



INFORME FINAL

SEGUNDA ETAPA DEL ESTUDIO PARA RESTITUIR Y MEJORAR LA CAPACIDAD DE CONDUCCIÓN, MEDIANTE UN MANEJO ADECUADO DEL AIRE Y OPTIMIZACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO, EN LAS LÍNEAS 1 Y 2 DEL SISTEMA CUTZAMALA

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA
SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DEL CONSULTIVO TÉCNICO

INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
COORDINACIÓN DE HIDRÁULICA
SUBCOORDINACIÓN DE HIDRÁULICA URBANA

CONVENIO DE COLABORACIÓN
No. 2018-B08-B08-GC-09-RF-AD-A-CC-0002

SEGUNDA ETAPA DEL ESTUDIO PARA
RESTITUIR Y MEJORAR LA CAPACIDAD DE
CONDUCCIÓN, MEDIANTE UN MANEJO
ADECUADO DEL AIRE Y OPTIMIZACIÓN
DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO, EN
LAS LÍNEAS 1 Y 2 DEL SISTEMA CUTZAMALA

INFORME FINAL

NOVIEMBRE 2018

DIRECTORIO

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

Mtro. Roberto Ramírez De la Parra
Director General

Dr. Víctor Hugo Alcocer Yamanaka
Subdirector General Técnico

Mtro. Víctor Javier Bourguett Ortiz
Gerente del Consultivo Técnico

Ing. Óscar Sánchez Montufar
Subgerente de Ingeniería Hidráulica y Electromecánica

Ing. Antonio Juárez Trueba
Director General del Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México

Ing. Guillermo Álvaro Hernández Viveros
Director de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento, del OCAVM

INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA

Dr. Felipe Arreguín Cortés
Director General

Mtro. José Raúl Saavedra Horita
Coordinador de Hidráulica

Mtro. José Manuel Rodríguez Varela
Subcoordinador de Hidráulica Urbana

ELABORÓ

Por la Subcoordinación de Hidráulica del IMTA

Mtro. Rodrigo Ulises Santos Téllez.- Jefe de Proyecto
Dr. Velitchko Gueorguiev Tzatchkov.- Tecnólogo del Agua
Mtro. Juan Fco. Gómez Martínez.- Tecnólogo del Agua
Mtro. Luís Gómez Lugo.- Tecnólogo del Agua
Ing. Humberto Ramirez Rivera.- Tecnólogo del Agua
Mtro. Óscar Jesús Llaguno Guilberto.- Tecnólogo del Agua
Mtro. José Manuel Rodríguez Varela.- Subcoordinador
Ing. Jesús Figueroa Vázquez.- Outsourcing
Ing. José Carlos Martínez Pérez.- Outsourcing

Coordinación de Hidráulica del IMTA
Mtro. Raúl Saavedra Horita

Diseño y edición
M.A.M. Gema Alín Martínez Ocampo

REVISÓ

Subdirección General Técnica de la CONAGUA

Dr. Víctor Hugo Alcocer Yamanaka.- Subdirector General
Mtro. Víctor Javier Burguett Ortiz.- Gerente del Consultivo Técnico
Ing. Óscar Sánchez Montufar.- Subgerente de Ingeniería Hidráulica
y Electromecánica
Ing. Timoteo Gómez Aspítia .- Especialista en Electromecánica

Por el Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México

Ing. Guillermo Álvaro Hernández Viveros.- Director de Agua Potable, Drenaje y
Saneamiento, del OCAVM

CONTENIDO

1. RESUMEN EJECUTIVO	11
1.1. Introducción	11
1.2. Análisis de información recabada y conformación de planos para la L2 y actualización del modelo matemático de la L2	12
1.3. Resultados en las líneas de conducción 1 y 2	13
1.3.1. Tramo Torre de oscilación (TO5) – Tanque Santa Isabel	13
1.3.2. Tanque Santa Isabel	14
1.3.3. Tramo Tanque Santa Isabel – Tanque Pericos	14
1.3.4. Tanque Pericos	14
1.3.5. Tramo Tanque Pericos – Túnel Analco	14
1.4. Apoyo técnico al OCAVM, gabinete y campo, en habilitar la medición de presión en las válvulas de admisión y expulsión de aire del tramo TO5-TSI	17
1.4.1. Trabajos de campo	17
1.4.2. Sistema de monitoreo de presiones en VAEAs	17
1.5. Análisis de la L3 en el tramo para construcción en 2018	19
1.5.1. Avance en la construcción	19
1.5.2. Revisión de seguridad	21
1.6. Análisis de interconexiones entre L1, L2 y L3.	22
1.6.1. Interconexiones propuestas	22
1.6.2. Seccionamientos	22
1.7. Diseño conceptual de un modelo físico del Sistema Cutzamala	23
1.7.1. Descripción del modelo	23
1.7.2. Propuesta económica	26
1.8. Talleres de adiestramiento en el funcionamiento del modelo matemático realizado	29
1.8.1. Curso de simulación de redes con EPANET	29
1.8.2. Diseño y simulación de alcantarillado pluvial y sanitario con el uso del SWMM	30
2. ANTECEDENTES	33
3. OBJETIVOS	39
3.1. Objetivos específicos	39

4. METODOLOGÍA	41
5. DESARROLLO DEL PROYECTO	43
5.1. Análisis de información recabada y conformación de planos para la L2 y actualización del modelo matemático de la L2	43
5.1.1. Recopilación de información	43
5.1.2. Actualización del plano	43
5.1.3. Actualización del modelo de simulación hidráulica	45
5.1.4. Modelo SWMM	45
5.1.5. Opciones de simulación	46
5.1.6. Componentes del sistema	48
5.1.7. Línea de conducción	51
5.1.8. Funcionamiento actual del sistema	52
5.1.9. Modelo hidráulico en condiciones actuales	54
5.1.10. Resultados en las líneas de conducción 1 y 2	57
5.2. Apoyo técnico al OCAVM, gabinete y campo, en habilitar la medición de presión en las válvulas de admisión y expulsión de aire del tramo TO5-TSI	61
5.2.1. Trabajos de campo	61
5.2.2. Sistema de monitoreo de presiones en VAEAs	78
5.3. Análisis de la L3 en el tramo para construcción en 2018	81
5.3.1. Avance global	83
5.3.2. Análisis de soluciones sobre la profundidad mínima para el tubo de 5/8" de espesor	86
5.4. Análisis de interconexiones entre L1, L2 y L3.	87
5.4.1. Antecedentes	87
5.4.2. Interconexiones propuestas	91
5.4.3. Tramo 4	92
5.4.4. Tramo 2 y 3	100
5.4.5. Tramo 1	114
5.4.6. Seccionamientos	133
5.5. Diseño conceptual de un modelo físico del Sistema Cutzamala	186
5.5.1. Ubicación de la zona de estudio	187
5.5.2. Problemática en líneas de conducción	187
5.5.3. Estructuras del prototipo a modelar	210
5.5.4. Datos básicos del prototipo	245
5.5.5. Resultados obtenidos de la modelación matemática	247

5.5.6. Modelo físico	249
5.5.7. Diseño del modelo hidráulico y propuesta económica del proyecto	261
5.5.8. Propuesta económica	262
5.6. Talleres de adiestramiento en el funcionamiento del modelo matemático realizado	272
5.6.1. Curso de simulación de redes con EPANET	272
5.6.2. Diseño y simulación de alcantarillado pluvial y sanitario con el uso del SWMM	276
5.7. Conclusiones	278
6. CONCLUSIONES	281
CONTENIDO FIGURAS	307
CONTENIDO TABLAS	318



RESUMEN EJECUTIVO

1.1. INTRODUCCIÓN

Durante el desarrollo de las dos etapas de este proyecto, se ha tenido la posibilidad de acompañar al personal operativo del OCAVAM y se ha podido observar el modo de operar del sistema Cutzamala, específicamente de la PB5 al Túnel Análco San José.

El objetivo principal de este estudio fue identificar la razón de la disminución de la capacidad de conducción de la línea 1 y 2 y proponer alternativas para recuperar dicha capacidad.

Los tramos de TSI-TP y TP-TASJ operan por debajo de su capacidad de conducción y tienen una parte operando como canal. El “cuello de botella” está en el tramo TO5-TSI en el cual se puede presentar alguna de las siguientes situaciones:

- Aire atrapado
- Obstrucciones físicas en la tubería
- Alta rugosidad de las paredes de la conducción

Para mejorar las condiciones de operación de las dos líneas se propusieron las siguientes acciones, las cuales podrían incrementar el gasto conducido hasta con 4.5 m³/s en el tramo TO5 a TSI y no se necesitarían modificaciones en los tramos TSI-TP y TP-TASJ.

- Incrementar la altura de la TO5. La primera alternativa es aumentar la altura de la TO5 para evitar que ante el aumento de caudal derrame. El incremento puede ser del mismo diámetro o de menor diámetro e incluso puede ser vertical o inclinado, considerando que en la proximidad de la torre existe la ladera de un cerro (Ilustración 1.1).



Ilustración 1.1 Torre de Oscilación TO5

- Cámara de aire Una segunda alternativa sería convertir la TO5 en una cámara de aire, lo que implicaría sellar la parte alta, sin embargo debe considerarse que la estructura no fue diseñada para soportar presión interna más allá de la carga hidráulica máxima por lo que esta condición puede no ser factible estructuralmente.
- Limpieza Se debe realizar una limpieza profunda de las paredes de la tubería para disminuir la rugosidad de sus paredes, con ello lograr una menor pérdida de carga y por tanto un mayor caudal conducido sin elevar el nivel de la TO5. Sin embargo es posible que la limpieza no logre aumentar significativamente la capacidad de conducción en el tramo.
- Trabajar con las líneas 1, 2 y 3 en el tramo TO5-TSI Considerando la entrada en funcionamiento de la Línea 3 del sistema Cutzamala que en principio está proyectada como una línea de respaldo para poder dar mantenimiento a las líneas 1 y 2, es posible aumentar la capacidad de conducción en el tramo TO5-TSI al utilizar simultáneamente las tres líneas en este tramo y a partir del tanque Santa Isabel utilizar solamente dos líneas, tal como está considerado el proyecto. Esta alternativa se muestra como la más viable económicamente y en tiempo, en virtud de que el tramo 4 de la línea 3 está muy próxima a estar lista para operación, sin embargo debe considerarse que de optar por esta solución se tendrá

la condición de tener que parar una de las tres líneas para reparación o mantenimiento preventivo y volver a la condición original de solamente conducir $16 \text{ m}^3/\text{s}$ durante el tiempo de paro.

Independientemente de estas soluciones se debe establecer un programa de mantenimiento periódico y permanente de los arreglos de VAEAs en ambas líneas ya que como se presentó en el apartado 1.1.1, se tiene un deterioro importante de las mismas.

En esta primera etapa, el análisis no incluyó la línea 2 debido a la carencia de información inicial existente, por lo que durante la segunda se realizó la recopilación de información de planos para la L2 y se actualizó el modelo matemático de la L2.

1.2. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN RECABADA Y CONFORMACIÓN DE PLANOS PARA LA L2 Y ACTUALIZACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO DE LA L2

Se revisó la información entregada por parte del personal del OCAVM (planta, perfil), principalmente se identificó la localización de VAEAs y sus respectivas eliminadoras de aire, cotejadas con las identificadas en campo durante la primera etapa (2017).

Se revisó la ubicación de 169 válvulas de admisión y expulsión de aire en la línea 2 y se encontró discrepancia en la ubicación de 25

arreglos que corresponde al 15 % del total. Estas discrepancias pueden ser atribuidas a los distintos puntos de referencia para establecer los cadenamientos y errores de precisión en los equipos topográficos y de georeferenciación. La Tabla 4.1 muestra las discrepancias entre el plano y los datos del levantamiento en campo.

La mayor discrepancia es de 20 metros, los arreglos que presentan una discrepancia corresponden a puntos para los cuales en texto se indica el cadenamiento correcto, pero que en el dibujo en planta están desfasados del sitio.

1.3. RESULTADOS EN LAS LÍNEAS DE CONDUCCIÓN 1 Y 2

Con el plano actualizado se procedió a actualizar los datos base del modelo de si-

mulación hidráulica en los programas EPANET, Allievi y SWMM. La actualización corresponde a la elevación de los nodos que conforman el modelo, los niveles de llegada y salida de los tanques y el túnel Analco-San José, los principales resultados se presentan a continuación.

1.3.1. TRAMO TORRE DE OSCILACIÓN (TO5) – TANQUE SANTA ISABEL

Para la línea 1 comienza a trabajar tres horas después de la puesta en marcha de las bombas, hasta tener la carga suficiente para que llegue hasta el Tanque Santa Isabel, posteriormente en las siguientes seis horas se presentan de fluctuaciones del gasto donde se alcanzan gastos máximos de 12 m³/s y mínimos de 2.92 m³/s, hasta estabilizarse y conducir 6.58 m³/s (ver Ilustración 1.2).

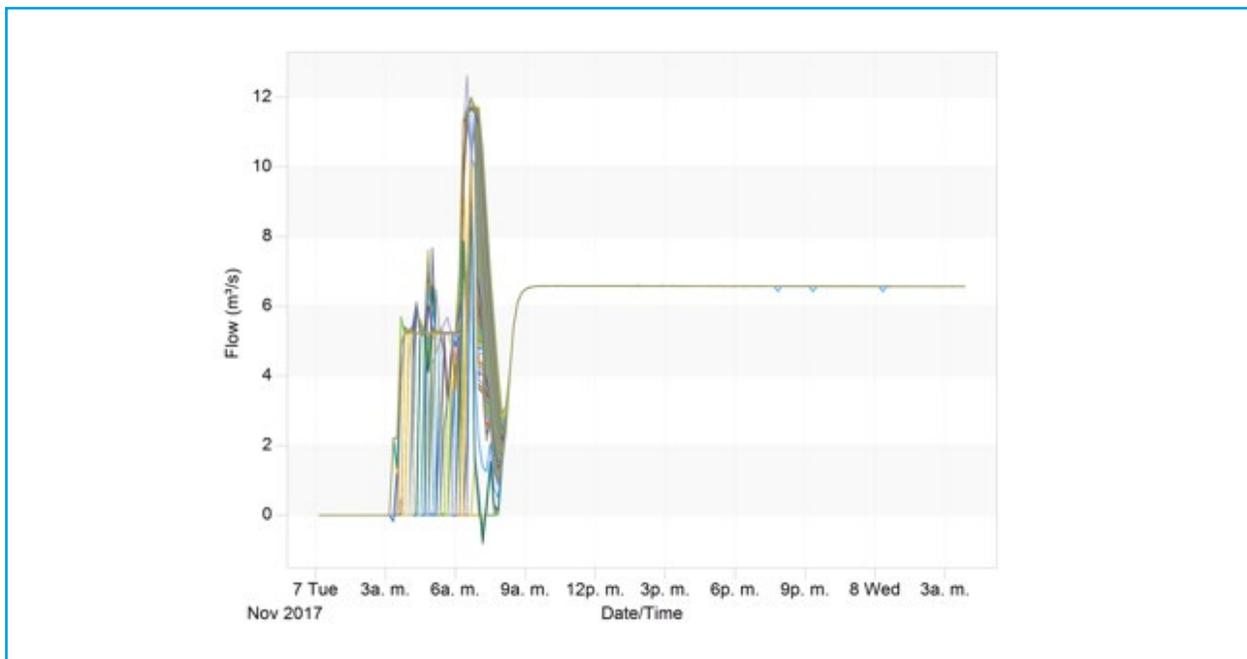


Ilustración 1.2 Gastos producidos en diferentes tramos de la línea

Para la línea 2 a partir del inicio del bombeo a las 0:00 horas, el flujo inicia partir de las 3 horas, posteriormente en las siguientes 6 horas tiene variaciones que van desde 0.94 m³/s hasta los 12.3 m³/s para posteriormente tener un gasto constante de 6.81 m³/s en las siguientes horas de simulación (ver Ilustración 1.3).

1.3.2. TANQUE SANTA ISABEL

El tanque Santa Isabel presenta una entrada de flujo a partir de las 8:00 horas y de ahí se mantiene constante el paso de 13.40 m³/s, respecto al tirante dentro del almacenamiento después del tiempo mencionado previamente se tiene un nivel de 0.43 m (Ilustración 1.4).

1.3.3. TRAMO TANQUE SANTA ISABEL – TANQUE PERICOS

La Línea 1 conduce gasto de 6.33 m³/s a partir de las 8 horas y este fluido permanece

constante durante toda la simulación, mientras que la línea 2 de igual manera inicia su función de traslado del flujo a las 8:00 horas con un gasto de 7.06 m³/s (ver Ilustración 1.5).

1.3.4. TANQUE PERICOS

08:00 horas después llega el flujo al tanque Pericos donde genera un tirante constante de 0.84 m y en gasto recibe de 13.30 m³/s, teniendo un volumen de 36 m³ (ver Ilustración 1.6).

En el tanque pericos existe una derivación que conduce un gasto constante de 700 l/s para llevar el agua a la zona del Valle de Toluca.

1.3.5. TRAMO TANQUE PERICOS – TÚNEL ANALCO

La línea 1 en este tramo comienza su puesta en funcionamiento a partir de las 16:00 horas y tiene un gasto constante de 6.33

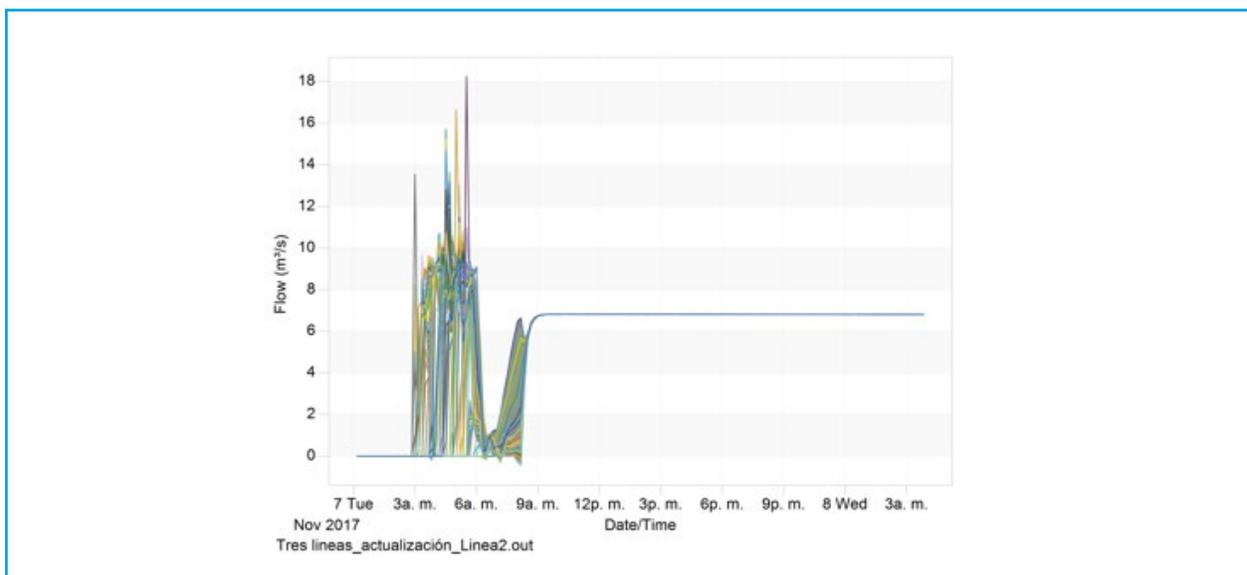


Ilustración 1.3 Gastos producidos en diferentes tramos de la línea 2

m³/s, de igual manera el inicio de operación en la línea 2 es al mismo tiempo que la línea 1, y por esta línea se presenta un gasto de constante de 7.06 m³/s (ver Ilustración 1.7).

Los resultados del modelo matemático son congruentes con la información recopilada en campo sin embargo no se tiene medición

de caudal y niveles en los tanques, por lo que tiene la necesidad de instrumentar las conducciones, principalmente una medición de presión en todas las VAEAs permitirá calcular con mayor precisión la línea de energía y con ello identificar eventuales problemas de aire atrapado ya que este tramo tiene parte con pendientes muy fuertes.

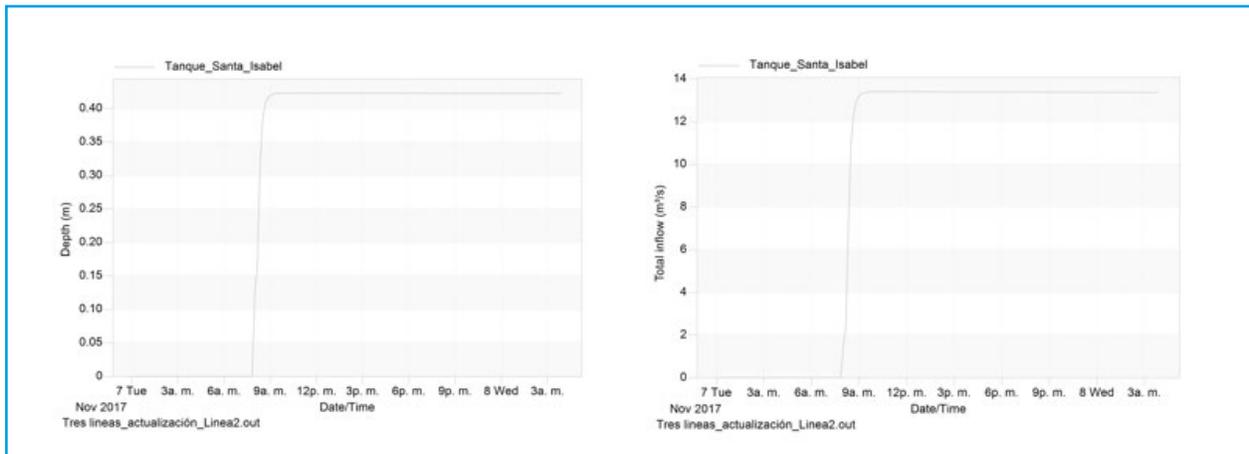


Ilustración 1.4 Tirantes y entradas de flujo en el tanque Santa Isabel

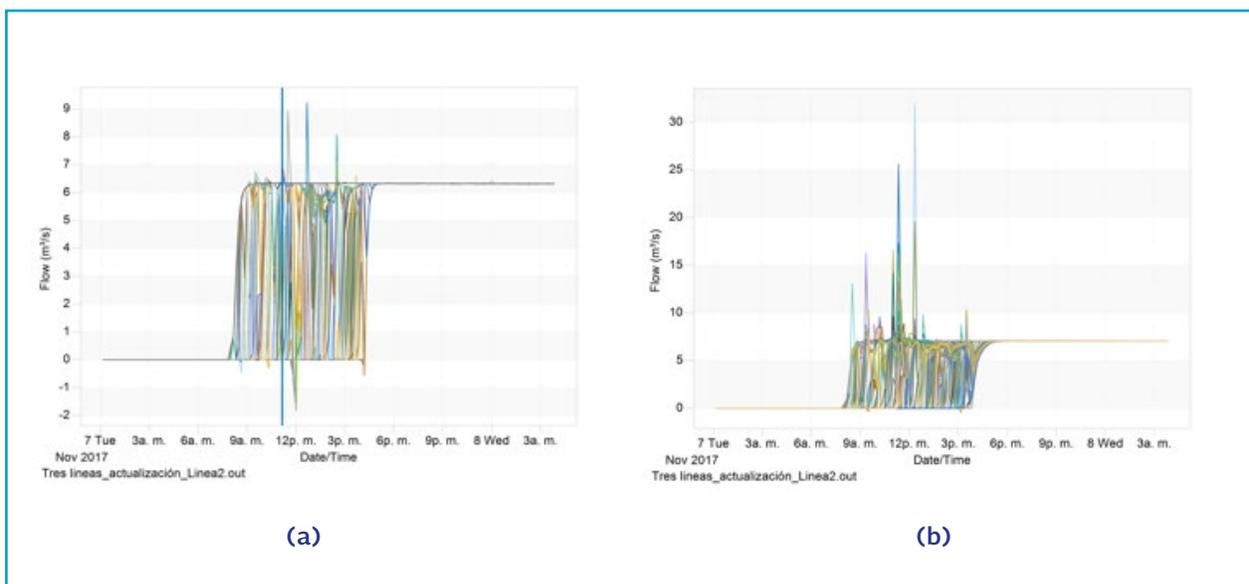


Ilustración 1.5 a) Gastos de la línea 1 y b) Gastos de la línea 2

Estudio para restituir y mejorar la capacidad de conducción, mediante un manejo adecuado del aire y optimización del funcionamiento hidráulico, en las líneas 1 y 2 del sistema Cutzamala

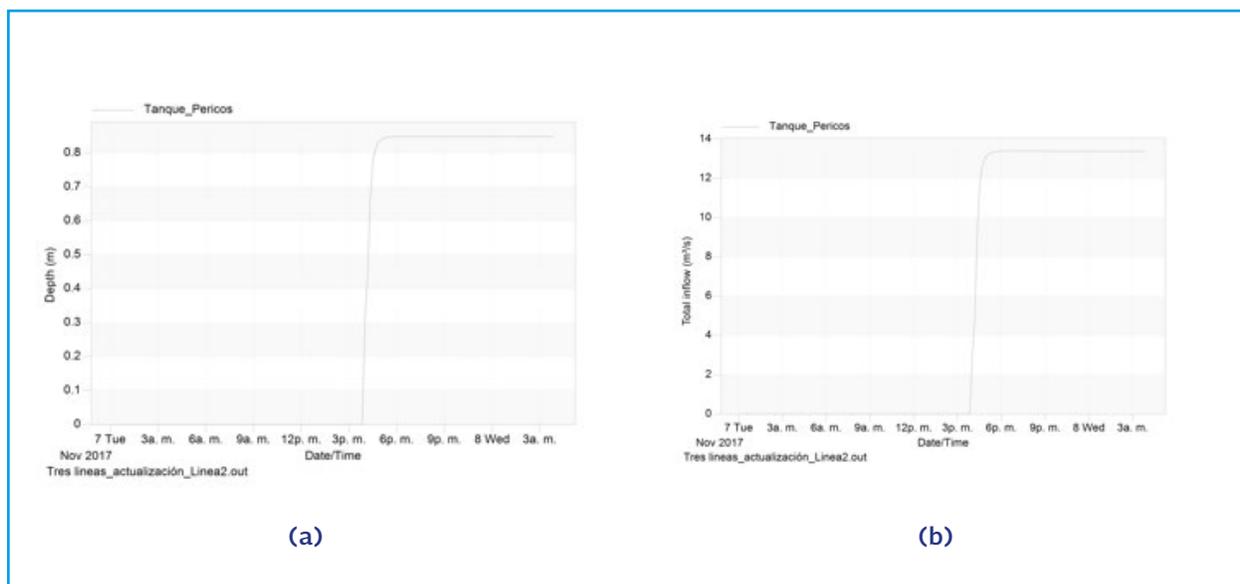


Ilustración 1.6 Tirantes y Entradas de flujo presentadas en el Tanque Pericos

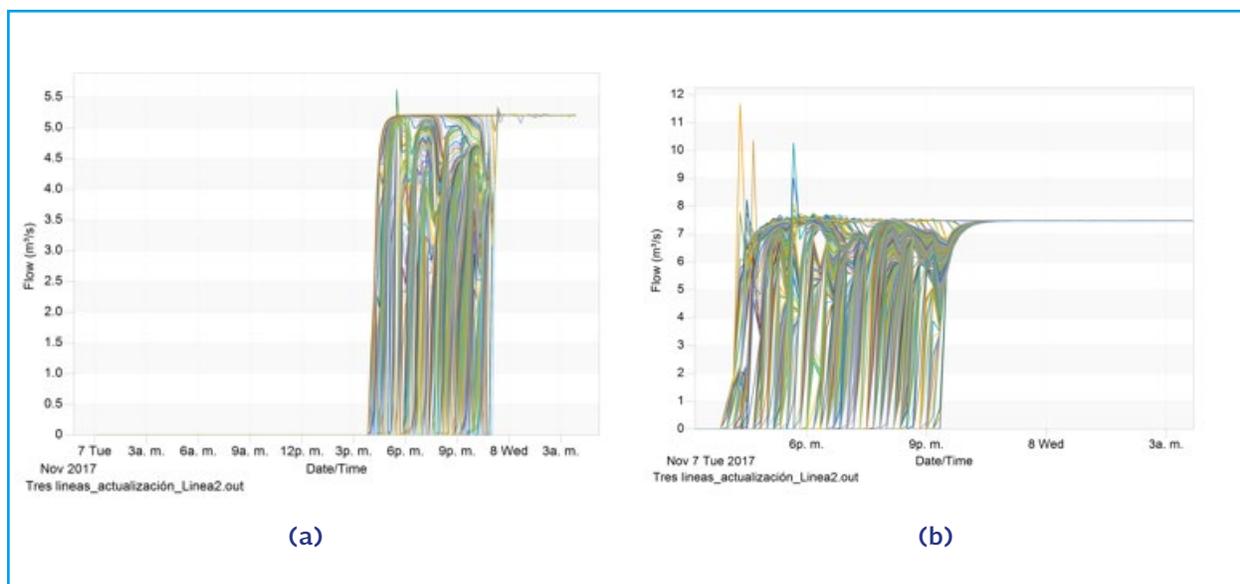


Ilustración 1.7 7 a) Gastos de la línea 1 y b) Gastos de la línea 2

Durante la primera etapa se tuvieron problemas para medir la presión en algunas VAEAs del tramo TO5 a TSI, por lo que en la segunda etapa se complementaron estas mediciones.

1.4. APOYO TÉCNICO AL OCAVM, GABINETE Y CAMPO, EN HABILITAR LA MEDICIÓN DE PRESIÓN EN LAS VÁLVULAS DE ADMISIÓN Y EXPULSIÓN DE AIRE DEL TRAMO T05-TSI

1.4.1. TRABAJOS DE CAMPO

Con el objetivo de verificar si la disminución de la capacidad de conducción se debe, en alguna medida, a un funcionamiento inadecuado de las VAEAs existentes, se realizaron recorridos por las líneas 1 y 2 del Sistema Cutzamala, en que se recorrió la totalidad del sistema desde el túnel Análco - San José hasta la torre de oscilación 5 para definir las condiciones generales del sistema y con ello poder plantear adecuadamente la inspección de válvulas.

Durante el recorrido se observó que en algunas cajas no hay espacio suficiente entre el techo de la VAEA y el techo de la caja, para instalar una T o una modificación que haga crecer el tamaño del arreglo de la VAEA, y que se tenga que dejar abierta la caja.

A pesar del gran peso de las losas que cubren las cajas, la comunidad consigue destaparlas y conectarse por el arreglo de la eliminadora de aire.

En el cambio de VAEAs, durante su instalación se observó se pudieran provocar dos problemas de seguridad. El primero está re-

lacionado con la seguridad personal. Aunque esta actividad se realiza con dos personas afuera de la caja, dado el peso de la VAEA al subirla al techo de la caja, alguien pudiera resbalar y caer desde esa altura, que en general son tres metros. La otra es en el interior de la caja, donde también trabajan dos técnicos para desmontar la VAEA del sitio, los espacios reducidos dificultan el desmontaje e instalación de las VAEAs, y que también cayera algún técnico. El otro problema es que con estos movimientos de VAEAs, se pudiera llegar a dañar el empaque, se pudiera caer la VAEA o dañar los tornillos de agarre de la brida.

En general se llevó a cabo el recorrido y toma de datos sin problemática alguna y con vigilancia constante de la policía que resguarda los conductos.

En promedio el largo de la caja es de 2.63 m, el ancho de 2.46 m, altura 3.19 m, espacio en techo 0.83 m. El espacio mínimo de techo es de 0.24 m y el espacio máximo de techo es de 1.70 m.

En total se tomaron lecturas en 5 VAEAs donde en la primera etapa (2017) no se había podido tomar. Específicamente en las cajas 5, 7, 12, 14 y 15, con las siguientes presiones: 2.5, 9.6, 2.5, 3.9, 6.5, respectivamente, todas en kg/cm^2 .

1.4.2. SISTEMA DE MONITOREO DE PRESIONES EN VAEAS

Se propone un sistema de telemetría y control supervisorio, con el cual es posible

concentrar en una Estación Maestra (PC) toda la información relevante al sistema. Asimismo, en forma remota desde la PC, se tiene la capacidad de efectuar controles tales como el arranque/paro de bombas o la apertura/cierre de válvulas.

Toda la información de alarmas, controles, mediciones, etcétera, se almacena en la Estación Maestra, la cual genera una serie de reportes de utilidad para el usuario.

En cada VAEA se propone instalar una unidad terminal remota, que es un elemento en el cual se suministran un número variable de módulos de Entradas/Salidas. A este elemento se conectarán los sensores o medidores correspondientes a aquellas variables que se desee supervisar y telecontrolar. Un elemento de este tipo debe tener la capacidad de transmitir por medio de un sistema de radiocomunicación u otros medios de enlace para establecer comunicación remota, como son el enlace telefónico, vía satélite, etcétera.

Sin embargo, debido a las características del sistema Cutzamala, en las eventuales unidades remotas no se contará con alimentación eléctrica y en algunos puntos no se tiene cobertura de GPRS para la comunicación entre las terminales y la estación maestra y en algunas zonas existen factores que afectan la cobertura, como son:

- Las condiciones topográficas y climatológicas donde utilizas el servicio.

- Las características técnicas y el estado de conservación del equipo celular utilizado por el cliente.
- El uso del servicio en interiores, sitios subterráneos, pisos altos, elevadores, aeronaves, estructuras y lugares construidos con materiales que degraden las señales de radiofrecuencia, o en lugares donde haya una concentración inusual de usuarios, por citar algunos ejemplos.
- La instalación de equipos repetidores o amplificadores de señal de terceros no autorizados u homologados por el Instituto Federal de Telecomunicaciones.
- Los bloqueadores que operan las autoridades penitenciarias pueden afectar a usuarios que se encuentren incluso a kilómetros de los centros de reclusión.

Para garantizar el adecuado monitoreo de los datos de presión en las VAEAs, se propone la siguiente alternativa.

Comunicar los puntos donde no se tiene cobertura de señal GPRS por medio de radiofrecuencia entre ellos hasta un “modulo maestro”, ubicado en un sitio con adecuada cobertura y a través del cual se transmitan los datos medidos por medio de la señal GPRS a un servidor y que a su vez puedan ser visualizados en la estación maestra, tal como se observa en la Ilustración 1.8.

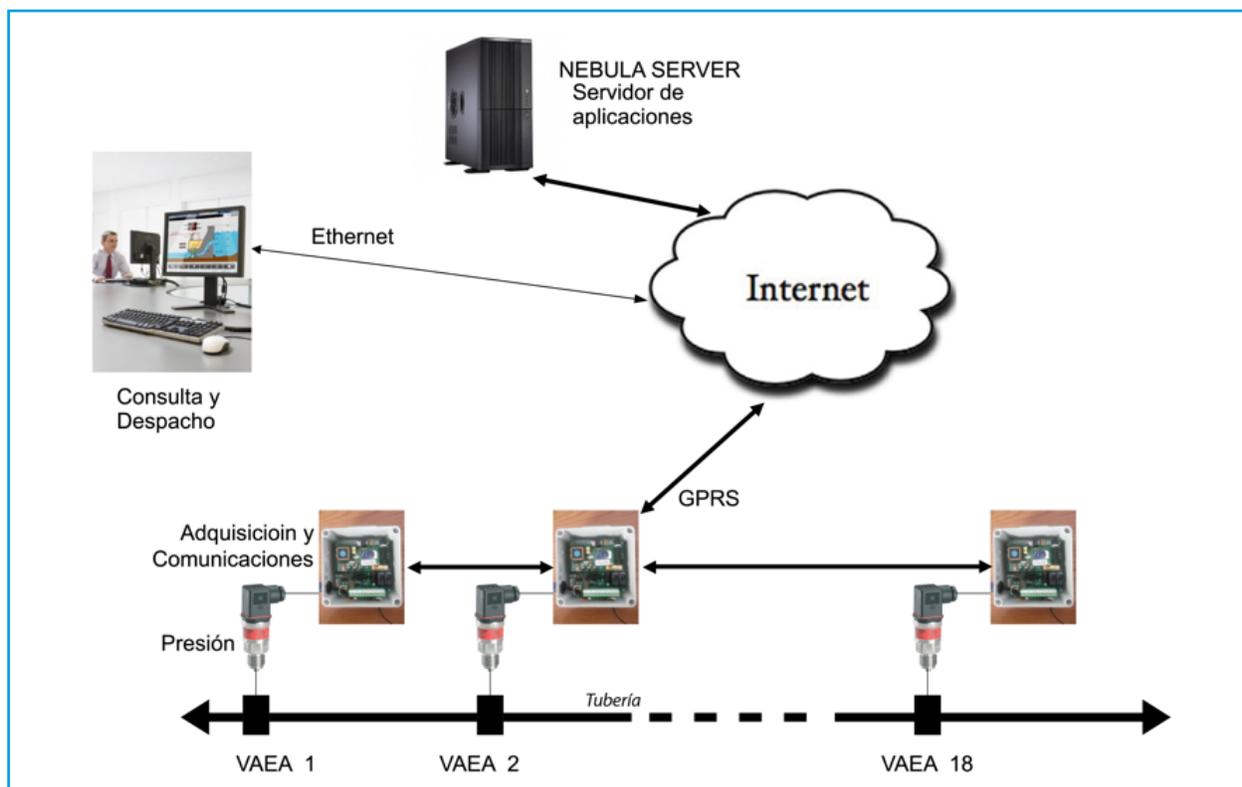


Ilustración 1.8 Comunicación por radiofrecuencia y GPRS

1.5. ANÁLISIS DE LA L3 EN EL TRAMO PARA CONSTRUCCIÓN EN 2018

1.5.1. AVANCE EN LA CONSTRUCCIÓN

La construcción de la línea 3 del sistema Cutzamala fue parte del programa de Compromisos Presidenciales, específicamente el CG199 que tiene como objetivo “Incrementar el abastecimiento de agua potable para el Distrito Federal mediante la modernización y construcción de infraestructura hidráulica”. Entre otras acciones, la número 9 está definida como “Construcción de la tercera línea del Sistema Cutzamala”.

Desde el año 2013 y hasta el 07 de junio del año dos mil dieciocho, se reunieron los miembros de la Comisión de Seguimiento del Convenio de Coordinación SACMEX–CONAGUA, en la cual se reportaron periódicamente los avances de la construcción de la línea 3 del sistema Cutzamala.

A la fecha de conclusión de este proyecto, en el Sistema Cutzamala los Tramos 1 y 4, se encontraban próximos a su conclusión, faltando la instalación de los tramos más complicados, específicamente el cruce con la barranca de Berros y el cruce con el río Lerma, entre algunos otros tramos menores.

Por su parte el tramo dos está concluido y en operación, ya que en el mes de octubre se realizó una interconexión entre la línea 3 y la línea 2 a la altura del kilómetro 42, la cual fue exitosa y actualmente este tramo ya está en operación.

La construcción del tramo 3, a la conclusión de este proyecto es la que se encuentra más retrasada y no se tiene un tiempo estimado para su conclusión.



Formato

Informe



SUPERVISIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA TERCERA LÍNEA DE CONDUCCIÓN, DE LA TORRE DE OSCILACIÓN NÚMERO 5 AL TÚNEL ANALCO-SAN JOSÉ, EN LOS TRAMOS 2 FRENTE 2 Y TRAMO 3, DEL PI 313 KM 42+379.53 AL TANQUE SANTA ISABEL Y DEL TANQUE SANTA ISABEL A LA TORRE DE OSCILACIÓN NÚMERO 5 DEL SISTEMA CUTZAMALA, EN EL ESTADO DE MÉXICO

MEMORIA DESCRIPTIVA Y DE CÁLCULO DE LA ADECUACIÓN DEL PROYECTO EJECUTIVO DEL TRAMO DE LA SUBIDA AL TANQUE SANTA ISABEL (CAD. 62+000.00 AL CAD. 62+414.48)

JULIO DEL 2018

Objeto: Memoria descriptiva y de cálculo de la adecuación del proyecto ejecutivo del tramo de la subida al Tanque Santa Isabel (CAD. 62+000.00 AL CAD. 62+414.48).

Fecha: JULIO 2018

Proyecto: Mejora de Capacidad de conducción y optimización del funcionamiento hidráulico en las líneas 1 y 2 del sistema Cutzamala, Estado de México.

Nombre del cliente: SECRETARÍA DE ECONOMÍA DEL PROYECTO DE LA SUBIDA AL TANQUE SANTA ISABEL.

Se adecuo el proyecto ejecutivo del tramo del km 62+000.00 al 62+684.36, a partir del km 62+620.00 la tubería de la Línea No. 3 de proyecto, empieza a ser superficial en dirección al Tanque Santa Isabel. En el ajuste del proyecto se optó por que la tubería fuera semienterrada, considerando que la mitad de la tubería fuera enterrada y la otra mitad sea superficial.

Quando la tubería está enterrada, generalmente no presenta cambios significativos longitudinales bajo condiciones operativas debido a la temperatura y las tensiones térmicas. Sin embargo, durante la construcción y antes de completar el relleno, los cambios extremos en la temperatura ambiental, pueden causar expansión o contracción excesiva en la tubería los cuales pueden evitarse rellenando la zanja del tubo a medida que avanza la construcción.

En tuberías de acero que se instalan enterradas, en terrenos con pendientes pronunciadas, que trabajen bajo condiciones de presión y temperatura incrementan los esfuerzos longitudinales debido al peso del tubo y al peso del agua, cuando ya está en operación, estas solicitaciones puede causar inestabilidad en la tubería y provocar que tienda a deslizarse y/o transmitir los esfuerzo a los tubos colocados aguas abajo.

Quando las tensiones longitudinales superan los coeficientes de trabajo del material en el terreno con una pendiente pronunciada es necesario la colocación de atraques para disminuir los esfuerzos longitudinales a lo largo de la tubería y transmitirlos al suelo y limitar el

Ilustración 1.10 Extracto de la memoria de Dirac 2018

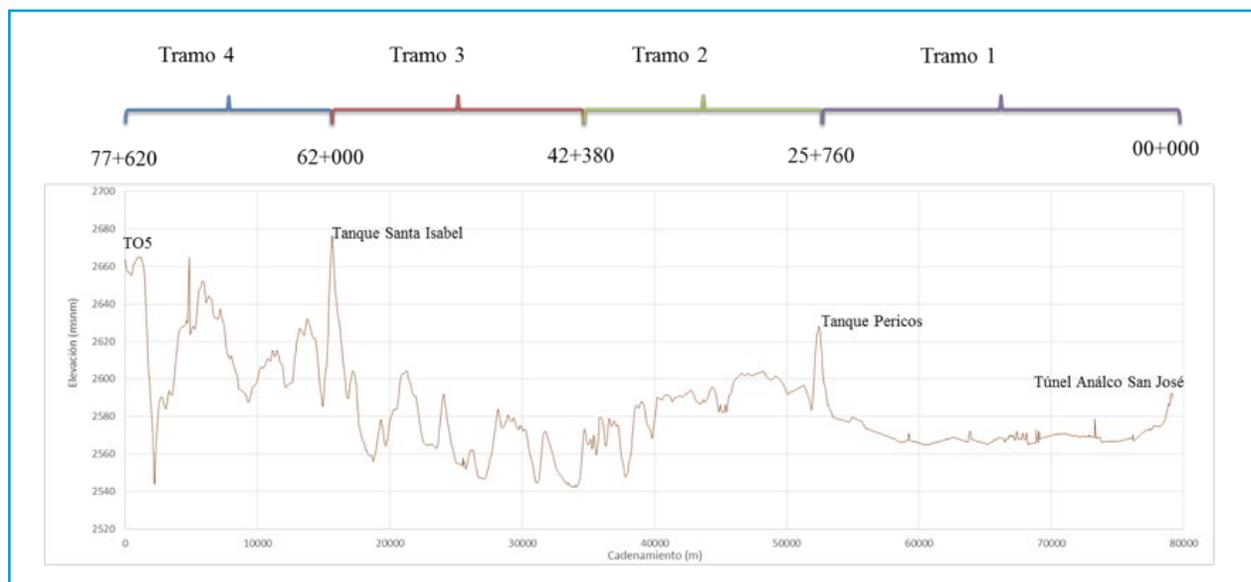


Ilustración 1.9 Tramos de la línea 3

1.5.2. REVISIÓN DE SEGURIDAD

En el proyecto Conagua-IMTA 2017 se indicó que la tubería de acero de 5/8” no pasa la prueba de colapso por vacío, por lo que no debe de dejarse superficial (No debe de dejarse sin enterrar o arropar). La compañía de supervisión DIRAC sin embargo propuso lo contrario. Proponen dejar la tubería semienterrada (la mitad enterrada y la mitad superficial) en 684 m. Sus cálculos reconocen que la tubería está vulnerable a colapso ($P_{vacío} > P_c$), pero que la acción de las VAEAS protegerá contra tal colapso (Ilustración 1.10).

En el caso de la tubería de aguas abajo del tanque, la tubería es de 15.88 mm (5/8”) de espesor, se ubican dos VAEAS, en los cad. 62+510.73 y 62+268.72, por lo tanto la presión de colapso es:

$$P_c = 50200000 \left(\frac{0.625}{99.75} \right)^3 = 12.40 \dots PSI$$

Se considera un factor de seguridad de 4 como lo recomienda el manual de la AWWA M-51 para obtener el diferencial de presión “DP”.

$$DP = \left(\frac{12.40}{4} \right) = 3.10 PSI$$

El gasto a considerar para seleccionar la Válvula en al cad.. 62+618.00, es el más crítico, el cual es el obtenido por Ruptura:

$$Q_{ADM} = 292.27 \text{ ft}^3/s$$

La adecuación no es aceptable, si bien es cierto que las VAEAS reducirán el vacío en la tubería, no menos cierto es que pueden fallar en hacerlo, si no se les da adecuado mantenimiento.

El sistema Cutzamala está en operación por más de 35 años, y seguirá operando por otros años, se espera que la L3 esté en operación por muchos años también. El mantenimiento de las VAEAS no ha sido de los mejores y las VAEAS pueden fallar por lo que el peligro por colapso no es aceptable, dada la importancia del sistema Cutzamala.

Los tramos de tubería que no cumplen con la profundidad mínima y que pueden estar en riesgo de falla por pandeo se presentan en la Tabla 1.1.

De los cuales, 1.64 km se consideran prioritarios debido a que el lomo de tubería se encuentra por encima del nivel de terreno. Complementariamente se tienen identificados 3.825 km de tubería de 5/8 de espesor, que no han sido instalados. Para los cuales debe tomarse en cuenta la profundidad mínima de 1.5 metros desde el lomo de tubo.

Tabla 1.1 Tramos de tubería que no cumplen con la profundidad mínima

Tramo	Cantidad	Unidad
Tramo 4	3.5	Km
Tramo 3	4.9	Km
Tramo 2	1.8	Km
Total	10.2	Km

1.6. ANÁLISIS DE INTERCONEXIONES ENTRE L1, L2 Y L3.

1.6.1. INTERCONEXIONES PROPUESTAS

En esta etapa del proyecto, se analizaron 5 interconexiones que permitirán desviar el agua de la línea 1 a la 3 y de la línea 2 a la 3, en la siguiente imagen se establece su ubicación (ver Ilustración 1.11).

Estas interconexiones fueron analizadas hidráulicamente, a través de los modelos matemáticos, para diversos escenarios de aislamiento parcial de algún tramo y desviando el agua a otra tubería.

1.6.2. SECCIONAMIENTOS

Adicionalmente se analizó el escenario de colocar válvulas de seccionamiento a lo largo de las conducciones, con el objetivo de disminuir los tiempos de llenado y vaciado de las líneas y disminuir la cantidad de agua desfogada. Estos seccionamientos disminuyen el tiempo de vaciado de un tramo en específico y también el tiempo de llenado del mismo (Ilustración 1.12).

Teóricamente el uso de las interconexiones presenta buenos resultados, sin embargo en la práctica estas interconexiones son innecesarias ya que los tres tramos ya están interconectados en tres puntos: La TO5 y los tanques Santa Isabel y Pericos, por lo que de

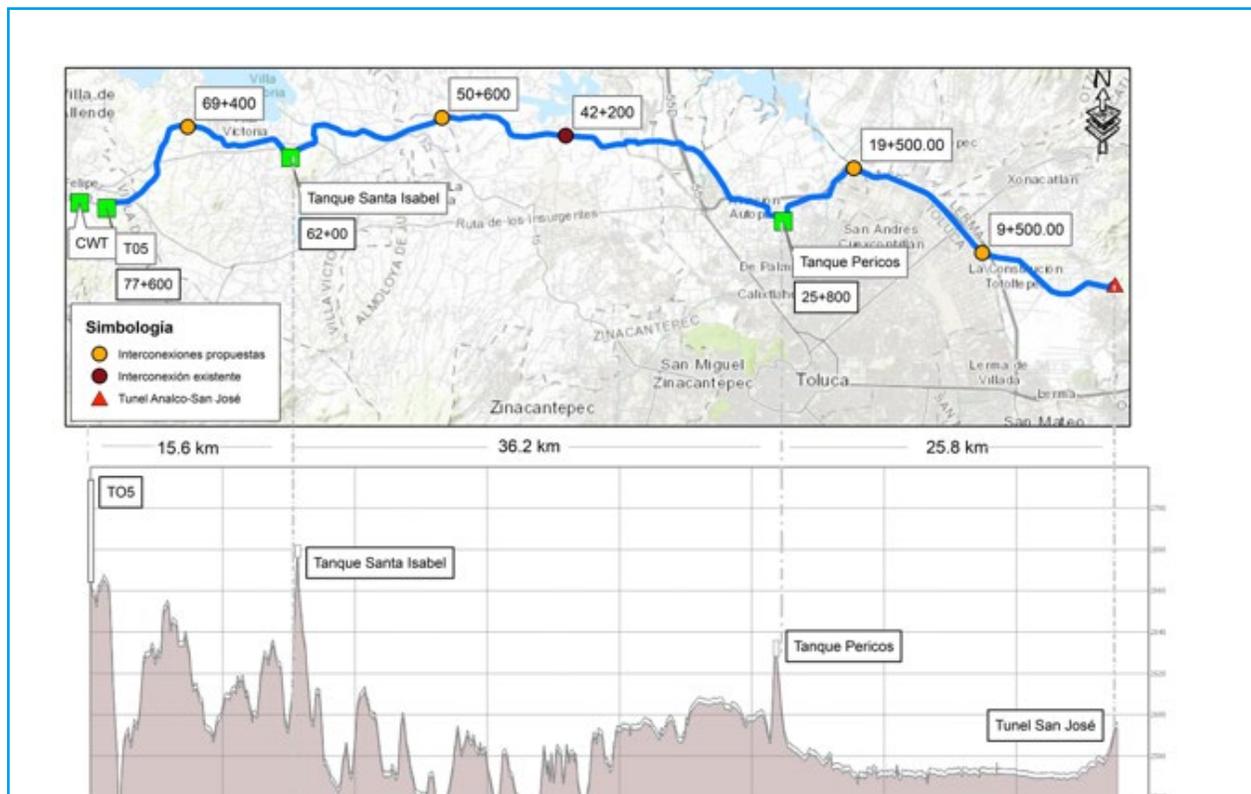


Ilustración 1.11 Interconexiones propuestas para el sistema Cutzamala

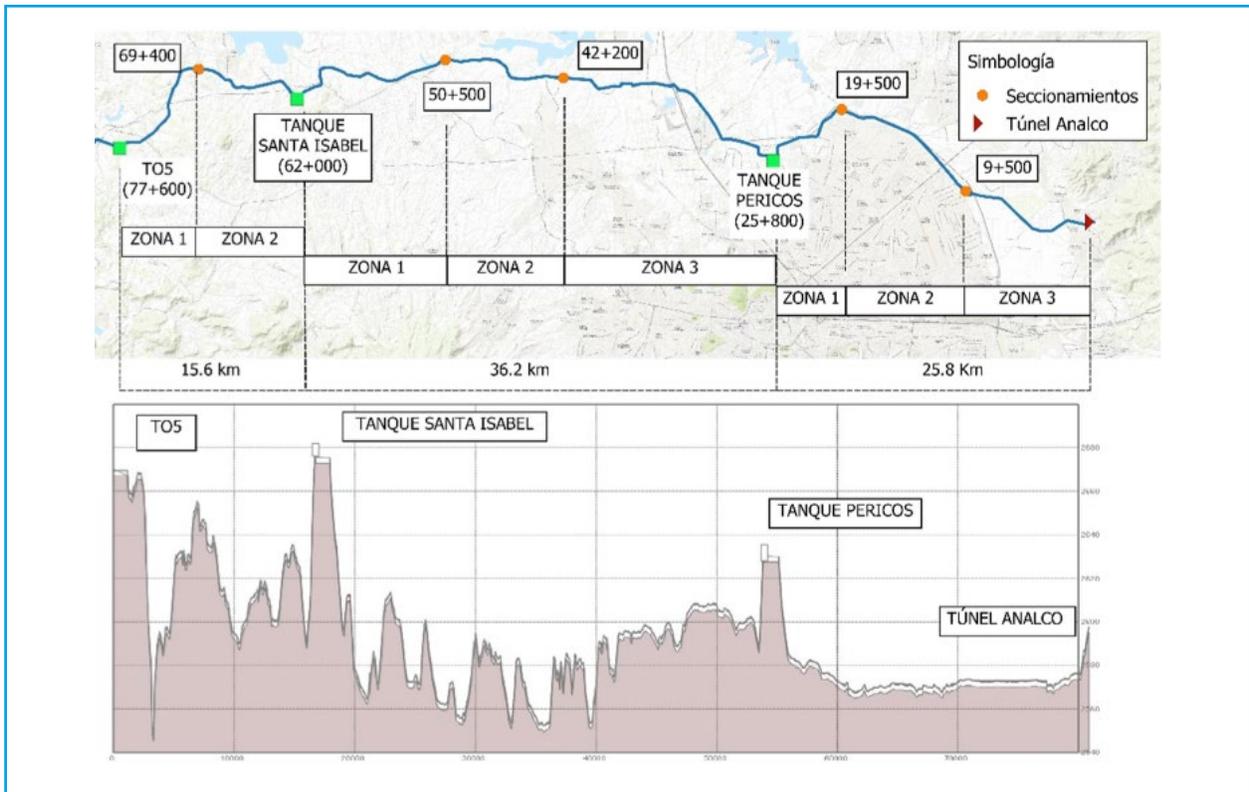


Ilustración 1.12 Arreglo conceptual del modelo físico del sistema Cutzamala, entre la TO5 al TASJ

requerirse aislar un tramo de tubería, esto puede hacerse desde los tanques la TO5, con el uso de compuertas.

Por otra parte, uno de los objetivos que se buscaba con estas interconexiones era disminuir los tiempos de paro, ante un operativo de reparación o mantenimiento, pero la entrada en operación de la línea 3 soluciona este problema, ya que su objetivo es alternar el funcionamiento de las tres líneas para que siempre estén operando dos al mismo tiempo.

Es importante comentar que al momento de la conclusión de este informe se instaló una interconexión entre la línea 3 y la línea 2 para poder aislar un tramo de la línea dos y

poder darle mantenimiento. Esto se realizó por las dificultades que tiene la construcción del tramo tres de la L3 y el riesgo de falla de la L2 y también se están instalando válvulas de seccionamiento en la línea 3 sin que se tenga información de la manera de definir la ubicación de estos.

1.7. DISEÑO CONCEPTUAL DE UN MODELO FÍSICO DEL SISTEMA CUTZAMALA

1.7.1. DESCRIPCIÓN DEL MODELO

Para analizar los problemas que disminuyen la capacidad de conducción de las L1 y L2 y el funcionamiento global de las tres líneas

En la Tabla 1.2, se indican las magnitudes del modelo, de acuerdo con los factores calculados, para realizar el diseño de las estructuras experimentales. Asimismo, se presentan algunas observaciones y un análisis de las condiciones de similitud obtenidas.

El modelo hidráulico se diseñó en cuatro tramos; tres de ellos serán paralelos, que corresponden a las tres conducciones en estudio y un tramo para la alimentación. En cada tramo seleccionado se construirá una estructura hidráulica como disipadora de energía (un tanque de control de gasto) y en el tercer tramo corresponde a una estructura hidráulica como de salida, sitio denominado Túnel Analco - San José”. Se evitará seleccionar corte de tubería en tramo de conducción por estudiar. En cada tanque como cambio de dirección del flujo, se tratará de reproducir el efecto del caudal a la llegada y salida para continuar su transición al siguiente tramo.

- Se modelará solamente el perfil de las tres conducciones, no se consideran los efectos de planimetría por trazo

de las líneas por falta de espacio en el Laboratorio experimental.

- Se cumple con el tipo de régimen de flujo turbulento en los dos casos (Prototipo – Modelo).
- En lo que respecta al Coeficiente de Rugosidad, para el modelo hidráulico resultó ser de 0.0079, mientras que la tubería de acrílico a utilizar, de una pulgada y de tres milímetros de espesor, como tubería nueva, presenta una “n” de Manning de 0.0085. Por lo tanto, el coeficiente de rugosidad obtenido es aceptable, el material del tubo seleccionado es viables para fines del estudio.
- Se cumple con el caudal requerido y espacio disponible en el Laboratorio de Hidráulica.

La Ilustración 1.13 muestra de forma conceptual el arreglo completo del modelo físico.

La construcción del modelo físico consiste en: configurar, realizar pruebas preliminares, y las modificaciones correspondientes a la

Tabla 1.2 Transportación de magnitudes de frontera del prototipo a modelo

Datos del Prototipo	Datos a Modelo Físico	Observaciones
De la Planta de Bombeo No.5 a Torre de Oscilación No.5: 1,650 m	17 m	Condiciones disponibles en el Laboratorio para construirse el Modelo Hidráulico
De la Torre de Oscilación No.5 al Tanque Santa Isabel: 15,620 m	158 m	
Del Tanque Santa Isabel a Tanque Pericos: 36,240 m	367 m	
Del Tanque Pericos al Canal San José: 25,760 m	261 m	
Gasto máximo de prueba: 24 m³/s.	0.25 L/s	
Radio Hidráulico del tubo : 2.51 m	0.0254 m	
Se consideró un Coeficiente de Rugosidad “n” de Manning: 0.017	0.0079	
Velocidad media del caudal: 1.62 m/s	0.163 m/s	
Gasto estimado por cada línea actualmente: 8 m³/s.	0.082 l/s	
Número de Reynolds: 4,058,125	4130.41	

geometría en el modelo físico en caso necesario a escala 1:98.83, durante su construcción. Será construido en un área aproximadamente de 2,319 m², el ancho es variable, desde: 2.2, 4, y 5 metros por 366 m de largo; el Gasto máximo por operar en el modelo 0.25 L/s. Las partes que componen el modelo son:

La alimentación al modelo hidráulico será por bombeo a través de una tubería de PVC 3/4" de diámetro.

Dispondrá de cuatro depósitos de acrílico como disipadores de energía, pasará el flujo continuamente, no será almacenado.

Las líneas de conducción: del sistema Cutzamala, para modelarlo, se dividió en tres tramos, las tres líneas: L1 = L2 = L3 = 158 m,

L1 = L2 = L3 = 365 m, L1 = L2 = L3 = 262 m, se propuso de una tubería de 1" de diámetro, de acrílico, de un espesor de 3 mm.

Todos los elementos que conforman el modelo hidráulico en acrílico, serán soportados por una mesa experimental metálica.

Se instalarán 460 dispositivos que actuarán como válvulas expulsora de aire, distribuidos en las tres líneas: L1 = 138 dispositivos, L2 = 157 dispositivos y L3 = 165 dispositivos.

Se instalarán 460 sensores para el control de las presiones.

Los gastos de pruebas hidráulicas serán retornados a la cisterna que forma parte del modelo hidráulico para su abastecimiento.

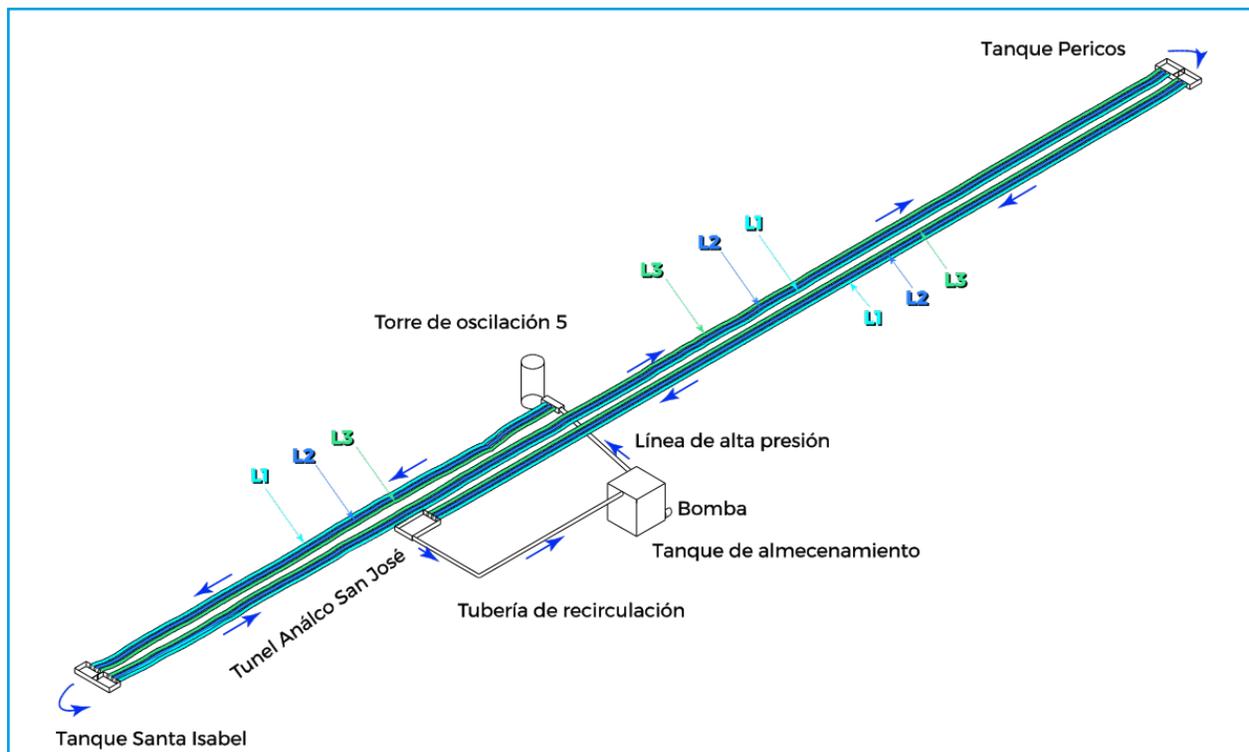


Ilustración 1.13 Planta y perfil del terreno en el IMTA

1.7.2. PROPUESTA ECONÓMICA

Las actividades se cotizarán de acuerdo con la descripción que aparece en los términos de referencia y planos correspondientes, de acuerdo con el catálogo de conceptos del anexo.

El costo correspondiente a la construcción del modelo físico es de \$ 4,281,011.60 más IVA.

