBP es la implementación de tuberías tipo *Soluforce* y *Golsun* (1 año), debido principalmente al margen de rentabilidad en la instalación y a los pocos costos relacionados con mantenimiento. Por otra parte, el proyecto de tubería sin revestimiento es el de mayor PBP (15 años).

Cabe señalar, que el payback time period tiene algunas limitaciones ya que no considera los flujos de efectivo posteriores al período de recuperación, lo que puede subestimar la rentabilidad a largo plazo de la inversión. Además, no tiene en cuenta el valor temporal del dinero, es decir, no considera la diferencia en el valor de los flujos de efectivo en diferentes momentos del tiempo.

### **5.4.3 Weighted Average Cost of Capital Debt**

Para iniciar se tuvieron en cuenta los aspectos fundamentales enunciados en la metodología en relación a este tema: Tasa libre del mercado, retorno del mercado y Beta (Bu) (Bursitia, 2019). Para considerar el coeficiente beta (Bu) es un aspecto a relevante en este trabajo ya que mide los factores de variabilidad de la rentabilidad de la acción en relación promedio a la rentabilidad media del mercado en que se negocia. Si este valor mayor a 1, indica que la acción es más variable que el índice, lo cual hace que el riesgo sea mayor (Bursitia, 2019).

En la siguiente tabla, se muestran valores promedio de la beta (Bu) de cinco (5) empresas del sector petrolero que cotizan en bolsa.

**Tabla 47.** *Beta desapalancado promedio del sector hidrocarburo*

| <b>Compañía petrolera</b> | <b>País de origen</b> | <b>Beta desapalancado (Bu)</b> |
|---------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| Ecopetrol SA              | Colombia              | 1.27                           |
| ConocoPhillips            | USA                   | 1.19                           |
| Suncor Energy Inc.        | Canadá                | 1.85                           |
| Repsol SA                 | España                | 1.27                           |
| Eni SpA                   | Italia                | 1.26                           |

Tomado de Infront, petrolera Pampa S.A. (2020).

Que el Beta sea mayor a uno en el mercado de la industria petrolera es común, debido a la gran cantidad de variables que afectan el precio del crudo y las acciones de las compañías petroleras.

Teniendo en cuenta estos datos, se propone un Beta (Bu) de 1.28. Lo anterior se resume en la siguiente ecuación:

(4)

(5)

(6)

Teniendo esta información, se procedió a realizar el cálculo de la rentabilidad esperada del mercado, el costo del capital y de WACC, en conjunto con los datos obtenidos del estado de resultados.

**Tabla 48.** *Cálculo WACC según resultados de costos totales. Tuberías con revestimiento*

| <b>Parámetros</b>                         | <b>Valor</b>      |
|---|-------------------|
| Tasa libre de riesgo (Rf)                 | 7.95%             |
| Retorno del mercado (Rm)                  | 6.70%             |
| Beta (Bu)                                 | 1.285             |
| Rentabilidad esperada del mercado (E[Rm]) | 6.34%             |
| Fondos Propios (E)                        | \$ 11,281,225,939 |
| Préstamos bancarios (D)                   | \$ 4,834,811,117  |
| Tasa Impositiva (T)                       | 34%               |
| Coste Financiero (Kd)                     | 12.00%            |

| Parámetros            | Valor |
|-----------------------|-------|
| Beta Apalancada (Be)  | 1.65  |
| Costo de Capital (Ke) | 5.30% |

**Tabla 49.** Cálculo WACC según resultados de costos totales. Tuberías sin revestimiento

| Parámetros                                | Valor             |
|---|-------------------|
| Tasa libre de riesgo (Rf)                 | 7.95%             |
| Retorno del mercado (Rm)                  | 6.70%             |
| Beta (Bu)                                 | 1.285             |
| Rentabilidad esperada del mercado (E[Rm]) | 6.34%             |
| Fondos Propios (E)                        | \$ 65,629,223,296 |
| Préstamos bancarios (D)                   | \$ 28,126,809,984 |
| Tasa Impositiva (T)                       | 34%               |
| Coste Financiero (Kd)                     | 12.00%            |
| Beta Apalancada (Be)                      | 1.65              |
| Costo de Capital (Ke)                     | 5.30%             |

