

**INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
COORDINACIÓN DE HIDRÁULICA**

HC1311.2

**Análisis del costo por metro cúbico en conductos a
presión de gran tamaño en México**

**INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
COORDINACIÓN DE HIDRÁULICA**

JULIO, 2013

Contenido

1 INTRODUCCIÓN.....	4
2 OBJETIVOS.....	5
2.1 Objetivo General.....	5
2.2 Objetivos Específicos	5
2.2.1 Investigar métodos y procedimientos	5
2.2.2 Determinar costos reales	5
2.2.3 Determinar costos índices	5
2.2.4 Aplicación de costos índice.....	5
3 METODOLOGÍA	6
3.1 Costo de infraestructura y bombeo	6
4 DESARROLLO	10
4.1 Determinación de costos reales de líneas de conducción existente por zona geográfica en México.....	10
4.2 Calculo de costos de líneas y acueductos existentes	10
4.2.1 Acueducto Rio Colorado-Tijuana	10
4.2.2 Sistema Cutzamala	22
4.2.3 Línea de conducción Centla, Tabasco	27
4.2.4 Acueducto Pánuco-Cerro Prieto, Monterrey	29
4.2.5 Conclusiones	33

Contenido de ilustraciones

Ilustración 3.1 Esquema de una conducción por bombeo.....	7
Ilustración 4.1 Línea de conducción PB0 A PB1	11
Ilustración 4.2 Línea de conducción PB1 a PB2.....	12
Ilustración 4.3 Línea de conducción PB2 a PB3.....	13
Ilustración 4.4 Línea de conducción PB3 a PB4.....	14
Ilustración 4.5 Línea de conducción de PB4 a PB5.....	15
Ilustración 4.6 Línea de conducción de PB5 a TUN1	16
Ilustración 4.7 Zona de gravedad entre túneles.....	17
Ilustración 4.8 Zona de gravedad	18
Ilustración 4.9 Volumen producido mensual (2010-2013), elaborada con datos reportados por la CEA.	19
Ilustración 4.10 Sistema Cutzamala, CONAGUA. Organismo de Cuenca Valle de México.	22
Ilustración 4.11 Volumen producido mensual (1991-2009), elaborada con datos reportados por la CONAGUA.	25
Ilustración 4.12 Localización de línea de conducción Chichicastle, Centla Tabasco.....	27
Ilustración 4.13 Línea de conducción, Fuente: Servicio de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D.	29
Ilustración 4.14 Perfil de Acueducto Panuco-Cerro Prieto, Fuente: Servicio de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D.	31
Ilustración 4.15 Costo promedio de conducción del agua $\$/m^3$	34

Contenido de tablas

Tabla 4.1 Volumen de agua producida por mes (años 2010-2012).....	19
Tabla 4.2 KW-H requeridos y costo de bombeo (2010-2012).....	20
Tabla 4.3 Costo de bombeo (\$/m ³).....	20
Tabla 4.4 Costo de mantenimiento \$/m ³ , (2010-2012).	21
Tabla 4.5 Costo total de conducción de agua (\$/m ³).....	21
Tabla 4.6 Tipo y longitud de conducción del Sistema Cutzamala, Fuente: “Sistema Cutzamala-Agua para Millones de Mexicanos”; Octubre 1994.....	24
Tabla 4.7 Características de los elementos, Fuente: CONAGUA, Estadísticas del Agua 2006.	24
Tabla 4.8 Volumen de agua producida por año, Fuente: CONAGUA. Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México, 2010.	25
Tabla 4.9 KW-h requeridos y costo de bombeo (2010-2012).	26
Tabla 4.10 Costo de bombeo por \$/m ³	26
Tabla 4.11 Costo de mantenimiento \$/m ³	26
Tabla 4.12 Costo total de conducción de agua \$/m ³	27
Tabla 4.13 Costo de bombeo (\$).	28
Tabla 4.14 Costo total \$/m ³	28
Tabla 4.15 Características de la línea de conducción, Fuente: Servicio de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D.	30
Tabla 4.16 Datos para el cálculo del costo de bombeo.	32
Tabla 4.17 Costo de bombeo (\$).	32
Tabla 4.18 Costo de bombeo \$/m ³	32
Tabla 4.19 Costo de recuperación de inversión \$/m ³	33
Tabla 4.20 Costo total \$/m ³	33

1 INTRODUCCIÓN

Este proyecto tiene por objeto obtener costos de operación, mantenimiento y recuperación de inversión de acueductos y líneas de conducción en México.

La operación de los sistemas de agua en México está a cargo de los Municipios de acuerdo a lo que establece la *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*. La Comisión Nacional del Agua normaliza a los sistemas, sin embargo; actualmente no hay normas ni reglamentos para fijar costos de conducción de agua en bloque.

CPEUM Artículo 115. III. Los municipios tendrán a su cargo las funciones y servicios públicos siguientes:

A) Agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de sus aguas residuales; (Reformado mediante decreto publicado en el diario oficial de la federación el 23 de diciembre 1999).

El Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS) de conducción, hace referencia al abastecimiento del agua a un poblado, este abastecimiento se logra mediante el transporte del agua de una fuente de abastecimiento a un poblado para su distribución, por lo tanto podemos concluir que el costo de conducción se comienza a contabilizar a partir de la fuente de abastecimiento hasta llegar al poblado, antes de ser distribuido.

La conducción del agua puede ser de dos maneras, por bombeo y por gravedad: La conducción por bombeo es necesaria cuando se requiere adicionar energía para obtener el gasto de diseño. Este tipo de conducción se usa generalmente cuando la elevación del agua en la fuente de abastecimiento es menor a la altura piezométrica requerida en el punto de entrega. El equipo de bombeo proporciona la energía necesaria para lograr el transporte del agua. Una conducción por gravedad se presenta cuando la elevación del agua en la fuente de abastecimiento es mayor a la altura piezométrica requerida o existente en el punto de entrega del agua, el transporte del fluido se logra por la diferencia de energías disponible. (CONAGUA, 2007)

Este informe presenta las características y costos de acueductos y líneas de conducción, reportados por los Organismos encargado, presenta la situación actual del costo de conducción en México de acuerdo al desnivel a vencer y la disponibilidad de agua.

Con el fin de determinar costos índice de conducción de agua para futuros proyectos hídricos dependiendo de diferentes variables y parámetros como son las características de suelo, longitud y equipo de bombeo, será necesario la investigación de costos actuales, a través de las dependencias encargadas para obtener información verifíca.

Por lo anterior es evidente la necesidad de precisar a través del estudio la situación real de costos ocasionados por la conducción del agua, para dar a conocer los elementos necesarios para hacer la estimación rápida del monto de inversión que implica construir y también de los principales rubros para operar y mantener acueductos y líneas de conducción en México.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Obtener costos de conducción del agua de infraestructura, operación, mantenimiento y recuperación de inversión, para determinar costos índice por zona geográfica y ser aplicados en proyectos de inversión en México.

2.2 Objetivos Específicos

2.2.1 Investigar métodos y procedimientos

Investigar métodos sobre el cálculo de costos del agua en líneas de conducción y procedimientos para determinar costos índice.

2.2.2 Determinar costos reales

Obtener costos reales de infraestructura, operación, mantenimiento y recuperación de inversión de acueductos y líneas de conducción por zona geográfica en México.

2.2.3 Determinar costos índices

Determinar costos índices de infraestructura, operación y mantenimiento por zona geográfica, bajo diversas variables como es la longitud, carga de bombeo y disponibilidad de agua.

2.2.4 Aplicación de costos índice

Aplicar costos índices de infraestructura, operación y mantenimiento en proyectos de inversión en México.

3 METODOLOGÍA

3.1 Costo de infraestructura y bombeo

Se plantea un procedimiento analítico para el cálculo de costo de bombeo de líneas de conducción.

Una vez obtenido el trazo y el gasto de diseño, un aspecto importante en el proyecto de líneas de conducción a presión, es la determinación del diámetro, cuya solución se decide por condiciones económicas a partir de hacer mínimos el costo de la tubería y su colocación, así como, el costo correspondiente a la energía para el bombeo, los demás costos de la conducción no intervienen en el análisis por no ser función del diámetro.

Conforme el diámetro seleccionado sea menor, disminuye el costo de la tubería y su colocación, pero se incrementan las pérdidas de carga y con ello el costo de bombeo, al requerir bombas de carga elevada con mayores consumos de energía. Ocurriría lo contrario si se incrementa el diámetro. Por lo anterior, se requiere determinar el diámetro D que haga mínima la suma de los costos de inversión inicial y de operación antes mencionados.

El costo de suministro de la tubería y su colocación C_T , se obtendrá a partir de C_1 que es el costo por unidad de diámetro y longitud, incluye la tubería, la excavación de las zanjas en su caso y su posterior colocación.

$$C_T = C_1 D L \quad \text{(Ecuación 3.1)}$$

Dónde:

- C_1 = Costo de suministro e instalación por unidad de diámetro y longitud
- L = Longitud de la conducción
- D = Diámetro de la conducción

El costo de la energía en operación por bombeo C_E en un período anual, se obtiene a partir de C_2 que es el costo de consumo de energía por unidad de potencia, para bombear el gasto Q de diseño durante un año al tanque de descarga.

$$C_E = \frac{(H_2 - H_1) \gamma Q}{76\eta} C_2 \quad \text{(Ecuación 3.2)}$$

Dónde:

- C_2 = Costo de energía anual para bombeo por unidad de potencia
 H_1 y H_2 = Cargas totales de succión y descarga en las máquinas, en M.C.A
 γ = Peso específico del agua en N/m^3
 η = Eficiencia de la bomba

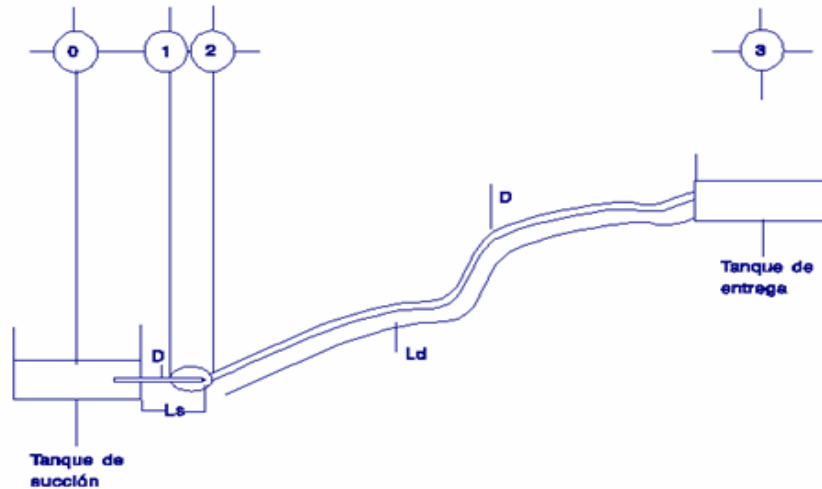


Ilustración 3.1 Esquema de una conducción por bombeo.

La ecuación de la energía aplicada entre el tanque de succión (0) y la succión de la bomba (1), y entre la descarga (2) y el tanque de descarga (3), **Ilustración 3.1**, considerando nulas la presión atmosférica y velocidades en las superficies de los tanques, así como, diámetros y coeficientes de rugosidad iguales en las tuberías de succión y descarga, se tiene como:

$$H_2 - H_1 = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} + z_3 - z_0 \quad (\text{Ecuación 3.3})$$

Dónde:

- $L = L_s + L_d$ (succión y descarga respectivamente)
 $V = V_s = V_d$ - velocidad en las tuberías de succión y descarga
 f = el factor de fricción
 z_0 = elevación del nivel de agua en el tanque de succión
 z_3 = elevación del nivel de agua en el tanque de descarga.

