

## 7. COSTOS ESTIMADOS DE EMISARIOS SUBMARINOS

### 7.1 COSTOS UNITARIOS PARA SISTEMAS DE TRATAMIENTO Y EMISARIOS SUBMARINOS (Ludwig, 1988)

La figura 7.1 presenta costos estimados para la construcción de instalaciones de tratamiento.

- Tratamiento secundario (curva 1): incluyendo clarificadores primarios, tratamiento biológico de lodos activados, clarificadores secundarios, digestión de lodos y disposición y cloración.
- Tratamiento primario (curva 2): incluyendo tanques de sedimentación y digestión y disposición de lodos.
- Tratamiento preliminar (curva 3): incorporando miltamices con orificios de 1.0 mm, prensas de cerniduras e instalaciones para la disposición de cerniduras.

Todos los costos incluyen las construcciones asociadas de operación, abastecimiento y equipo eléctrico, equipo mecánico, tubería, válvulas, pistas de acceso, cerco, preparación de terreno y otros elementos requeridos para una instalación completa.

Ludwig, 1988 ha graficado las curvas para usar el flujo promedio de diseño de aguas negras. Sin embargo, la alternativa de tamices incluye suficientes tamices, tanto para manejar flujo pico, como para tener unidades de reserva.

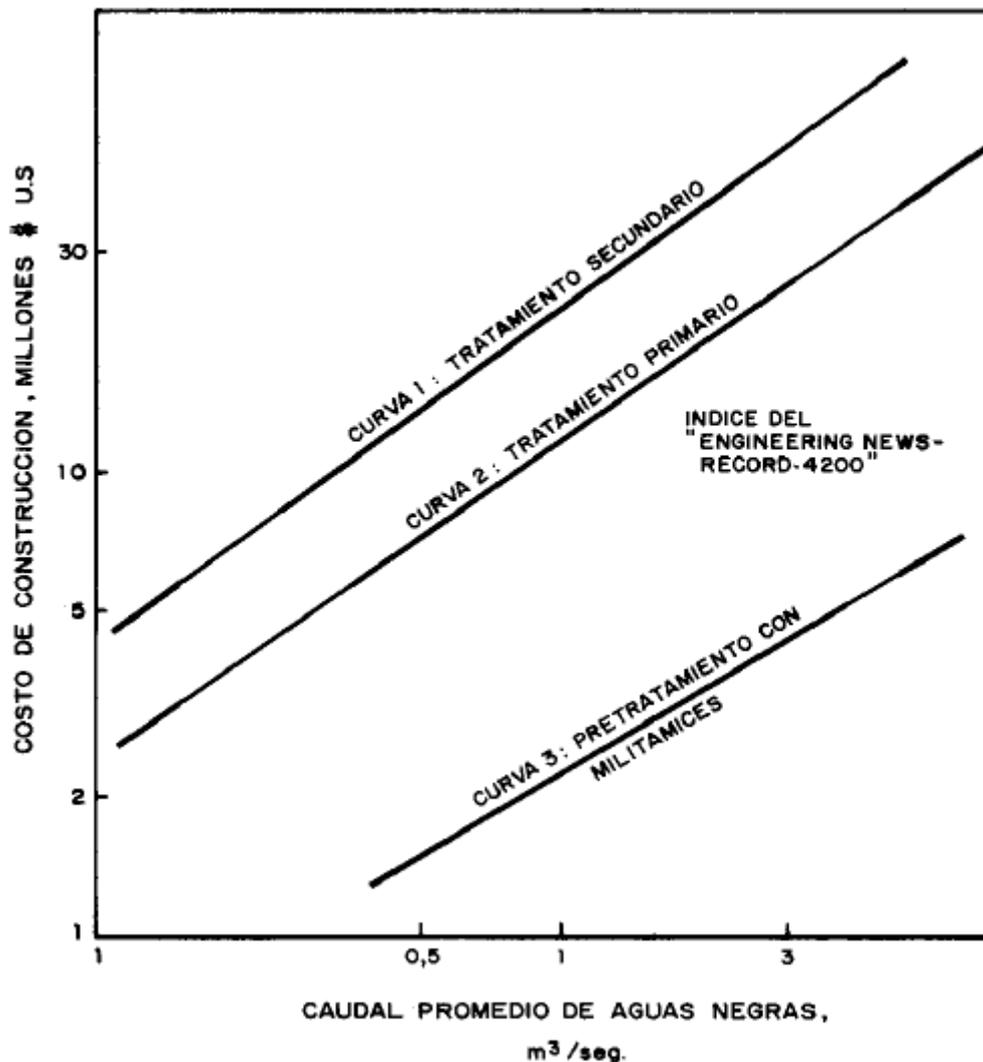


Figura 7.1 Costo de tratamiento

Como muestra la figura 7.1 los tratamientos preliminares de aguas servidas son mucho más económicos que los tratamientos primario y secundario, por lo que en muchas oportunidades se convierte en la mejor opción al ser de menor costo y producir buenos resultados en el tratamiento de las aguas residuales.

La figura 7.2 presenta el costo estimado de construcción por metro de emisario submarino de varios diámetros. Los costos están basados en un emisario, incluyendo difusor, de aproximadamente 3.000 m de longitud (medida como ejemplo).