La propuesta se realizó considerando la construcción en las instalaciones del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y tomando en cuenta el tamaño del modelo, así como el espacio disponible, el perfil topográfico se muestra en la Ilustración 5.265. Debido a esta situación es necesario construir una estructura que permita mantener el perfil del modelo. El extremo sur del modelo, donde se pretende instalar el modelo del tanque Santa Isabel tiene una altura de 7.79 metros del suelo a la pasarela de operación del modelo, adicionalmente se

debe tener una cubierta sobre el modelo para facilitar los trabajos en el modelo y no exponer al sol a los trabajadores.

Por tanto, si se toma la decisión de construir el modelo en las instalaciones del IMTA se deberá considerar la estructura de la Ilustración 1.14.

El costo correspondiente a las obras complementarias del modelo es de \$4,099,376.68 más IVA.

La propuesta económica para la construcción del modelo físico a escala reducida 1:98.83 del Sistema Cutzamala, en el Laboratorio de Hidráulica Enzo Levi, se determina un importe de \$ 8'380,388.27, con IVA resulta de 9'721,250.40.

De construirse en otro sitio el costo de la estructura complementaria deberá ser recalculada, en función de la topografía del sitio y la capacidad de carga del suelo.

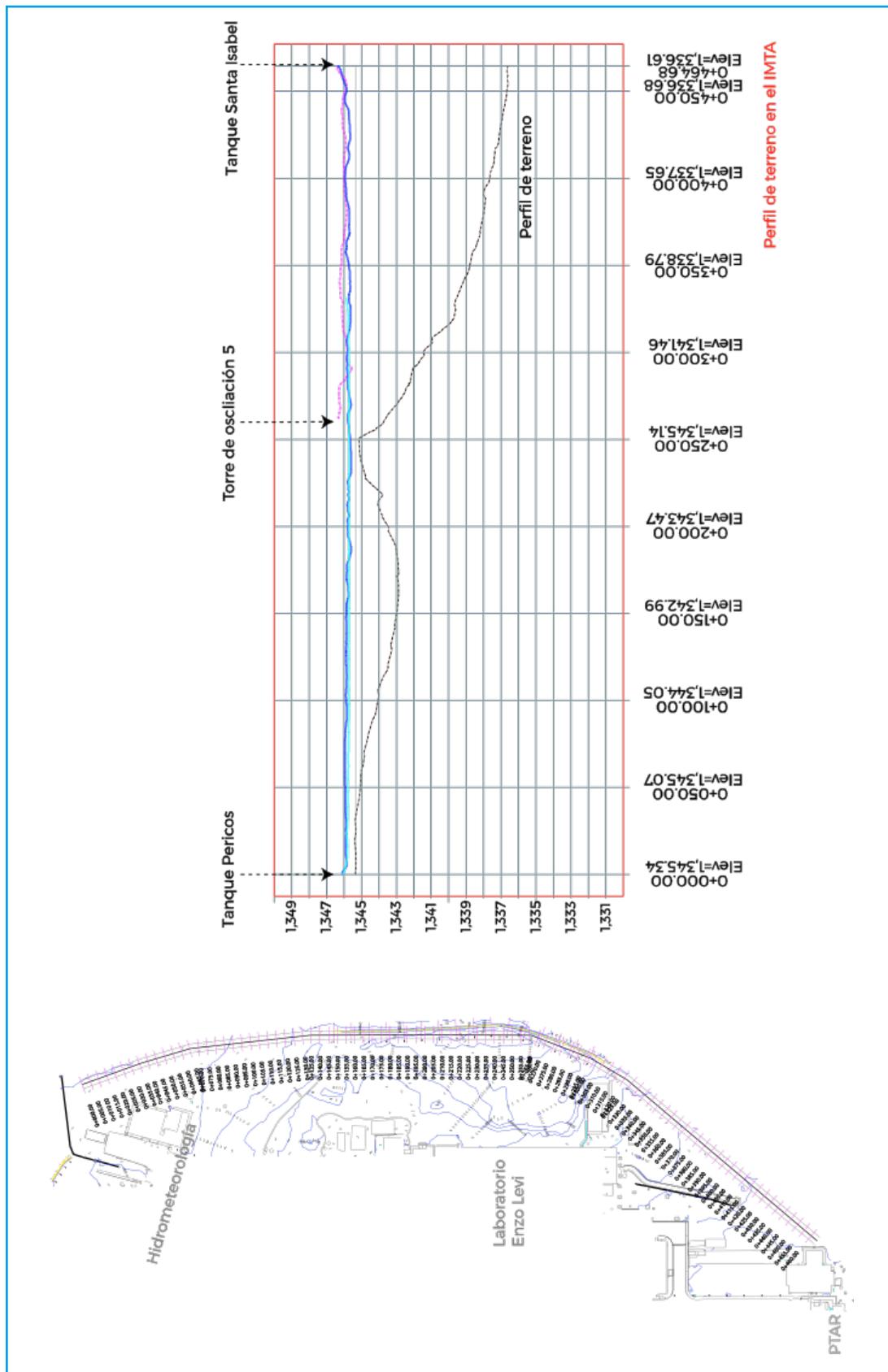


Ilustración 1.14 Planta y perfil del terreno en el IMTA

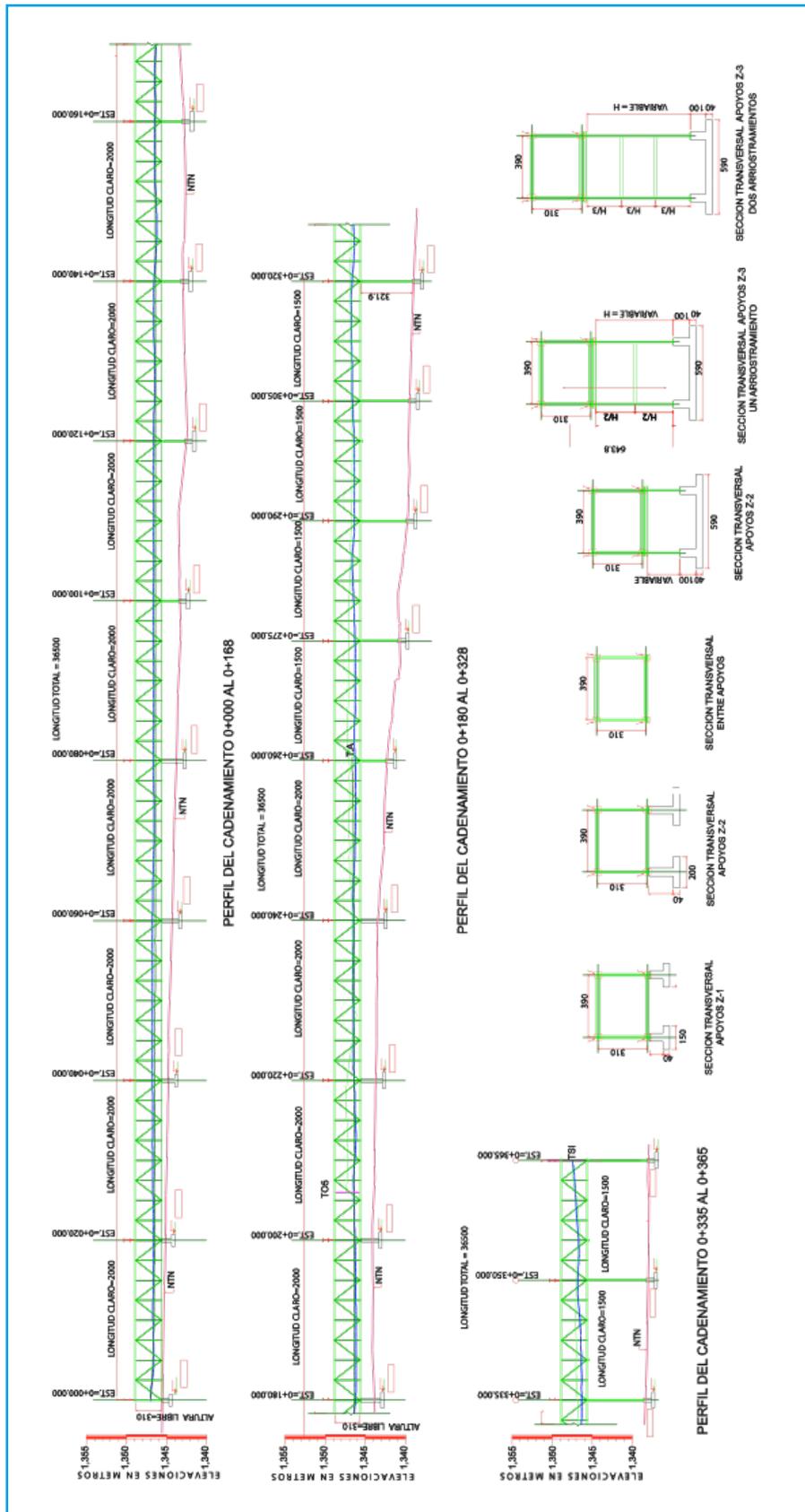


Ilustración 1.15 Estructura para modelo y cubierta

1.8. TALLERES DE ADIESTRAMIENTO EN EL FUNCIONAMIENTO DEL MODELO MATEMÁTICO REALIZADO

1.8.1. CURSO DE SIMULACIÓN DE REDES CON EPANET

El curso se desarrolló en instalaciones de la Comisión Nacional del Agua los días 6 y 8

de noviembre de 2018, con la participación de 12 técnicos de la Subdirección General Técnica y del Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México. En la Ilustración 1.17 se presenta la lista de asistencia del curso de Epanet.



Ilustración 1.16 Participantes del curso de Epanet en Oficinas de Conagua

Estudio para restituir y mejorar la capacidad de conducción, mediante un manejo adecuado del aire y optimización del funcionamiento hidráulico, en las líneas 1 y 2 del sistema Cutzamala

Nombre del Curso:		Simulación de redes de distribución de agua potable con EPANET	
Nombre de los Instructores:		M. en I. Manuel Rodríguez Varela M. en I. Rodrigo Ulises Santos Tellez M. en I. Humberto Ramírez Rivera	
Lugar de Impartición:		Comisión Nacional del Agua	
		Coordinador del Curso: M. en I. Rodrigo Ulises Santos Tellez	

No.	Nombre del Participante	Firma	
		6 de noviembre	8 de noviembre
1	JOSÉ IVÁN VERA BENÍTEZ		
2	Javier Villegas de Jesús		
3	Alma de la Cruz López Baez		
4	DIEGO PEDROZO ACUÑA		
5	TIMOTEO GÓMEZ ASCIÑA		
6	Lourdes De Santiago Carretta		
7	KAREN YADIRA AGUILAR CIVERA		
8	Carlos Eduardo Rodríguez Hernández		
9	JORGE ARMANDO LAUREL CASTILLO		
10	Andrés Gómez Arceaga		
11	Abelias Neutón Ayala		
12	Nahum Munive Miranda		
13			
14			
15			

Ilustración 1.17 Lista de asistencia del curso de Epanet

1.8.2. DISEÑO Y SIMULACIÓN DE ALCANTARILLADO PLUVIAL Y SANITARIO CON EL USO DEL SWMM

El curso se desarrolló en instalaciones de la Comisión Nacional del Agua los días 10 y 11 de diciembre de 2018, con la participación de 11 técnicos de la Subdirección General Técnica y del Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México. En la Ilustración 1.19 se presenta la lista de asistencia del curso de SWMM.



Ilustración 1.18 Participantes del curso de Epanet en Oficinas de Conagua

CURSO
"SISTEMA STORM WATER MANAGEMENT MODEL (SWMM)"
 10-11 de diciembre del 2018, Comisión Nacional del Agua
 Horario de las a 09:00 las 14:00 horas

No.	Nombre	Signatura
1	Hugo Juan Vera Benitez	[Signature]
2	Stolas Montoya Ayala	[Signature]
3	Alma de la Cruz Jarama Rizo	[Signature]
4	Javier Vilchus de Jesús	[Signature]
5	Timoteo Gómez Aspíria	[Signature]
6	Karen Yadira Aguilar Cruz	[Signature]
7	JORGE ARMANDO LAUREL CASTILLO	[Signature]
8	Nahum Monive Miranda	[Signature]
9	DIEGO PEDROZO ACUÑA	[Signature]
10	Carlos Eduardo Vargas Gerocho	[Signature]
11	Leandra De Santiago Caretta	[Signature]

Ilustración 1.19 Lista de asistencia del curso de Epanet



ANTECEDENTES

El agotamiento de los recursos hídricos de la Cuenca Lerma, los conflictos regionales y, sobre todo, los hundimientos progresivos del subsuelo de la Ciudad de México por la extracción de agua para fines de consumo humano; son situaciones por las cuales a principios de la década de 1950 se puso en operación el Sistema Lerma, que contaba en aquella década con 11 municipios del Estado de México conurbados a la capital. Para no continuar con el incremento del déficit hídrico el cual genera la sobreexplotación de las cuencas de los Valles de México y Toluca-Ixtlahuaca, se hizo necesario captar el agua de cuencas externas diferentes a la del Alto Lerma, que por esas fechas ya presentaba signos de sobreexplotación, por lo que en 1982 el Sistema Cutzamala inicia su operación con un gasto de 4 m³/segundo.

El Sistema Cutzamala, se ha convertido en una de las principales fuentes de abastecimiento de agua potable más grande del país, que aprovecha las aguas de la cuenca alta del río del mismo nombre, que provienen de las presas Tuxpan y El Bosque, en el Estado de Michoacán, y Colorines, Ixtapan del Oro, Villa Victoria y Valle de Bravo, en el estado de México, que anteriormente formaban parte del Sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán, así como la presa Chilesdo, que fue necesario construir para aprovechar las aguas del río Malacatepec.

En la primera etapa de operación del Sistema Cutzamala, se aportaron 4 m³/s de la presa Villa Victoria, se construyó la planta de bombeo N° 5, así como la subestación eléctrica que reduce la tensión con la que funcionan sus equipos.

En la segunda etapa de operación del Sistema Cutzamala, en 1985, se incrementó el gasto a 10 m³/s, así pues, comenzó el funcionamiento de la parte del sistema de la presa Valle de Bravo a la planta potabilizadora “Los Berros”, aprovechando 6 m³/s, de esa presa, para lo cual se construyeron las plantas de bombeo 2, 3 y 4, y se instalaron los primeros tres conjuntos motores-bomba-válvula esférica, de los seis proyectados para cada planta.

La tercera etapa está integrada por los Sub-sistemas Chilesdo y Colorines para un aprovechamiento total de 9 m³/s. El primero se encuentra en operación desde enero de 1993 aportando 1 m³/s, en promedio y hasta 5 m³/s, en época de avenidas. Capta las aguas del río Malacatepec en la presa Chilesdo, con lo cual se evita que el agua se escurra hasta la presa Colorines, y se reducen los costos de operación, ya que la carga de bombeo de este punto a la planta potabilizadora es de 275 metros y desde la presa Colorines de 980 metros.

En la cuarta etapa, se consideraba el aprovechamiento de las aguas del río Temascaltepec, sin embargo, por conflictos sociales en la zona no se han podido iniciar las obras que permitirían incrementar el caudal de operación del sistema en 4.5 metros cúbicos por segundo adicionales.

El Sistema Cutzamala, está integrado por 7 presas (Ilustración 2.1):

- Presas de almacenamiento:
 - Tuxpan
 - Ixtapan del Oro
 - Colorines

- Presas derivadoras:
 - El Bosque
 - Valle de Bravo
 - Villa Victoria
 - Chilesdo

Además de contar con la siguiente infraestructura:

- 6 macro plantas de bombeo
- 205.70 kilómetros de tuberías de acero y concreto pretensado con diámetros entre 1.07 y 3.5 metros
- 72.55 Kilómetros de canales abiertos
- 44 Kilómetros de túneles

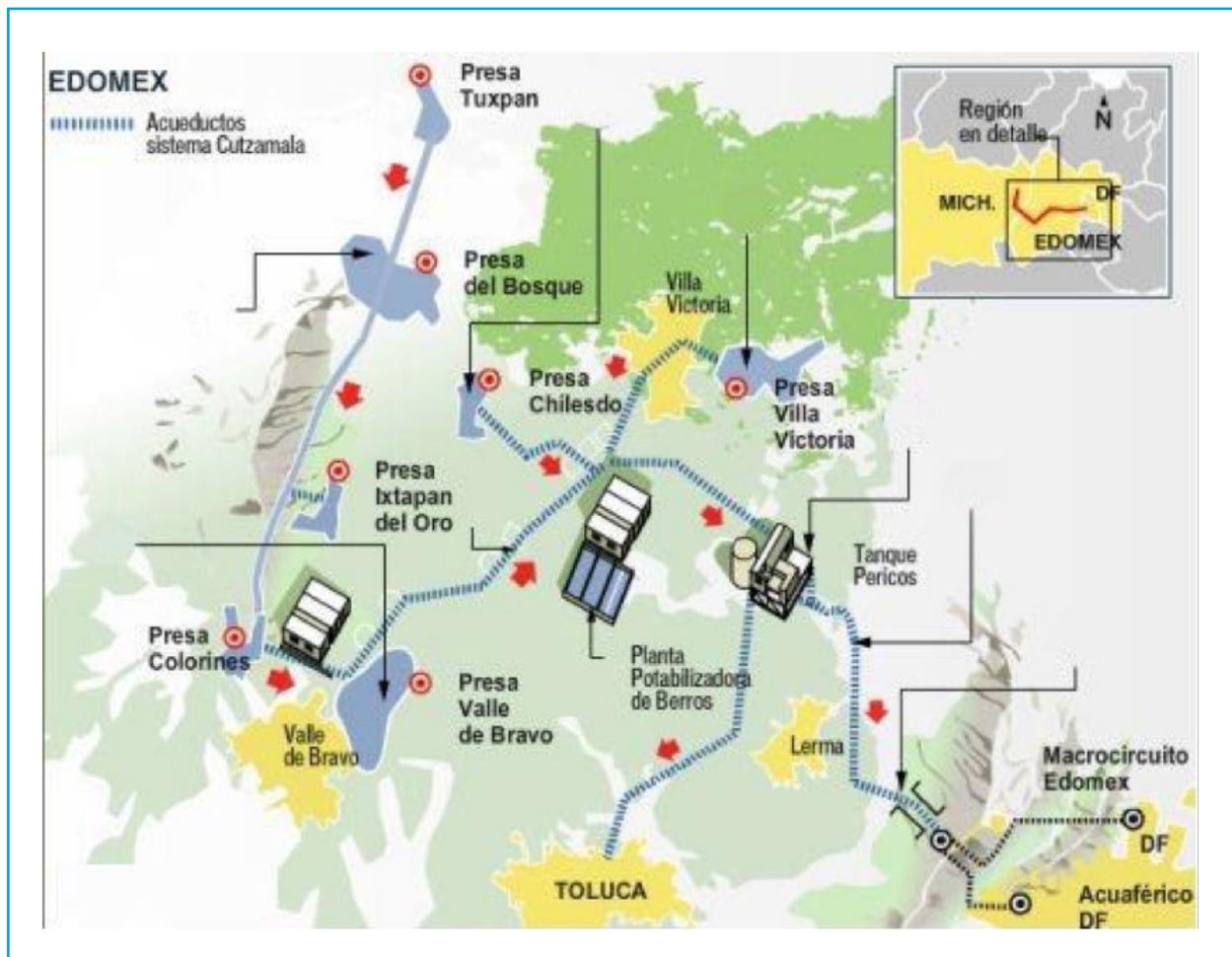


Ilustración 2.1 Lista de asistencia del curso de Epanet

El Sistema Cutzamala es un sistema hídrico con más de 32 años de funcionamiento, infraestructura para el almacenamiento, conducción, potabilización y distribución de agua potable para la población e industria de la Ciudad de México y el Estado de México, de éste último la ubicada en las zonas centrales de la Cuenca de México y el Valle de Toluca. Siendo considerada una de las mayores obras de ingeniería civil en el mundo, ya que debe bombearse el agua desde una altura de 1600 m.s.n.m. en su punto más bajo hasta los 2702 m.s.n.m. en su punto más alto, este sistema se extiende por las entidades de Michoacán, Estado de México y la Ciudad de México.

La CONAGUA, a través del Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México (OCAVM) y el Sistema Cutzamala operan la Planta Potabilizadora Los Berros en donde se potabiliza el agua y es bombeada hasta la Torre de Oscilación número 5 (TO5), para posteriormente ser conducida por gravedad hasta el Portal de Entrada del Túnel Análco San José (TASJ), pasando por las cajas rompedoras de presión Tanque Santa Isabel (TSI) y Tanque Pericos (TP), lo anterior se logra a través de dos líneas de conducción conformadas por tubos de concreto pretensado, mejor conocidas como líneas de conducción del Sistema Cutzamala (Línea 1 y Línea 2), las cuales son paralelas entre sí (Ilustración 2.2).

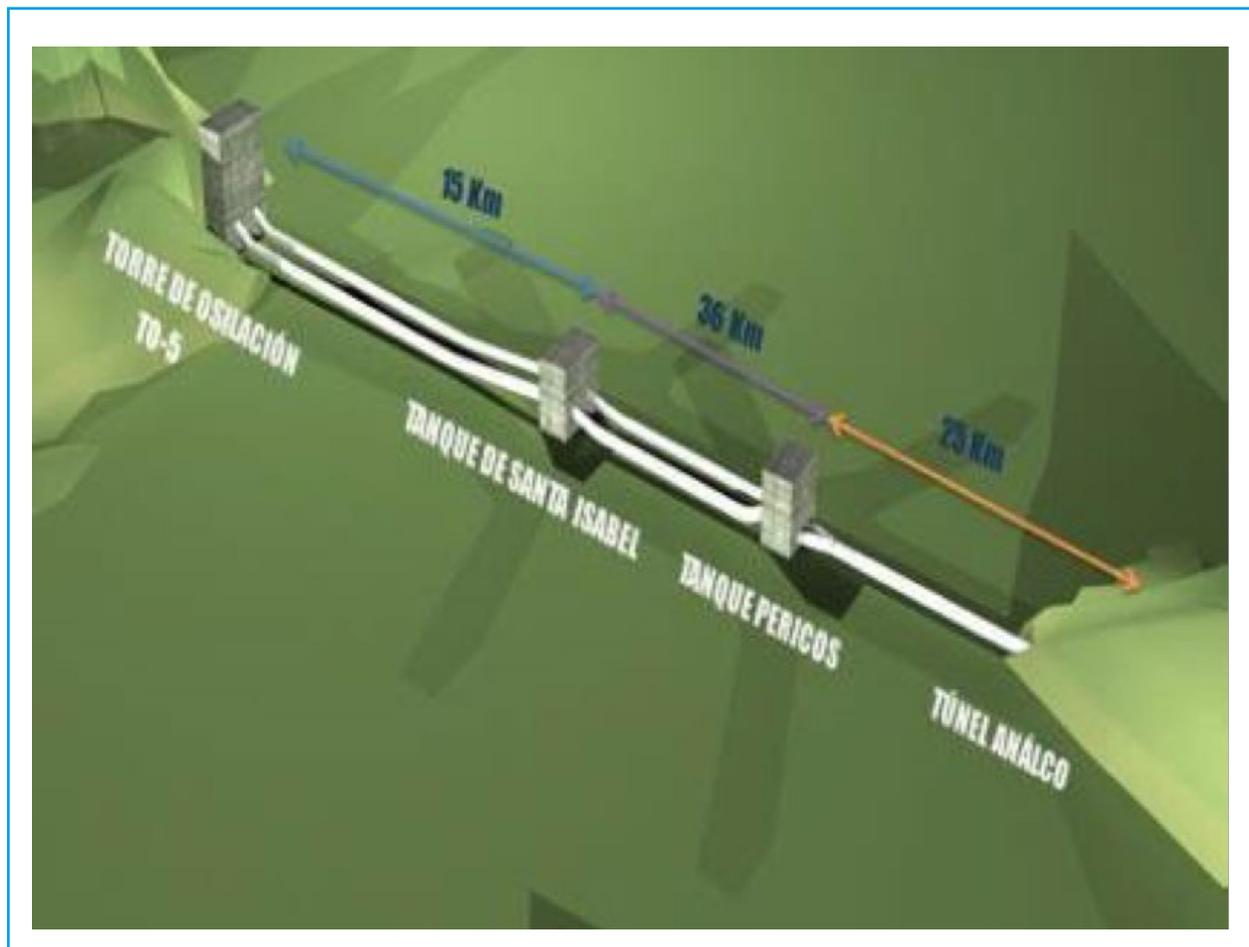


Ilustración 2.2 Esquema de las dos líneas de conducción

El crecimiento de la población en la zona metropolitana de la Ciudad de México y del Valle de Toluca, la consecuente demanda de agua potable, y la falta de fuentes alternas de suministro de agua a incorporar en el corto plazo, son las causas que motivan mantener operando en condiciones adecuadas esta infraestructura existente, para evitar problemas de desabasto y conflictos sociales y así garantizar un abastecimiento continuo en cantidad y calidad.

El agua es conducida a la Planta Potabilizadora Los Berros, y una vez potabilizada, por medio de la Planta de Bombeo No. 5 se eleva a la Torre de Oscilación No. 5, proporcionando carga suficiente para que sea llevada por gravedad a través de las Líneas 1 y 2 existentes hacia la Ciudad de Toluca, así como a la Ciudad de México y Zona Metropolitana, con el gasto de diseño de 12 m³/s por cada línea. Pocos meses después de ser construidas, la Línea 1, cuya construcción se terminó en el año 1982, y la Línea 2 en el año 1990, llegaron a operar con este gasto, pero a través de los años del funcionamiento y en la actualidad, en el tramo a gravedad, entre la Torre de Oscilación No. 5 y el portal de entrada al Túnel Análco-San José, se ha presentado una importante disminución del gasto conducido, llegando a ser de unos 8 m³/s por cada línea. Se tiene conocimiento que al intentar conducir mayores gastos se presenta derrame del agua en los tanques intermedios, por capacidad de conducción reducida. Se han presentado también fallas en las tuberías de conducción, casos en que se ha suprimido el abastecimiento de agua potable hacia la ciudad de Toluca y el Distrito

Federal, con su área conurbada del Estado de México, con graves consecuencias.

La disminución de la capacidad de conducción puede deberse, en principio, a un incremento en la rugosidad de los tubos a través de los años de operación o a la presencia de aire atrapado en las tuberías como consecuencia del vaciado parcial y consecuente llenado de las líneas en los operativos de mantenimiento o reparación, con funcionamiento inadecuado de las válvulas de admisión y expulsión de aire (VAEAs), una cantidad insuficiente, o ubicación incorrecta de las mismas. Las burbujas de aire atrapado que se formarían pueden permanecer en lugares fijos, o trasladarse a lo largo de las líneas causando no sólo capacidad de conducción reducida sino también sobrepresiones importantes que pudieron haber sido las causas de las fallas que se han presentado en los tubos. Dada la magnitud, complejidad e importancia del sistema, es necesario implementar un estudio para conocer el comportamiento de estos fenómenos, diagnosticar el funcionamiento de las Líneas 1 y 2 en el transcurso de los años que llevan operando y proponer alternativas de solución o mitigación.

En el año 2017 el IMTA realizó para la CONAGUA la primera etapa del “Estudio para restituir y mejorar la capacidad de conducción, mediante un manejo adecuado del aire y optimización del funcionamiento hidráulico, en las líneas 1 y 2 del sistema Cutzamala”, en el cual, entre otros resultados, se determinaron posibles soluciones para incrementar la capacidad de conducción de

las líneas 1 y 2 del sistema Cutzamala y se definió el diseño, ubicación y parámetros de las válvulas de admisión y expulsión de aire (VAEAs) y desfogues de la nueva línea 3 (L3) que se encuentra en construcción. Por medio de inspección del funcionamiento de las VAEAs existentes en las líneas 1 y 2, mediciones de presión en las mismas, análisis hidráulico apoyado en los datos medidos y un modelo matemático del sistema, se determinó que los tramos del Tanque Santa Isabel al Tanque Pericos y del Tanque Pericos al Túnel Análco San José tienen una capacidad de conducción suficiente para conducir caudales mayores por lo que el caudal de operación actual podría incrementarse sin cambios importantes en estos dos tramos. En el tramo de la Torre de Oscilación 5 al Tanque Santa Isabel (TO5-TSI), sin embargo, se detectó una resistencia hidráulica mucho mayor que la esperada, que podría deberse a problemas de atrapamiento de aire (este tramo tiene partes con pendientes muy fuertes), funcionamiento inadecuado de las VAEAs y una cantidad insuficiente o ubicación incorrecta de las mismas, pero también a un incremento en la rugosidad de los tubos a través de los años de operación.

No obstante tales suposiciones no pudieron ser comprobadas con mediciones de presión en las VAEAs del tramo en la primera etapa del proyecto, dado que la mayor parte de las VAEAs en este tramo son de tipo VAEA combinada que integra la válvula de admisión y expulsión de aire y la válvula eliminadora de aire en un solo cuerpo, por lo que no están habilitadas para medir presión en las mismas.

El estudio del año 2017 se limitó a la línea 1, dado que no se tuvieron planos para la línea 2. Por otra parte, en el año 2017 CONAGUA rescindió su contrato con la empresa constructora de un tramo de la línea 3 del sistema Cutzamala, con lo que se espera cierta redefinición de las VAEAs y desfogues en dicho tramo en el proceso de construcción.

A pesar de la importancia de tener interconexiones entre las líneas 1 y 2 existentes, y la nueva línea 3, el proyecto original de la línea 3 no considera tales interconexiones. Con la terminación de la línea 3, prevista para el año 2018, las interconexiones adquieren más importancia. Para dar respuesta a estos pendientes, se realizó la presente etapa del estudio en el año 2018.



OBJETIVOS

Dar continuidad a los análisis hidráulicos en flujo permanente y transitorio de las líneas 1 y 2, considerando la incorporación de la línea 3.

3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Con base en lo anterior se busca alcanzar los objetivos específicos siguientes:

- Conformar los planos de la línea 2, para llevar a cabo un diagnóstico del modelo de llenado, operación y funcionamiento hidráulico en flujo permanente y transitorio de la L2.
- Realizar la simulación operativa de las interconexiones entre las líneas a gravedad 1, 2 y 3, del Sistema Cutzamala; habilitando la medición de presión en todas las válvulas de admisión y expulsión de aire del tramo Torre de Oscilación 5 (TO5)-Tanque Santa Isabel (TSI).
- Diseñar conceptualmente un modelo físico a escala del sistema Cutzamala, del tramo a gravedad, entre la Torre de Oscilación 5 y el portal de entrada al Túnel Análco-San José.
- Analizar la línea 3 (L3) y llevar a cabo la revisión de las VAEAs y desfogues del tramo de la Línea 3 en construcción en 2018
- Realizar el adiestramiento a personal de CONAGUA y de OCAVM en el manejo e interpretación de los modelos matemáticos Epanet y (Storm Water ManagementModel) SWMM.



METODOLOGÍA

Para alcanzar los objetivos descritos se ejecutaron trabajos de campo y gabinete, utilizando para ello los métodos y técnicas más actualizadas, empleando las teorías y procedimientos comunes en la práctica, así como los software o modelos matemáticos sin contravenir las normas utilizadas por la Conagua.

En los siguientes apartados se describe la metodología y alcance de los trabajos que se han realizado. Los trabajos presentados, se apegan a las especificaciones que se detallan a continuación:

Se realizaron visitas de campo y reconocimiento al área en estudio, en las que recabó información relacionada con el estudio y proyecto de solución, efectuándose además el recorrido de campo indicando los posibles puntos de control que se requieran verificar y los que servirán para definir la altimetría de localización de VAEAs con eliminadoras de aire, correspondientes a la línea 2 y los avances en la construcción de la línea 3.



DESARROLLO DEL PROYECTO

5.1. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN RECABADA Y CONFORMACIÓN DE PLANOS PARA LA L2 Y ACTUALIZACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO DE LA L2

5.1.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Para la actualización de la información referente a la línea 2 del sistema Cutzamala, se realizó una reunión con el personal de la dirección técnica del Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México (OCAVM), en la cual el personal del IMTA presentó los objetivos del proyecto, y las necesidades para la realización de los mismos.

Como parte de esta reunión se recibió el plano más reciente de la línea 2 del sistema Cutzamala, en formato digital (L2 Final.dwg), que se considera como base para la realización del presente apartado. La información se analizó para comprender bien el funcionamiento del sistema en su conjunto, sus características particulares y puntos críticos.

5.1.2. ACTUALIZACIÓN DEL PLANO

Se revisó el plano entregado por parte del personal del OCAVM (planta, perfil), principalmente se identificó la localización de VAEAs y sus respectivas eliminadoras de aire, cotejadas con las identificadas en campo durante la primera etapa (2017).

Se revisó la ubicación de 169 válvulas de admisión y expulsión de aire en la línea 2 y se encontró discrepancia en la ubicación de 25 arreglos que corresponde al 15 % del total. Estas discrepancias pueden ser atribuidas a los distintos puntos de referencia para establecer los cadenamientos y errores de precisión en los equipos topográficos y de georeferenciación. La Tabla 5.1 muestra las discrepancias entre el plano y los datos del levantamiento en campo.

La mayor discrepancia es de 20 metros, los arreglos que presentan una discrepancia 0 corresponden a puntos para los cuales en texto se indica el cadenamiento correcto, pero que en el dibujo en planta están desfasados del sitio, tal como se muestra en la Ilustración 5.1. Se actualizó en plano con respecto a los datos de campo y se adjunta en el archivo Linea 2.dwg, en la carpeta planos.

Tabla 5.1 Discrepancias entre el plano de la línea 2 y los datos levantados en campo

Clave Del Arreglo	Elementos Del Arreglo	Id Original	Id en caja	Tramo	Cad base Ficha	Cad En Plano	Discrepancia
							(m)
L2 132	VAEA+ELIM+SEC	135	135	Tanque Pericos - túnel Análco	68+308	68+304	4
L2 124	VAEA+ELIM	127	127	Tanque Pericos - túnel Análco	64+682	64+684	2
L2 97	VAEA+ELIM+SEC	97	97	Tanque Pericos - túnel Análco	51+698	51+707	9
L2 91	VAEA+2ELIM+SEC	91	91	Tanque Santa Isabel -tanque Pericos	49+111	49+111	0
L2 90	VAEA+ELIM+SEC	90	90	Tanque Santa Isabel -tanque Pericos	48+935	48+950	15
L2 89	VAEA+ELIM+SEC	89	89	Tanque Santa Isabel -tanque Pericos	48+781	48+797	16
L2 80	VAEA+ELIM+SEC	80	80	Tanque Santa Isabel -tanque Pericos	44+959	44+959	0
L2 79	VAEA+ELIM+SEC	79	79	Tanque Santa Isabel -tanque Pericos	44+250	44+250	0
L2 76	VAEA+ELIM+SEC+FO	76	75	Tanque Santa Isabel -tanque Pericos	43+075	43+067	8
L2 73	VAEA+ELIM+SEC	73	73	Tanque Santa Isabel -tanque Pericos	40+910	40+910	0
L2 71	VAEA+ELIM+SEC+FO	71	70	Tanque Santa Isabel -tanque Pericos	40+516	40+513	3
L2 69	VAEA+ELIM+SEC	69	69	Tanque Santa Isabel -tanque Pericos	39+060	39+060	0
L2 66	VAEA+2ELIM+SEC	66	66	Tanque Santa Isabel -tanque Pericos	38+187	38+185	2
L2 65	VAEA+ELIM+SEC	65	65	Tanque Santa Isabel -tanque Pericos	37+993	37+999	6
L2 60	VAEA+ELIM+SEC	60	60	Tanque Santa Isabel -tanque Pericos	36+375	36+375	0
L2 53	VAEA+ELIM+SEC	53	53	Tanque Santa Isabel -tanque Pericos	32+164	32+184	20
L2 52	2VAEA+3SEC	52	52	Tanque Santa Isabel -tanque Pericos	31+341	31+337	4
L2 52-1	INCLUIDA EN L2 52	52	52	Tanque Santa Isabel -tanque Pericos	31+341	31+337	4
L2 49	VAEA+VMEGA+ELIM+SEC	49	49	Tanque Santa Isabel -tanque Pericos	27+734	27+734	0
L2 48	VAEA+ELIM+SEC	48	48	Tanque Santa Isabel -tanque Pericos	27+269	27+269	0
L2 47	VAEA+ELIM+SEC+FO	47	46	Tanque Santa Isabel -tanque Pericos	25+858	25+845	13
L2 45	2VAEA+3SEC	45	45	Tanque Santa Isabel -tanque Pericos	23+573	23+577	4
L2 45-1	INCLUIDA EN L2 45	45	45	Tanque Santa Isabel -tanque Pericos	23+573	23+577	4
L2 39	VAEA+ELIM+SEC	39	39	Tanque Santa Isabel -tanque Pericos	17+769	17+769	0
L2 20	VAEA+ELIM+SEC	20	S/I	Torre de oscilación 5 - tanque Santa Isabel	9+793	9+797	4

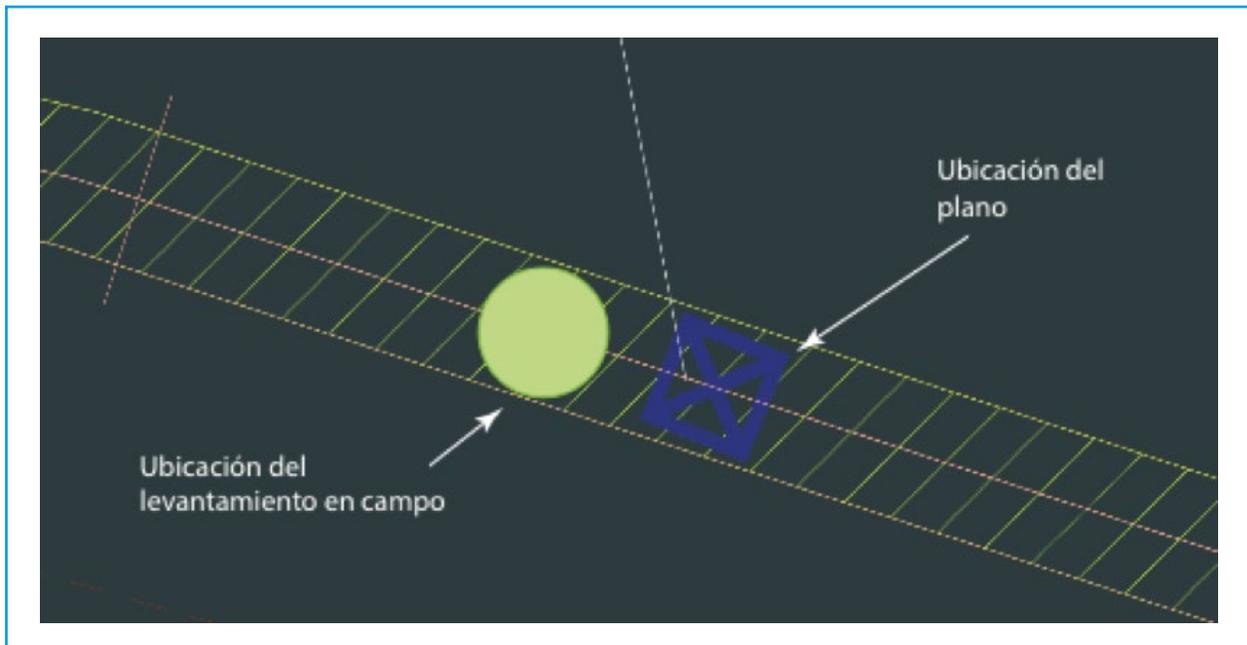


Ilustración 5.1 Discrepancia en plano

5.1.3. ACTUALIZACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN HIDRÁULICA

Con el plano actualizado se procede a actualizar los datos base del modelo de simulación hidráulica en los programas EPANET, Allievi y SWMM. La actualización corresponde a la elevación de los nodos que conforman el modelo, los niveles de llegada y salida de los tanques y el túnel Analco-San José.

5.1.4. MODELO SWMM

El modelo SWMM (su nombre completo en inglés es Storm Water Management Model) que al español se puede traducir como Modelo de Gestión de Aguas Urbanas, es una aplicación gestionada por la U.S. Environmental Protection Agency (EPA), con el potencial de reproducir los fenómenos de

escorrentía urbana y combinar fenómenos asociados a aguas residuales.

Para el transporte del escurrimiento dentro de los conductos en sistemas de drenaje complejo, con depósitos de retención, válvulas, etc., el programa SWMM puede resolver las ecuaciones completas de Saint Venant permitiendo la modelización de orificios, bombes, compuertas, depósitos, vertedores, etcétera.

Este modelo permite poder modelar conducción a flujo superficial o a presión, siendo de utilidad para el objetivo de la representación de la conducción de la principal fuente de abastecimiento a la CDMX.

Por lo que a continuación se explicarán las opciones de simulación utilizadas y los elementos que constituyen el modelo de simulación.

5.1.5. OPCIONES DE SIMULACIÓN

5.1.5.1. Condiciones para la propagación del flujo

Para considerar la condición de tanques, orificios, bombas y dentro de los conductos el remanso, se selecciona la ecuación de onda dinámica para que represente las condiciones que se establecen dentro del modelo de simulación (ver Ilustración 5.2).

Además se trabajará en el sistema internacional con las unidades de metros cúbicos por segundo (m^3/s).

5.1.5.2. Pasos de tiempo.

Los pasos de tiempo para el reporte de los resultados (reporting), el escurrimiento en clima seco (runoff dry weather) y escurrimiento en clima húmedo (runoff wet weather) será en intervalos de 10 minutos (ver Ilustración 5.3).

5.1.5.3. Condiciones de la onda dinámica (dynamic wave)

Para generar las condiciones de flujo, en las particularidades de la onda dinámica, se ignorarán los términos inerciales (inertial terms –ignore), el criterio para el flujo normal se realizará mediante la obtención del número de Froude (normal flow criterion–Froude number), y el cálculo de las pérdidas por fricción se realizará con la ecuación de Hazen-Williams (ver Ilustración 5.4).

5.1.5.4. Rugosidad de las tuberías

En cuestión de la rugosidad el modelo hidráulico requiere conocer el “n” de Manning, por tal motivo en el manual de EPANET de la EPA se presenta la tabla 3.1 que corresponde a los valores del coeficiente de Manning para diversas tuberías (<http://epanet.info/descargas/epanet2-es/>), en la Tabla 5.2 se presentan los materiales involucrados en el análisis.

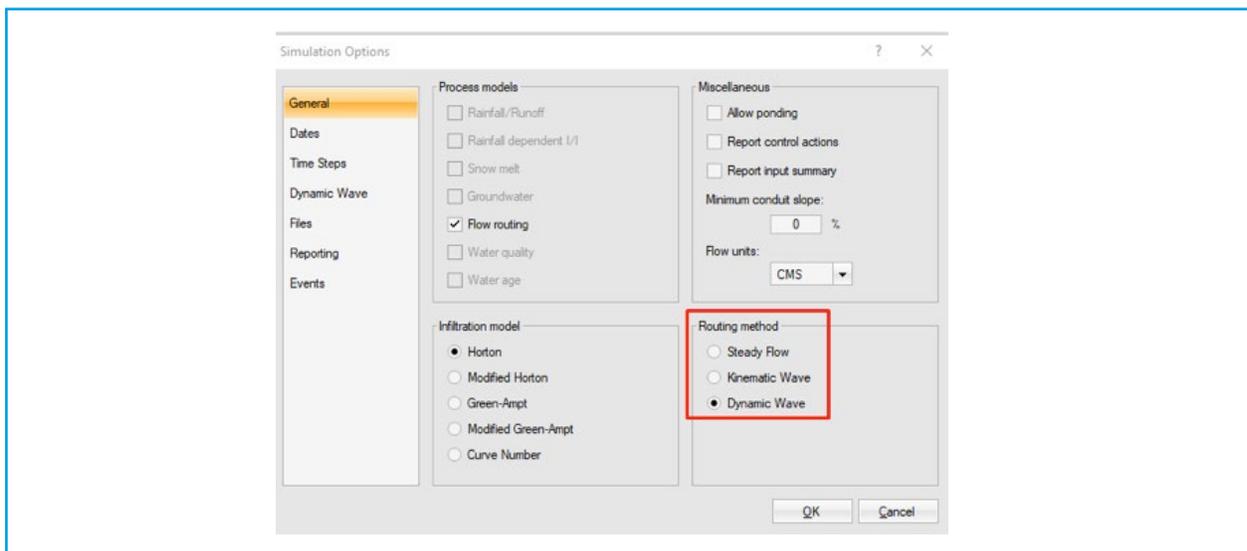


Ilustración 5.2 Método de propagación de flujo

De lo anterior para el estudio se utilizará el coeficiente de rugosidad de 0.017 para la tubería de concreto, se utiliza el valor máximo por su antigüedad; y para la tubería de acero el valor de la rugosidad de 0.015.

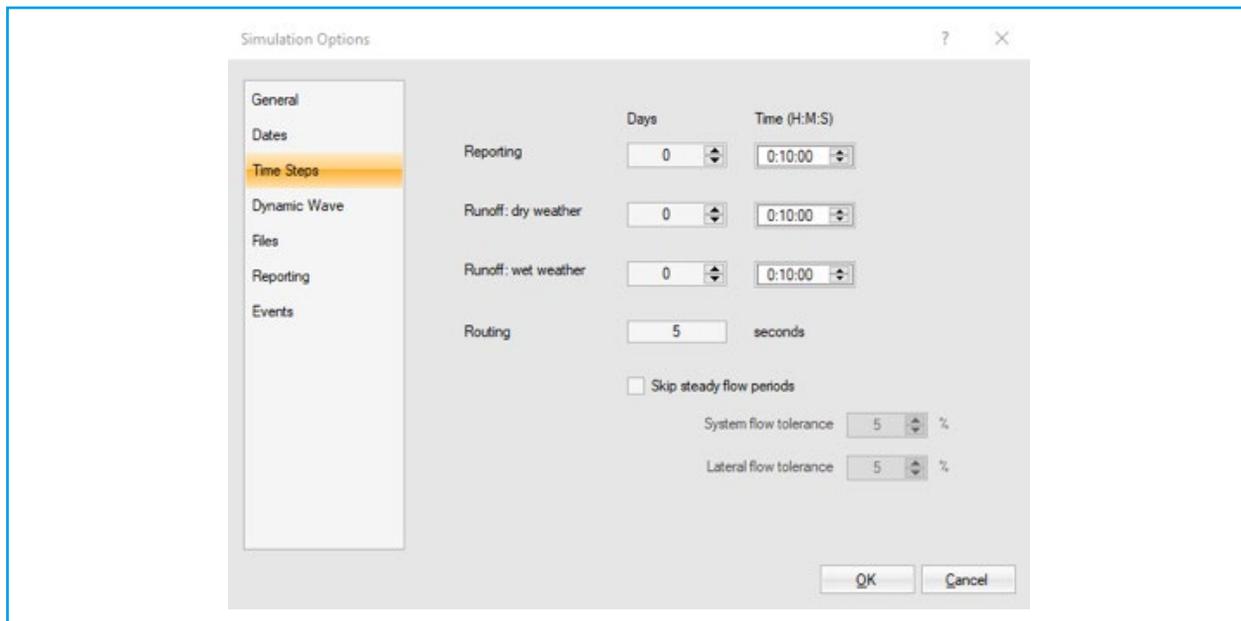


Ilustración 5.3 Pasos de tiempo del modelo

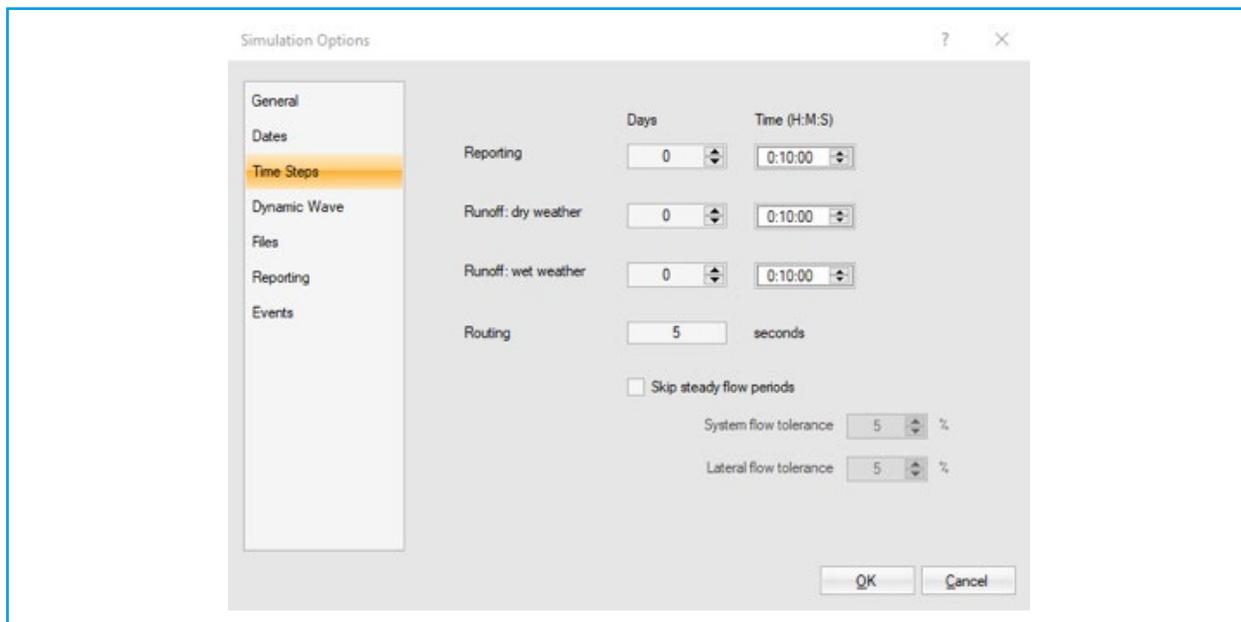


Ilustración 5.4 Opciones del método de propagación de flujo con la onda dinámica

Tabla 5.2 Coeficientes de Manning para las tuberías del sistema Cutzamala

Material	n de manning
Tubería de acero	0.015 - 0.017
Tubería de concreto	0.012-0.017

5.1.6. COMPONENTES DEL SISTEMA

5.1.6.1. Equipo de bombeo

El sistema Cutzamala cuenta con dos grupos de bombas en serie, el primer grupo se compone de 4 bombas y el segundo grupo de 6. En el primer grupo sólo funcionan 3

de las 4 bombas en condiciones normales de trabajo y en el segundo grupo funcionan 2 de las 6 bombas, con el objetivo de que cuando paren unas, se activen otras.

Las bombas que llevan por nombre P1, P2, P3 P4, P5 y P6 trabajan con la curva que a continuación se presenta, con un gasto máximo de 5 m³/s (ver Ilustración 5.5).

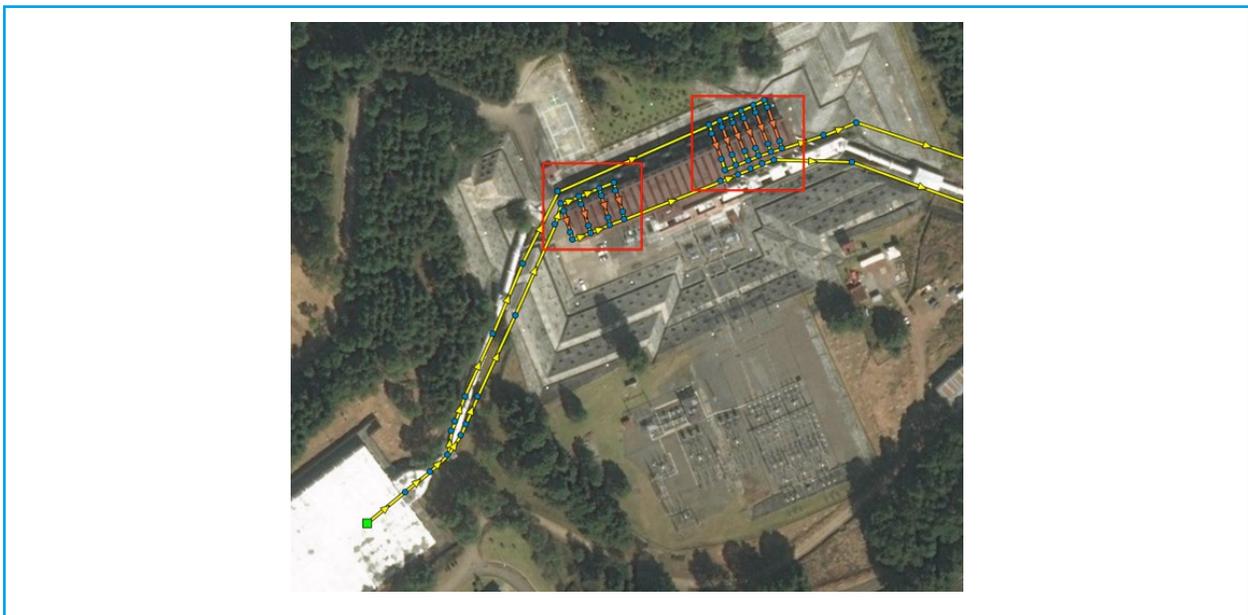
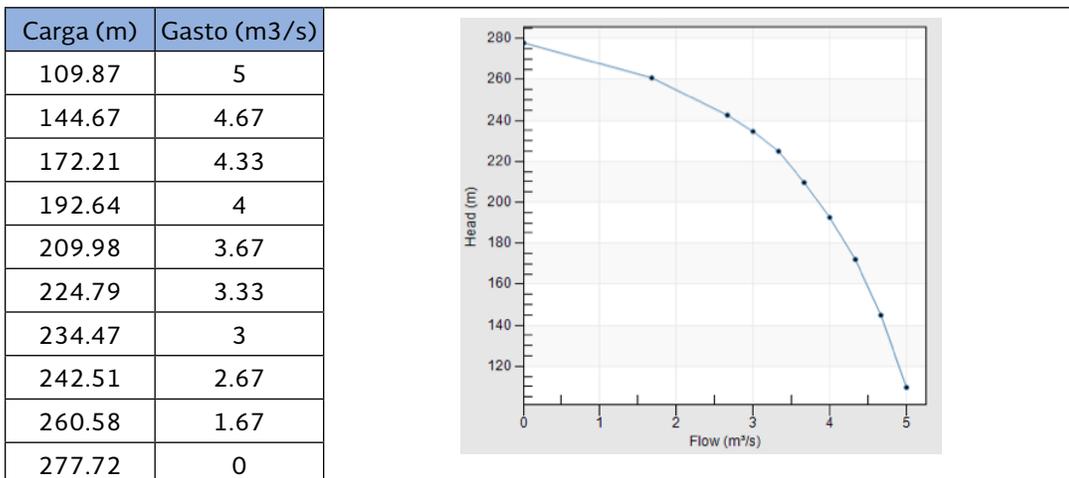


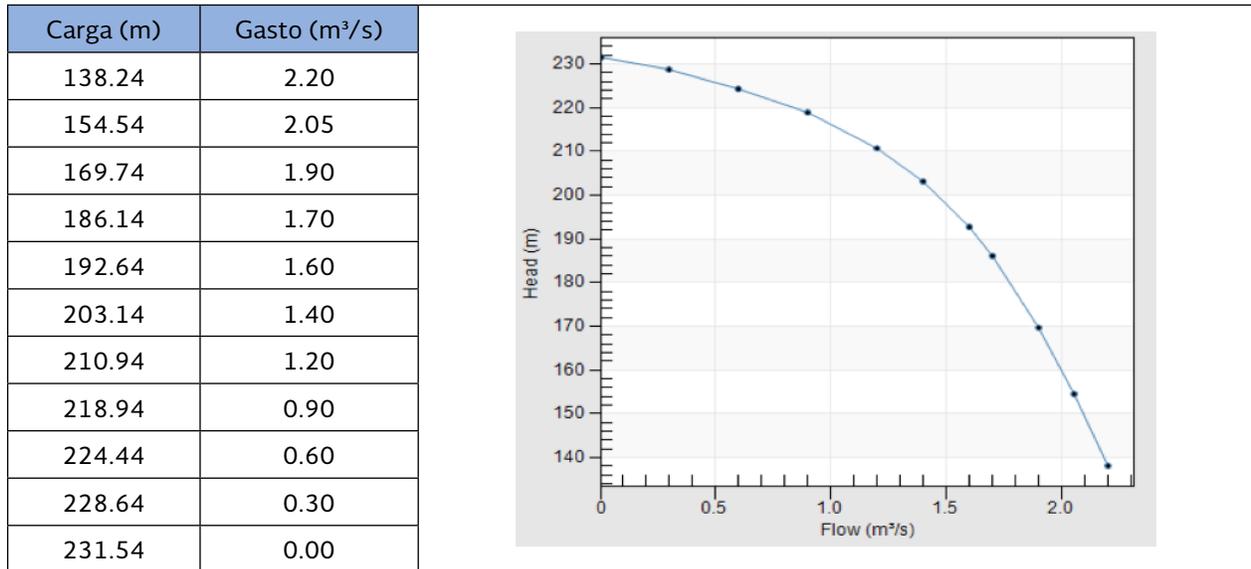
Ilustración 5.5 Equipo de bombeo del sistema Cutzamala Datos y ubicación de la torre de oscilación

Tabla 5.3 Curva para las bombas P1, P2, P3, P4, P5 y P6



Y las bombas P7, P8, P9 Y P10, trabajan con la siguiente curva que relaciona la carga y el gasto:

Tabla 5.4 Curva de la bomba para los equipos P7, P8, P9 Y P10



5.1.6.2. Torre de oscilación

2143871.84, con un almacenamiento de 15,730.00 m³, además de una altura de 50 m, y la cota de fondo es la 266.5 msnm.

La torre de oscilación se encuentra en las coordenadas X= 388464.29 y Y=

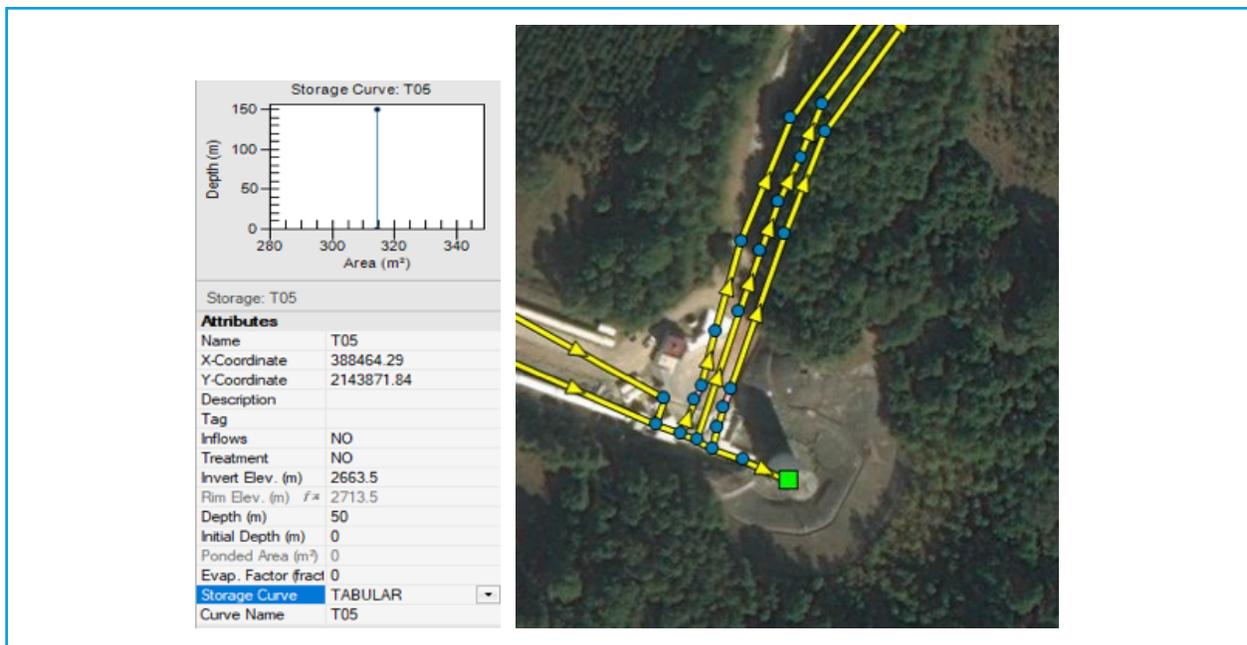


Ilustración 5.6 Datos y ubicación del tanque Santa Isabel

5.1.6.3. Tanque Santa Isabel

El tanque Santa Isabel se encuentra en las coordenadas X= 399930.897 y 2147041.308, cuenta con una altura de 6 metros y un volumen de almacenamiento de 3,600 m³.

5.1.6.4. Túnel Analco

El túnel Analco tiene la condición de salida o descarga del modelo hidráulico ya que lo componen 3 *outfalls* (salidas) en la cota 2595.12 msnm y con una condición de descarga libre, considerando la capacidad del túnel.

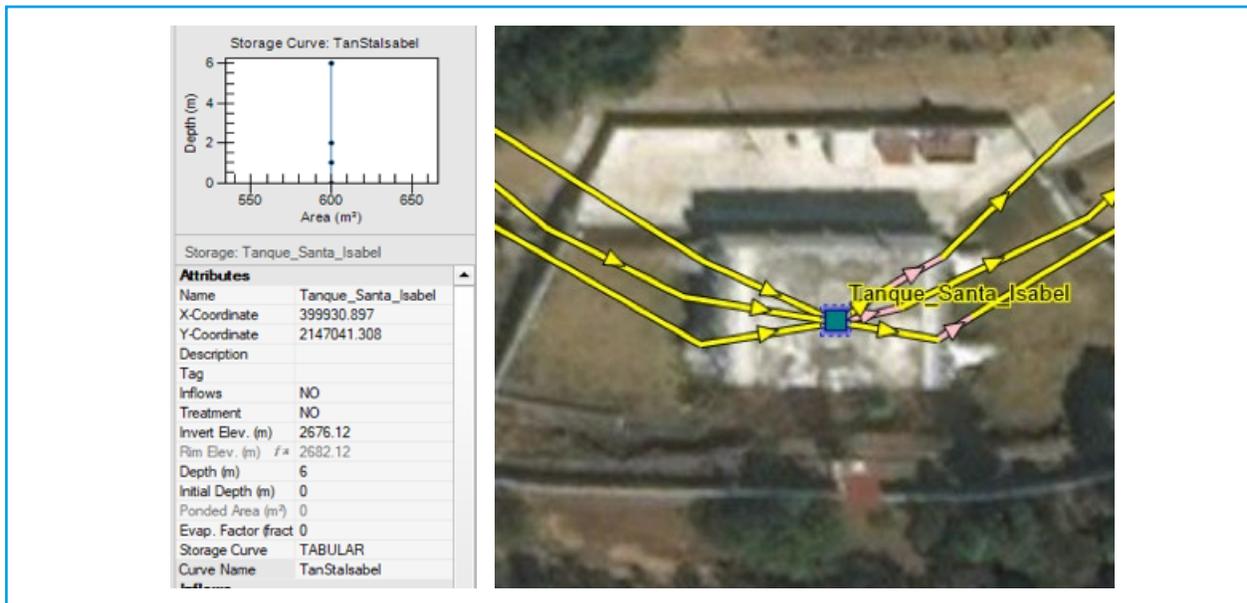


Ilustración 5.7 Datos y ubicación del tanque Santa Isabel



Ilustración 5.8 Datos y ubicación de la torre de oscilación

5.1.7. LÍNEA DE CONDUCCIÓN

Dada la longitud total del sistema, se establecen 3 tramos para establecer visualización y análisis de resultados; el primer tramo del sistema consistirá de la Torre de oscilación al Tanque Santa Isabel, el segundo tramo del Tanque Santa Isabel – Tanque Pericos y el último tramo consistirá del Tanque Pericos al Túnel Analco.

