

F-0887



PODER LEGISLATIVO FEDERAL  
CÁMARA DE DIPUTADOS

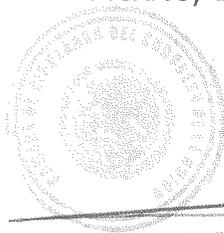
MESA DIRECTIVA  
LXI LEGISLATURA  
OFICIO No.: D.G.P.L. 61-II-8-1871  
EXP. No.: 618

Dip. Ninfa Clara Salinas Sada,  
Presidenta de la Comisión de  
Medio Ambiente y Recursos Naturales  
P r e s e n t e .

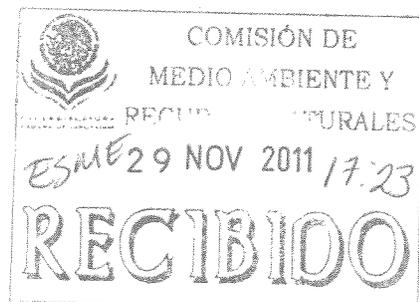
En sesión celebrada en esta fecha por la Cámara de Diputados del Honorable Congreso de la Unión, se dio cuenta con el oficio de la Comisión Nacional del Agua, con el que responde al Punto de Acuerdo, aprobado por la Cámara de Diputados, por el que se exhorta a esa Institución a llevar a cabo acciones para el saneamiento integral del Vaso Regulador "El Cristo", ubicado en el Municipio de Naucalpan de Juárez, Estado de México.

En sesión celebrada en esta fecha por la Cámara de Diputados del Honorable Congreso de la Unión, se dictó el siguiente trámite: "Remítase a las Comisiones de Medio Ambiente y Recursos Naturales y de Recursos Hidráulicos, para su conocimiento."

México, D.F., a 29 de noviembre de 2011.



  
Dip. Carlos Samuel Moreno Terán  
Secretario



**Anexo:** Copia del Documento.  
JJV/gym\*

1524



*Remitase a las Comisiones de "2011, Año del Turismo en México" Medio Ambiente y Recursos Naturales y de Recursos Hidráulicos para su conocimiento. Noviembre 29 del 2011.*

ORGANISMO DE CUENCA AGUAS DEL VALLE DE MEXICO  
DIRECCION DE AGUA POTABLE, DRENAJE Y SANEAMIENTO  
SUBGERENCIA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE

*Paula Cruz...*

Asunto: Saneamiento Vaso El Cristo.

OFICIO No. BOO.R01.02.17.-03219

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



México, D.F., Noviembre 17 de 2011

DIP. EMILIO CHUAYFFET CHEMOR  
PRESIDENTE DE LA MESA DIRECTIVA DE LA LXI  
LEGISLATURA DE LA CAMARA DE DIPUTADOS  
P R E S E N T E

En atención a su Oficio No. D.G.P.L. 61-II-8-507, dirigido al Ing. José Luis Luege Tamargo, Director General de la Comisión Nacional del Agua, referente al punto de acuerdo aprobado por la Cámara de Diputados del Honorable Congreso de la Unión, por medio del cual exhorta a la Comisión Nacional del Agua para llevar a cabo acciones para el saneamiento integral del Vaso Regulador "El Cristo", ubicado en el Municipio de Naucalpan de Juárez, Estado de México.

Al respecto se anexa información con que se atiende el punto de acuerdo mencionado.

Otro particular, aprovecho el conducto para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE  
EL DIRECTOR GENERAL DEL ORGANISMO DE CUENCA AGUAS DEL VALLE DE MEXICO

ING. MIGUEL ANSELMI VAZQUEZ SAENZ

*[Handwritten signature]*

RESIDENCIA DE LA MESA DIRECTIVA

2011 NOV 22 PM 5 06

PODER LEGISLATIVO  
F E D E R A L  
CAMARA DE DIPUTADOS

002025

H. CÁMARA DE DIPUTADOS  
LXI LEGISLACIÓN  
17:09  
22 NOV 2011  
**RECIBIDO**  
PRESIDENCIA MESA DIRECTIVA  
SECRETARÍA TÉCNICA  
ESTHER INFANTE ALLENDE

- Copias:
- LIC. JOSE EDUARDO MANGAS LUNA. Coordinador Técnico de la Dirección General de la Comisión Nacional del Agua. En Atención al Folio No. BOO.- 0104140/2010.
  - ING. MIGUEL GUEVARA TORRES. Coordinador General de Proyectos Especiales de Abastecimiento de Agua Potable y Saneamiento del Valle de México.
  - LIC. ALEJANDRO GONZALEZ NAVARRO. Secretario Particular de la Dirección General del Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México. En Atención a los Turnos de Trabajo Folios Nos. 2535/2010 y 2895/2010.
  - ING. ANTONIO GUTIERREZ MARCOS. Director de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento.
  - ING. RAMIRO GUTIERREZ WOOD. Subgerente de Abastecimiento de Agua Potable.
  - ARCHIVO.
  - AGM/RGW/acm11\*

"Juntos cuidamos el Agua"

# Saneamiento del Vaso Regulador "El Cristo"



**SEMARNAT**

17 de noviembre de 2011

**Punto de acuerdo aprobado por el pleno de la Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión en sesión celebrada el día 23 de septiembre de 2010.**

***"Único. La Cámara de Diputados del Honorable Congreso de la Unión, exhorta a la Comisión Nacional del Agua para que: 1. Realice un diagnóstico integral para el saneamiento del vaso regulador "El Cristo"; 2. Informe a esta Soberanía de las acciones, estudios y proyectos realizados para el saneamiento del Vaso Regulador "El Cristo", en el marco del Programa para la Sustentabilidad Hídrica de la Cuenca del Valle de México; 3. Elabore un diagnóstico sobre la calidad del agua en el Vaso Regulador "El Cristo", entendiendo que sus aguas se reutilizarán y, en caso de existir un estudio, informen a esta Soberanía los resultados del mismo; 4. Informe a esta Soberanía sobre las labores de inspección, evaluación y reparación hidráulica realizadas, que afecten el Vaso Regulador "El Cristo", con el fin de saber si cumplen con la normatividad ambiental vigente, en lo que respecta al manejo de lixiviado, biogás y las aguas pluviales; 5. A través de su Coordinación de Proyectos de Abastecimiento del Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México, informe a esta Soberanía, de los efectos que ha tenido la instalación de Bombeo Vaso de Cristo, para el cumplimiento de las metas contenidas en el programa de Saneamiento del Valle de México y las acciones que falten de realizar para cumplimiento de las mismas."***

Al respecto, le comento que el tema está identificado y considerado dentro de las actividades y obras que integran El Programa de Sustentabilidad Hídrica de la Cuenca del Valle de México, documento presentado por la Comisión Nacional del Agua en noviembre del 2007.

De manera específica a continuación se emiten los comentarios para cada uno de los Puntos de Acuerdo competencia de la Comisión Nacional del Agua:

## **1. Realizar un diagnóstico integral para el saneamiento del vaso regulador "El Cristo";**

Como se mencionó anteriormente, el saneamiento del Vaso El Cristo es parte del Programa Regional Integral identificado como Programa de Sustentabilidad Hídrica de la Cuenca del Valle de México, que incluye:

- El saneamiento de cauces a cielo abierto que conducen aguas residuales sin tratar mezcladas con aguas de lluvia en el occidente del Valle de Cuautitlán,
- Revertir la sobre-explotación de los acuíferos del Valle de Cuautitlán a través del intercambio de agua residual tratada por agua de pozos agrícolas,
- La recuperación del agua de la presa Guadalupe como una fuente potencial complementaria de suministro de agua potable para la zona metropolitana del Valle de México vía la sustitución de agua de primer uso por agua residual tratada en riego agrícola y
- La restauración sanitaria ambiental del valle del río Cuautitlán y su zona agrícola.

## **2. Informar a esta Soberanía de las acciones, estudios y proyectos realizados para el saneamiento del Vaso Regulador "El Cristo", en el marco del Programa para la Sustentabilidad Hídrica de la Cuenca del Valle de México;**

De acuerdo con el análisis y evaluación de alternativas, y tomando en consideración las condiciones en que se encuentra el Programa regional de Saneamiento del Valle de México, se plantea como el escenario más probable para el saneamiento del Vaso El Cristo y los cauces superficiales de drenaje del Valle de México, aguas abajo del Túnel Emisor del Poniente (TEP) la construcción por etapas de las obras de saneamiento y reúso que se enlistan a continuación:

**1ª Etapa:** Construcción de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para reúso municipal (riego de campos deportivos y zonas verdes, obras de construcción y pavimentación de calles, etc.) y una red para venta de agua tratada a los principales y más cercanos usuarios comerciales (campos de golf, en particular) e industriales, el gasto de diseño de la planta se determinaría en función de las demandas de los usuarios confirmados, para fines presupuestales se estimó un gasto de  $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ , considerando una aportación para la formación de un espejo de agua de buena calidad en el Vaso El Cristo.

**2ª Etapa:** Ampliación de la capacidad de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales a  $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$ , el incremento en capacidad estaría destinado a sanear los cauces aguas abajo del Túnel Emisor del Poniente Simultáneo con la ampliación de la capacidad de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales deberán ser construidas las siguientes obras:

- Los colectores marginales al Emisor del Poniente (EP).
- Las obras de control en las lumbreras de conexión de los ríos Tlalnepantla y San Javier con el Túnel Emisor del Poniente.
- La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Beriozábal, con un gasto de diseño definido por los gastos aportados por los cauces y drenes tributarios, incluyendo los colectores marginales del Emisor del Poniente, y no por la magnitud de las demandas de agua para riego.
- Obras de regeneración ambiental en las riberas del Emisor del Poniente y el río Cuautitlán.

**3ª Etapa:** Ampliación de la capacidad de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales a  $4 \text{ m}^3/\text{s}$ , con el mismo esquema de manejo de agua.

Los terrenos previstos para la construcción de la planta serían recuperados del mismo vaso, pero sin reducir su capacidad de regulación del Vaso, gracias a obras de dragado que están consideradas en el ante-presupuesto del proyecto. Por la cercanía de zonas urbanas densamente pobladas, se excluye el uso de gas cloro para la desinfección de las aguas, optándose por hipoclorito de sodio o luz ultravioleta. Igualmente, y con el fin de evitar problemas ambientales a las zonas urbanas aledañas, se plantea el tratamiento de lodos en una zona alejada de la planta de tratamiento, o

bien en un sitio escondido ex profeso para este fin o bien en el sitio donde se construyen actualmente las instalaciones de la planta de tratamiento de aguas residuales de Atotonilco en el municipio de Atotonilco de Tula, en el Estado de Hidalgo.

Se anexa al presente documento copia del Sub-Programa Saneamiento de Vaso El Cristo y Cuenca del río Cuautitlán que forma parte del Programa de Sustentabilidad Hídrica de la Cuenca del Valle de México, que la Comisión Nacional de Agua hizo público el 8 de noviembre de 2007, en el que se describen en forma sucinta las obras que tienen como objetivo el saneamiento del Vaso El Cristo y sus áreas de influencia, con la aclaración de que tanto los presupuestos como los planteamientos técnicos del programa están siendo actualizados constantemente por la Comisión Nacional del Agua.

**3. Elaborar un diagnóstico sobre la calidad del agua en el Vaso Regulador "El Cristo", entendiendo que sus aguas se reutilizarán y, en caso de existir un estudio, informen a esta Soberanía los resultados de este;**

**Calidad del agua afluyente a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Vaso El Cristo.**

A la fecha se cuenta con información recopilada de diversas fuentes de registro de la calidad del agua en el sistema de drenaje del Valle de México, más estudios realizados bajo la coordinación de la Comisión Nacional del Agua, que ha permitido contar con una caracterización del agua afluyente al almacenamiento denominado Vaso El Cristo. Con base en esa información se puede comentar, en términos generales que, debido a la influencia de los escurrimientos pluviales, la calidad esperada de las aguas que llegan al Vaso El Cristo presenta grandes fluctuaciones, este efecto se aprecia especialmente en las variaciones en la concentración de sólidos suspendidos debido a los arrastres de los escurrimientos pluviales. En el cuadro 1 se muestran las variaciones esperadas en los principales indicadores de la calidad del agua.

**Cuadro1.- Características de diseño de influente de la planta de tratamiento.**

Parámetro	Unidad	Promedios		
		Anual	Mes Max.	Día Max.
Temperatura	°C	14 a 20		
pH	UpH	6.5 a 8.5		
Sólidos suspendidos totales	mg/l	300	550	1,500
Sólidos suspendidos volátiles	mg/l	160	250	340
DBO <sub>5</sub> Total	mg/l	250	300	400
Nitrógeno Total de Kjeldhal	mg/l	45	55	70
Fosforo Total	mg/l	8	10	12
Grasas y Aceites	mg/l	18	34	50
Sulfuros	mg/l	8	12	20
Coliformes fecales	NMP/100 ml	5.E+07	1.E+08	5.E+08
Huevos de helminto	U/l	6	10	15

Para cumplir con los objetivos de recuperación ecológica del Vaso El Cristo y/o de saneamiento del cauce del Emisor Poniente después del túnel será necesario contar con una planta de tratamiento secundario con remociones de DBO y SST de 85 a 90 % y eliminación de patógenos a niveles de menos de 1,000 coliformes fecales por cada 100 ml y de huevos de helminto a menos de 1 hh/l.