Acorde con los objetivos planteados, es necesario expresar el término de pérdida de carga por cortante en función del diámetro. Expresando la velocidad V en función del gasto, es decir,

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

Se tiene

$$f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} = 8f \frac{LQ^2}{g \pi^2 D^5} \quad (\text{Ecuación 3.4})$$

Sustituyendo la expresión (**Ecuación 4.3**) que indica $H_2 - H_1$ con el término de pérdida de carga en función del diámetro, en la ecuación de costo anual de energía por bombeo C_E (**Ecuación 4.2**) y sumándola a la expresión del costo de la tubería y su instalación C_T (**Ecuación 4.1**), resulta una expresión de costos integrados C_I , en función del diámetro. En la Figura 1.3.12 se presenta el comportamiento de estos costos en función del diámetro. Cabe señalar que la ecuación (**Ecuación 4.1**) que expresa el costo de la tubería como una función lineal del diámetro, es una aproximación al costo real que depende del diámetro de forma no lineal, como se muestra en la Figura 1.3.12.

$$C_I = C_1 DL + C_2 \left(8 \frac{fLQ^2}{g \pi^2 D^5} + z_3 - z_0 \right) \frac{\gamma Q}{76\eta} \quad (\text{Ecuación 3.5})$$

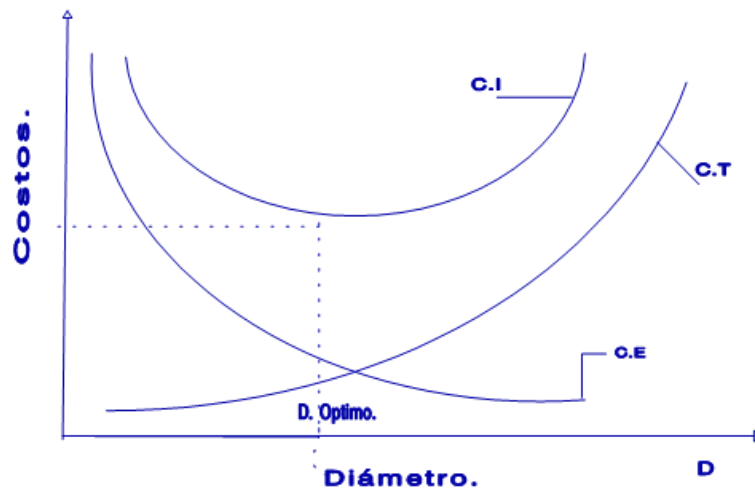


Figura 1.3.12 Comportamiento de los costos en función del diámetro.

El diámetro óptimo D_o se obtiene al hacer mínimo el costo integrado $C_I = C_T + C_E$, por lo tanto la derivada con respecto al diámetro de la función costo integrado C_I (**Ecuación 4.5**), igualada a cero permite la obtención de D_o . A saber, la derivada resulta

$$\frac{dC_I}{dD} = C_1 L - C_2 \frac{40 f L Q^3 \gamma}{76 \eta g \pi^2 D^6} \quad (\text{Ecuación 3.6})$$

La segunda derivada es positiva, lo cual indica que al igualarla a cero el diámetro corresponde al costo mínimo.

$$D_o = \sqrt[6]{\frac{10}{19} \frac{C_2 f \gamma}{C_1 \eta \pi^2 g}} \sqrt{Q} \quad \text{(Ecuación 3.7)}$$

La expresión (**Ecuación 4.7**) es llamada fórmula de Bresse.

Para el sistema de unidades MKS se ha encontrado que el radical

$$\sqrt[6]{\frac{10}{19} \frac{C_2 \gamma f}{C_1 \eta \pi^2 g}} \quad \text{(Ecuación 3.8)}$$

Es aproximadamente igual a 1.2. Cuando el diámetro se calcula en pulgadas y el gasto se da en l/s resulta un valor de 1.5 y entonces la fórmula de Bresse es conocida también con el nombre de fórmula de Dupuit, obteniéndose respectivamente:

$$D_o(m) = 1.2 \sqrt{Q(m^3/s)} \quad \text{(Ecuación 3.9)}$$

4 DESARROLLO

4.1 Determinación de costos reales de líneas de conducción existente por zona geográfica en México.

4.2 Calculo de costos de líneas y acueductos existentes

4.2.1 Acueducto Rio Colorado-Tijuana

El acueducto Rio Colorado- Tijuana recibe el agua a través de los canales del Distrito de riego #14 Rio Colorado y la conduce hasta la presa del carrizo a una distancia de más de 100 km. Venciendo desniveles de poco más de 1,000 m. Para abastecer desde ahí, a los municipios de Tecate, Tijuana y Rosarito.

Las instalaciones del **Acueducto Río Colorado - Tijuana**, se localizan al Norte del Estado de Baja California; inician con el Canal Alimentador que se abastece del Distrito de Riego No. 14 del Río Colorado del Valle de Mexicali y termina en las inmediaciones del Cerro del Centinela, atraviesa el desierto, sube las montañas de la Rumorosa y por gravedad entrega el agua en la Presa "El Carrizo". Continúa por gravedad a la Potabilizadora "El Florido" y de ahí alimenta la Red de Tijuana por medio de dos Líneas: una al "Tanque Mesa de Otay" y otra al "Tanque Aguaje de la Tuna" y Planta de Bombeo de la Colonia Obrera.

4.2.1.1. Características de la línea de conducción

- Planta de bombeo "0"

Esta planta de bombeo tiene la función de elevar el agua 43 m, a una distancia de 2,442 m, tiene 4 equipos de bombeo con un gasto de 1.33 m³/s, bomba vertical tipo flujo mixto con capacidad de 1.33 m³/segundo, con motor eléctrico de 1,500 hp a 890 rpm y un voltaje de operación de 4,160 volts. Tres equipos en operación y uno de reserva.

- Línea de conducción planta de bombeo "0" tanque de succión "1"

Un primer tramo de 1 371 mm (54") de diámetro con tubería de acero con una longitud de 143 m después se conecta a dos tubos de 1220 mm (48") de diámetro y una longitud de 2,310 m y 2,273 m, respectivamente, para finalmente llegar al tanque de succión "1" con una longitud de 28 m con tubería de acero de 1371 mm (54") de diámetro.

Para protección contra golpe de ariete cuenta con una torre unidireccional de concreto con una altura de 38 m y 5 m de diámetro interior, localizada junto a la planta de bombeo "0".

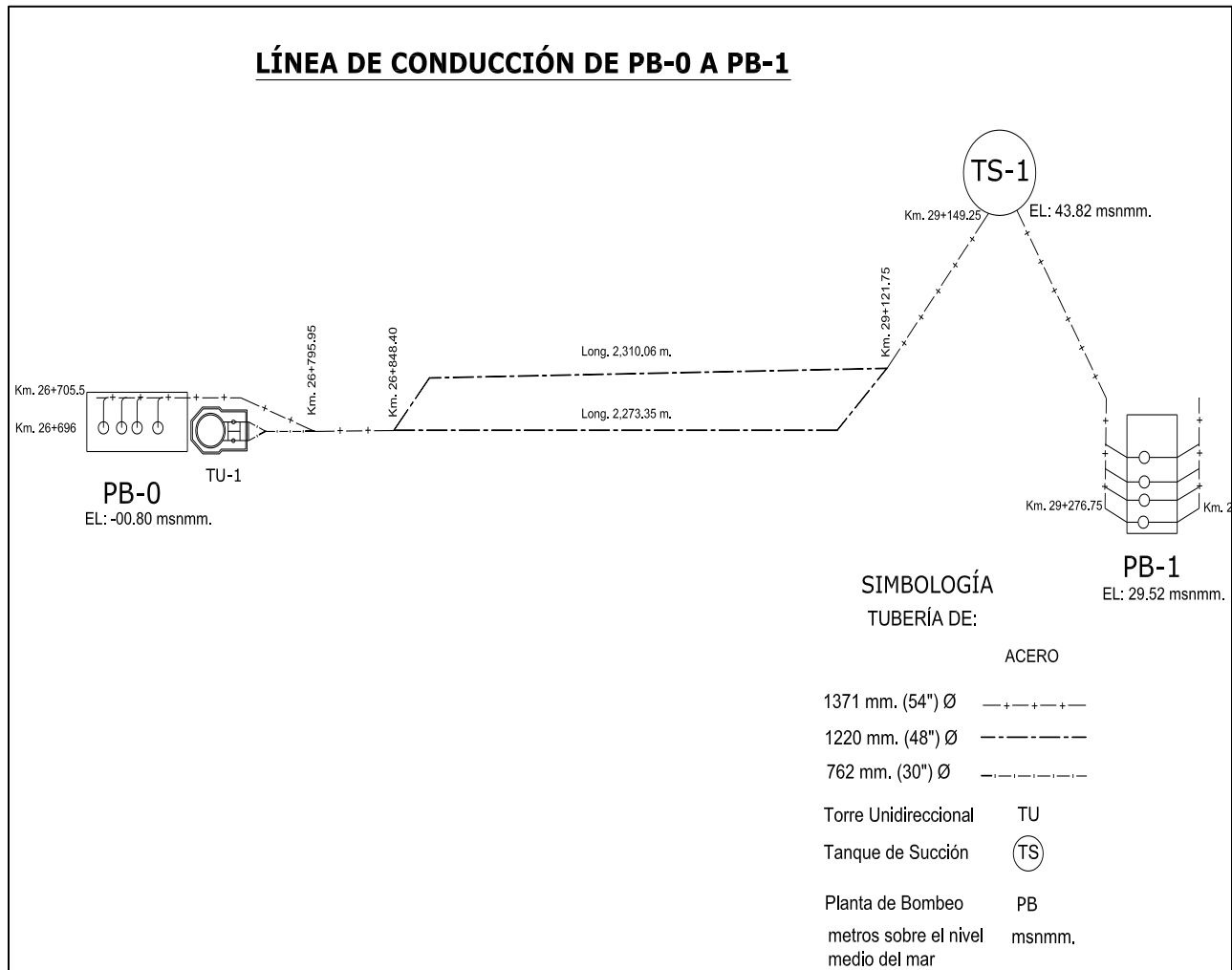


Ilustración 4.1 Línea de conducción PB0 A PB1

- Planta de Bombeo “1”

Esta planta de bombeo tiene la función de elevar el agua 131 m, a una distancia de 19,386 m, tiene 4 equipos de bombeo con un gasto de 1.33 m³/s, cuenta con 4 equipos de bombeo horizontales con capacidad de 1.33 m³/segundo con motor eléctrico de 3,000 hp a 1780 rpm y un voltaje de operación de 1,160 volts.

- Línea de conducción planta de bombeo 1-tanque de succión 2

Partiendo de la planta de bombeo 1 con una longitud de 371 m y tubería de acero de 1,371 mm (54”) de diámetro llegamos a la torre de oscilación uno, dispositivo que sirve para reducir sobrepresiones en la tubería (golpe de ariete), esta torre se encuentra en la elevación + 154.11

msnm, con una altura de 37.0m y diámetro interior de 7.0 m, de acero estructural y cimentación de concreto.

De la torre de oscilación “1” hacia la planta de bombeo “2” se tiene una línea que trabaja por gravedad con la carga de la torre. Esa línea consiste en lo siguiente:

El primer tramo tiene una longitud de 280 m con tubería de acero de 1,371 mm (54”) de diámetro, el segundo tramo lo componen tres tubos de 1220 mm (48”) de diámetro, con una longitud de 18,702 m, 18,697 y 18,710, cada uno, dos son de acero y uno de hierro dúctil, antes de llegar al tanque de succión “2”, se conectan a un tubo de 1,371 mm (54”) de diámetro de acero, con una longitud de 24 m llega al tanque de succión “2”, el cual se encuentra en la elevación 160.72 msnm, al oriente del cerro pinto, con las mismas dimensiones que el tanque de succión “1”, este tanque alimenta la planta de bombeo 2 a través de una tubería de acero de 1,371 mm (54”) de diámetro con una longitud de 141 m.