5.1.7.1. Primer tramo Torre de Oscilación – Tanque Santa Isabel

Este tramo es el primero en recibir las aguas de la planta potabilizadora “Los Berros”, mediante equipos de bombeo, y se encarga de conducir el agua hasta el tanque Santa Isabel. Las longitudes de los tramos son: de la línea 2, 15.629 km, línea 3, 15.609 km y la línea 1 tiene un recorrido de 15.604

km; cuentan con un diámetro de 2.51 m (100 pulgadas), dos de los tres conductos son de material de concreto (línea 1 y 2) y la otra línea (3) es de material de acero. La rugosidad para la línea 1 y 2 es de 0.017 (límite máximo por el envejecimiento de la misma), y la línea 3 le corresponde 0.015.

5.1.7.2. Tramo 2 Santa Isabel – Tanque Pericos

El segundo tramo se extiende del Tanque Santa Isabel al Tanque Pericos, en el cual se recorre una longitud de 36.032 km en la línea 1, para la línea 2 una longitud de 36.055 km, y para la línea 3, 36.043 km. Las tuberías tienen un diámetro de 2.51 m, de material concreto pretensado en las líneas 1 y 2; y acero en la línea 3, a que les corresponde una rugosidad de 0.017 y 0.015 respectivamente.

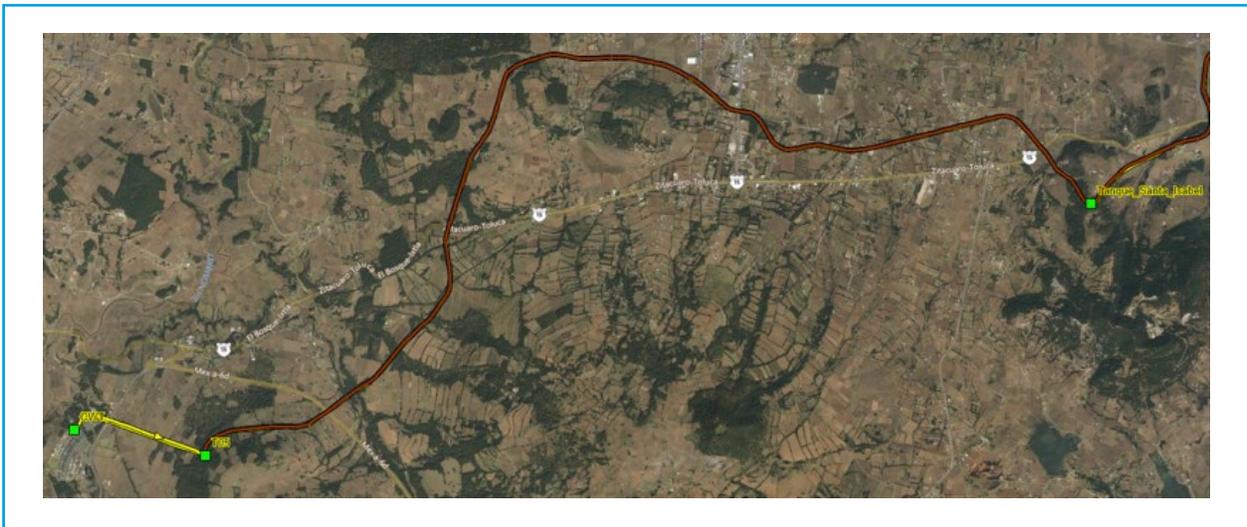


Ilustración 5.9 Primer tramo Torre de Oscilación – Tanque Santa Isabel

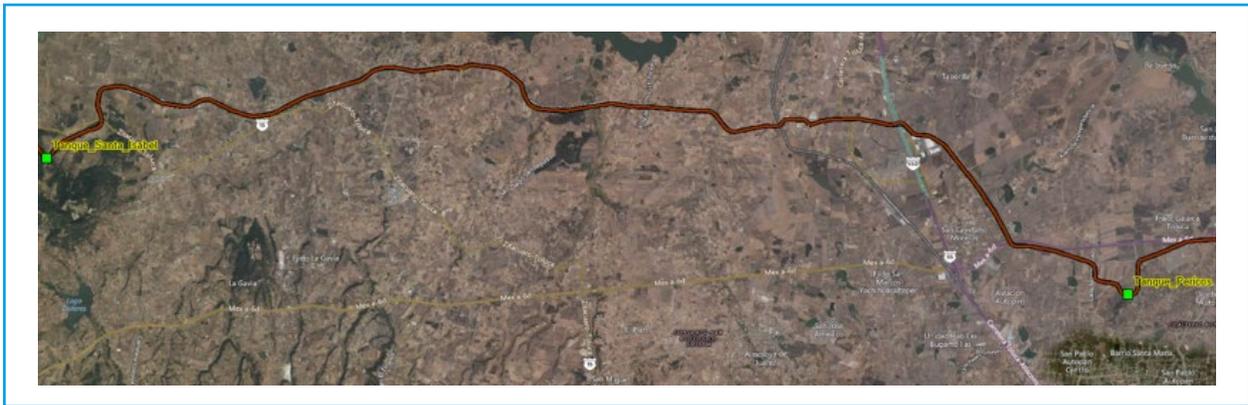


Ilustración 5.10 Tramo 2 Santa Isabel – Tanque Pericos

5.1.7.3. Tramo 3 Tanque Pericos – Túnel Analco

El tercer tramo contempla las líneas del Tanque Pericos al Túnel Analco donde la línea 1 recorre 25.73 km, la línea 2 tiene una longitud de 25.733 km y la línea 3 cuenta con 25.743 km, de igual manera que los anteriores tramos su diámetro y material no cambian (2.51 m de diámetro y material

de concreto la línea 1 y 2, mientras que la línea 3 es de acero), para la parte de las rugosidades se contempla $n=0.017$ para las líneas 1 y 2, y 0.015 para la línea 3.

5.1.8. FUNCIONAMIENTO ACTUAL DEL SISTEMA

Para el funcionamiento actual del sistema se explica el procedimiento inicial a continuación:

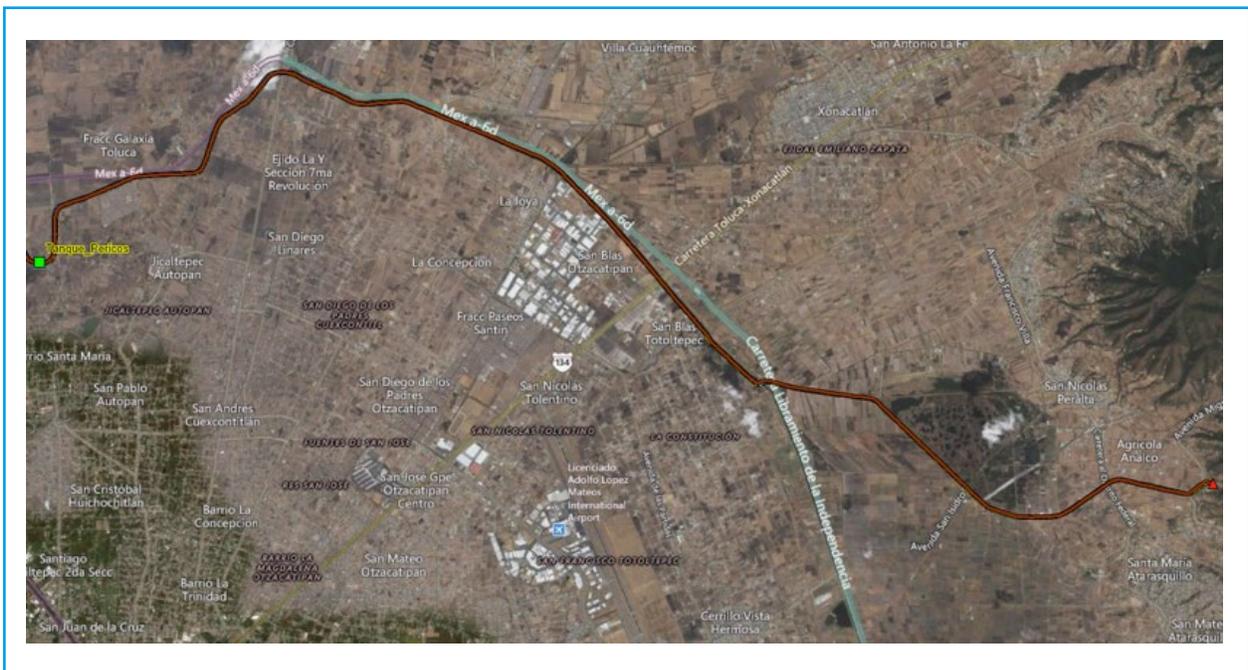


Ilustración 5.11 Tramo 2 Santa Isabel – Tanque Pericos

- De la Planta de potabilización “Los Berros” se conduce el agua hasta un tanque de regulación que alimenta a las bombas del sistema.
- El sistema cuenta con 10 bombas de la cuales 6 conducen $\pm 4 \text{ m}^3/\text{s}$ y las restantes (4 bombas) impulsan un gasto de $\pm 1.7 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Actualmente funcionan la línea 1 y 2, la 3 se encuentra en construcción por lo que en el modelo hidráulico tendrá un gasto 0.
- El agua parte del equipo de bombeo su recorrido hasta el Tanque Santa Isabel, donde el flujo es regulado y conducido a gravedad hasta el Tanque Pericos, posteriormente el agua recorre a gravedad el sistema hasta desembocar en el túnel Analco.
- El gasto que descargan las bombas, de acuerdo con los encargados del sistema, es aproximadamente $15 \text{ m}^3/\text{s}$.

5.1.8.1. Prueba con 5 bombas encendidas al mismo tiempo

De acuerdo con la información recopilada, el sistema de bombeo trabaja con 5 de las nueve bombas que tiene a disposición, funcionando en el modelo de simulación tres equipos que descargan $4 \text{ m}^3/\text{s}$ y dos equipos con $1.7 \text{ m}^3/\text{s}$, con lo que se presenta la condición de un gasto de $19.15 \text{ m}^3/\text{s}$ (ver Ilustración 5.12).

Un gasto máximo de $19.15 \text{ m}^3/\text{s}$ genera en el sistema mayor cantidad de flujo, dando como resultado el desbordamiento del Tanque Santa Isabel, lo anterior se le puede atribuir a que las curvas de bombeo presentadas son en condiciones “ideales” o del catálogo del proveedor, pero dado los mantenimientos realizados y antigüedad de los equipos de bombeo el gasto que desalojan puede ser menor al indicado en la curva de bombeo (ver Tabla 5.5).

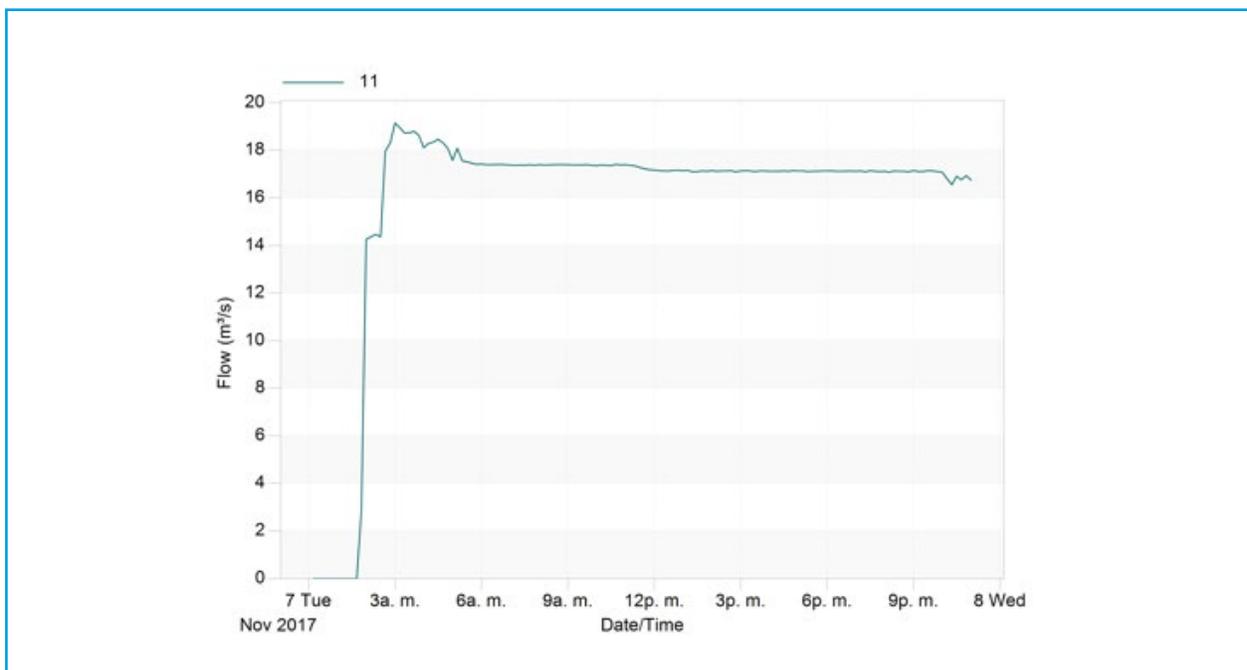


Ilustración 5.12 Gasto generado con 5 equipos prendidos

Por tal motivo para tener resultados sólo se encenderán 4 equipos, dos equipos que descargan 4 m³/s y dos equipos con 1.7 m³/s.

5.1.9. MODELO HIDRÁULICO EN CONDICIONES ACTUALES

El modelo hidráulico en condiciones actuales, toma en cuenta lo siguiente:

- 4 bombas se encuentran funcionando para aproximar el gasto de 15 m³/s
- La línea 3 que actualmente se encuentra en construcción no conduce gasto alguno
- La línea 1 y 2 son las que conducirán el gasto a los diferentes tanques hasta llegar al túnel Analco.

5.1.9.1. Resultados en la bombas

De los resultados de la simulación se tiene para la bomba P1 un gasto máximo de 5 m³/s y gasto medio de 4.72 m³/s y para la

bomba P2 un gasto de 5 m³/s, gasto medio de 4.73 m³/s (ver Ilustración 5.13).

Para la bomba se presenta un gasto máximo de 2.2 m³/s y gasto medio de 2.14 m³/s; y en la bomba P6 genera un gasto máximo de 2.2 m³/s y gasto medio de 2.15m³/s (ver Ilustración 5.14).

En la tubería antes de la descarga de la línea de conducción se presenta un gasto máximo de 14.59 m³/s (ver Ilustración 5.15), similar a lo reportado por el personal de la OCAVM (15 m³/s).

5.1.9.2. Resultados en los tanques del modelo de simulación

En el tanque oscilación, el flujo se va incrementado con el tiempo, llegando un nivel máximo en 24 horas de 29.64 m y un volumen almacenado de 9,311 m³, no presenta desbordamientos, funcionando de manera adecuada en la regulación del gasto (ver Ilustración 5.16).

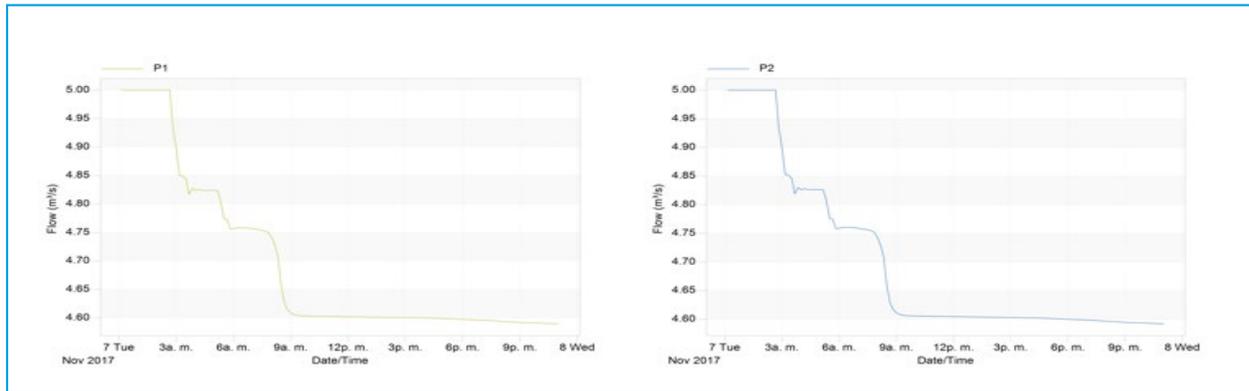


Ilustración 5.13 Relación Gasto – Horas en la bomba P1 y P2.

Tabla 5.5 Condiciones del desbordamiento en el tanque Santa Isabel

Tanque	Horas de desbordamiento	Volumen derramado (10 ⁶ L)
Santa Isabel	11.32	126.337

Para el tanque Santa Isabel se presenta la condición de tener un tirante máximo de 1.53 m, con un volumen de almacenamiento de 920 m³, este almacenamiento no presenta desbordamientos o problema alguno (ver Ilustración 5.17).

En el tanque Pericos se tiene un tirante máximo de 3.55 m que es la mitad del tanque (50 % de su capacidad) y un volumen de 285.5 m³ de almacenamiento, este tanque no presenta problemas de desbordamiento alguno (ver Ilustración 5.18).

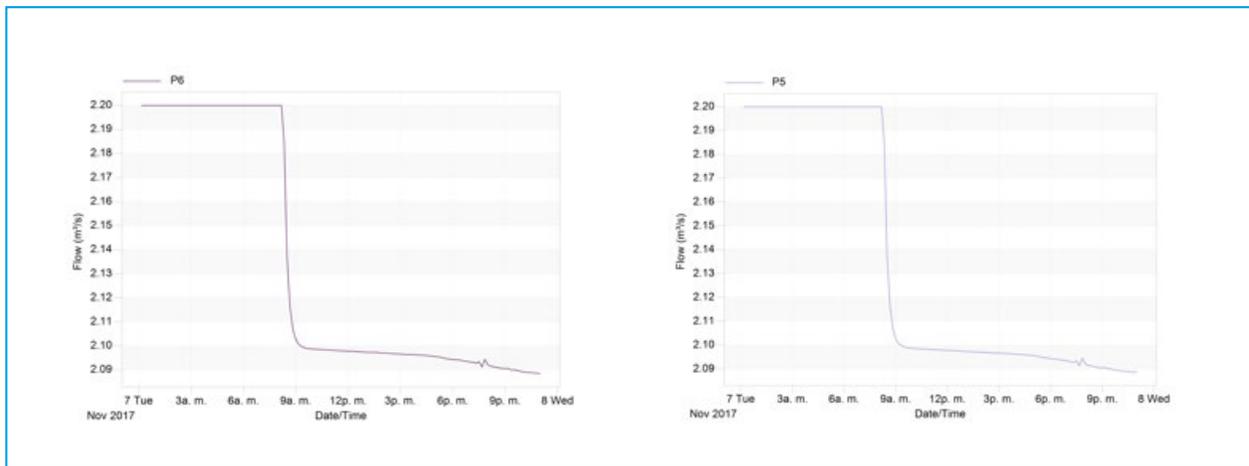


Ilustración 5.14 Relación Gasto – Horas en la bomba P5 y P6.



Ilustración 5.15 Gasto previo a la descarga previo a conducirse por la línea 1 y 2

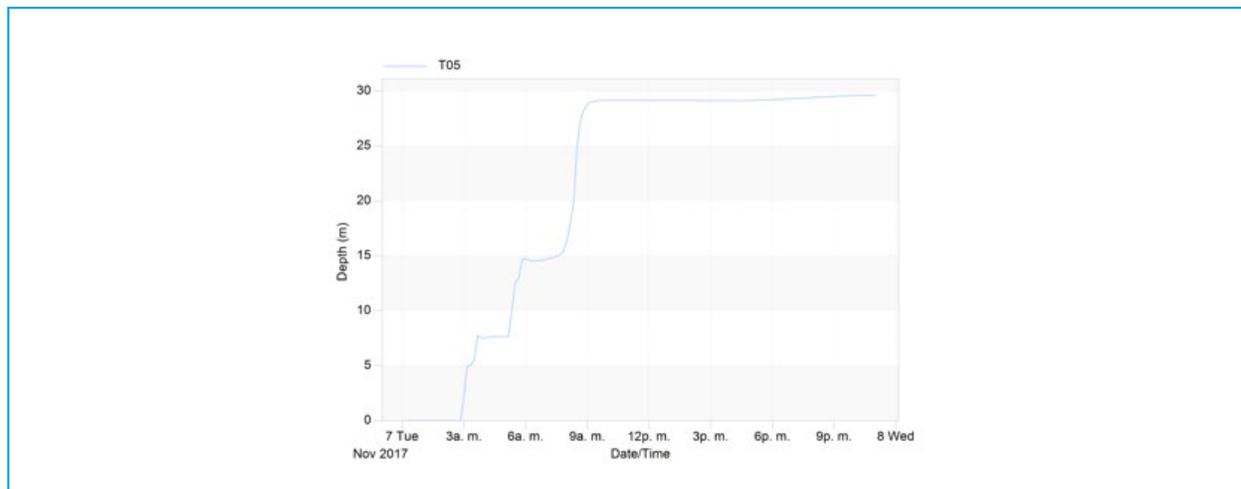


Ilustración 5.16 Relación Tirante – Tiempo en el tanque de Oscilación

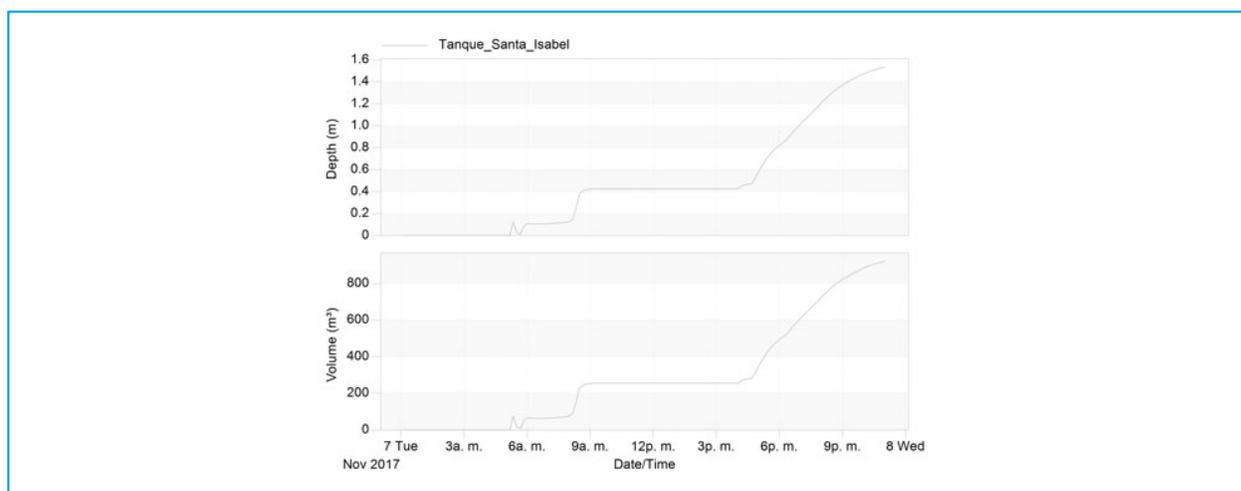


Ilustración 5.17 Tirante y Volumen presentado en tanque Santa Isabel durante el tiempo de simulación

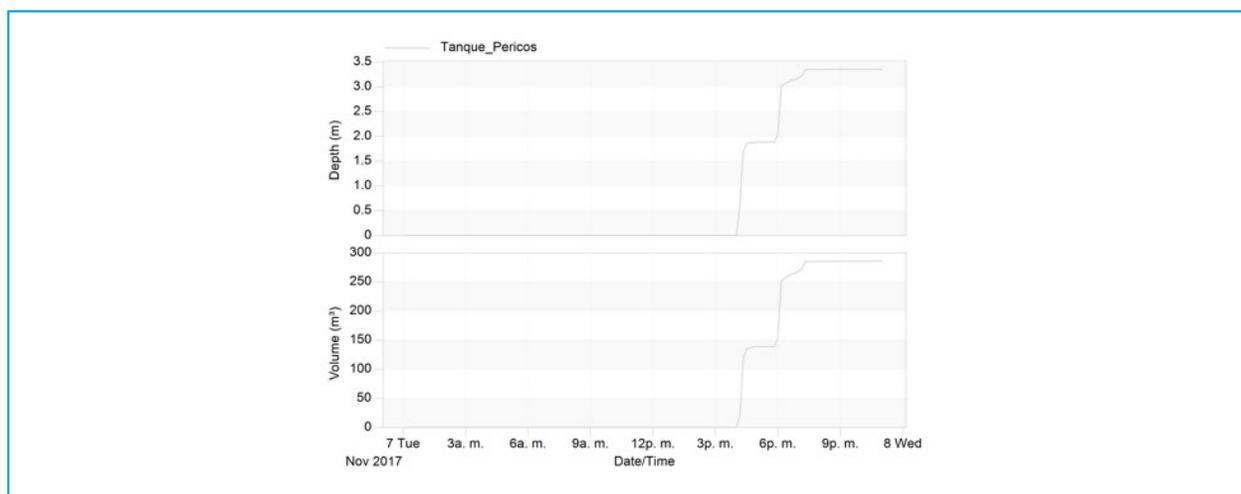


Ilustración 5.18 Tirante y Volumen presentado en tanque Pericos durante el tiempo de simulación

5.1.9.3. Resultados a la llegada del túnel Analco

El gasto que llega a la descarga una vez teniendo encendido el sistema es 19 horas hasta la llega al túnel Analco, para la descarga en la línea 1 se tiene un gasto máximo de 7.987 m³/s (ver Ilustración 5.19).

En el portal del túnel donde descarga la línea 2 se presenta un gasto máximo de 7.479 m³/s, llega hasta las 21:30 horas después de que se ha iniciado la simulación

5.1.10. RESULTADOS EN LAS LÍNEAS DE CONDUCCIÓN 1 Y 2

5.1.10.1. Tramo Torre de oscilación (TO5) – Tanque Santa Isabel

La línea 1 comienza a trabajar tres horas después de la puesta en marcha de las bombas, hasta que tiene la carga suficiente para que llegue al Tanque Santa Isabel, en las siguientes seis horas se presentan fluctuaciones del gasto donde se alcanzan gastos máximos de 12 m³/s y mínimos de 2.92 m³/s, hasta que se estabiliza y conduce 6.58 m³/s (ver Ilustración 5.21).

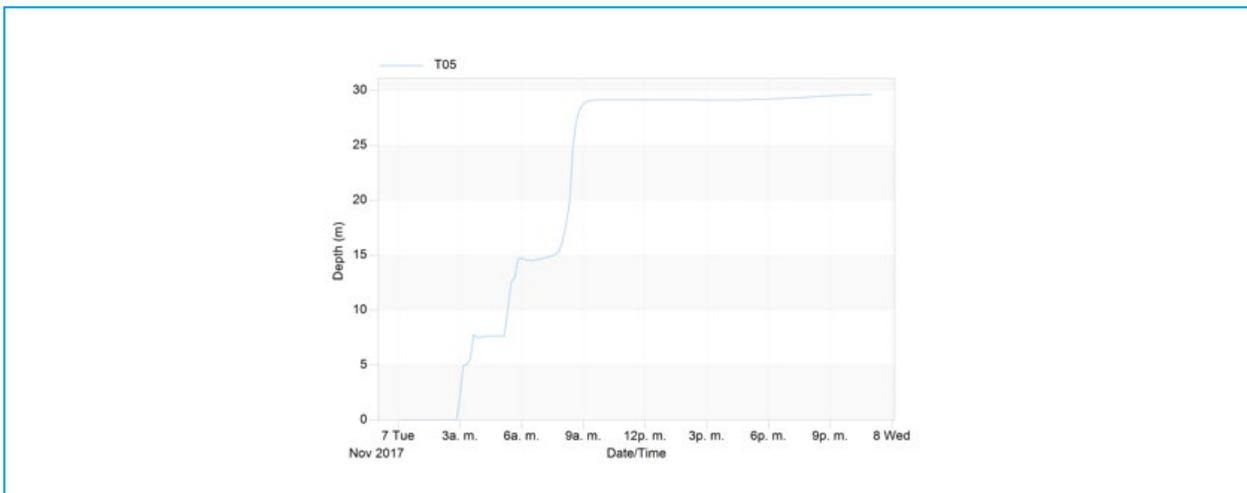


Ilustración 5.19 Relación Gasto de salida – Horas en la línea 1

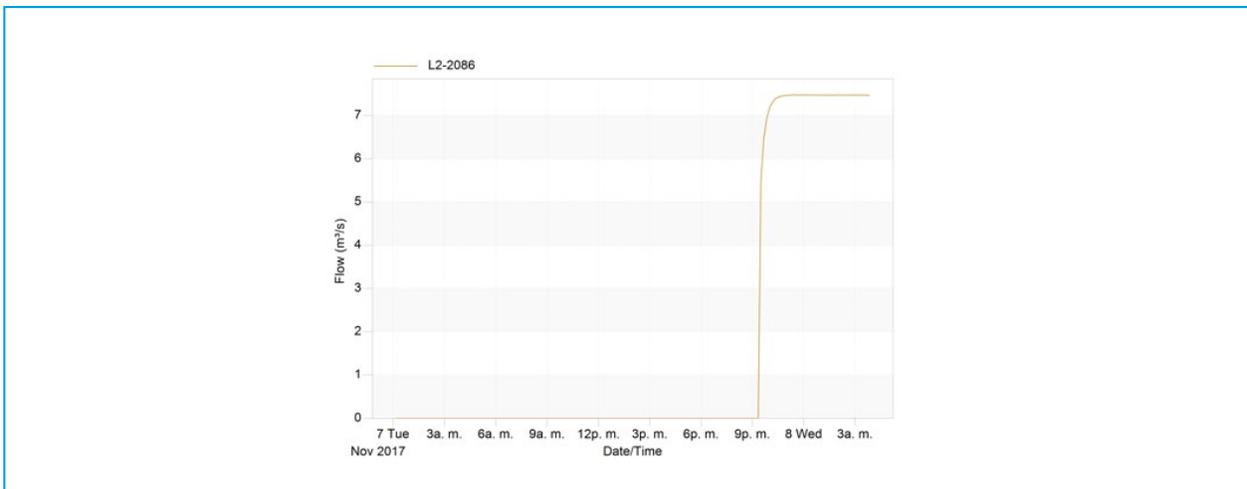


Ilustración 5.20 Relación Gasto de salida – Horas en la línea 2

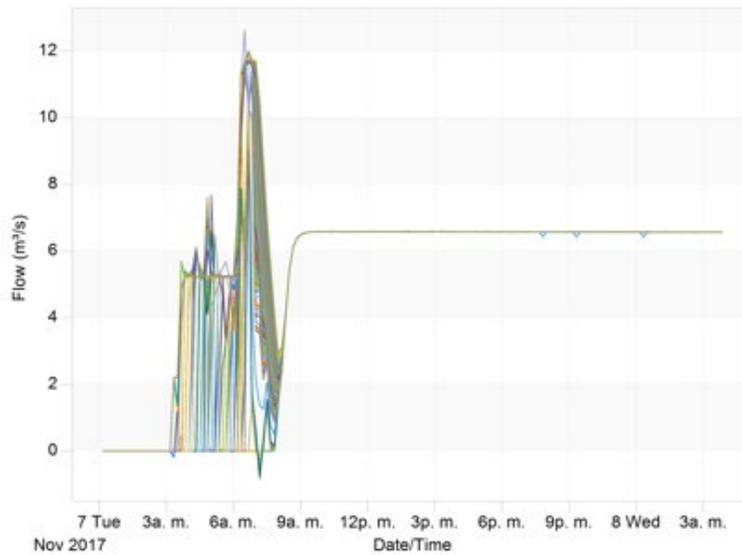


Ilustración 5.21 Gastos producidos en diferentes tramos de la línea 1

Para la línea 2 a partir del inicio del bombeo a las 0:00 horas, el flujo inicia partir de las 3 horas, posteriormente en las siguientes 6 horas tiene variaciones que van desde

0.94 m³/s hasta los 12.3 m³/s para posteriormente tener un gasto constante de 6.81 m³/s en las siguientes horas de simulación (ver Ilustración 5.22).

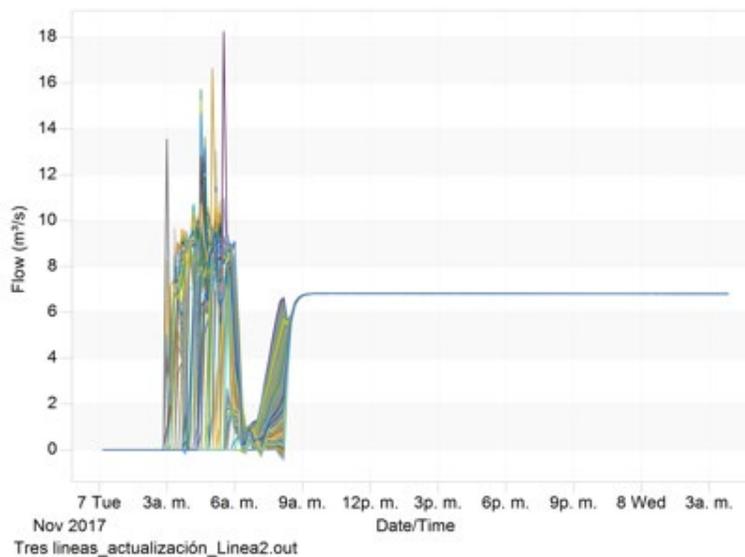


Ilustración 5.22 Gastos producidos en diferentes tramos de la línea 2

5.1.10.2. Tanque Santa Isabel

El tanque Santa Isabel presenta una entrada de flujo a partir de las 8:00 horas y de ahí se mantiene constante el paso de 13.40 m³/s, respecto al tirante dentro del almacenamiento después del tiempo mencionado previamente se tiene un nivel de 0.43 m (ver Ilustración 5.23).

5.1.10.3. Tramo Tanque Santa Isabel – Tanque Pericos

La Línea 1 conduce gasto de 6.33 m³/s a partir de las 8 horas y este fluido permanece constante durante toda la simulación, mientras que la línea 2 de igual manera inicia su función de traslado del flujo a las 8:00 horas con un gasto de 7.06 m³/s (ver Ilustración 5.24).

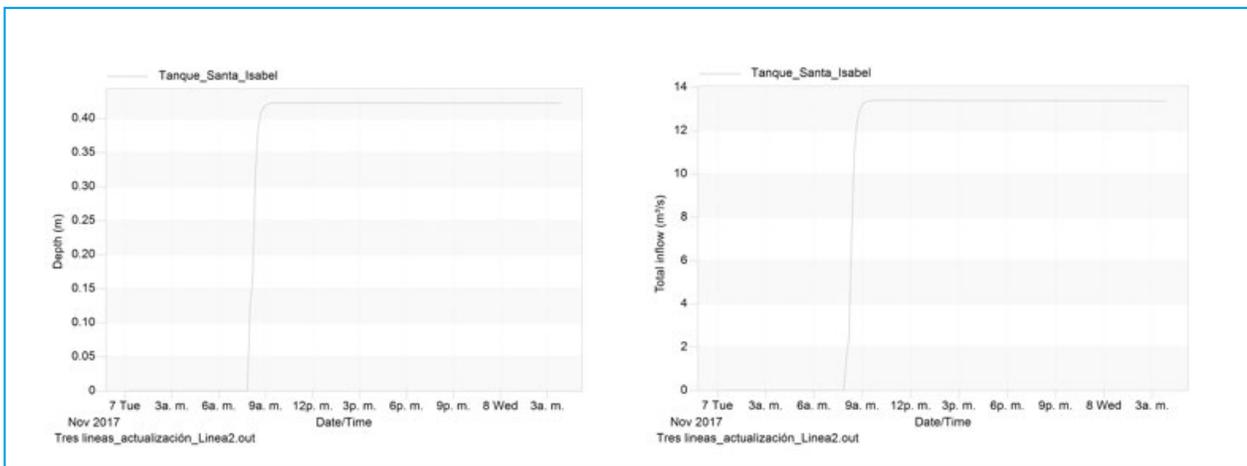


Ilustración 5.23 Tirantes y entradas de flujo en el tanque Santa Isabel

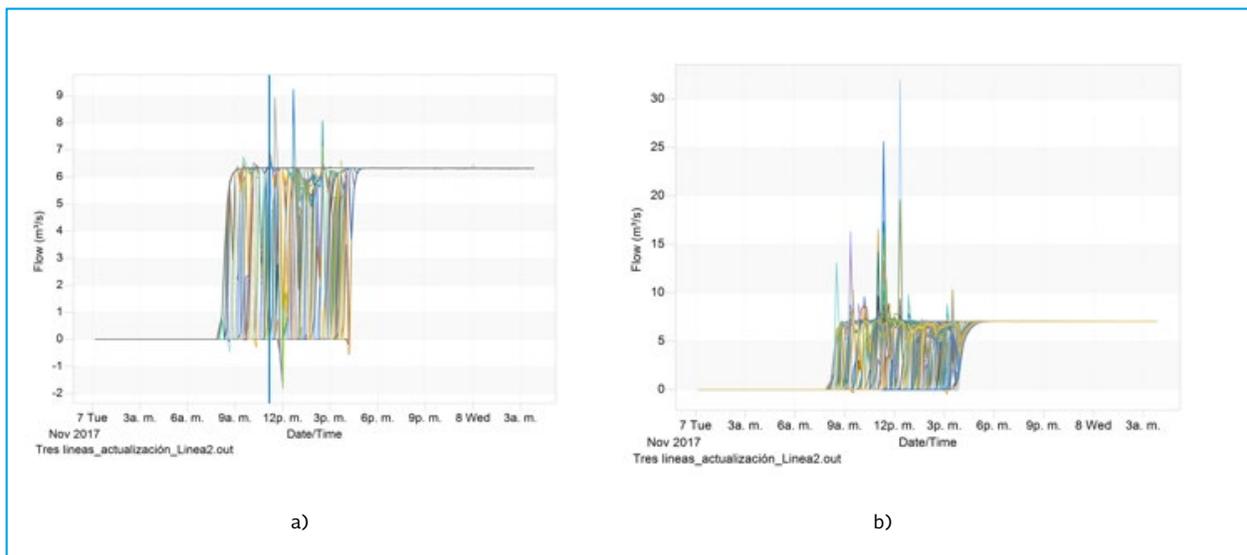


Ilustración 5.24 a) Gastos de la línea 1 y b) Gastos de la línea 2

5.1.10.4. Tanque Pericos

08:00 horas después llega el flujo al tanque Pericos donde genera un tirante constante de 0.84 m y en gasto recibe de 13.30 m³/s, teniendo un volumen de 36 m³ (ver Ilustración 5.25).

En el tanque pericos existe una derivación que conduce un gasto constante de 700 l/s para llevar el agua a la zona del Valle de Toluca (ver Ilustración 5.26).

5.1.10.5. Tramo Tanque Pericos – Túnel Analco

La línea 1 en este tramo comienza su puesta en funcionamiento a partir de las 16:00 horas y tiene un gasto constante de 6.33 m³/s, de igual manera el inicio de operación en la línea 2 es al mismo tiempo que la línea 1, y por esta línea se presenta un gasto de constante de 7.06 m³/s (ver Ilustración 5.27).

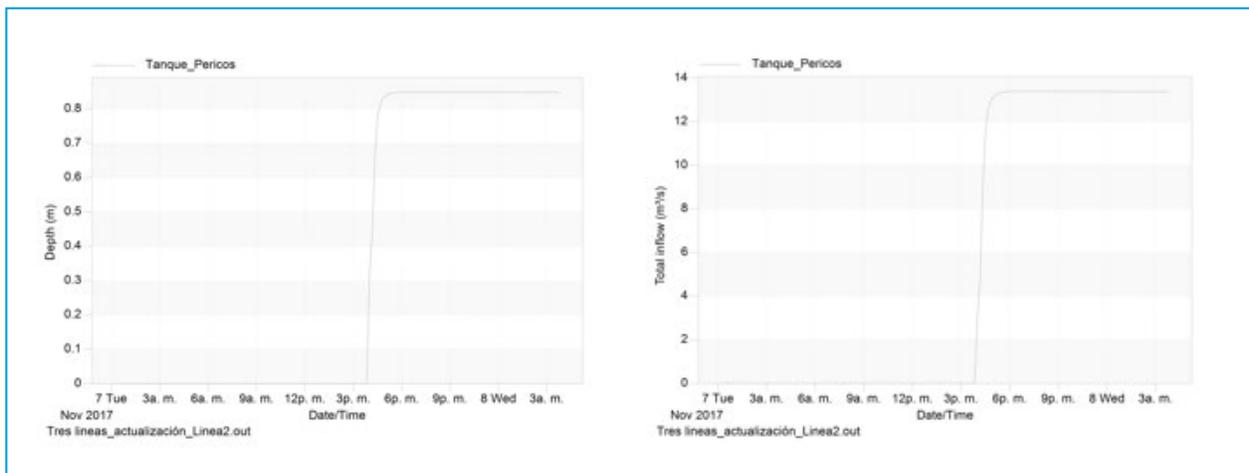


Ilustración 5.25 Tirantes y Entradas de flujo presentadas en el Tanque Pericos

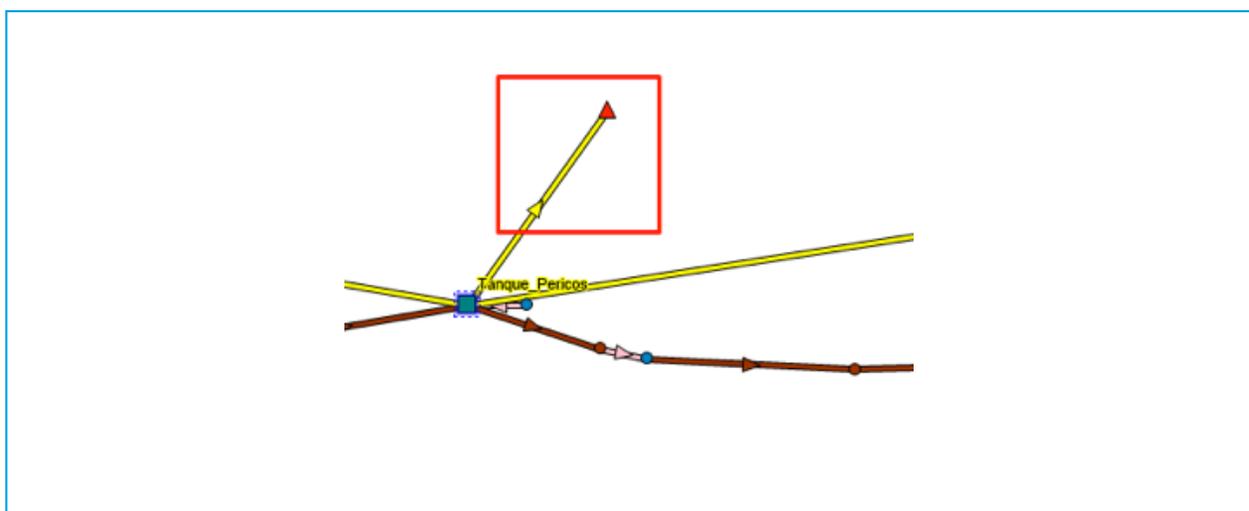


Ilustración 5.26 Conducción de 700 l/s a llevar al Valle de Toluca

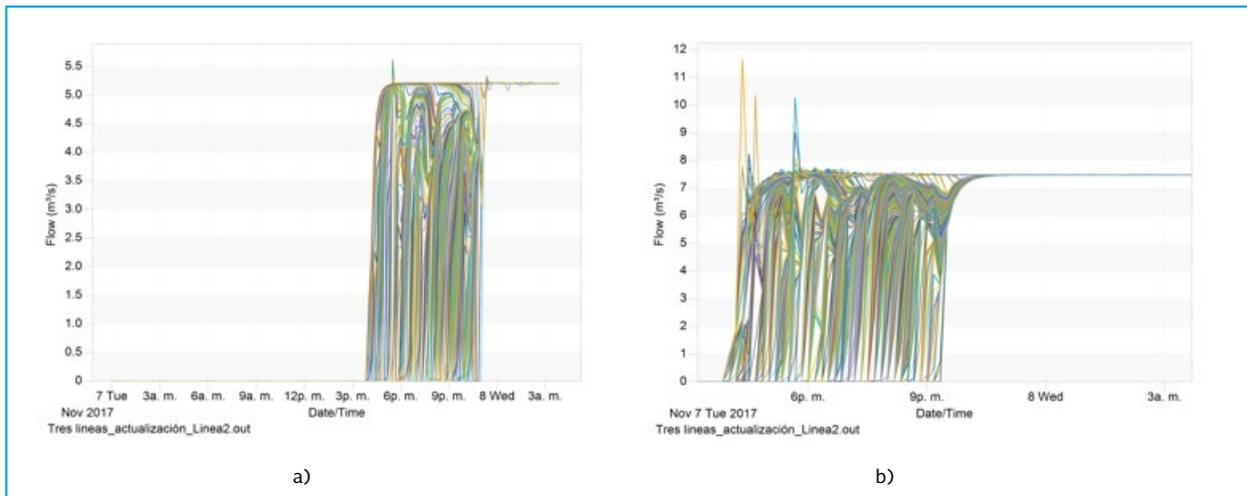


Ilustración 5.27 a) Gastos de la línea 1 y b) Gastos de la línea 2

5.2. APOYO TÉCNICO AL OCAVM, GABINETE Y CAMPO, EN HABILITAR LA MEDICIÓN DE PRESIÓN EN LAS VÁLVULAS DE ADMISIÓN Y EXPULSIÓN DE AIRE DEL TRAMO TO5-TSI

Con el objetivo de verificar si la disminución de la capacidad de conducción se debe, en alguna medida, a un funcionamiento inadecuado de las VAEAs existentes, se realizaron recorridos por las líneas 1 y 2 del Sistema Cutzamala, en que se recorrió la totalidad del sistema desde el túnel Análco - San José hasta la torre de oscilación 5 para definir las condiciones generales del sistema y con ello poder plantear adecuadamente la inspección de válvulas.

5.2.1. TRABAJOS DE CAMPO

Se llevó a cabo la reunión de trabajo con el Ing. Abdías Montoya Ayala, Residente de

Operación del Sistema Cutzamala, personal del IMTA, personal del Consultivo Técnico de la CONAGUA y personal de la cuadrilla de mantenimiento Sistema Cutzamala, en la oficina del Ing. Montoya, ubicada en las instalaciones de la Planta Potabilizadora de Los Berros, Estado de México.

En esta reunión se manifestó que el objetivo de la visita es realizar un levantamiento de detalle en las cajas de VAEAs 1, 4, 4A, 5, 6, 7, 8A, 10A, 12, 13, 14, 14A, 15, 18, 22 y 22A de la línea 1 para proponer un sistema de medición de presión en las válvulas de admisión y expulsión de aire en dicho tramo (TO5-TSI).

Como parte de las actividades de campo se tomaron las medidas internas de las cajas de las VAEAs antes mencionadas, así como la distancia del techo de la VAEA al techo de la losa, ya que se pretende incorporar una T 6"x2" para incorporar en la salida de 2" una válvula de paso, a la cual se le instalaría en su momento, un manómetro para la toma

de presión en el sitio. Para poder insertar la T, se requiere conocer que haya espacio suficiente en las laterales de la VAEA y de la VAEA al techo de la losa de la caja.

El Ing. Montoya manifestó que debido a que es un problema frecuente la conexión clandestina en las dos líneas de conducción, una solución como la propuesta facilitaría esta práctica, por lo que solicita se busque otra alternativa para evitar esta situación y que cualquier modificación a la configuración, no afecte el funcionamiento y los procedimientos operativos en el sistema.

Con respecto a la operación, el Ing. Montoya afirmó que existe variación de presiones a lo largo del día, con base en el gasto que se entrega y que en la planta de “Los Berros” se cuenta con el registro de la entrega diaria del sistema Cutzamala.

Por otra parte, en opinión del personal técnico de Conagua, la incorporación de nuevas VAEAs, ha mejorado el funcionamiento de la conducción de agua en las líneas 1 y 2.

5.2.1.1. Equipos de trabajo IMTA, Conagua y la cuadrilla de mantenimiento al sistema Cutzamala

Los integrantes de los equipos de trabajo que participaron en el recorrido, son los siguientes:

Por parte del IMTA:

Mtro. Humberto Ramírez Rivera

Mtro. Luis Gómez Lugo

Ing. José Carlos Martínez Pérez

Por parte del Consultivo Técnico de la Conagua:

Mtro. Carlos Tejeda González

Cuadrilla de mantenimiento de presas, canales y acueductos del Sistema Cutzamala

Ing. Lamberto Rebollar Norberto

Téc. Guillermo Valdez Valdez

Téc. Yoshio Armando Marín Sánchez

Téc. Sergio González Perea

Téc. Manuel Salgado Vences

5.2.1.2. Recorridos de campo y datos sobresalientes

Como parte de las visitas técnicas y de inspección realizadas al sistema Cutzamala, en específico a las cajas de válvulas en las cuales en un primer recorrido no se logró obtener la toma de presión, se llevó a cabo el reconocimiento de las características (sin caja o sin terminar, ubicación superficial, subterránea), condiciones físicas (se encontraba azolvada, con agua en el fondo, posible riesgo de inundación) y configuración geométrica (largo, ancho, profundidad y distancia de la VAEA a losa de cubierta) de las cajas; así como la toma de presión de las VAEAS en algunos puntos; la selección de estos puntos se llevó a cabo en base a la sencillez de operación de los trabajos y condiciones de espacio en las cajas. Cabe mencionar que los trabajos se desarrollaron en conjunto con la cuadrilla de mantenimiento de presas, canales y acueductos del Sistema Cutzamala.

El tramo recorrido fue el conocido como Torre de Oscilación 5 (TO5) - Tanque Santa Isabel (TSI), iniciando el recorrido en la TO5 (100° 03.745' W, 19° 23.162' N) y finalizando cerca de la comunidad de San Agustín Berros, Estado de México (99° 57.673W, 19° 25.427'N), cubriendo un total de 14.20 km. En general, se visitaron un total de 16 cajas de válvulas: 1, 4, 4A, 5, 6, 7, 8A, 10A, 12, 13, 14, 14A, 15, 18, 22 y 22 A.

5.2.1.3. Procedimiento para toma de presión

El procedimiento de toma de presión se llevó a cabo de la siguiente forma:

La cuadrilla de mantenimiento tenía previamente habilitada una VAEA de 8" de la marca VAMEX la cual tenía instalada una llave de paso tipo compuerta de 1", dos coples de fierro galvanizado (FG) y un codo de 1". Este arreglo se utilizó para colocar el manómetro (Ilustración 5.29).

A continuación se seleccionaba la caja a la cual se le realizaba la prueba de toma de presión, en base al espacio existente en la caja necesario para las labores de maniobra, extracción y colocación de las VAEAs. Otro factor a considerar es, que la válvula general de seccionamiento del arreglo en cada caja girara y sellara completamente, ya que de lo contrario se omitía realizar prueba alguna y se registraba la falla existente. En algunas

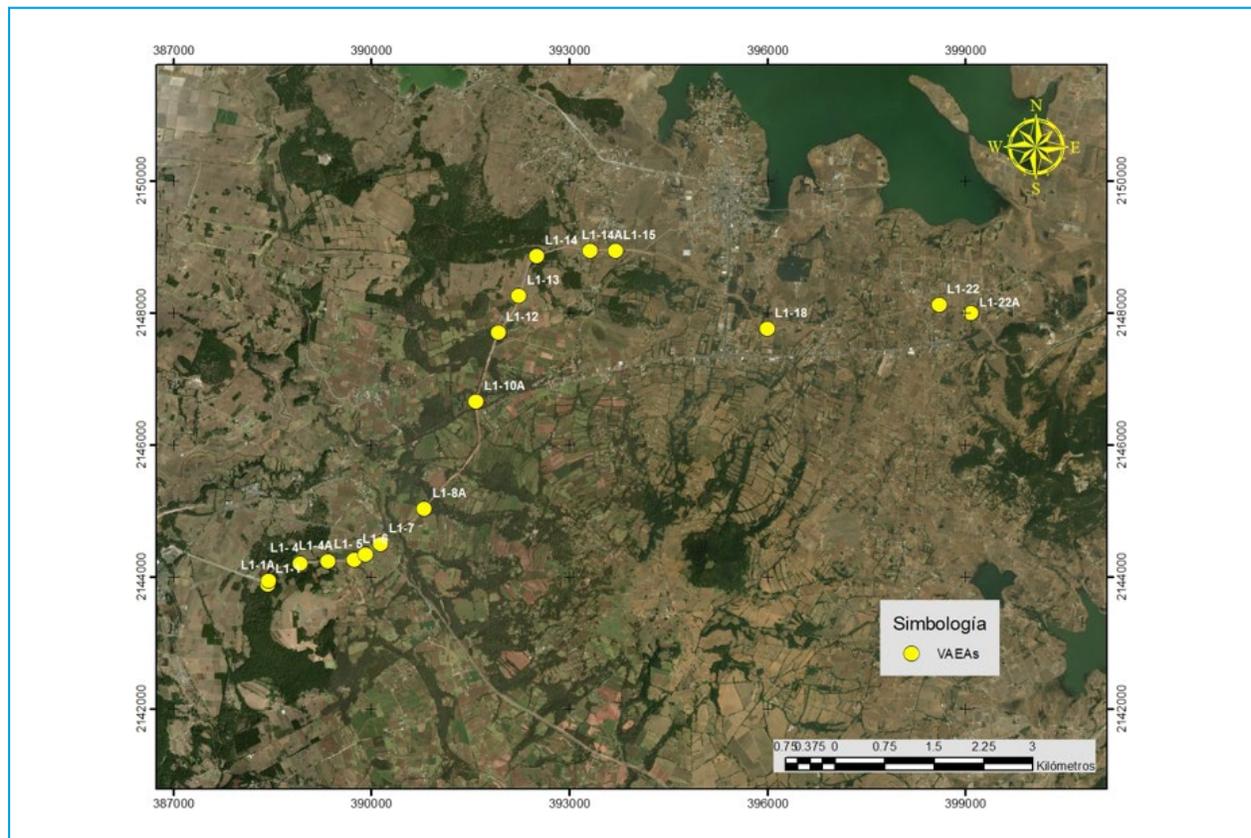


Ilustración 5.28 Ubicación de VAEAs inspeccionadas durante el recorrido de campo



Ilustración 5.29 VAEA habilitada por la cuadrilla de mantenimiento del Sistema Cutzamala para la toma de presión

cajas se observó que la válvula de seccionamiento general giraba y sellaba; sin embargo la VAEA presentaba fuga debido a que el empaque se encontraba dañado.

En la Ilustración 5.30 se presenta el procedimiento general utilizado para la toma de presión en las cajas. Cabe señalar que

este arreglo sólo se instaló de manera provisional para la toma de presión. Esta operación llevaba en promedio un tiempo de 45 minutos. Una vez obtenido el dato de presión se reinstalaba la VAEA existente y se dejaba el arreglo en las condiciones originales.

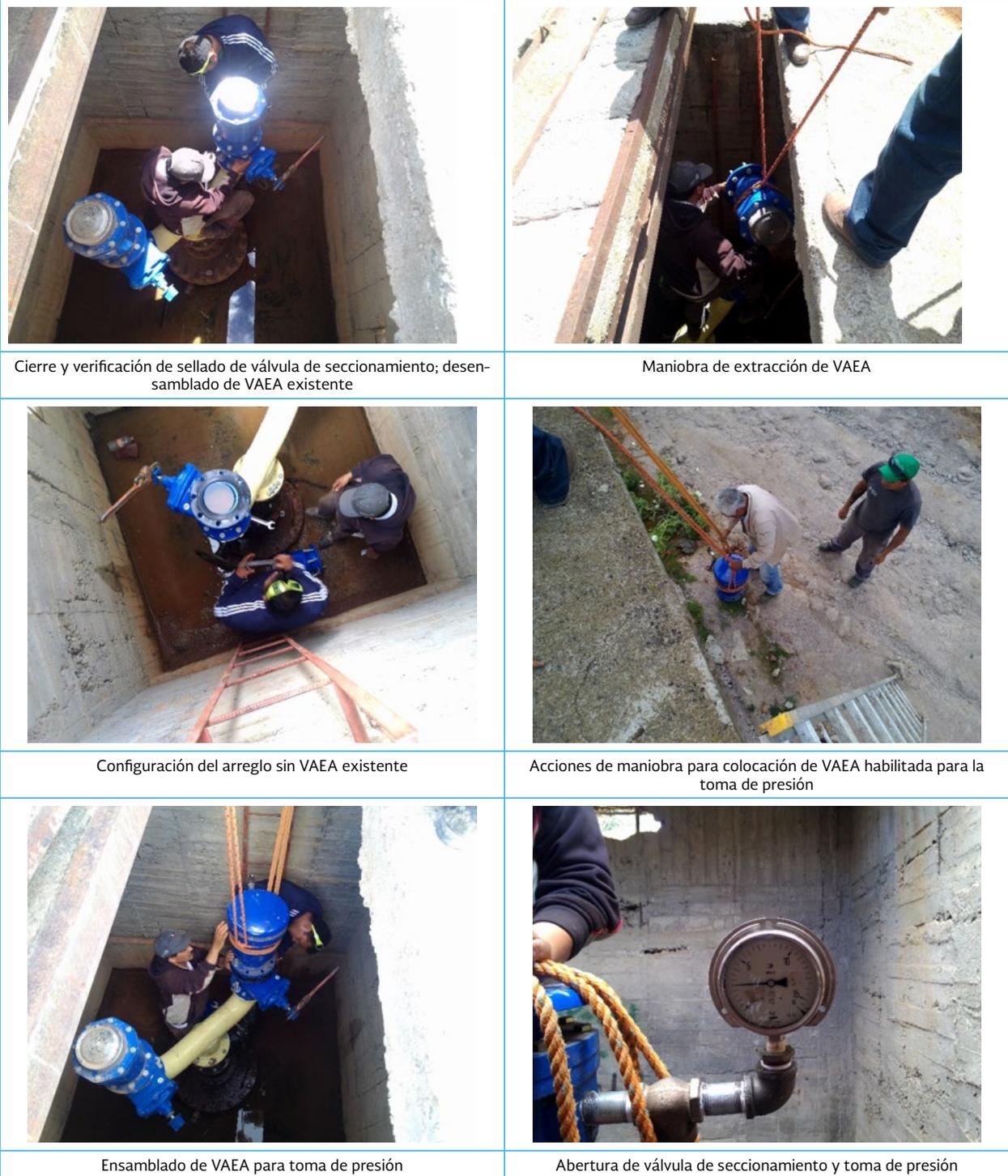


Ilustración 5.30 Procedimiento general utilizado para la toma de presión en las cajas

Como se ha mencionado anteriormente el objetivo de los recorridos de campo fue hacer una caracterización de las condiciones físicas y geométricas de las cajas de válvulas. Específicamente se obtuvieron: las configuraciones geométricas (distancia de la VAEA a losa de cubierta, profundidad, largo y ancho), como se presenta en la Ilustración 5.31.

Para definir una clasificación de las cajas en base a sus características (sin caja o sin terminar, ubicación superficial, subterránea), se tomaron de referencia cajas como las mostradas Ilustración 5.32.

El criterio para clasificar las cajas en base a las condiciones físicas (azolvada, con agua en el fondo, posible riesgo de inundación) se presenta, a manera de ejemplo en la Ilustración 5.33.



Ilustración 5.31 Medición de cajas de VAEAs



Caja superficial VAEA 22A



Caja semienterrada VAEA 13



VAEA 1A sin caja



Caja VAEA 14 en condiciones de deterioro superficial

Ilustración 5.32 Clasificación de cajas de VAEAs por sus características

Estudio para restituir y mejorar la capacidad de conducción, mediante un manejo adecuado del aire y optimización del funcionamiento hidráulico, en las líneas 1 y 2 del sistema Cutzamala



Caja VAEA 5 con agua en el fondo

Caja VAEA 6 con riesgo de inundación

Caja VAEA 13 con azolve, agua y basura en el fondo

Caja VAEA 10A en condiciones óptimas (limpia y sin riesgo de inundación)

Ilustración 5.33 Clasificación de cajas de VAEAs por sus condiciones

De la Ilustración 5.34 a la Ilustración 5.51 se presentan de forma resumida las características, condiciones y configuración geométrica de las cajas de válvulas inspeccionadas en campo.

VAEA L1-1

Sin caja

Comentario: el arreglo encontrado ya no corresponde a la línea 1, debido a que las modificaciones del tren de descarga con la inclusión de la línea 3 ocasionó que ese tramo fuera sustituido por uno nuevo, incluyendo el arreglo de dos VAEA.



Estado actual



Estado anterior

Ilustración 5.34 Resumen de VAEA L1-1

VAEA L1-1A

Sin caja

Comentario: esta VAEA no se encontraba en el recorrido de campo de noviembre de 2017.



Estado actual

Ilustración 5.35 Resumen de VAEA L1-1A

VAEA L1-4

Caja superficial

Longitud (m): 2.50

Ancho (m): 2.50

Profundidad (m): 3.20

Dist. de VAEA a losa cubierta (m): 0.62



Estado actual



Estado anterior

Ilustración 5.36 Resumen de VAEA L1-4

VAEA L1-4A

Caja superficial

Longitud (m): 2.80

Ancho (m): 2.50

Profundidad (m): 2.65

Dist. de VAEA a losa cubierta (m): No se pudo realizar la medición



Estado actual



Estado anterior

Ilustración 5.37 VAEA L1-4A

VAEA L1-5

Caja superficial

Longitud (m): 2.50

Ancho (m): 2.20

Profundidad (m): 3.14

Dist. de VAEA a losa cubierta (m): 1.06



Estado anterior

Ilustración 5.38 VAEA L1-5

VAEA L1-6

Caja superficial

Longitud (m): 2.50

Ancho (m): 2.55

Profundidad (m): 3.32

Dist. de VAEA a losa cubierta (m): 1.20



Estado actual



Estado anterior

Ilustración 5.39 Resumen de la VAEA L1-6

VAEA L1-7

Caja superficial

Longitud (m): 2.60

Ancho (m): 2.60

Profundidad (m): 3.60

Dist. de VAEA a losa cubierta (m): 0.78

Medición de presión (kg/cm²): 9.6



Estado actual



Estado anterior

Ilustración 5.40 Resumen de la VAEA L1-7

VAEA L1-8A

Caja superficial

Longitud (m): 2.80

Ancho (m): 2.50

Profundidad (m): 2.80

Dist. de VAEA a losa cubierta (m): 0.70



Estado actual



Estado anterior

Ilustración 5.41 Resumen de la VAEA L1-8^a

VAEA L1-10A

Caja superficial

Longitud (m): 2.80

Ancho (m): 2.47

Profundidad (m): 2.80

Dist. de VAEA a losa cubierta (m): 0.65



Estado actual



Estado anterior

Ilustración 5.42 Resumen de la VAEA L1-10A

VAEA L1-12

Caja superficial

Longitud (m): 2.65

Ancho (m): 2.50

Profundidad (m): 3.78

Dist. de VAEA a losa cubierta (m): 0.26



Estado actual



Estado anterior

Ilustración 5.43 Resumen de la VAEA L1-12

VAEA L1-13

Caja superficial

Longitud (m): 2.60

Ancho (m): 2.20

Profundidad (m): 3.25

Dist. de VAEA a losa cubierta (m): 1.52



Estado actual



Estado anterior

Ilustración 5.44 Resumen de la VAEA L1-13

VAEA L1-14

Caja superficial

Longitud (m): 2.52

Ancho (m): 2.47

Profundidad (m): 3.20

Dist. de VAEA a losa cubierta (m): 0.97

Medición de presión(kg/cm²): 3.9



Estado actual



Estado anterior

Ilustración 5.45 Resumen de la VAEA L1-14

VAEA L1-14A

Caja superficial

Longitud (m): 2.80

Ancho (m): 2.50

Profundidad (m): 2.80

Dist. de VAEA a losa cubierta (m): 0.60



Estado actual



Estado anterior

Ilustración 5.46 Resumen de la VAEA L1-14A

VAEA L1-15

Caja superficial

Longitud (m): 2.55

Ancho (m): 2.52

Profundidad (m): 3.55

Dist. de VAEA a losa cubierta (m): 0.93

Medición de presión(kg/cm²): 6.5



Estado actual



Estado anterior

Ilustración 5.47 Resumen de la VAEA L1-14^a

VAEA L1-18

Caja superficial

Longitud (m): 2.50

Ancho (m): 2.30

Profundidad (m): 3.30

Dist. de VAEA a losa cubierta (m): 0.60



Estado actual



Estado anterior

Ilustración 5.48 Resumen de la VAEA L1-18

VAEA L1-22

Caja superficial

Longitud (m): 2.50

Ancho (m): 2.50

Profundidad (m): 3.54

Dist. de VAEA a losa cubierta (m): 0.24



Estado actual



Estado anterior

Ilustración 5.49 Resumen de la VAEA L1-22

VAEA L1-22A

Caja superficial

Longitud (m): 2.78

Ancho (m): 2.50

Profundidad (m): 2.80

Dist. de VAEA a losa cubierta (m): 0.65



Estado actual



Estado anterior

Ilustración 5.50 Resumen de la VAEA L1-22A

5.2.1.4. Conclusiones

Durante el recorrido se observó que en algunas cajas no hay espacio suficiente entre el techo de la VAEA y el techo de la caja, como para instalar una T o un arreglo que haga crecer el tamaño del arreglo de la VAEA, y que se tenga que dejar abierta la caja.