**4. Informar a esta Soberanía sobre las labores de inspección, evaluación y reparación hidráulica realizadas, que afecten el Vaso Regulador "El Cristo", con el fin de saber si cumplen con la normatividad ambiental vigente, en lo que respecta al manejo de lixiviado, biogás y las aguas pluviales;**

Durante 2010 se realizaron labores de limpieza en el Vaso, que aumentó la capacidad de regulación en un volumen similar al del azolve extraído, acciones que se deben realizar periódicamente debido al arrastre de sólidos desde la parte alta de la cuenca.

De acuerdo a las características de operación del Vaso EL Cristo los lixiviados y el biogás se diluyen y transportan a través de las aguas residuales y pluviales que se manejen, por lo que no existe un manejo específico de estos dos parámetros y como se mencionó en el punto anterior será necesario la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales a fin de cumplir con las normas para el desalojo de estas aguas.

Respecto a las aguas pluviales estas se regulan y de acuerdo a las condiciones que imperen al momento de las precipitaciones pluviales, se conducen hacia los siguientes cauces:

- Rio de los Remedios.
- Emisor Central Profundo.
- Emisor del Poniente.

Lo anterior en apego al **Protocolo de Operación conjunta para la Temporada de Lluvias para el Sistema Hidrológico del Valle de México, suscrito por la Comisión Nacional del Agua, Sistema de Aguas de la Ciudad de México y Comisión de Agua del Estado de México.**

**5. A través de su Coordinación de Proyectos de Abastecimiento del Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México, informe a esta Soberanía, de los efectos que ha tenido la instalación de Bombeo Vaso de Cristo, para el cumplimiento de las metas contenidas en el programa de Saneamiento del Valle de México y las acciones que falten de realizar para cumplimiento de estas.**

La planta de bombeo Vaso El Cristo inició su operación en el 2008, con objeto de manejar los caudales provenientes de los ríos Hondo y Chico de los Remedios y derivarlos hacia el Emisor del Poniente durante la época de estiaje, con lo que se tiene la posibilidad de ingresar al Túnel del Emisor Central para los trabajos de mantenimiento.

Durante 2009 y 2010 no fue necesario operar la planta, manejando los caudales a través de escurrimiento por gravedad y coordinando las etapas de mantenimiento del Emisor Central.

\* \* \* \* \*



Subdirección General de Infraestructura Hidráulica Urbana

Coordinación de Proyectos Especiales de Abastecimiento de Agua Potable y  
Saneamiento del Valle de México

Programa de Sustentabilidad Hídrica de la Cuenca del Valle de  
México

Sub-Programa

**Saneamiento de Vaso El Cristo y Cuenca del río Cuautitlán**

México, D.F.

17 de noviembre de 2011

## CONTENIDO

---

INTRODUCCIÓN.....	3
ANÁLISIS HIDRÁULICO.....	6
CALIDAD DE LAS AGUAS Y MANEJO DE CLORO.....	10
MANEJO DE LODOS .....	12
COLECTORES MARGINALES AL EMISOR DEL PONIENTE.....	16
ANÁLISIS ECONÓMICO .....	17
Saneamiento de Cauces .....	17
PTAR para Reúso .....	18
ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS .....	20
CONCLUSIONES .....	27
ANEXOS.....	28

## INTRODUCCIÓN

El programa de sustentabilidad hídrica de la Cuenca del Valle de México, presentado por la Comisión Nacional del Agua en noviembre del 2007, incluye el saneamiento del Vaso El Cristo. El saneamiento del Vaso de Cristo es parte de un programa regional integral que incluye

- el saneamiento de cauces a cielo abierto que conducen aguas residuales sin tratar mezcladas con aguas de lluvia,
- revertir la sobre-explotación de los acuíferos del Valle de Cuautitlán a través del intercambio de agua residual tratada por agua de pozos agrícolas,
- la recuperación del agua de la presa Guadalupe como una fuente potencial complementaria de suministro de agua potable para la zona metropolitana del Valle de México y, en general,
- la restauración ambiental del valle del río Cuautitlán y su zona agrícola.

En el Vaso El Cristo (VEC) confluyen las aguas del río Chico de los Remedios y del río Hondo, así como escurrimientos del Interceptor Poniente que se descargan al río Hondo por la planta de bombeo (PB) de río Hondo. Las aguas que llegan al VEC tienen dos posibles destinos, el río de los Remedios y el Túnel Emisor del Poniente (TEP).

La cota de plantilla del TEP está varios metros arriba del fondo del VEC, razón por la cual, en ausencia de bombeo, el TEP sólo recibe aguas del VEC cuando se deja embalsar el agua en el vaso y el agua alcanza un nivel por encima de la cota de plantilla del TEP. El Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México (OCAVM) evitan en lo posible embalsar agua en el VEC por dos razones:

- porqué siendo un Vaso para control de avenidas el Vaso debe estar vacío para poder regular los gastos que se presenten en caso de tormentas en las cuencas tributarias y
- porqué las aguas que llegan al Vaso están contaminadas por descargas de aguas residuales de origen sanitario, municipal e industrial y su embalse ocasionaría problemas ambientales y de salud pública a la población de las zonas densamente pobladas en la vecindad del Vaso.

En el año 2008, como parte del programa de obras de emergencia, la CONAGUA construyó una PB para elevar las aguas del Vaso al TEP, sin necesidad de almacenar agua en el Vaso, y poder desfogar las aguas de los ríos Hondo y Chico de los Remedios antes de su descarga

a la red de drenaje profundo y su desfogue por el Emisor Central que necesitaba ser retirado de servicio durante los meses de secas para darle mantenimiento que se había diferido por más de diez años..

Para el diseño de las obras de saneamiento del Emisor Poniente y las cuencas superficiales al poniente del Valle de Cuautitlán, en particular los ríos Cuautitlán y El Salto, es importante subrayar que el TEP recibe en su trayecto otras descargas de aguas residuales, en particular de los ríos San Javier y Tlalnepantla.

Aguas abajo del TEP, el Emisor del Poniente (EP) fluye a cielo abierto y cruza importantes zonas urbanas e industriales de los municipios de Tultitlán, Cuautitlán, Cuautitlán-Izcalli, Teoloyucan, Tepetzotlán, Huehuetoca, etc., recibe las descargas actualmente contaminadas del río Cuautitlán, alimenta el Canal Santo Tomas y desemboca en el río El Salto que cruza el parte-aguas del Valle de México y se une al río Tula en el estado de Hidalgo.

La construcción de una planta para el tratamiento de aguas residuales que confluyen al VEC ofrece, entre otras, las siguientes ventajas:

- contar con agua de buena calidad para formar un espejo de agua en el VEC que, sin afectar en forma significativa la capacidad de regulación del Vaso, contribuya a mejorar las condiciones ambientales y la ecología de la zona,
- ofrecer una fuente potencial de agua de calidad adecuada para el reúso en la satisfacción de demandas industriales y municipales de la región que no requieren agua de primer uso,
- sanear el cauce a cielo abierto del EP, que atraviesa zonas densamente pobladas y actualmente conduce aguas altamente contaminadas, así como los cauces y cuerpos de agua que se alimentan con las aguas del EP.

Las aguas que llegan al VEC, si son derivadas a través el río de los Remedios al sistema de drenaje profundo, salen del Valle de México a través del Emisor Central para su reúso con fines agrícolas en la región de El Salto en el estado de Hidalgo. Las aguas que se conducen por el EP llegan también a la zona de El Salto para su reúso con fines agrícolas pero a través del río Cuautitlán y el río El Salto que cruza el Tajo de Nochistongo.

Al construirse una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en el VEC, la capacidad de tratamiento requerida en la PTAR Atotonilco se vería disminuida en la misma

medida. Cabe mencionar que estas consideraciones fueron tomadas en cuenta en el dimensionamiento de la planta Atotonilco de aguas residuales.

Una vez hechas estas aclaraciones, se pueden mencionar algunas de las consideraciones técnicas y económicas hechas en la evaluación de la conveniencia de construir una PTAR en el VEC:

- la PTAR en el VEC deberá remover la materia orgánica disuelta que de otra manera causaría problemas de septicidad en el Vaso e impediría que se logren los objetivos de saneamiento del cauce del EP y el río Cuautitlán,
- La ubicación de una PTAR en el VEC plantea dos retos con implicaciones técnicas y económicas que deben ser solventados para dar viabilidad al proyecto:
  - el manejo y disposición final de los lodos que se producirían en una PTAR ubicada en medio de una zona urbana y
  - los riesgos asociados al transporte y manejo del cloro que se requiere para la desinfección de las aguas tratadas.
- Para el manejo de lodos las opciones son: (1) bombear los lodos líquidos para su tratamiento y disposición en una zona rural o (2) su descarga al Túnel Emisor Oriente (TEO) para su tratamiento en un centro integral de manejo de lodos en el sitio de la planta Atotonilco, cabe mencionar que en el diseño del TEO se revisó esta posibilidad, y la pendiente del TEO permite asegurar una velocidad del agua, aún a gastos mínimos, que evite el azolve del túnel por la deposición de los sólidos suspendidos que llevan las descargas de lodos de plantas de tratamiento,
- En relación con la desinfección, se considera desaconsejable el empleo de cloro gas para la desinfección de las aguas, por lo que las opciones serían: filtración del efluente secundario, seguida de desinfección con luz ultravioleta o desinfección con hipoclorito de sodio,
- La construcción de una PTAR en el VEC no debe afectar la capacidad de regulación del Vaso, lo que implica recuperar el volumen ocupado por las instalaciones de la PTAR con el dragado de un volumen equivalente en el Vaso Este dragado, para ser efectivo, debe ser hecho por encima de la cota de plantilla de la compuerta de descarga del río de los Remedios, pues de otra manera sólo se estaría construyendo una olla permanentemente llena de agua que no contribuiría a la capacidad efectiva de regulación del Vaso,

## ANÁLISIS HIDRÁULICO

El VEC funciona actualmente bajo dos regímenes de operación hidráulica:

1. En época de secas las aguas que llegan al Vaso normalmente son derivadas directamente al río de los Remedios y evacuadas del VdeM a través del Emisor Central. La nueva planta de bombeo El Cristo permite derivar los gastos en época de secas al TEP sin llenar el Vaso con aguas residuales sin tratar, y aliviar así la carga hidráulica al sistema de drenaje profundo para posibilitar la inspección y mantenimiento del Emisor Central.
2. En época de lluvias el VEC sirve para regular las avenidas de los ríos Chico de los Remedios y Hondo y derivar el agua al río Cuautitlán a través del Túnel Emisor del Poniente.

La PB de río Hondo, puesta en marcha en el año 2003, permite derivar las aguas residuales captadas por el Interceptor Poniente al VEC, escurrimientos que, de otra manera, reconocerían hacia el Interceptor Centro-Poniente e incrementarían la carga hidráulica en el sistema de drenaje profundo.

La aportación del Interceptor Poniente al río Hondo antes de la construcción de la PB de río Hondo era de menos de 1 m<sup>3</sup>/s, actualmente es del orden de 4 m<sup>3</sup>/s, y puede ser substancialmente mayor, hasta 20 m<sup>3</sup>/s, en época de lluvias. En las figuras 1 y 2 se muestran en forma esquemática los gastos medios en las entradas y salidas al VEC antes y después de la puesta en marcha de la PB de río Hondo..