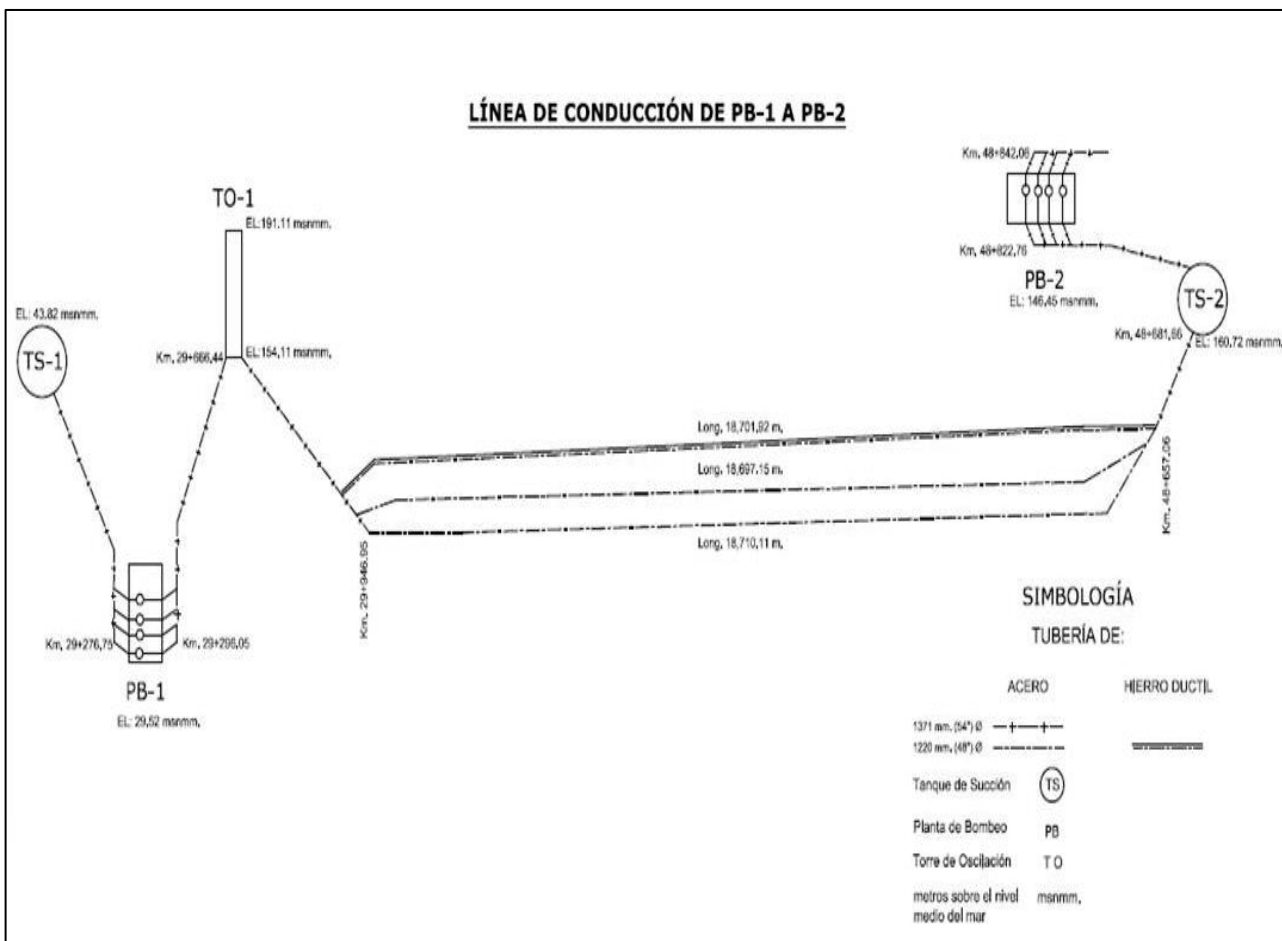


Ilustración 4.2 Línea de conducción PB1 a PB2

- Planta de bombeo 2

Esta planta de bombeo tiene la función de elevar el agua 114.7 m, a una distancia de 6,881 m, tiene 4 equipos de bombeo con un gasto de 1.33 m³/s, cuenta con 4 equipos de bombeo horizontales con capacidad de 1.33 m³/segundo con motor eléctrico de 3,000 hp a 1780 rpm y un voltaje de operación de 1,160 volts.

- Línea de conducción planta de bombeo 2-tanque de succión 3

La planta de bombeo dos envía el agua a presión a través de una tubería de acero de 1,371 mm (54") de diámetro y una longitud de 461 m, hasta llegar a la torre de oscilación "2", localizada en el cerro pinto en la elevación 277.80 msnm, con una altura de 26.49 m, con sección circular de 7 m de diámetro, construida con acero estructural y cimentación de concreto armado.

A partir de la torre de oscilación la línea trabaja por gravedad con un primer tramo de 376 m con tubería de acero de 1,371 mm (54") de diámetro, un segundo tramo formado por dos tuberías de acero de 1,220 mm (48") de diámetro con longitudes de 5,932 m y 5,904 m respectivamente, un tercer tramo de 28 m con tubería de 1,371 mm (54") de diámetro y un cuarto tramo con una longitud de 84 m con tubería de 1,524 mm. (60") de diámetro, para llegar al tanque de sumergencia "3" que se localiza en la elevación 281.10 msnm, al oriente de sierra linda y tiene las mismas características que los tanques de sumergencia "1" y "2", este tanque alimenta a la planta de bombeo tres a través de una tubería de 1,371 mm (54") de diámetro, con una longitud de 302 m.

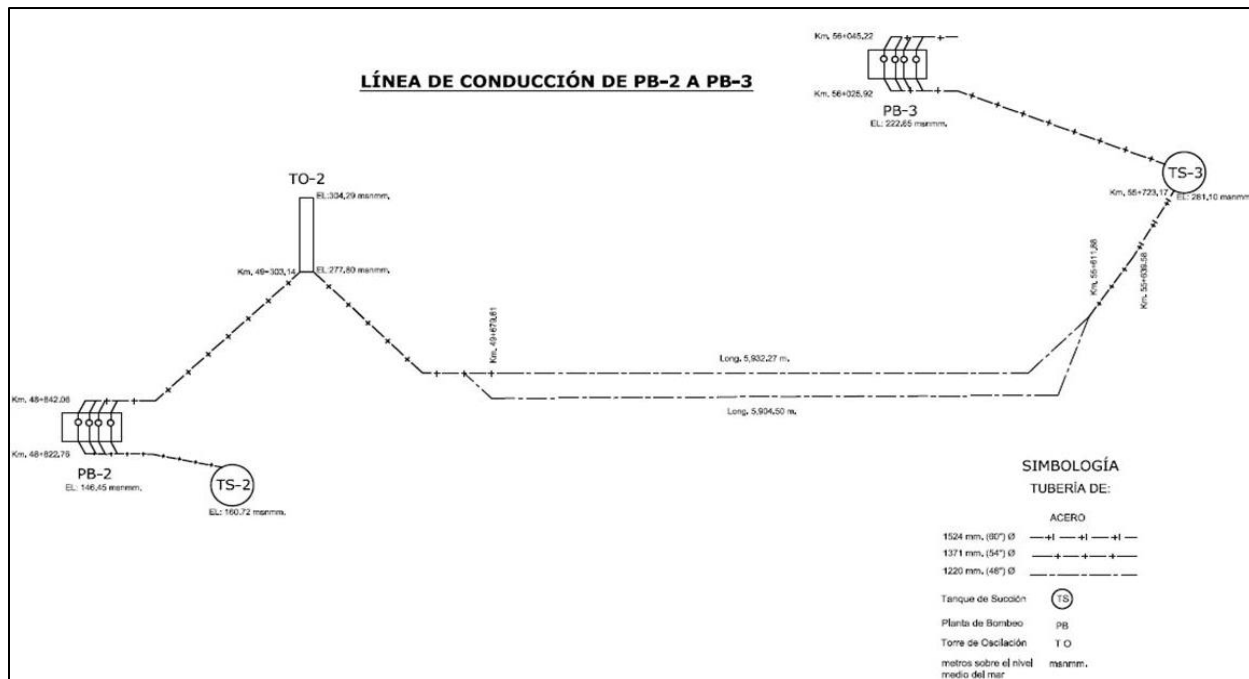


Ilustración 4.3 Línea de conducción PB2 a PB3

- Planta de bombeo 3

Se localiza al pie de sierra linda, en el lado oriente, tiene la función de elevar el agua 179 m, a una distancia de 6,438 m, cuenta con las mismas características eléctricas y mecánicas que las plantas de bombeo uno y dos.

- Línea de Conducción Planta de Bombeo 3 – Tanque de Succión 4

La planta de bombeo tres recibe el agua del tanque de succión “3” y a través de un tubo de 1,371 mm (54”) de diámetro, con una longitud de 272 m, la conduce hasta la torre de oscilación “3” que se encuentra en la elevación 398.60 msnm, con una altura de 32.55 m y 7.0 m de diámetro, construida con acero estructural y cimentación de concreto.

A partir de la torre de oscilación la tubería trabaja por gravedad, con un primer tramo con tubería de acero superficial de 1,371 mm (54”) de diámetro y una longitud de 867 m, un segundo tramo con tubería de acero colocada en zanja, de 1,371 mm (54”) de diámetro y una longitud de 1,416 m, el tercer tramo con tubería de concreto pretensado con junta flexible de 1,524 mm (60”) de diámetro y una longitud de 3,755 m y por último un tramo de 107 m con tubería de acero superficial de 1,371 mm (54”) de diámetro para llegar al tanque de sumergencia “4”, el cual se localiza al pie de la sierra la rumorosa, en la elevación 402.19 msnm, con las mismas características de los tanques 1, 2, y 3, y alimenta la planta de bombeo cuatro a través de una tubería de acero superficial de 1,371 mm (54”) de diámetro con una longitud de 135 m.

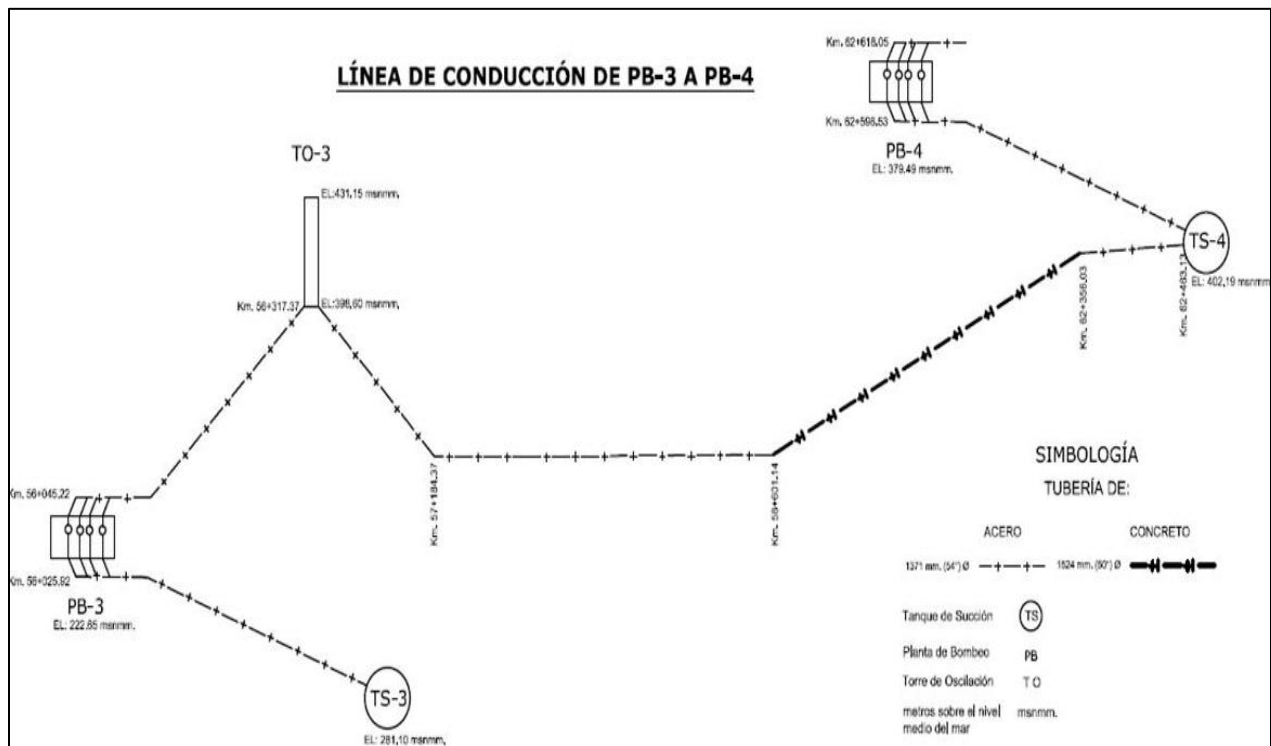


Ilustración 4.4 Línea de conducción PB3 a PB4

- Planta de bombeo 4

Se localiza al pie de la sierra la rumorosa, tiene la función de elevar el agua 352.7 m, a una distancia de 1,465 m, cuenta con cuatro equipos de bombeo con capacidad de 1.33 m³/segundo, cada uno, tres para operación y uno de reserva.

- Línea de Conducción Planta de Bombeo 4- Tanque de Succión 5

La planta de bombeo cuatro recibe el agua del tanque de sumergencia “4” y la envía hasta el tanque de sumergencia “5”, a través de una tubería de acero superficial de 1,371 mm (54”) de diámetro y una longitud de 1,465 m, antes de llegar al tanque de succión (203 m) se encuentra la torre de oscilación cuatro, en la elevación 702.48 msnm, con una altura de 41.05 m y diámetro de 7.0 m, construida en acero y cimentación de concreto reforzado.

El tanque de sumergencia “5” tiene las mismas dimensiones que los tanques 1, 2, 3 y 4, y se encuentra en la elevación 732.21 msnm y alimenta a la planta de bombeo cinco, a través de una tubería de acero superficial de 1,371 mm (54”) de diámetro y una longitud de 202 m.