A pesar del gran peso de las losas que cubren las cajas, la comunidad utiliza cualquier medio para destaparlas y conectarse por el arreglo de la eliminadora de aire.

En el cambio de VAEAs, durante su instalación se observó se pudieran provocar dos problemas de seguridad. El primero está re-

lacionado con la seguridad personal. Aunque esta actividad se realiza con dos personas afuera de la caja, dado el peso de la VAEA al subirla al techo de la caja, alguien pudiera resbalar y caer desde esa altura, que en general son tres metros. La otra es en el interior de la caja, donde también trabajan dos técnicos para desmontar la VAEA del sitio, los espacios reducidos dificultan el desmontaje e instalación de las VAEAs, y que también cayera algún técnico. El otro problema es que con estos movimientos de VAEAs, se pudiera llegar a dañar el empaque, se pudiera caer la VAEA o dañar los tornillos de agarre de la brida.

En general se llevó a cabo el recorrido y toma de datos sin problemática alguna y con vigi-

lancia constante de la policía que resguarda los conductos.

En promedio el largo de la caja es de 2.63 m, el ancho de 2.46 m, altura 3.19 m, espacio en techo 0.83 m. El espacio mínimo de techo es de 0.24 m y el espacio máximo de techo es de 1.70 m.

En total se tomaron lecturas en 5 VAEAs donde en la primera etapa (2017) no se había podido tomar Específicamente en las cajas 5, 7, 12, 14 y 15, con las siguientes presiones: 2.5, 9.6, 2.5, 3.9, 6.5, respectivamente, todas en kg/cm² (Tabla 5.6).

En el 0 se presenta el reporte fotográfico del recorrido y del estado de las VAEAs y sus cajas. Por otra parte en el archivo Fichas VAEAS 2018.xlsx, adjunto a este informe se presentan las fichas actualizadas del levantamiento realizado.

5.2.2. SISTEMA DE MONITOREO DE PRESIONES EN VAEAS

5.2.2.1. Sistema de telemetría y control supervisorio

Un sistema de telemetría y control supervisorio es un dispositivo orientado a efi-

Tabla 5.6 Concentrado de VAEAs levantadas

Id	Fecha	Clave del arreglo	Coordenadas geográficas			Características y condiciones de la caja	Observaciones realizadas en campo
			Longitud	Latitud	Elevación	Observaciones y comentarios generales del arreglo	Medición de presión kg/cm ²
5	18/07/2018	L1-5	100 02.993W	19 23.367N	2656.78	El arreglo consta de dos VAEAs, una válvula de seccionamiento por válvula y una válvula de seccionamiento general. No se tienen válvulas eliminadoras.	2.5
7	19/07/2018	L1-7	100 02.770W	19 23.498N	2628.02	El arreglo consta de una VAEA y dos válvulas de seccionamiento. Se tiene también instalación de fibra óptica, por lo que se tiene una válvula de seccionamiento general más. No se tienen válvulas eliminadoras.	9.6
12	19/07/2018	L1-13	100 01.585W	19 25.545N	2646.03	El arreglo consta de una VAEA y una válvula de seccionamiento. No se tienen válvulas eliminadoras.	2.5
14	19/07/2018	L1-14A	100 00.969W	19 25.920N	2615.92	El arreglo consta de dos VAEAs, una válvula de seccionamiento por válvula y una válvula de seccionamiento general. No se tienen válvulas eliminadoras.	3.9
15	19/07/2018	L1-15	100 00.752W	19 25.922N	2607.49	El arreglo consta de una VAEAs y dos válvulas de seccionamiento en línea para la válvula. Se tiene también instalación de fibra óptica, por lo que se tiene una válvula de seccionamiento general más. No se tienen válvulas eliminadoras.	6.5

cientizar la Operación y Telemetría de Redes de Agua Potable, con el cual es posible concentrar en una Estación Maestra (PC) toda la información relevante al sistema. Asimismo, en forma remota desde la PC, se tiene la capacidad de efectuar controles tales como el arranque/paro de bombas o la apertura/cierre de válvulas.

Adicionalmente los equipos remotos situados en cada uno de los puntos a monitorear, cuentan con capacidad para llevar a cabo localmente controles en forma automática sin que se lo solicite la Maestra. Esto lo hará en base a los autómatas locales que el usuario le haya programado previamente.

Cabe mencionar que toda la información de alarmas, controles, mediciones, etcétera, se almacena en la Estación Maestra, la cual genera una serie de reportes de utilidad para el usuario.

5.2.2.2. Unidades terminales remotas

Una unidad terminal remota, es un elemento en el cual se suministran un número variable de módulos de Entradas/Salidas, mismos que se determinan en base a la cantidad de puntos a monitorear y/o controlar en una instalación. Este dispositivo cuenta con una tarjeta CPU, así como con un número variable de módulos mixtos compuestos cada uno de ellos por Entradas Digitales, Entradas Analógicas y Salidas Digitales de Control.

A este elemento se conectarán los sensores o medidores correspondientes a aquellas variables que se desee supervisar y telecontrolar. Estos instrumentos deberán pro-

porcionar una señal de salida en 4-20 mA o bien de 1-5 V. La información de estos instrumentos será adquirida por el equipo y reportada, vía enlace de radio, a la Estación Maestra, quien se encargará de procesar la información y presentarla al usuario.

Un elemento de este tipo debe tener la capacidad de transmitir por medio de un sistema de radiocomunicación u otros medios de enlace para establecer comunicación remota, como son el enlace telefónico, vía satélite, etcétera.

5.2.2.3. Limitaciones de comunicación

Debido a las características del sistema Cutzamala, en las eventuales unidades remotas no se contará con alimentación eléctrica y en algunos puntos no se tiene cobertura de GPRS para la comunicación entre las terminales y la estación maestra, tal como se muestra en la Ilustración 5.51, donde en algunas zonas existen factores que afectan la cobertura, como son:

- Las condiciones topográficas y climatológicas donde utilizas el servicio.
- Las características técnicas y el estado de conservación del equipo celular utilizado por el cliente.
- El uso del servicio en interiores, sitios subterráneos, pisos altos, elevadores, aeronaves, estructuras y lugares construidos con materiales que degraden las señales de radiofrecuencia, o en lugares donde haya una concentración inusual de usuarios, por citar algunos ejemplos.

- La instalación de equipos repetidores o amplificadores de señal de terceros no autorizados u homologados por el Instituto Federal de Telecomunicaciones.
- Los bloqueadores que operan las autoridades penitenciarias pueden afectar a usuarios que se encuentren incluso a kilómetros de los centros de reclusión.

El área de color verde corresponde a una zona donde se garantiza la transmisión de datos, la zona amarilla cuenta con cobertura, pero debido a los factores mencionados no se puede garantizar la adecuada transmisión, en resto de las zonas no cuentan con cobertura para la transmisión de datos.

Para garantizar el adecuado monitoreo de los datos de presión en las VAEAs, se proponen dos alternativas.

5.2.2.4. Comunicación por fibra óptica-GPRS

Para comunicar los datos medidos en las estaciones remotas, se propone utilizar la red de fibra óptica existente en el sistema, a través de la cual, los puntos donde no se tiene cobertura de señal GPRS se comunican por medio de la fibra óptica hasta un “modulo maestro”, ubicado en un sitio con adecuada cobertura y a través del cual se transmitan los datos medidos por medio de la señal GPRS a un servidor y que a su vez puedan ser visualizados en la estación maestra, tal como se observa en la Ilustración 5.52

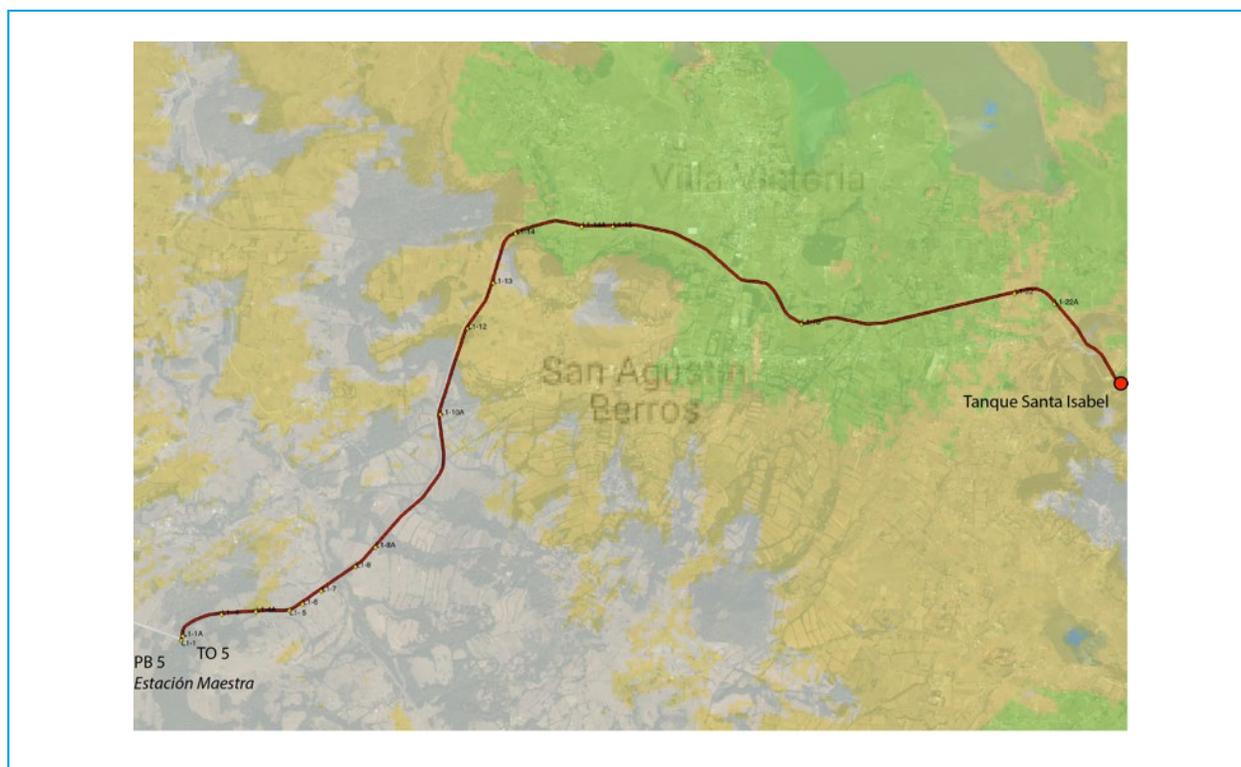


Ilustración 5.51 Cobertura de señal GPRS

5.2.2.5. Comunicación por GPRS

La segunda alternativa es comunicar los puntos donde no se tiene cobertura de señal GPRS por medio de radiofrecuencia entre ellos hasta un “modulo maestro”, ubicado en un sitio con adecuada cobertura y a través del cual se transmitan los datos medidos por medio de la señal GPRS a un servidor y que a su vez puedan ser visualizados en la estación maestra, tal como se observa en la Ilustración 5.53.

5.3. ANÁLISIS DE LA L3 EN EL TRAMO PARA CONSTRUCCIÓN EN 2018

La construcción de la línea 3 del sistema Cutzamala es parte del programa de Compromisos Presidenciales, específicamente

el CG199 que tiene como objetivo “Incrementar el abastecimiento de agua potable para el Distrito Federal mediante la modernización y construcción de infraestructura hidráulica”. Entre otras acciones, la número 9 está definida como “Construcción de la tercera línea del Sistema Cutzamala”.

El 07 de junio del año dos mil dieciocho, se reunieron los miembros de la Comisión de Seguimiento del Convenio de Coordinación SACMEX–CONAGUA, en la Sala de Juntas de la Dirección de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento, del OCAVM a efecto de celebrar su Quinta Sesión Extraordinaria, en la cual se reportaron los avances de la construcción de la línea 3 del sistema Cutzamala.

A la fecha de la reunión en el Sistema Cutzamala se iba generando poco avance ya

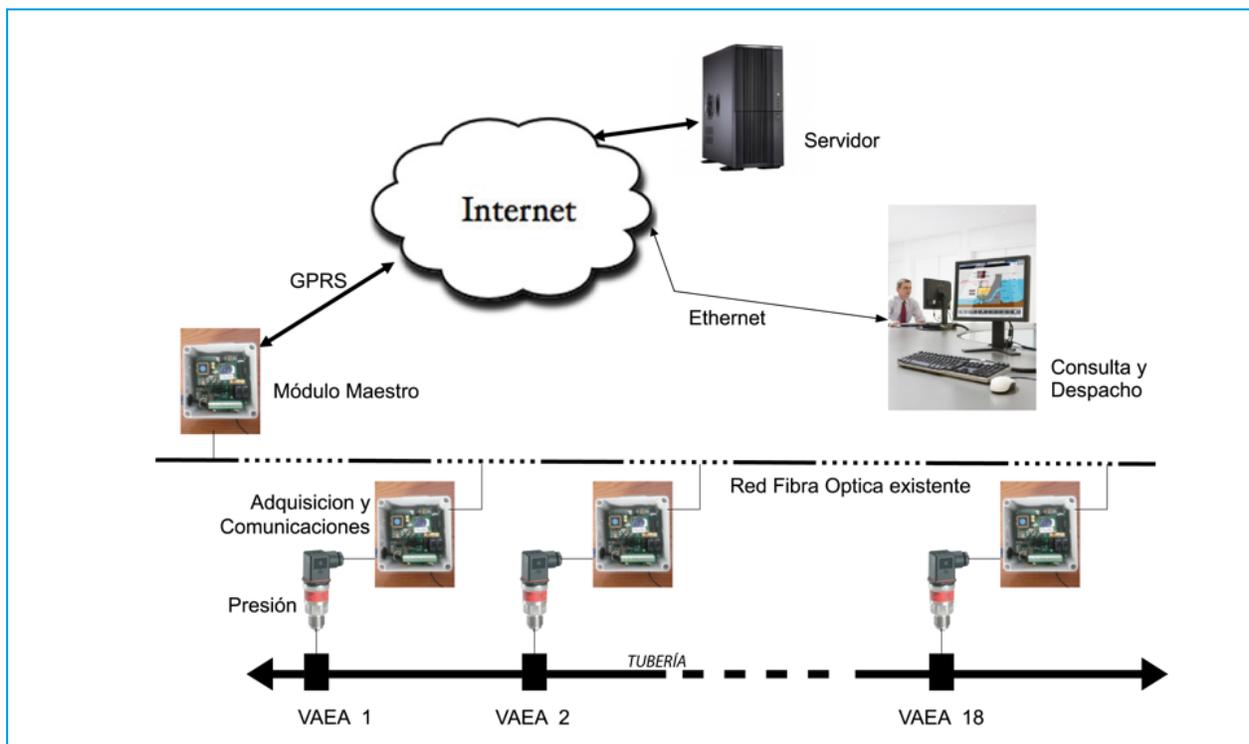


Ilustración 5.52 Comunicación por fibra óptica

Estudio para restituir y mejorar la capacidad de conducción, mediante un manejo adecuado del aire y optimización del funcionamiento hidráulico, en las líneas 1 y 2 del sistema Cutzamala

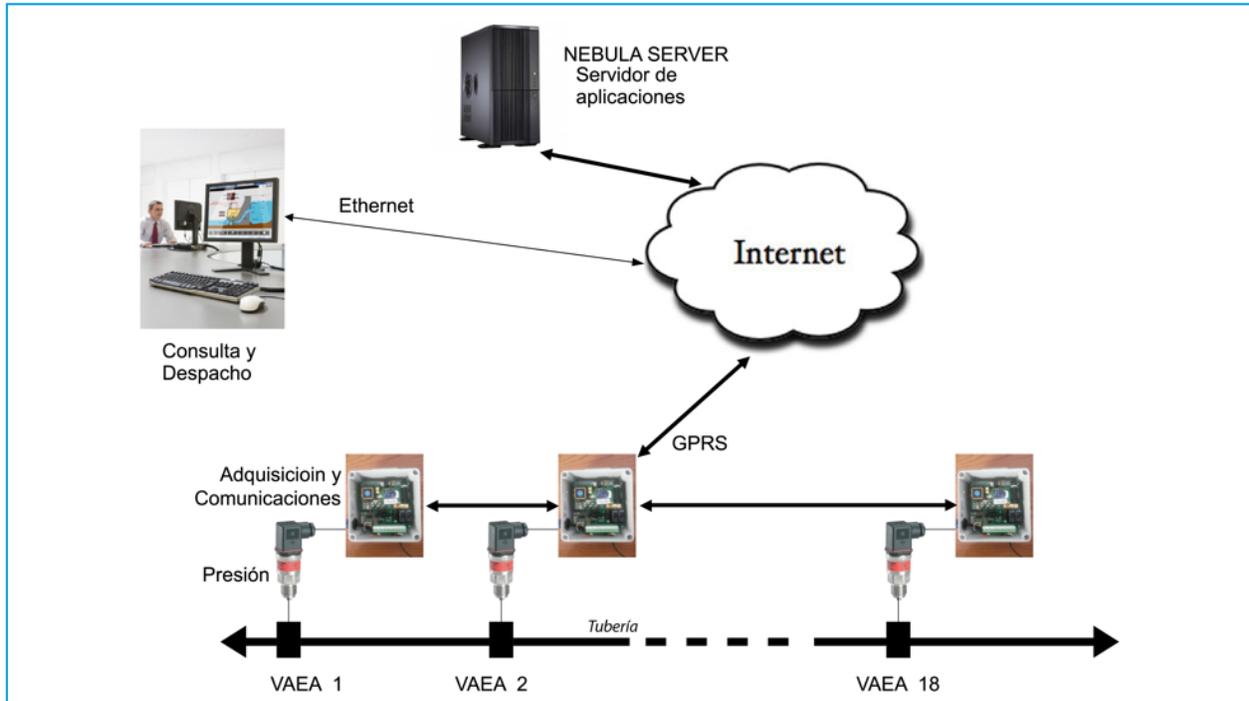


Ilustración 5.53 Comunicación por radiofrecuencia y GPRS

que los únicos que se reportaron son los correspondientes a los Tramos 1 y 4, tomando en consideración que el tramo dos está con-

cluido y la construcción del tramo 3 está en pausa a la fecha de la reunión.

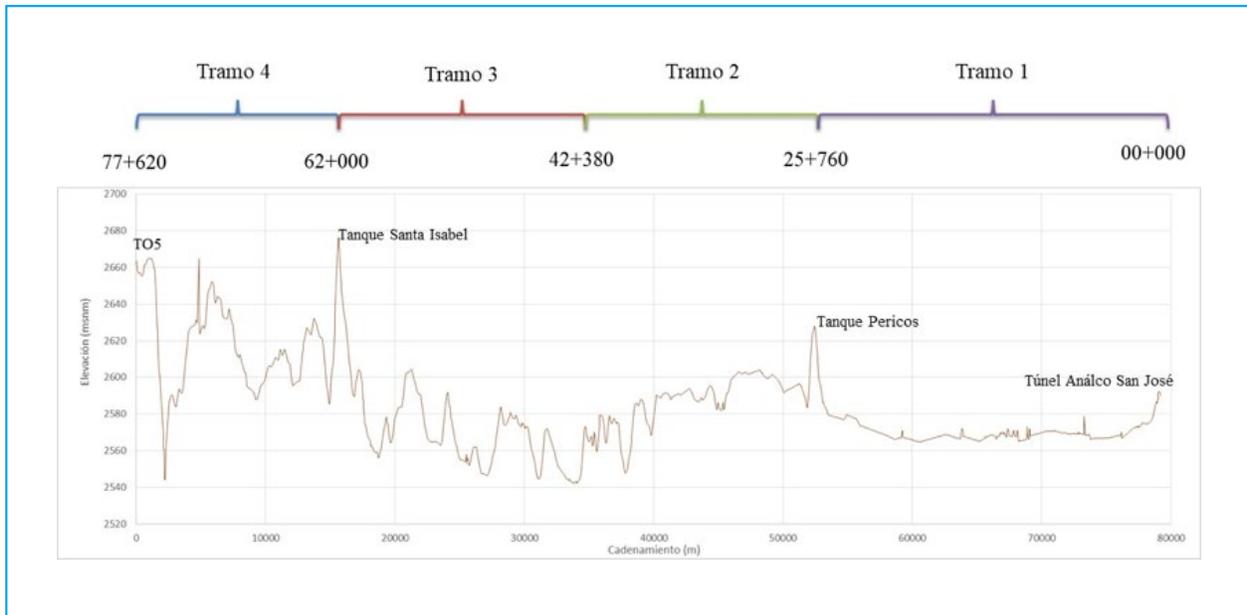


Ilustración 5.54 Definición de tramos constructivos de la línea 3 del sistema Cutzamala

5.3.1. AVANCE GLOBAL

De forma general el suministro de tubería de 99” tiene un acumulado de 79,962.57 metros, la instalación tiene un acumulado de 75,450.55 metros. La construcción está atravesando por las zonas críticas que son los cruces de la barranca de Berros (Ilus-

tración 5.55), Rio Lerma (Ilustración 5.56) y la parte de los humedales (Ilustración 5.57). El Avance ponderado de toda la obra se tiene en un 89.71%. Por otra parte se siguen atendiendo las problemáticas sociales que se tienen con algunas comunidades. Por tramo constructivo los avances se presentan en la Ilustración 5.7).

Tabla 5.7 Concentrado de avances por tramo constructivo

Tramo 1	Avance Físico:	95.85 %	
	Avance acumulado de instalación de tubería	25,485.83 m	de un total de 25,766.00 m
	Avance acumulado de suministro de tubería	26,238.84 m	de un total de 26,702 m
	Avance acumulado de excavaciones	25,493.0 m	de un total de 25,766.00 m
	Pruebas hidrostáticas	8 pruebas	longitud total de 16,881.71 m
Tramo 2	Avance Físico:	99.99 %	Obra concluida*.
	Avance acumulado de instalación de tubería	18,571.58 m	
	Avance acumulado de suministro de tubería	18,571.58 m	
	Pruebas hidrostáticas	8 Pruebas	longitud total de 18,571.58 m
	piezas de desfogue	28	
	estaciones catódicas	69	
	válvulas de expulsión de aire	74	
Tramo 3	Avance Físico:	69.58 %**	
	Avance acumulado de instalación de tubería	15,890.02 m	
	Avance acumulado de suministro de tubería	19,374.60 m	
	Avance acumulado de excavaciones	16,306.95 m	
	Pruebas hidrostáticas	longitud total de 6,308.95 m	
Tramo 4	Avance Físico:	86.00 %	
	Avance acumulado de instalación de tubería	15,510.12 m	de un total de 15,446.21 m
	Avance acumulado de suministro de tubería	15,777.55 m	de un total de 15,446.21 m
	Pruebas hidrostáticas	7 pruebas	de un total de 12,183.93 m

*Residencia de Obra y Supervisión Externa continúan con las actividades de cierre y finiquito del Contrato CNA-CGPEAS-FED-OP-102/2013-LPN. Se continúa con el procedimiento de entrega recepción de la obra.

** Se mantienen suspendidos los trabajos de excavación de zanja e instalación de tubería en el tramo. Ya se firmó el convenio de reactivación de este tramo y la fecha de terminación de ese tramo es para el 15 de noviembre de 2018, sin embargo, a la fecha de conclusión de este proyecto no se ha terminado el tramo y no se tiene fecha estimada para la conclusión.

Estudio para restituir y mejorar la capacidad de conducción, mediante un manejo adecuado del aire y optimización del funcionamiento hidráulico, en las líneas 1 y 2 del sistema Cutzamala



Ilustración 5.55 Cruce en la barranca de Berros

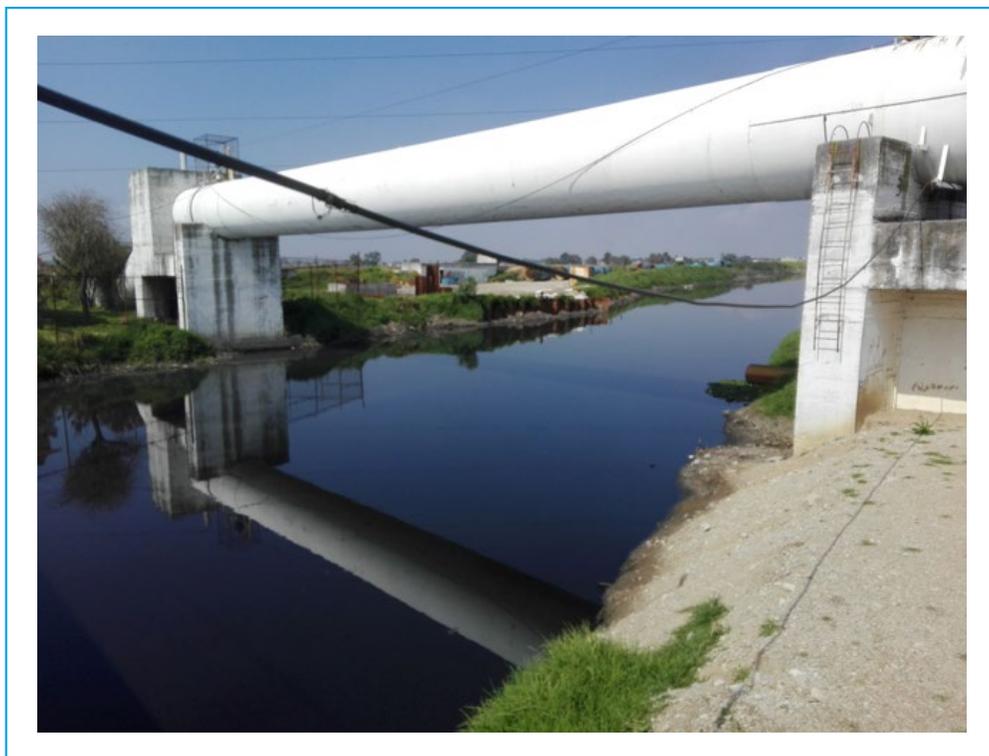


Ilustración 5.56 Tubo puente sobre el río Lerma



Ilustración 5.57 Zona de humedales

5.3.2. ANÁLISIS DE SOLUCIONES SOBRE LA PROFUNDIDAD MÍNIMA PARA EL TUBO DE 5/8” DE ESPESOR

Se revisó la información disponible referente al estado que guarda cada tramo de la L3 del sistema Cutzamala, en cuanto al avance en la colocación de la tubería con el cumplimiento de las profundidades requeridas, no se identifican obras adicionales o modificaciones al proyecto con respecto a los resultados de la primera etapa del estudio.

En el proyecto Conagua-IMTA 2017 se indicó que la tubería de acero de 5/8” no pasa la prueba de colapso por vacío, por lo que no debe dejarse superficial (No debe dejarse sin enterrar o arropar). La compañía de supervisión DIRAC sin embargo propuso lo contrario. Proponen dejar la tubería semienterrada (la mitad enterrada y la mitad superficial) en 684 m. Sus cálculos reconocen que la tubería está vulnerable a colapso ($P_{\text{vacío}} > P_c$), pero que la acción de las VAEAS protegerá contra tal colapso (Ilustración 5.58).



Forma

Informe

SUPERVISIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA TERCERA LINEA DE CONDUCCIÓN, DE LA TORRE DE OSCILACIÓN NÚMERO 5 AL TUNEL ANALCO-SAN JOSÉ, EN LOS TRAMOS 2, FRENTE 2 Y TRAMO 3, DEL PI 313 KM 42+379.53 AL TANQUE SANTA ISABEL Y DEL TANQUE SANTA ISABEL A LA TORRE DE OSCILACIÓN NÚMERO 5 DEL SISTEMA CUTZAMALA, EN EL ESTADO DE MÉXICO

MEMORIA DESCRIPTIVA Y DE CÁLCULO DE LA ADECUACIÓN DEL PROYECTO EJECUTIVO DEL TRAMO DE LA SUBIDA AL TANQUE SANTA ISABEL (CAD. 62+000.00 AL CAD. 62+414.48)

JULIO DEL 2018

Se adecuo el proyecto ejecutivo del tramo del km 62+000.00 al 62+684.36, a partir del km 62+620.00 la tubería de la Línea No. 3 de proyecto, empieza a ser superficial en dirección al Tanque Santa Isabel. En el ajuste del proyecto se optó por que la tubería fuera semienterrada, considerando que la mitad de la tubería fuera enterrada y la otra mitad sea superficial.

Quando la tubería está enterrada, generalmente no presenta cambios significativos longitudinales bajo condiciones operativas debido a la temperatura y las tensiones térmicas. Sin embargo, durante la construcción y antes de completar el relleno, los cambios extremos en la temperatura ambiental, pueden causar expansión o contracción excesiva en la tubería los cuales pueden evitarse rellenando la zanja del tubo a medida que avanza la construcción.

En tuberías de acero que se instalan enterradas, en terrenos con pendientes pronunciadas, que trabajan bajo condiciones de presión y temperatura incrementan los esfuerzos longitudinales debido al peso del tubo y al peso del agua, cuando ya está en operación, estas solicitaciones puede causar inestabilidad en la tubería y provocar que tienda a deslizarse y/o transmitir los esfuerzo a los tubos colocados aguas abajo.

Quando las tensiones longitudinales superan los coeficientes de trabajo del material en el terreno con una pendiente pronunciada es necesario la colocación de atraques para disminuir los esfuerzos longitudinales a lo largo de la tubería y transmitirlos al suelo y limitar el

En el caso de la tubería de aguas abajo del tanque, la tubería es de 15.88 mm (5/8”) de espesor, se ubican dos VAEAs, en los cad. 62+510.73 y 62+268.72, por lo tanto la presión de colapso es:

$$P_c = 50200000 \left(\frac{0.625}{99.75} \right)^3 = 12.40 \cdot \cdot \cdot PSI$$

Se considera un factor de seguridad de 4 como lo recomienda el manual de la AWWA M-51 para obtener el diferencial de presión “DP”

$$DP = \left(\frac{12.40}{4} \right) = 3.10 PSI$$

El gasto a considerar para seleccionar la Válvula en al cad. 62+618.00, es el más crítico, el cual es el obtenido por Ruptura:

$$Q_{ADM} = 292.27 \text{ ft}^3/\text{s}$$

Ilustración 5.58 Extracto de la memoria de Dirac 2018

La adecuación no es aceptable, si bien es cierto que las VAEAs reducirán el vacío en la tubería, no menos cierto es que pueden fallar en hacerlo, si no se les da adecuado mantenimiento.

El sistema Cutzamala está en operación por más de 35 años, y seguirá operando por otros años, se espera que la L3 esté en operación por muchos años también. El mantenimiento de las VAEAs no ha sido de los mejores y las VAEAs pueden fallar por lo que el peligro por colapso no es aceptable, dada la importancia del sistema Cutzamala.

5.4. ANÁLISIS DE INTERCONEXIONES ENTRE L1, L2 Y L3.

5.4.1. ANTECEDENTES

Se han presentado algunas propuestas para colocar válvulas de seccionamiento en las líneas 1 y 2, entre la TO5 y el TASJ. Estas válvulas permitirían que, en caso de realizarse un procedimiento de mantenimiento o reparación, se puedan aislar tramos de longitud menor y con ello disminuir el tiempo de vaciado y de llenado y más importante aún, disminución del volumen de agua que se desfoga. De esta forma, en años pasados se solicitó al Instituto de Ingeniería (IIUNAM) revisar los criterios necesarios para colocar y operar estas válvulas intermedias en el tramo a gravedad.

Cuando se realizó el estudio del IIUNAM, el Sistema Cutzamala tenía dos tuberías pa-

ralelas, de 2.5 m de diámetro, de concreto con acero de presfuerzo y se estableció como gasto máximo 12 m³/s por cada línea. En el diseño original se consideró que no habría ninguna posibilidad de flujo transitorio que pudiera ser capaz de rebasar a la piezométrica a flujo establecido, esto se confirma con los resultados del modelo de simulación hidráulica realizado en la primera etapa del presente estudio. Del análisis del paro de los equipos de bombes en la PB5 se presenta el resultado de transitorios en la Ilustración 5.59.

El problema que da origen al presente estudio es la disminución de capacidad de conducción en los dos tramos, en los cuales sólo es posible transportar un gasto de 7.5 m³/s por línea, entregando un caudal total de 15 m³/s, derivado del desgaste de las tuberías se establecen operativos de mantenimiento y sustitución de tramos de tubería.

El proceso de sustitución implica vaciar prácticamente el tramo de tubería entre tanques y a pesar de esta situación no es posible vaciar completamente el tubo debido al perfil topográfico de los tramos y la ubicación de las estructuras de conexión, esto principalmente en el tramo entre el Tanque Pericos y el túnel Analco San José (TASJ), observe la Ilustración 5.60, por lo que se tiene que recurrir a un proceso de achique por bombeo. En la mayoría de los casos el achique implica un mayor tiempo de vaciado, incluso mayor al tiempo que se requiere para la reparación.

Estudio para restituir y mejorar la capacidad de conducción, mediante un manejo adecuado del aire y optimización del funcionamiento hidráulico, en las líneas 1 y 2 del sistema Cutzamala

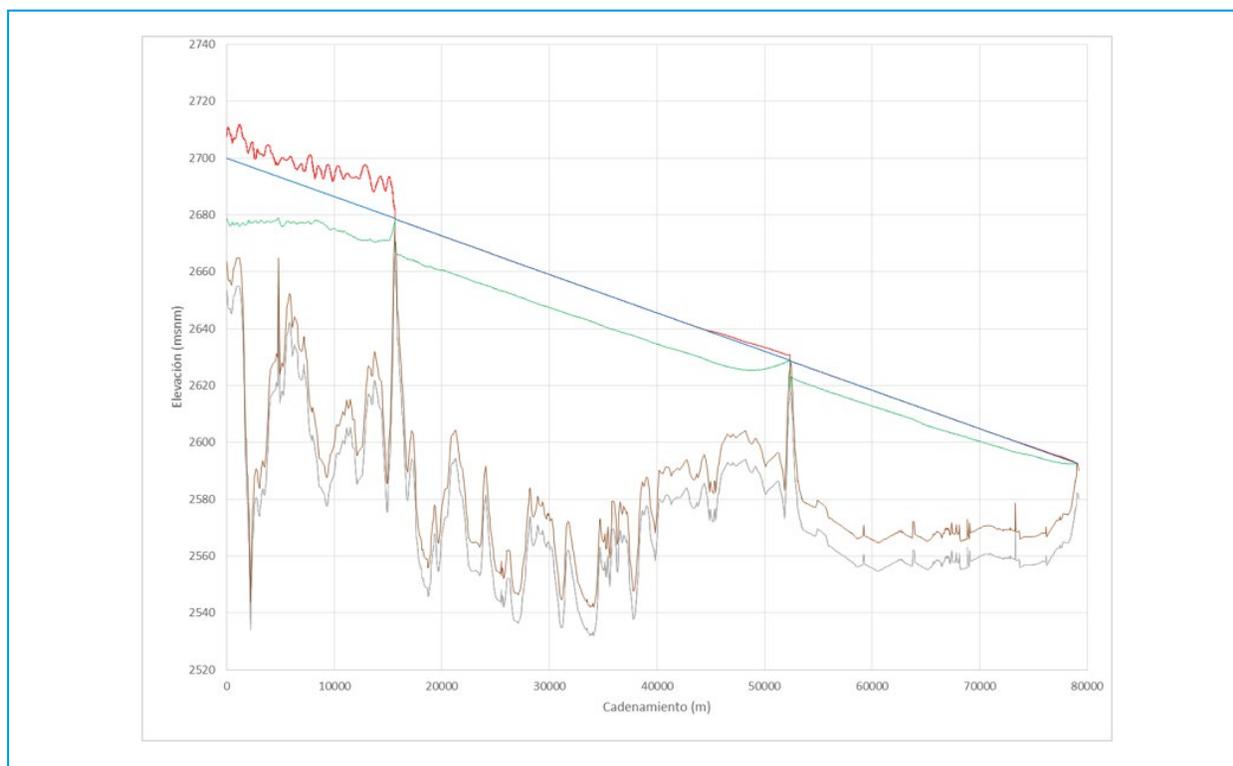


Ilustración 5.59 Gráfico de envolventes de presión ante el paro de los equipos de bombeo en la PBS

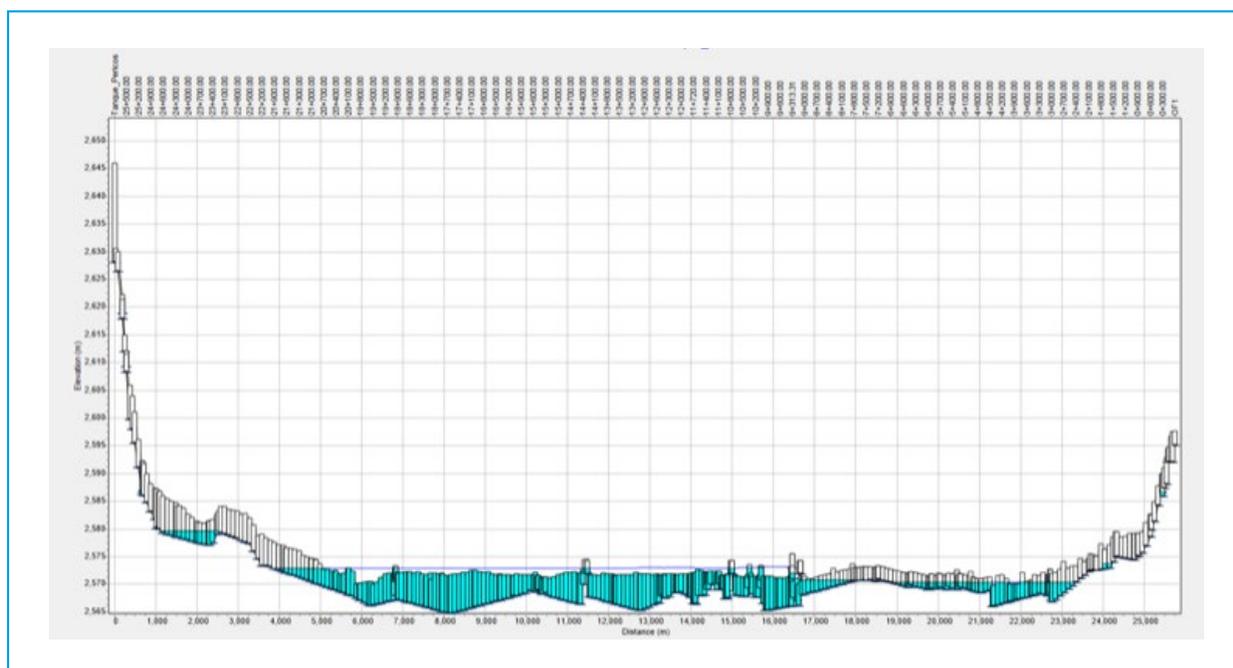


Ilustración 5.60 Resultado del vaciado de la zona 1 del tramo 1

Para minimizar el volumen de agua desfogado, y disminuir el tiempo de vaciado se propuso colocar válvulas intermedias; una en el km 34+000 para el tramo entre el Tanque Santa Isabel y el Tanque Pericos y dos para el tramo entre el Tanque Pericos y el TASJ en los kilómetros 19+500 y 9+000 (observe la Ilustración 5.61).

El objetivo de estos seccionamientos es aislar tramos de longitud menor y con ello se disminuir tanto el tiempo como el volumen de vaciado del tramo afectado.

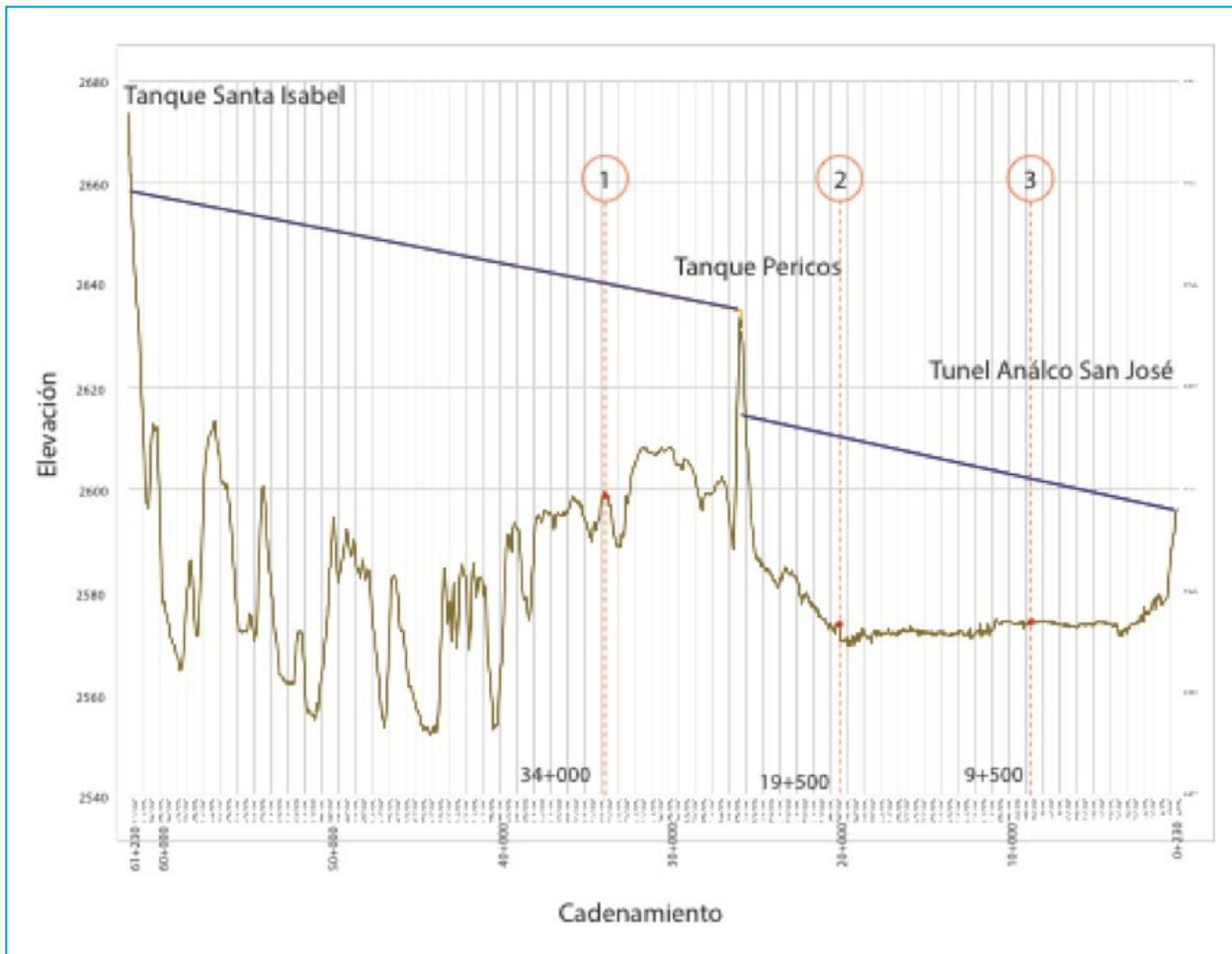


Ilustración 5.61 Ubicación de los seccionamiento propuestos

Se tiene cierto avance en la implementación de tales interconexiones. La Ilustración 5.62

muestra el avance de la obra de una de esas válvulas intermedias.



Ilustración 5.62 Avance de la obra del proyecto de OCAVM de válvulas intermedias entre los tanques

Lo primero que hay que ver es si la nueva propuesta de interconexiones entre las Líneas 1, 2 y 3 con válvulas intermedias entre los tanques se puede combinar con este proyecto de OCAVM, para aprovechar su avance.

5.4.2. INTERCONEXIONES PROPUESTAS

A continuación, se presentan 5 interconexiones que permitirán desviar el agua de la línea 1 a la 3 y de la línea 2 a la 3, en la siguiente imagen se establece su ubicación (ver Ilustración 5.63).

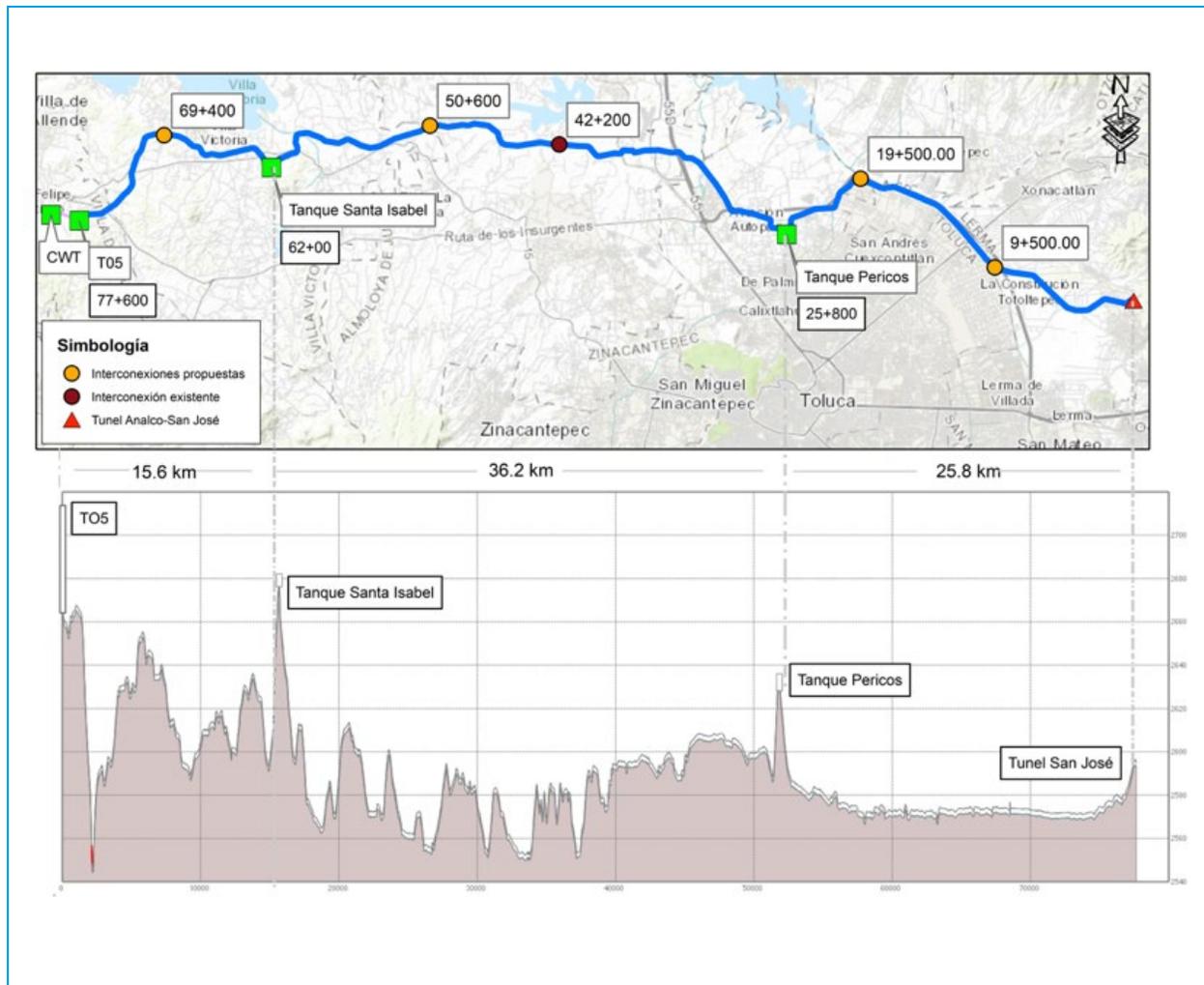


Ilustración 5.63 Interconexiones propuestas para el sistema Cutzamala

NOTA: La forma de los arreglos presentados a continuación para las conexiones propuestas son habilitadas para que el modelo hidráulico funcione de una manera adecuada, por lo tal motivo se requiere para su diseño y colocación en el lugar, la revisión de las piezas existentes para esos diámetros, válvulas disponibles y además de contar con estudios como el geotécnico y estructural para que no presente problemas posteriores.

5.4.3. TRAMO 4

Para el tramo 4 se propone una interconexión en el kilómetro 69+400, que se denominará interconexión 1, estableciéndose a 8.23 km hacia aguas arriba de la torre de oscilación y 7.47 km hacia aguas abajo para llegar al tanque Santa Isabel. Con esta ubicación se le puede dar mantenimiento a 9 VAEAS de la línea 1 y 15 de la línea 2. En este tramo no se tiene registro de alguna falla en la línea 1 ó 2 que haya hecho darle mantenimiento preventivo y correctivo (ver Ilustración 5.64).

Con respecto al acceso por vía terrestre a la ubicación de la interconexión 1, se accesa por la Carretera El Oro – Villa Victoria y se recorre aproximadamente 2.4 km de caminos secundarios llegando al punto mencionado (ver Ilustración 5.65).

El arreglo planteado se establece de la siguiente manera:

Tomando a consideración que la línea 3 será la auxiliar, se ha provisto de 2 tuberías para derivar el flujo (solamente que en el modelo numérico se han colocado 4 tuberías que llegan a la línea 3).

Para la línea 1 se tiene una conexión, la primera va de la línea 1 a la 3, la línea 2 también presenta una conexión de la línea 2 a la línea 3; y por último la línea 3 tiene dos derivaciones que van a la línea 1 y 2

5.4.3.1. Escenario para darle mantenimiento a la línea 2

En este escenario el flujo se transporta en la línea 1 y 2 a un gasto de 1.73 m³/s, es decir, como condición de llenado y se espera a que se presurice, posteriormente se prevé un mantenimiento y/o reparación a línea dos en el tramo de aguas abajo, por lo que a partir de las 20 horas se hará un corte para que entre en función la línea 3 derivando el flujo por la conexión INTERL2_A_L3 (ver Ilustración 5.66).



Ilustración 5.64 Ubicación de la interconexión en el tramo 1

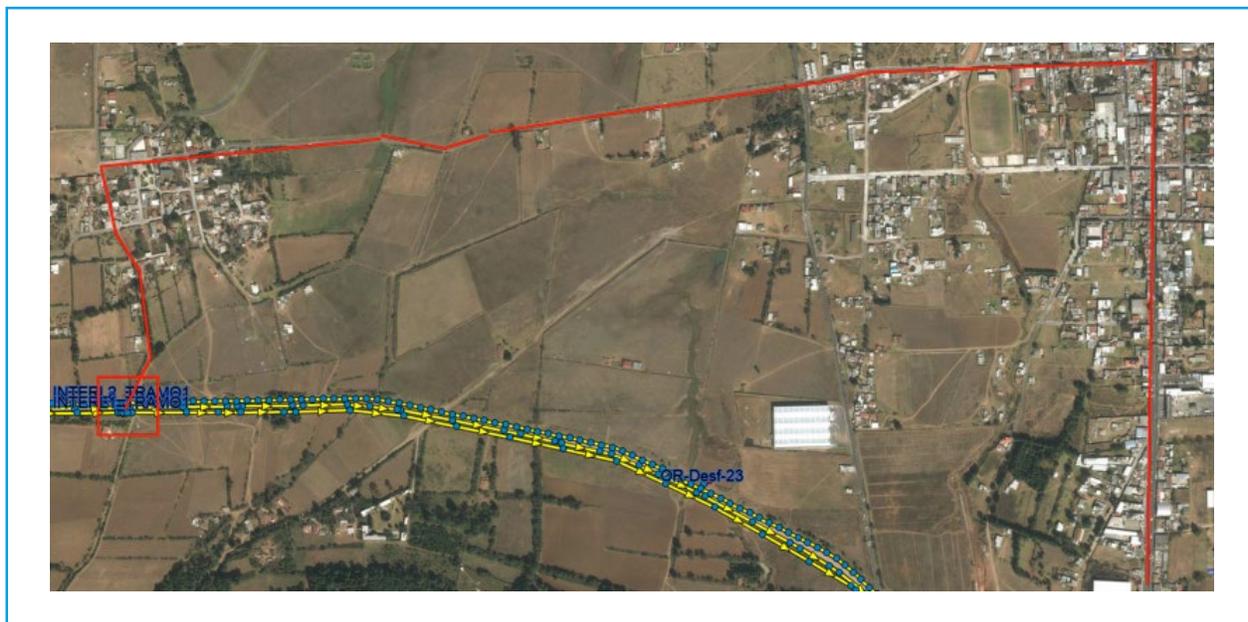


Ilustración 5.65 Acceso a la interconexión 1



Ilustración 5.66 Esquema de la interconexión

Y además las conexiones se encuentran cerradas. Como resultado se tiene lo siguiente:

Empleando un modelo basado en SWMM, se probaron diferentes diámetros para la interconexión que consideran principal entente una velocidad menor a 5 m/s, por ejemplo, para el caso de un diámetro de 1.0 m se tiene un rebose en el TO5 lo que hace inviable este diámetro; además de una conexión de 2.51 m de diámetro que genera al tiempo de abrir esta conexión un vacío en la línea 1 que dura aproximadamente 2 horas, haciendo inviable este diámetro, por lo que se selecciona un diámetro de 1.5 m.

Este diámetro viene acompañado de una válvula de mariposa 1.5 m diámetro, que regule el flujo para no rebasar los 5 m/s con

la operación siguiente: en los primeros 130 minutos una apertura de la válvula del 12 al 20 %, en los siguientes 20 minutos pasa del 20 al 26 % y de ahí se continua una regulación lineal hasta llegar al 100 % en los siguientes 20 minutos (ver Ilustración 5.67).

Las condiciones hidráulicas de la tubería INTERL2_A_L3 que se presenta Ilustración 5.69, al tiempo de la apertura de la válvula genera un control en la velocidades que se encuentran dentro de la permisible excepto en los primeros 10 minutos, donde llega hasta 2.60 m³/s y una velocidad de 5.2 m/s; de ahí se mantiene la velocidad en 5.28 m/s y posteriormente un flujo constante de 1.73 m³/s y una velocidad de 1.0 m/s (ver Ilustración 5.68).

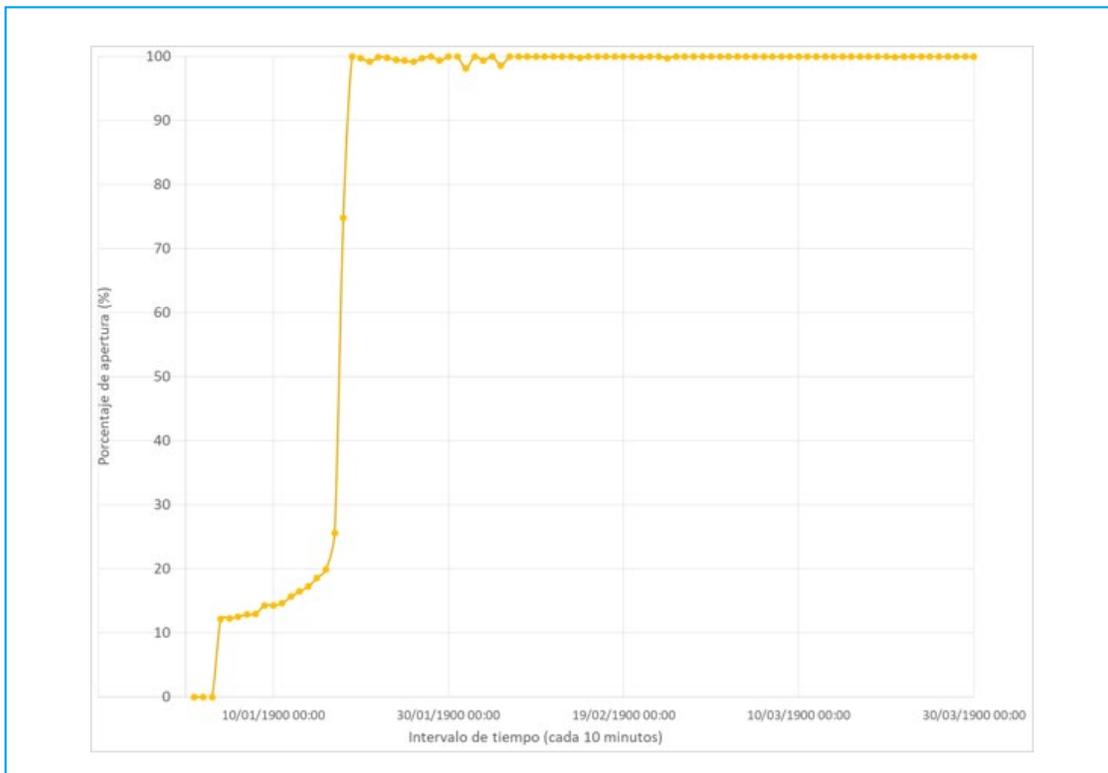


Ilustración 5.67 Apertura de la válvula para el tramo 4

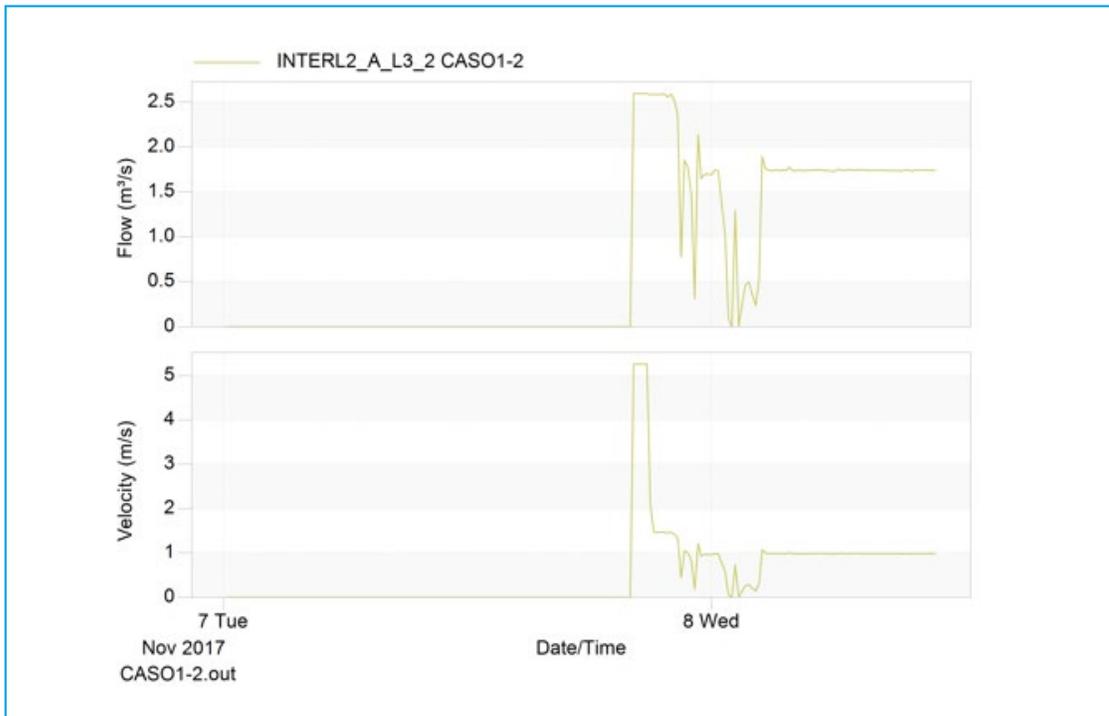


Ilustración 5.68 Comportamiento del gasto y la velocidad en la tubería INTERL2_A_L3

Para la línea 3 que es la línea auxiliar, el llenado comienza a partir de los 10 primeros minutos, es decir, a 20:10 horas empieza a

transportar el flujo hasta el tanque Santa Isabel en un tiempo de 6:20 horas (ver Ilustración 5.69).

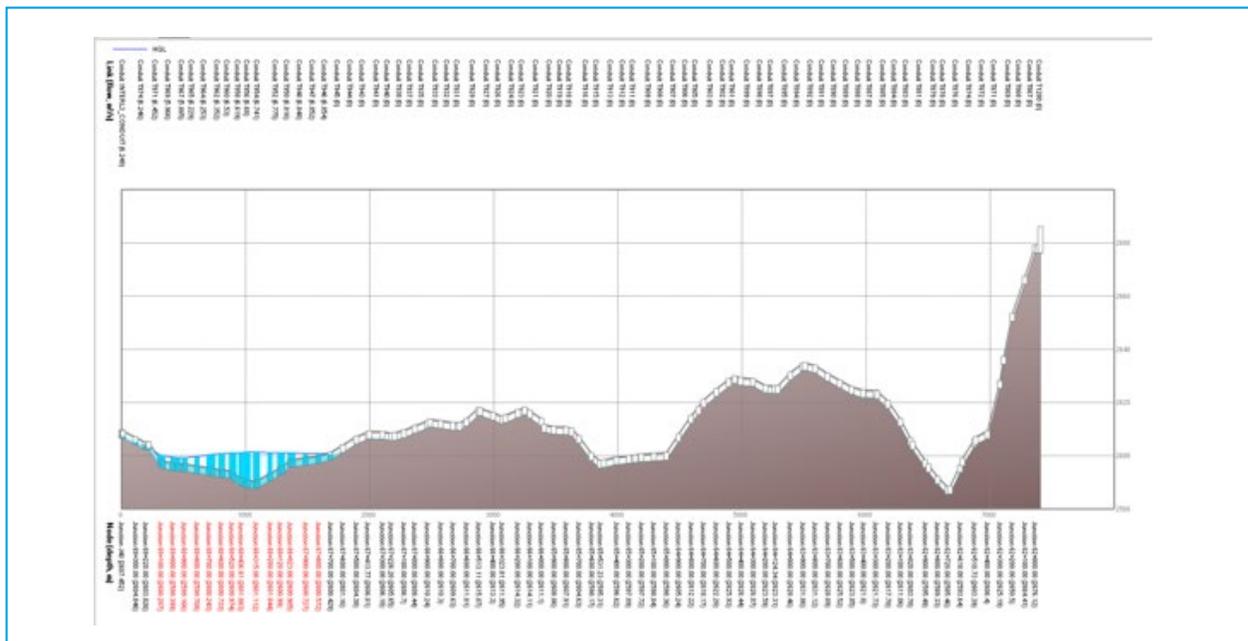


Ilustración 5.69 Perfil del flujo de la línea 3 al tiempo de la apertura de la válvula

Con respecto al vaciado de la línea 2, inicia a las 20 horas y se activan las 3 válvulas de compuerta (desfogue), la línea se vacía en su totalidad en 8:40 horas excepto en dos puntos donde se puede considerar agregar otras válvulas de compuerta. Los kilómetros son 64+200, en el que se desaloja el flujo en un tramo de 420 m, y en el kilómetro 66+350 para desalojar el agua en un tramo de 220 m (ver Ilustración 5.70).