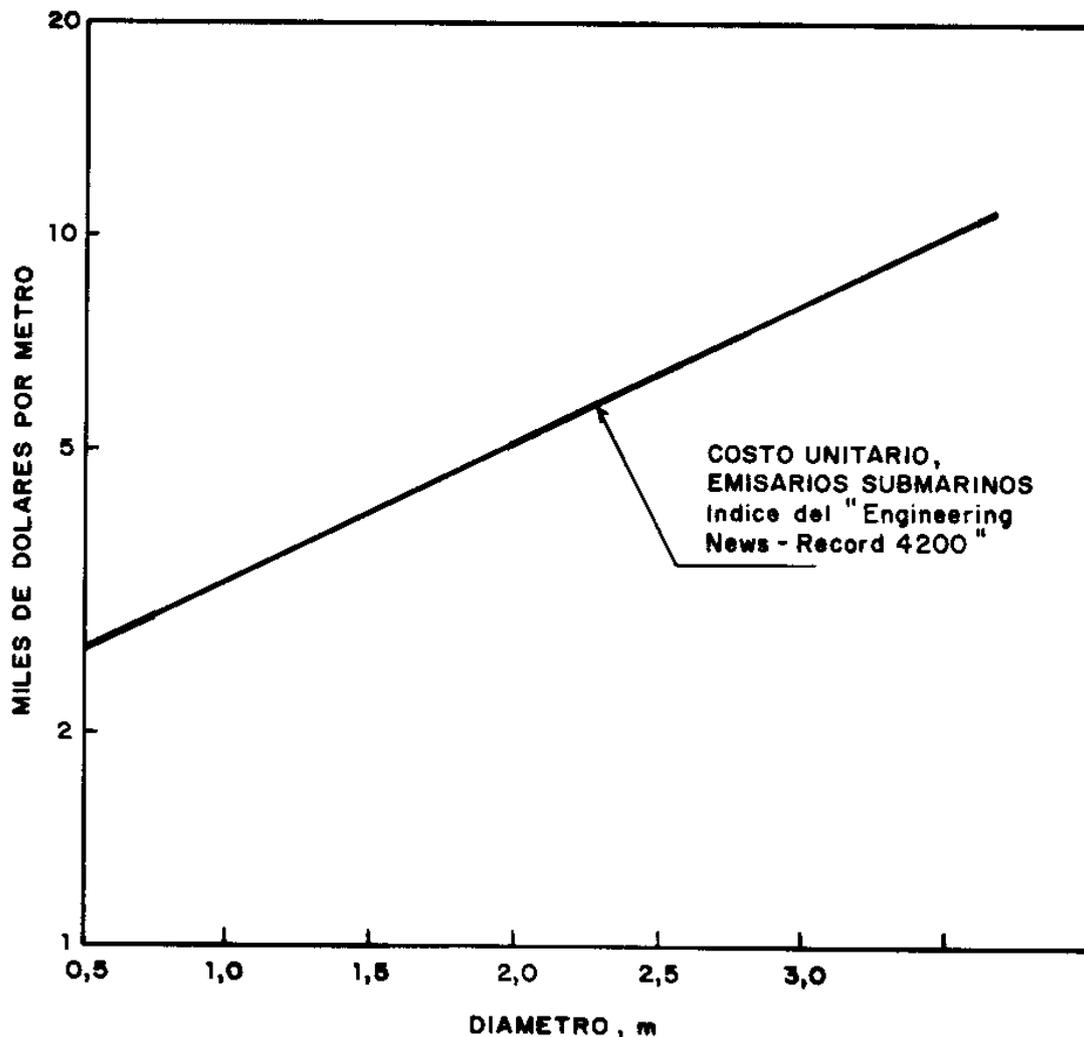


Figura 7.2 Costos del emisario submarino

## 7.2 COSTO DE EMISARIOS SUBMARINOS DE PEQUEÑO DIÁMETRO DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (PEAD) (Reiff, 1990)

La figura 7.3 presenta el costo unitario de los emisarios submarinos y los difusores de PEAD con relación al diámetro de la tubería en centímetros y tiene el propósito de realizar estimados iniciales de costos. Este gráfico está basado en los costos reales de los emisarios submarinos y tuberías de PEAD instalados en los Estados Unidos y América Latina y ajustados a los costos de 1997. Se señala que el rango de costos varía considerablemente entre los límites definidos por condiciones difíciles o favorables. Lo anterior ocurre por las siguientes razones:

a) El costo unitario de construcción de un emisario submarino de PEAD, sin incluir el costo del pretratamiento ni bombeo, está determinado por varios factores, siendo los principales el costo del material, el del ensamblaje e instalación, y el del terreno. El