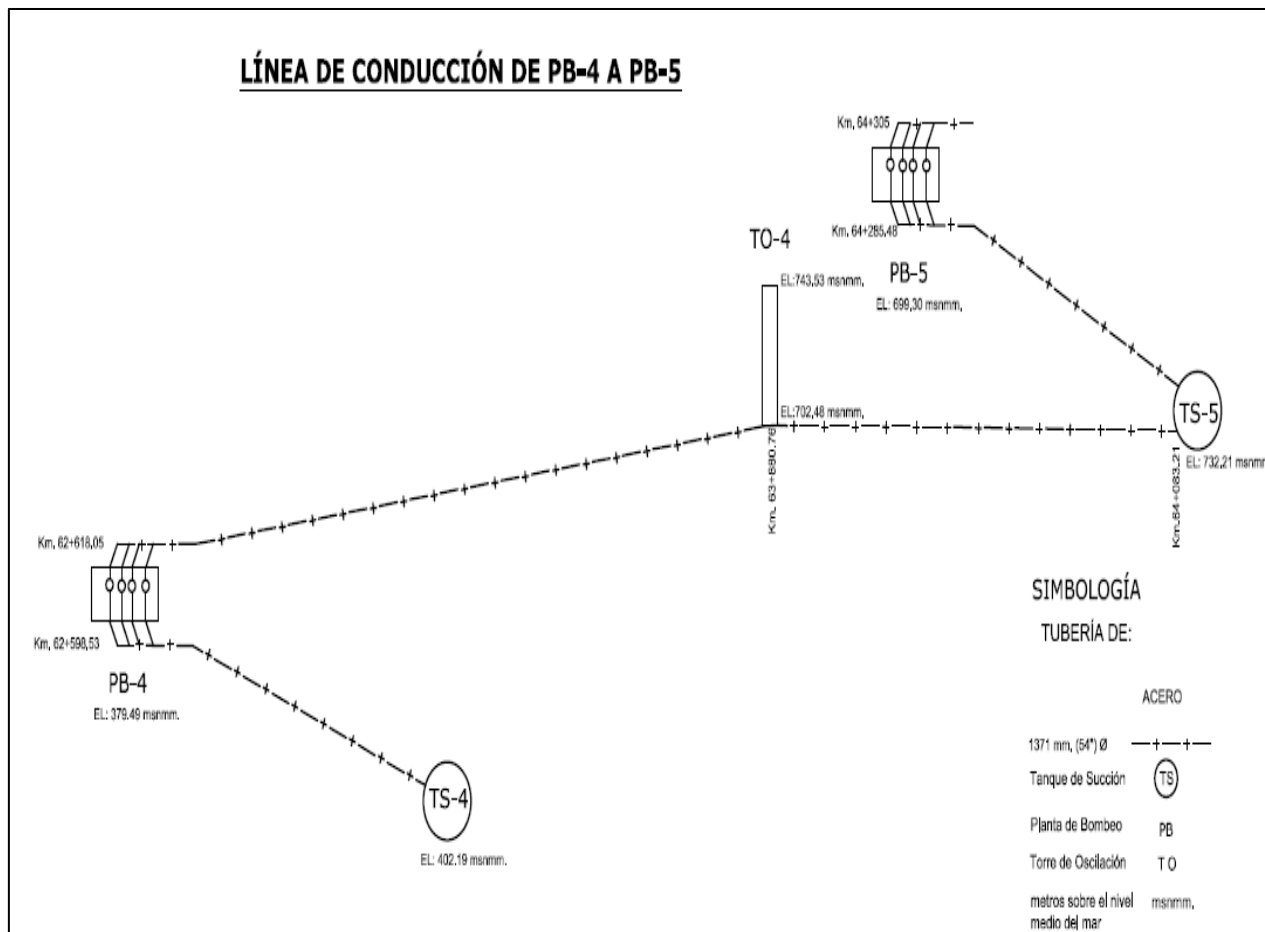


Ilustración 4.5 Línea de conducción de PB4 a PB5

- Planta de bombeo 5

Se ubica en la parte media de la sierra la rumorosa, tiene la función de elevar el agua 350.8 m, a una distancia de 1,284 m y tiene las mismas características electromecánicas que la planta de bombeo cuatro.

- Línea de Conducción Planta de Bombeo 5 – Túnel 1

Partiendo de la planta de bombeo cinco, con una longitud de 1,208 m y tubería de acero de 1,371 mm (54”) de diámetro, colocada superficialmente se llega hasta la torre de oscilación “5”, ubicada en la elevación 1,035.24 msnm, con una altura de 35 m metálica con un diámetro de 5 m y cimentación de concreto armado, continuando con 75 m de tubería de acero superficialmente de 1,371 mm (54”) de diámetro en la cota 1,050.14 msnm, se localiza la torre de oscilación “6”, que tiene una altura de 20.19 m, también metálica con un diámetro de 7 m y con cimentación de concreto armado.

De la torre de oscilación “6” a la entrada del túnel se tienen dos tipos de tubería, el primer tramo de 1,371 mm (54”) de diámetro de acero colocado superficialmente, con una longitud de 59.0 m y el segundo tramo con tubería de concreto con junta flexible de 1,828 mm (72”) de diámetro colocado en zanja, con una longitud de 3,045 m

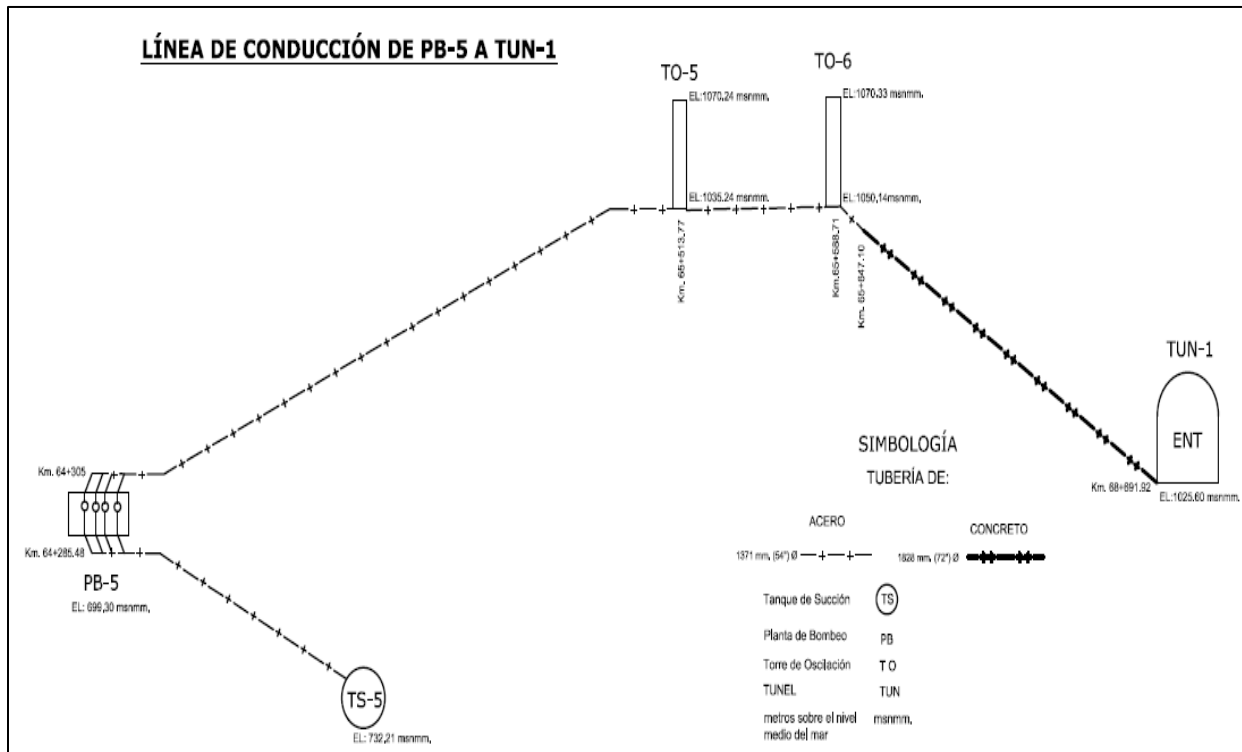


Ilustración 4.6 Línea de conducción de PB5 a TUN1

- Túnel 1

Tiene una sección de 3.26 m de diámetro revestido de concreto, con una longitud de 6,929 m, el nivel de plantilla a la entrada es de 1,025.60 msnm y a la salida de 1,022.96 msnm, con una pendiente del orden de 0.4 milésimas.

- Línea de Conducción Túnel 1 – Túnel 2

Con tubería de concreto pretensada y junta flexible, instalado en zanja, tiene una longitud de 8,953 m y un diámetro de 1,828 mm (72”).

- Túnel 2

La sección es similar a la del túnel 1, a la entrada tiene una elevación en plantilla de 1,050.14 msnm y a la salida de 1,048.07 msnm, con una longitud de 3,886 m y una pendiente de 0.5 milésimas.

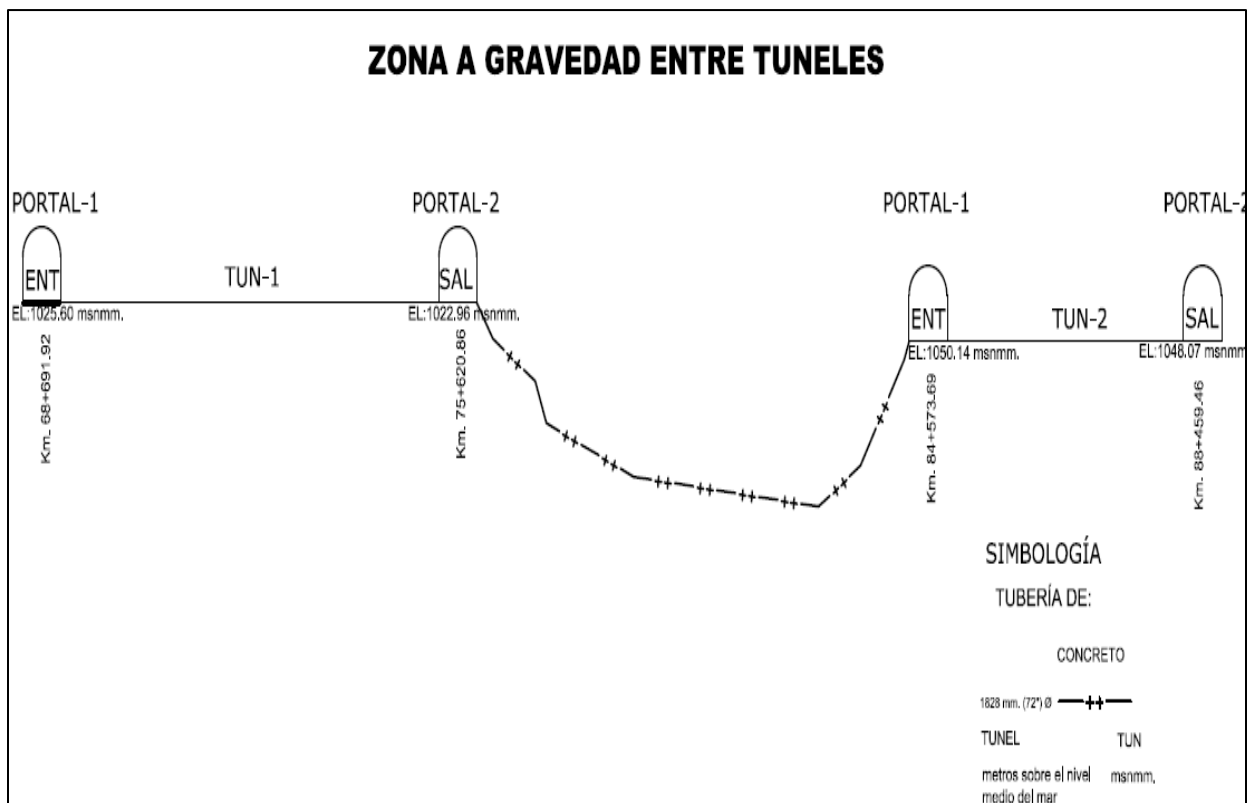


Ilustración 4.7 Zona de gravedad entre túneles

- Línea de conducción túnel dos – descarga presa el carrizo.

Esta línea tiene una longitud de 38,278 m y está compuesta por tubería de concreto con junta flexible, alojada en zanja y tubería de acero con las siguientes características:

Este tramo funciona por gravedad y entre la salida del túnel 2 y la descarga al carrizo se tiene un desnivel del orden de 289 m, carga que difícilmente se puede perder y menos cuando se trabaja con gastos menores a los de diseño, para esto se construyeron tres estructuras reductoras de presión con placas de orificio para trabajar con diferentes caudales, uno, dos o tres equipos de bombeo.

Además se colocaron tres vertedores para garantizar que la presión dentro de la tubería no rebase la de la resistencia de los mismos.