5.4.3.2. Escenario para darle mantenimiento a la línea 1.

Este escenario comprende el darle mantenimiento a la línea 1, en el tramo aguas abajo

de la interconexión por lo que se cerrará la línea a partir de las 20 horas y mediante la conexión de la tubería que lleva por nombre INTERL1_A_L3 conducirá el flujo a la línea 3 del sistema Cutzamala. Además, se prevé dimensionar una válvula que regule el gasto de entrada a la línea 3 para que no se tengan velocidades altas.

Los resultados se explican a continuación:

La tubería INTERL1_A_L3_2 es de un diámetro de 1.52 m, de sección circular y una rugosidad de 0.015 (material de acero) y que hará la función de conducir el gasto de la línea 1 a la línea 3 (ver Ilustración 5.71).

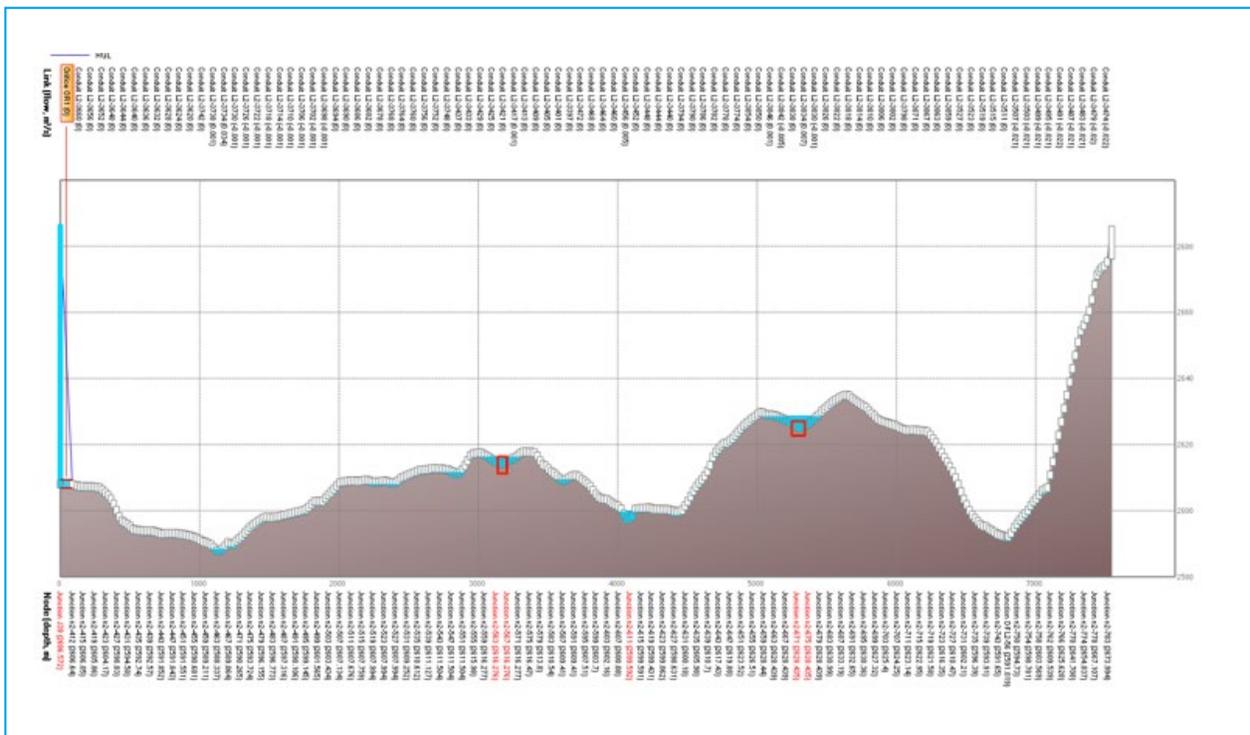


Ilustración 5.70 Válvulas de desfogue propuestas de la interconexión al Tanque Santa Isabel

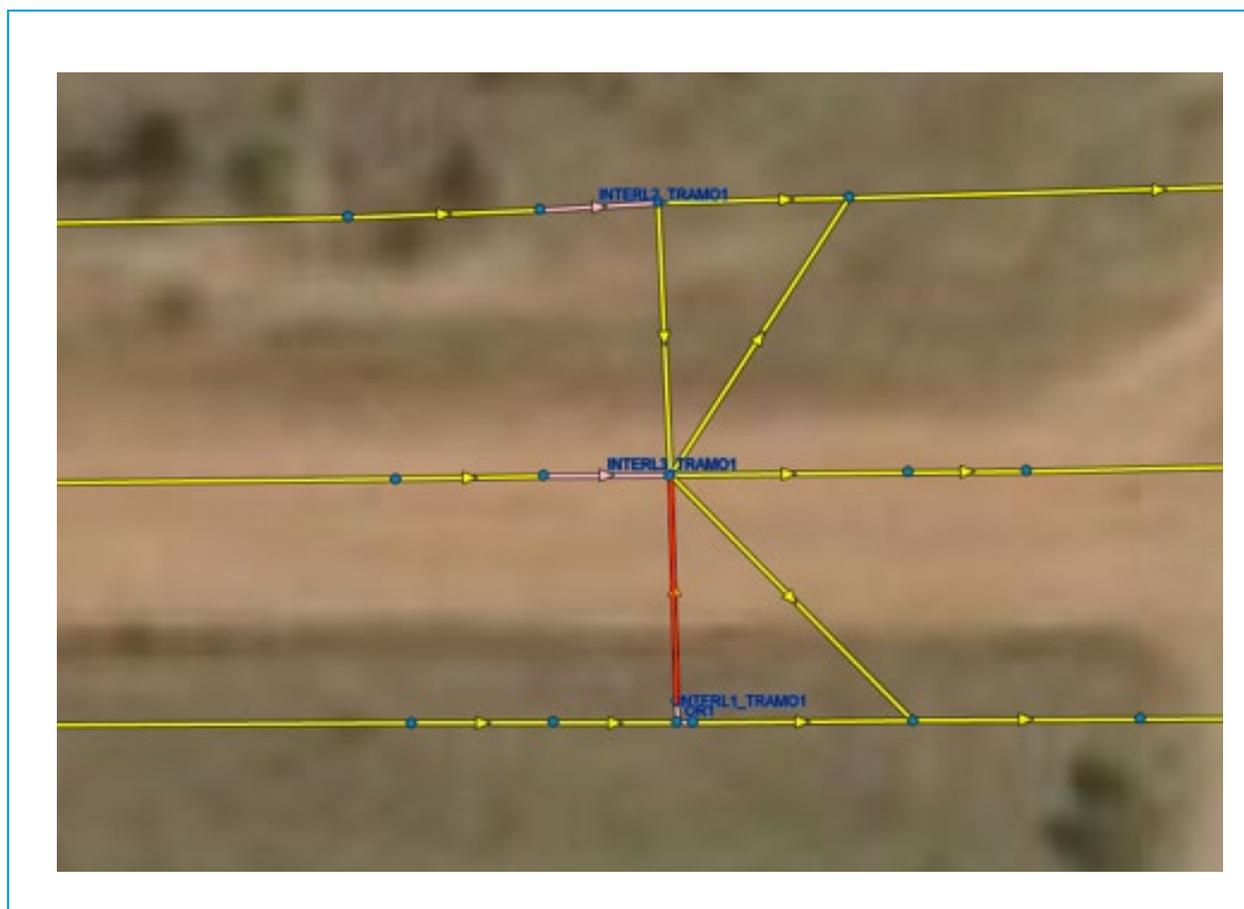


Ilustración 5.71 Esquema para el escenario del mantenimiento de la línea 1

La línea de conducción que lleva por nombre INTERL1_A_L3_2 a partir de las 20 horas tiene un pico con un duración de 20 minutos y como valor máximo $2.56 \text{ m}^3/\text{s}$, pero posterior a esos 120 minutos se tienen pequeñas oscilaciones hasta mantenerse con un valor promedio de $1.78 \text{ m}^3/\text{s}$, con respecto a la velocidad es correspondiente con el gasto y se presenta un aumento de caudal en los primeros 40 min llegando a 5.24 m/s y de ahí presenta una velocidad menor a la permisible de 0.96 m/s (ver Ilustración 5.72).

La operación de la válvula se menciona a continuación, en los primeros 120 minutos se abre de un 12 a un 19 %, los siguientes 30 minutos se abre del 20 al 59 %, continuando una transición del 59 a 100 % en los próximos 20 minutos (ver Ilustración 5.73).

La línea 3 inicia su llenado después del cierre a las 20 horas, para conducir el agua hasta el tanque Santa Isabel en un tiempo aproximado de 7:10 minutos (ver Ilustración 5.74).

Para el desfogue de la línea 1, se cuenta con una válvula de compuerta la cual entra en función a partir de las 20 horas, vaciando aproximadamente 1/3 del total del tramo en un tiempo de 4:40 horas, por lo que se proponen 2 válvulas de compuerta para su

vaciado completo, primera en el kilómetro 62+650 donde ayudara a desalojar el agua en un tramo de 1.1 km, y en el kilómetro 68+275 que contribuirá a desalojar 7.35 km de conducción (ver Ilustración 5.75).

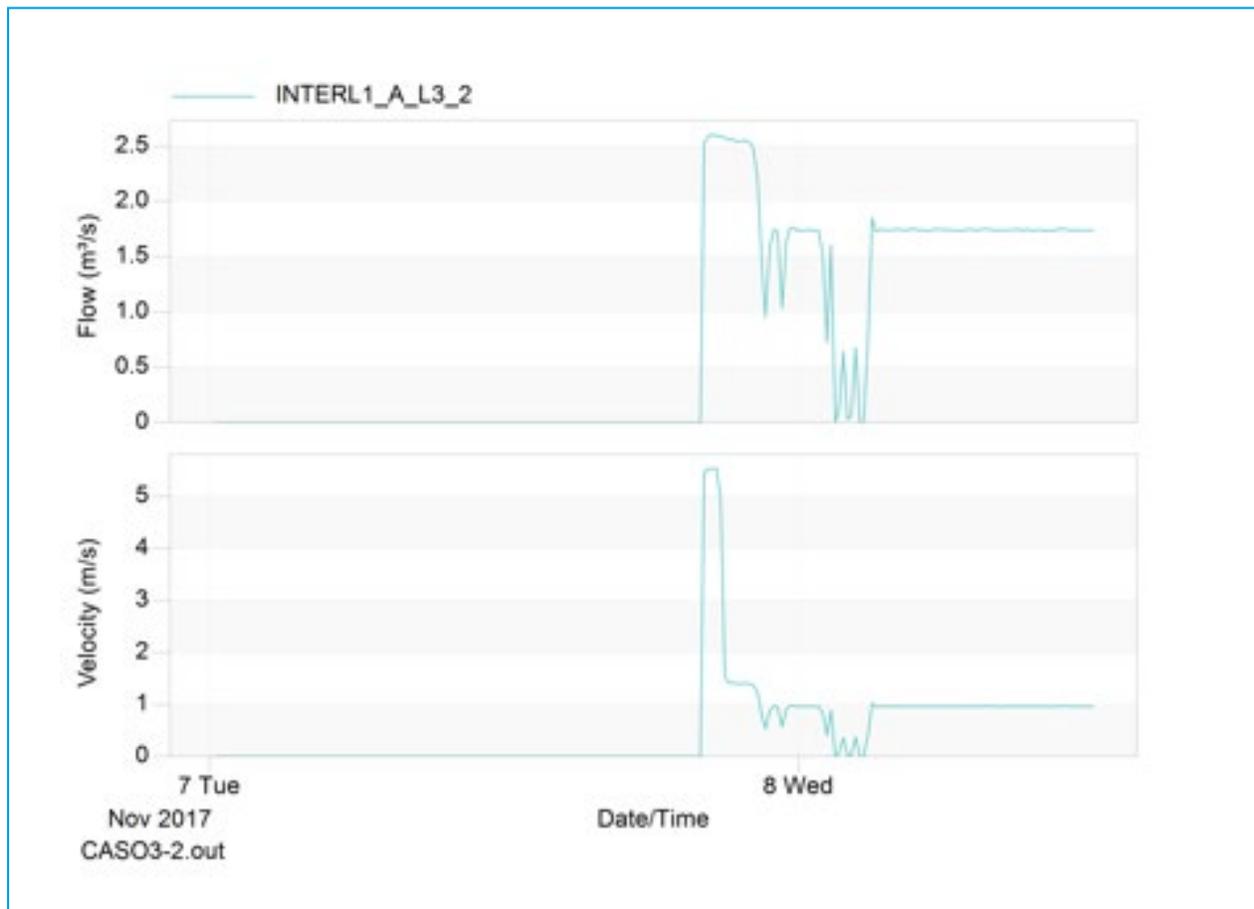


Ilustración 5.72 Comportamiento del flujo y velocidad en la tubería INTERL1_A_L3

Desarrollo del Proyecto

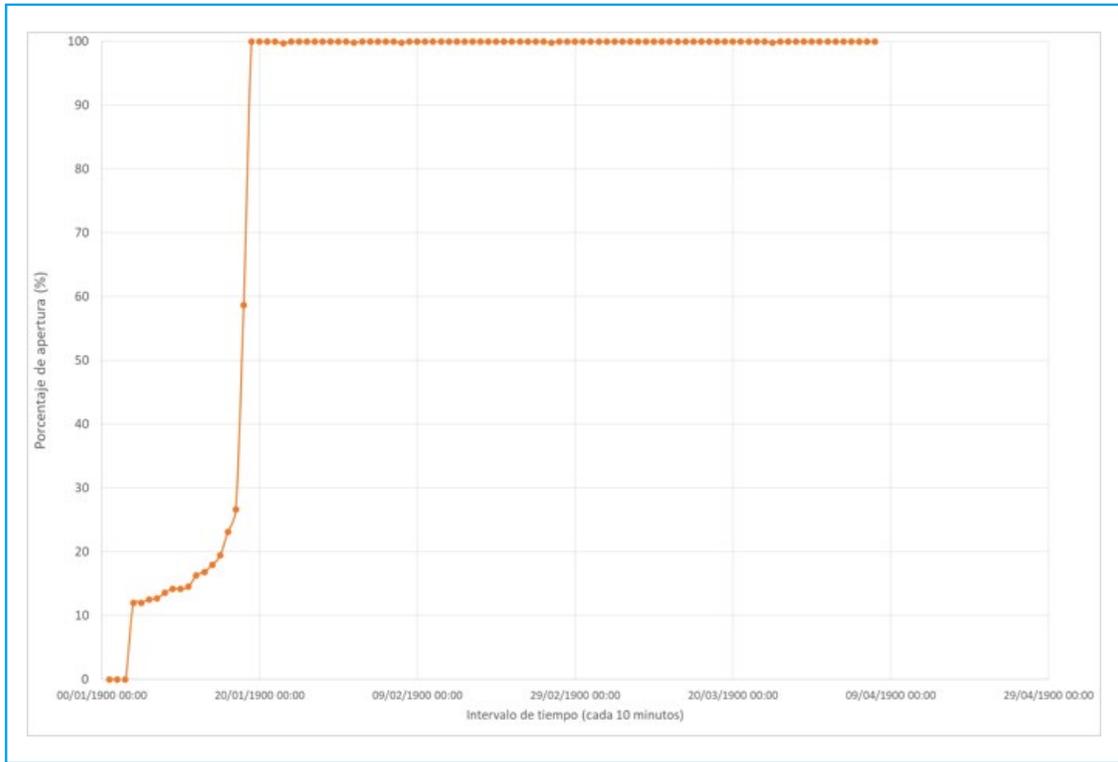


Ilustración 5.73 Apertura de la válvula de la línea 1 a la línea 3

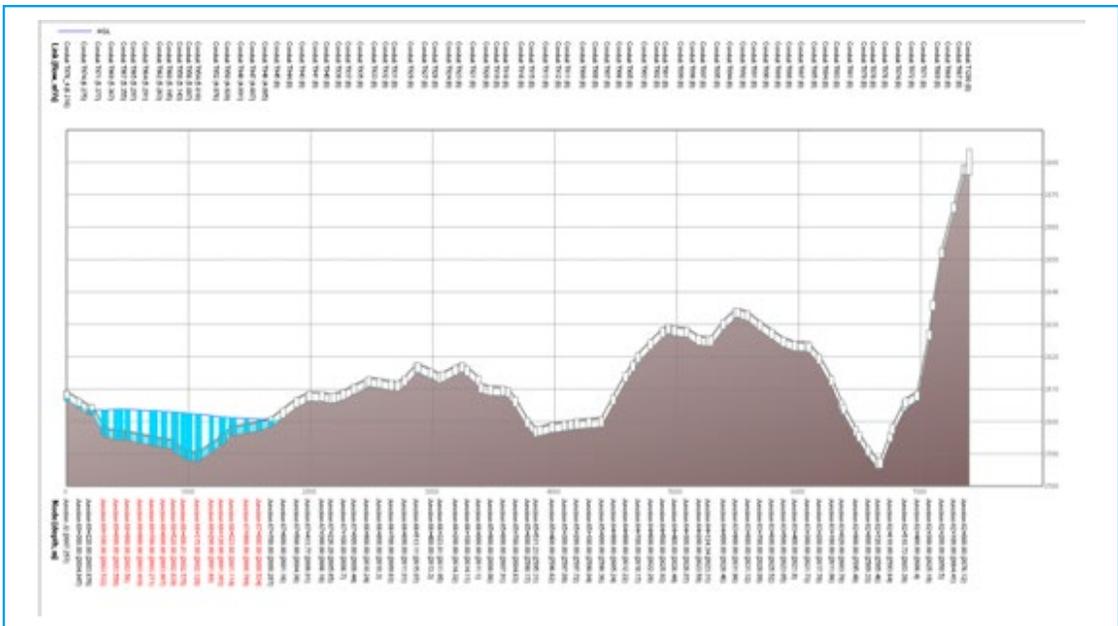


Ilustración 5.74 Perfil de flujo de la línea 3 al tiempo de la apertura de la válvula

5.4.4. TRAMO 2 Y 3

En el tramo 3 se propone una interconexión en el kilómetro 50+600 (interconexión 2) y en el tramo 2 se ubica en el kilómetro 42+200 (interconexión 3). La longitud existente entre el tanque Santa Isabel a la interconexión 2 es de 11.33 kilómetros aproximadamente, de la interconexión 2 a la interconexión 3 es de 8.4 kilómetros, y 16.5 kilómetros de longitud de la conducción de la interconexión 3 al tanque Pericos.

Para darle mantenimiento a las válvulas en el tramo de la interconexión 2 a la interconexión 3, se encuentran 1 y 5 válvulas de compuerta para la línea 1 y 2 respectivamente. Si se pone en operación la interconexión 2 se puede dar mantenimiento a las válvulas de admisión y expulsión de aire, en el tramo se encuentran 15 válvulas en la línea 1 y 13 válvulas en la línea.

Con respecto a las fallas registradas entre el kilómetro 50+600 al tanque Pericos, se

tiene registro que se han presentado 2 fallas en los kilómetros 49+000 y 50+000, esto hace favorable la colocación de la interconexión 2.

De ponerse en operación la interconexión 3 se puede darle mantenimiento en la línea 1 a 21 válvulas de admisión y expulsión de aire y en la línea 2 a 37 válvulas. En el caso de las válvulas de compuerta se tienen 6 y 9 para la línea 1 y 2 respectivamente. Con respecto a las fallas que sean suscitado en la línea 1 se tiene registro en los kilómetros 26+000, 27+919, 29+000 y 40+000 y en la línea 2 se ha presentado una falla en el kilómetro 35+190 (ver Ilustración 5.76).

Para la segunda intersección ubicada en el kilómetro 50+600, el acceso se tiene por la carretera Los Matorrales – Marco de la Loma hasta entroncar con la carretera Santa Juana – Rancho Libertad y de ahí ir aproximadamente 600 metros hacia aguas arriba (ver Ilustración 5.77).

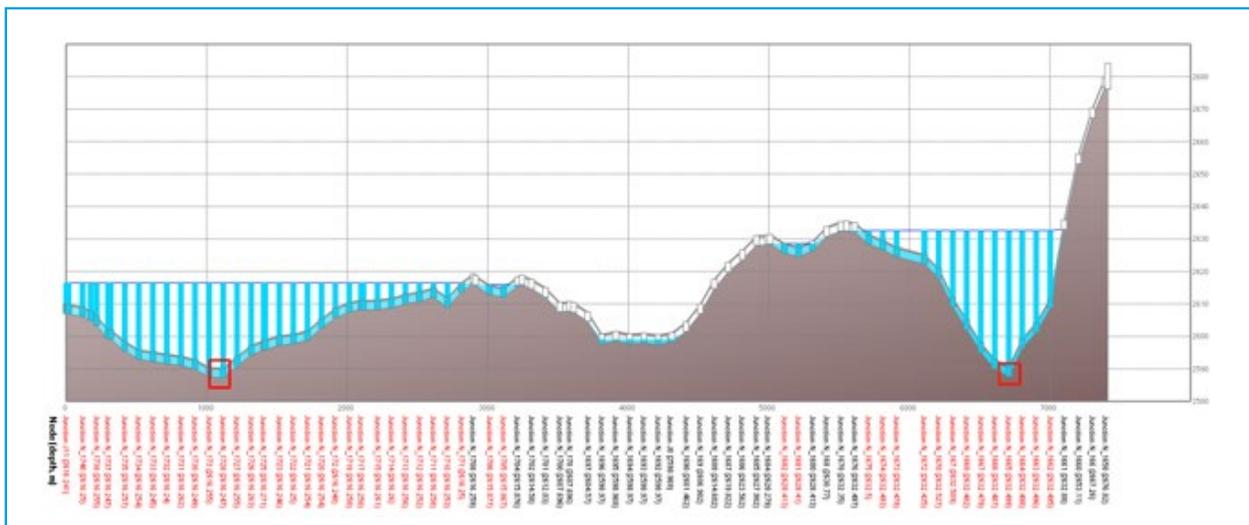


Ilustración 5.75 Válvulas propuestas para la línea 1 de la interconexión al Tanque Santa Isabel

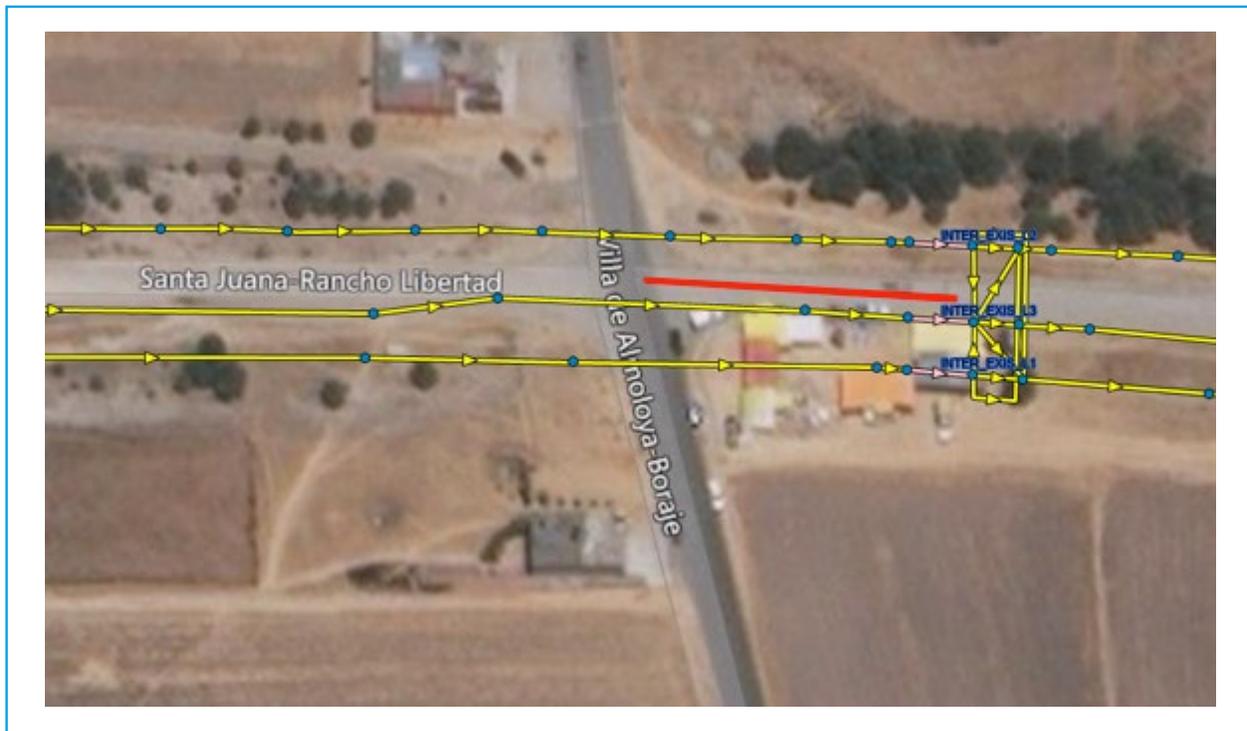


Ilustración 5.78 Interconexión existente en el tramo 2

Los resultados se detallan a continuación:

A la tubería INTER1_L2_A_L3 a partir de las 20 horas se le da apertura y en los primeros 10 minutos se tiene un pico de $15.84 \text{ m}^3/\text{s}$, posteriormente se mantiene en un rango de $1.71 \text{ m}^3/\text{s}$ a lo largo de la simulación, por su parte la velocidad es un reflejo del gasto, se tiene también un pico de 8.72 m/s en los primeros 10 minutos, posteriormente se tienen valores por debajo del límite permisible (5 m/s), teniendo un valor promedio de 0.95 m/s (ver Ilustración 5.79).

A la válvula para regular el control de la interconexión se le ha llamado INTER1_L2 y como resultado del modelo numérico no se tiene problema alguno con una apertura al 100 %, el escenario muestra que no se tiene

problema alguno con la velocidad permisible como es el caso de la anterior interconexión (Ilustración 5.80).

La línea 3 comienza el traslado del agua a partir de la interconexión a las 48:00 horas y llega al tanque Pericos a las 77:00 horas del día siguiente, es decir se tarda 29:00 horas en recorrer 24.79 kilómetros aproximadamente (ver Ilustración 5.81).

Con respecto al desfogue de la línea 2 se desaloja el agua en un tiempo de 05:20 horas con las 6 válvulas de compuerta funcionando, aunque se notaron 5 puntos donde se requiere una colocación adicional de válvulas para la expulsión completa del agua. La primer válvula se coloca en el kilómetro 33+100 y ayudará a desalojar el

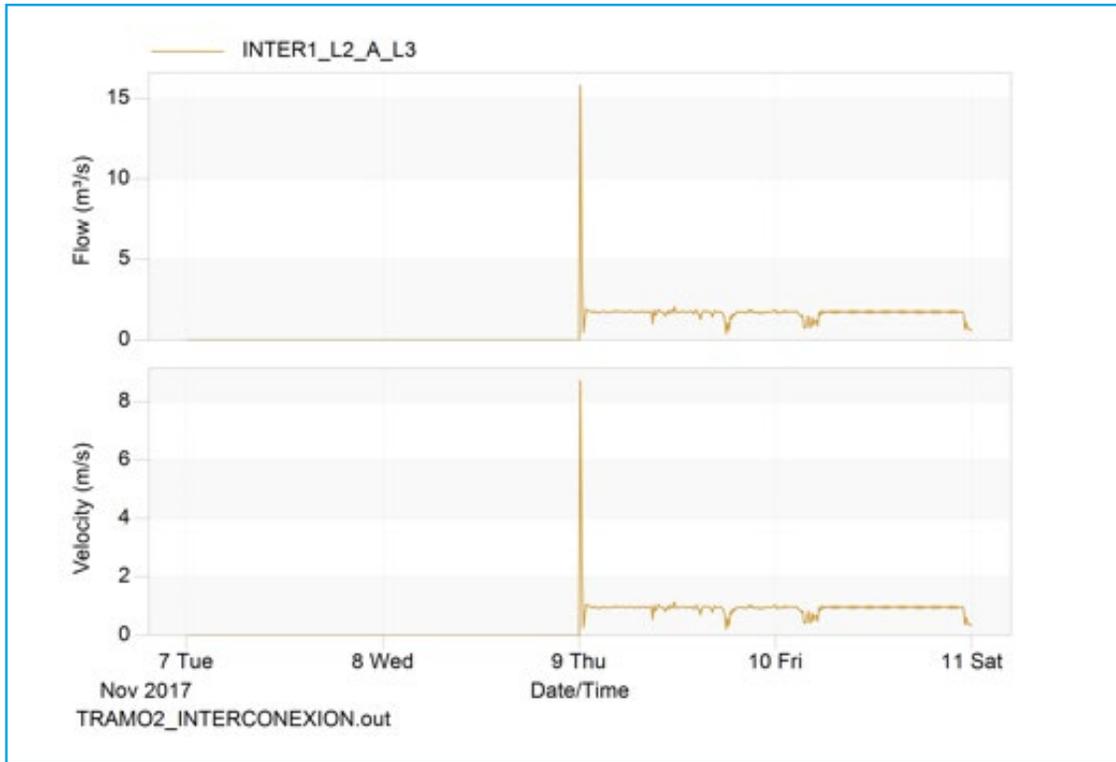


Ilustración 5.79 Comportamiento en el tiempo del gasto y velocidad en la tubería INTER1_L2_A_L3

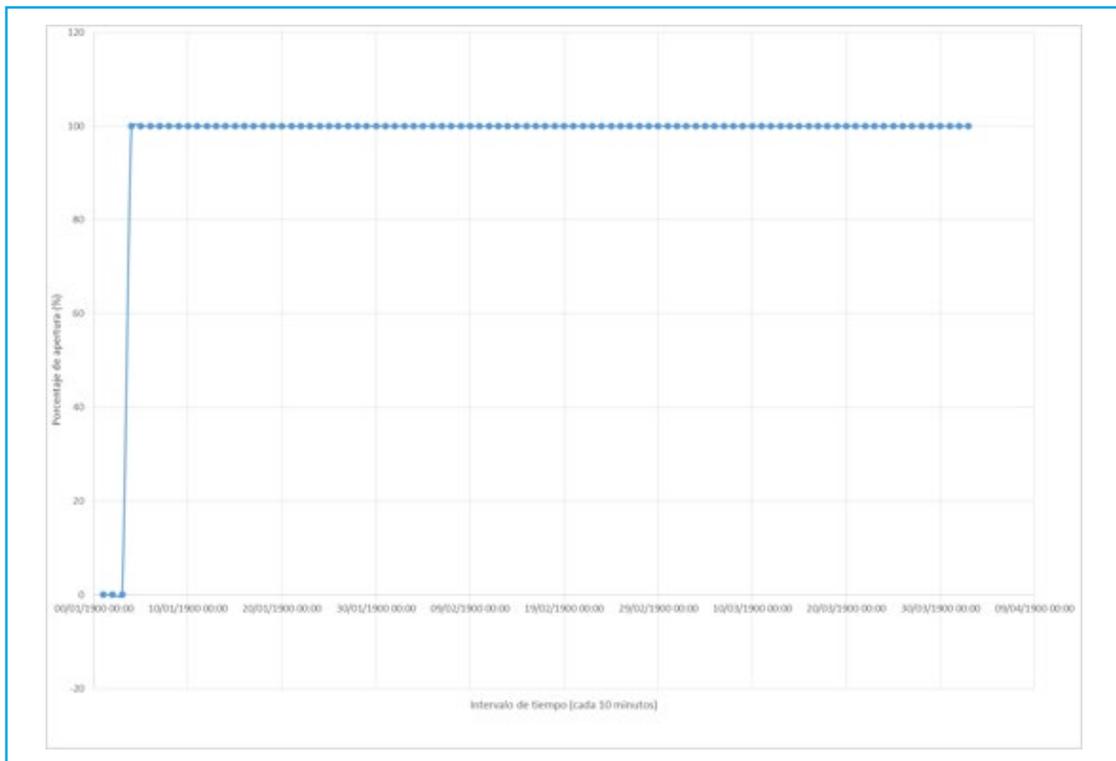


Ilustración 5.80 Apertura de la válvula que conecta a la línea 2 y línea 3

agua en 580 metros de longitud de tubería, la segunda válvula se sitúa en el kilómetro 36+800.00 y contribuirá a expulsar el agua de 1,080 metros de conducción, la tercera válvula se propone colocar en el kilómetro 41+500, la cuarta válvula en el kilómetro 44+200.00 ayudando a desalojar 980 metros de tubería y la quinta válvula se localiza en el kilómetro 49+660.00 y ayudará a desaguar 640 metros de tubería (ver Ilustración 5.82).

5.4.4.2. Interconexión 2, escenario para darle mantenimiento a la línea 1

Este escenario consiste en que la línea 2 mantenga su flujo continuo, mientras que la

línea 1 realiza un cierre a las 48:00 horas y permite la derivación del flujo en la línea 3, dado por una velocidad límite de 5 m/s. La simulación numérica es por un tiempo total de 96 horas.

Los resultados se presentan a continuación:

Para la tubería INTER1_L1_A_L3 se establece un diámetro de 1.52 metros, compuesta de acero (rugosidad de 0.015) y además una válvula reguladora de caudal, donde resulta un gasto máximo de 2.6 m³/s y medio de 1.74 m³/s. Por su parte la velocidad se encuentra en un valor medio de 0.96 m/s por lo que con estas condiciones funciona de manera adecuada (ver Ilustración 5.83).

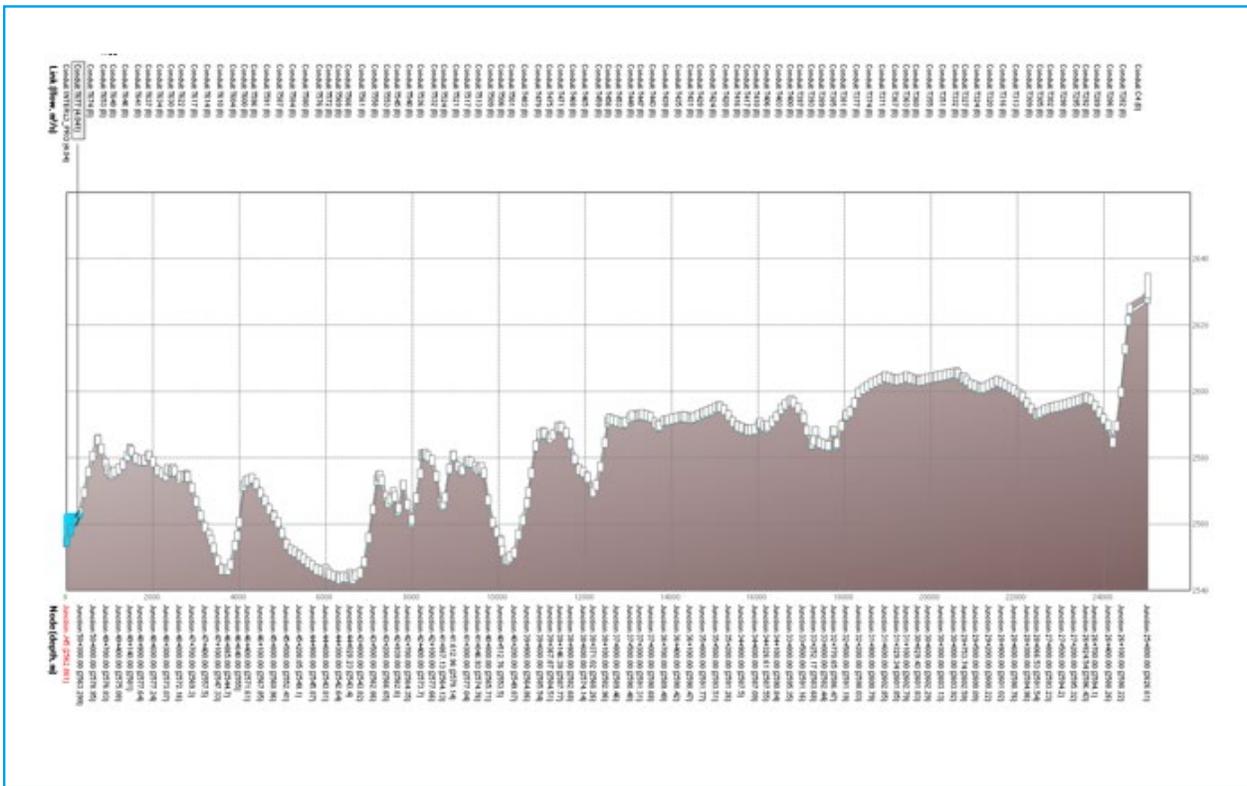


Ilustración 5.81 Perfil de la conducción de la interconexión 2 al tanque Pericos

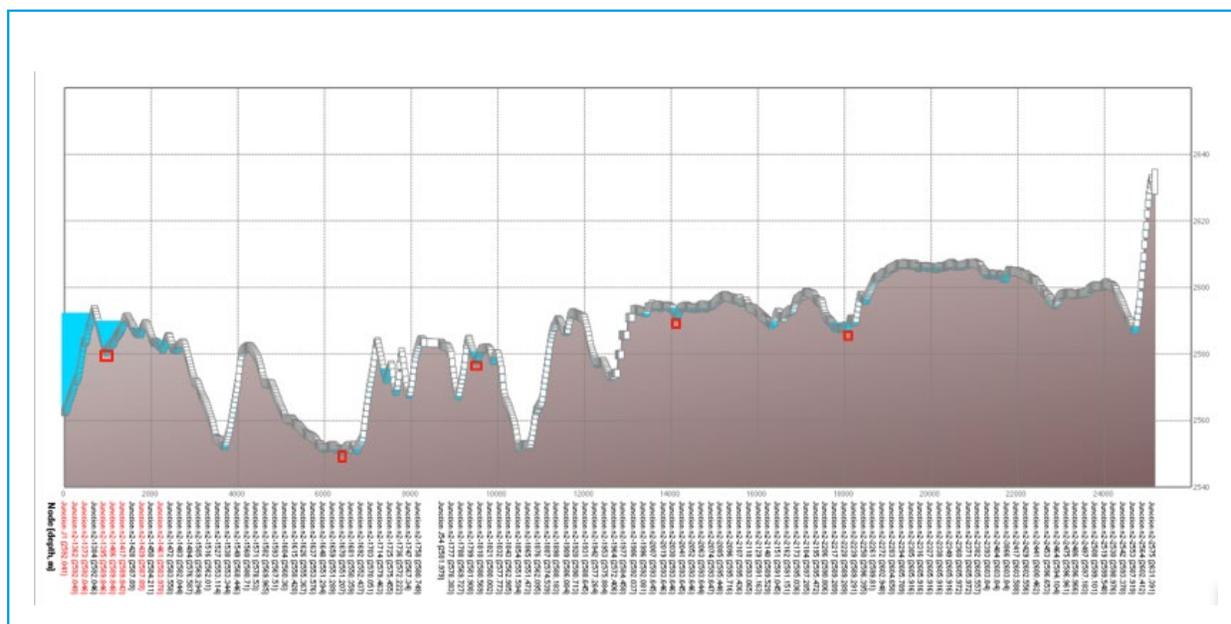


Ilustración 5.82 Perfil de flujo donde se marcan las zonas que requieren un válvula de compuerta (desfogue)

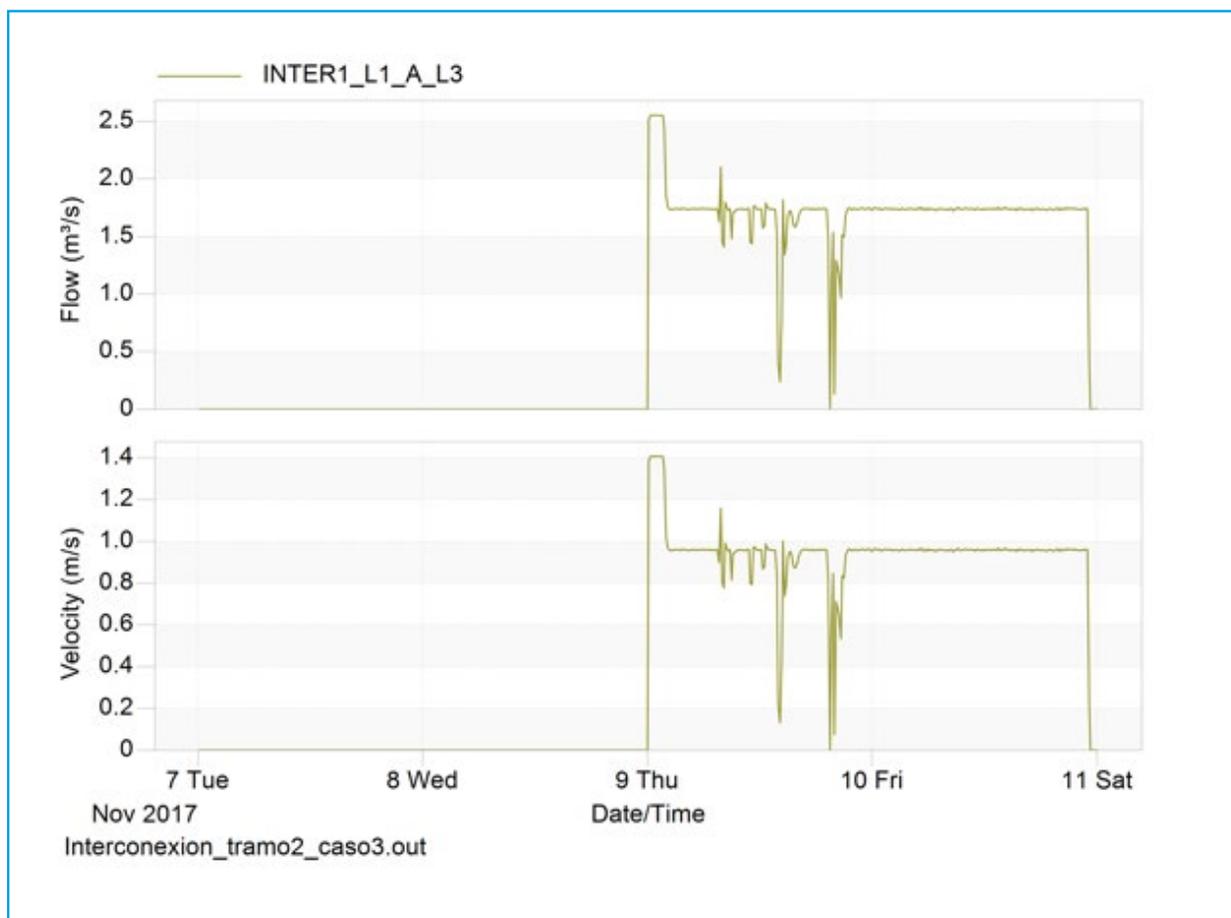


Ilustración 5.83 Comportamiento del flujo y velocidad en la tubería INTER1_L1_A_L3

La regla de operación para la válvula de caudal se describe a continuación: primeramente en los primeros 120 minutos realiza una apertura que va del 15 al 28 % de apertura, posteriormente en los siguientes 20 minutos se realiza una apertura del 28 % al 100 % (ver Ilustración 5.84).

En relación al tiempo de llenado de la línea 3 de la interconexión 2 al tanque Pericos, el flujo recorre apropiadamente una longitud de 24.71 km en un tiempo de 21:10 horas (ver Ilustración 5.86).

Para el desalojo del agua de la línea 1 en el tramo de la interconexión 2 al tanque Pericos se tiene una longitud de 24.7 kilómetros, y de la interconexión 2 a la 3 se tiene solo una válvula de compuerta (desfogue) por lo que el tiempo de vaciado se realiza en 7:20 horas, con estas válvulas se hace insuficiente quedándose estancada en ciertos tramos, por la tanto se proponen 7 válvulas en los siguientes cadenamientos: 34+700, 41+830, 42+580, 42+880, 44+180, 49+560, 50+600 (ver Ilustración 5.87).

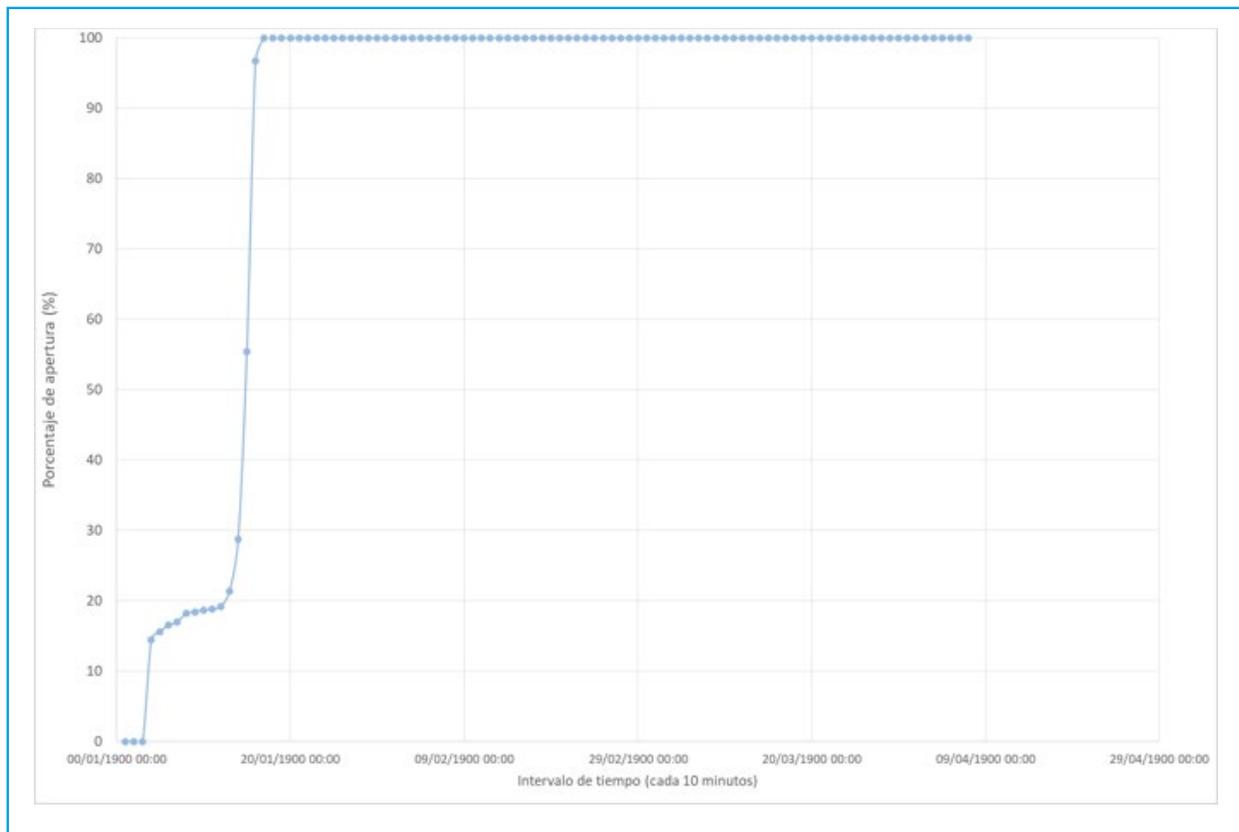


Ilustración 5.84 Apertura de la válvula para la darle mantenimiento a la línea 1

Desarrollo del Proyecto

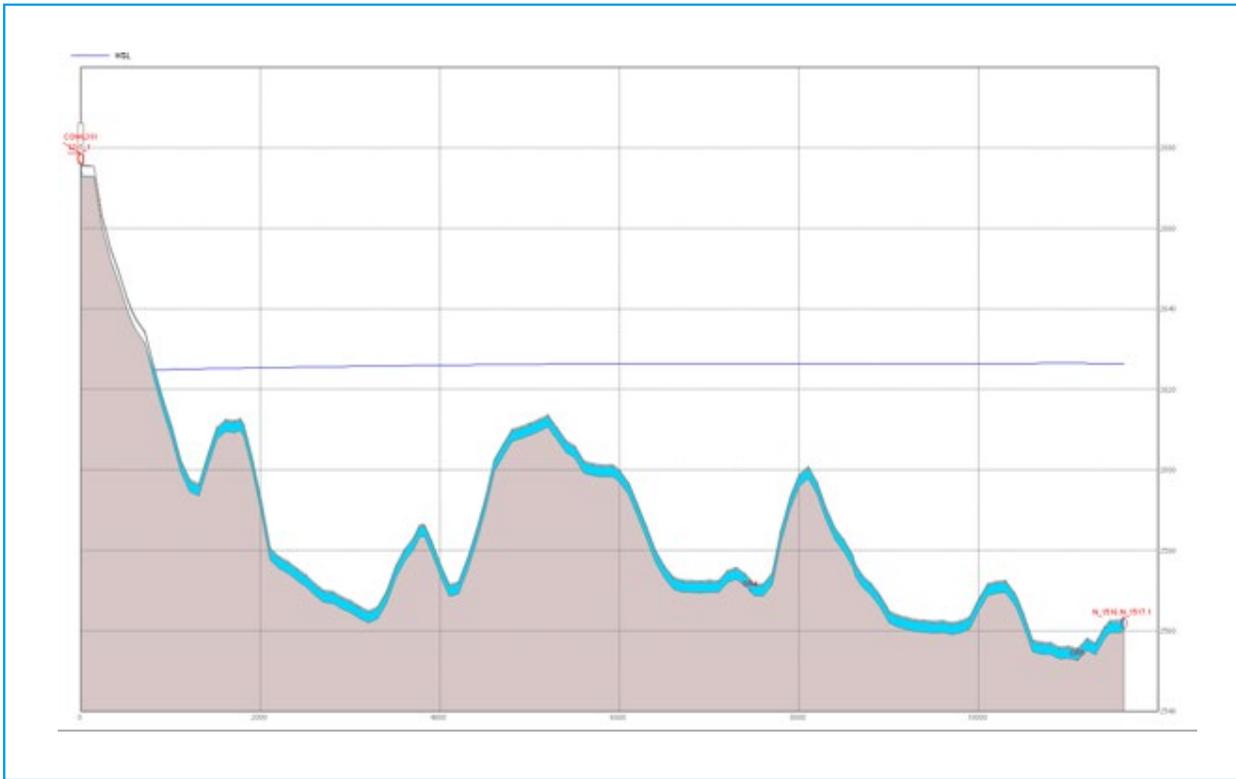


Ilustración 5.85 Llenado de la línea 3

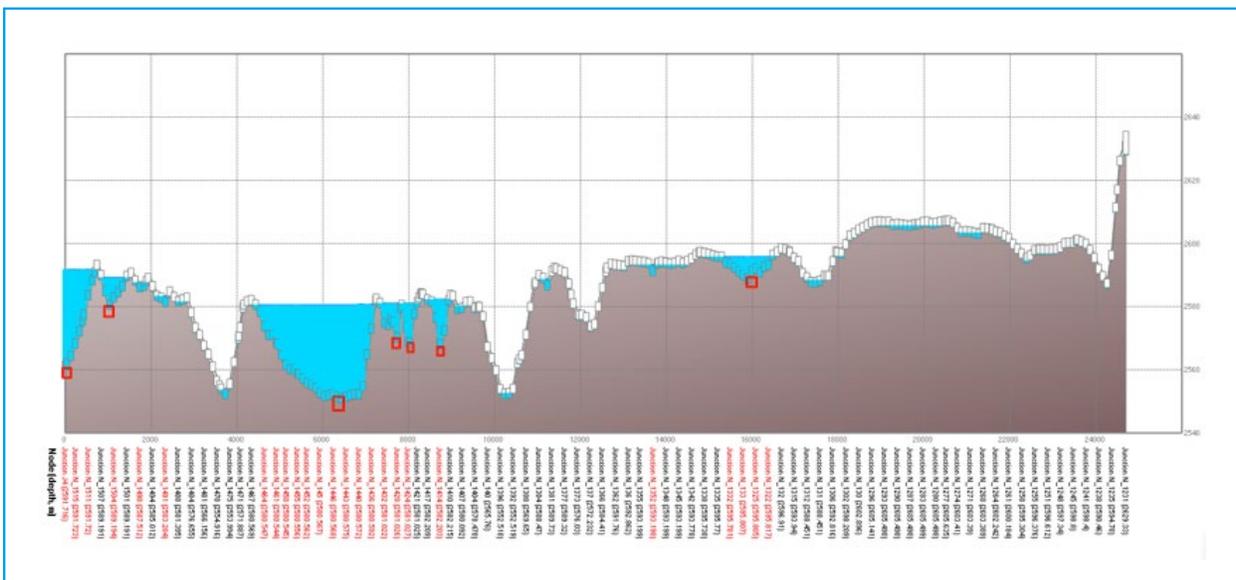


Ilustración 5.86 Propuesta de 6 válvulas de compuerta en el tramo interconexión 2 a Tanque Pericos

5.4.4.3. Interconexión 3, existente escenario para darle mantenimiento a la línea 2

Para el escenario de esta interconexión se especifica la necesidad de darle mantenimiento a la línea 2, por lo que el flujo será desviado a la línea 3. Esto se hará en el modelo hidráulico al tiempo de 20 horas de simulación y el total de la simulación es de 48 horas. Por último, en la línea 1 sigue circulando el mismo caudal.

Los resultados se presentan a continuación:

La tubería INTER_EXIS_L2_A_L3 se dimensiona con las siguientes características:

una sección circular de 2.52 metros de diámetro, con rugosidad de 0.015 y material de acero, con una válvula de regulación de caudal que permita al flujo rebasar la condición de 5 m/s. cabe mencionar que esta conexión ya existe así que sólo se prueba el funcionamiento. En la tubería el flujo que conduce después de su apertura, teniendo al principio gastos puntuales que oscilan entre 2.55 m³/s y 0.19 m³/s, para posteriormente estabilizarse en 0.87 m³/s. En lo que respecta a la velocidad en la primera hora se genera un pico de 4.46 m/s que dura aproximadamente 30 minutos y después se estabiliza en 0.20 m/s (ver Ilustración 5.87).

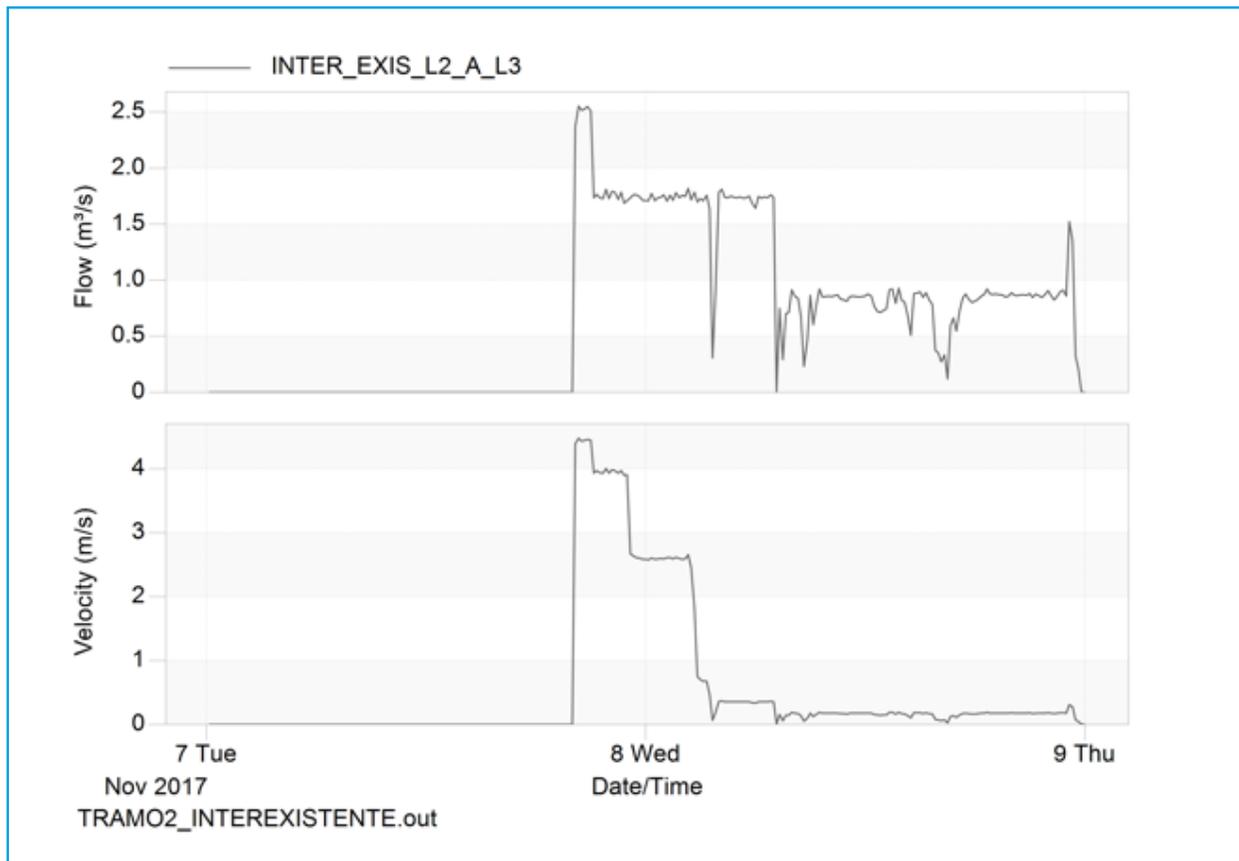


Ilustración 5.87 Comportamiento del flujo y velocidad en la tubería INTER_EXIS_L2_A_L3

La regulación de la válvula tendrá las siguientes condiciones: a partir de las 20:00 horas se inicia la apertura para regular en los primeros 230 minutos de un 0 % a un 18 % de su apertura, los siguientes 40 minutos se establece de un 18 al 100 % (ver Ilustración 5.88).

En relación al tiempo de llenado de la línea 3 de la interconexión 3 al tanque Pericos, el flujo recorre apropiadamente una longitud de 16.42 km en un tiempo de 29:50 horas (ver Ilustración 5.89).

Para el desalojo del agua en el tramo de la línea 2 de la interconexión 3 al tanque

Pericos se tienen instaladas al momento 5 válvulas de compuerta a lo largo de 16.5 kilómetros, que se encargan de expulsar el agua del sistema en un tiempo de 7:10 horas, aunque de acuerdo al modelo hidráulico no son suficientes, por lo que se proponen 7 válvulas en los siguientes kilometrajes: la primera se sitúa en el cadenamiento 26+250, la segunda válvula en el kilómetro 29+275, la tercera en el kilómetro 30+289, la cuarta en el kilómetro 34+600, la quinta en el kilómetro 36+800, la sexta en el kilómetro 41+450 y la última en el kilómetro 41+870 (ver Ilustración 5.90).