Gasto medios mensuales, m<sup>3</sup>/s, promedio de aforos 1991-2001

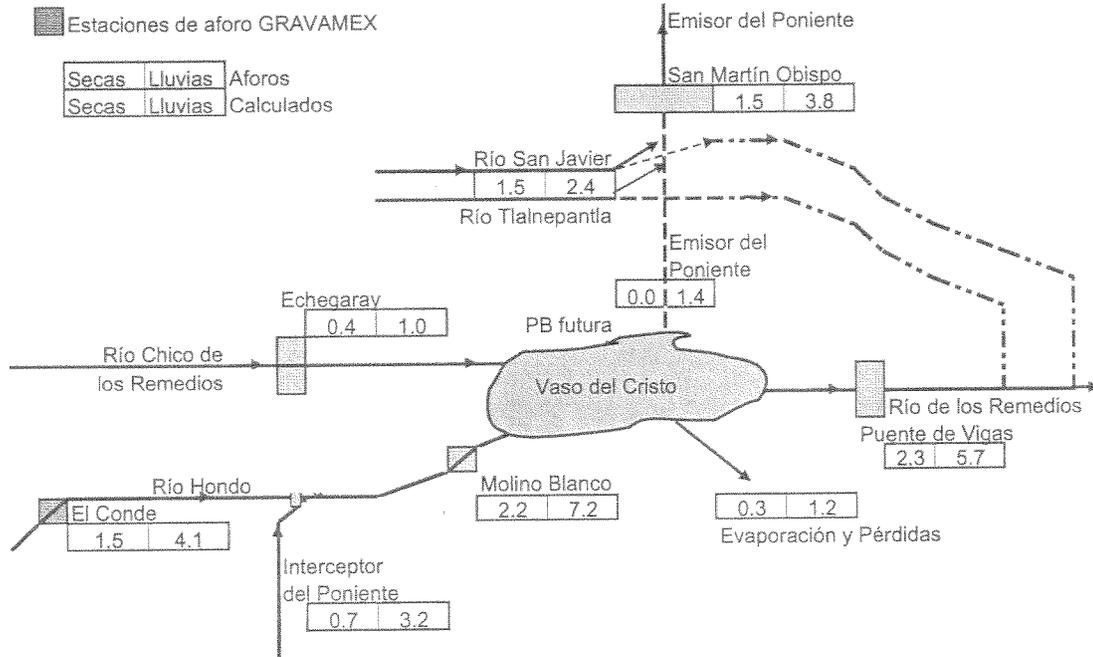


Fig. 1.- Balance de agua antes de la construcción de la PB río Hondo

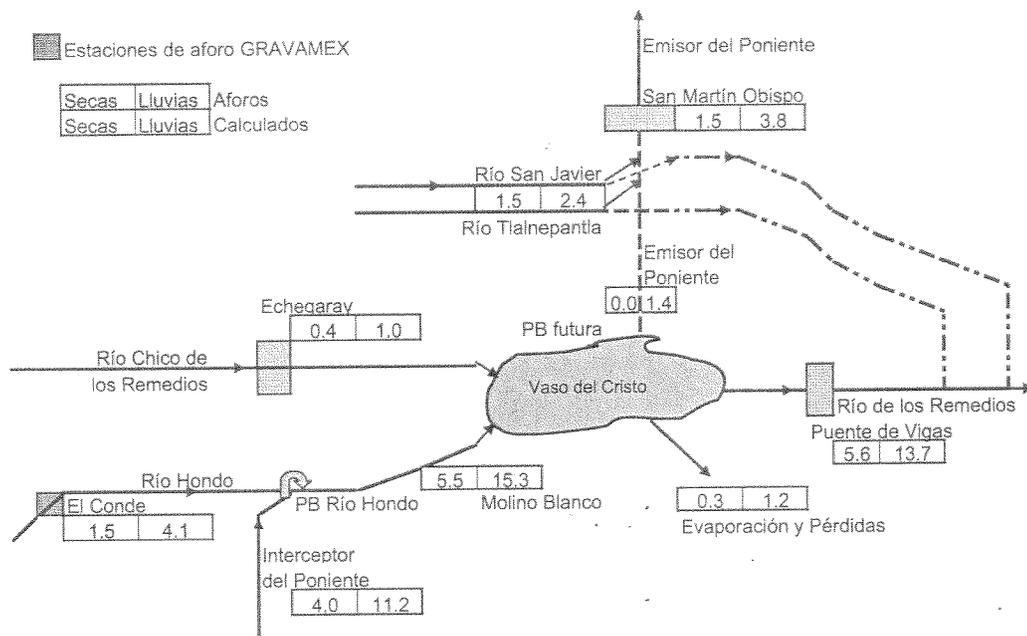


Fig. 2.- Balance de agua después de la construcción de la PB río Hondo



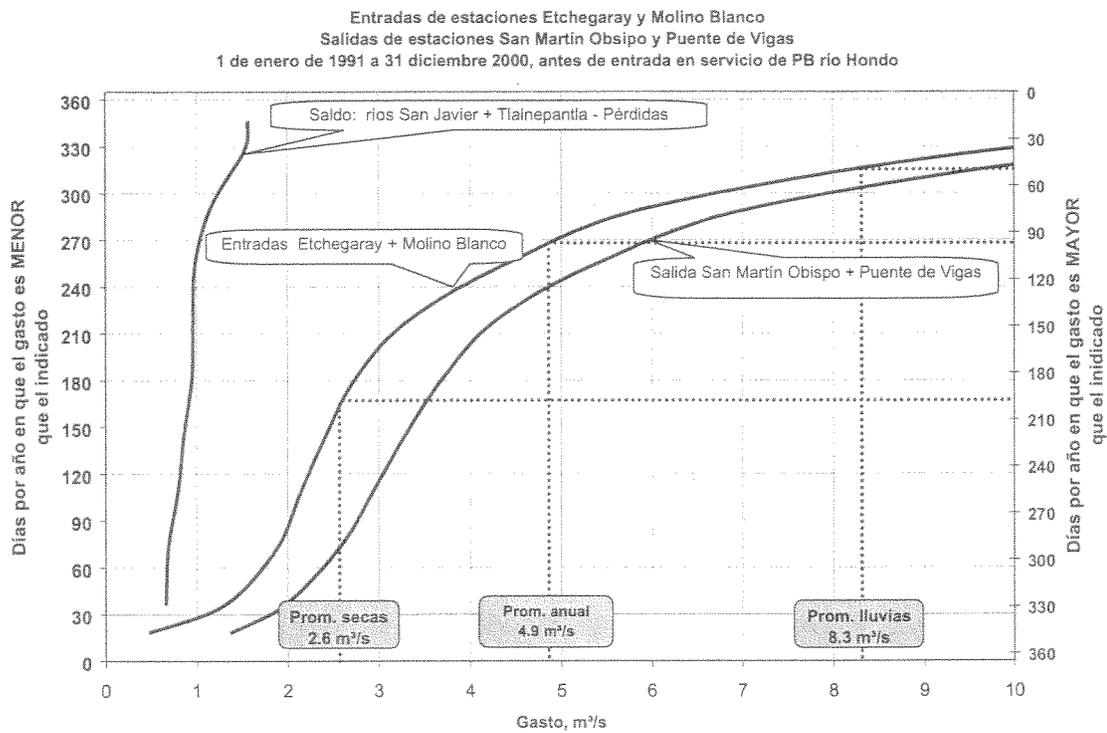


Fig. 4.- Distribución probabilística de gastos en el Vaso El Cristo antes de la PB río Hondo

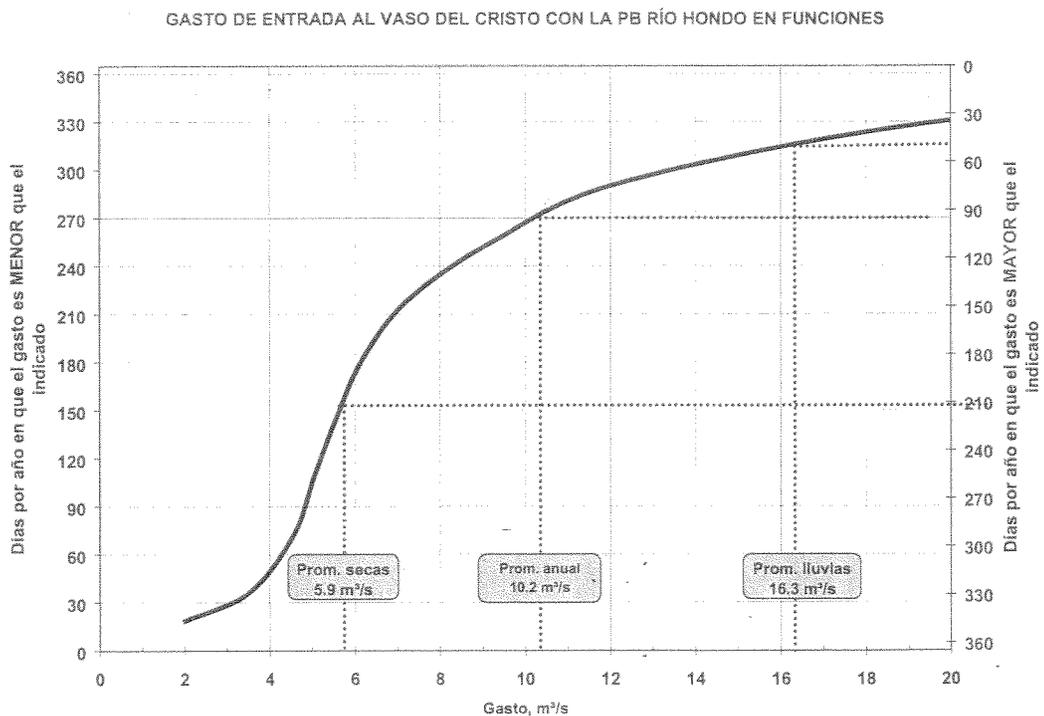


Fig. 5.- Distribución probabilística de gastos en el Vaso El Cristo después de la PB río Hondo

Considerando que el gasto medio de operación de la PB de río Hondo es de un equipo de 4 m<sup>3</sup>/s siempre en servicio, y que los demás equipos se arrancan en función de las condiciones de funcionamiento hidráulico de la red y de la ocurrencia de tormentas, se pueden estimar los siguientes resultados:

Número de días por año en que se excede el gasto indicado	Gasto m <sup>3</sup> /s
328.5	3.52
292.0	4.58
255.5	5.06
219.0	5.59
182.5	6.19
146.0	7.24

De los resultados anteriores se concluye que una PTAR con 6m<sup>3</sup>/s de capacidad nominal, con una posible sobrecarga de 20%, podría manejar los gastos que se presentan en 219 días del año, no necesariamente secuenciales, y los restantes 146 días por año se presentarían excedentes que habría que mandar al sin tratar al río de los Remedios. Existe, por supuesto la posibilidad de construir una PTAR con un gasto menor, y mandar al TEP el agua tratada y al río de los Remedios el agua sin tratar, para lo cual se requerirían conducciones especiales de la PTAR a la nueva PB en el Vaso.

En los análisis técnico-económicos que más adelante se presentan se evalúan las posibilidades de una PTAR en VEC de 0.5 m<sup>3</sup>/s concebida primordialmente para la regeneración ecológica del Vaso con un espejo permanente de agua de buena calidad y para la el reúso de aguas residuales tratadas en algunas demandas puntuales, y la posibilidad de PTARs de 2, 4 o 6 m<sup>3</sup>/s para el saneamiento del cauce del Emisor del Poniente. El límite inferior de 2 m<sup>3</sup>/s lo fijan las demandas de agua para riego aguas abajo del TEP.

## **CALIDAD DE LAS AGUAS Y MANEJO DE CLORO**

Debido a la influencia de los escurrimientos pluviales, la calidad esperada de las aguas que llegan al VEC presenta grandes fluctuaciones, este efecto se aprecia especialmente en las variaciones en la concentración de sólidos suspendidos debido a los arrastres de los escurrimientos pluviales. En el cuadro 1 se muestran las variaciones esperadas en los principales indicadores de calidad de agua:

**Cuadro 1.- Características de diseño de influente de la planta de tratamiento**

Parámetro	Unidad	Promedios		
		Anual	Mes Max.	Día Max.
Temperatura	°C	14 a 20		
pH	UpH	6.5 a 8.5		
Sólidos suspendidos totales	mg/l	300	550	1,500
Sólidos suspendidos volátiles	mg/l	160	250	340
DBO <sub>5</sub> total	mg/l	250	300	400
Nitrógeno total de Kjeldhal	mg/l	45	55	70
Fósforo total	mg/l	8	10	12
Grasas y aceites	mg/l	18	34	50
Sulfuros	mg/l	8	12	20
Coliformes fecales	NMP/100 ml	5.E+07	1.E+08	5.E+08
Huevos de helminto	U/l	6	10	15

Para cumplir con los objetivos de recuperación ecológica del VEC y/o de saneamiento del cauce del EP después del túnel será necesario contar con una planta de tratamiento secundario con remociones de DBO y SST de 85 a 90% y eliminación de patógenos a niveles de menos de 1,000 coliformes fecales por cada 100 ml y de huevos de helminto a menso de 1 hh/l. Para evitar la eutroficación de las aguas que se embalsen en el Vaso sería deseable la remoción de nitrógeno (N) y fósforo (P), hay que tener presente, sin embargo que los procesos para la remoción de N y P incrementan significativamente el costo de las plantas de tratamiento. Loa análisis económicos que se presentan más delante no consideran remoción de N ni de P.

Un problema operativo que plantea la ubicación de la PTAR es el del suministro y manejo de cloro para la desinfección en una zona tan densamente poblada como es el entorno del Vaso. En el cuadro 2 se muestran las necesidades de suministro de emplearse cloro gas para la desinfección, para distintos tamaños de planta:

**Cuadro 2.- Demanda y suministro de cloro para planta de tratamiento**

Dosis = 10 mg/l

Medio de Suministro	Capacidad ton	Frecuencia de suministro entregas por año				
		Gasto medio de diseño, m3/s				
		0.5	1	2	4	6
Camiones	15	11	21	42	84	126
	20	8	16	32	63	95

**Cuadro 2.- Demanda y suministro de cloro para planta de tratamiento**

Dosis = 10 mg/l

Medio de Suministro	Capacidad ton	Frecuencia de suministro entregas por año				
		Gasto medio de diseño, m <sup>3</sup> /s				
		0.5	1	2	4	6
Carros tanque	60	3	5	11	21	32
de ferrocarril	90	2	4	7	14	21

Como puede observarse en el cuadro anterior, para una PTAR de 0.5 m<sup>3</sup>/s se requerirá del orden de un camión por mes, pero para una PTAR de 6 m<sup>3</sup>/s se requieren cerca de 10 camiones por mes, lo que representa un riesgo considerable en caso de accidente para la población circunvecina.