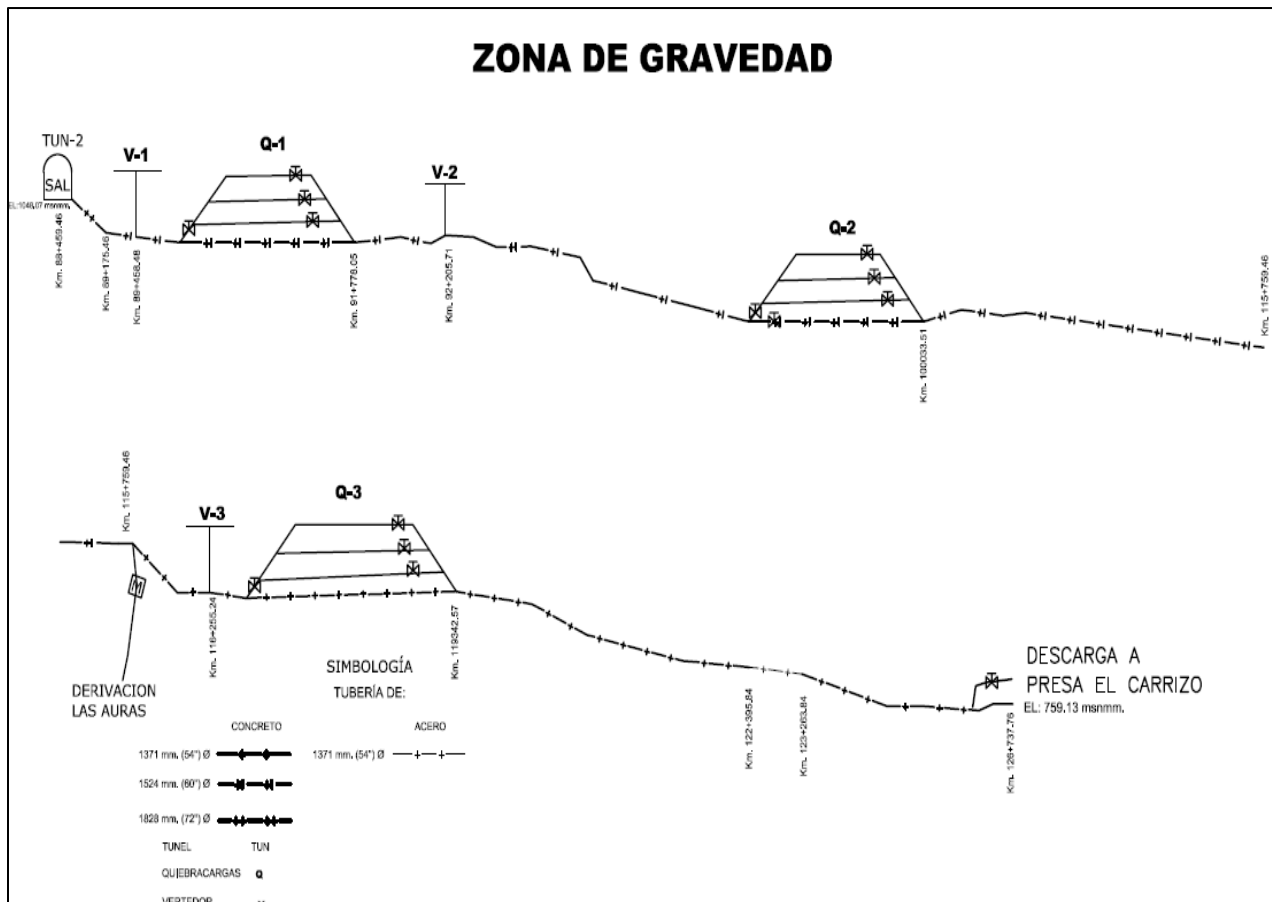


Ilustración 4.8 Zona de gravedad

4.2.1.2. Volumen producido

A continuación, se presenta el cálculo de costo de bombeo de la planta de bombeo cero al tanque de succión uno. Según reportes del CEA el consumo de energía eléctrica es contratado con tarifas HSL por parte de la Comisión Federal de Electricidad CFE.

De los registros de volumen de agua producidos, en el año 2012 se contabilizó un volumen igual a 119,691,977 m³. En este año el mes con mayor volumen producido fue marzo con un volumen igual a 12,156,280 m³; seguido del mes de enero con 12,146,495 m³. El mes con menos volumen producido fue octubre, con un volumen de 7,463,512 m³. La **Tabla 4.1** muestra gráficamente la producción mensual de los años del 2010 al 2012.

Tabla 4.1 Volumen de agua producida por mes (años 2010-2012).

BOMBEO ACUEDUCTO RIO COLORADO-TIJUANA						
PERIODO	2010		2011		2012	
MES	m ³	l/s	m ³	l/s	m ³	l/s
Enero	9,447,803	3,527	9,759,088	3,644	12,146,495	4,535
Febrero	9,872,702	4,081	9,623,439	3,978	11,357,825	4,533
Marzo	9,740,313	3,637	11,215,745	4,187	12,156,280	4,539
Abril	2,245,843	866	7,091,117	2,736	11,756,980	4,536
Mayo	7,418,587	2,770	5,471,878	2,043	8,259,545	3,084
Junio	6,674,709	2,575	5,226,150	2,016	8,082,425	3,118
Julio	6,930,230	2,587	7,469,022	2,789	8,324,920	3,108
Agosto	2,793,257	1,043	7,728,984	2,886	8,176,145	3,053
Septiembre	-	-	9,259,052	3,572	8,310,345	3,206
Octubre	5,615,764	2,097	318,811	119	7,463,512	2,787
Noviembre	9,744,281	3,759	6,811,204	2,628	11,666,780	4,501
Diciembre	10,172,208	3,798	11,753,588	4,388	11,990,725	4,477
Total	80,655,697	2,558	91,728,078	2,909	119,691,977	3,795

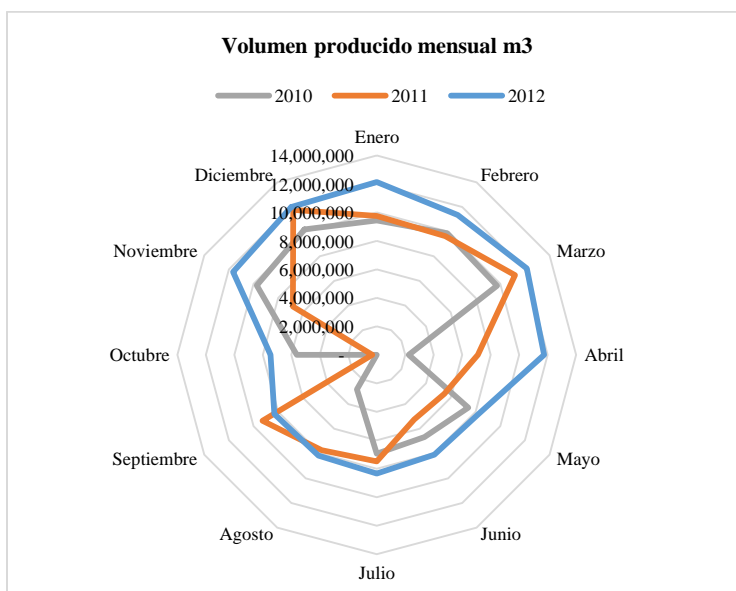


Ilustración 4.9 Volumen producido mensual (2010-2013), elaborada con datos reportados por la CEA.

4.2.1.3. Costos de operación y mantenimiento

Para el año 2012, se requirieron más de 445 millones de KW-h, el mes con mayor gasto energético fue enero con 45,330,789 KW-h y el mes más bajo octubre con 27,683,849 KW-h, cabe mencionar que el consumo de KW-h depende del volumen bombeado; El consumo energético para el año 2012 creció un 26 puntos con base en el año anterior, que representa más de 93 millones de KW-h. El aumento del consumo energético afecto directamente el costo de bombeo, incrementado 33 puntos con base en el año anterior teniendo un costo adicional mayor a \$124 millones de pesos, conformando un costo de bombeo mayor a \$501.76 millones de pesos. Sin embargo el volumen bombeado. El costo adicional de bombeo es compensado con el volumen bombeado ya que se bombeo un 305 adicional en comparación con el año anterior, de tal manera que es proporcional el crecimiento del volumen y el costo de bombeo.

Tabla 4.2 KW-H requeridos y costo de bombeo (2010-2012).

COSTO DE BOMBEO ACUEDUCTO RIO COLORADO-TIJUANA											
PERIODO	2010			2011				2012			
MES	KW-H	COSTO POR ENERGIA (\$)	AV	KW-H	COSTO POR ENERGIA (\$)	AV	AH	KW-H	COSTO POR ENERGIA (\$)	AV	AH
Enero	37,810,384	33,413,959	11%	38,717,056	34,771,085	9%	4%	45,330,789	51,819,427	10%	49%
Febrero	39,291,661	38,303,375	12%	37,705,342	34,805,509	9%	-9%	42,274,735	48,276,969	10%	39%
Marzo	38,543,440	38,559,103	12%	42,938,921	41,132,371	11%	7%	45,129,323	47,726,352	10%	16%
Abril	8,622,831	9,207,282	3%	26,755,816	24,798,424	7%	169%	43,742,406	45,087,195	9%	82%
Mayo	29,722,100	29,653,776	10%	20,071,710	22,883,017	6%	-23%	30,589,632	36,258,814	7%	58%
Junio	26,579,844	27,039,092	9%	20,034,362	24,721,740	7%	-9%	30,044,640	35,364,758	7%	43%
Julio	27,489,852	28,757,765	9%	28,124,649	34,032,463	9%	18%	31,024,646	37,960,851	8%	12%
Agosto	10,689,918	11,292,477	4%	29,654,733	34,618,346	9%	207%	30,465,365	37,335,433	7%	8%
Septiembre	69,772	2,067,223	1%	36,515,471	43,882,730	12%	2023%	30,866,222	35,997,854	7%	-18%
Octubre	21,951,547	21,335,169	7%	1,378,179	2,539,343	1%	-88%	27,683,849	30,849,923	6%	1115%
Noviembre	40,352,814	34,923,049	11%	25,989,104	28,549,064	8%	-18%	43,593,101	46,268,347	9%	62%
Diciembre	41,622,748	34,377,690	11%	44,414,855	50,187,799	13%	46%	44,912,119	48,817,818	10%	-3%
Total	322,746,911	308,929,960	100%	352,300,198	376,921,891	100%	22%	445,656,827	501,763,741	100%	33%

Con base en el volumen bombeado y el costo de bombeo, se procede a obtener el costo por $\$/m^3$, que resulta en dividir el costo de bombeo (\$) entre el volumen bombeado (m^3), el costo promedio de bombeo en el periodo de estudio (2010-2012) resulta de $\$4.04 \$/m^3$; Sin embargo para el último año el costo fue de $\$4.19 \$/m^3$.

Tabla 4.3 Costo de bombeo ($\$/m^3$).

COSTO DE BOMBEO ACUEDUCTO RIO COLORADO-TIJUANA									
PERIODO	2010			2011			2012		
MES	KH-H/M3	\$/KW-H	\$/M3	KH-H/M3	\$/KW-H	\$/M3	KH-H/M3	\$/KW-H	\$/M3
Enero	4.0	0.88	3.54	3.97	0.90	3.56	3.73	1.14	4.27
Febrero	4.0	0.97	3.88	3.92	0.92	3.62	3.72	1.14	4.25
Marzo	4.0	1.00	3.96	3.83	0.96	3.67	3.71	1.06	3.93
Abril	3.8	1.07	4.10	3.77	0.93	3.50	3.72	1.03	3.83
Mayo	4.0	1.00	4.00	3.67	1.14	4.18	3.70	1.19	4.39
Junio	4.0	1.02	4.05	3.83	1.23	4.73	3.72	1.18	4.38
Julio	4.0	1.05	4.15	3.77	1.21	4.56	3.73	1.22	4.56
Agosto	3.8	1.06	4.04	3.84	1.17	4.48	3.73	1.23	4.57
Septiembre	0.0	29.63	0.00	3.94	1.20	4.74	3.71	1.17	4.33
Octubre	3.9	0.97	3.80	4.32	1.84	7.97	3.71	1.11	4.13
Noviembre	4.1	0.87	3.58	3.82	1.10	4.19	3.74	1.06	3.97
Diciembre	4.1	0.83	3.38	3.78	1.13	4.27	3.75	1.09	4.07
Total	4.0	0.96	3.83	3.84	1.07	4.11	3.72	1.13	4.19

El costo de mantenimiento, que incluye los materiales y suministros y mano de obra directa, es de manera fija, es decir; este importe es fijado anualmente. Los costos son obtenidos del portal web: www.cea.gob.mx, en el apartado de informe anual (2010-2012).

El costo fijo no presenta un incremento considerable para afectar el costo total directamente, de lo contrario el costo de mantenimiento es benéfico para el costo ya que anualmente el costo $\$/m^3$ ha presentado decremento en los tres últimos años debido al incremento del volumen de bombeo, teniendo un costo promedio de 86 centavos $\$/m^3$.

Tabla 4.4 Costo de mantenimiento $\$/m^3$, (2010-2012).

