

ANEXO 2

METODOLOGÍA PARA ESTIMACIÓN DE COSTOS INDICATIVOS

En este capítulo se presenta la metodología a seguir para estimar el costo indicativo de construir y operar la nueva infraestructura requerida para el transporte y almacenamiento de combustibles líquidos, permitiendo determinar la viabilidad económica de los proyectos, y sirviendo como herramienta para la toma de decisiones y para evaluar las diferentes propuestas de inversión que puedan resultar de los procesos abiertos y competitivos que debe adelantar la UPME para su ejecución.

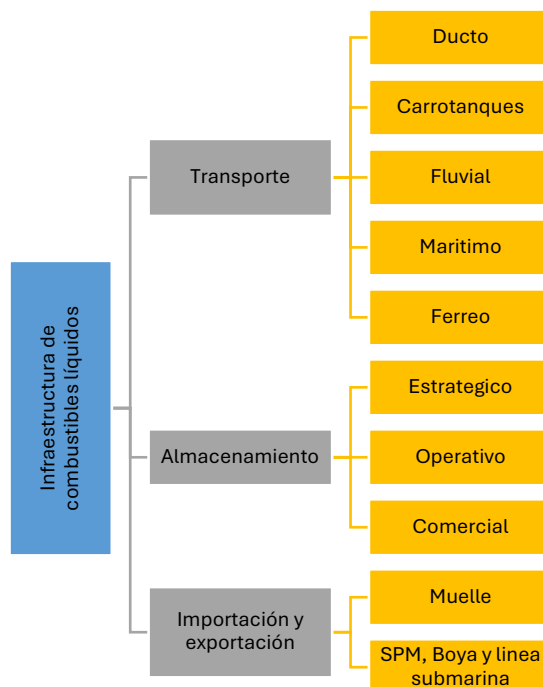
Se toma como principal referencia el estudio de consultoría contratado por la UPME para desarrollar la metodología de costos indicativos de inversión de capital (CAPEX) y operativos (OPEX) para infraestructura de importación, transporte y almacenamiento de hidrocarburos en Colombia finalizado en 2024¹. El tipo de infraestructura a considerar se relaciona en el Gráfico 1.

Este análisis sigue las prácticas internacionales recomendadas por la Asociación para el Avance de la Ingeniería de Costos (del inglés Association for the Advancement of Cost Engineering o AACE No. 18R-97), con una base de información limitada y con el objetivo de responder a las necesidades de planificación del sector se considera una estimación clase cuatro² con una ingeniería conceptual de nivel de definición proyectos entre el 1% y el 15% con unos rangos de precisión de -30% al -15% (límite inferior) al 30% al 50% (límite superior) y un nivel de estimación presupuestal entre el -15% y el 30%.

¹ Contrato CO1.PCCNTR. 6633428, desarrollado por UNIÓN TEMPORAL CQM & DIA. para desarrollar la metodología de costos indicativos de inversión de capital (CAPEX) y operativos (OPEX) para infraestructura de importación, transporte y almacenamiento de hidrocarburos en Colombia.

² De acuerdo con la recomendación No. 17R-97 de la AACE, la estimación de costos se clasifica en diferentes categorías que proporcionan un marco de referencia para entender y comparar diferentes tipos de estimaciones de costos, permitiendo seleccionar la metodología más adecuada para cada etapa del ciclo de vida de un proyecto. En esta línea se definen cinco categorías, denominadas Clase 1, 2, 3, 4 y 5. Una estimación de Clase 5 se basa en el nivel más bajo de definición del proyecto y una estimación de Clase 1 es la más cercana a la definición y madurez completa del proyecto. La estimación clase 4 a la que hace referencia estas estimaciones es un diseño conceptual, con un nivel de detalle ligeramente mayor que la Clase 5. Se utiliza para refinar la estimación conceptual y tomar decisiones preliminares dentro de la planeación minero energética.

Gráfico 1. Infraestructura considerada para costear transportes líquidos.



Fuente: Elaboración UPME

Los métodos considerados corresponden a estimación con factores, estimación con parámetros, asimilación, modelos de costos y estimación detallada, como se muestra en el siguiente gráfico.

Gráfico 2. Métodos de estimación utilizados.