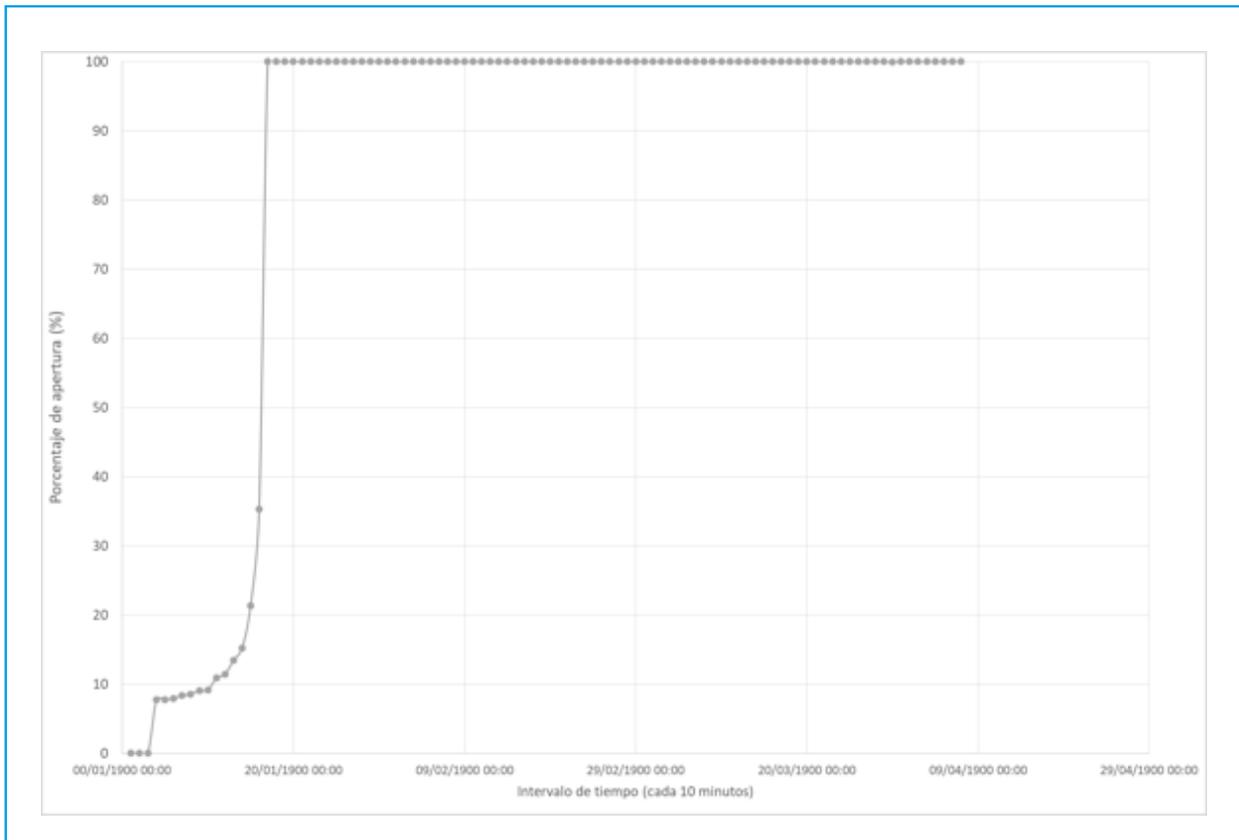


Ilustración 5.88 Apertura de la válvula para la darle mantenimiento a la línea 1

Estudio para restituir y mejorar la capacidad de conducción, mediante un manejo adecuado del aire y optimización del funcionamiento hidráulico, en las líneas 1 y 2 del sistema Cutzamala

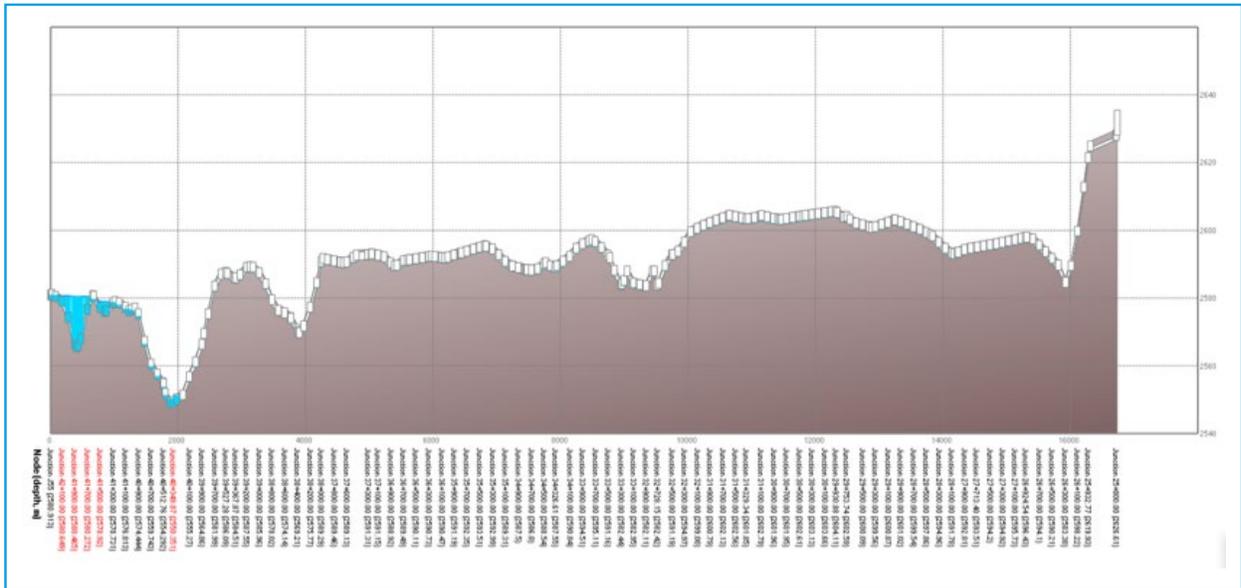


Ilustración 5.89 Llenado de la línea 3 tramo de la interconexión al Tanque Pericos

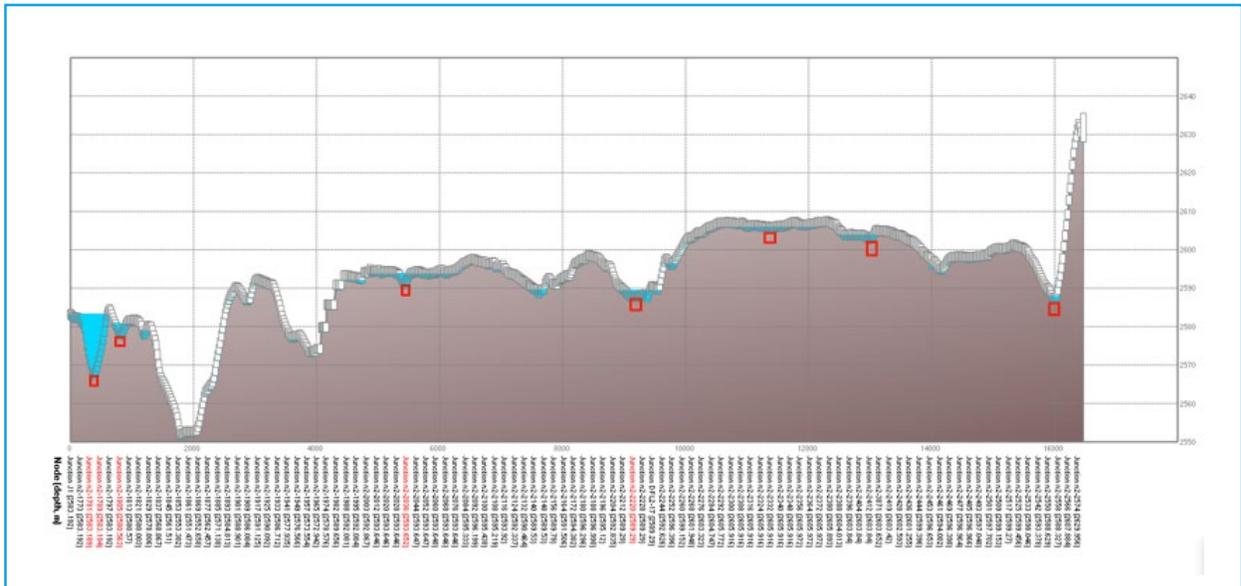


Ilustración 5.90 Desfogue de la línea 2 y propuesta de 7 válvulas de desfogue del tramo interconexión 3 al Tanque Pericos

5.4.4.4. Interconexión 3, existente
escenario para darle
mantenimiento a la línea 1

Este escenario consiste en que a las 48 horas de simulación se cierre el paso de la línea 1 en la ubicación de la interconexión 3 y por medio de una válvula de mariposa el conducto INTER_EXIS_L1_A_L3 deriva el agua al línea 3.

Los resultados son los siguientes:

El diámetro propuesto para la interconexión es de 2.51 m, con una rugosidad de 0.015 y además contempla una válvula de regulación de caudal, entre los principales resultados se tiene un gasto máximo de 3.13

m³/s, con respecto a la velocidad se contempla una velocidad máxima de 3.72 m/s, cuando se estabiliza el flujo se mantiene en un valor de 0.35 m/s y gasto de 1.75 m³/s (ver Ilustración 5.91).

La válvula de regulación de caudal empieza su funcionamiento a las 00:00 horas del segundo día de simulación, con un 7 % de apertura al inicio y este valor se va incrementando gradualmente en los siguientes 80 minutos hasta llegar a un 11 %. Continuado con la apertura en los siguientes 50 minutos se regula de un 11 % a un 35 %, y por último el cambio de 35 % al 100% de apertura ocurre en los próximos 20 minutos, haciendo un tiempo total de apertura de 140 minutos (ver Ilustración 5.92).

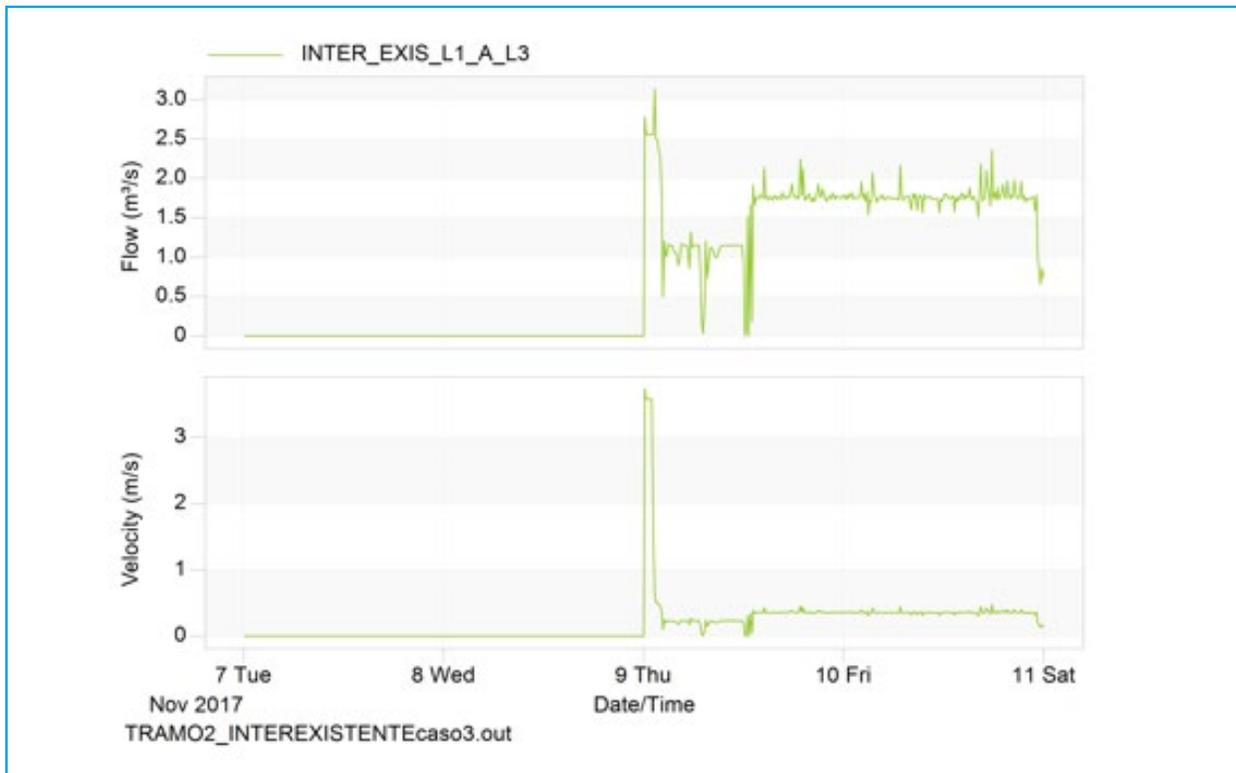


Ilustración 5.91 Gasto y velocidad en la interconexión 3, conexión línea 1-3

Estudio para restituir y mejorar la capacidad de conducción, mediante un manejo adecuado del aire y optimización del funcionamiento hidráulico, en las líneas 1 y 2 del sistema Cutzamala

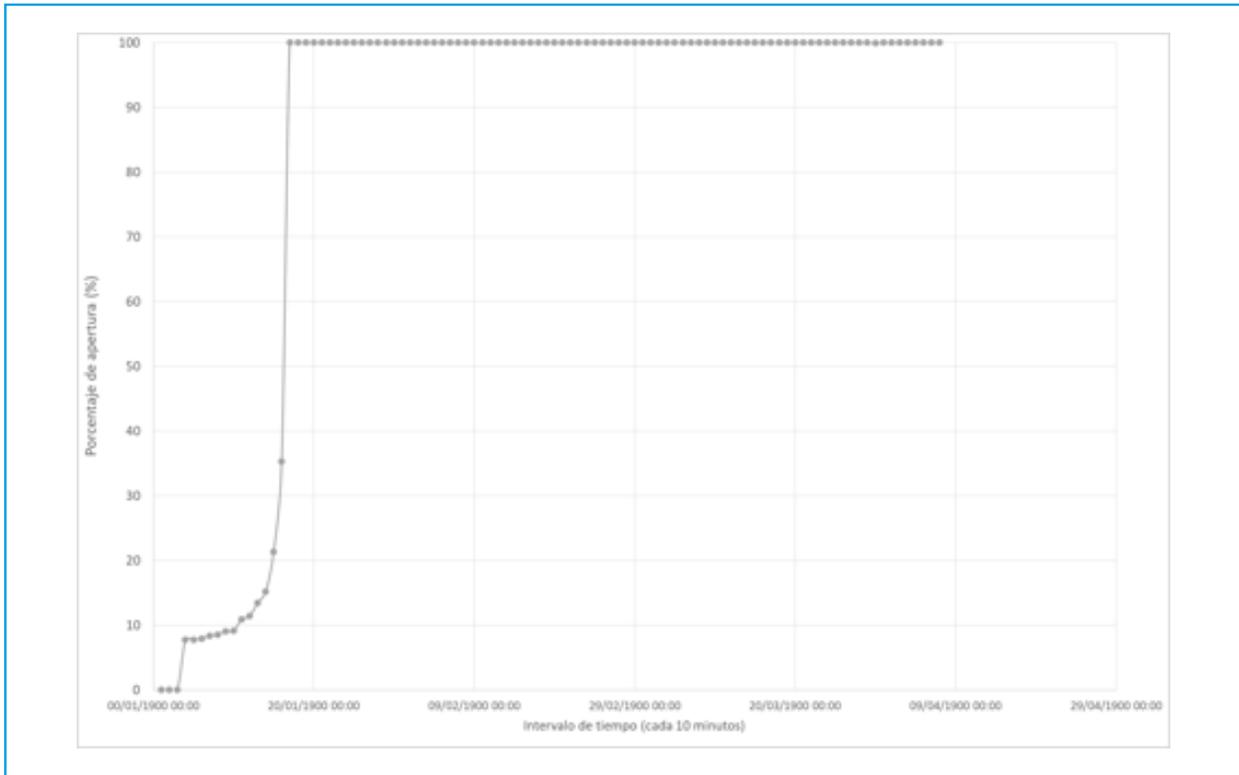


Ilustración 5.92 Operación de la válvula reguladora de caudal en la interconexión 3, conexión línea 1-3

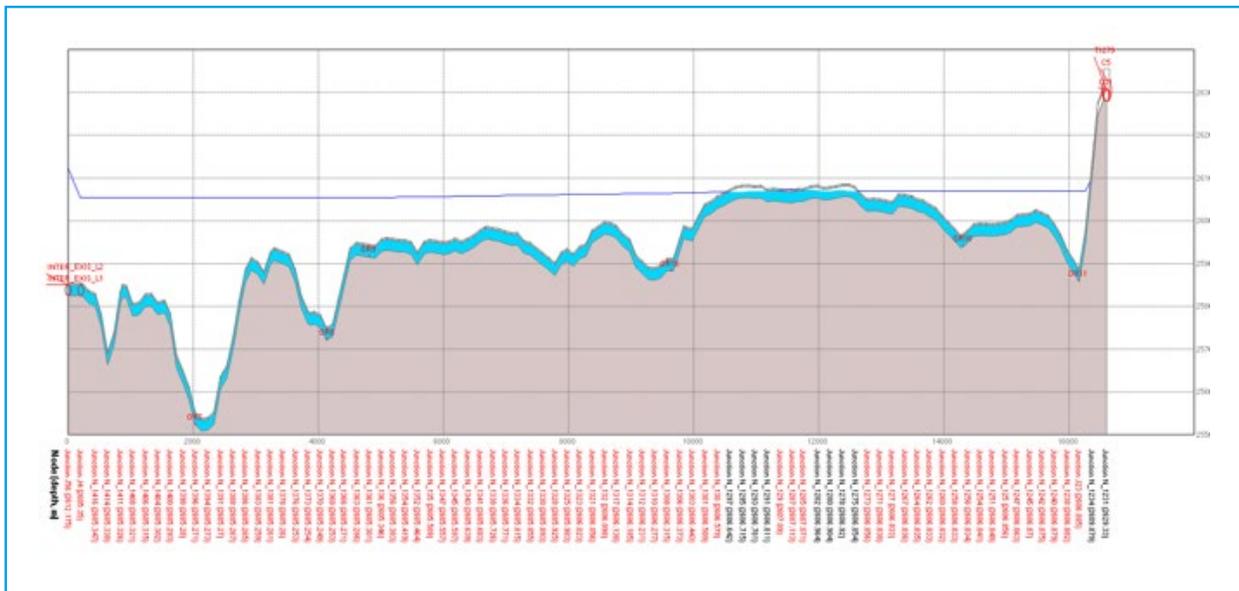


Ilustración 5.93 Vaciado de la línea 1

Con respecto a la línea 1, su vaciado comienza 24 horas después del inicio de la simulación en un tiempo de 6:50 horas (ver Ilustración 5.93).

contar con válvulas de desfogue por lo que se proponen en 5 puntos, los kilometrajes son: 29+250, 33+050, 34+675, 36+875, 41+837 (ver Ilustración 5.94).

Con respecto al vaciado de la línea 1 se identificaron 5 puntos en los cuales se queda retenida el agua dentro de la línea al no

Y por último, el llenado de la línea 3 a un flujo de 1.7 m³/s se presuriza en un tiempo de 13:30 horas (ver Ilustración 5.95).

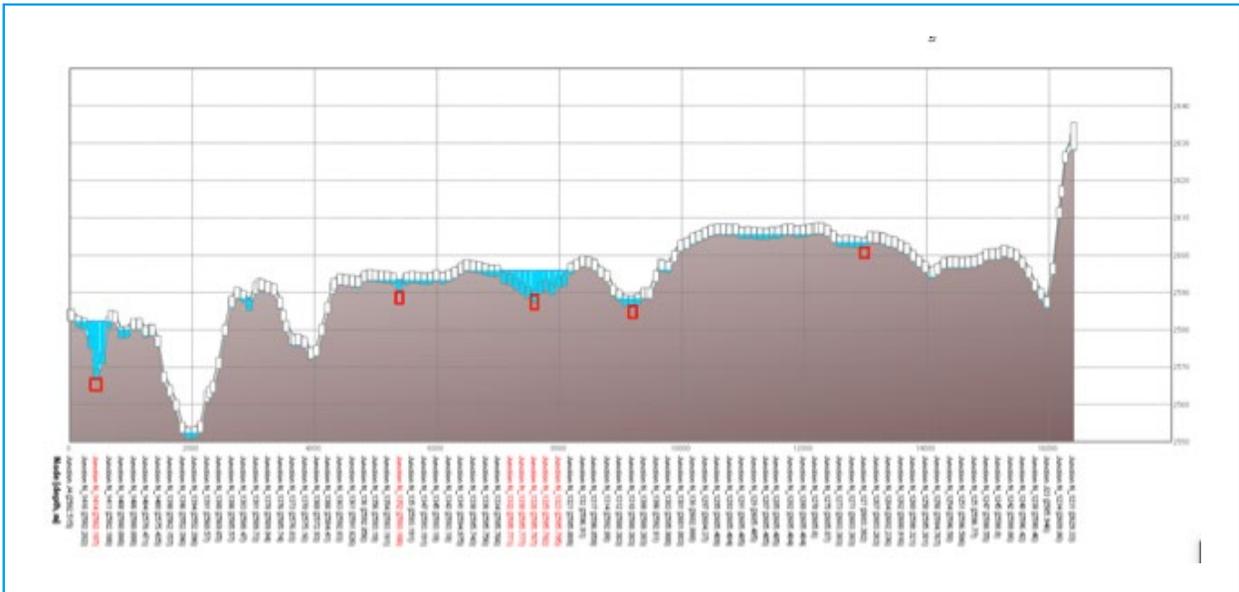


Ilustración 5.94 Propuesta de desfuegos en la línea 1

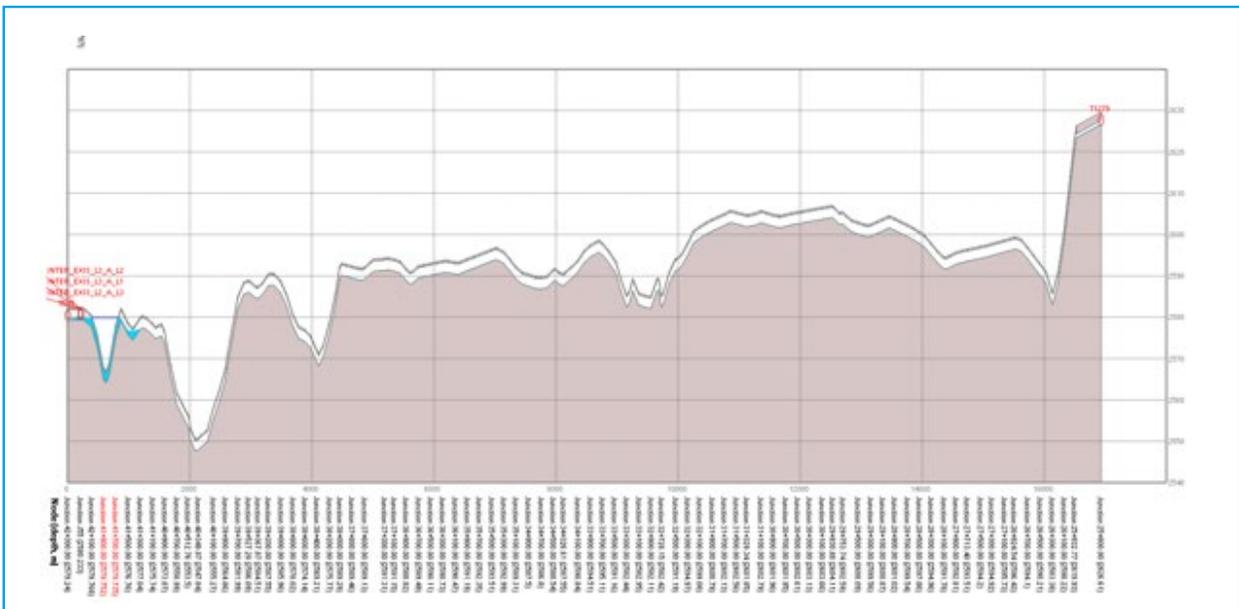


Ilustración 5.95 Llenado de la línea 3, interconexión 3

5.4.5. TRAMO 1

En el tramo 1 (Tanque Pericos-Túnel Analco) se proponen dos interconexiones, la primera se localiza en el kilómetro 19+500 (interconexión 4) y la segunda en el cadenamamiento 9+500 (interconexión 5).

La primera interconexión permitirá realizar maniobras de operación correctivas o preventivas en la parte aguas abajo a un total de 16 VAEAs y 2 desfogues de la línea 1 (escenario 1); y a 19 VAEAs y 1 desfogue de la línea 2 (escenario 2).

Por otra parte, la segunda interconexión, tendrá influencia en la parte aguas abajo sobre un total de 15 VAEAs y 1 desfogue de la línea 1 (escenario 1); y 20 VAEAs y 2 desfogues de la línea 2 (escenario 2).

En el tramo 1 no se tienen registros de fallas en las líneas 1 y 2.

5.4.5.1. Interconexión 4

Se localiza en el kilómetro 19+500, el acceso se puede realizar por la carretera Li-

bramiento de la Independencia (Libramiento de Toluca) con salida hacia Temoaya-Jiquipilco, posteriormente tomar la carretera Toluca-Temoaya con dirección a la intersección con el camino El Dorado-San Mateo Atarasquillo. Para llegar al sitio propuesto de la interconexión, tomando de referencia la desviación Temoaya-Jiquipilco, se requiere una distancia de recorrido de 0.50 km, Ilustración 5.96 e Ilustración 5.97.

En la interconexión 4 se realiza la modelación de 2 escenarios: el primero considera el mantenimiento de la línea 2 y el segundo dar el mantenimiento a la línea 1.

5.4.5.2. Escenario para darle mantenimiento a la línea 2

Para poder realizar el mantenimiento de la línea 2, esta propuesta considera realizar un corte de la línea a las 26 horas, el caudal transportado por la línea 2 se trasladará por medio de un conducto de 1.52 m (60”) hacia la línea 3 (INTER2_L2_A_L3). Las otras conexiones existentes permanecen cerradas, para este caso de estudio, Ilustración 5.98.

Desarrollo del Proyecto

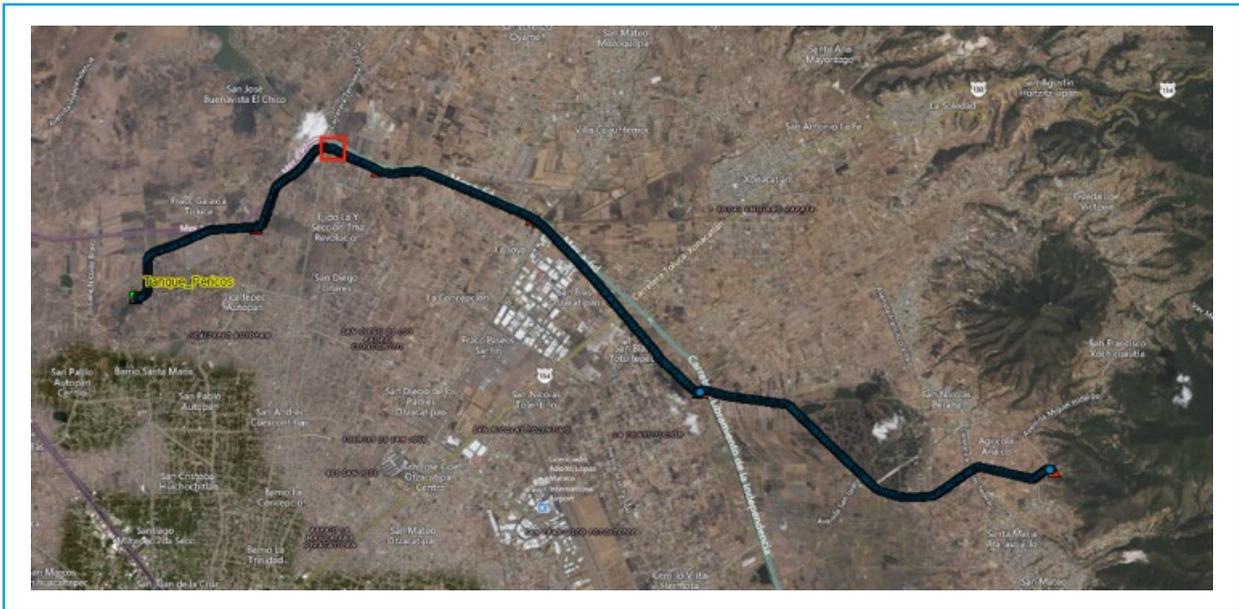


Ilustración 5.96 Ubicación de la interconexión 4 propuesta



Ilustración 5.97 Ruta para poder acceder a la interconexión 4

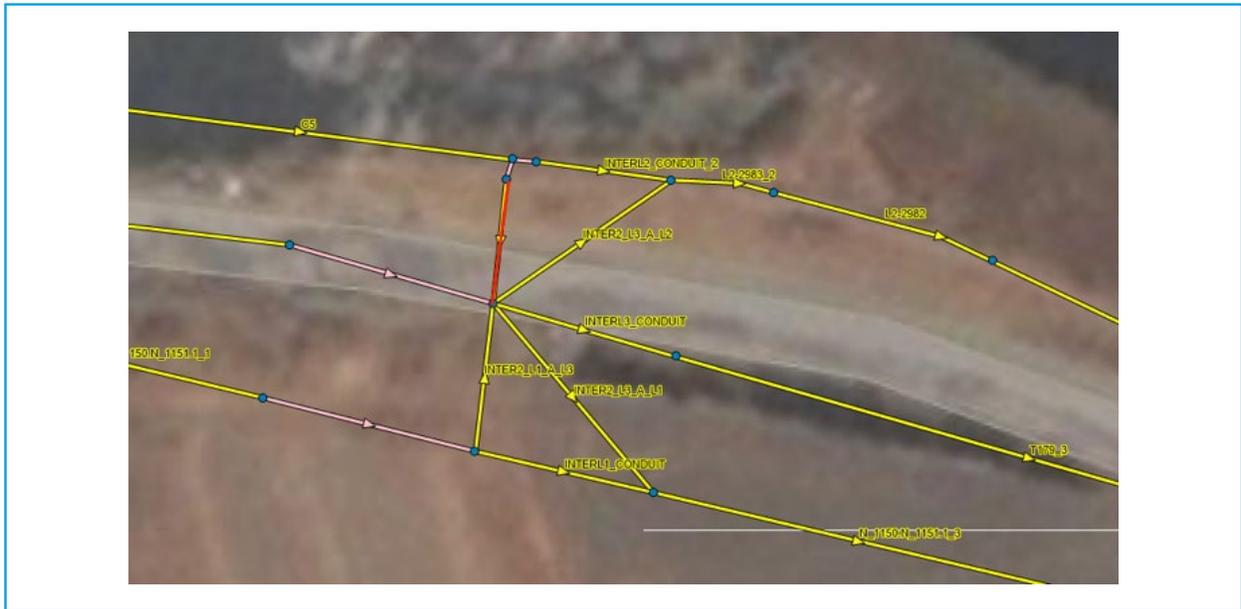


Ilustración 5.98 Interconexión 4 entre línea 1 y línea 3

Para poder realizar esta operación se requiere una válvula que regule el flujo y velocidad por la interconexión propuesta. Un parámetro de restricción para poder realizar la operación de las válvulas es que sólo se permitirá una velocidad máxima de 5 m/s por la interconexión.

Para la interconexión entre la línea 1 y 3 se determinó un diámetro de 1.52 m con un coeficiente de Manning de 0.015. De este diámetro propuesto se tienen los siguientes resultados:

Los porcentajes de apertura que la válvula requiere para mantener una velocidad

máxima de 5 m/s por la interconexión, es la mostrada en la Ilustración 5.96. Se observa que la apertura de la válvula es del 100 % durante toda la operación, a partir del horario en que se envía el gasto por la línea 3.

Con las reglas de apertura de la válvula, en la interconexión se genera una velocidad máxima de 3.86 m/s y un gasto de 7.01 m³/s durante 10 minutos; posteriormente, la velocidad se va regulando en el rango de 3 m/s hasta estabilizarse a 0.95 m/s y un gasto de 1.73 m³/s, Ilustración 5.96.



Ilustración 5.99 Porcentaje de apertura de la válvula de regulación

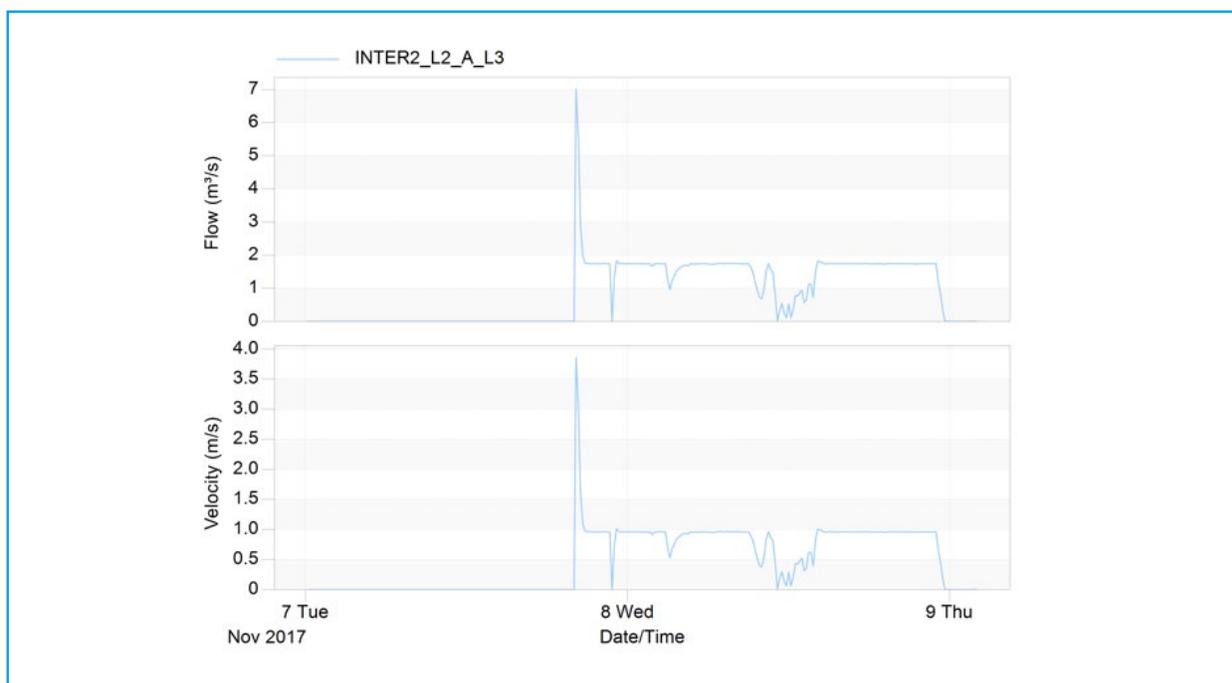


Ilustración 5.100 Caudal y velocidades presentes en la interconexión INTER2_L2_A_L3

La línea 3 que recibe este caudal proveniente de la interconexión, comienza a llenarse a partir de las 26 horas (lapso de tiempo en que se pone en operación la válvula) hasta llegar al Túnel Analco en un tiempo de 17 horas y 10 minutos, Ilustración 5.101.

5.4.5.3. Vaciado de la línea 2

El vaciado de la línea 2 se realiza con una duración de 24 horas, a partir del horario

de cierre en la interconexión propuesta. Se observa en la Ilustración 5.102 que existen tramos de la línea 2 que no se vacían por completo debido a las condiciones topográficas de la zona y que los 3 desfogues existentes no logran vaciar la línea por completo. Por esto, se proponen 4 desfogues, en los siguientes cadenamientos: 16+446, 14+360, 11+754, 4+340, Ilustración 5.103.

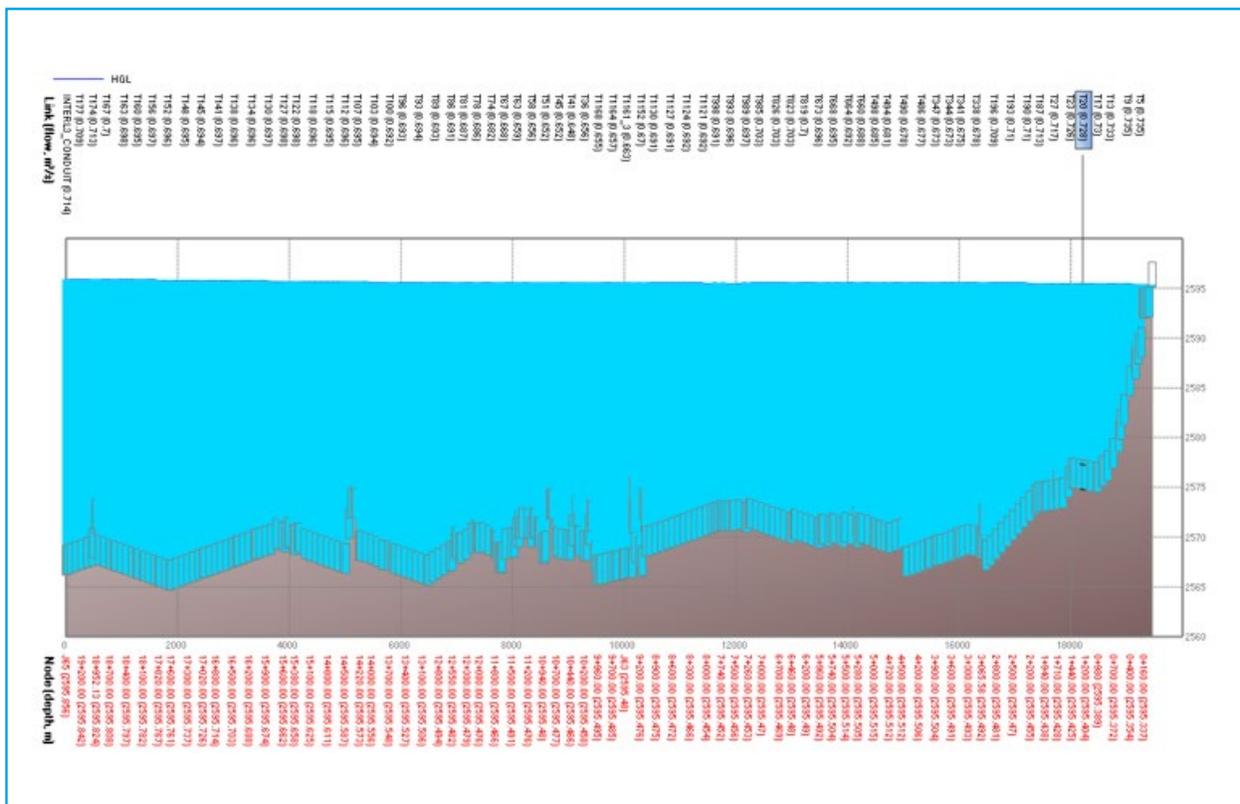


Ilustración 5.101 Caudal conducido por la línea 3 hacia el Túnel Analco

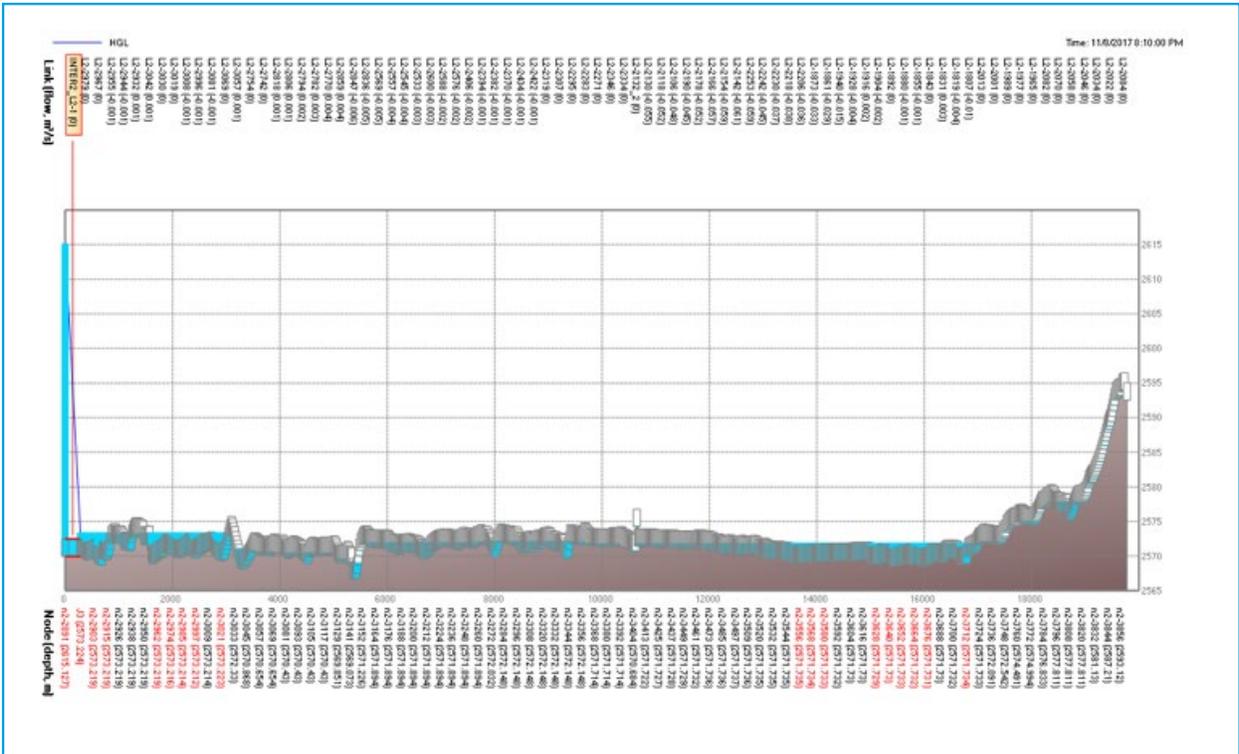


Ilustración 5.102 Perfil de flujo de la línea 2 después del proceso de vaciado

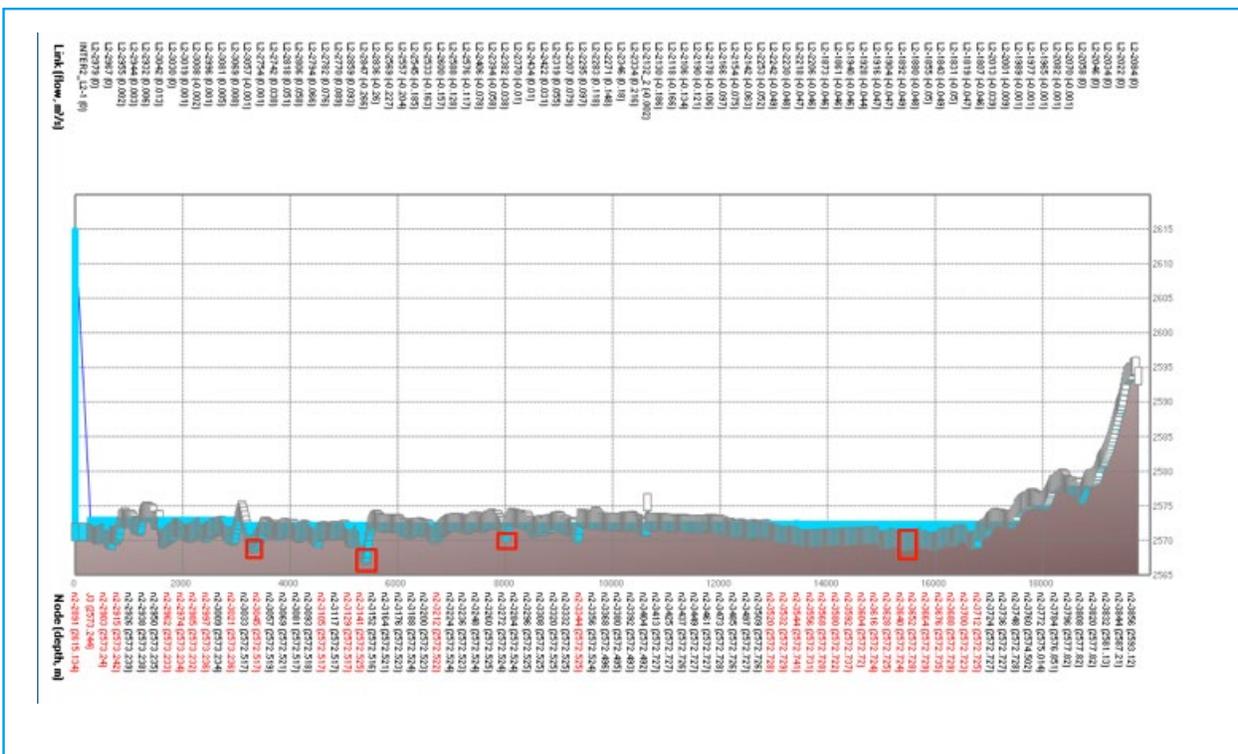


Ilustración 5.103 Ubicación de desfogues propuestos

5.4.5.4. Escenario para darle mantenimiento a la línea 1

La interconexión propuesta considera alimentar a la línea 3 por medio de un conducto de 1.52 m (60”) desde la línea 1. La tubería presenta un coeficiente de Manning de 0.015 y el horario de comienzo de operación es a las 26 horas, Ilustración 5.104.

Durante el proceso de operación de la interconexión se permitirá una velocidad

máxima de 5 m/s; esta restricción presenta el siguiente comportamiento:

Para la operación de la válvula en la interconexión se recomiendan los porcentajes de apertura mostrados en la Ilustración 5.105. Se observa que la apertura de la válvula es del 100% a partir de las 26 horas; intervalo de tiempo en el que se da inicio la operación de la válvula.

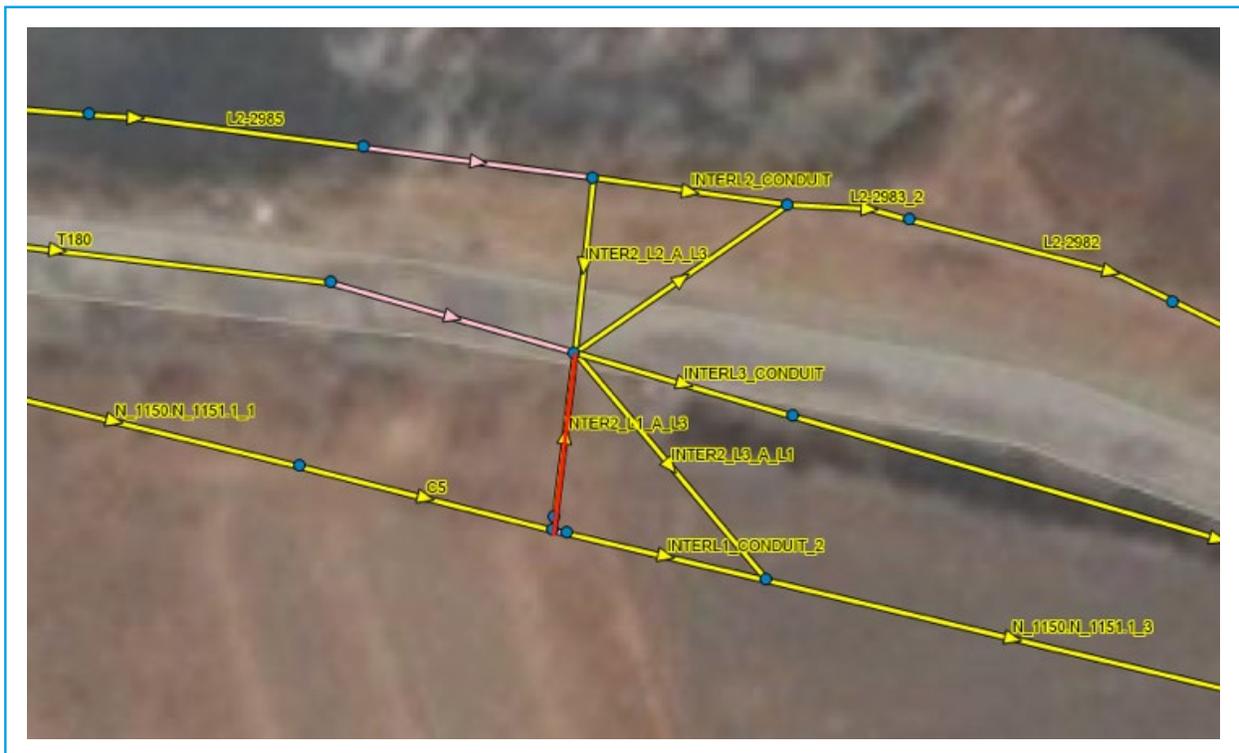


Ilustración 5.104 Interconexión 4 entre línea 1 y línea 3

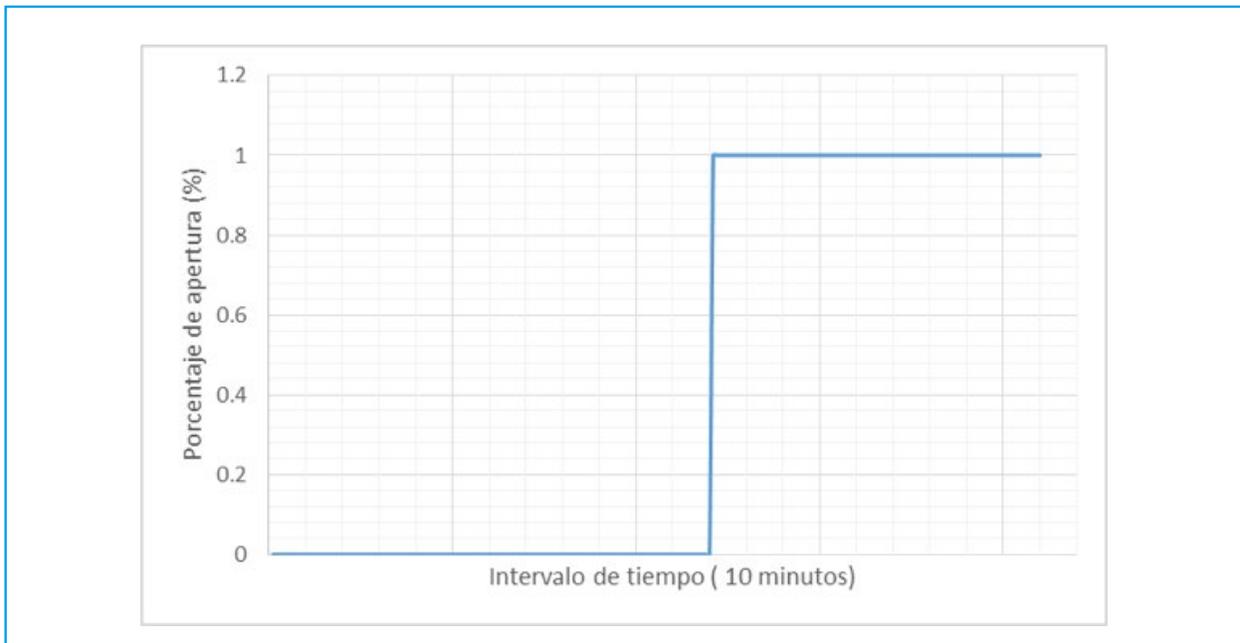


Ilustración 5.105 Porcentaje de apertura de la válvula

Con las reglas de apertura de la válvula, en la interconexión se genera una velocidad máxima de 3.85 m/s y un gasto de 7.00 m³/s durante 10 minutos; enseguida la

velocidad se va regulando desde los 3.29 m/s hasta estabilizarse a 0.95 m/s, con un caudal de 1.73 m³/s, Ilustración 5.106.

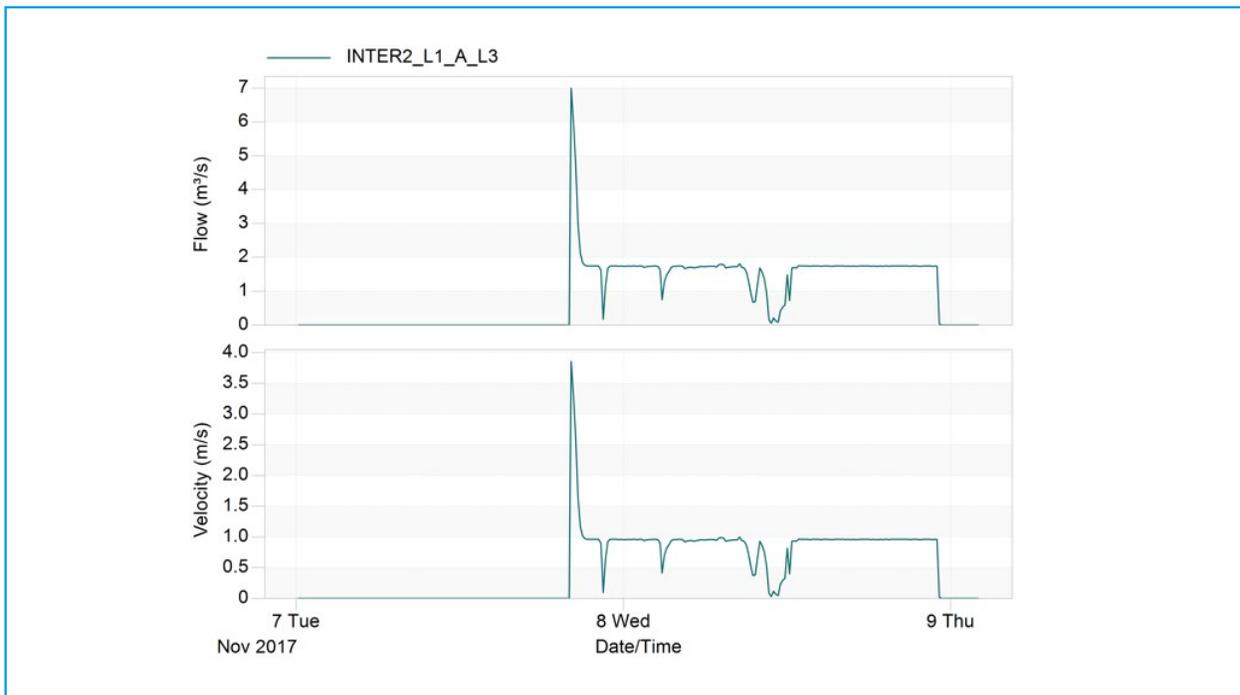


Ilustración 5.106 Caudal y velocidades presentes en la interconexión INTER 3_L1_A_L3

Desarrollo del Proyecto

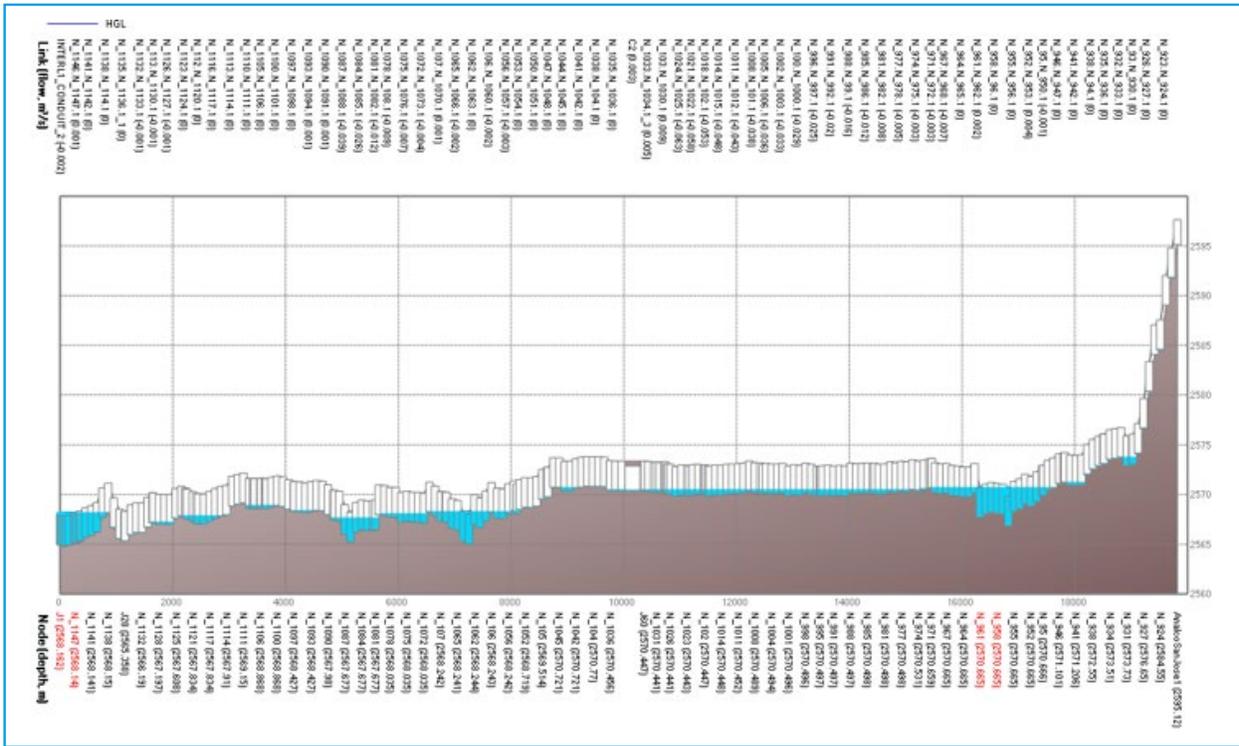


Ilustración 5.108 Perfil de flujo de la línea 1 después del proceso de vaciado

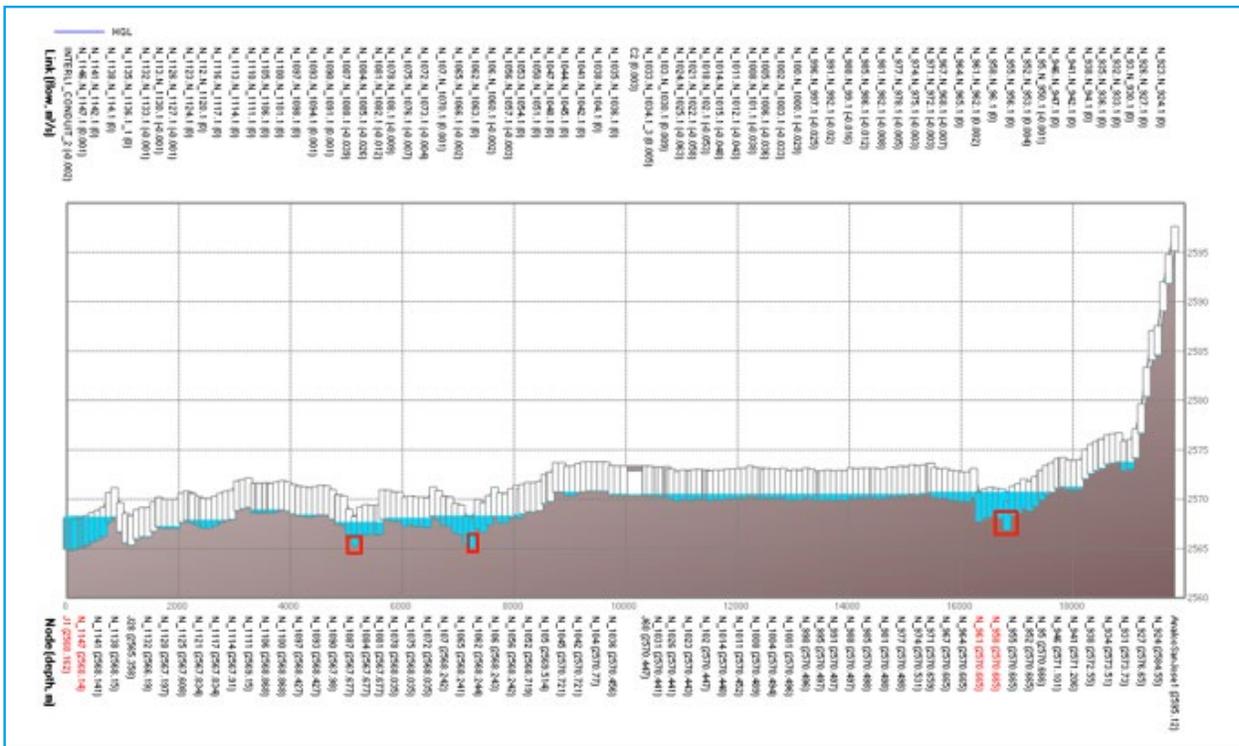


Ilustración 5.109 Ubicación de desfogos propuestos en la línea 1

5.4.5.6. Interconexión 5

Para el acceso a la interconexión 5 propuesta se realiza el siguiente recorrido: circular por el Libramiento de la Independencia, antes de llegar a la caseta de Xonacatlán tomar la salida hacia Centro Dinámico Pegaso, girar a la derecha con dirección a carretera Toluca Naucalpan/Lateral López Portillo, en 820 metros dar vuelta hacia la izquierda e incorporarse hacia la carretera Naucalpan-Toluca durante 1.5 km, enseguida dar vuelta hacia la derecha en un tramo de 180 m hasta encontrarse con un paso a desnivel de la carretera Toluca-Naucalpan, mantenerse durante 2 kilómetros hasta llegar a la ubicación del sitio propuesto. Ilustración 5.110. Esta interconexión considera que se realiza mantenimiento a las líneas 1 y 2.

5.4.5.7. Escenario para darle mantenimiento a la línea 2

Para el mantenimiento de la línea 2 se propone que esta interconexión transite el gasto hacia la línea 3, por medio de una tubería de 1.52 m (60”) de diámetro y Manning de 0.015. Esta operación se propone realizar a las 26 horas, Ilustración 5.110.

Se requiere que la velocidad máxima permisible en la tubería que servirá como interconexión sea de 5 m/s. para esto se utiliza una válvula de mariposa que regulará el caudal y velocidad. Del arreglo de la válvula y su funcionamiento en el modelo matemático, se obtienen los siguientes resultados:



Ilustración 5.110 Ruta para poder acceder a la interconexión 5

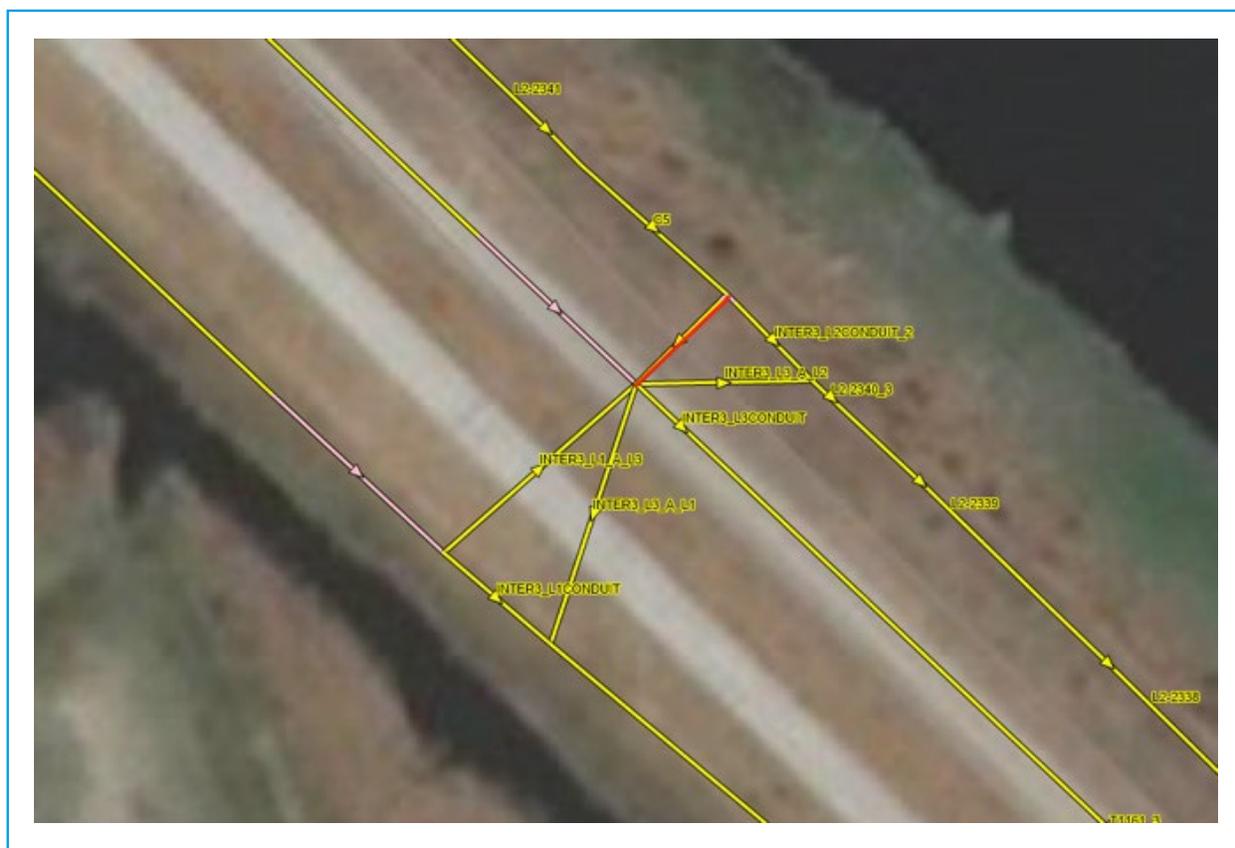


Ilustración 5.111 Interconexión 5 entre línea 1 y línea 3

Se recomienda que el porcentaje de apertura de la válvula sea conforme al mostrado en la Ilustración 5.112. Se observa que después de la entrada en funcionamiento de la válvula (26 horas), el porcentaje de apertura es del 100 % durante todo el tiempo de operación.

Con las reglas de apertura de la válvula, en la interconexión se genera una velocidad máxima de 2.24 m/s y un gasto de 4.07

m³/s durante 10 minutos; enseguida la velocidad se va regulando de 1.57 m/s hasta estabilizarse a 0.96 m/s, con un caudal de 1.74 m³/s, Ilustración 5.113.

La línea 3 que recibe este caudal proveniente de la interconexión comienza a llenarse hasta las 26 horas hasta llegar a l Túnel Anlco en un tiempo de 9 horas y 40 minutos, Ilustración 5.114.