COSTO DE MANTENIMIENTO ACUEDUCTO RIO COLORADO-TIJUANA						
PERIODO	2010		2011		2012	
MES	COSTO MANT.	$\$/M3$	COSTO MANT.	$\$/M3$	COSTO MANT.	$\$/M3$
Enero	6,696,334	0.71	6,923,340	0.71	6,923,340	0.57
Febrero	6,696,334	0.68	6,923,340	0.72	6,923,340	0.61
Marzo	6,696,334	0.69	6,923,340	0.62	6,923,340	0.57
Abril	6,696,334	2.98	6,923,340	0.98	6,923,340	0.59
Mayo	6,696,334	0.90	6,923,340	1.27	6,923,340	0.84
Junio	6,696,334	1.00	6,923,340	1.32	6,923,340	0.86
Julio	6,696,334	0.97	6,923,340	0.93	6,923,340	0.83
Agosto	6,696,334	2.40	6,923,340	0.90	6,923,340	0.85
Septiembre	6,696,334	0.00	6,923,340	0.75	6,923,340	0.83
Octubre	6,696,334	1.19	6,923,340	21.72	6,923,340	0.93
Noviembre	6,696,334	0.69	6,923,340	1.02	6,923,340	0.59
Diciembre	6,696,334	0.66	6,923,340	0.59	6,923,340	0.58
Total	80,356,008	1.00	83,080,080	0.91	83,080,080	0.69

El costo total ($\$/m^3$) por la conducción del agua, está compuesto por operación, mantenimiento y la recuperación de la inversión, sin embargo para este último no es posible obtenerlo ya que se desconoce el valor original de la infraestructura.

El costo total promedio con base en los tres últimos años es de $\$4.91 \$/m^3$, sin considerar la recuperación de inversión.

Tabla 4.5 Costo total de conducción de agua ($\$/m^3$).

COSTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ACUEDUCTO RIO COLORADO-TIJUANA			
PERIODO	2010	2011	2012
MES	$\$/m^3$	$\$/m^3$	$\$/m^3$
Enero	4.25	4.27	4.84
Febrero	4.56	4.34	4.86
Marzo	4.65	4.28	4.50
Abril	7.08	4.47	4.42
Mayo	4.90	5.45	5.23
Junio	5.05	6.06	5.23
Julio	5.12	5.48	5.39
Agosto	6.44	5.37	5.41
Septiembre	0.00	5.49	5.16
Octubre	4.99	29.68	5.06
Noviembre	4.27	5.21	4.56
Diciembre	4.04	4.86	4.65
Total	4.83	5.01	4.89

4.2.2 Sistema Cutzamala

El Sistema Cutzamala, el cual abastece a 11 delegaciones del Distrito Federal y 11 municipios del Estado de México. Aporta el 18% del abastecimiento para todos los usos de la Cuenca del Valle de México, calculado en 82 m³/s, que se complementa con el Sistema Lerma (6%), con la extracción de agua subterránea (73%) y con ríos y manantiales (3%).

4.2.2.1. Características de la línea de conducción

El bombeo del sistema, necesario para vencer el desnivel, ocasiona un significativo consumo de electricidad. En el año 2008, la electricidad empleada fue de 1.29 TWh, lo que representó el 6% de la generación total de energía eléctrica del país para ese año, y su costo representó el 6.4% del presupuesto ejercido de la CONAGUA para ese mismo año.

Cutzamala está integrado por siete presas derivadoras y de abastecimiento, seis estaciones de bombeo y una planta potabilizadora.

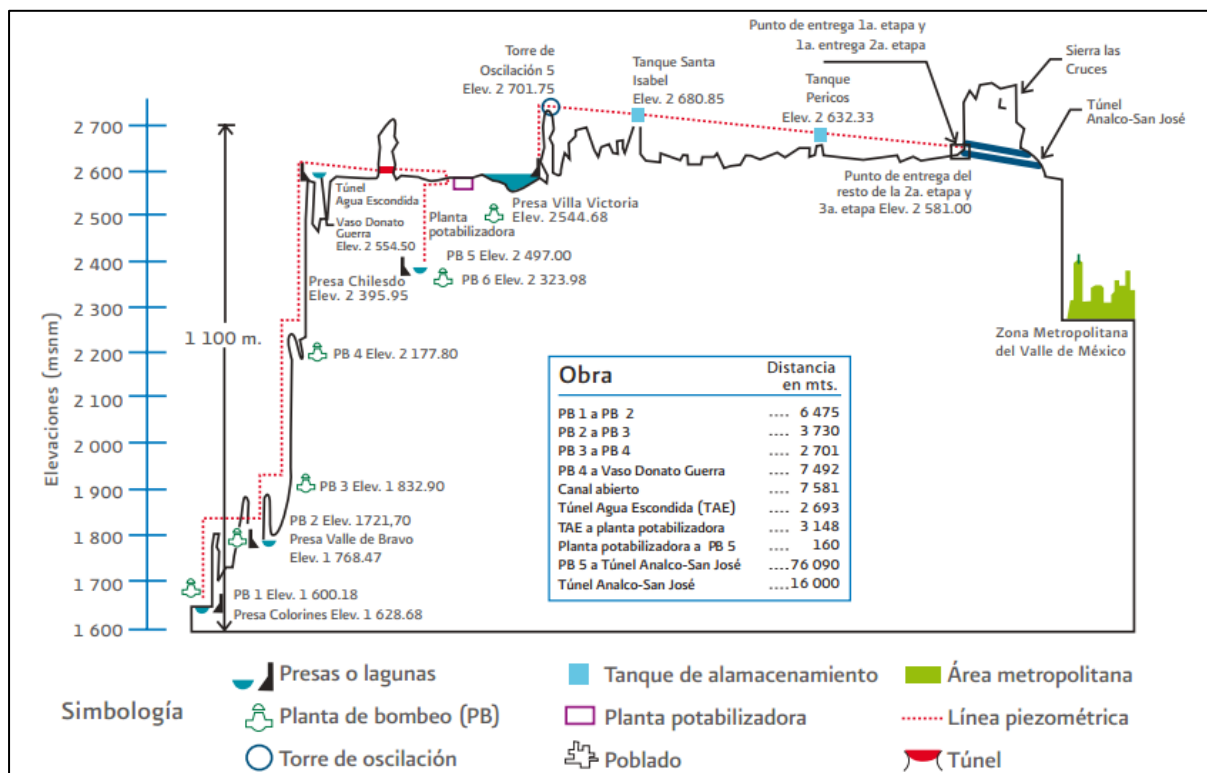


Ilustración 4.10 Sistema Cutzamala, CONAGUA. Organismo de Cuenca Valle de México.

- Planta de bombeo “1”

Esta planta tiene la función de elevar el agua 157.3 metros, a una distancia 8,381 metros, se ubica a una altitud de 1,600.18 msnm, tiene 5 unidades bomba-motor con un gasto de 4 m³/s cada una con un gasto total de 20 m³/s, sus motores son de inducción con una potencia de 10,348 H.P., por unidad y por planta 51,740 H.P.

- Planta de bombeo “2”

Esta planta tiene la función de elevar el agua 121.8 metros, a una distancia 3,948 metros, se ubica a una altitud de 1,721.70 msnm, tiene 6 unidades bomba-motor con un gasto de 4 m³/s cada una con un gasto total de 24 m³/s, sus motores son de inducción con una potencia de 7,215 H.P., por unidad y por planta 43,290 H.P.

- Planta de bombeo “3”

Esta planta tiene la función de elevar el agua 349.3 metros, a una distancia 2,891 metros, se ubica a una altitud de 1,832.90 msnm, tiene 6 unidades bomba-motor con un gasto de 4 m³/s cada una con un gasto total de 24 m³/s, sus motores son de inducción con una potencia de 21,450 H.P., por unidad y por planta 128,700 H.P.

- Planta de bombeo “4”

Esta planta tiene la función de elevar el agua 349.3 metros, a una distancia 19,700 metros, se ubica a una altitud de 2,177.8 msnm, tiene 6 unidades bomba-motor con un gasto de 4 m³/s cada una con un gasto total de 24 m³/s, sus motores son de inducción con una potencia de 21,450 H.P., por unidad y por planta 128,700 H.P.

- Planta de bombeo “5”

Esta planta tiene la función de elevar el agua 174.2 metros, a una distancia de 1,500 metros, hasta la torre de oscilación 5, de aquí el caudal es conducido por gravedad a la ZMVM, se ubica en una altitud de 2,497 msnm, cuenta con 6 unidades de bomba-motor con un gasto de 4 m³/s cada una con un gasto total de 24 m³/s, sus motores son de inducción con una potencia de 10,348 H.P; por unidad y por planta 62,088 H.P; más 3 unidades bomba-motor con un gasto de 1.7 m³/s cada una con un gasto total de 5.1 m³/s, con una potencia de 4,180 H.P; por unidad y por planta 12,540 H.P.

- Planta de bombeo “6”

Esta planta tiene la función de elevar el agua 272.5 metros, a una distancia de la obra de toma de la presa Chilesco a la Conexión del Acueducto de 12,031 metros, se ubica en una altitud de 2,

323.98 msnm, cuenta con 3 unidades bomba-motor con un gasto de 1.7 m³/s cada una con un gasto total de 5.1 m³/s, sus motores son de inducción con una potencia de 5,460 H.P; por unidad y por planta 16,380 H.P.

- Tipo y longitud de conducción

Tabla 4.6 Tipo y longitud de conducción del Sistema Cutzamala, Fuente: “Sistema Cutzamala-Agua para Millones de Mexicanos”; Octubre 1994.

Tramo	Tipo De Conducción				Canal Long. Km	Túnel Long. Km	Long. Total Km	Bombeo	Gravedad
	Acero Long. Km	Diámetro m	Concreto Long. Km	Diámetro m					
Presa Villa Victoria					13.000		13.000		Gravedad
Planta Potabilizadora									
Planta Potabilizadora									
Portal De Salida Túnel Analco	1.880	2.5 A 3.5	76.000	2.5		15.800	93.680	1.5 Km	74.5 Km
Presa Valle De Bravo									
Planta Potabilizadora	4.000	1.83 A 3.17	14.500	2.5	7.500	3.100	29.100	12 Km	17.1 Km
Presa Colorines Presa Valle De Bravo	1.920	2.5 A 2.9	2.280	2.500		2.240	6.440	Bombeo	
Presa Chilesco Planta Potabilizadora	2.500	1.73	9.300	1.07 A 1.37			11.800	Bombeo	
Presa Tuxpan Presa El Bosque					14.950	7.050	22.000		Gravedad
Presa Ixtapan Del Oro A Canal Bosque De Colorines					1.200		1.200		Gravedad
Presa El Bosque Presa Colorines					35.900	15.795	51.695		Gravedad
Segunda Línea	2.900	1.83 A 3.17	90.500	2.5			93.400		Gravedad
Totales	13.200		192.580		72.550		322.315		

- Características de los elementos que componen el Sistema Cutzamala

Tabla 4.7 Características de los elementos, Fuente: CONAGUA, Estadísticas del Agua 2006.

Elemento	Tipo	Capacidad	Elevación
Tuxpan	Presa Derivadora	5 Hm ³	1,751
El Bosque	Presa De Almacenamiento	202 Hm ³	1,741
Ixtapan Del Oro	Presa Derivadora	.50 Hm ³	1,650
Colorines	Presa Derivadora	1.50 Hm ³	1,629
Valle De Bravo	Presa De Almacenamiento	394 Hm ³	1,768
Villa Victoria	Presa De Almacenamiento	186 Hm ³	2,545
Chilesco	Presa Derivadora	1.50 Hm ³	2,396
Planta De Bombeo 1	Bombas	20 m ³ /s	1,600
Planta De Bombeo 2	Bombas	24 m ³ /s	1,722
Planta De Bombeo 3	Bombas	24 m ³ /s	1,833
Planta De Bombeo 4	Bombas	24 m ³ /s	2,178
Planta De Bombeo 5	Bombas	24 m ³ /s	2,497
Planta De Bombeo 6	Bombas	5 m ³ /s	2,324

4.2.2.2. Volumen producido

De los registros de volumen de agua producidos, en el año 2008 se contabilizó un volumen igual a 479,031,840 m³/año.

Tabla 4.8 Volumen de agua producida por año, Fuente: CONAGUA. Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México, 2010.