**MANEJO DE LODOS**

Desde el punto de vista operativo el manejo de lodos plantea uno de los problemas más difíciles y costosos de resolver en una planta inserta en una zona urbana, como es el caso de la PTAR en el Vaso. Los lodos que se producen en una PTAR producen olores que afectan a la población de las zonas vecinas, para controlar los olores se requiere de instalaciones especiales que incrementan el costo de la planta, tales como cubiertas para las instalaciones donde se manejan los lodos y torres de absorción de gases. Las opciones que se plantean para resolver el problema de manejo y disposición final de los lodos son:

1. Bombeo de los lodos líquidos a un sitio adecuado, de acuerdo a la legislación ambiental vigente, para la disposición de los lodos. Esta solución requiere de una planta de bombeo y tuberías paralelas para su operación en forma secuencial. A la fecha no se han identificado sitios adecuados para la disposición de los lodos en un radio de 10 km, dado lo extenso de la zona urbana en la vecindad del Vaso. En el análisis económico se incluye el costo estimado de una planta de bombeo de lodos y 20 km de tuberías para la conducción de los lodos.
2. La segunda opción es la de deshidratar los lodos en el sitio de la planta y su transporte por camiones "transfer" a otro sitio para su disposición final. Para aminorar, que no evitar, el problema de olores, será necesaria la alcalinización de los lodos con cal u otro agente alcalino, en el sitio de la planta, lo que incrementa el volumen de lodos a manejar. En el cuadro 3 se muestra la estimación de los volúmenes de lodos tratados con cal que se generarían en una PTAR para distintos gastos de diseño:

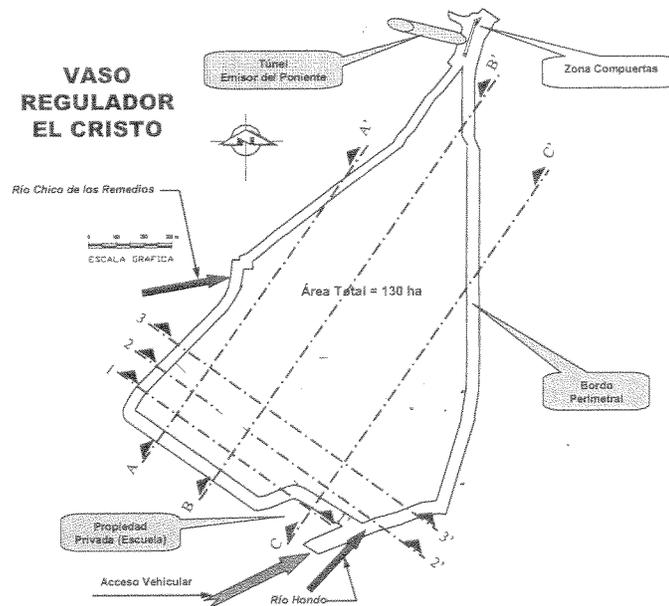
**Cuadro 3.- Generación y desalajo de lodos de planta de tratamiento**

Generación de lodos tratados con cal = 227 (ton/día) / (m<sup>3</sup>/s)

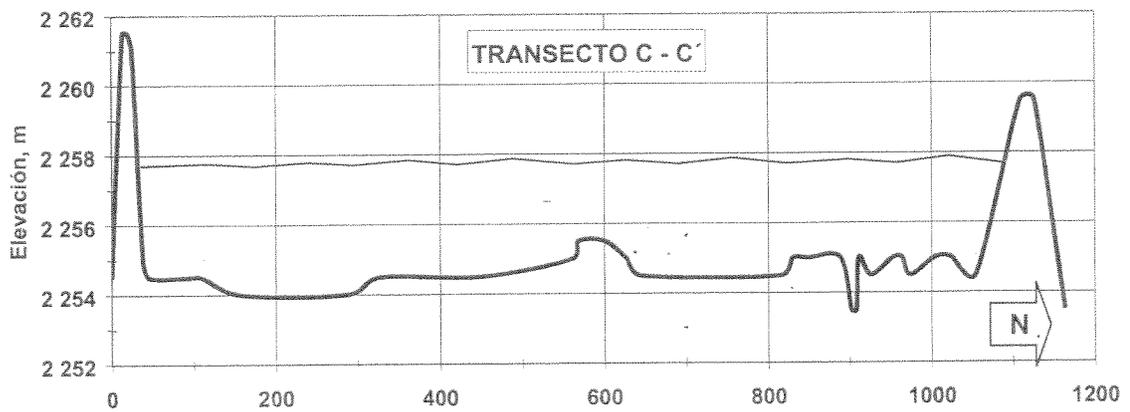
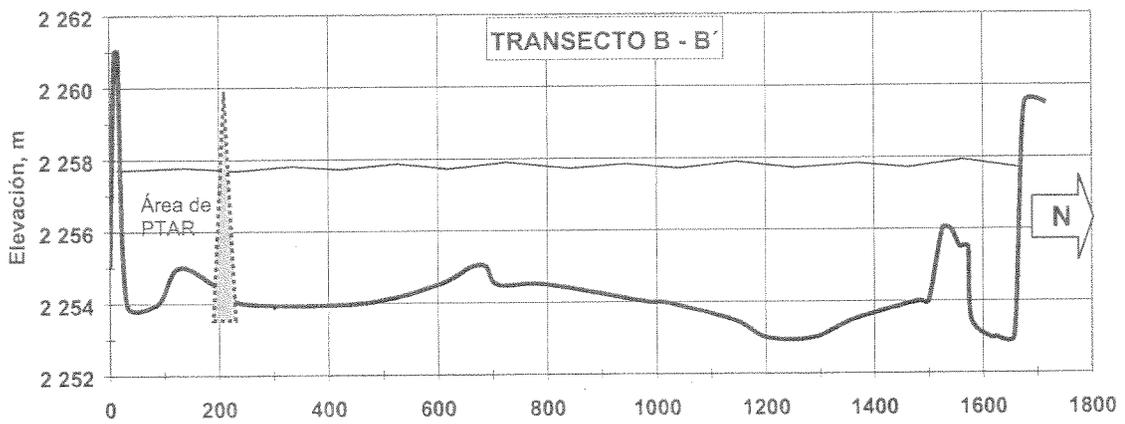
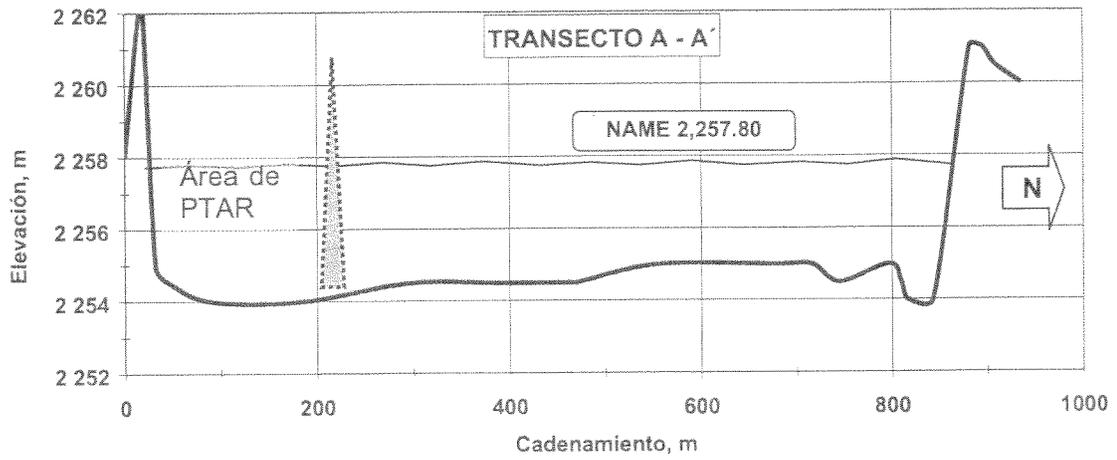
Medio de Evacuación	Capacidad ton	Frecuencia de Evacuación Camiones por día				
		Gasto medio de diseño, m <sup>3</sup> /s				
		0.5	1	2	4	6
Camiones Transfer	20	5.7	11	23	45	68
	30	3.8	8	15	30	45

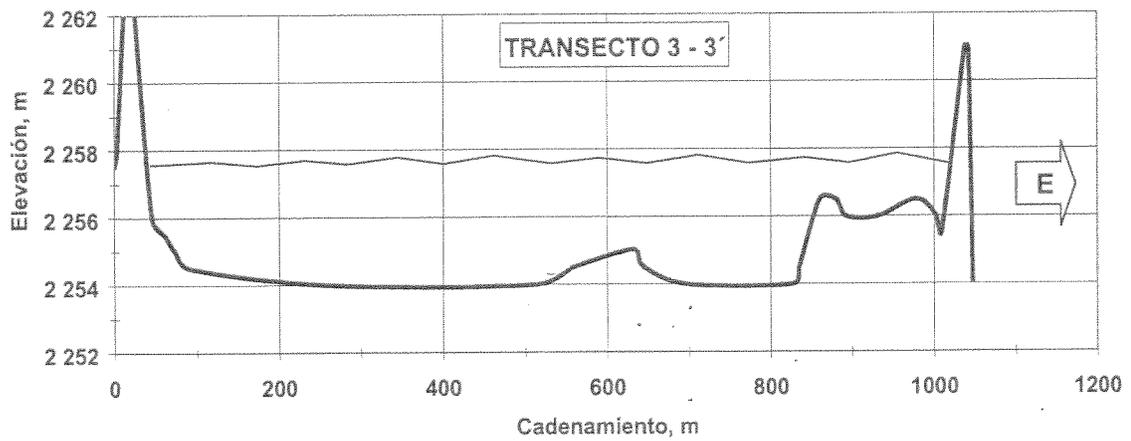
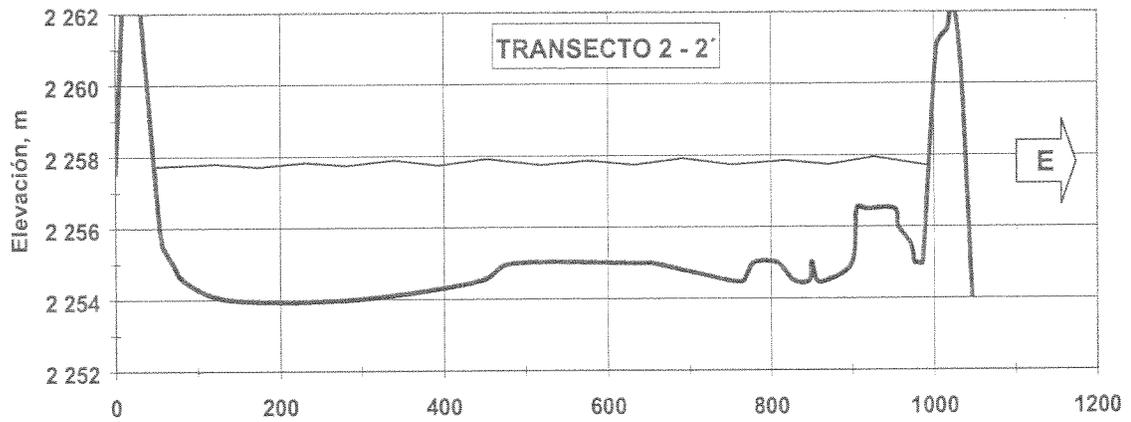
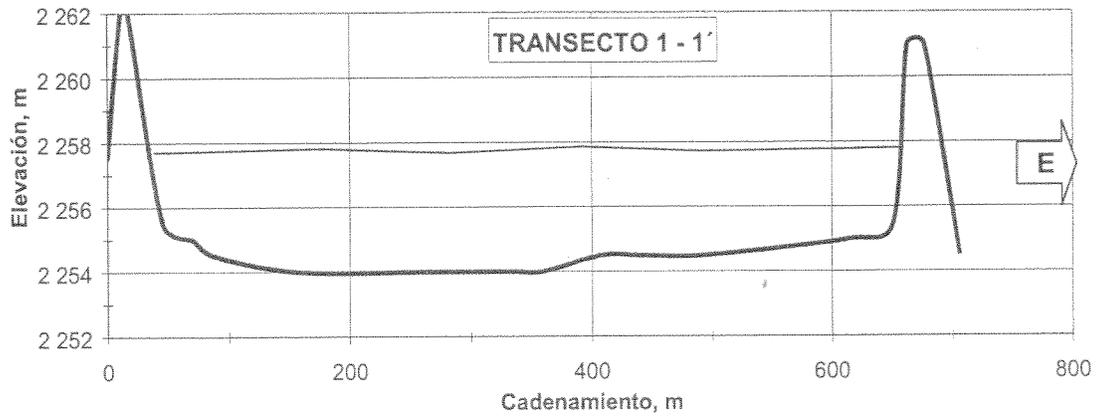
3. La tercer opción es bombear y descargar los lodos líquidos en el TEO o en el Túnel Emisor Central (TEC), de los dos el más cercano es el TEC.