Estudio para restituir y mejorar la capacidad de conducción, mediante un manejo adecuado del aire y optimización del funcionamiento hidráulico, en las líneas 1 y 2 del sistema Cutzamala

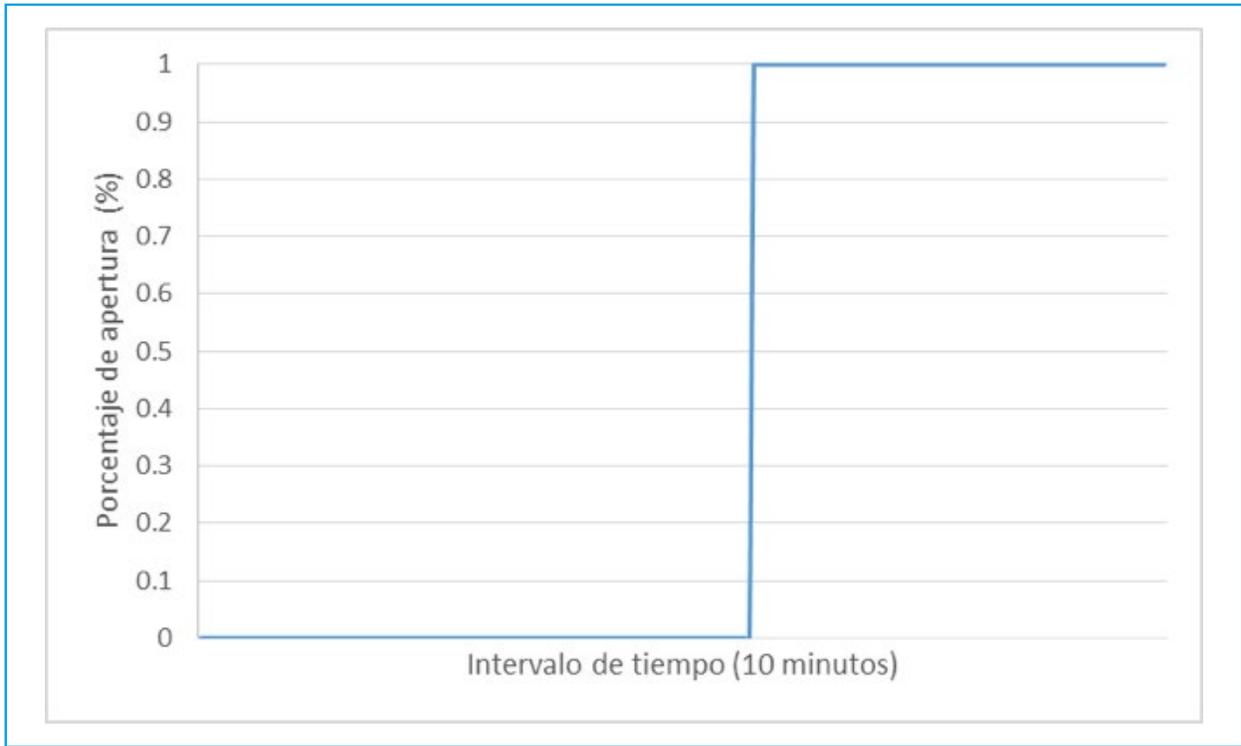


Ilustración 5.112 Porcentaje de apertura de la válvula de regulación

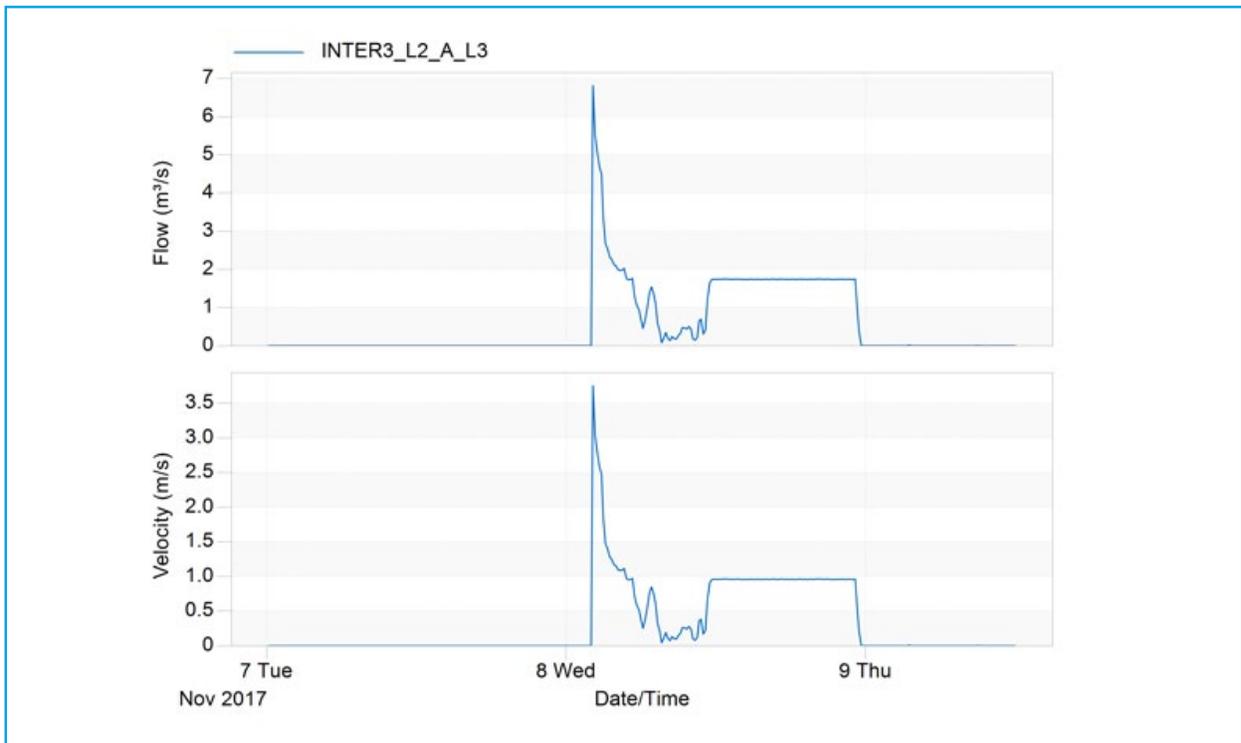


Ilustración 5.113 Caudal y velocidades presentes en la interconexión INTER 3_L2_A_L3

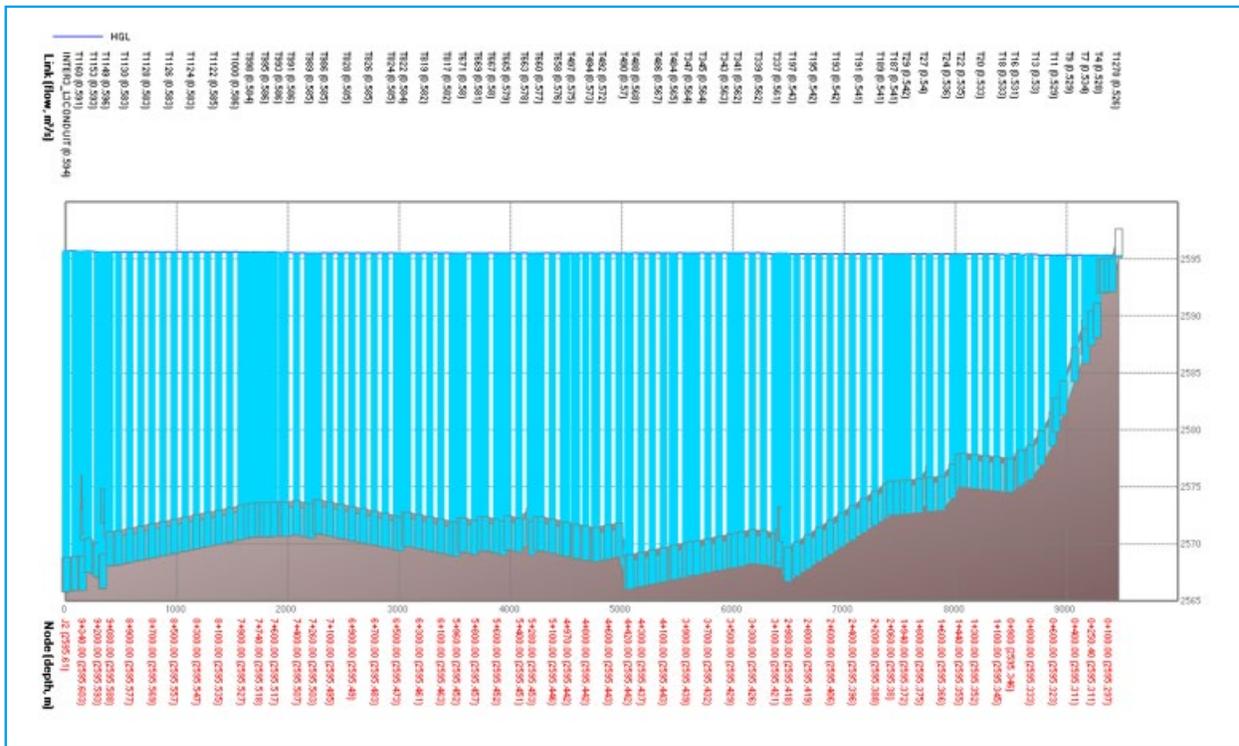


Ilustración 5.114 Caudal conducido por la línea 3 hacia el Túnel Anlco

5.4.5.8. Vaciado de la línea 2

El vaciado de la línea 2 se realiza con una duración de 24 horas, a partir del horario de cierre en la interconexión propuesta. Se observa en la ilustración que existen tramos de la línea 2 que no se vacían por completo

debido a las condiciones topográficas de la zona y que los 2 desfogues existentes no logran vaciar la línea por completo, Ilustración 5.115, por lo cual, se proponen 4 desfogues en los siguientes cadenamientos: 1+144,3+090, 4+720 y 6+120. Ilustración 5.116.

Estudio para restituir y mejorar la capacidad de conducción, mediante un manejo adecuado del aire y optimización del funcionamiento hidráulico, en las líneas 1 y 2 del sistema Cutzamala

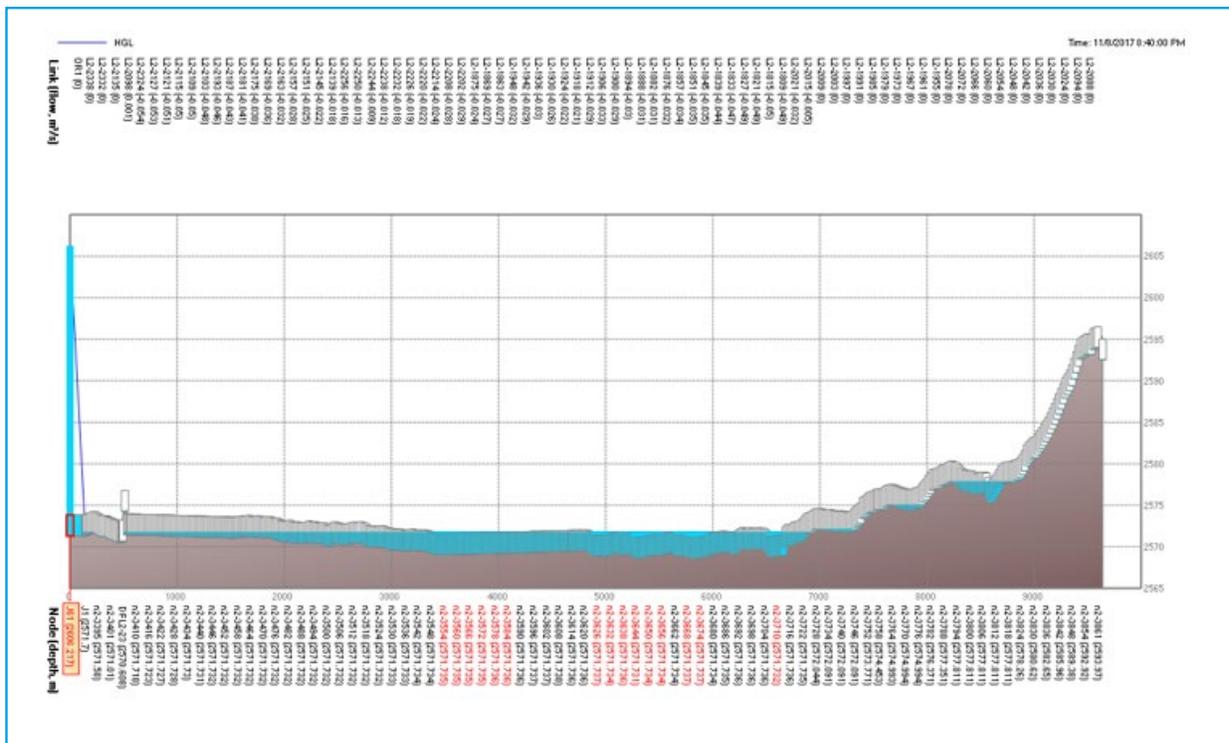


Ilustración 5.115 Perfil de flujo de la línea 2 después del proceso de vaciado

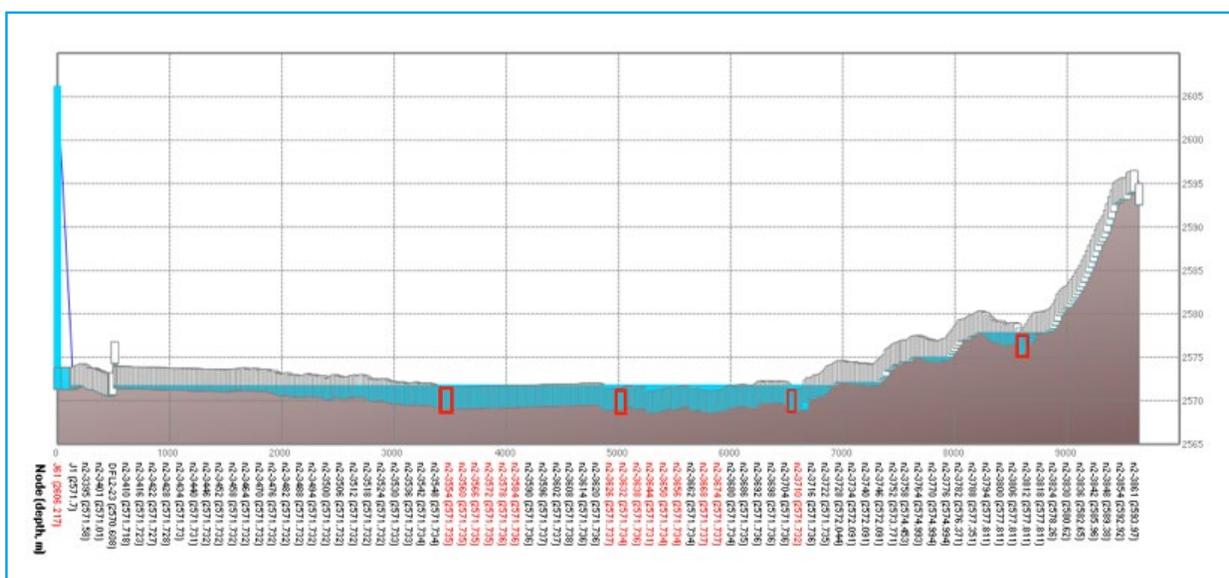


Ilustración 5.116 Ubicación de desfogues propuestos en la línea 2

5.4.5.9. Escenario para darle mantenimiento a la línea 1

Para la realización de maniobras de mantenimiento correctivo o preventivo en la línea 1 se propone una interconexión entre la línea 1 y la línea 3, mediante una tubería de 1.52 m (60”) y coeficiente de Manning de 0.015. Esta interconexión permitirá realizar el mantenimiento de desfogues y VAEAs en la parte aguas abajo. En la simulación matemática se establece el criterio de paro a las 26 horas. Este paro se realiza por medio de la integración de una válvula de mariposa la cual tiene como principal parámetro una velocidad máxima permisible de 5 m/s en la interconexión (Ilustración 5.117).

De análisis realizado con el modelo matemático se obtienen los siguientes resultados:

Se recomienda que el porcentaje de apertura de la válvula sea conforme al mostrado en la Ilustración 5.118. Se observa que después de la entrada en funcionamiento de la válvula (26 horas), el porcentaje de apertura es del 100 % durante todo el tiempo de operación (ver Ilustración 5.118).

Con las reglas de apertura de la válvula, en la interconexión se genera una velocidad máxima de 2.41 m/s y un gasto de 4.38 m³/s durante 10 minutos; enseguida la velocidad se va regulando de 2.30 m/s hasta estabilizarse a 0.95 m/s con un caudal de 1.74 m³/s, Ilustración 5.119.



Ilustración 5.117 Interconexión 5 entre línea 1 y línea 3

Estudio para restituir y mejorar la capacidad de conducción, mediante un manejo adecuado del aire y optimización del funcionamiento hidráulico, en las líneas 1 y 2 del sistema Cutzamala

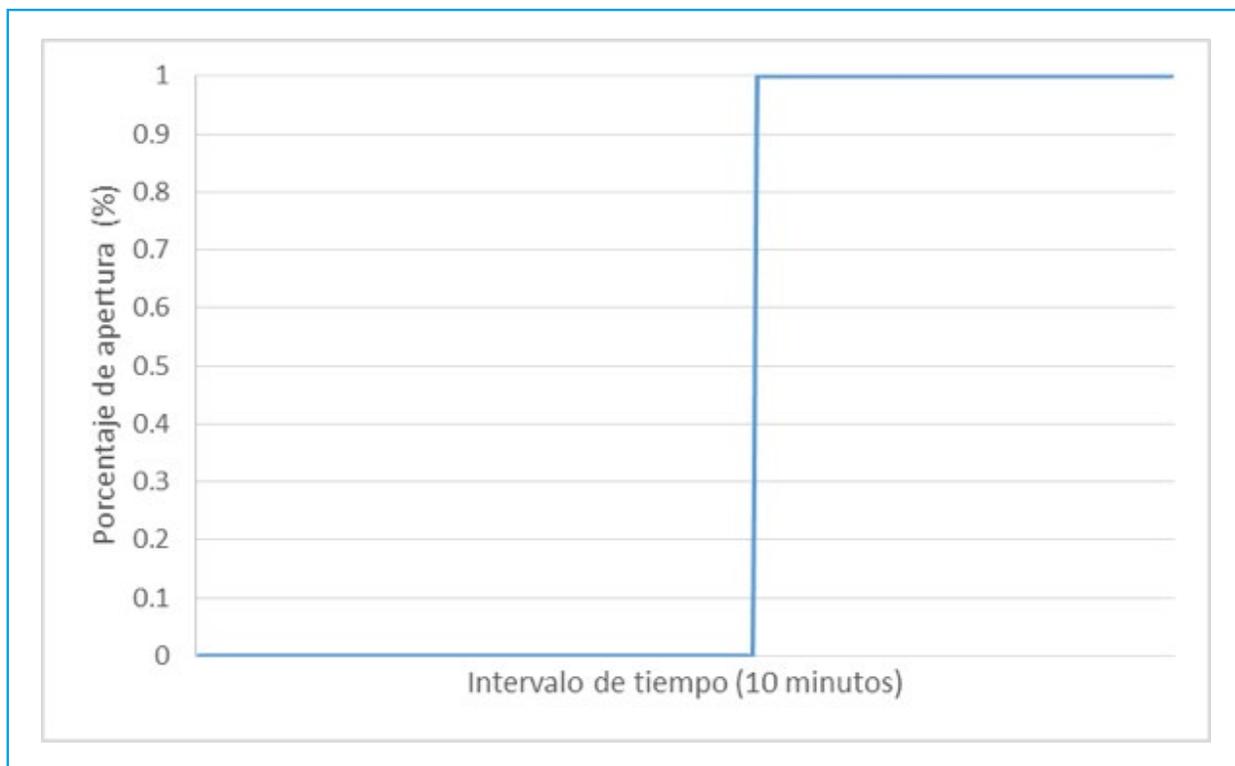


Ilustración 5.118 Porcentaje de apertura de la válvula de regulación

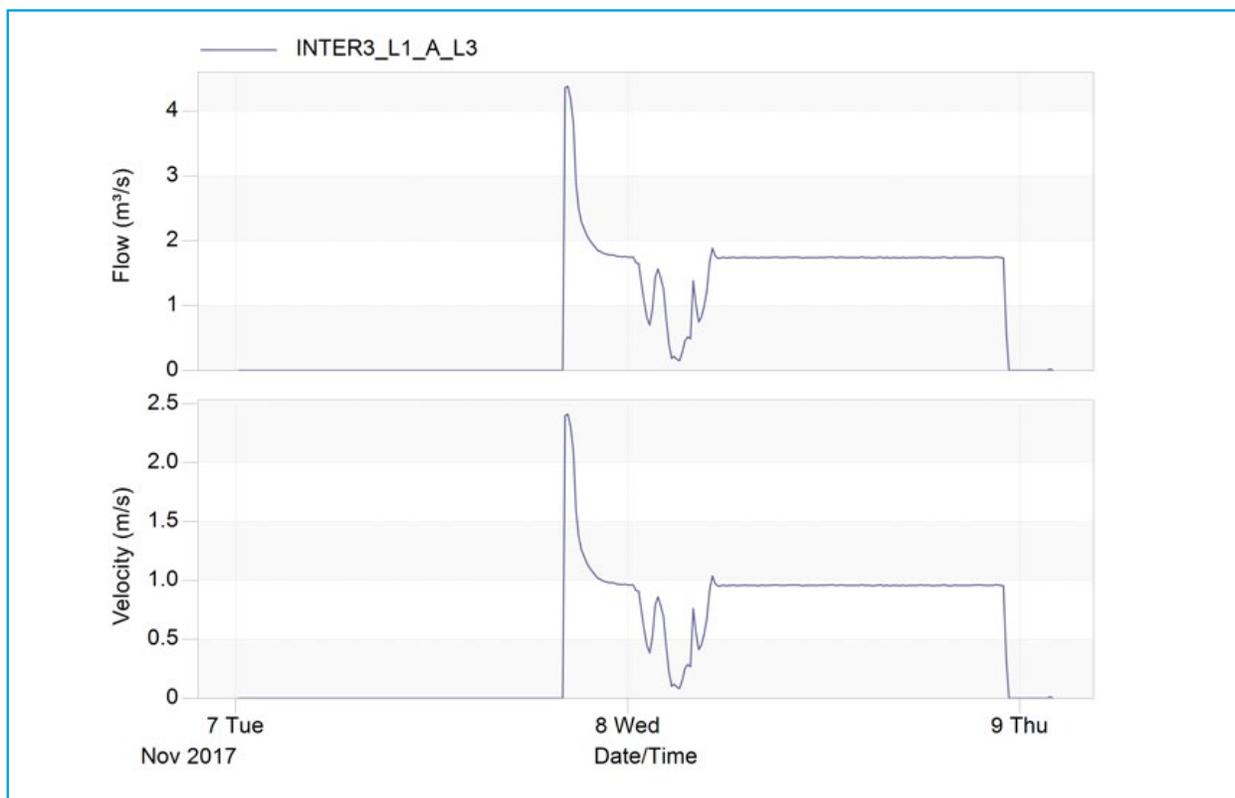


Ilustración 5.119 Caudal y velocidades presentes en la interconexión INTER 3_L1_A_L3

La línea 3 que recibe este caudal proveniente de la interconexión comienza a llenarse a las 26 horas hasta llegar a l Túnel Analco en un tiempo de 9 horas y 30 minutos. Ilustración 5.120.

5.4.5.10. Vaciado de la línea 1

El vaciado de la línea 1 se realiza con una duración de 24 horas, a partir del horario

de cierre en la interconexión propuesta. Se observa en la ilustración que existen tramos de la línea 1 que no se vacían por completo debido a las condiciones topográficas de la zona y que los desfogues existentes no logran vaciar la línea por completo. Ilustración 5.121 e Ilustración 5.122, por lo cual, se proponen 3 desfogues en los siguientes cadenamientos: 3+019, 5+380 y 7+370, Ilustración 5.122.

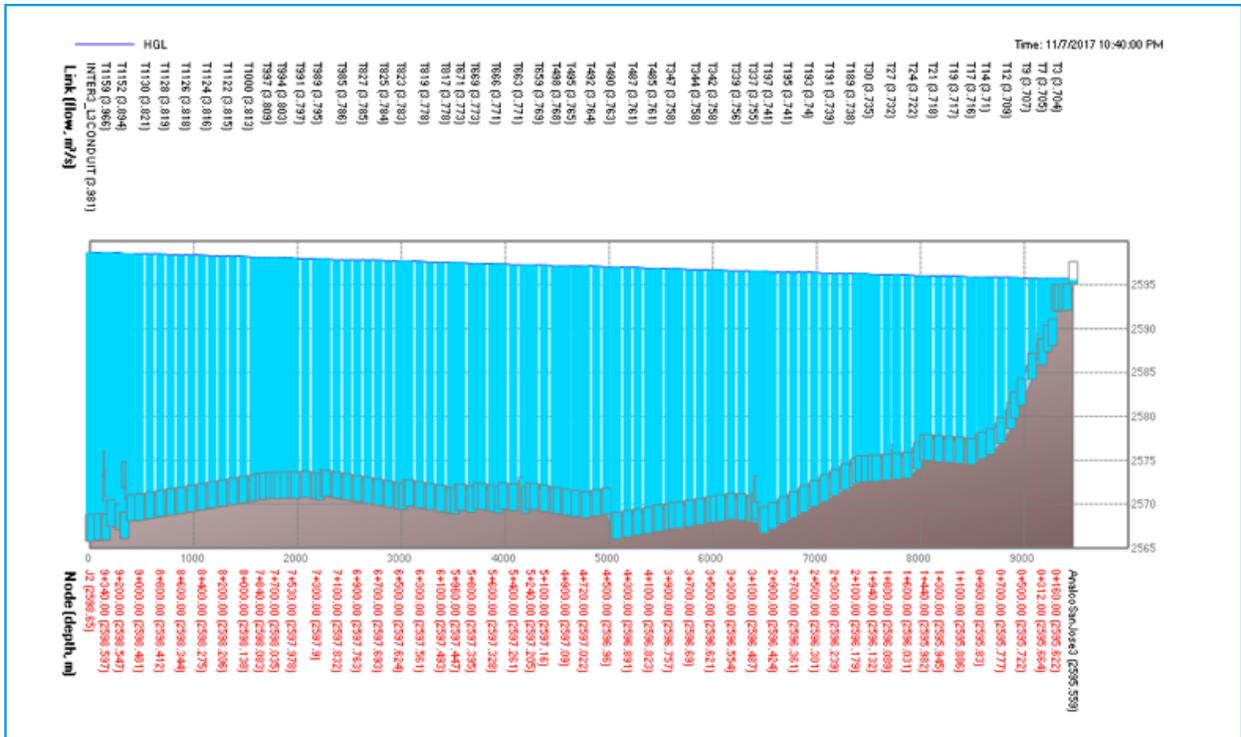


Ilustración 5.120 Perfil de flujo de la línea 1 después del proceso de vaciado

Estudio para restituir y mejorar la capacidad de conducción, mediante un manejo adecuado del aire y optimización del funcionamiento hidráulico, en las líneas 1 y 2 del sistema Cutzamala

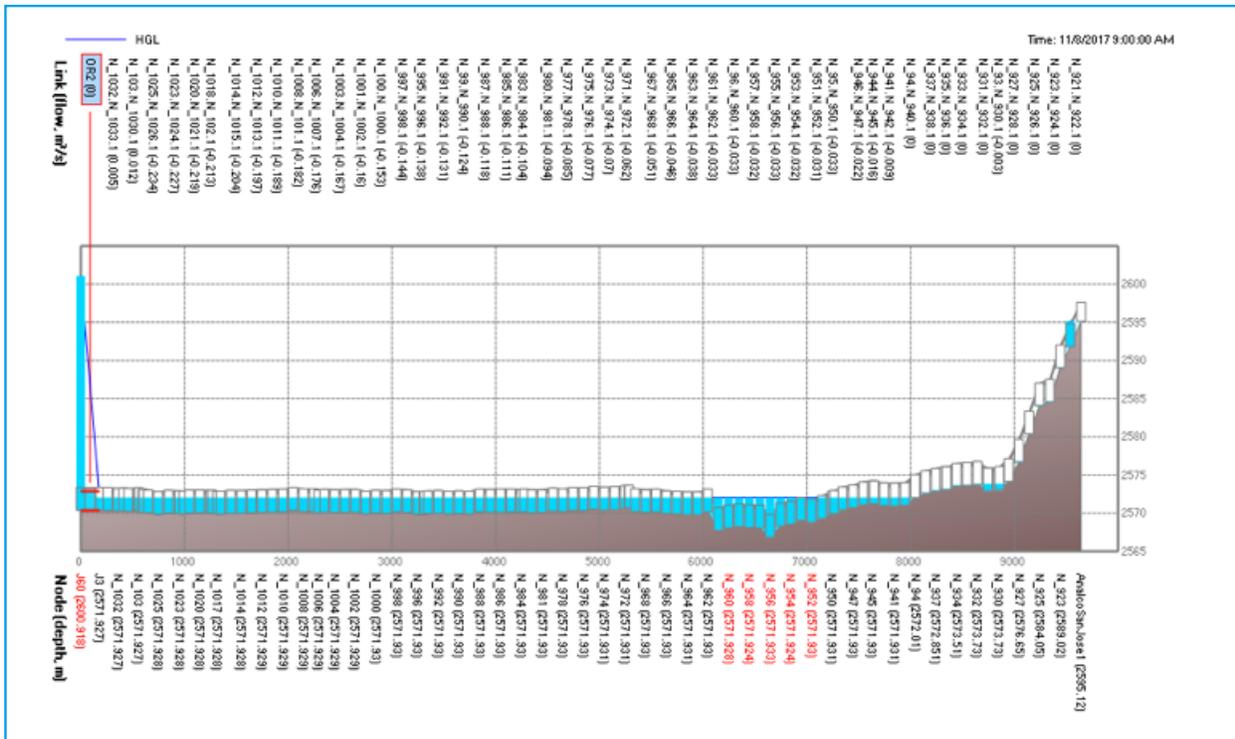


Ilustración 5.121 Perfil de flujo de la línea 1 después del proceso de vaciado

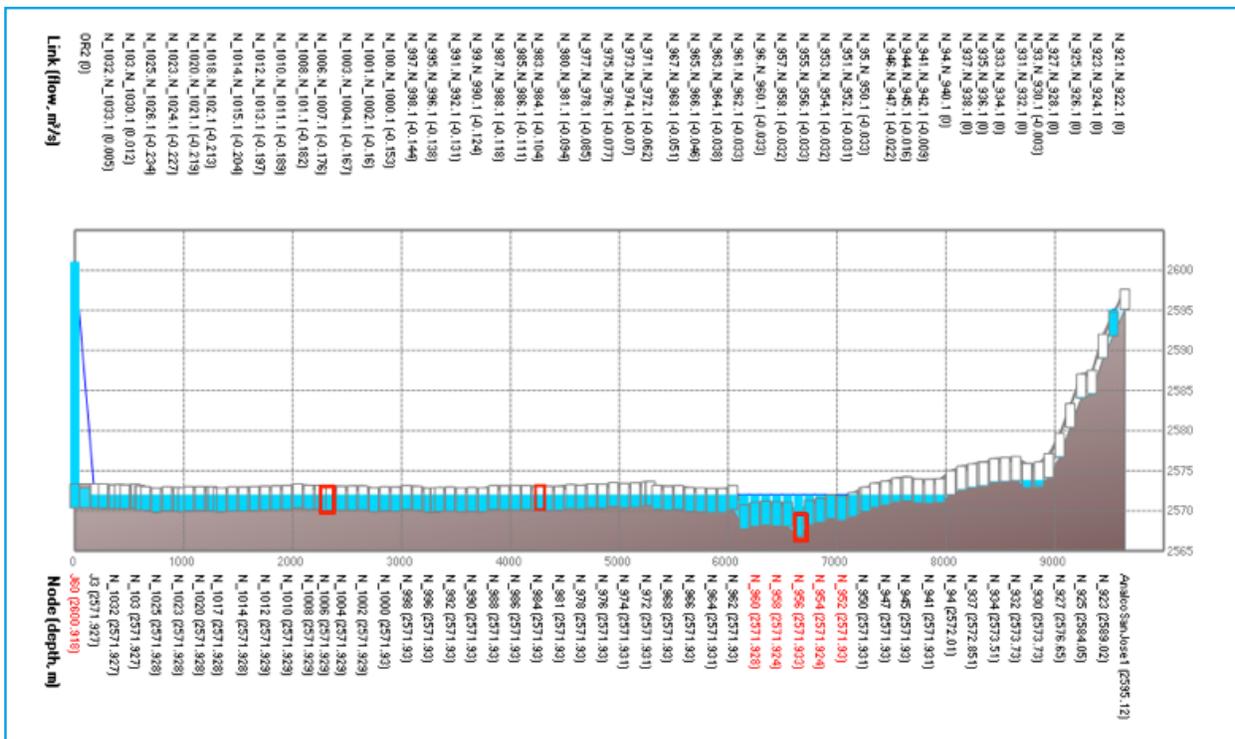


Ilustración 5.122 Ubicación de desfogues propuestos en la línea 1

5.4.6. SECCIONAMIENTOS

El diseño original de la tubería consideró la presión máxima de diseño con el gradiente hidráulico a gasto de 12 m³/s por línea. Si se llegaran a seccionar las líneas antes de los tanques (TSI y TP) se podría presentar una piezométrica a gasto cero referida al nivel aguas arriba del tramo y eso rebasaría la resistencia de diseño. Para evitar que esto pudiera ocurrir, ningún tramo de la conducción a gravedad tiene válvulas de seccionamiento.

Para aislar los tanques TSI y TP, se tienen instaladas tres compuertas deslizantes en cada línea, tanto a la entrada como en la salida de cada tanque; inmediatamente después de las compuertas, existe un ducto de ventilación, cuya función es impedir que el flujo pueda suspenderse en su totalidad, ya sea desbordando hacia el interior del tanque o permitiendo el ingreso aire a la línea (ver Ilustración 5.123 e Ilustración 5.124, respectivamente). En la Ilustración 5.125 se presenta el esquema del ducto a la salida del tanque Pericos.

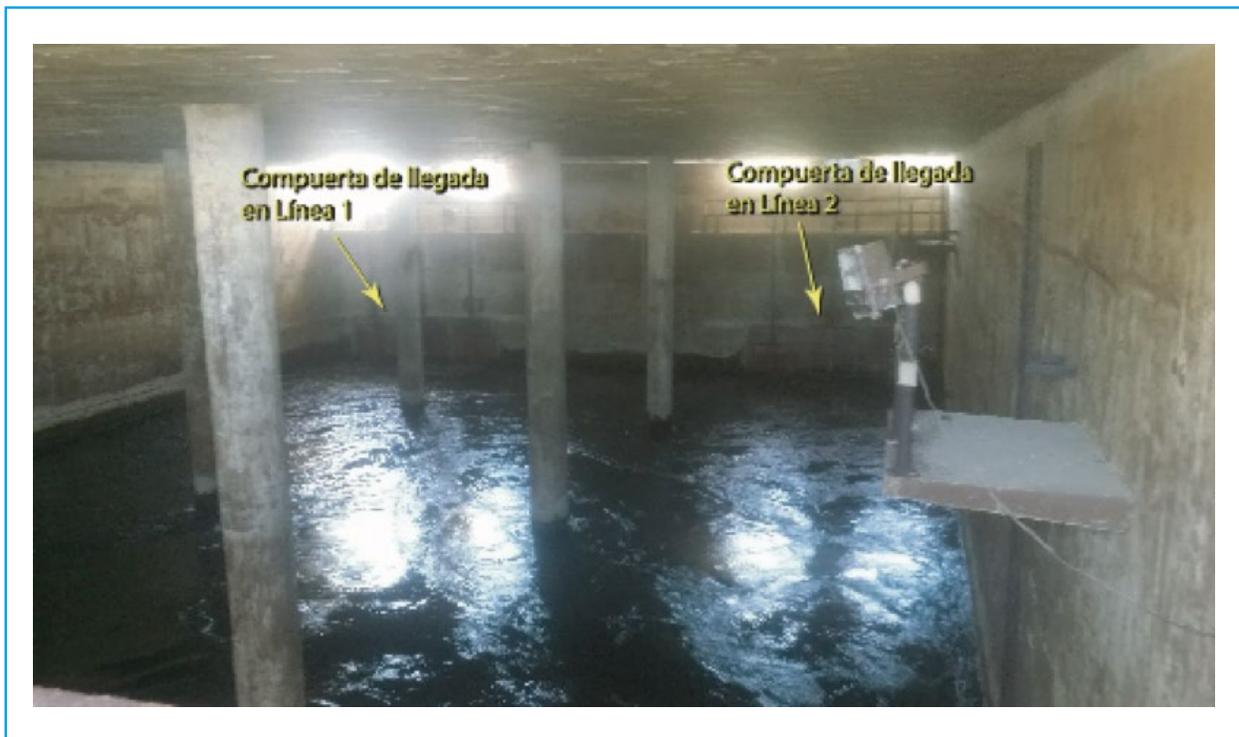


Ilustración 5.123 Ductos de ventilación a la salida del Tanque Santa Isabel

Estudio para restituir y mejorar la capacidad de conducción, mediante un manejo adecuado del aire y optimización del funcionamiento hidráulico, en las líneas 1 y 2 del sistema Cutzamala

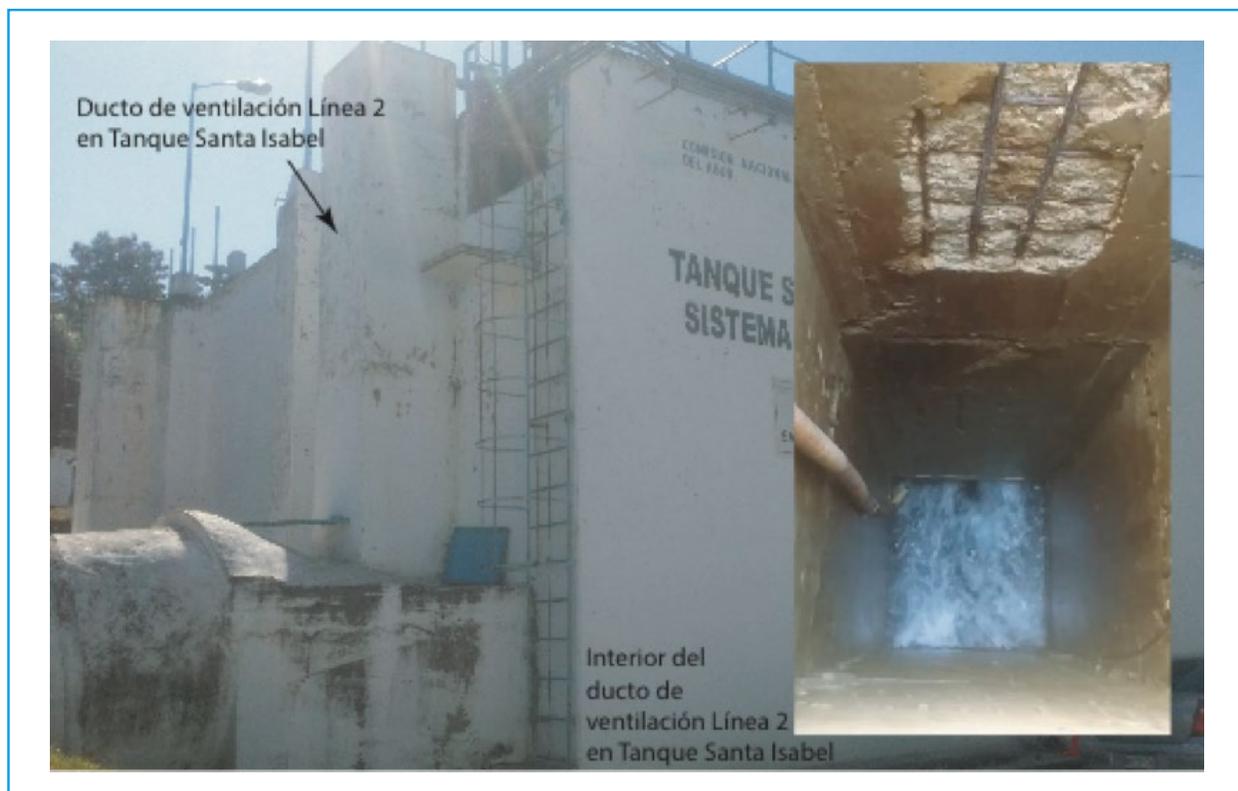


Ilustración 5.124 Ductos de ventilación a la salida del Tanque Santa Isabel

En el inicio del tramo 1, es decir en la descarga del agua en el túnel San Anasco, no hay ninguna compuerta ni válvula. Hay un

vertedor cimacio (Ilustración 5.126 e Ilustración 5.127). Es lo mismo para las líneas 1, 2 y ahora la línea 3.

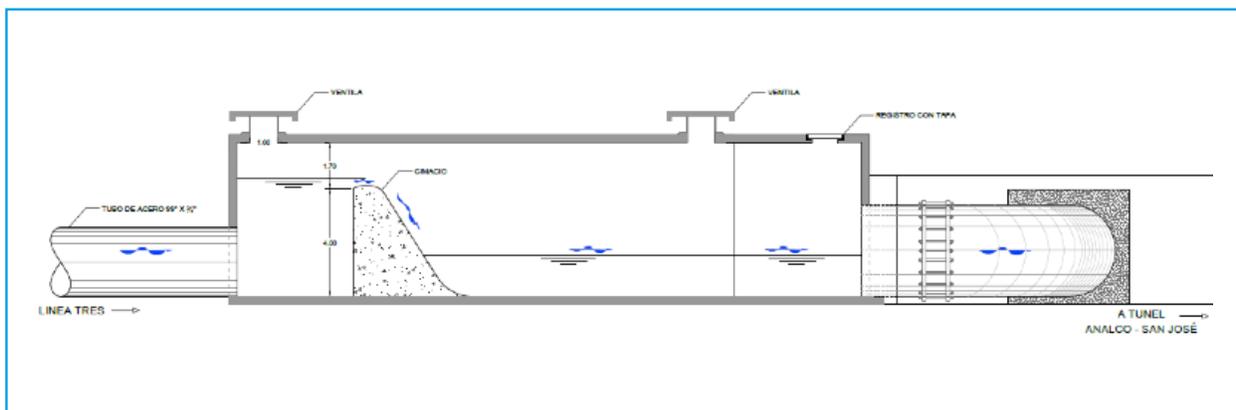


Ilustración 5.126 Corte longitudinal de la estructura de transición al túnel Analco - San José para la línea 3



Ilustración 5.127 Estructura de transición al túnel Analco - San José

El seccionar la conducción a gravedad en cualquiera de sus tramos implica asegurarse que durante la operación se presenten maniobras que generen un fenómeno transitorio que sobrepase la presión que puede resistir la tubería.

Para analizar las condiciones que puede presentarse en la operación de las válvulas intermedias se consideraron dos escenarios posibles:

a) Que se requiera realizar al aislamiento de un tramo en condiciones de operación normal

b) Que sea necesaria una maniobra emergente de seccionamiento provocada por la rotura de un tubo y se proceda a aislar el tramo de conducción afectado

En cualquier caso la operación de las válvulas intermedias solo deberá realizarse después de la suspensión del bombeo, una vez que la línea de energía se estabilice con el nivel de la descarga y dependerá del tramo que se quiere seccionar. Esta maniobra evitaría que se pudiera sobrepasar la presión de resistencia máxima.

A continuación, se presenta la propuesta y operación de 5 seccionamiento para la línea Cutzamala

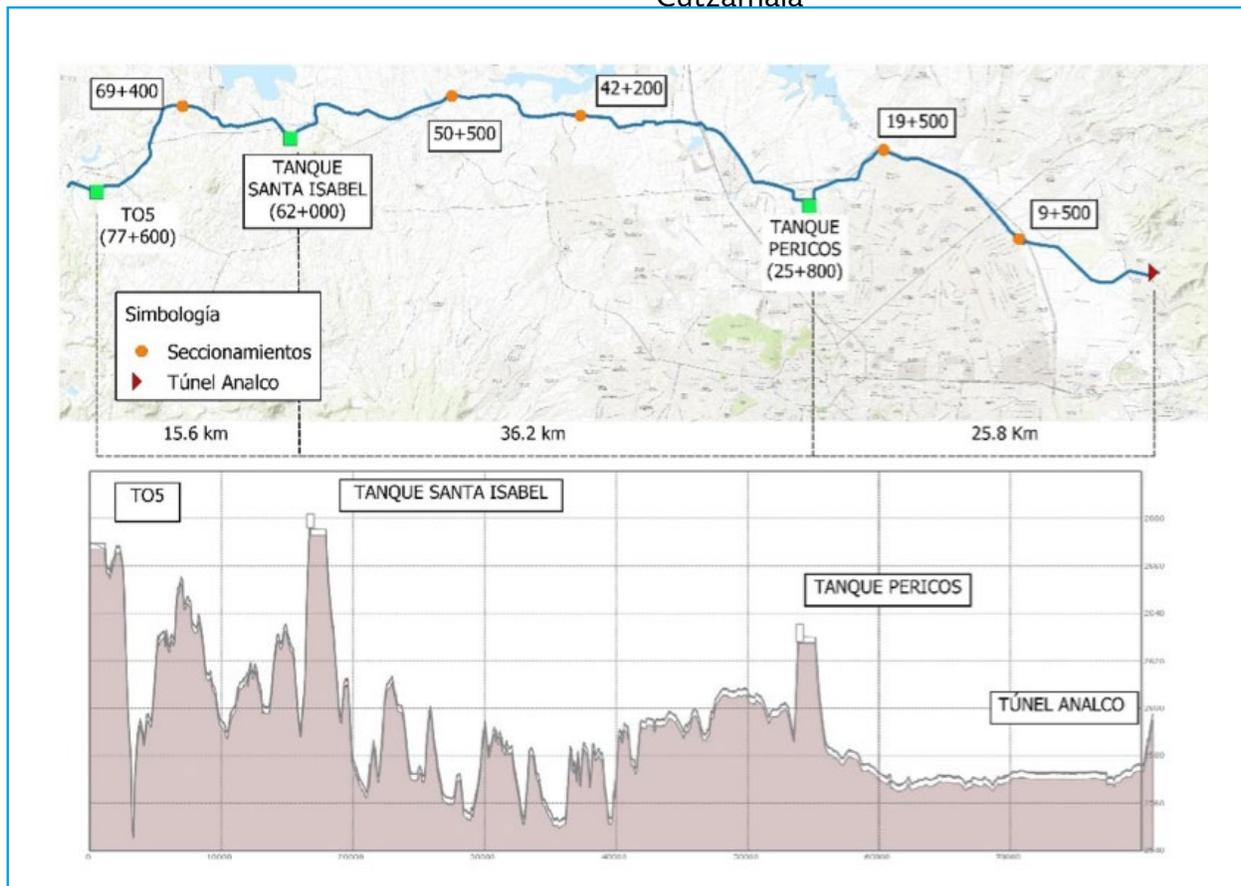


Ilustración 5.128 Seccionamientos propuestos en el sistema Cutzamala

5.4.6.1. Vaciado del tramo TO5 – TSI

Para el tramo 4 comprende una longitud de 17.6 km en el cual se ha planteado una interconexión en el kilómetro 69+400, por lo que resultan dos tramos de análisis: el primer tramo con una longitud de 8.2 kilómetros y el segundo tramo de 9.4 kilómetros.

Para el primer escenario de la zona 1 se contempla una duración de la simulación de 42 horas, donde a cada línea se le inyectan $6.5 \text{ m}^3/\text{s}$ en las primeras 15 horas para presurizar las líneas, posteriormente se activan los seccionamientos para impedir el paso

del agua y se vacía del tramo del TO5 al Seccionamiento 69+400 y posteriormente se comienza la apertura en pares de los seccionamientos.

Para el segundo escenario de la zona 2 se establece al igual que el primero una duración de 42 horas, inyectándole a cada línea del sistema Cutzamala $6.5 \text{ m}^3/\text{s}$ durante 15 horas, posteriormente se activan el seccionamiento 69+400 y se empieza a desfogar el tramo seccionamiento 69+400 – al Tanque Santa Isabel. Los desfogues empiezan a funcionar en pares, con un intervalo 60 minutos (ver Ilustración 5.129).

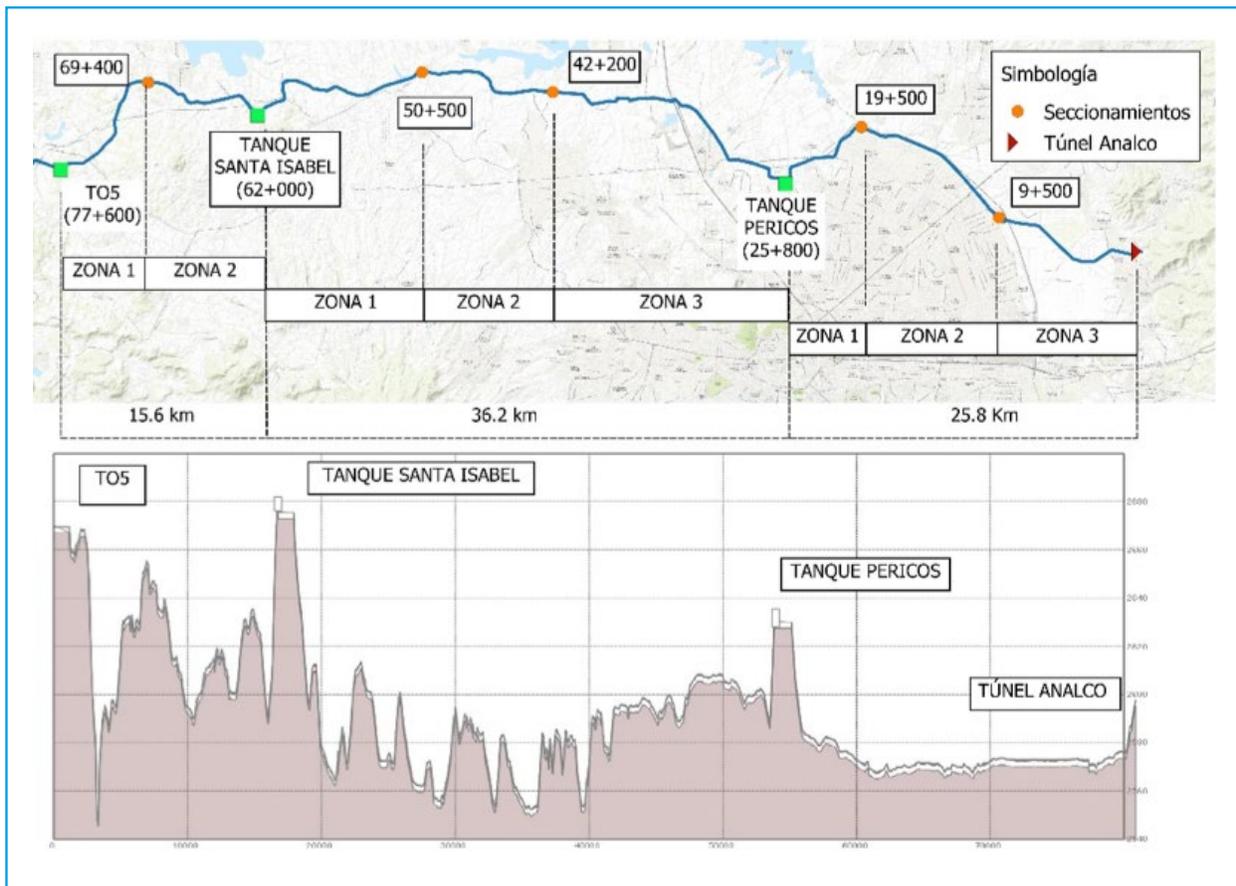


Ilustración 5.129 Zonas propuestas en el tramo del TO5 al Tanque Santa Isabel

5.4.6.2. Zona 1 del tramo 4

El suministro del gasto inicia a las 00:00 horas de la simulación y el seccionamiento 69+400 entra en funcionamiento a las 12:00 am, a continuación, se describe el proceso desfogue (ver Cantidad).

El porcentaje de apertura medio de las válvulas de compuerta (desfogue) es del 48 % para OR1 y 55 % para OR2; el funcionamiento de la válvula OR1 es de un 20 % a un 38 % de apertura en los primeros 180 minutos, mientras que la válvula OR2 regula del 23 % a al 24 % en sus primeras 5 horas de funcionamiento (ver Ilustración 5.130.)

Línea 1. En esta línea se ubican dos desfogues con un diámetro de 12 “.

Tabla 5.8 Desfogues de la línea 1, zona 1, tramo 4

Línea	Desfogue	Diámetro (mm)	Horario de apertura	Velocidad de vaciado (m/s)	Gasto regulado m ³ /s	Tiempo de manejo de la válvula	Tiempo de operación (h)
L1	OR1	0.305	15:00	4.77	0.35	5:30	12:00
	OR2	0.305	15:00	4.77	0.35	9:30	10:00

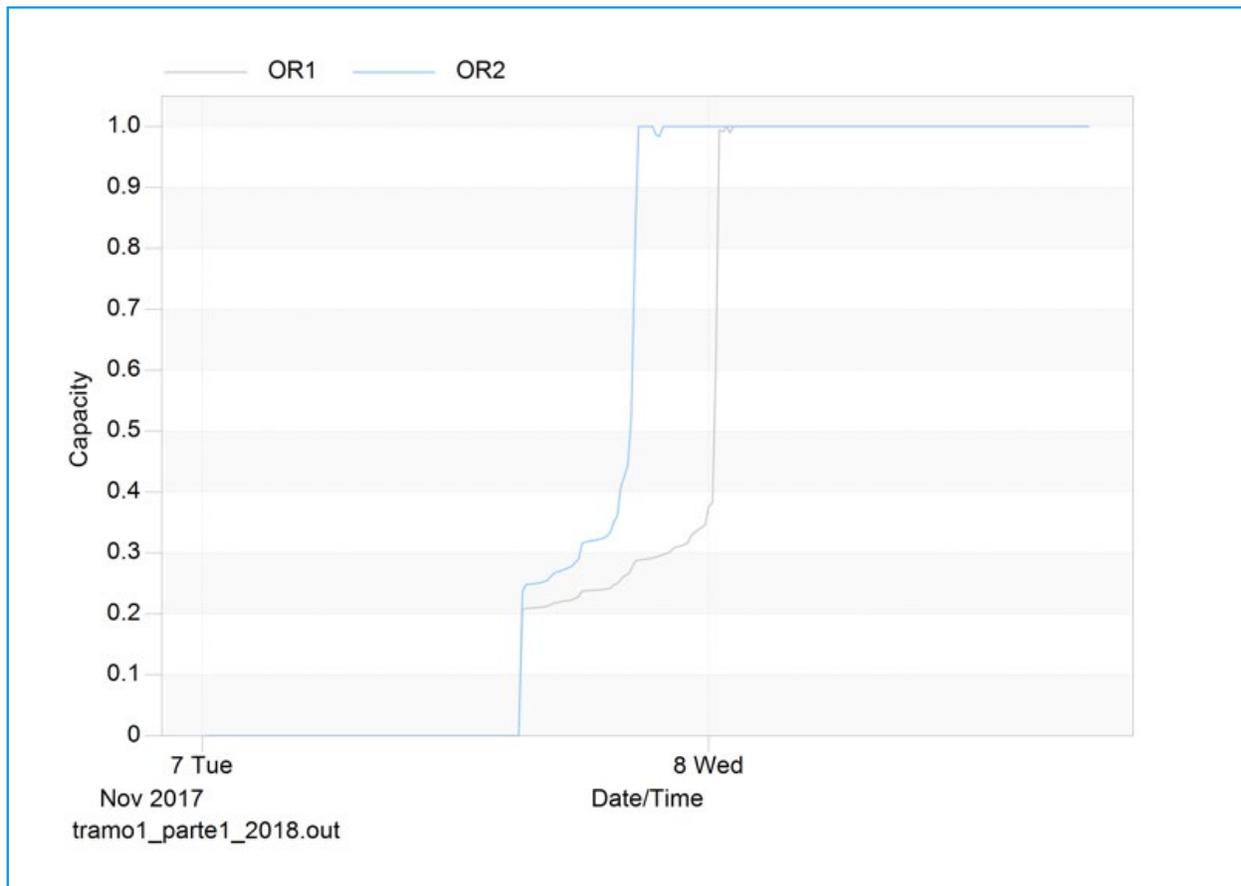


Ilustración 5.130 Operación de los desfogues en el tramo de la línea 1 analizada

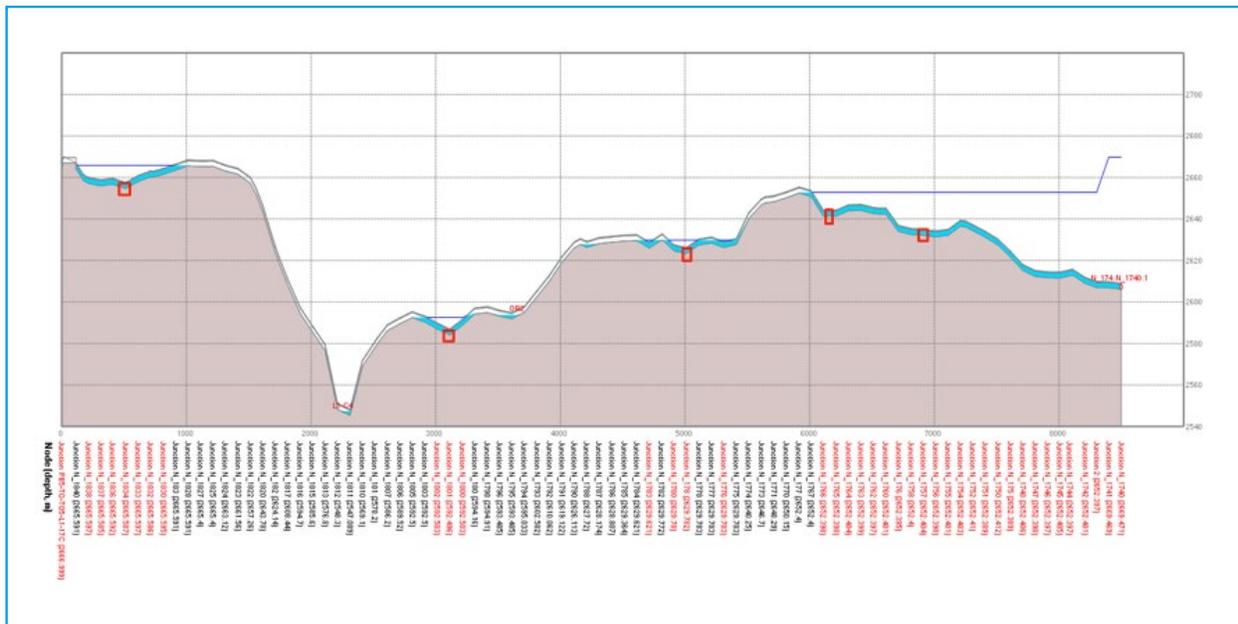


Ilustración 5.131 Ubicación de desfogos propuestos L1

5.4.6.3. Desfogos propuestos L1

El tiempo de vaciado de la línea 1 es de 13:30 horas, con base en el perfil de flujo que resulta después de la entrada en funcionamiento del desfogue existente de la L1, se proponen 4 desfogos con un diámetro de 12”, en los cadenamientos: 77+325.46,

74+600.00, 72+735.00, 71+630.00 y 70+720.00 (ver Ilustración 5.132).

Línea 2. En esta línea se ubican los desfogos que llevan por nombre OR30 y OR-Desf-12 con un diámetro de 12”. Los resultados de los desfogos se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 5.9 Desfogos de la línea 2, zona 1, tramo 4

Línea	Desfogue	Diámetro (mm)	Hora de apertura	Velocidad de vaciado (m/s)	Gasto regulado m ³ /s	Tiempo de manejo de la válvula	Tiempo de operación (h)
L2	Or-Desf-12	0.305	15:00	4.78	0.35	09:00	12:00
	OR30	0.305	15:00	4.78	0.35	11:30	12:30

Nota:
Tiempo de operación, se considera al intervalo de tiempo en que el desfogue regula un gasto cero, después de la apertura del mismo.

En lo que respecta a la operación de las válvulas de desfogue se tiene en la siguiente ilustración su operación (ver Ilustración 5.132), donde la válvula OR30 contempla una operación de 11:30 horas e inicia con una apertura del 20 % y esta sube gradualmente en 570 minutos al 30 %; para la válvula Or-Desf-12 contempla un menor tiempo de operación (9:00 horas) tiene en un principio una apertura del 22 % y esta se aumenta progresivamente en los siguientes 330 minutos hasta llegar al 31%. Con el paso del tiempo estas dos válvulas se abren al 100 % (la válvula OR30 se abre

en 11:30 horas y la válvula Or-Desf-12 en 9 horas).

5.4.6.4. Desfogues propuestos L2

El desfogue de la línea 2 se realiza en un periodo de 12:00 horas, con base en el perfil de flujo se conocen los sitios donde se anega el agua que no pueda ser desalojada, por tal razón se proponen 6 válvulas de desfogue en los cadenamientos: 77+180.00, 74+130.00, 72+780.00, 71+600.00, 70+800.00 y 69+830.00 (ver Ilustración 5.133).