Estimación con factores	Estimación con parámetros	Asimilación	Modelos de costos	Estimación detallada
<ul style="list-style-type: none"> • Se estima un factor de costo general y se multiplica por una medida física (km, kW, etc) 	<ul style="list-style-type: none"> • Se identifican las variables principales y se estiman los costos según las diferentes características y relaciones entre variables. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se comparan los costos con proyectos similares y se ajustan los costos históricos 	<ul style="list-style-type: none"> • Se estiman funciones que relacionan costos con variables independiente como modelos lineales / no lineales (combinación) 	<ul style="list-style-type: none"> • Proyecto desaregado en componentes básicos, se estima el costo de cada componente con sus respectivos diseños tipo

Fuente: Elaboración UPME

A continuación, se relacionan los aspectos más representativos a considerar para la estimación de costos de infraestructura de combustibles líquidos particularmente para el transporte mediante ductos y estaciones de bombeo y los almacenamientos.

1. Transporte de combustibles líquidos – Ductos y estaciones de bombeo.

El costo de construir y operar un sistema de ductos para el transporte de combustibles líquidos se descompone en dos elementos principales: los ductos y las estaciones de bombeo necesarias para mover el líquido a través de ellos.

Se parte de la propuesta desarrollada por la UNIÓN TEMPORAL CQM & DIA que utiliza como punto de referencia una base de datos robusta reconocida a nivel internacional con información detallada sobre los costos de construcción bajo diversas condiciones. El análisis propuesto incluye un amplio rango de variables, desde características físicas del ducto (tamaño, longitud, espesor) hasta factores externos como la ubicación geográfica, condiciones del terreno y aspectos socioambientales.

A partir de la técnica de modelado se estima una función en donde se aplican factores de ajuste basados en estudios especializados para adaptar los costos base a las condiciones específicas de Colombia. Para cada componente (ductos y estaciones), se desarrolla una función matemática que relaciona el costo con las variables relevantes.

El modelo general propuesto para estimar el costo de transporte de combustibles líquidos por ductos se basa en las siguientes ecuaciones:

$$CTd(d, l) = Cd(d, l) * l * Fi$$

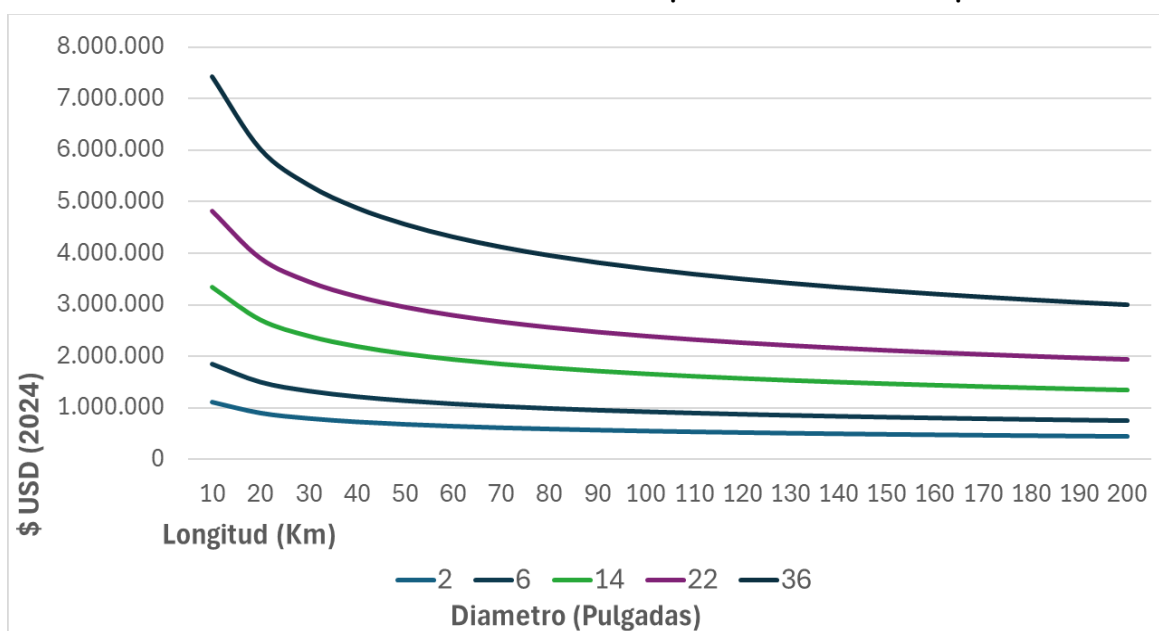
$$Cd(d, l) = \alpha(d) * l^b * Fe(d) * Fi$$