La topografía del VEC sufre cambios constantes; por una parte los azolves que año con año transportan los escurrimientos pluviales al Vaso y por otro lado las labores de desazolve que en forma casi permanente realiza el OCAVM. Con estas salvedades, y aprovechando los levantamiento topográficos que se levantaron hace algunos años, se hizo un ejercicio de volúmenes y costos de reconformación del fondo del Vaso para compensar los volúmenes que ocuparía una planta en el Vaso para distintos gastos de diseño. En figura 5 se muestra el trazo de los transectos para los que se levantaron los perfiles del fondo del Vaso y en las figuras 6a a los perfiles que sirvieron de base para el cálculo de los volúmenes y costos de las obras de compensación de volúmenes:



**Fig. 6.- Planta y trazo de transectos en el Vaso El Cristo**





Figs. 6a a 6f.- Perfil de transectos del Vaso El Cristo

Los requerimientos de área para las plantas dependen en buena parte de la tecnología empleada, en términos generales se puede afirmar que mientras más compactas sean las instalaciones, más alto es el costo de la tecnología, pudiendo llegarse inclusive a emplear varios niveles en los sedimentadotes primarios, medios de empaque en los reactores para incrementar la biomasa y reducir en forma proporcional el volumen de los reactores y el empleo de membranas en los reactores biológicos en sustitución de los sedimentadotes secundarios, éstas, entre otras medidas, pueden reducir sustancialmente el área requerida por la PTAR. Para una tecnología convencional, y sólo como referencia, se pueden usar los siguientes indicadores de requerimientos de área en función de la capacidad de la PTAR:

Gasto m <sup>3</sup> /s	Área, ha	
	Área de PTAR en VEC	Disposición final de lodos fuera de la planta para 5 años de operación
0.5	2	10
2.0	8	40
4.0	12	80
6.0	18	119

En el análisis de costos que más adelante se presenta se calcularon los costos de recuperación de volúmenes de almacenamiento en el Vaso para las áreas de la planta según estos indicadores. Cabe aclarar que no se considera ningún área adicional para almacenamiento temporal de lodos bajo el supuesto de que los lodos se manejarán por bombeo a los sitios de disposición final.

### **COLECTORES MARGINALES AL EMISOR DEL PONIENTE**

Para cumplir con el objetivo de sanear el Emisor del poniente será necesaria la construcción de colectores marginales al Emisor en su tramo entre Lechería (San Martín Obispo) y Berriozábal, sitio donde se ubicará la siguiente PTAR, para interceptar las descargas actuales de aguas residuales de los municipios de Cuautitlán Izcalli, Cuautitlán y Tultitlán. La longitud de estos colectores es de 16.5 km en la margen izquierda y 7.5 km en la margen derecha. Las características de estos colectores y sus costos se muestran en dos cuadros anexos a este informe. El sitio de descarga de los nuevos colectores sería la PTAR Berriozábal que se tiene programada en la confluencia del Canal Chiquito, el río Cuautitlán y el Emisor del Poniente. La capacidad de tratamiento de la PTAR Berriozábal deberá ser ajustada a la alta para poder recibir los nuevos caudales de aguas residuales. El criterio de diseño de los colectores marginales al Emisor del Poniente será similar al criterio de diseño de los colectores marginales al río Cuautitlán y a los ya construidos en las márgenes del río Hondo, Viz: capacidad hidráulica para manejar los gastos máximos horarios de aguas

sanitarias más las aportaciones medias de lluvia en época de secas, y contando con vertedores de demasías para que los gastos en exceso de los gastos de diseño se descarguen directamente al cauce superficial. La aplicación del criterio antes mencionado resulta en un gasto de diseño que viene dado por la siguiente ecuación:

$$\text{Gasto de diseño} = \text{aportación media de aguas sanitarias} * \text{coeficiente de Harmon} \\ * \text{factor de aportación extraordinaria de aguas pluviales}$$

Siguiendo los criterios de diseño de CNA el gasto de diseño es:

$$\text{Gasto de diseño} = \text{aportación media de aguas sanitarias} * 1.8 * 1.5 \\ = 2.7 * \text{aportación media de aguas sanitarias}$$

En una sección posterior de este informe se presenta un pre-diseño y antepresupuesto de los colectores aplicando éste criterio.

## ANÁLISIS ECONÓMICO

### SANEAMIENTO DE CAUCES

El análisis económico del proyecto de saneamiento se realizó para una PTAR de 6 m<sup>3</sup>/s y sus obras complementarias. En un Anexo de este informe se presentan los cuadros con los principales números generadores del resumen de costos que se muestran en el Cuadro 4.

**Cuadro 4.- Inversiones en un proyecto de saneamiento**  
Sin IVA

Concepto	Inversión M\$
Bombeo de influente 6 m <sup>3</sup> /s , 5 m	17
Línea de conducción de influente 0.95 km	15
PTAR 6 m <sup>3</sup> /s	1,488
Bombeo de efluente 6 m <sup>3</sup> /s , 9 m	31
Línea de conducción de efluente 1.85 km	28
Bombeo de lodos 55 l/s	8
Línea de conducción de lodos 20 km	71
Dragado del Vaso y construcción de bordo	103
Acondicionamiento de vialidades	74
Obras de desvío de ríos San Javier y Tlalnepantla	10

**Cuadro 4.- Inversiones en un proyecto de saneamiento**

Sin IVA

Colectores marginales al Emisor del Poniente		93
Inversión en infraestructura		1,939
Adquisición de terrenos para disposición de lodos	85 ha	94

Adicional a las inversiones anteriores habría que considerar gastos indirectos al proyecto como los que a continuación se señalan:

Supervisión de la construcción	5%
Proyectos de Ingeniería	3%
Manifestación de impacto ambiental	2%
Consultoría	2%
Administración del proyecto	3%
Suma	15%

Los costos de operación y mantenimiento del proyecto se muestran en detalle en el anexo y suman \$240 millones por año.

#### **PTAR PARA REÚSO**

El proyecto de reúso se analizó para un gasto de diseño de la PTAR de 0.5 m<sup>3</sup>/s, si bien este gasto debe ser definido por un estudio de mercado que cuantifique las demandas en un área de servicio económicamente viable, en función de la ubicación de la planta y las posibilidades y costos de una red de distribución del agua tratada. Una porción, variable, del efluente puede ser utilizada para la formación permanente de un espejo de agua de buena calidad en el Vaso. Cabe mencionar que la regeneración ecológica del Vaso requiere más que el cambio de calidad del agua que transita por el Vaso; la experiencia en otros países es que los trabajos de regeneración van generalmente acompañados de la limpieza y reconfiguración de los bordos, reforestación, delimitación de áreas de acceso al público, etc. En el análisis económico que aquí se presenta sólo se incluyen las obras directamente asociadas al tratamiento de las aguas, y sin incluir la planta de bombeo y red de distribución del agua tratada. Las inversiones principales del proyecto son las siguientes:

**Cuadro 5.- Inversiones en un proyecto de reúso**

Sin IVA

Concepto		Inversión M\$
Bombeo de influente	0.5 m <sup>3</sup> /s , 5 m	1.4
Línea de conducción de influente	0.95 km	2.8

**Cuadro 5.- Inversiones en un proyecto de reúso  
Sin IVA**

PTAR	0.5 m <sup>3</sup> /s	124.0
Bombeo de efluente	0.5 m <sup>3</sup> /s , 9 m	1.4
Línea de conducción de efluente	1.00 km	3.0
Bombeo de lodos	5 l/s	1.7
Línea de conducción de lodos	20 km	54.7
Dragado del Vaso y construcción de bordo		13.9
Acondicionamiento de vialidades		6.2
Inversión en infraestructura		209.2
Adquisición de terrenos para disposición de lodos	10 ha	11.0

Los costos de operación del sistema, detallados en el Anexo, ascienden a \$20 millones por año. Los comentarios respecto a los gasto indirectos del proyecto mencionados en el inciso anterior son igualmente aplicables al proyecto de reúso.

## ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

En el Vaso El Cristo convergen importantes flujos de agua residual provenientes del río Hondo, el Río Chico de los Remedios y el Interceptor del Poniente. Con la reciente construcción de la planta de bombeo de Río Hondo, los gastos que recibe el Vaso provenientes del Interceptor Poniente se han incrementado sustancialmente; los gastos que recibe actualmente el Vaso se estiman en:

Promedio en época de secas = 5.9 m<sup>3</sup>/s

Promedio en época de lluvias = 16.3 m<sup>3</sup>/s

Promedio anual = 10.2 m<sup>3</sup>/s

El caudal que llega al Vaso representa aproximadamente el 15% del gasto total de aguas residuales que se genera en el Valle de México. Como referencia, este caudal es tres veces más grande que el que maneja la mayor planta de tratamiento existente en el Valle de México, la Planta del Cerro de la Estrella, y comparable en magnitud al total de aguas residuales que reciben las dos mayores plantas de la ciudad de Monterrey. La construcción y operación de una planta de esta magnitud en medio de una zona urbana plantea una serie de problemas técnicos y ambientales que requieren de acciones particulares al entorno específico en que se ubica la planta.

Aguas abajo del Vaso, el destino de las aguas es el Río de los Remedios, al cual se descarga por gravedad, o el TEP que, por su nivel de cota de plantilla, sólo puede ser alimentado por gravedad cuando el agua se embalsa en el Vaso, en caso contrario será necesario bombear el agua. La Coordinación Técnica del PSVM tiene en programa la construcción de una planta de bombeo en el Vaso. Las aguas que se descargan al río de los Remedios se mezclan aguas abajo con las aguas residuales que conduce el sistema de drenaje semi-profundo del Valle de México y son eventualmente evacuadas del Valle a través del Emisor Central o del Gran Canal, en cuyos trayectos, o puntos de descarga, se ubicarán otras plantas de tratamiento.

La construcción de una planta en el Vaso conlleva, por las razones antes citadas, a que el efluente tratado deba ser encauzado hacia el TEP y de ahí al EP y al Río el Salto. Como el Vaso el Cristo es un vaso que sirve para regular las avenidas de los ríos Hondo y Chico de los Remedios, su función obliga a conservar el Vaso vacío tanto tiempo como sea posible para poder cumplir con su función de regular los picos de tormenta cuando éstos se

presenten. Por éste motivo el efluente de la planta debe ser bombeado directamente al TEP y evitar su embalse en el Vaso. Con éstas condiciones de funcionamiento de la planta se conforma un esquema de operación en el que, del gasto variable que llega a el Vaso, se derive un gasto constante a la planta de tratamiento; el efluente tratado se bombea al TEP y los caudales que no reciban tratamiento se seguirán descargando al río de los Remedios. Una excepción, cuya frecuencia y ocurrencia depende del régimen particular de tormentas que se presente cada año, ocurrirá cuando, por su magnitud, los picos de gastos que lleguen al Vaso excedan la capacidad de las estructuras de desfogue aguas abajo del río de los Remedios y sea necesaria su regulación en el Vaso hasta un nivel por encima del nivel de la plantilla del TEP; cuando esto ocurra una parte de los gastos sin tratar descargaría por gravedad al TEP y se mezclaría con el agua tratada producida por la planta. Una situación similar se presentará en todas las otras plantas del Valle de México pues el hecho de contar con una red combinada de drenaje, y de no contar con los recursos necesarios para dar tratamiento a la totalidad de los gasto manejados por la red de drenaje, hacen inevitable que se presenten ocasiones en que las aguas tratadas de las plantas se mezclen con los escurrimientos sin tratar de aguas residuales mezcladas con aguas provenientes de los escurrimientos pluviales. En el siguiente gráfico se muestra el esquema de manejo de aguas en el Vaso con una PTAR para el saneamiento de los cauces del Valle de Cuautitlán:

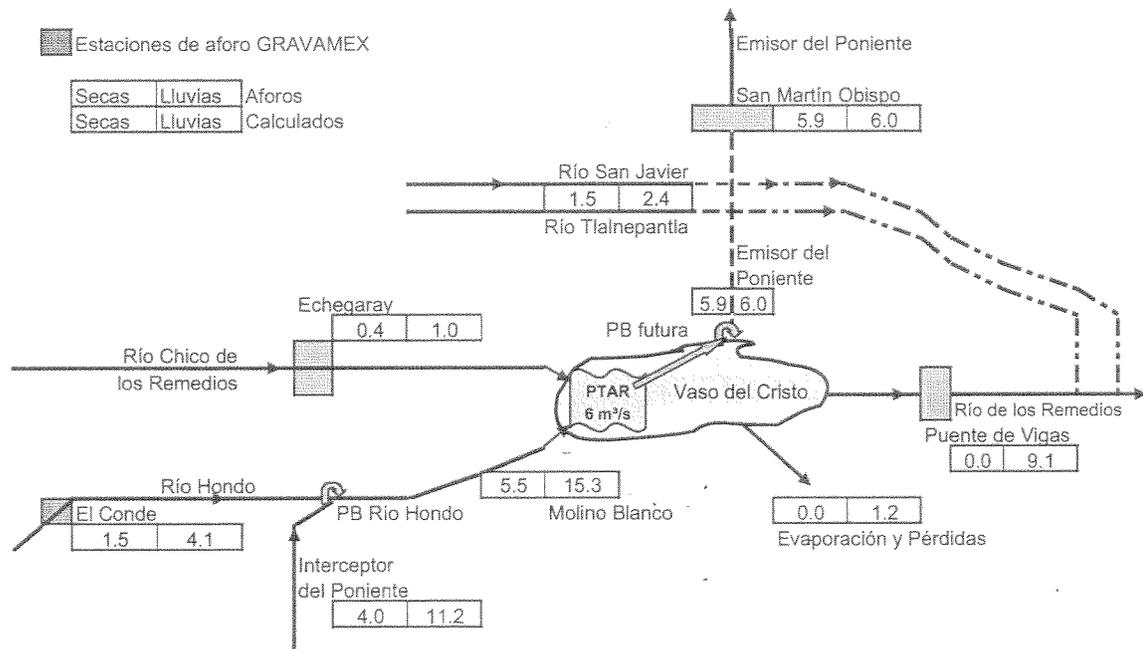


Fig. 7.- Balance de agua con una planta de tratamiento de 6 m³/s

El planteamiento anterior conforma un esquema de manejo de agua en el que el TEP manejará aguas tratadas y, para no desvirtuar los objetivos del tratamiento, será necesario evitar que aguas abajo descargas de aguas sin tratar contaminen las aguas tratadas. Para lograr este objetivo se necesita emprender las obras de acciones que a continuación se describen:

1. Actualmente los Ríos San Javier y Tlalnepantla descargan al TEP, vía lumbreras, una parte de las aguas residuales que conducen; para evitar la contaminación de las aguas del TEP será necesario desviar estos caudales al río de los Remedios. Los colectores para estos desvíos ya existen, por lo que todo lo que es necesario es ajustar el protocolo de operación y revisar la capacidad de las estructuras de desvío. Como antes se mencionaba no se excluye la posibilidad de que sean necesario descargar al TEP aguas de los Ríos San Javier y Tlalnepantla cuando por la magnitud de los picos de tormenta se vea comprometida la capacidad del río de los Remedios o de sus estructuras de desfogue.
2. Después del TEP las aguas tratadas de la planta escurrirán por el cauce a cielo abierto llamado, sucesivamente: Emisor del Poniente, río Cuautitlán y río el Salto. En el trayecto de éste cauce existen actualmente numerosas descargas de aguas residuales que deben ser interceptadas y tratadas antes de su descarga, en particular en el trayecto comprendido en los municipios de Cuautitlán-Izcalli, Cuautitlán-México y Tultitlán. En el extremo norte del límite del municipio de Cuautitlán Izcalli se encuentra la confluencia del Emisor del Poniente con el río Cuautitlán, y en sus inmediaciones se ubicará la Planta Berriozábal. Los colectores interceptores que se construyan aguas arriba de este nodo tienen como punto lógico de descarga la PTAR Berriozábal, lo que obliga a replantear su gasto de diseño. El gasto actual de diseño de la Planta Berriozábal es de 2 m<sup>3</sup>/s y fue fijado en función de la magnitud de las demandas de agua para riego agrícola y no en función de la magnitud de los gastos escurridos por sus cauces tributarios. Es importante subrayar que, porqué la Planta del Vaso El Cristo cumple el cometido de sanear el cauce superficial posterior al TEP, es necesario que la Planta Berriozábal se construya al mismo tiempo, o no mucho tiempo después que la planta Vaso. Otra consideración importante es que, para que cumpla con su cometido de sanear los cauces de Emisor del Poniente y los ríos aguas abajo, es necesario que la PTAR Vaso El Cristo se diseñe con una calidad de efluente 20/20 mg/l de DBO total y sólidos suspendidos totales.

La importancia y la magnitud de las obras de saneamiento de los cauces superficiales del emisor del poniente hasta el río de el Salto pueden ser enmarcados dentro de un ambicioso programa regional de regeneración ambiental de las cuencas del río Cuautitlán, el Emisor del Poniente y el río El Salto y en consonancia con las otras importantes obras de infraestructura urbana que ha emprendido en esta región el gobierno de Estado de México, como son la Vía Mexiquense y el ferrocarril rápido Huehuetoca-Buenavista. Obras comparables de regeneración ambiental han sido exitosamente realizadas en otras ciudades como es el caso del río Manzanares en la ciudad de Madrid. Cabe mencionar que para que el proyecto tenga éxito deberá ser acompañado de otras obras de regeneración urbana como son la reconfiguración de los bordos de los cauces, reforestación, vialidades, andadores, alumbrado público, delimitación de áreas públicas, etc.

La construcción de una PTAR en el Vaso El Cristo para saneamiento de los cauces del Valle de Cuautitlán plantea algunos problemas técnicos cuya solución representa un costo adicional al programa de saneamiento, entre los principales se mencionan los siguientes.

1. El volumen que ocupe la PTAR deberá ser compensado con un dragado del Vaso, deberá demolerse una sección del bordo actual y construirse un nuevo Bordo,
2. Otras obras complementarias, ya citadas, son las obras de desvío de los ríos San Javier y Tlalnepantla, los colectores marginales al Emisor del Poniente y el re-dimensionamiento de la PTAR Berriozábal.
3. Una PTAR provoca problemas de malos olores, que no son significativos si la planta se encuentra fuera de zonas habitadas, pero en medio de una zona tan poblada como es la zona de Vaso, sería necesario dotar a la PTAR de obras para control de olores, como puede ser la cubierta de algunas de las unidades de tratamiento y la construcción de torres para el control de olores de los gases que se produzcan en la planta.
4. El Vaso se ubica en medio de una de las zonas más densamente pobladas del VdeM y la operación de la PTAR implica el empleo de grandes dosis de cloro, que es un producto riesgoso de manejar. Para su manejo adecuado sería necesaria la habilitación y construcción de nuevas vías de acceso y maniobras para los camiones de suministro de cloro. La construcción de éstas afectaría las zonas urbanas adyacentes al Vaso, con sus consecuentes costos y sociales y el riesgo de rechazo de la comunidad a la obra. En el siguiente gráfico se muestra una fotografía aérea que ilustra la densidad de población en

las áreas aledañas al Vaso y se muestra la ubicación de la PTAR y las obras de llegada y salida del agua..

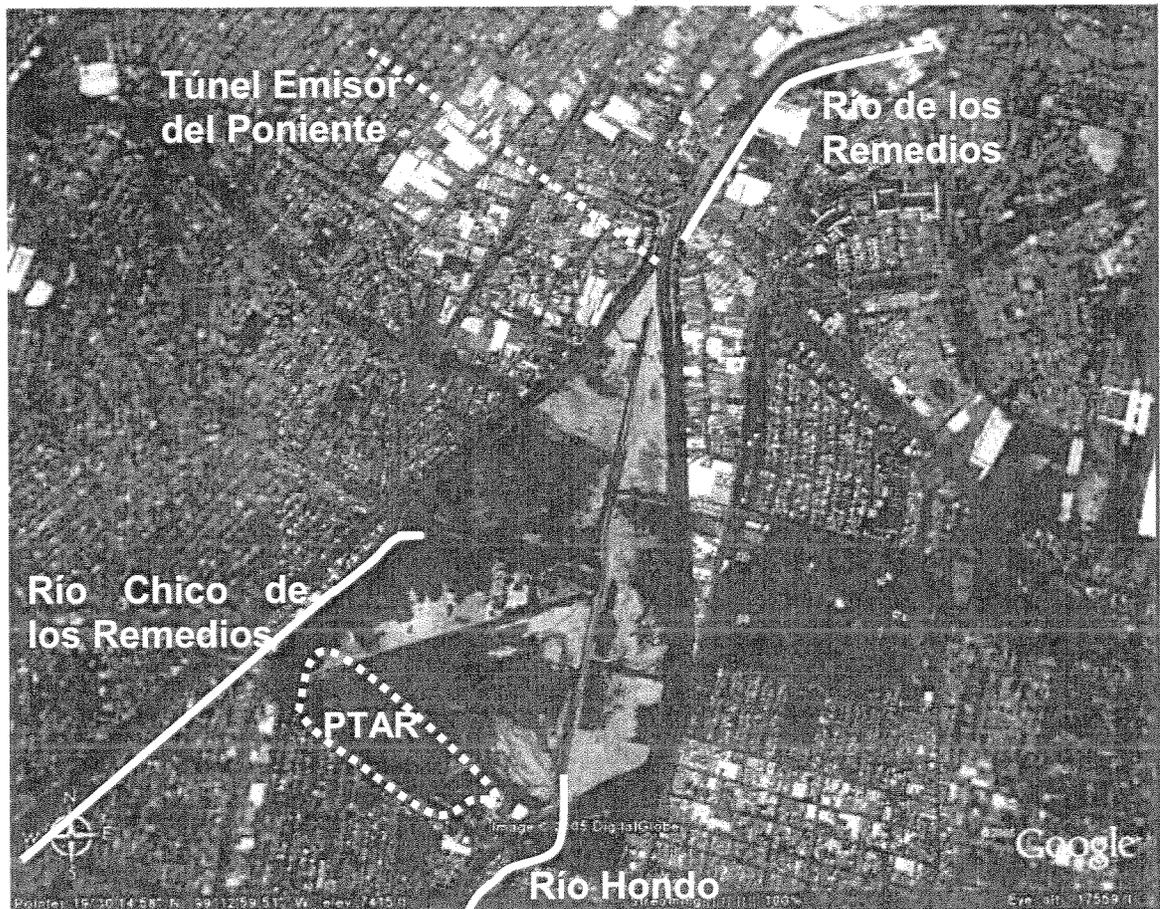


Fig. 8.- Vista del Vaso y ubicación de planta de tratamiento

5. La producción de lodos de una planta de  $6 \text{ m}^3/\text{s}$  se estima en  $1,362 \text{ t/día}$ , peso seco de lodos deshidratados al 20% de concentración. Lo anterior implica un tránsito de más de 68 camiones "transfer" por día de 20 ton cada uno. lo que representa un incremento en tránsito vehicular en la zona que difícilmente puede ser asimilado por las vialidades existentes in causar graves problemas viales y, nuevamente, el rechazo potencial por parte de lo vecinos. Por estos motivos la disposición de los lodos de la planta debería ser hecha en forma líquida por medio de bombes y tuberías gemelas de conducción hasta un sitio apropiado y con la capacidad suficiente para la disposición final de los lodos. Por la densa urbanización de la zona, no es posible pensar en un sitio para disposición de lodos en un sitio cercano. Antes de pronunciarse sobre la viabilidad y costos de esta

opción será necesario hacer un estudio técnico, económico y social de la factibilidad de la solución aquí enunciada.

Existe, por supuesto la posibilidad de construir una PTAR de dimensiones más reducidas, con el fin de conservar un caudal mínimo de aguas de buena calidad que transiten por el Emisor del Poniente y sus cauces sucesivos, aminorando de esta manera los problemas técnicos arriba mencionados y reduciendo los costos del proyecto, pero la decisión a este respecto sólo puede conocerse cuando se cuente con un estudio de factibilidad técnico, económico, social y, sobre todo financiero para poder definir las dimensiones del proyecto.

Existe otra opción, y es la de construir una planta de menor tamaño que sirva para satisfacer demandas de agua para usos industriales, comerciales y/o municipales que puedan ser satisfechas con agua residual tratada, así como para la producción de un caudal adicional de agua de calidad adecuada para mantener un espejo de agua en el Vaso que contribuya a mejorar la ecología del vaso y su entorno ambiental. El tamaño de esta planta vendrá dado por la magnitud de las demandas y, para fines de planeación, se puede estimar un gasto de 0.5 m<sup>3</sup>/s.