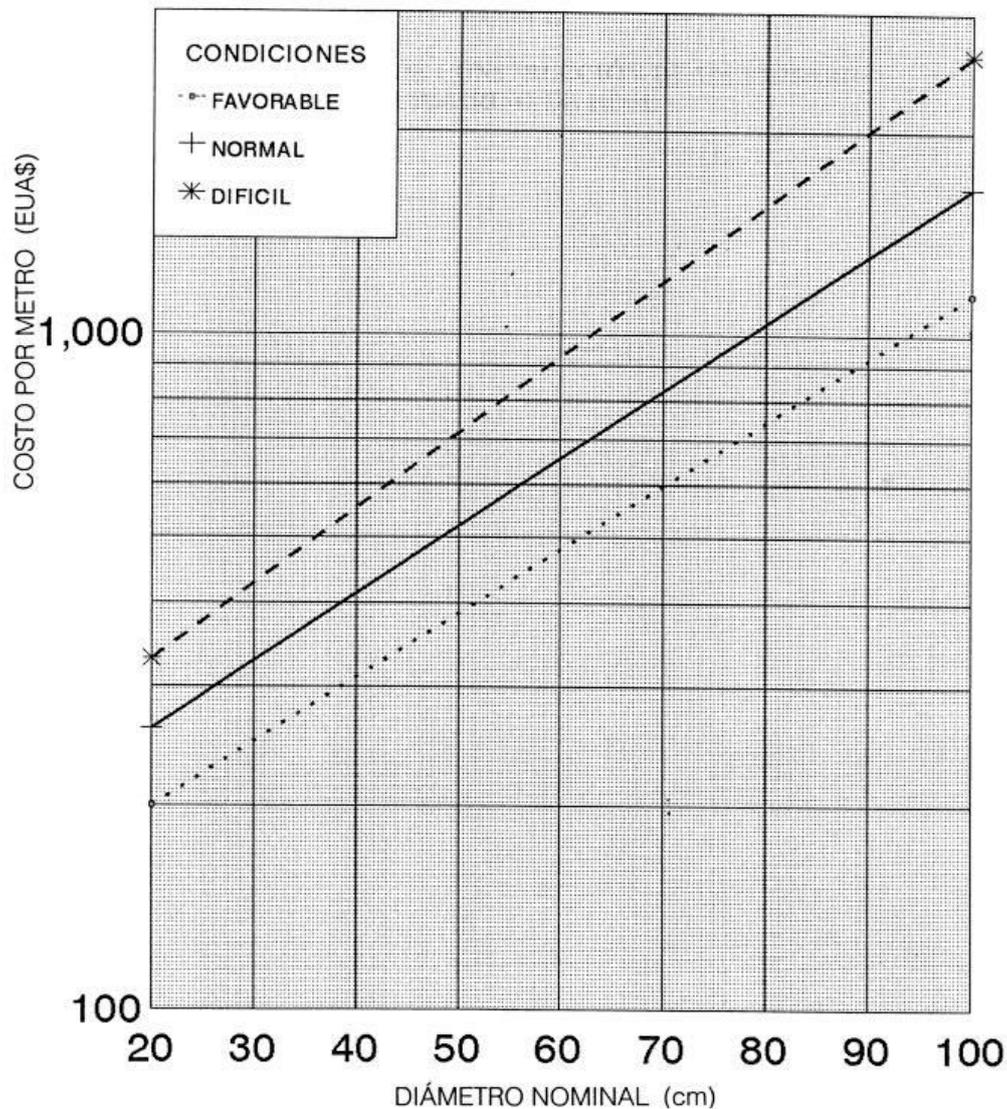
*Costos de un emisario submarino*

costo del material depende del grado de material de la tubería, el espesor de su pared, la ubicación del fabricante, el peso y el espaciamiento entre los lastres de hormigón requerido para mantener la tubería en su sitio, el costo del cemento, la arena y la grava, la ubicación de la planta de concreto y de los proveedores de equipo de fusión y manipuleo de tuberías, así como de los costos de transporte.

b) El costo unitario de la construcción real depende de la topografía, la accesibilidad al sitio, las condiciones del fondo del mar, el clima, las condiciones hidrodinámicas del océano, así como la experiencia del instalador y las técnicas de construcción utilizadas.

c) El costo total de un emisario submarino de PEAD depende mayormente de su longitud, la que a su vez depende de la gradiente del lecho marítimo, la proximidad de las áreas de cosecha de mariscos y de playas de uso recreativo y la dirección y velocidad predominante de la corriente marina. Estos factores también influyen en la longitud del difusor y esto es significativo pues el costo unitario del difusor es generalmente mayor que el costo unitario de la tubería submarina. En menor grado, también influye la ubicación donde el emisario entra al océano y la dificultad que presente esta entrada.

d) Un error de juicio que puede aumentar enormemente el costo es optar por instalar un emisario durante estaciones de mal tiempo y de fuerte oleaje, por tanto, estas condiciones deben evitarse.