$$Fe(d) = m * d + C$$

- El Costo Total del Ducto (CTd): depende del diámetro (d) y la longitud (l) del ducto. Se calcula multiplicando el costo unitario por kilómetro (Cd) por la longitud total y aplicando factores de ajuste (Fi) relacionados con las características específicas del proyecto.
- Costo Unitario del Ducto (Cd): Se calcula a partir de un costo unitario base para un ducto de 20 pulgadas (Fcu) y un factor de ajuste por diámetro (Fe). Además, se considera una función de economía de escala, donde el costo unitario disminuye a medida que aumenta la longitud del ducto.
- Factores de Ajuste (Fi): Estos factores se utilizan para ajustar el costo base en función de variables como el uso del suelo, la topografía, la humedad del suelo, el tipo de terreno, la región, los costos de transporte e infraestructura, y los aspectos sociales y ambientales.

En el Gráfico 3 se muestra la correlación obtenida para diferentes diámetros de tubería, donde se estima un costo en dólares según una longitud en kilómetros que va desde 10 km hasta 200 km. Se consideran diámetros desde 2 hasta 36 pulgadas³ con costos estimados desde \$400 mil USD hasta 7 millones USD.

Gráfico 3. Relación de costo de ductos para combustibles líquidos



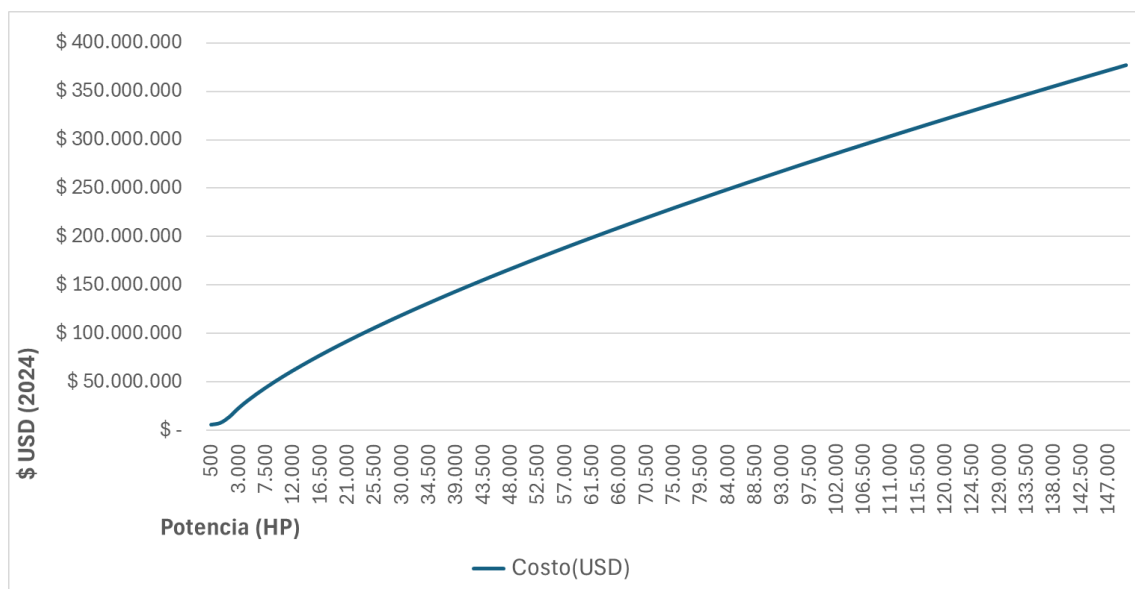
Fuente: Elaboración UPME a partir de resultados de UNIÓN TEMPORAL CQM & DIA

Para determinar el costo de capital (Capex) necesario para construir estaciones de bombeo se realizó una exhaustiva recopilación de información y análisis de diversas fuentes incluyendo estudios específicos, proyectos recientes, normatividad e informes sectoriales. Se utiliza la metodología de estimación por factores en donde se estimó un costo por Potencia (USD/HP), lo que permite escalar los costos de acuerdo con las necesidades específicas de cada proyecto.

Se ampliaron los resultados propuestos por la consultora para establecer un rango de potencia entre 500 HP y 150.000 HP como referencia, basado en datos de estaciones de bombeo existentes en sistemas de transporte de refinados y petróleo. La correlación obtenida se muestra en el Gráfico 4, donde se presenta el costo para las estaciones de bombeo en función de la potencia instalada (USD/HP).