**Tabla 50.** Cálculo WACC según resultados de costos totales. Tuberías Soluforce

| Parámetros                                | Valor            |
|---|------------------|
| Tasa libre de riesgo (Rf)                 | 7.95%            |
| Retorno del mercado (Rm)                  | 6.70%            |
| Beta (Bu)                                 | 1.285            |
| Rentabilidad esperada del mercado (E[Rm]) | 6.34%            |
| Fondos Propios (E)                        | \$ 4,360,974,208 |
| Préstamos bancarios (D)                   | \$ 957,287,021   |
| Tasa Impositiva (T)                       | 34%              |
| Coste Financiero (Kd)                     | 12.00%           |
| Beta Apalancada (Be)                      | 1.47             |
| Costo de Capital (Ke)                     | 5.59%            |

**Tabla 51.** Cálculo WACC según resultados de costos totales. Tuberías Golsun

| Parámetros                                | Valor            |
|---|------------------|
| Tasa libre de riesgo (Rf)                 | 7.95%            |
| Retorno del mercado (Rm)                  | 6.70%            |
| Beta (Bu)                                 | 1.285            |
| Rentabilidad esperada del mercado (E[Rm]) | 6.34%            |
| Fondos Propios (E)                        | \$ 4,154,325,320 |
| Préstamos bancarios (D)                   | \$ 850,885,909   |
| Tasa Impositiva (T)                       | 34%              |
| Coste Financiero (Kd)                     | 12.00%           |
| Beta Apalancada (Be)                      | 1.46             |
| Costo de Capital (Ke)                     | 5.61%            |

**Tabla 52.** Cálculo WACC según resultados de costos totales. Tuberías Fiber Spark

| Parámetros                                | Valor |
|---|-------|
| Tasa libre de riesgo (Rf)                 | 7.95% |
| Retorno del mercado (Rm)                  | 6.70% |
| Beta (Bu)                                 | 1.285 |
| Rentabilidad esperada del mercado (E[Rm]) | 6.34% |

| Parámetros              | Valor            |
|-------------------------|------------------|
| Fondos Propios (E)      | \$ 6,602,370,849 |
| Préstamos bancarios (D) | \$ 4,221,187,920 |
| Tasa Impositiva (T)     | 34%              |
| Coste Financiero (Kd)   | 12.00%           |
| Beta Apalancada (Be)    | 1.83             |
| Costo de Capital (Ke)   | 5.02%            |

Los resultados se pueden interpretar como el porcentaje mínimo de rentabilidad para satisfacer las deudas con las entidades bancarias y los accionistas; dicho de otro modo, el porcentaje de rentabilidad que se necesita para solventar las ganancias esperadas de los inversionistas y las cuotas de préstamos bancarios. En este caso en particular, la WACC oscila entre 6%, en todos los tipos de tuberías, con lo cual no se observan en este aspecto diferencias significativas entre los aspectos evaluados.

## 5.5 Análisis de Resultados

Dado el análisis económico presentado anteriormente y considerando las variables de estudio, se puede observar que la implementación de tuberías flexibles tipo Golsun o Soluforce son las alternativas más rentables.

Las tuberías flexibles tipo Golsun o Soluforce tienen una tasa interna de retorno cercana a 100%, y un tiempo de recuperación de inversión menor a 4 meses.

Las tuberías flexibles tipo Golsun o Soluforce mostraron un costo de capital dentro del promedio del obtenido con la implementación de cualquier tecnología, en el lapso de 60 años.

La rentabilidad obtenida por las tuberías convencionales, de acuerdo a el valor presente neto es significativamente menor comparadas con las tuberías flexibles.

Por otra parte, si se compara técnicamente el uso de tuberías flexibles y convencionales, el periodo de vida útil es mayor en las flexibles, por lo cual la posibilidad de implementar estas en campos petroleros, además del amplio rango de trabajo que tienen, y la calidad de y resistencia al

transporte de diferentes fluidos, es una gran oportunidad de inversión, con un bajo riesgo a largo plazo y retorno de inversión significativamente rápido.

Con relación a los costos fijos referentes al mantenimiento de tuberías flexibles, los cuales son los costos asociados más significativos en toda la vida útil de estas tuberías, son considerablemente menores en comparación con las tuberías convencionales, se muestran como una posibilidad de destacada entre las tecnologías no convencionales de transporte de hidrocarburos.