Año	Volumen m ³ /Año	Gasto medio m ³ /s
1991	317,882,880	10.08
1992	310,629,600	9.85
1993	347,526,720	11.02
1994	411,544,800	13.05
1995	430,466,400	13.65
1996	447,180,480	14.18
1997	479,662,560	15.21
1998	454,749,120	14.42
1999	482,500,800	15.3
2000	480,608,640	15.24
2001	477,770,400	15.15
2002	481,239,360	15.26
2003	491,646,240	15.59
2004	488,177,280	15.48
2005	488,177,280	15.48
2006	479,662,560	15.21
2007	482,500,800	15.3
2008	479,031,840	15.19
2009	399,245,760	12.66

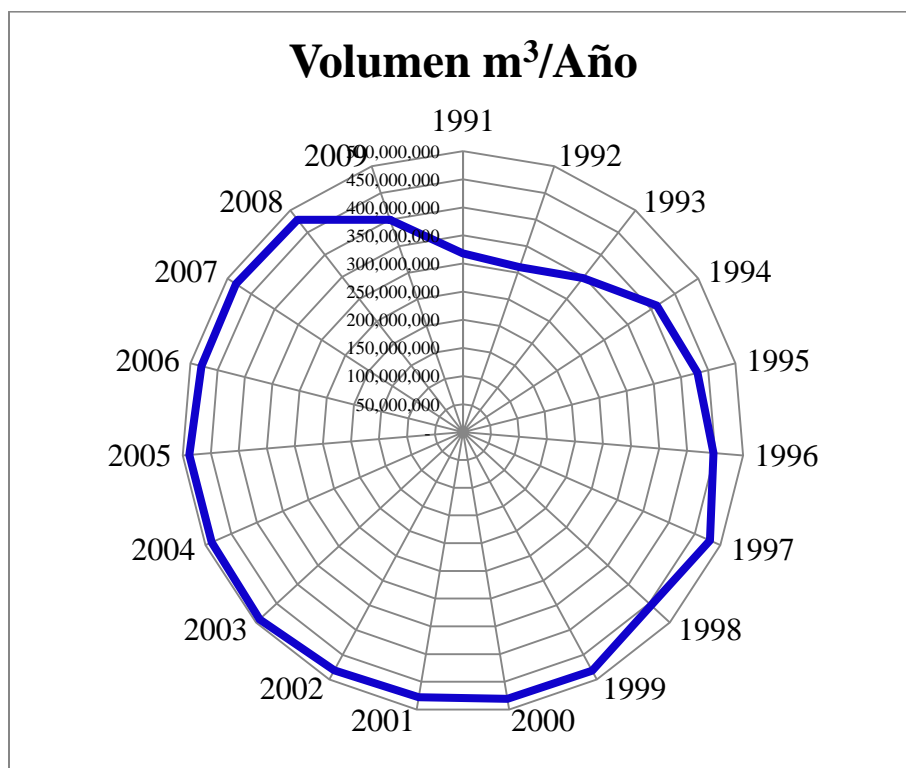


Ilustración 4.11 Volumen producido mensual (1991-2009), elaborada con datos reportados por la CONAGUA.

4.2.2.3. Costos de operación y mantenimiento

Con base en los datos reportados por CONAGUA, por medio del Organismo de Cuenca de Aguas del Valle de México, se presenta el volumen producido promedio anual (14.4 m³/Año). Para el año 2012, se requirieron más de 1,363 millones de KW-h, se requirieron -4% en comparación con el año anterior. El costo energético generado fue de 2,153 millones de pesos para el año 2012, el 2% adicional con el año anterior.

Tabla 4.9 KW-h requeridos y costo de bombeo (2010-2012).

COSTO DE BOMBEO SISTEMA CUTZAMALA			
PERIODO	VOLUMEN BOMBEADO	KW-h	COSTO POR ENERGIA
2010	465,000,000	1,260,252,333	1,725,039,100
2011	465,000,000	1,414,888,070	2,120,380,615
2012	465,000,000	1,363,768,115	2,153,088,461

Con base en el volumen bombeado y el costo de bombeo, se procede a obtener el costo por \$/m³, que resulta en dividir el costo de bombeo (\$) entre el volumen bombeado (m³), el costo promedio de bombeo en el periodo de estudio (2010-2012) resulta de 4.3 \$/m³; Sin embargo para el último año el costo fue de 4.63 \$/m³.

Tabla 4.10 Costo de bombeo por \$/m³

COSTO DE BOMBEO SISTEMA CUTZAMALA			
PERIODO	KH-H/m³	\$/KW-H	\$/m³
2010	2.71	1.37	3.71
2011	3.04	1.50	4.56
2012	2.93	1.58	4.63

El costo de mantenimiento, que (sulfato de aluminio, operación de plantas de bombeo, cloro y mantenimiento preventivo y correctivo.

El costo para el año 2012, es reportado por CONAGUA, mediante el Organismo de Cuencas Aguas del Valle de México. Se procede a calcular el costo de mantenimiento \$/m³, que resultado dividiendo el costo (\$) entre el volumen producido (m³), teniendo un resultado de .58 \$/Año.

Tabla 4.11 Costo de mantenimiento \$/m³.

COSTO DEMANTENIMIENTO SISTEMA CUTZAMALA		
PERIODO	COSTO MANT.	\$/m³
2010	270,000,000	0.58
2011	270,000,000	0.58
2012	270,000,000	0.58

El costo total (\$/m³) por la conducción del agua, está compuesto por operación, mantenimiento y la recuperación de la inversión, sin embargo para este último no es posible obtenerlo ya que se desconoce el valor original de la infraestructura.

El costo total promedio con base en los tres últimos años es de 4.88 \$/m³, sin considerar la recuperación de inversión.

Tabla 4.12 Costo total de conducción de agua \$/m³.

COSTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO SISTEMA CUTZAMALA			
PERIODO	OPERACIÓN	MANTENIMIENTO	\$/m³
2010	3.71	0.58	4.29
2011	4.56	0.58	5.14
2012	4.63	0.58	5.21

4.2.3 Línea de conducción Centla, Tabasco

La Captación de Chichicastle, la cual se encuentra a casi 50 Km de distancia de la Planta Potabilizadora, la Captación de Chichicastle cuenta con dos equipos de bombeo uno de 150 Hp y otro de 250 Hp, los cuales trabajan alternamente en periodos de 24Hrs.

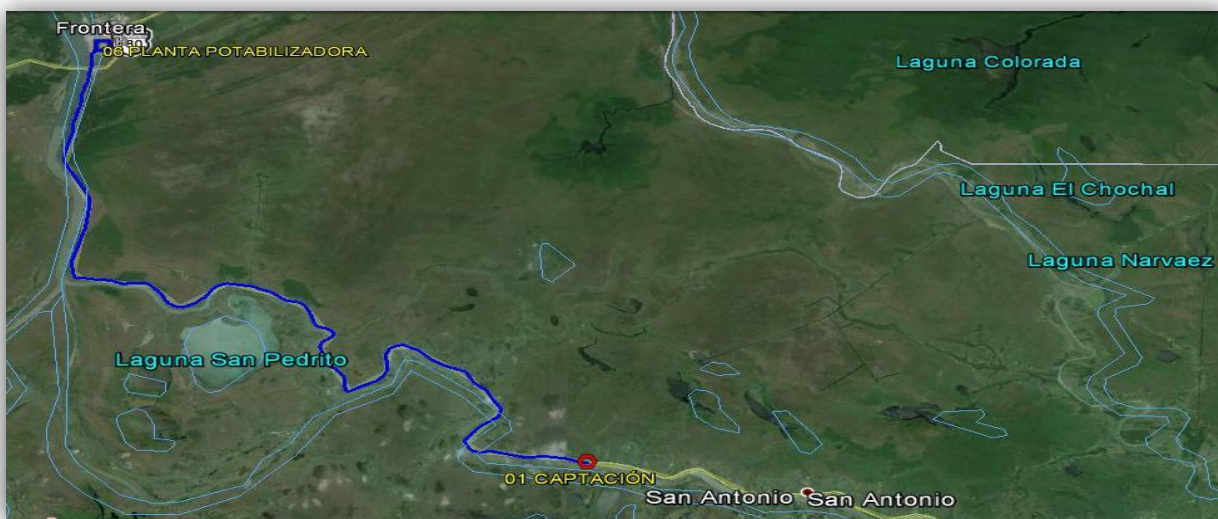


Ilustración 4.12 Localización de línea de conducción Chichicastle, Centla Tabasco.

El costo energético reportado es bajo, debido a que no se tiene un alto desnivel a vencer, para el año 2012 el costo bajo -4 puntos en comparación con el año 2011, reportando costo de \$2.32 millones de pesos.

Tabla 4.13 Costo de bombeo (\$).

Periodo	Volumen bombeado	KW-H	Costo de energía (\$)
2010	2,080,115	1,496,674	2,281,464
2011	2,115,435	1,431,361	2,419,694
2012	2,151,701	1,094,512	2,322,399

No se reportó el costo de mantenimiento, además se desconoce el valor original de la inversión, afectando directamente el costo total \$/m³. El costo presentado, solo contempla la energía requerida

Tabla 4.14 Costo total \$/m³.

KWh/m ³	Costo \$/KWh	Costo energético \$/m ³	Costo mantenimiento\$/m ³	Recuperación de inversión \$/m ³	Costo total \$/m ³
0.72	1.52	1.10	0.00	0.00	1.10
0.68	1.69	1.14	0.00	0.00	1.14
0.51	2.12	1.08	0.00	0.00	1.08

4.2.4 Acueducto Pánuco-Cerro Prieto, Monterrey

Este Acueducto se interconectará al acueducto existente Cerro Prieto-Monterrey con capacidad de 8 m³/s y 130 km de longitud que llega a la planta potabilizadora San Roque, la cual será ampliada para potabilizar el caudal del proyecto y distribuida a través de los dos anillos de transferencia ya existentes.

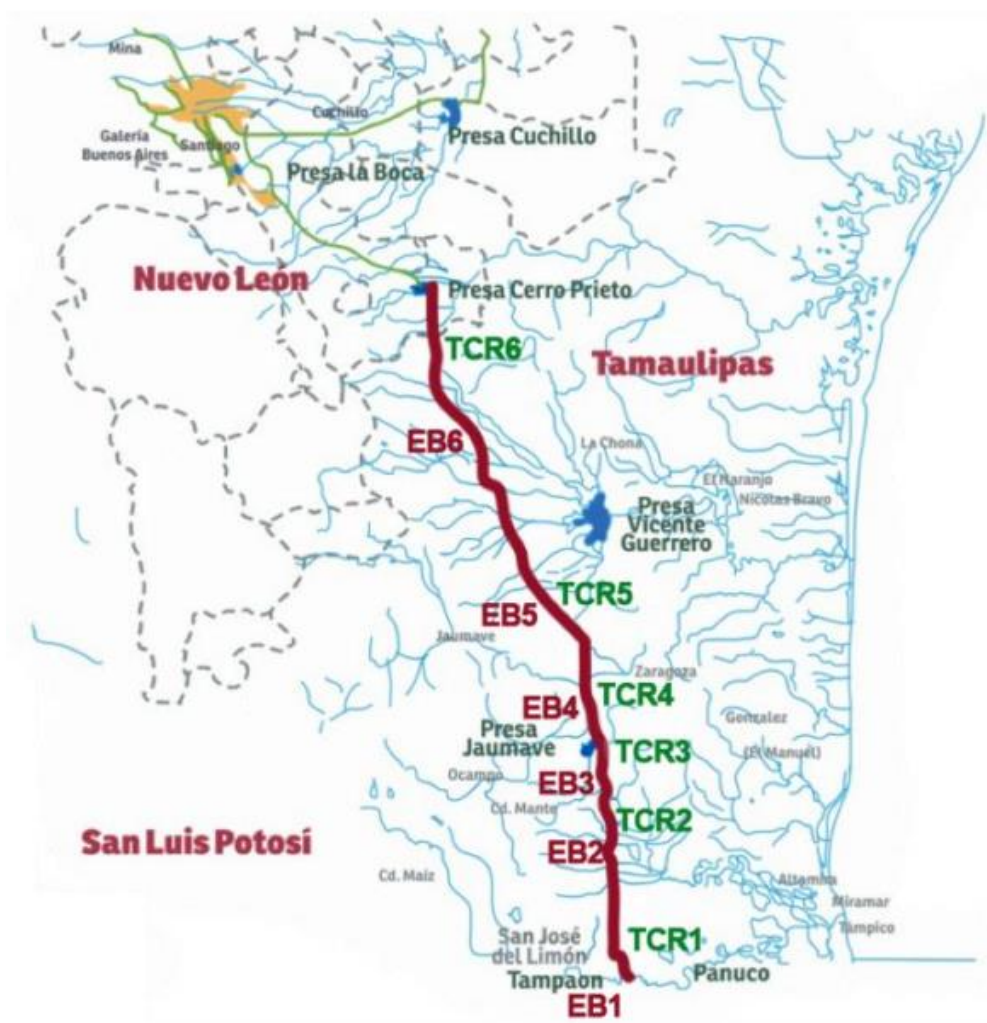


Ilustración 4.13 Línea de conducción, Fuente: Servicio de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D.

4.2.4.1. Características de la línea de conducción

La concepción del sistema de las estaciones de bombeo, para el proyecto, se basa en 5 estaciones de bombeo, denominadas EB02, EB03, EB04, EB05 Y EB06, en el sentido del flujo. Cada estación de bombeo contará con 6 bombas de carcasa bipartida que manejan c/u un flujo de 1000 lps, con una eficiencia de bomba de 84% y motor de 2000 HP.

En la estación de bombeo EB01, se instalaron 6 bombas de turbina vertical con capacidad de 1,000 lps y motor de 2,500 HP c/u, instalando 3 bombas en cada sección, por lo que al sacarse de operación uno de ellos se tendría al menos una capacidad de bombeo de 3,000 pls.

Vencerá 305 metros de desnivel topográfico desde la obra de la toma en el río Tampaón hasta EBOO en la presa Cerro Prieto.

Cada bomba tendrá una tubería de succión y descarga de 36” de diámetro las cuales cuentan con válvulas de seccionamiento y de cierre lento automáticas en la descarga, las cuales funcionan también como válvula check, que se unen a los múltiples de succión y descarga de 84”.