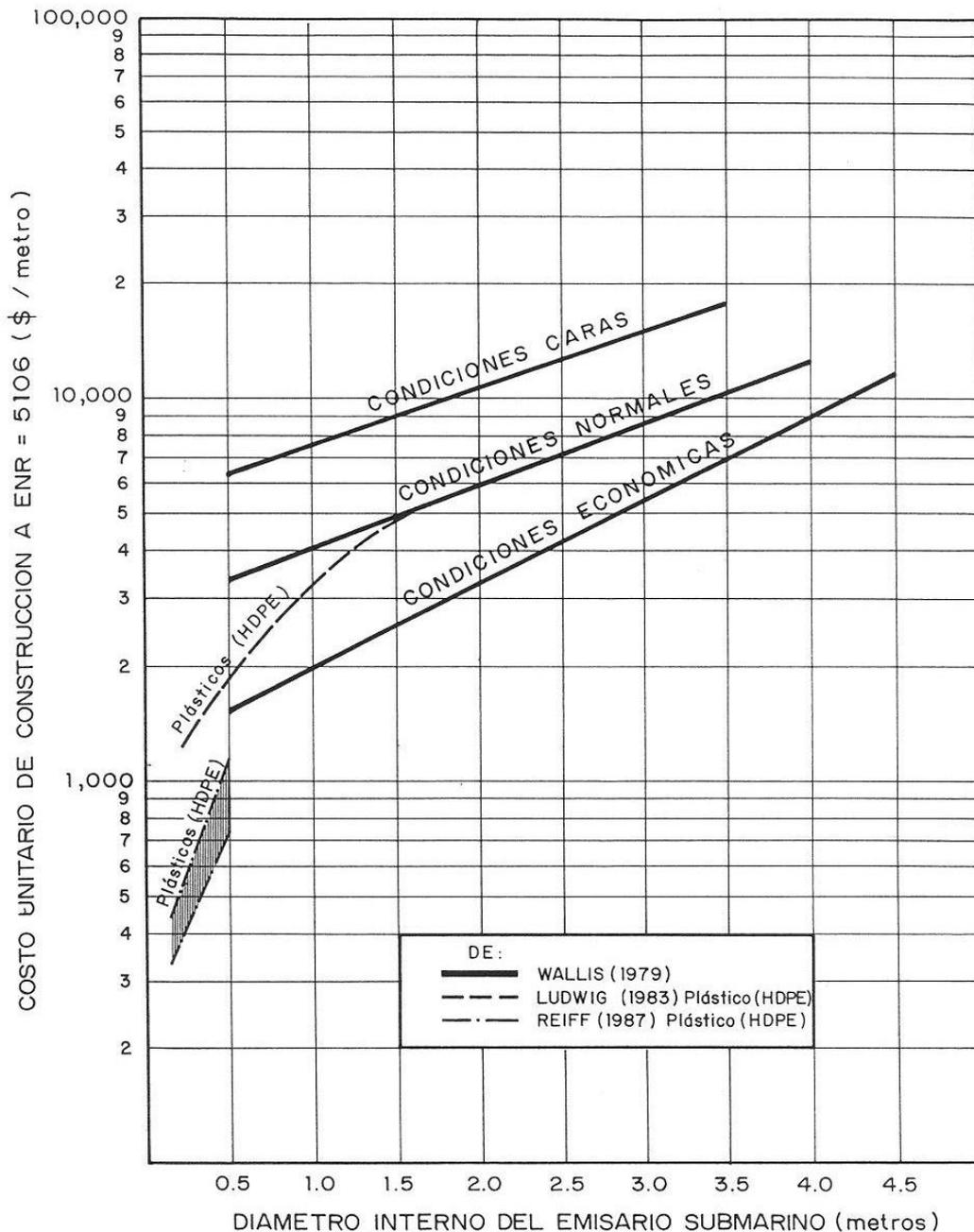
**Figura 7.3 Costo Unitario de construcción de un emisario submarino de PEAD**

Generalmente, se asume que el diseño correcto y las técnicas eficaces de construcción ahorran costos. Sin embargo, la información exacta y completa es la base para reducir costos a través de la optimización del diseño y el empleo de métodos eficaces de construcción.

Reiff, 1990, sostiene que entre mayor sea el diámetro de los emisarios submarinos de PEAD mayor es su costo, el cual se incrementa si las condiciones bajo las cuales se realice el proceso constructivo son desfavorables.

### 7.3 COMPARACIÓN DE COSTOS

Salas (2000), realizó una comparación de los costos de emisarios submarinos publicados por varios autores y obtuvo la siguiente gráfica:



**Figura 7.4 Costo de Emisarios Submarinos (Salas 2000)**

Es de notar en la figura 7.4 que todos los autores están de acuerdo que los costos de la construcción de un emisario submarino aumentan con el aumento del diámetro de la tubería (por cambiar las condiciones de las descargas) y con condiciones menos favorables en el proceso constructivo.

#### 7.4 COSTOS EMISARIO SUBMARINO DE CARTAGENA

Los costos presentados en la tabla 7.1 fueron suministrados por ACUACAR, y muestra el presupuesto general del proyecto relacionado con la descarga de afluentes previamente tratados al Mar Caribe por medio de un emisario submarino/sistema difusor a una profundidad de 20 metros. Para la realización del proyecto se realizaron algunas obras civiles previamente para cumplir con las necesidades de tratamiento y disposición de aguas residuales de la ciudad, las cuales están contempladas en los costos del proyecto.