Al realizar el análisis comparativo entre la tasa interna de retorno y el WACC, se evidencia que las tuberías flexibles tienen ventaja sobre las convencionales. Se recomienda utilizar el *payback time period* en conjunto con otras métricas de selección evaluativa de inversiones, como el Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), para obtener una imagen más completa de la viabilidad del proyecto, lo cual en nuestro caso mostró diferencias entre el VPN y el *payback time period*.

En resumen, el cambio de tuberías rígidas por tuberías flexibles en oleoductos puede generar beneficios económicos significativos a través de la reducción de costos de instalación, menor necesidad de mantenimiento, mayor resistencia, menor pérdida de producto y menor impacto ambiental, así como mayor adaptabilidad a condiciones cambiantes.

## 6. Conclusiones

- El transporte por tuberías es la tecnología de mejor relación costo-beneficio presenta a la hora de distribuir los hidrocarburos producidos en un campo petrolero.
- Aspectos operacionales de las tuberías convencionales presentan problemas asociados a las propiedades de los fluidos que se transportan, por lo cual las tuberías flexibles exhiben una

oportunidad de inversión y generación de valor dentro de una industria que avanza en pro del crecimiento económico y la maximización de la rentabilidad.

- Al implementar la tecnología de tuberías flexibles, se evidencia una oportunidad propicia para la inversión e innovación en el transporte de hidrocarburos, teniendo en cuenta que genera valores de Tasa interna de Retorno (TIR) por encima de los producidos por las tuberías convencionales, pero con periodos de vida útil mayor y costos fijos significativamente menores.
- Las mejores alternativas de implementación de tuberías para el proyecto en cuestión, económicamente hablando, son las Soluforce ® y Golsun, las cuales generan alrededor de \$5,000,000,000 y una tasa interna de recuperación de 102% y 105%, respectivamente. Esto, sumado a la vida útil de la tubería, conforma un elemento importante para considerar aplicar esta tecnología en campos petroleros colombianos.

## **7. Recomendaciones**

- Realizar estudios económicos enfocados a la fabricación de las tuberías y compararlos con los costos de adquisición e importación de estas.
- Con el objetivo de establecer y garantizar la razonabilidad de la información financiera para el proceso contable, se requiere la aplicación de criterios técnicos acompañados de las políticas contables adecuadas que guarden relación a la actividad económica.
- Ejecutar un análisis de sensibilidad para evaluar el efecto de los cambios en variables clave, como los precios del petróleo, los costos de materiales o los tipos de cambio.
- Analizar diferentes escenarios en la implementación de tuberías flexibles y evaluar su efecto en los resultados económicos.

- Existe actualmente un interés creciente en el uso de recursos de petróleo para producir combustibles y productos petroquímicos, esto representa desafíos que necesitan importantes y selectos desarrollos tecnológicos en la cadena productiva, operativa y de transporte. Conocer cómo y cuales dificultades a nivel operativo y organizacional en el transporte de petróleo se pueden abordar desde un enfoque económico administrativo, permitirá optimizar y aumentar la viabilidad económica de este producto.
- Otros factores para analizar en futuros estudios con el uso de tuberías flexibles que no fueron incluidas en este trabajo pueden incluir pérdida de producto, impacto ambiental, probabilidad de sufrir fugas y derrames de productos debido a su diseño. Cuantificar las pérdidas económicas asociadas con la pérdida de producto y los costos de limpieza y remediación en caso de derrames. Además, analizar los costos asociados con el daño ambiental, multas y sanciones regulatorias.

### Referencias

- AM Group (s.f.) *10 Ventajas Destacables de las Tuberías de Polietileno (PE)*.  
<https://www.aristegui.info/10-ventajas-destacables-de-las-tuberias-de-poli-etileno-pe/>
- Argandoña, A. (201.). Irving Fisher: un gran economista. IESE Business School. Universidad de Navarra. <https://media.iese.edu/research/pdfs/WP-1082.pdf>
- Beetle Plastics. (2013, 30 de mayo). *Usos de la tubería de fibra de vidrio y la tubería de fibra de vidrio de gran diámetro*. <https://beetleplastics.com/uses-of-fiberglass-pipe-and-large-diameter-fiberglass-pipe/>
- Berndt, E., (1991). *Teoría de la oferta y la demanda*. <https://www.bbva.com/es/teoria-la-oferta-la-demanda/>
- Boardman (2018). *Metodología económica costo beneficio*.  
<https://economia.uniandes.edu.co/sites/default/files/meca/pracademicos/202020/AnalisisCostoBeneficio-RaulCastro-2020-2.pdf>
- Bursitia. (2019). *Indicador para medir la tasa libre del mercado, retorno del mercado*.  
[www.ecopetrol.com](http://www.ecopetrol.com)
- Calderón, J. (2008). *Costos de sustitución y costos de reposición*.  
<https://es.scribd.com/document/239580675/Costos-de-Sustitucion-y-Reposicion>
- Carnegie Mellon University. (2017). *Costo asociado a los métodos de transporte más comunes*.  
<https://www.cmu.edu/news/stories/archives/2017/>
- CONPES, D. (2009, 27 de abril). Política Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación. Versión Aprobada. Bogotá.  
<https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3582.pdf>