La capacidad de diseño de la PTAR para reúso y creación de un espejo de agua en el Vaso viene determinada por los gastos de agua que se requieren para la reposición de pérdidas por evaporación e infiltración en el Vaso y por las demandas de agua que puedan ser satisfechas por el efluente tratado de la planta. Las pérdidas por evaporación e infiltración se han estimado a partir de los datos de aforo de entradas y salidas del Vaso en 300 l/s, pero una vez conformado un espejo de agua de mayor extensión, las pérdidas serán seguramente mayores. Las demandas de agua que puedan ser satisfechas por el efluente tratado de la planta deberán ser determinadas en un estudio de demandas de agua industriales y municipales que puedan aprovechar las aguas tratadas; asociados a la definición de estos caudales está el costo de la red de distribución de agua tratada: los costos de la red limitan la extensión del área en donde se ubiquen los posibles usuarios del agua tratada. Otro factor que debe ser tomado en cuenta son los niveles de calidad de agua requeridos por los diferentes usuarios y al respecto hay dos opciones de criterios de diseño de la planta:

1. Entregar un agua con calidad equivalente a un efluente secundario convencional desinfectado, con 20/20 de DBO y sólidos suspendidos totales y que cada usuario agregue los tratamientos adicionales que considere necesarios tales como: remoción de N y P, filtración, adsorción en carbón activado, remoción de sales, etc., y

2. Diseñar una planta con calidad de efluente terciario. Cabe mencionar que las experiencias en la ciudad de México, y en otras ciudades de la república indican que ambas opciones han sido empleadas, dependiendo la decisión en función del tipo de usuarios para los que se construyen las plantas. En ausencia de información específica para el caso de una PTAR en Vaso, en este informe se han estimado los costos para una PTAR de nivel secundario y, en lo que a gasto de diseño se refiere, se ha empleado un gasto de 500 l/s que, en base a la experiencia de otras plantas en la zona (como la PTAR de Lechería o la de Tlalnepantla), parece un gasto adecuado a las necesidades de la zona..

En el caso de la PTAR para reúso se tomarían el caudal requerido del río Hondo y pasaría a la PTAR; una parte del agua tratada pasaría directamente a la red de distribución de agua tratada y el resto se descargaría al VEC. En el siguiente croquis se muestra el funcionamiento hidráulico del Vaso con una PTAR para reúso de 500 l/s.

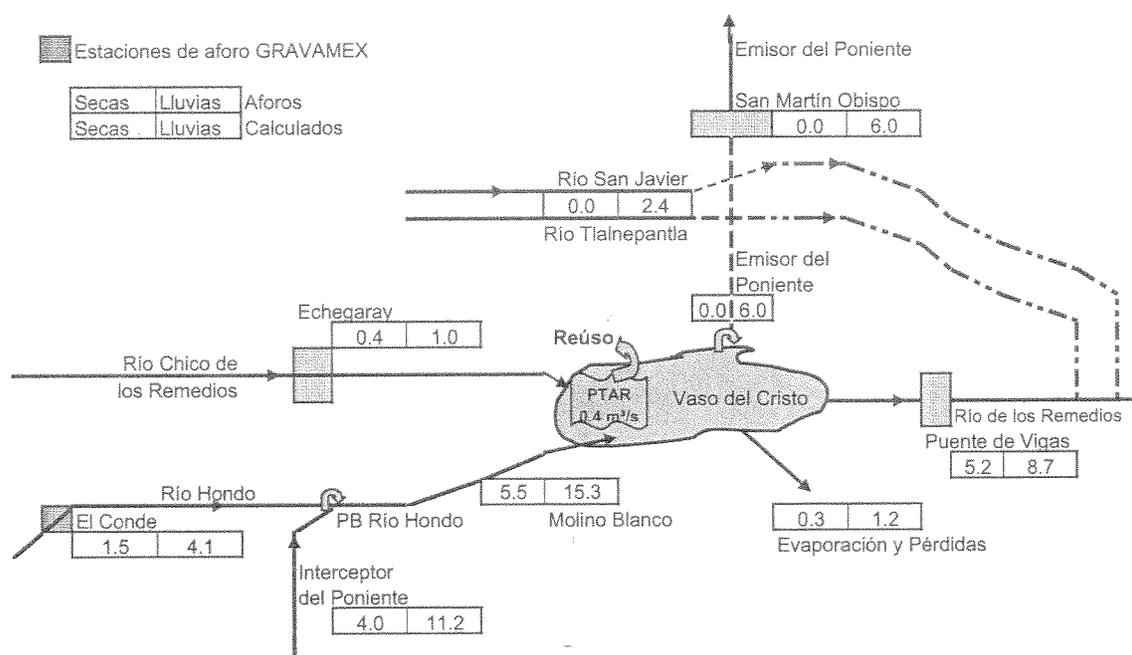


Fig. 9.- Balance de agua con una planta de tratamiento de reúso local de 0.5 m³/s

## CONCLUSIONES

De acuerdo con el análisis y evaluación de alternativas, y tomando en consideración las condiciones en que se encuentra el Programa Regional de saneamiento del Valle de México, se plantea como el escenario más probable para el saneamiento del Vaso El Cristo y los cauces superficiales de drenaje del VdeM, aguas abajo del Túnel Emisor del Poniente la construcción por etapas de las obras de saneamiento y reúso:

1ª Etapa: construcción de una PTAR de 0.5 m<sup>3</sup>/s para reúso municipal (riego de campos deportivos y zonas verdes, obras de construcción y pavimentación de calles, etc.) y una red para venta de agua tratada a los principales y más cercanos usuarios comerciales (campos de golf, en particular) e industriales. Los excedentes se aprovecharían en la formación de un espejo de agua de buena calidad en el Vaso.

2ª Etapa: ampliación de la capacidad de la PTAR a 2.5 m<sup>3</sup>/s, el incremento en capacidad estaría destinado a sanear los cauces aguas abajo del Túnel Emisor del Poniente. Simultáneo con la ampliación de la capacidad de la PTAR deberán ser construidas las siguientes obras:

- los colectores marginales al Emisor del Poniente,
- las obras de control en las lumbreras de conexión de los ríos Tlalnepantla y San Javier con el Túnel Emisor del Poniente,
- la PTAR Berriozábal, con un gasto de diseño definido por los gastos aportados por los cauces y drenes tributarios, incluyendo los colectores marginales del Emisor del Poniente, y no por la magnitud de las demandas de agua para riego,
- obras de regeneración ambiental en las riberas del Emisor del Poniente y el río Cuautitlán

3ª Etapa: ampliación de la capacidad de la PTAR a 4 m<sup>3</sup>/s con el mismo esquema de manejo de agua.

## ANEXOS

No	Título	Pag.
1	Antepresupuesto para dragado del Vaso	29
2	Antepresupuesto para dragado del Vaso (continuación)	30
3	Antepresupuesto de colector margen derecha del Emisor del Poniente	31
4	Antepresupuesto de colector margen izquierda del Emisor del Poniente	32
5	Antepresupuesto de líneas de conducción de influente y efluente	33
6	Antepresupuesto de plantas de bombeo de influente y efluente	34
7	Costos de bombeo de lodos	35
8	Estimación de costos de proyecto de saneamiento	36
9	Estimación de costos de proyecto de reúso	37
10	Balance de sólidos y alternativas de manejo de lodos	38

## ANTEPRESUPUESTO PARA DRAGADO DEL VASO

### Datos Vaso de Cristo

Area total (ha)	130
Area efectiva (ha)	115
Altura efectiva promedio (m)	3.3
Capacidad (Mm <sup>3</sup> )	3.8

### Catálogo de Precios Unitarios CNA 2003

Concepto	Unid	P.U.
Excavación	m <sup>3</sup>	17.55
Acarreo 1° km	m <sup>3</sup>	8.88
Sobreacarreo	m <sup>3</sup> -km	4.77
Limpieza y trazo	m <sup>2</sup>	6.50
Despalme y compactación de la sup. del terreno	m <sup>3</sup>	48.32
Terraplen al 95% Proctor con mat. de excavación	m <sup>3</sup>	47.09
Terraplen al 95% Proctor con mat. de banco	m <sup>3</sup>	73.15
Revestimiento al 95% Proctor en taludes externos	m <sup>3</sup>	84.63
Revestimiento al 95% Proctor en corona	m <sup>3</sup>	76.17

## ANTEPRESUPUESTO OBRAS DE RECUPERACIÓN DE CAPACIDAD DE REGULACIÓN

Gasto de diseño de la PTAR, m³/s		0.5	2	4	6
Requerimientos de Desazolve para Compensación de Volúmenes de PTAR					
Area ocupada por la planta, ha		2.0	8.0	12.0	18.0
Area adicional (bordos, accesos, etc.)	20%	0.4	1.6	2.4	3.6
Area total, ha		2.4	9.6	14.4	21.6
Volumen ocupado	Mm³	0.08	0.32	0.48	0.71
Altura de desazolve para compensar volumen	m	0.07	0.30	0.47	0.76
Bordo para aislar PTAR					
Base de bordo (m)	24				
Corona (m)	4				
Altura (m)	5				
Area transversal (m²)	70				
Longitud	m	350	550	650	800
Volumen	m³	24,500	38,500	45,500	56,000
Estimación de costos en M\$ 2003					
1. Desazolve de fondo del Vaso					
Excavación		1.4	5.6	8.3	12.5
Acarreo 1er km		0.6	2.6	4.0	6.1
Sobreacarreo, 14 km		4.5	19.9	30.2	45.7
2. Bordo para aislar PTAR					
Limpieza y trazo		0.05	0.09	0.10	0.12
Despalme y compactación de la sup. del terreno		0.12	0.19	0.23	0.28
Terraplen al 95% Proctor con mat. de excavación		0.58	0.91	1.07	1.32
Terraplen al 95% Proctor con mat. de banco		0.90	1.41	1.66	2.05
Revestimiento al 95% Proctor en taludes externos		0.20	0.31	0.36	0.45
Revestimiento al 95% Proctor en corona		0.03	0.05	0.06	0.07
Sobreacarreo (14 km)		1.22	1.91	2.26	2.78
Subtotal		9.55	32.94	48.32	71.39
Imprevistos	15%	1.43	4.94	7.25	10.71
Total		10.98	37.88	55.57	82.10
Ajuste de costos a 2005	21%	2.31	7.95	11.67	17.24
<b>Inversión total, actualizada a 2005, M\$</b>		<b>13.29</b>	<b>45.83</b>	<b>67.24</b>	<b>99.35</b>

## ANTEPRESUPUESTO COLECTOR MARGEN DERECHA EMISOR DEL PONIENTE

Precios Unitarios de Obra Civil, Catálogo CNA

Factor de ajuste al 2005, 10% anual = 1.21

Concepto	PU 2003	Estimación 2005	Unidades
Excavación	17.55	21.2	\$/m <sup>3</sup>
Plantilla	80.00	96.8	\$/m <sup>3</sup>
Relleno	46.50	56.3	\$/m <sup>3</sup>
Acarreo, 1er km	8.88	10.7	\$/m <sup>3</sup>
Acarreo, km subsecuentes	4.77	5.8	\$/m <sup>3</sup>
Concepto		Tramo	Unidades
Longitud		7,500	m
Diámetro		91	cm
Profundida media		5	m
Distancia de acarreo		15	km
Ancho de zanja		1.70	m
Excavación		63,750	m <sup>3</sup>
Plantilla	Altura <span style="float: right;">Diam/10 + 0.05 m</span>	0.14	m
	Volumen	1,803	m <sup>3</sup>
Acarreo		4,925	m <sup>3</sup>
Relleno		57,021	m <sup>3</sup>
<b>Obra civil</b>	Excavación	1.35	M\$
	Plantilla	0.17	M\$
	Relleno	3.21	M\$
	Suma	4.74	M\$
	Rupturas y reposiciones, 25%	1.18	M\$
	Acarreo, 1er km	0.05	M\$
	Acarreo, km subsecuentes	0.40	M\$
	<b>Total</b>	<b>6.4</b>	<b>M\$</b>
<b>Tubería</b>	<b>Suministro</b>	PU Est. 2005	1,578 \$/m
		<b>Total</b>	<b>11.8 M\$</b>
	<b>Instalación</b>	PU Est. 2005	248 \$/m
		<b>Total</b>	<b>1.9 M\$</b>
Pozos de visita	\$25,000 c/u a/c 100 m	1.9	M\$
Imprevistos	20%	4.4	M\$
<b>Total sin IVA</b>		<b>26.3</b>	<b>M\$</b>

## ANTEPRESUPUESTO COLECTOR MARGEN IZQUIERDA EMISOR DEL PONIENTE

Precios Unitarios de Obra Civil, Catálogo CNA

Factor de ajuste al 2005, 10% anual= 1.21

Concepto		PU 2003	Estimación 2005	Unidades
Excavación		17.55	21.2	\$/m <sup>3</sup>
Plantilla		80.00	96.8	\$/m <sup>3</sup>
Relleno		46.50	56.3	\$/m <sup>3</sup>
Acarreo, 1er km		8.88	10.7	\$/m <sup>3</sup>
Acarreo, km subsecuentes		4.77	5.8	\$/m <sup>3</sup>