Por ser un proyecto diseñado en el año 1996, en este documento los costos fueron proyectados al año 2014 para poder realizar una evaluación comparativa con las dimensiones de obras actuales. Para ese objetivo se utilizó la fórmula de Valor futuro, que para el caso es el valor a 2014 y el valor normalmente presente es el valor utilizado en el año 1998.

$$V_{2014} = V_{1998} * (1 + i)^n$$

Siendo:

$V_{2014}$  = Valor actual

$V_{1998}$  = Valor año de estudio

$n$  = Periodo de evaluación = 16 años

$i$  = Valor de IPC promedio = 5,37% (Valores tomados de Dane.gov.co)

Se presentan los costos actualizados de las estructuras:

**Tabla 7.1 Costo tratamiento preliminar con emisario submarino (\$US)**

Elementos	Costos de inversión inicial	Operación y mantenimiento anual
<b>Etapa I</b>		
1. Estación de Bombeo El Paraíso	4.745.517	1.900.516
2. Militamices	7.920.741	351.007
3. Desarenadores	3.694.806	214.761
4. Tubería en tierra y emisario	92.243.146	267.873
<b>Subtotal =</b>	<b>108.604.210</b>	<b>2.734.157</b>
<u>Adquisición de terrenos</u>		
5. Obras de tratamiento 20Ha @\$50000/Ha <sup>(4)</sup>	2.678.734	—
6. Etapa II - Laguna de regulación (9Ha) <sup>(4)</sup>	1.205.431	—
7. Derechos de vía 10m x 10 km @\$50000/Ha <sup>(4)</sup>	1.339.367	—
<b>Gasto total Etapa I</b>	<b>113.827.742</b>	<b>2.734.157</b>
<b>Etapa II</b>		
8. Estación de bombeo y tubería	9.070.749	447.995
9. Militamices	2.881.949	173.194
10. Laguna de regulación aireada	4.891.000	466.469
<b>Costo Total Etapa II</b>	<b>16.843.698</b>	<b>1.087.659</b>
<b>COSTO TOTAL (ETAPAS I y II)</b>	<b>130.67.440</b>	<b>3.821.815</b>

**Nota:**

- (1) Los datos de costos y gastos en dólares han sido proyectadas hasta mayo de 2014. Costos de inversión incluye contingencias de 15% e IVA de 16% en ciertas obras.
- (2) Servicio de la deuda calculado al 5,37% de interés en 30 años (CRF=1,1241).
- (3) V.P. del costo anual calculado al 5,37% de interés a 30 años.
- (4) Costos de adquisición (\$5/m<sup>2</sup>) de terrenos incluye IVA de 16%.

El costo total estimado inicial para la Etapa I del proyecto emisario submarino de Cartagena fue de US \$116.562.000 con un costo de operación y mantenimiento anual de US \$2.734.000. Las obras de la Etapa II, se construye para la regulación de caudales, para mantener efectivo el mismo diámetro de tubería durante todo el período

**Costos de un emisario submarino**

de diseño de la segunda etapa. Dichas instalaciones limitarán las fluctuaciones hidráulicas que surjan en el sistema para evitar la necesidad de construir una tubería paralela en el futuro.

En la tabla 7.2 se encuentran las alternativas de tratamiento de las aguas residuales estudiadas en el caso Cartagena, siendo el tratamiento preliminar el de menor costo y elegido como mejor opción en el proyecto de construcción del emisario submarino.

Se presentan en la última columna los valores proyectados a 30 años aplicando la fórmula para su estimación:

$$V_{2028} = V_{1998} * (1 + i)^n$$

Siendo:

$V_{2028}$  = Valor a estimar

$V_{1998}$  = Valor año de estudio

$n$  = Periodo de evaluación = 30 años

$i$  = Valor de IPC promedio = 5,37% (Valores tomados de Dane.gov.co)

**Tabla 7.2 Resumen de costos de alternativas con emisario (\$US)**

Alternativa	Costo de inversión de la Etapa I	Costo anual de O y M	Costo de la PTAR a 30 años (2028)
Tratamiento preliminar	\$113.845.000	\$2.770.000	\$546.793.525
Tratamiento primario	\$217.070.000	\$10.855.000	\$1.042.579.564
Tratamiento secundario	\$344.080.000	\$22.860.000	\$1.652.604.120
Laguna de estabilización	\$235.545.000	\$4.160.000	\$1.131.314.228