- De La Hoz Suárez, B, Ferrer, M.A., De La Hoz Suárez, A. (2008). Indicadores de rentabilidad: Herramientas para la toma decisiones financieras en hoteles de categoría media ubicados en Maracaibo. *Revista de Ciencias Sociales*, 14(1), 88-109. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1315-95182008000100008&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-95182008000100008&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Diewert W y Lawrence, D (1981). *Teoría del desarrollo económico endógeno*. <https://www.redalyc.org/pdf/289/28901109.pdf>.
- DNP. (2016). *Proyectos en ejecución y futuros en transporte e infraestructura de combustibles en Colombia*. <https://www.dnp.gov.co/>
- Ecopetrol (2014). *Instalación tubería flexible campo oleoducto caño limón - Coveñas. Reporte*. [www.ecopetrol.com](http://www.ecopetrol.com)
- Ecopetrol S.A. (2008) *APISpec15LE (2008) API Spec 17J. Qualification of Spoolable Reinforced Plastic Line Specification for Polyethylene Line Pipe (PE) Specification for Unbonded Flexible Pipe, Third Edition (ISO 13628)*. [www.ecopetrol.com](http://www.ecopetrol.com)
- Ecopetrol S.A. (2008). *Análisis comparativo de las tecnologías, metodología de evaluación semicuantitativa. Tuberías metálicas. Presentación de aplicación de nuevas tecnologías de tuberías en los campos de producción de Ecopetrol S.A, API RP 15S APISpec15LE(2008) API Spec 17J*. [www.ecopetrol.com](http://www.ecopetrol.com)
- Ecopetrol S.A. (2008). *Análisis comparativo de las tecnologías, metodología de evaluación semicuantitativa. Tuberías flexibles*.
- Ecopetrol S.A. (2008). *Guía recomendada para selección y uso de tuberías de materiales compuestos para aplicación en líneas de flujo de la VPR y análisis de resultados*. [www.ecopetrol.com](http://www.ecopetrol.com)

- Ecopetrol S.A. (2008). *Variables asociadas a la implementación de las diferentes tecnologías. Compra y mantenimiento. ASTM C581-03. Standard Practice for Determining Chemical Resistance Of Thermosetting Resins Used in Glass-Fiber-Reinforced Structures Intended for Liquid Service.* www.ecopetrol.com
- Ecopetrol S.A. (2008). *Variables asociadas a la implementación de las diferentes tecnologías. Abandono, Presentación de aplicación de nuevas tecnologías de tuberías en los campos de producción de Ecopetrol S.A. ASTM D792-08. Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement.* www.ecopetrol.com
- Ecopetrol S.A. (2008). *Variables asociadas a la implementación de las diferentes tecnologías. Instalación. Guía recomendada para selección y uso de tuberías de materiales compuestos para aplicación en líneas de flujo de la VP, ASTM D1693-12 Test Standard Test Method for Environmental Stress-Cracking of Ethylene Plastics.* www.ecopetrol.com
- Eisenman (1999). *Propiedades de los materiales más utilizados para la construcción de tuberías en el transporte de fluidos.* Rango operacional.
- Empresa Nacional del Petróleo. (s.f.). *Refinerías.* <https://www.enap.cl/pag/292/1543/refinerias>
- Fare, R., y Primont, D., (1995). *Teoría monetaria. Teoría de la producción analiza el dinero en papel y los efectos de la actividad económica.* <https://media.iese.edu/research/pdfs/WP-1082.pdf>
- Fernández, E. (2014). *Determinación de la Rentabilidad de una Empresa y sus UENS Mediante el Business Segment Reporting.* (Tesis maestría, Dirección de Negocios). Universidad Nacional de Córdoba. Repositorio Institucional Universidad Nacional de Córdoba. <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/1929>
- FiberSpar (s.f.). *Esta tubería ha sido implementada en Ecopetrol (El centro).* www.ecopetrol.com