Concepto		Tramo			Sumas	Unidades
		1	2	3		
Longitud		4,000	4,000	8,500	16,500	m
		4.0	4.0	8.5	16.5	km
Diámetro		61	76	122		cm
Profundida media		5	5	5		m
Distancia de acarreo		15	15	15		km
Ancho de zanja		1.30	1.50	2.10		m
Excavación		26,000	30,000	89,250	145,250	m <sup>3</sup>
Plantilla	Altura      Diam/10 + 0.05 m	0.11	0.13	0.17		m
	Volumen	577	757	3,069	4,403	m <sup>3</sup>
Acarreo		1,167	1,824	9,923	12,915	m <sup>3</sup>
Relleno		24,256	27,419	76,258	127,932	m <sup>3</sup>
<b>Obra civil</b>	Excavación	0.55	0.64	1.90	3.08	M\$
	Plantilla	0.06	0.07	0.30	0.43	M\$
	Relleno	1.36	1.54	4.29	7.20	M\$
	Suma	1.97	2.25	6.48	10.71	M\$
	Rupturas y reposiciones, 25%	0.49	0.56	1.62	2.68	M\$
	Acarreo, 1er km	0.01	0.02	0.11	0.14	M\$
	Acarreo, km subsecuentes	0.09	0.15	0.80	1.04	M\$
	<b>Total</b>	<b>2.6</b>	<b>3.0</b>	<b>9.0</b>	<b>14.6</b>	<b>M\$</b>
<b>Tubería</b>	<b>Suministro</b>	PU CNA 2003	645	880	2,078	\$/m
		PU Est. 2005	780	1,065	2,514	\$/m
		<b>Total</b>	<b>3.1</b>	<b>4.3</b>	<b>21.4</b>	<b>28.8</b>
	<b>Instalación</b>	PU CNA 2003	145	179	323	\$/m
		PU Est. 2005	175	217	391	\$/m
		<b>Total</b>	<b>0.7</b>	<b>0.9</b>	<b>3.3</b>	<b>4.9</b>
Pozos de visita	\$25,000 c/u a/c 100 m	1.0	1.0	2.1	4.1	M\$
Imprevistos	20%	1.5	1.8	7.2	10.5	M\$
<b>Total sin IVA</b>		<b>8.9</b>	<b>10.9</b>	<b>43.0</b>	<b>62.8</b>	<b>M\$</b>

**ANTEPRESUPUESTO LÍNEA DE CONDUCCIÓN DE AGUA CRUDA Y TRATADA**

Precios Unitarios de Obra Civil, Catálogo CNA

Factor de ajuste al 2005, 10% anual = 1.21

Concepto		PU 2003	Estimación 2005	Unidades	
Excavación		17.55	21.2	\$/m³	
Plantilla		80.00	96.8	\$/m³	
Relleno		46.50	56.3	\$/m³	
Acarreo, 1er km		8.88	10.7	\$/m³	
Acarreo, km subsecuentes		4.77	5.8	\$/m³	

Concepto	PTAR Saneamiento		PTAR Reuso		Unidades	
	Influyente	Efluyente	Influyente	Efluyente		
Longitud	950	1,850	950	1,000	m	
	1.0	1.9	1.0	1.0	km	
Diámetro	244	244	91	91	cm	
Profundida media	5	5	3	3	m	
Distancia de acarreo	15	15	15	15	km	
Ancho de zanja	3.50	3.50	1.70	1.70	m	
Excavación	16,625	32,375	4,845	5,100	m³	
Plantilla	Altura	Diam/10 + 0.05 m	0.29	0.29	0.14	0.14
	Volumen		978	1,904	228	240
Acarreo			5,420	10,554	846	890
Relleno			11,205	21,821	3,999	4,210
Obra civil	Excavación		0.35	0.69	0.10	0.11
	Plantilla		0.09	0.18	0.02	0.02
	Relleno		0.63	1.23	0.23	0.24
	Suma		1.08	2.10	0.35	0.37
	Acarreo, 1er km		0.06	0.11	0.01	0.01
	Acarreo, km subsecuentes		0.44	0.85	0.07	0.07
	<b>Total</b>		<b>1.6</b>	<b>3.1</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>
Tubería	Suministro	PU CNA 2003	8,242	8,242	1,304	1,304
		PU Est. 2005	9,972	9,972	1,578	1,578
		<b>Total</b>	<b>9.5</b>	<b>18.4</b>	<b>1.5</b>	<b>1.6</b>
	Instalación	PU CNA 2003	819	819	204	204
		PU Est. 2005	991	991	247	247
<b>Total</b>		<b>0.9</b>	<b>1.8</b>	<b>0.2</b>	<b>0.2</b>	
Pozos de visita	\$20,000 c/u a/c 100 m	0.2	0.4	0.2	0.2	
Suma		12.2	23.7	2.4	2.5	
Imprevistos	20%	2.4	4.7	0.5	0.5	
<b>Total sin IVA</b>		<b>14.6</b>	<b>28.5</b>	<b>2.8</b>	<b>3.0</b>	

**ESTIMACIONES DE COSTOS DE PLANTAS DE BOMBEO**

Densidad del agua =	1,000 kg/m <sup>3</sup>	Interés anual =	12% anual
Factor de conversión =	367,098 kw-hr/kg-m	Vida útil (años) =	20 años
Costo de energía =	1.02 \$/kw-hr	Rep. de equipos =	20 años
Eficiencia de equipos =	75%		30% de I.I.

Concepto	PTAR Saneamiento		PTAR Reuso		Unid.
	Influente	Efluente	Influente	Efluente	
Gasto	6	6	0.5	0.5	m <sup>3</sup> /s
Carga	5	9	5	5	m
Potencia	392	706	33	33	kw
Inversión inicial	17	31	1	1	M\$
Reposición de equipos	5	9	0.4	0.4	M\$
Op. y Mant. (energía)	3.5	6.3	0.3	0.3	M\$/año
Op. y Mant., mano de obra	0.5	0.9	0.0	0.0	M\$/año
Total Op. y Mant	4.0	7.2	0.3	0.3	M\$/año
Valor presente de Op. y Mant.	30.1	54.1	2.5	2.5	M\$
VP de reposición de equipos	0.5	1.0	0.0	0.0	M\$
Valor presente total	48	86	4	4	M\$
Período de construcción	0.1	0.2	0.0	0.0	años
Intereses durante la construcción	0.1	0.2	0.0	0.0	M\$

Inv. Inicial = 0.036756 \* P

En plantas de bombeo de lodos: II = 1.5 \* .036756 \* P

Factor de ajuste a julio 2005 = 1.2

II = 0.0441072 \* P

**COSTOS DE BOMBEO DE LODOS PTAR VASO DE CRISTO**

Densidad del lodo	1,100 Kg/m <sup>3</sup>	i =	12%	anual
Factor de conversión	367,098 (kg-m)/(kw-hr)	n =	20	años
Costo medio de energía	1.02 \$/kw-hr	Operación =	3%	de Inv. Inic.
Eficiencia	75%			
Costo de energía <sub>2003</sub>	0.92 \$/kw-hr	Incr. en EE =	0.10	\$/kw-hr

Gasto de diseño de PTAR Tecamac	6.00	0.50	m <sup>3</sup> /s
Gasto de diseño de lodos líquidos	0.0555	0.0046	m <sup>3</sup> /s
Carga de bombeo <sup>1</sup>	157	396	m
Trabajo por m <sup>3</sup> de agua (Energía)	172,169	435,591	Kg-m/m <sup>3</sup>
Trabajo (Energía)	0.469	1.187	Kw-hr/m <sup>3</sup>
Potencia	125	26	Kw
Inversión inicial (fórmula <sup>2</sup> )	8.26	1.74	M\$
Operación y mantenimiento	0.25	0.05	M\$/año
Gasto en energía	0.48	1.21	\$/m <sup>3</sup>
Costo anual de energía	1.12	0.24	M \$/año
Costo integrado de Operación y Mantenimiento	1.36	0.29	M\$
Valor presente de Op. y Mant.	10.19	2.15	M\$
Reposición de equipos a 20 años	2.48	0.52	M\$
VP de reposición de equipos	0.26	0.05	M\$
Valor presente total	18.71	3.94	M\$
Pago anual total	2.50	0.53	M\$/año
Costo por m <sup>3</sup> de agua tratada	0.013	0.033	\$/m <sup>3</sup>

1. Valor supuesto que tendrá que revisarse con un estudio de sitios para disposición de lodos

2. - Inv. Inic. =  $1.5 \cdot 0.036756 \cdot P$  ; P = Potencia en Kw

3. Factor de ajuste a julio 2005 = 1.2

## ESTIMACIÓN DE COSTOS DE PROYECTO DE SANEAMIENTO

Gasto de diseño de PTAR = 5 m<sup>3</sup>/s

Descripción	Inversión M\$	Op. y Mant. M\$/año
PTAR Vaso de Cristo <sup>1</sup> 6.0 m <sup>3</sup> /s	1,488	227
Colectores marginales al Emisor Poniente.		
Margen Izquierda 16.5 km	67	
Margen Derecha 7.5 km	26	
Recuperación de la capacidad del Vaso <sup>2</sup>	103	
Línea de conducción de lodos crudos (20 km) <sup>3</sup>	71	
Bombeo de lodos crudos (Q = 55 l/s) <sup>3</sup>	8	1.4
Líneas de conducción		
Influyente 0.95 km	15	
Efluyente 1.85 km	28	
Bombeo de agua		
Influyente 6.0 m <sup>3</sup> /s , 5 m	17	4
Efluyente 6.0 m <sup>3</sup> /s , 9 m	31	7
Obras de desvío y/o conexión del R. Tlanepantla y San Javier <sup>4</sup>	10	
Acondicionamiento de vías de acceso para el transporte de cloro, mitigación de impactos ambientales, etc. <sup>5</sup>	74	
<b>Inversión en infraestructura</b>	<b>1,939</b>	<b>240</b>
Gastos indirectos (Ing., Superv., Admon., etc.) 15%	291	
Adquisición de terrenos <sup>6</sup>	85	
Gastos administración (escrituración, avalúos, etc.) 10%	9	
Suma	2,324	
Imprevistos 10%	232	
Suma	2,556	
IVA 15%	383	
<b>Total</b>	<b>2,940</b>	

1. El costo de inversión incluye estabilización y deshidratado de lodos

2. Se consideró compensar el volumen perdido por la ocupación de la PTAR, con la excavación de 75 cm por debajo del nivel de desplante del Vaso

3. Se supuso la distancia y desnivel del terreno para disposición de lodos, lo que tendrá que corroborarse con un estudio de alternativas de sitios

4. Valor supuesto que deberá corroborarse con un análisis a detalle de la incorporación del R. Tlanepantla y San Javier al R. de los Remedios, considerando la cancelación de descargas al Emisor Poniente.

5. Se consideró como un porcentaje del costo de inversión (5%)

6. Para disposición de lodos, considerando únicamente los primeros 5 años de operación de la planta

## ESTIMACIÓN DE COSTOS DE PROYECTO DE REÚSO

Gasto de diseño de PTAR = 0.5 m<sup>3</sup>/s

Descripción		Inversión M\$	Op. y Mant. M\$/año
PTAR	Vaso de Cristo <sup>1</sup> 0.5 m <sup>3</sup> /s	124	19
	Recuperación de la capacidad del Vaso <sup>2</sup>	14	
	Línea de conducción de lodos crudos (20 km) <sup>3</sup>	55	
	Bombeo de lodos crudos (Q = 5 l/s) <sup>3</sup>	2	0.3
	Línea de conducción		
	Influente 1 km	3	
	Efluente 1 km	3	
	Bombeo de agua <sup>5</sup>		
	Influente 0.5 m <sup>3</sup> /s , 5 m	1	0.3
	Efluente 0.5 m <sup>3</sup> /s , 5 m	1	0.3
	Acondicionamiento de vías de acceso para el transporte de cloro, mitigación de impactos ambientales, etc. <sup>6</sup>	6	
	<b>Inversión en infraestructura</b>	<b>209</b>	<b>20</b>
	Gastos Indirectos (Ing., Superv., Admon., etc.) 15%	31	
	Suma	241	
	Adquisición de terrenos <sup>7</sup>	10	
	Gastos administración (escrituración, avalúos, etc.) 10%	1	
	Suma	252	
	Imprevistos 10%	25	
	Suma	277	
	IVA 15%	42	
	<b>Total</b>	<b>318</b>	

1. El costo de inversión incluye estabilización y deshidratado de lodos

2. Se consideró compensar el volumen perdido por la ocupación de la PTAR, con la excavación de 10 cm por debajo del nivel de desplante del Vaso

3. Se supuso la distancia y desnivel del terreno para disposición de lodos, lo que tendrá que corroborarse con un estudio de alternativas de sitios

4. Únicamente se consideró una distancia promedio para desalojar el agua tratada del Vaso, sin embargo, se deberá adicionar el costo de distribución del agua a los usuarios, de acuerdo a un estudio de demandas

5. Únicamente se consideró el bombeo para desalojar el agua tratada del Vaso, sin embargo, se deberá adicionar el costo por bombeo de distribución del agua a los usuarios, de acuerdo a un estudio de demandas

6. Se consideró como un porcentaje del costo de inversión (5%)

7. Para disposición de lodos, considerando únicamente los primeros 5 años de operación de la planta

# BALANCE DE SÓLIDOS Y ALTERNATIVAS DE MANEJO, TRATAMIENTO SECUNDARIO CON DIGESTIÓN

Gasto de diseño 1 m3/seg  
 Disposición de lodos en terrenos planos a razón de 25,000 m<sup>2</sup> de lodo deshidratado por hectárea