Tabla 4.15 Características de la línea de conducción, Fuente: Servicio de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D.

CARACTERÍSTICA	UNIDAD	CANTIDAD
Longitud:	Km	372
Gasto medio:	m ³ /s	5
Diámetro de tubería:	Pulgadas	84
Tipo de tubería	Combinado	Acero y Concreto
Elevación inicial:	m	20
Elevación en la Presa Cerro Prieto:	m	285
Estaciones de bombeo (EB):	Unidades	6
Vida útil	Años	30

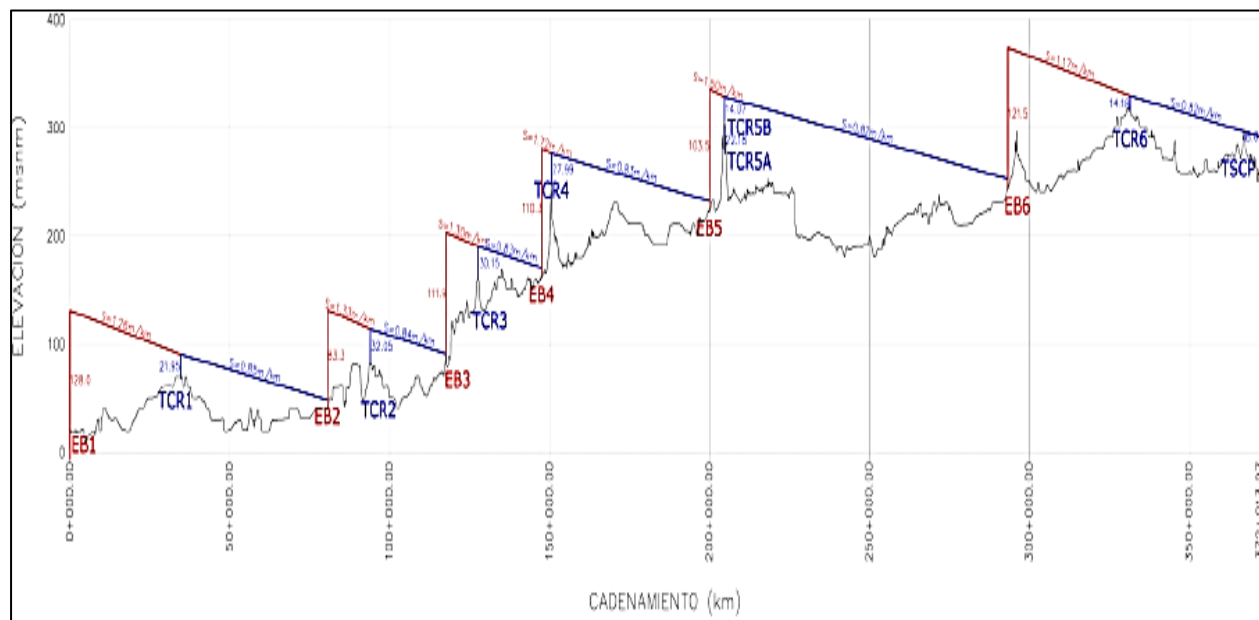


Ilustración 4.14 Perfil de Acueducto Panuco-Cerro Prieto, Fuente: Servicio de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D.

La operación del presente proyecto no requiere materias primas o insumos, ya que el mismo consiste en el transporte de agua.

Durante la etapa de mantenimiento se utilizarán materiales según se requieran, como pinturas, resinas epóxicas, estopas y aceites. El tipo y cantidad serán definidos cuando se ponga en operación el proyecto, siguiendo los procedimientos de mantenimiento que serán generados por recomendación de los contratistas responsables de la obra que son aplicables anualmente en las operaciones.

4.2.4.2. Costos de operación y mantenimiento

En la **Tabla 4.16** se encuentran los valores de las propiedades del fluido y la tubería para el cálculo de las pérdidas de la carga hidráulica en la línea de conducción. Así mismo, el costo promedio de 1 kwh, el cual se utiliza para el cálculo del diámetro económico.

Tabla 4.16 Datos para el cálculo del costo de bombeo.

Fórmula Darcy - Weisbach	
Viscosidad cinemática del agua a 20 °C (m ² /s)	1.00E-06
Longitud L (m)	372000
Rugosidad absoluta de la tubería (mm)	0.05
Nivel de la toma	20
Nivel del terreno en la llegada	285
Altura del tanque para la entrega	3
Eficiencia de bombas (%)	85%
Tasa de actualización	12%
Coef. VD	1.40
Densidad del agua (kg/m ³)	1 000
Q _{máx} diario (l/s)	5 313
Distancia por acarreo de material de excavación (km)	14
Desnivel total (m) (ht)	285

Con base en los datos de la **Tabla 4.16**, se procede a calcular el costo de bombeo anual, partiendo de un gasto de 5,000 m³/año. Para el cálculo del costo de bombeo se ha tomado como referencia la metodología del Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS) de conducción, como se hace referencia en el capítulo 4.

Presentando una carga de bombeo total de 477 m, la cual está compuesta por las pérdidas por fricción más el desnivel a vencer, se ha estimado las 24 horas de bombeo todo el año.

El acueducto, requerirá más de 241 millones de KWh, se ha considerado un costo promedio de KWh, resultando un costo mayor a 351 millones de pesos.

Tabla 4.17 Costo de bombeo (\$).

Q _{med} (l/s)	Q _{med} (m ³ /s)	Veloc. Media (m/s)	Perd. de carga H _f (m)	Carga de bombeo=H _t +H _f	Potencia (kW)	Horas netas	KWh Requeridos	Precio KWh	Costo de bombeo (\$)
5000.00	5	1.4153	192.04	477.04	27 535.6	24	241 211 764.1	1.4571	351 474 282

De acuerdo, al volumen bombeado y el costo de bombeo, se procede a obtener el costo por \$/m³, que resulta en dividir el costo de bombeo (\$) entre el volumen bombeado (m³), resultando un costo de 2.23 \$/m³.

Tabla 4.18 Costo de bombeo \$/m³.

KWh/m ³	Costo \$/KWh	Costo energético \$/m ³	Costo total \$/m ³
1.53	1.46	2.23	2.23

El proyecto presenta un costo de construcción de \$15,436.9 millones de pesos, contemplando una vida útil de 30 años, se procede a calcular el costo por recuperación de inversión anual, el cual es obtenido dividiendo el valor original del acueducto entre los años de vida útil. Posteriormente el resultado es dividido entre el volumen bombeado, teniendo como resultado un costo por recuperación de inversión por 3.26 \$/m³.

Tabla 4.19 Costo de recuperación de inversión \$/m³.

Volumen bombeado	Valor Original del Acueducto	Años de vida útil	Recuperación anual	\$/m ³
157,680,000	15,436,900,000	30	514,563,333	3.26

El costo total \$/m³, está conformado por el costo de operación (energía), costo de mantenimiento y costo de la recuperación de inversión, A continuación se presenta el costo total resultando de 5.49 \$/m³, sin considerar el costo de mantenimiento.

Tabla 4.20 Costo total \$/m³.

Costo energético \$/m ³	Costo mantenimiento\$/m ³	Recuperación de inversión \$/m ³	Costo total \$/m ³
2.23	0.00	3.26	5.49

Nota: Para el costo de mantenimiento se utilizarán materiales según se requieran, como pinturas, resinas epóxicas, estopas y aceites, una vez funcionando el acueducto.

4.2.5 Conclusiones

Con el fin de obtener costos reales de acueductos y líneas de conducción en México, se recabo información del acueducto Río Colorado-Tijuana, Sistema Cutzamala y la línea de conducción Chichicastle, Centla Tabasco. Así también, se calculó el costo de bombeo del proyecto denominado “Acueducto Pánuco-Cerro Prieto” de Monterrey.

El costo de conducción depende principalmente de la disponibilidad de agua y el desnivel a vencer, ya que si se requiere mayor carga de bombeo, afectando directamente los KWh requeridos; además, entre menor sea el diámetro se requerirá mayor potencia, por lo tanto mayor será el costo de energía.

El acueducto Rio Colorado- Tijuana recibe el agua a través de los canales del Distrito de riego #14 Rio Colorado y la conduce hasta la presa del carrizo a una distancia de más de 100 km. Venciendo desniveles de poco más de 1,000 m. Para abastecer desde ahí, a los municipios de Tecate, Tijuana y Rosarito, con base en los datos reportados por la Comisión Estatal del Agua (CEA) de Baja California presenta un costo promedio de 4.91 \$/m³ por la conducción del agua en los años comprendidos (2010-2012); el cual está compuesto por operación y mantenimiento, sin embargo para el cálculo de la recuperación de inversión no es posible obtenerlo ya que se desconoce el valor original de la infraestructura.

El Sistema Cutzamala, el cual abastece a 11 delegaciones del Distrito Federal y 11 municipios del Estado de México. Aporta el 18% del abastecimiento para todos los usos de la Cuenca del Valle de México, calculado en 82 m³/s, que se complementa con el Sistema Lerma (6%), con la extracción de agua subterránea (73%) y con ríos y manantiales (3%). Venciendo un desnivel mayor a 1,400 m, con base en los datos reportados por CONAGUA, se obtiene un costo promedio 4.88 \$/m³ por la conducción del agua en los años comprendidos (2010-2012); el cual está compuesto por operación y mantenimiento, sin embargo para el cálculo de la recuperación de inversión no es posible obtenerlo ya que se desconoce el valor original de la infraestructura.

La Captación de Chichicastle, la cual se encuentra a casi 50 Km de distancia de la Planta Potabilizadora, la Captación de Chichicastle cuenta con dos equipos de bombeo uno de 150 Hp y otro de 250 Hp, los cuales trabajan alternamente en periodos de 24Hrs, venciendo un desnivel de 16 m, a causa del bajo desnivel a vencer y el volumen bombeado, el costo energético es bajo en comparación con los anteriores, teniendo un costo promedio de 1.11 \$/m³, el cual solo contempla el consumo de energía, se desconoce el costo de mantenimiento y el valor original de la inversión.

Acueducto Pánuco- Cerro Prieto, Monterrey, es un proyecto el cual se interconectará al acueducto existente Cerro Prieto-Monterrey con capacidad de 8 m³/s y 130 km de longitud que llega a la planta potabilizadora San Roque, la cual será ampliada para potabilizar el caudal del proyecto y distribuida a través de los dos anillos de transferencia ya existentes. El costo total \$/m³, está conformado por el costo de operación (energía) y costo de la recuperación de inversión, estimando un costo de 5.49 \$/m³, sin considerar el costo de mantenimiento.

Con base en los costos reales de los años 2010-2012 del acueducto Río Colorado-Tijuana, Sistema Cutzamala y la línea de conducción Chichicastle; así también, de la estimación del Acueducto Pánuco-Cerro Prieto, Monterrey, se obtiene un costo promedio de 4.10 \$/m³ por la conducción del agua; sin embargo, cabe mencionar que falta integrar el costo de recuperación de la inversión de los tres primeros ejemplos.

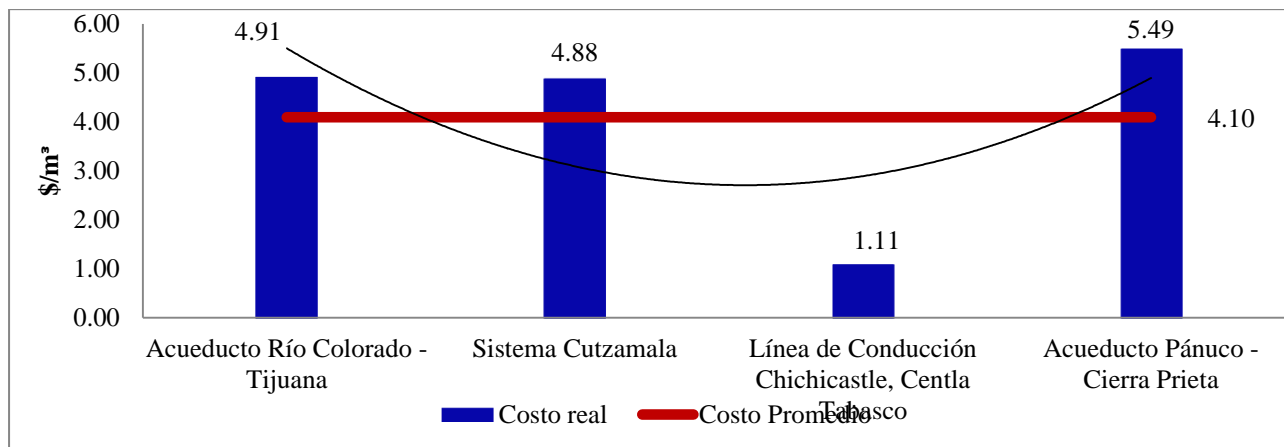


Ilustración 4.15 Costo promedio de conducción del agua \$/m³.