Financiera, N. (2004). *El Significado del Valor Presente Neto y su Importancia como Criterio para Evaluar Económicamente Proyectos de Inversión.*

Flexpipe, Flexpipe (s.f.). *Tipo FPLP, HT, FFLP, FCLP y AB, La tubería tipo STP ha sido implementada en Ecopetrol (Putumayo).* [www.redoingenieria.com](http://www.redoingenieria.com)

Gonzales Estrada (2016). *Tubería Fiberspar, modelo constructivo, documento aplicación de nuevas Tecnologías de tuberías en los campos de producción de Ecopetrol S.A, ASTM d3839-08 standard guide for underground installation of fiberspar (glass- fiberreinforced thermosetting-resin)* [www.ecopetrol.com](http://www.ecopetrol.com)

Gonzales Estrada, O. A., Leal-Enciso, J. D., & Reyes-Herrera, J. D. (2016). Análisis de integridad estructural de tuberías de material compuesto para el transporte de hidrocarburos por elementos finitos Structural integrity analysis of composite pipes for the transport of crude oil by finite elements. *Revista UIS Ingenierías*, 15(2), 105-116. <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistauisingenierias/article/view/105-116/6298>

Granel, M. (2022, 30 de julio) *¿Cómo calcular el valor presente neto? Ejemplos.* Rankia.

Greene. (2018). *Metodología fundamental, métodos estadísticos para analizar variables económicas.* <https://repository.unilibre.edu.co>

Grupo aval (2021). Informe de Gestión y Sostenibilidad. <https://www.grupoaval.com/repositorio/grupoaval/acerca-de-nosotros/responsabilidad-social-y-corporativa/Informe-de-Gestion-Aval-2021.pdf>.

HTIDC. (s.f.). *Tubo de Polietileno (PE) Reforzado con Malla de Acero.* <http://www.reinforcedpipe.com/es/products/13.html>

Institute of Management Accountants (IMA). (s.f.). Capítulo en español. Desde 1919 colaborando con la innovación financiera.

<https://mexico.imanet.org/aboutchapter/aboutchapter?ssopc=1>

Instituto Asteco (2018). *La industria metalúrgica*. <https://institutoasteco.com/asteco/>

International Energy Agency - IEA. (2010). *World Energy Outlook 2010*. Analysis.

<https://iea.blob.core.windows.net/assets/1b090169-1c58-4f5d-9451-ee838f6f00e5/weo2010.pdf>

International Energy Agency - IEA. (2022). *World Energy Outlook 2022*. Analysis.

<https://iea.blob.core.windows.net/assets/830fe099-5530-48f2-a7c1-11f35d510983/WorldEnergyOutlook2022.pdf>

Kilian, L. y Park, C. (2009). El impacto de las crisis del precio del petróleo en el mercado de valores estadounidense. *Revista económica internacional*, 50 (4), 1267-1287. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2354.2009.00568.x>

Laverde Díaz, Y. A., Montealegre Espinosa, O. L., Urián Bustos, D. A., & Blanco Ramírez, A. H.

(2012). *Análisis de la cadena de distribución del crudo y el impacto en la demanda actual* (Tesis especialización, Alianzas Estratégicas). Universidad Sergio Arboleda. Repositorio

Institucional Universidad Sergio Arboleda.

<https://repository.usergioarboleda.edu.co/bitstream/handle/11232/1198/Analisis%20de%20la%20cadena%20de%20distribucion%20del%20crudo%20y%20el%20impacto%20en%20la%20demanda%20actual.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

LEGIS. (2016, 27 de abril). *Revista de Logística* ed 30.