³ Se estiman diámetros de: 2, 3, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 30 y 36 pero solamente se muestran en el gráfico diámetros de 2, 6, 14, 22 y 36 para facilitar la presentación de los datos.

Gráfico 4. Costo estaciones de bombeo combustibles líquidos



Fuente: Elaboración UPME a partir de resultados de UNIÓN TEMPORAL CQM & DIA

2. Almacenamientos

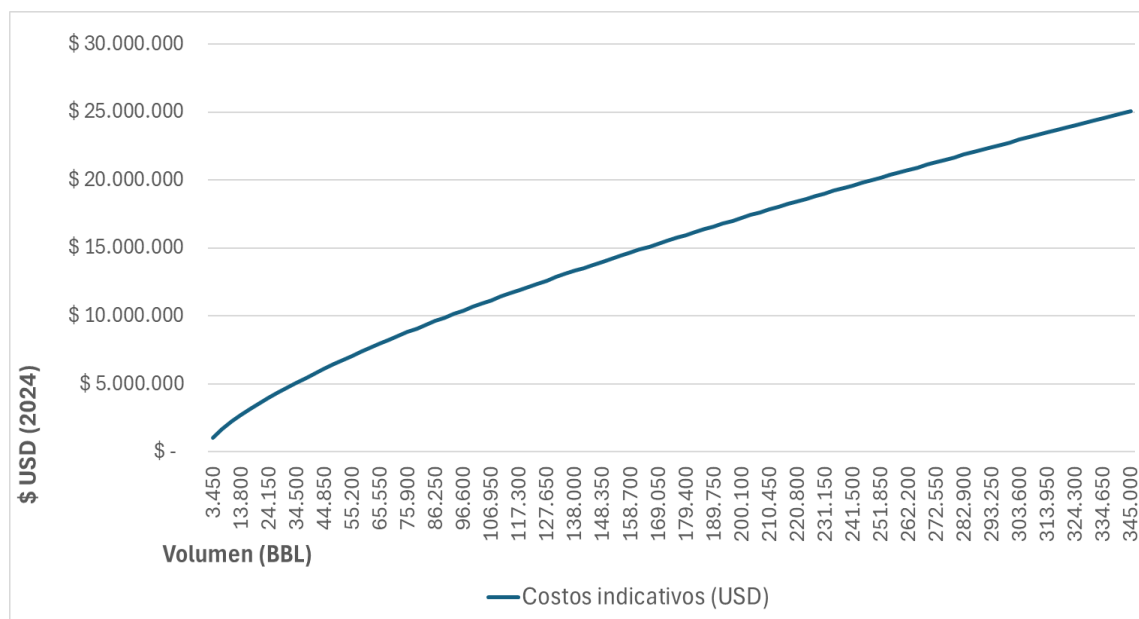
Para calcular los costos asociados a infraestructura de almacenamiento de combustibles líquidos se utiliza la metodología de estimación de factores relacionando la capacidad de almacenamiento del tanque expresada en barriles.

A partir de datos recopilados de diversas fuentes de información, incluyendo estudios previos, datos de proyectos recientes, visitas a instalaciones y normativas regulatorias, se utilizó un factor de escala para ajustar los costos de los diferentes tipos de tanques a partir del costo base de los tanques de techo flotante. Sin embargo, se ajustaron los resultados propuestos por la consultora del costo de construcción (CAPEX) basados en el volumen de producto a almacenar, las tarifas vigentes y el costo por barril, utilizando un factor de escalabilidad de los volúmenes propuestos y estableciendo una relación costo por volumen (USD/BBL) según el modelo de optimización de combustibles líquidos descrito en capítulos anteriores.

En el Gráfico 5 se presenta el costo indicativo en función del volumen (USD/BBL) con valores que oscilan entre 1 y 50 MUSD. No se hace diferenciación en relación con el almacenamiento estratégico, operativo y/o comercial. La diferencia respecto al almacenamiento estratégico radica en el valor asociado al combustible almacenado para su llenado, el cual se constituye en un valor

a considerar en el CAPEX. La valoración del producto almacenado se efectúa con los precios de los combustibles en el momento de la entrada en operación del tanque.

Gráfico 5. Costo de almacenamientos de combustibles líquidos



Fuente: Elaboración UPME a partir de resultados de UNIÓN TEMPORAL CQM & DIA