[https://issuu.com/legissa/docs/rev\\_logistica\\_ed\\_30\\_webopt](https://issuu.com/legissa/docs/rev_logistica_ed_30_webopt)

- Mankiw, G. (2014). *Principios de Economía*.  
<https://clea.edu.mx/biblioteca/files/original/bd2711c3969d92b67fcf71d844bcbaed.pdf>
- Martínez-Palou, R., de Lourdes Mosqueira, M., Zapata-Rendón, B., Mar-Juárez, E., Bernal-Huicochea, C., de la Cruz Clavel-López, J., & Aburto, J. (2011). Transporte de crudo pesado y extrapesado por oleoducto: una revisión. *Revista de ciencia e ingeniería del petróleo*, 75 (3-4), 274-282. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2010.11.020>
- Meléndez Pertuz, F. A., Gonzalez Coneo, J. E., Comas Gonzalez, Z. V., Nuñez Perez, B. E., & Viloría Molinares, P. (2017). Integridad estructural de tuberías de transporte de hidrocarburos: Panorama actual. *Espacios*, 38(17), 1-10.  
<http://hdl.handle.net/11323/4599>
- Mete, M. R. (2014). Valor Actual Neto Y Tasa De Retorno: Su Utilidad Como Herramientas Para El Análisis Y Evaluación De Proyectos De Inversión. *Fides et Ratio - Revista de Difusión cultural y científica de la Universidad La Salle en Bolivia*, 7(7), 67-85.  
[http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2071-081X2014000100006&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-081X2014000100006&lng=es&nrm=iso)
- Moncayo et al. (2011). *Rentabilidad con parámetros como el Valor Presente Neto*.  
<https://actualicese.com/valor-presente-neto-como-herramienta-de-analisis-en-los-proyectos-de-inversion/>
- Peralta Sánchez, A. F., Blanco Sánchez, J. D., Reina González, J. F., & Mantilla Ramírez, L. E. (2017). Transporte de crudo pesado por oleoducto usando el método de dilución: Un enfoque práctico para modelar la caída de presión y la precipitación de asfaltenos. *Revista Fuentes, El Reventón Energético*, 15(2), 7-17. <https://doi.org/10.18273/revfue.v15n2-2017001>

Phillips (2018). *Tubería poliflow, modelo constructivo. Aplicación de nuevas tecnologías de tuberías en los campos de producción de Ecopetrol S.A.* [www.ecopetrol.com](http://www.ecopetrol.com)

Quispe, F. (2012). Marco teórico de los de costos. En *Costos y Presupuestos* (pp. 7-46). <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/7438/Fundamentos%20de%20Costos%207-46.pdf?sequence=1>

Ramírez, E. (2006). *El Transporte de Combustibles Líquidos por los Poliductos de Ecopetrol Y su Optimización en el Manejo de Baches.* (Trabajo de grado, Departamento de Química). Universidad Pedagógica Nacional. Repositorio Institucional Universidad Pedagógica Nacional. <http://repository.pedagogica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12209/9164/TE-06330.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Reading, E. (s.f.). *Propiedades de los materiales más utilizados para la construcción de tuberías en el transporte de fluidos, Rango operacional.* [ingenieria\\_Sanitaria\\_A4\\_Capitulo\\_07\\_Conduccion\\_de\\_las\\_Aguas.pdf](#)

Remolina Campos, S. A., Luna Cáceres, C. A., Espitia Castellanos, J. Patiño Reyes, É.J. (2019). Una mirada al desarrollo de aditivos reductores de viscosidad y sus aplicaciones en el transporte de crudos pesados. *Revista ION*, 32(1), 35-48. <https://doi.org/10.18273/revion.v32n1-2019003>

Romer (1986). Causa y Efecto de la economía. <https://www.unisc.br/site/sidr/2008/textos/63.pdf>

Sandino Olier, R. (2017). Costos y presupuestos. Fundación Universitaria del Área Andina. <https://digitk.areandina.edu.co/bitstream/handle/areandina/1496/Costos%20y%20presupuestos.pdf?sequence=1>

Schlumberger (2004). *Introducción al equipo de perforación. Perforación en el sector petrolero.* <https://www.academia.edu>

Shephard, R. (1970). *Teoría de la producción y los costos*.

<https://www.remef.org.mx/index.php/primera/article/view/206>

Soluforce (2011). Parámetros API RP 15S. Tubería tipo estándar ST (RTP), HT (RTP), GT (RTP)

y tipo estándar (RLP Estados unidos). [www.soluforce.com](http://www.soluforce.com)

Soluforce (s.f.). *Reinforced thermoplastic pipe: standardised composite solution for oilfield*.

Universidad Santa Maria. (2012, 14 de julio). *Economía Minera y Petrolera*. Completo

Petroquímico el tablazo. <https://economiamineraypetrolera.wordpress.com/>

Universidad Veracruzana. (2011). *Estado de Resultados*. Contabilidad Financiera I, 202.