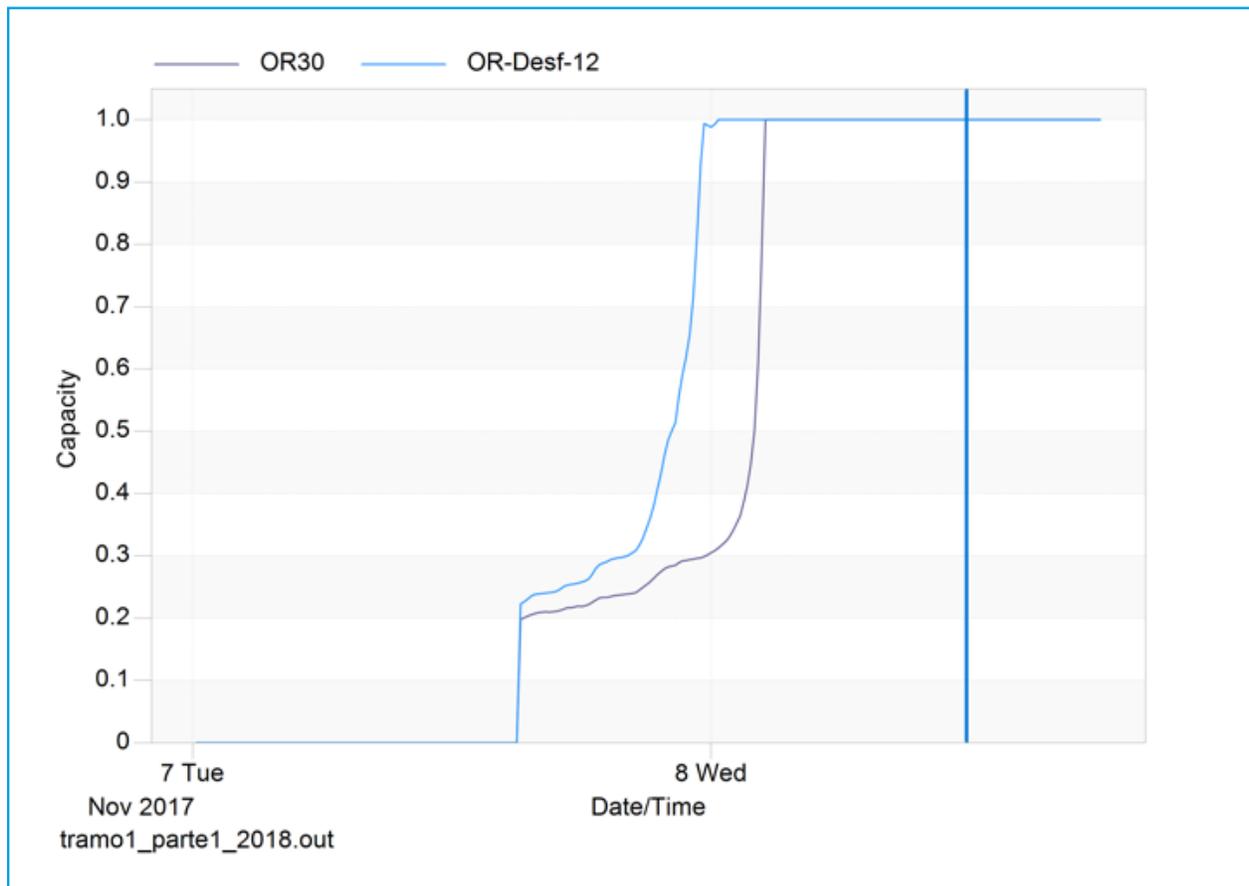


Ilustración 5.132 Operación de los desfogues en la línea 2, zona 1, tramo 4

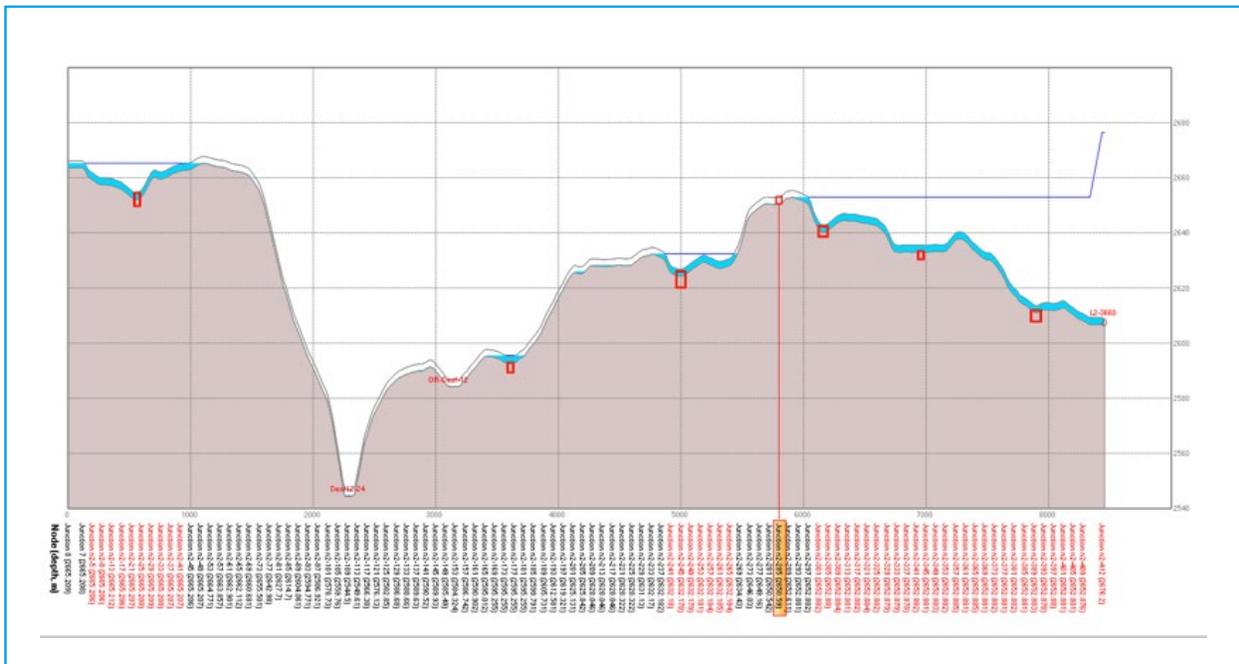


Ilustración 5.133 Desfogues propuesta para la línea 1, zona del tramo 4

Línea 3. En la línea se ubican 10 desfogues, de los cuales 6 se abrirán en una primera instancia y en las siguientes 3 horas se abrirán los 4 desfogues de los kilómetros

77+491.60, 71+540.04, 72+374.03, 74+118.04. Los desfogues con que se operaran en primera instancia se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 5.10 Datos de los desfogues operados para el desfogue de la línea3, tramo 4 y zona 1

Línea	Cadenamiento (km)	Desfogue	Hora de apertura	Diámetro (mm)	Velocidad de vaciado (m/s)	Tiempo de manejo de la válvula	Tiempo de operación (h)
L2	77+145.35	DES77+145.35	15:00	0.457	4.75	00:40	02:40
	75+415.34	DES75+415.34	15:00	0.457	3.62	06:00	07:00
	74+549.64	DES74+549.64	16:00	0.457	5.19	03:00	03:40
	72+734.30	DES72+734.30	16:00	0.457	4.65	00:50	04:00
	70+692.22	DES70+692.22	17:00	0.457	4.95	00:55	03:20
	69+717.30	DES69+717.30	17:00	0.457	5.00	01:50	04:00

Nota:

Tiempo de operación, se considera al intervalo de tiempo en que el desfogue regula un gasto cero, después de la apertura del mismo.

El procedimiento de apertura para las válvulas que inician su operación a las 15:00 es el siguiente, para la válvula DES77+415.34 su tiempo total de operación es de 40 minutos donde en los primeros 10 se regula hasta un 50 %, en los siguientes 10 minutos se regula de un 50 a un 77 %, continua otros 10 minutos con una regulación del 77 al 98% y posteriormente se abre al 100 %. La válvula DES75+415.34 es la que presenta un mayor tiempo de manejo de la válvula con 6:00 horas, en los primeros 160 minutos regula de un 17 % a un 20 % de apertura, posteriormente en los siguientes 220 minutos se

regula la válvula de un 20 % a un 38 %, continuado en los siguientes 20 minutos donde llega gradualmente de un 38 % a un 100 %. En la siguiente gráfica se puede conocer la evolución de la apertura de las válvulas de la línea 3 (ver Ilustración 5.134).

El tiempo de desfogue en esta línea es de 6 horas con la apertura de las 6 válvulas se presenta el siguiente perfil, donde las válvulas restantes se abrirán después de las 3 horas para evacuar al 100 % el flujo de la tubería (ver Ilustración 5.135).

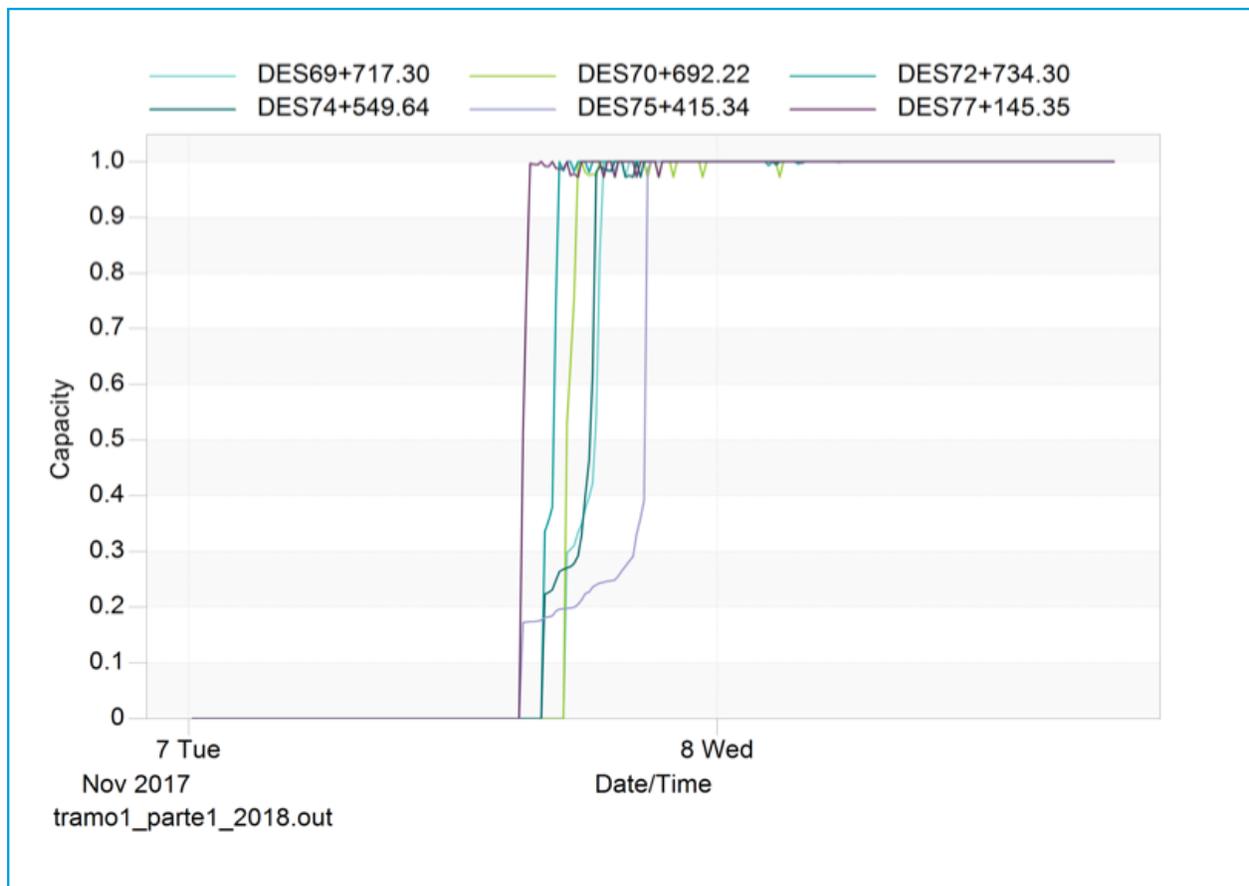


Ilustración 5.134 Apertura de las válvulas en la línea 3 del tramo analizado

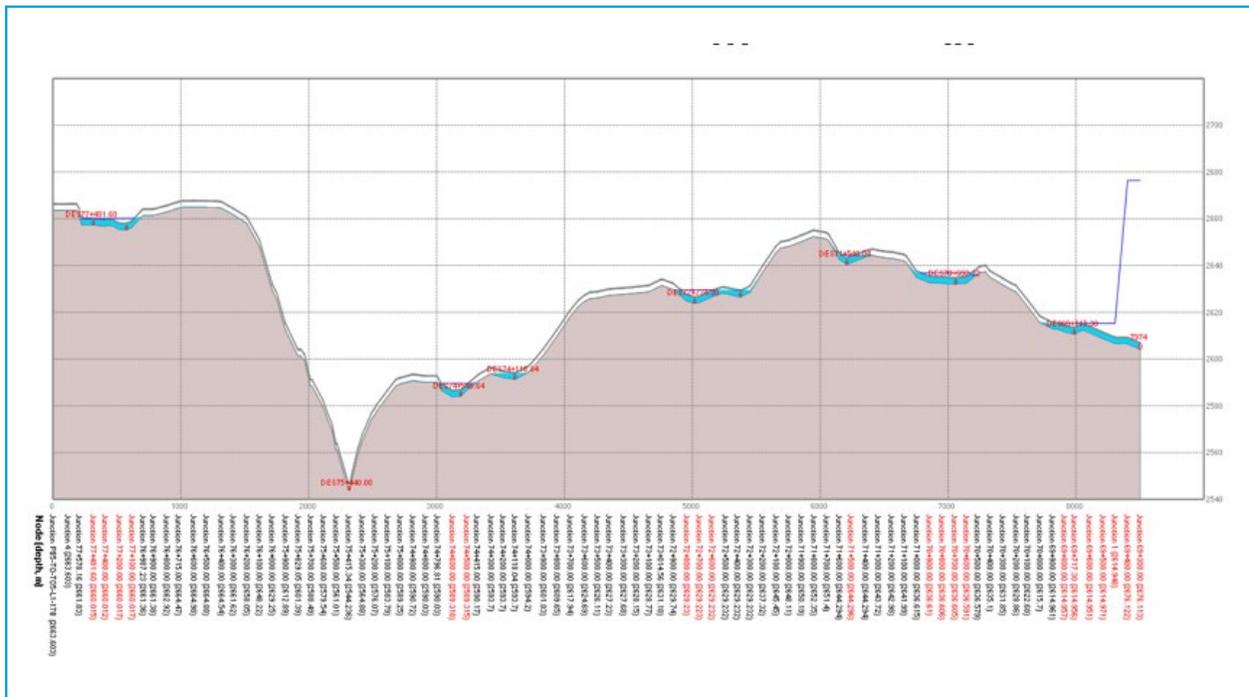


Ilustración 5.135 Perfil de la línea 3 visualizando el desfogue de las válvulas

5.4.6.5. Zona 2 del tramo 4

La zona del tramo 4 cuenta con una longitud de 9.4 kilómetros y se va a desfogar el agua del tramo del seccionamiento 69+400 al Tanque Santa Isabel. A continuación, se describe los resultados de las 3 líneas de conducción.

Línea 1. En la línea de conducción se encuentra una válvula de desfogue ubicada en el cadenamamiento 74+450.00, la cual presenta sus características a continuación:

Tabla 5.11 Características del desfogue de la línea 1 en la zona 2 del tramo 4

Línea	Cad. (km)	Desfogue	Diámetro (mm)	Horario de apertura	Velocidad de vaciado (m/s)	Gasto regulado m ³ /s	Tiempo de manejo de la válvula	Tiempo de operación (h)
L1	74+450.00	OR1	0.305	15:00	4.77	0.35	9:10	15:00

El porcentaje de apertura de la válvula de compuerta (desfogue) comienza a las 15:00 horas con una apertura del 25 % y se aumenta gradualmente en los siguientes

540 minutos a una apertura del 54 %, y de ahí en los siguientes 80 minutos una apertura del 54 % al 100 % (ver Ilustración 5.136).

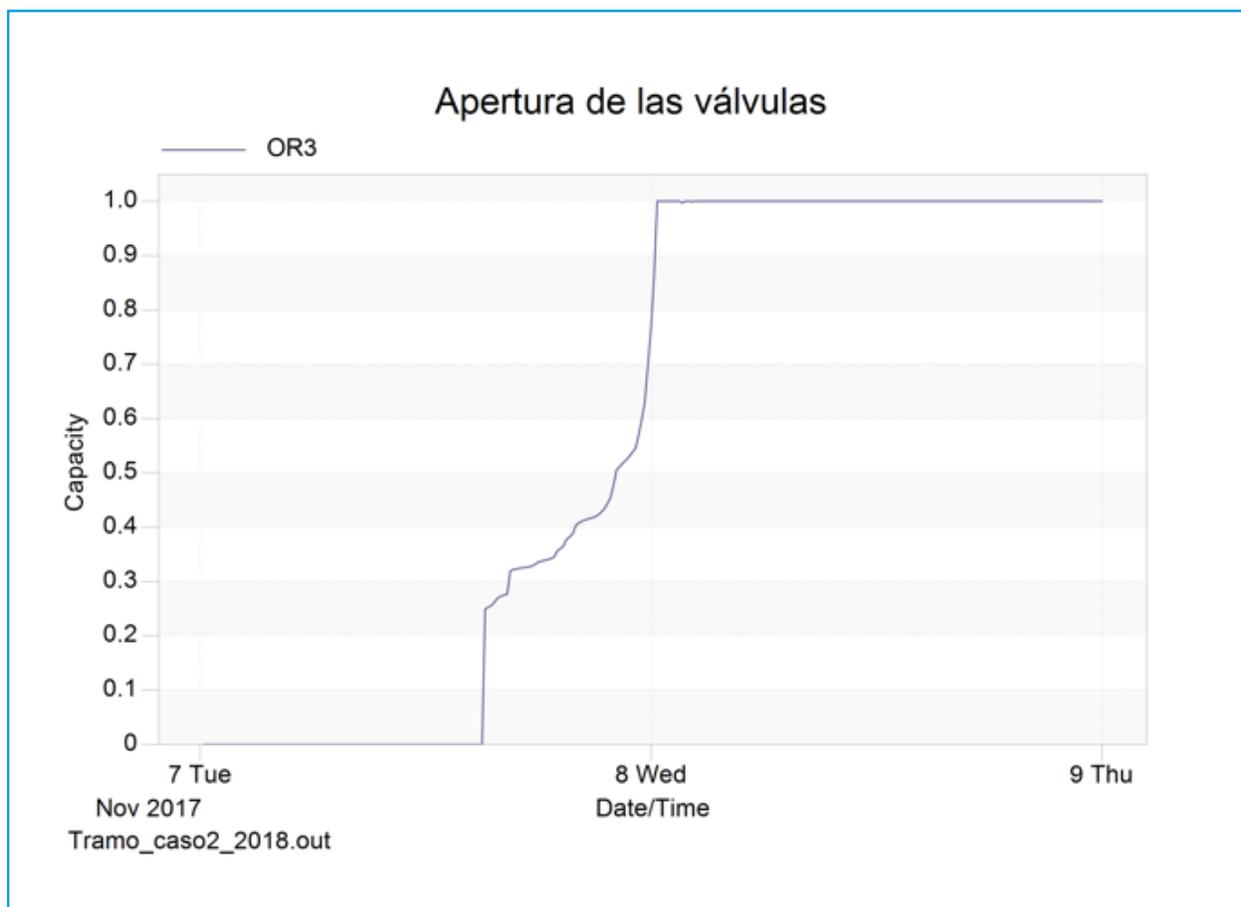


Ilustración 5.136 Apertura de la válvula de desfogue OR1

5.4.6.6. Desfogues propuestos L1

A partir de la línea del perfil del flujo se proponen 2 válvulas de compuerta para su vaciado completo, primera en el kilómetro 62+650 donde ayudará a desalojar el agua en un tramo de 1.1 km, y en el kilómetro

68+275 que contribuirá a desalojar 7.35 km de conducción (ver Ilustración 5.137).

Línea 2. En esta línea se ubican 3 desfogues que llevan por nombre OR-Desf-23, OR31, OR-Desf-25 y sus resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 5.12 Características de los desfogues de la línea 2, zona 2 del tramo 4.

Línea	Desfogue	Diámetro (mm)	Hora de apertura	Velocidad de vaciado (m/s)	Gasto regulado m ³ /s	Tiempo de manejo de la válvula	Tiempo de operación (h)
L2	OR-Desf-23	0.305	15:00	4.78	0.35	19:00	21:00
	OR31	0.305	15:00	4.78	0.35	11:30	14:00
	OR-Desf-25	0.305	16:00	4.76	0.35	9:20	10:20

Nota:
Tiempo de operación, se considera al intervalo de tiempo en que el desfogue regula un gasto cero, después de la apertura del mismo.

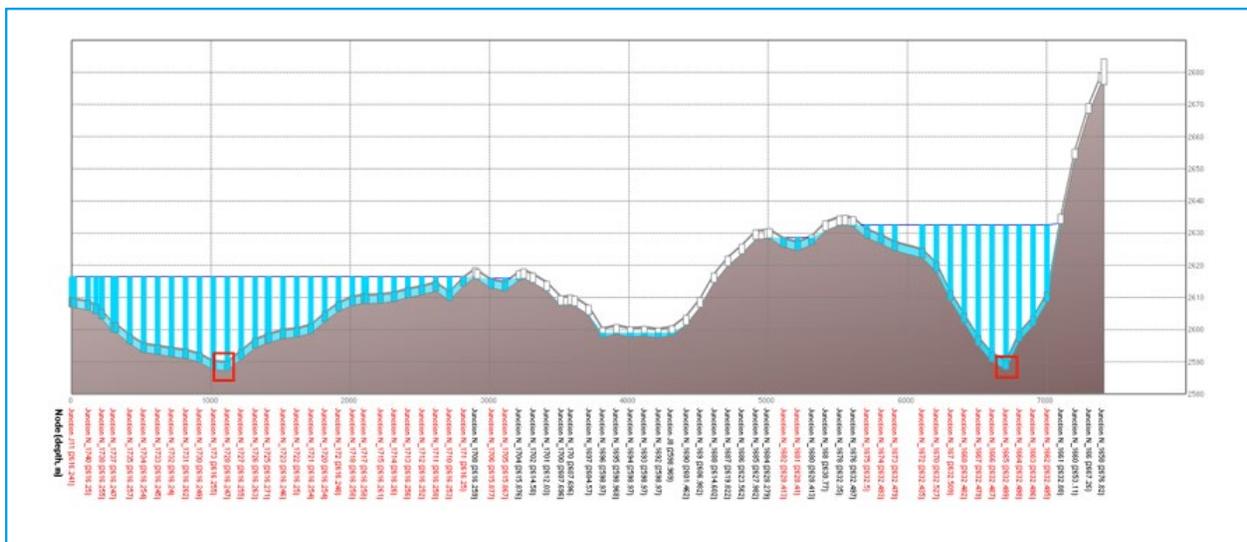


Ilustración 5.137 Ubicación de desfogues propuestos L1

En lo que respecta a la operación de las válvulas de desfogue, a continuación, se describirá la evolución de la apertura del Desfogue OR-Desf-23. Este desfogue inicia operación a las 15:00 con una regulación del 23 % y esta se va incrementando gradualmente en un lapso de 780 minutos hasta llegar a un % de apertura del 46.7 %, posteriormente en los siguientes 360 minutos se regula de un 46.7 % hasta un 100 % de la válvula (ver Ilustración 5.138).

5.4.6.7. Desfogues propuestos L2

Con respecto al perfil del flujo, se han identificado dos zonas donde se pueden agregar válvulas de desfogue que son en los kilómetros 64+200 y 66+350, existen otros 3 puntos menores que se considera que con una bomba manual se puedan desalojar (ver Ilustración 5.139).

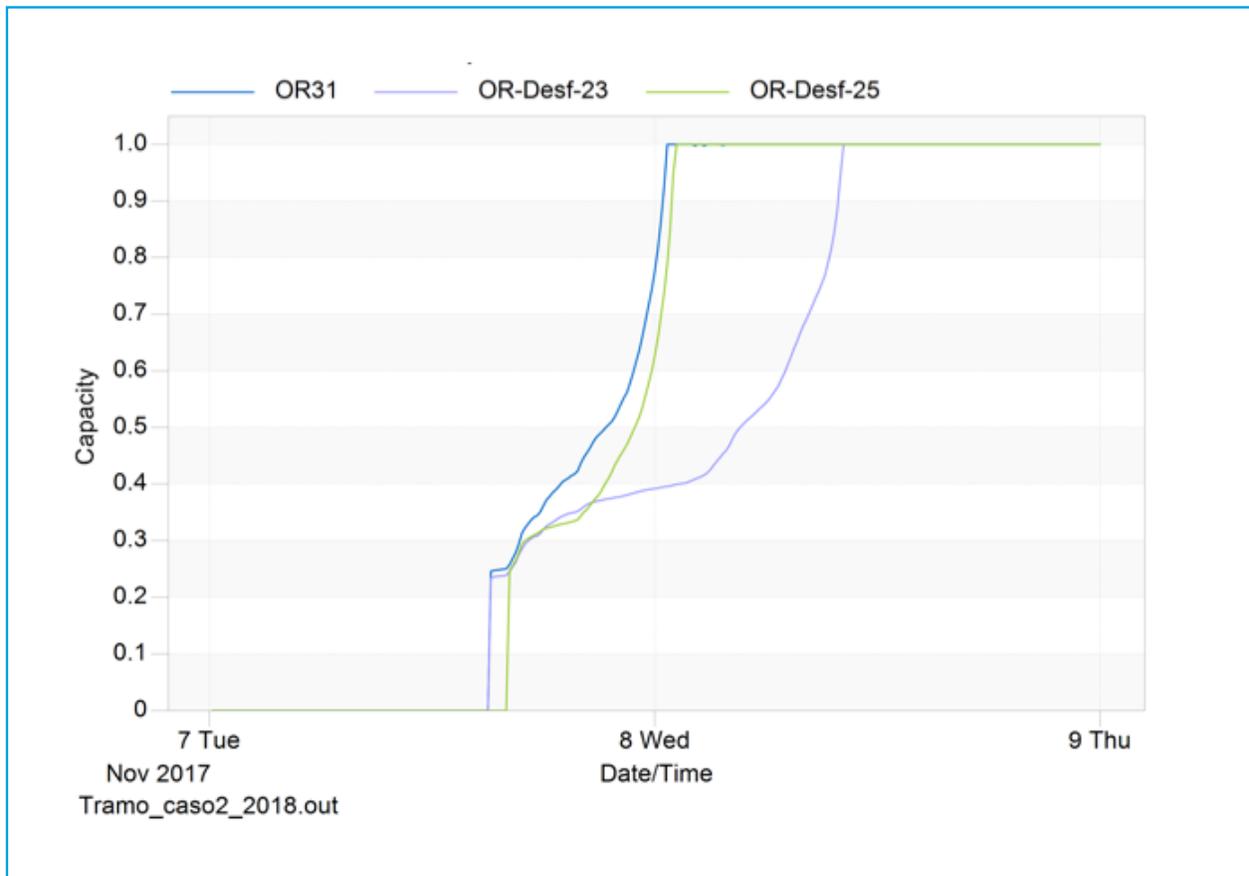


Ilustración 5.138 Apertura de válvulas en la línea 2

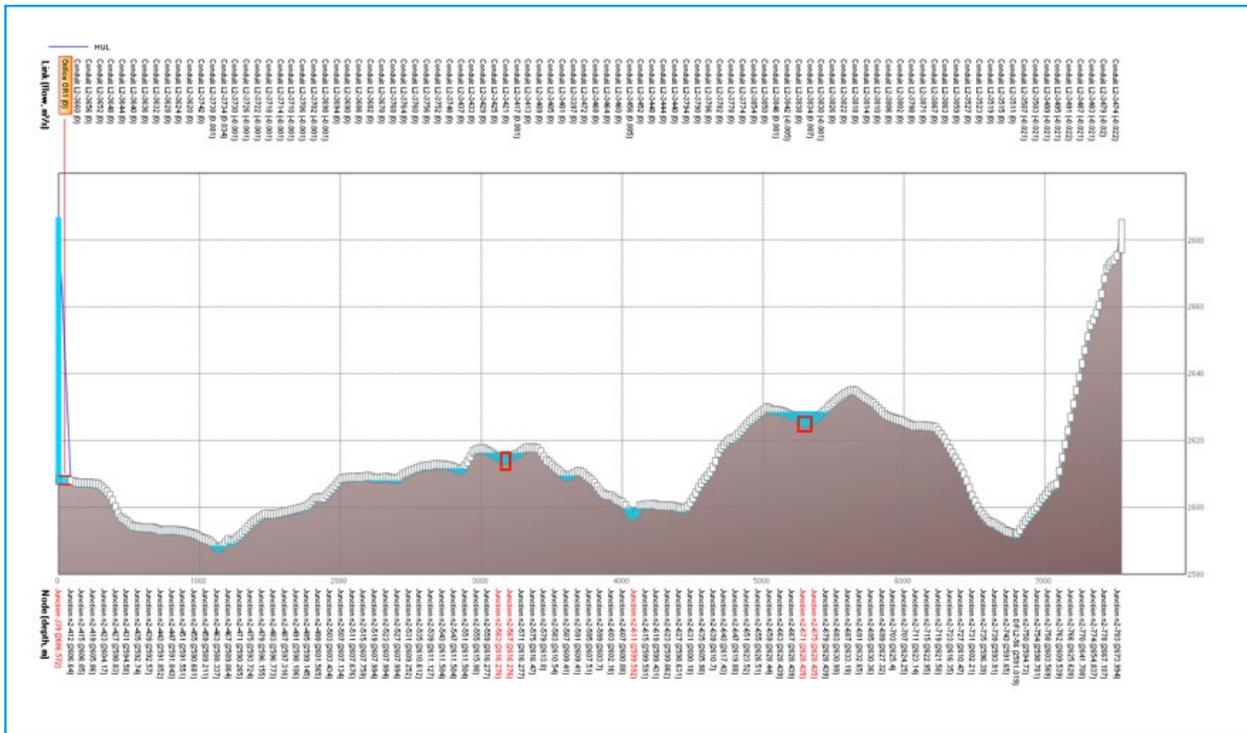


Ilustración 5.139 Desfogues propuesto para la línea 2, zona 2 del tramo 4

Línea 3. En la línea se ubican 10 desfogues, de los cuales 6 se abrirán en una primera instancia y en las siguientes 3 horas se abrirán los 4 desfogues de los kilómetros

77+491.60, 71+540.04, 72+374.03, 74+118.04. Los desfogues con que se operaran en primera instancia se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 5.13 Características de los desfogues de la línea 3, zona 2 del tramo 4.

Línea	Cadenamiento (km)	Desfogue	Hora de apertura	Diámetro (mm)	Velocidad de vaciado (m/s)	Tiempo de manejo de la válvula	Tiempo de operación (h)
L2	68+957.08	DES68+957.08	15:00	0.457	3.50	01:40	04:00
	68+315.00	DES68+315.00	15:00	0.457	5.00	05:00	09:00
	65+531.23	DES65+531.23	16:00	0.457	5.30	01:30	02:50
	64+124.34	DES64+124.34	16:00	0.457	4.16	00:10	01:20
	63+100.00	DES63+100.00	17:00	0.457	2.49	00:10	02:00
	62+720.00	DES62+720.00	17:00	0.457	5.21	02:20	03:00

Nota:
Tiempo de operación, se considera al intervalo de tiempo en que el desfogue regula un gasto cero, después de la apertura del mismo.

El procedimiento para la apertura de las válvulas se describe en la siguiente ilustración, a continuación se desarrolla la operación de la válvula 68+315.00, a las 15:00 horas inicia con un apertura del 20 % y se aumenta gradualmente en los primeros 120 minutos hasta llegar a un 36.2 %, posteriormente en los siguientes 120 minutos la apertura pasa del 36.2 % a 70 % y por último

en los 60 minutos se tiene la apertura de un 70 aun 100 % (ver Ilustración 5.140).

Con la apertura de las 6 válvulas se presenta el siguiente perfil, donde las válvulas restantes (4) se abrirán después de las 3 horas para evacuar al 100 % el flujo de la tubería (ver Ilustración 5.141).

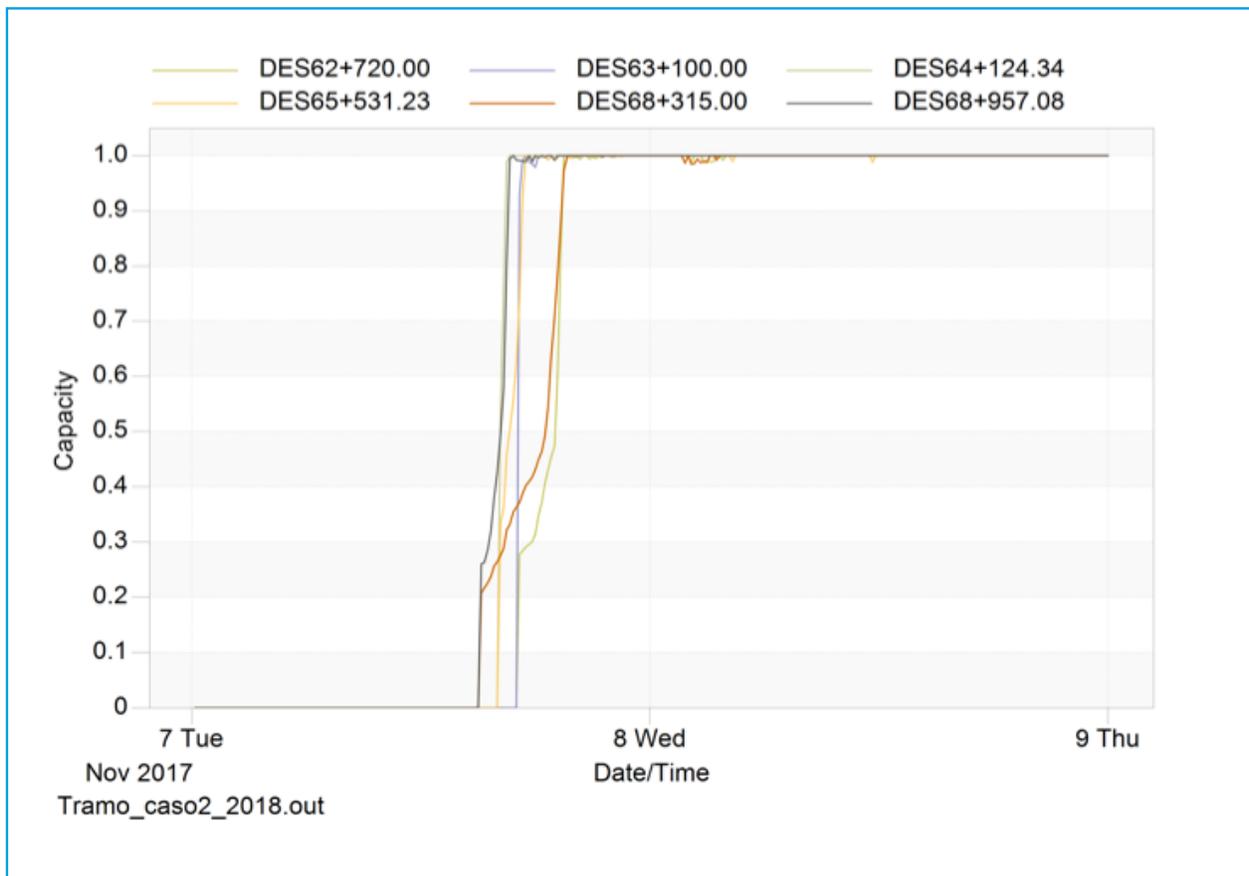


Ilustración 5.140 Operación de las válvulas de desfogue de la línea 2, zona 2 del tramo 4

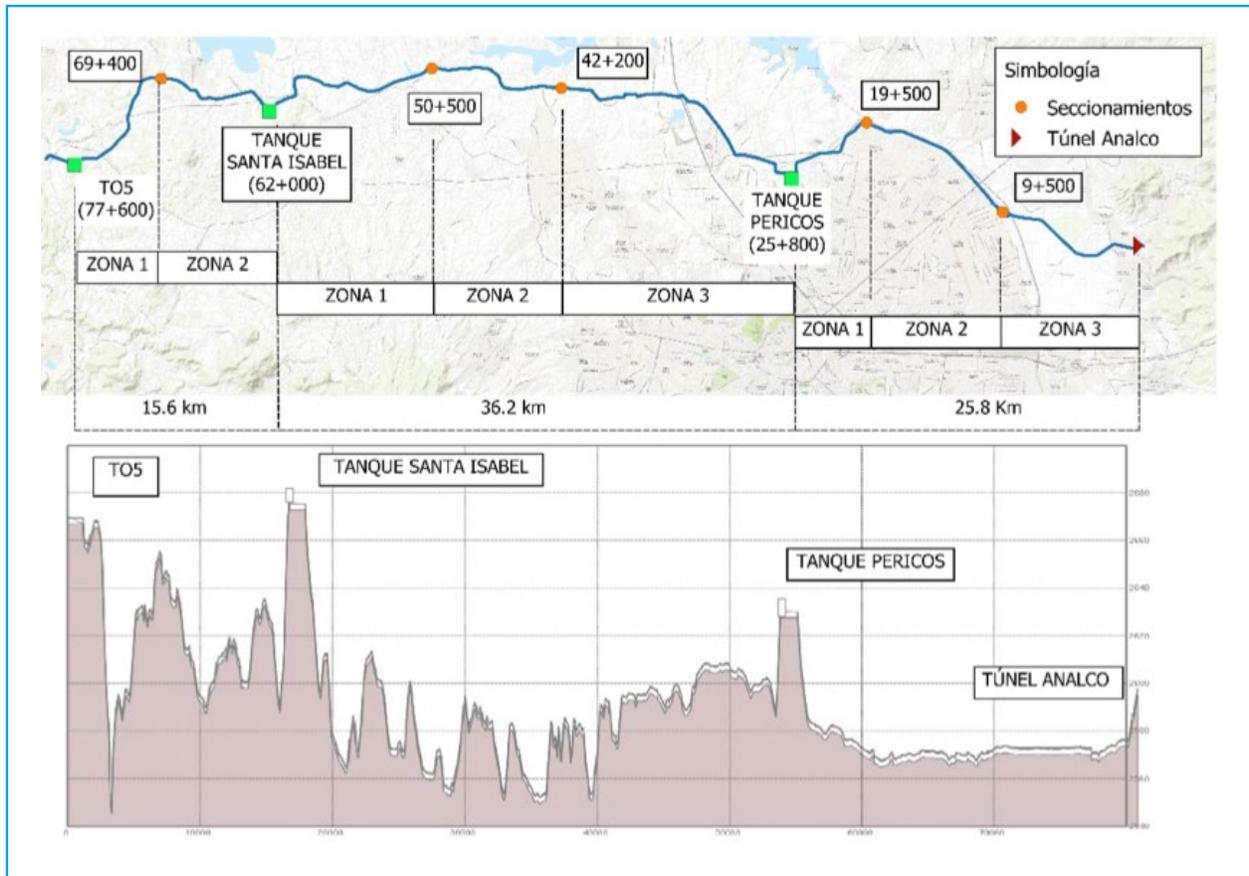


Ilustración 5.142 Zonas en el tramo del Tanque Santa Isabel al Tanque Pericos

5.4.6.9. Zona 1 del tramo 3

Línea 1. El suministro del gasto inicia a las 00:00 horas de la simulación y el seccionamiento 50+600 entra en funcionamiento a

las 15:00 horas, por lo que los 2 desfuegos ubicados en el tramo empiezan a desalojar el agua, teniéndose los resultados para la línea 1 en la siguiente tabla.

Tabla 5.14 Características de los desfuegos de la línea 1, zona 1 del tramo 3.

Línea	Desfogue	Diámetro (mm)	Horario de apertura	Velocidad de vaciado (m/s)	Gasto regulado m ³ /s	Tiempo de manejo de la válvula	Tiempo de operación (h)
L1	OR4	0.305	15:00	4.77	0.35	7:40	13:10
	OR5	0.305	15:00	4.77	0.35	9:50	10:30

En la siguiente ilustración se presenta la apertura del desfogue, donde por ejemplo el desfogue OR4 inicia su apertura a un 27 % de ahí paulatinamente se abre el desfogue hasta llegar a un valor de 48 % en un lapso de 340 minutos; prosigue de un intervalo de apertura del 48 al 100 % en un tiempo de 120 minutos (ver Ilustración 5.143).

5.4.6.10. Desfogues propuestos L1

El tiempo de vaciado de la línea 1 es de 13:30 horas, con base en el perfil de flujo que resulta después de la entrada en funcionamiento del desfogue existente de la L1, se proponen 5 desfogues con un diámetro de 12" colocándose en los kilómetros: 60+780.00, 58+880.00, 57+960.00, 54+960.00 y 52+280.00 (ver Ilustración 5.144).

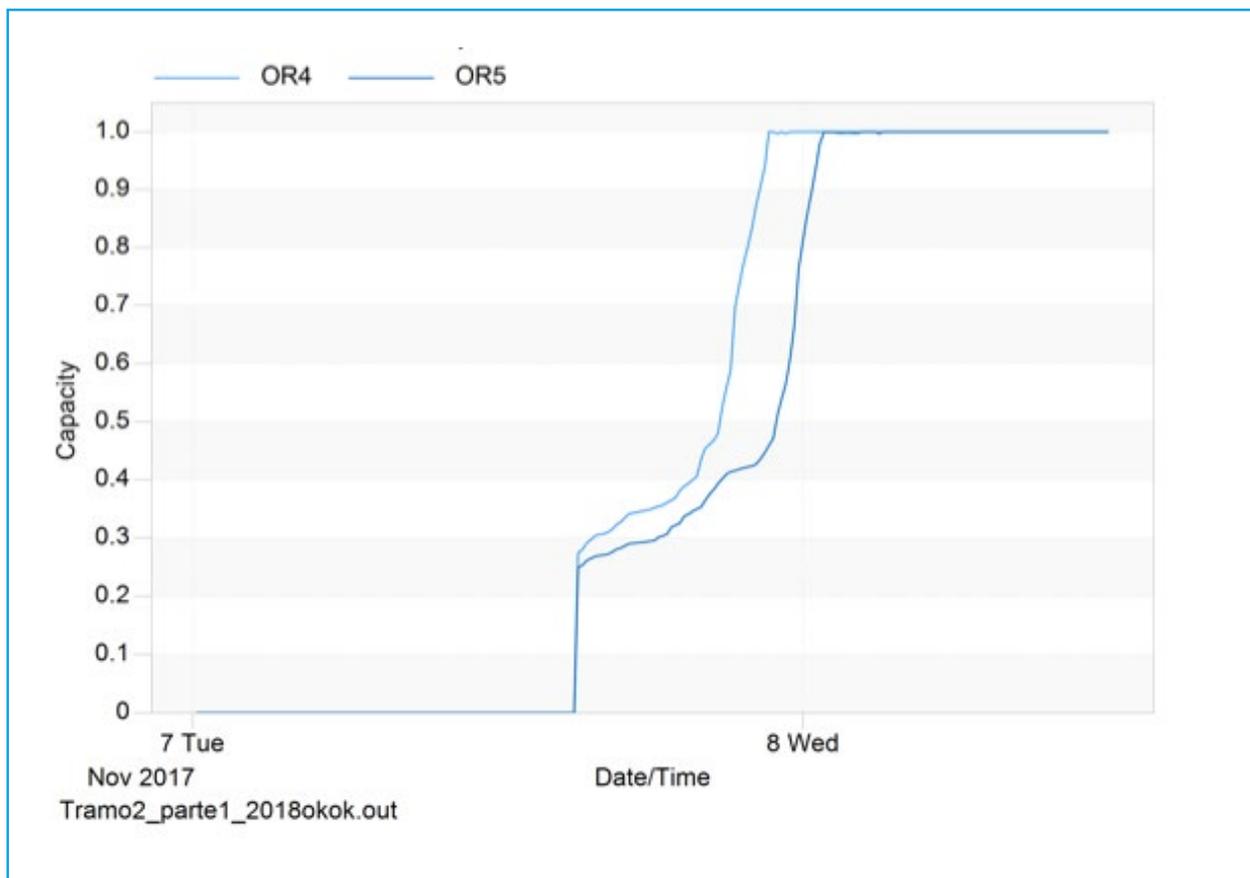


Ilustración 5.143 Apertura de válvulas de la línea 1, de la zona del tramo 3

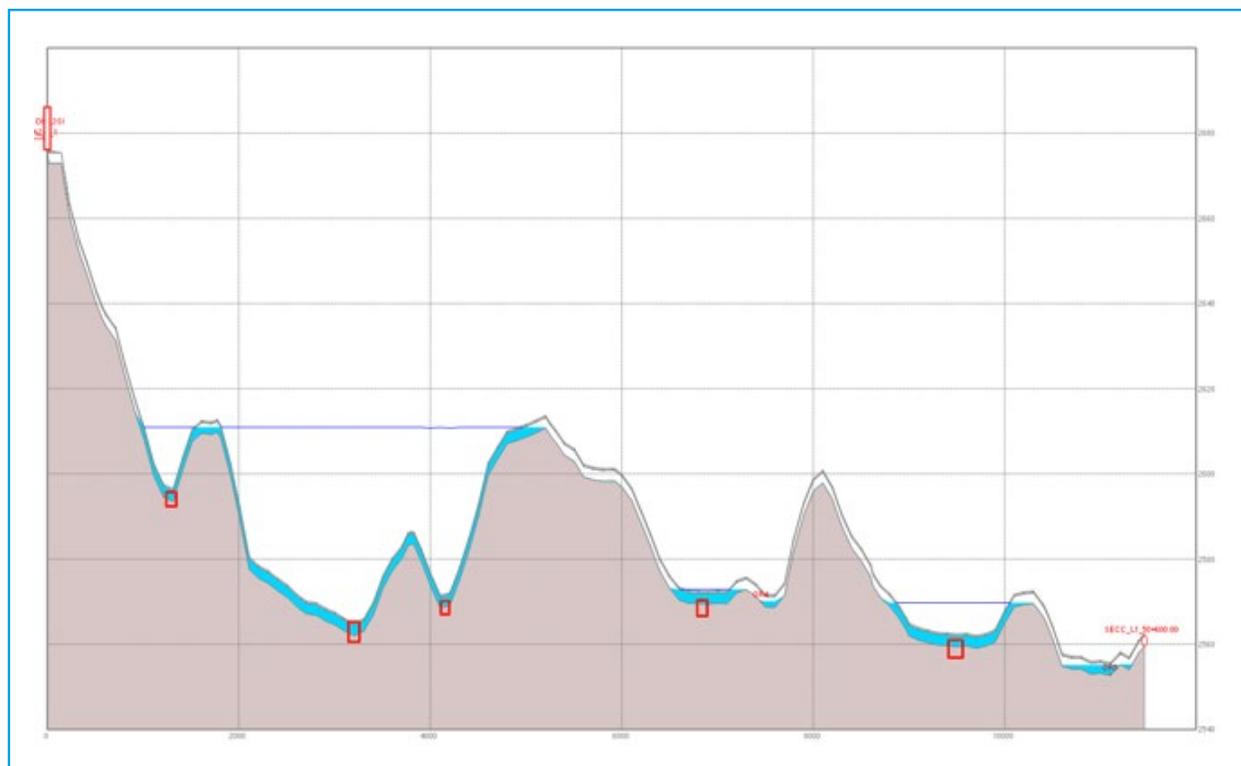


Ilustración 5.144 Ubicación de desfogues propuestos L1

Línea 2. En esta línea se ubican los desfogues que llevan por nombre OR30 y OR-Desf-12 con un diámetro de 12". Los resultados de

los desfogues se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 5.15 Características de los desfogues de la línea 2, zona 1 del tramo 3.

Línea	Desfogue	Diámetro (mm)	Hora de apertura	Velocidad de vaciado (m/s)	Gasto regulado m3/s	Tiempo de manejo de la válvula	Tiempo de operación (h)
L2	Or-Desf-26	0.305	15:00	4.78	0.35	09:00	16:00
	Or-Desf-27	0.305	15:00	4.78	0.35	10:20	13:00
	Or-Desf-28	0.305	16:00	4.76	0.35	06:10	08:00
	Or-Desf-29	0.305	16:00	4.76	0.35	08:00	13:00
	Or-Desf-2	0.305	17:00	4.76	0.35	07:00	13:00
	Or-Desf-3	0.305	17:00	4.76	0.35	08:20	11:00

Nota:

Tiempo de operación, se considera al intervalo de tiempo en que el desfogue regula un gasto cero, después de la apertura del mismo.

En lo que respecta a la condición de apertura de la válvula de desfogue en la zona 1, en la siguiente ilustración se presenta la curva de operación, por ejemplo, para la válvula OR-Desf-26 se tiene en un principio una apertura del 32 % que se va incrementando gradualmente en los siguientes 180 minutos hasta llegar a un valor del 48 %; posteriormente en los siguientes 80 minutos realiza su apertura del 48 al 100 % (ver Ilustración 5.145).

5.4.6.11. Desfogues propuestos L2

Con respecto al desfogue de la línea 2 se desaloja el agua en un tiempo de 12:30 horas con las 6 válvulas de compuerta funcionando, en este tramo no se proponen válvulas dado su adecuado desfogue (ver Ilustración 5.146).

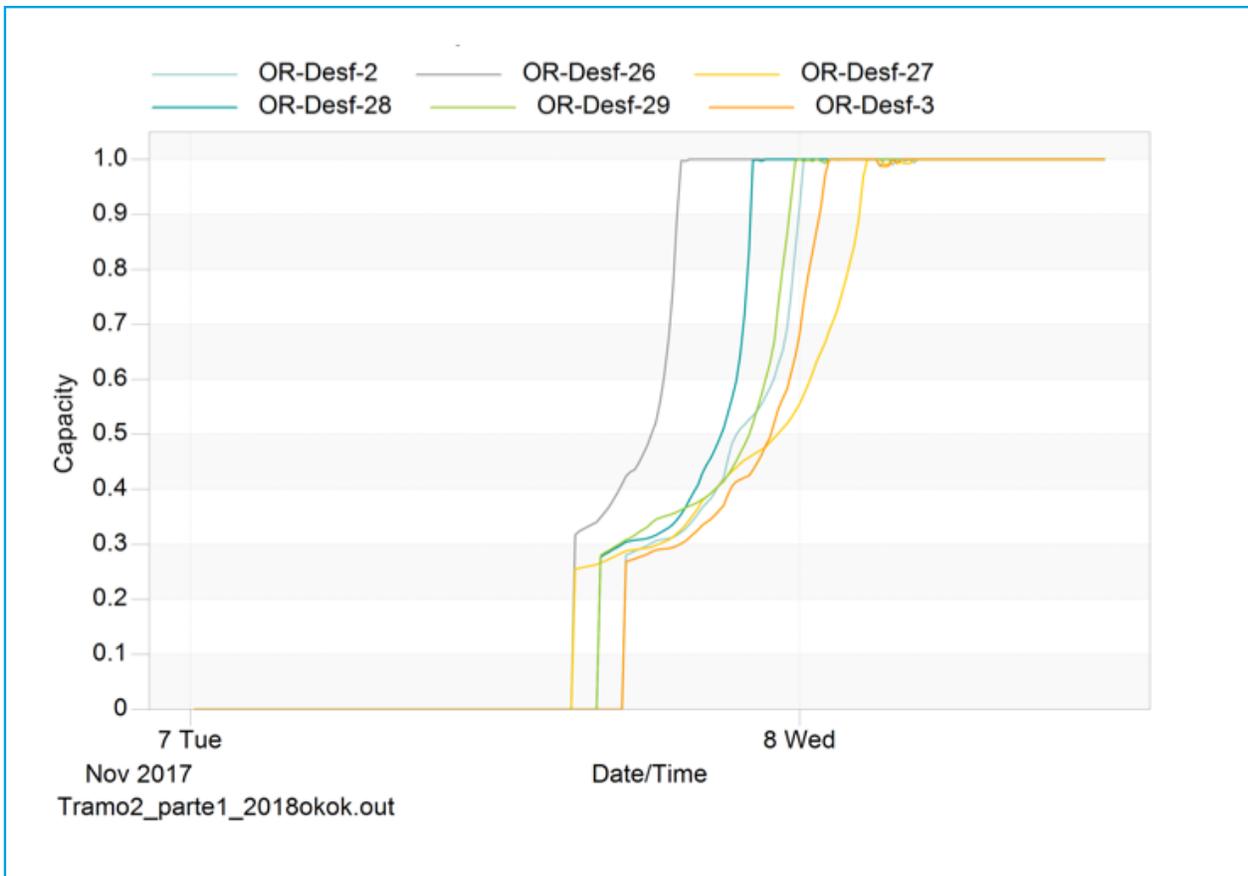


Ilustración 5.145 Apertura de los desfogues de la línea 2, zona 1 del tramo 3

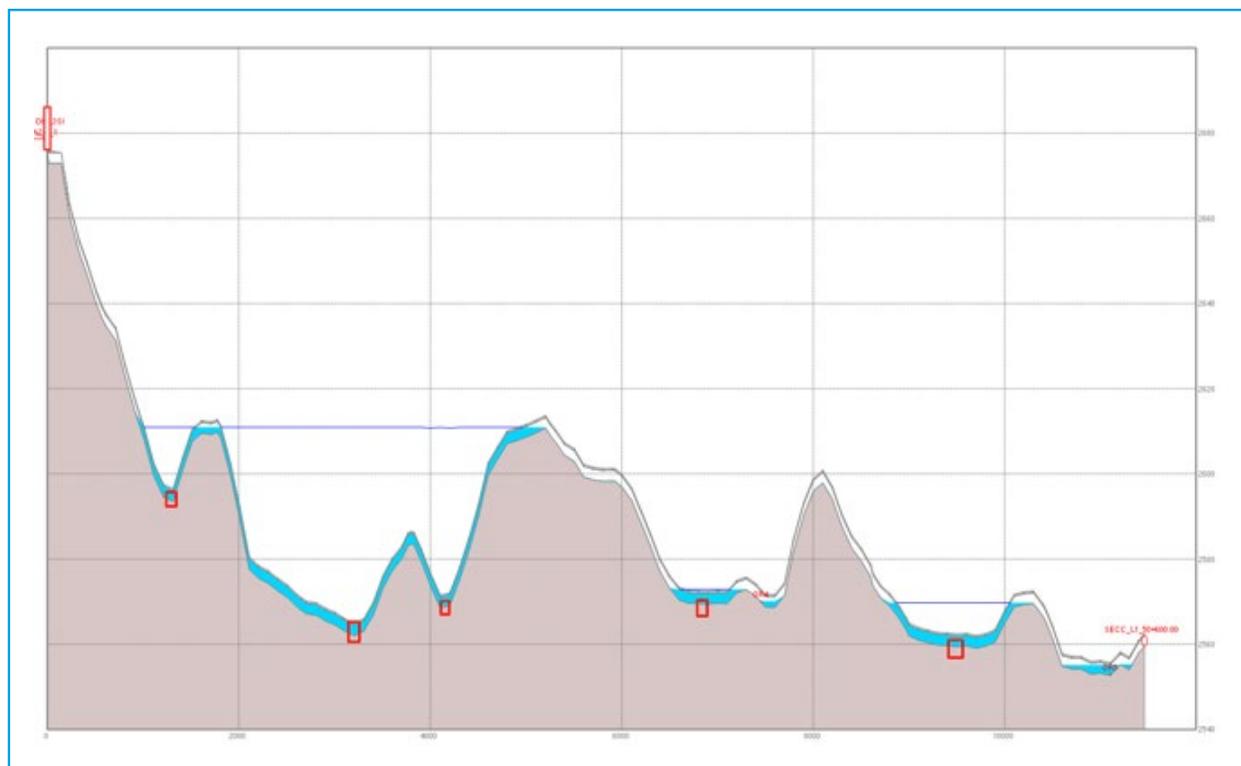


Ilustración 5.146 Funcionamiento adecuado de las válvulas de desfogue

Línea 3. En la línea se ubican 10 desfogues, de los cuales 6 se abrirán en una primera instancia y en las siguientes 3 horas se abrirán los 4 desfogues de los kilómetros

77+491.60, 71+540.04, 72+374.03, 74+118.04. Los desfogues con que se operaran en primera instancia se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 5.16 Características de los desfogues de la línea 3, zona 1 del tramo 3.

Línea	Cadenamiento (km)	Desfogue	Hora de apertura	Diámetro (mm)	Velocidad de vaciado (m/s)	Tiempo de manejo de la válvula	Tiempo de operación (h)
L2	60+820.00	DES60+820.00	15:00	0.305	5.41	00:50	05:00
	58+911.00	DES58+911.00	15:00	0.305	5.86	05:40	12:30
	57+920.00	DES57+920.00	16:00	0.305	5.32	02:50	07:30
	54+522.00	DES54+522.00	16:00	0.457	5.33	03:10	04:20
	52+320.00	DES52+320.00	17:00	0.457	5.42	01:50	03:20
	50+950.00	DES50+950.00	17:00	0.457	5.20	02:00	02:50

Nota:

Tiempo de operación, se considera al intervalo de tiempo en que el desfogue regula un gasto cero, después de la apertura del mismo.

Para la operación de las válvulas mencionadas en la anterior tabla, en la siguiente ilustración se describe la apertura en el tiempo, por ejemplo para válvula DES60+820.00 inicia con un 42 % de apertura y se aumenta gradualmente en 60 minutos hasta llegar al 100 % (ver Ilustración 5.147).

El tiempo de desfogue en esta línea es de 13:50 horas con la apertura de las 6 válvulas se presenta el siguiente perfil, donde las válvulas restantes se abrirán después de las 3 horas para evacuar al 100 % el flujo de la tubería (ver Ilustración 5.148).

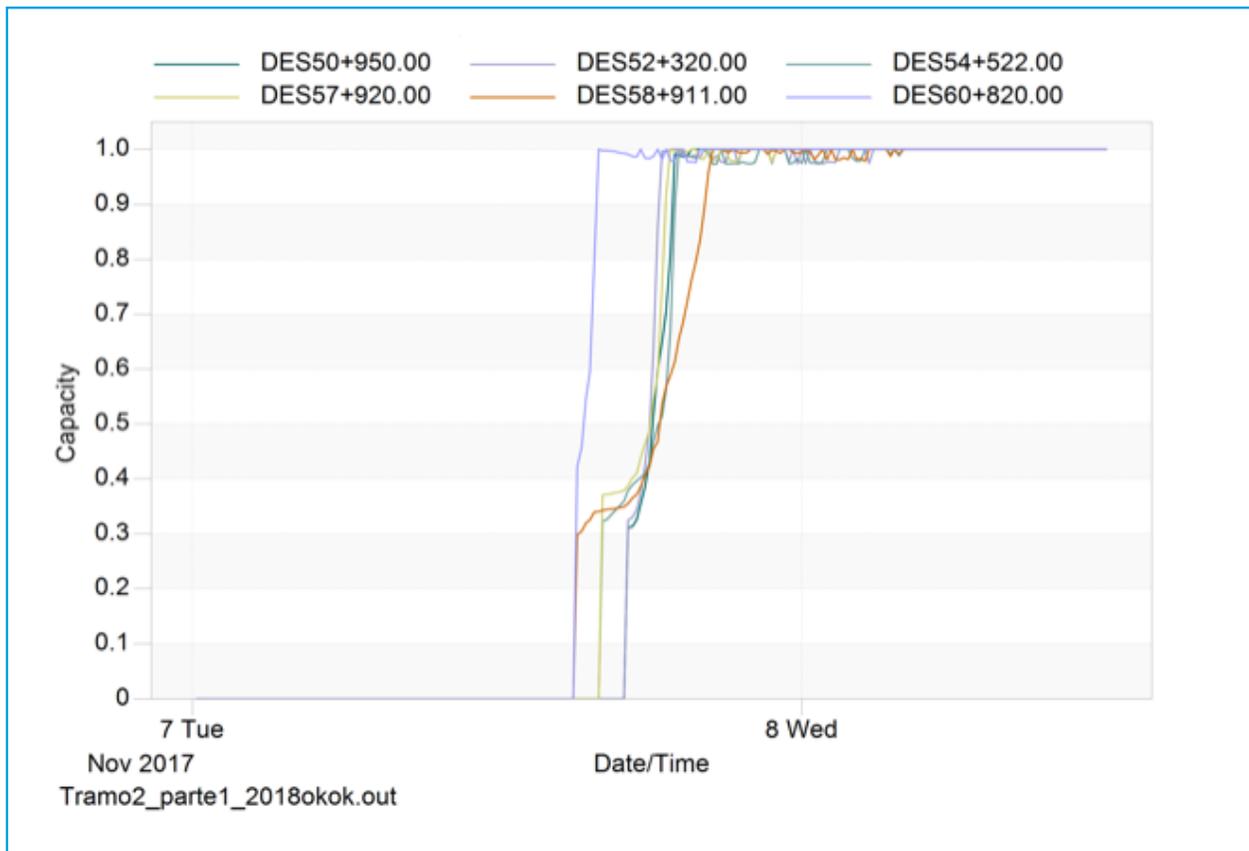


Ilustración 5.147 Operación de los desfogues de la línea 3, zona 1 del tramo 3

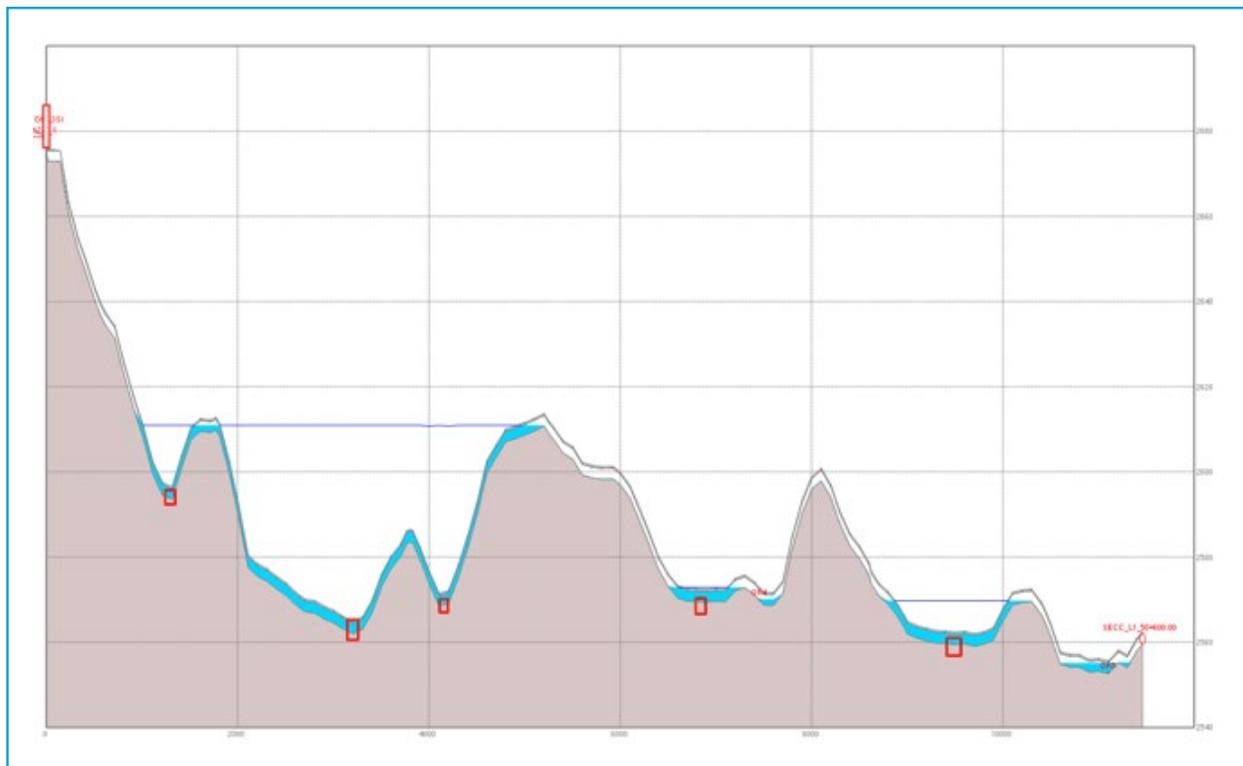


Ilustración 5.148 Operación adecuada de los desfogues en el tramo analizado

5.4.6.12. Zona 2 del tramo 3

Línea 1. El suministro del gasto inicia a las 00:00 horas de la simulación y el seccionamiento 50+600 entra en funcionamiento a

las 15:00 horas, por lo que los 2 desfogues ubicados en el tramo empiezan a desalojar el agua, teniéndose los resultados para la línea 1 en la siguiente tabla.

Tabla 5.17 Características del desfogue ubicado en el la línea 1 de la zona 2 del tramo 3

Línea	Desfogue	Díámetro (mm)	Horario de apertura	Velocidad de vaciado (m/s)	Gasto regulado m ³ /s	Tiempo de manejo de la válvula	Tiempo de operación (h)
L1	OR6	0.305	15:00	4.77	0.35	16:00	18:00

Para la operación de la única válvula ubicada en la línea de conducción 1 lleva por nombre OR6 y al inicio de la apertura se requiere un 25 % que se irá aumentando gradualmente en un tiempo 760 minutos hasta llegar a una apertura del 40%; en los siguientes 190 minutos la valvular tiene un desarrollo en su operación parabólico que lleva de un 40 % al 100 % (ver Ilustración 5.149).

5.4.6.13.Desfogues propuestos L1

El tiempo de vaciado de la línea 1 es de 18:50 horas, de la interconexión 2 a la 3 se tiene solo una válvula de compuerta (desfogue), con esta válvula realiza la salida del agua, aunque resulta insuficiente quedándose estancada en ciertos tramos, por la tanto se proponen 5 válvulas en los siguientes cadenamientos: 42+580, 42+880, 44+180, 49+560, 50+600 (ver Ilustración 5.150).

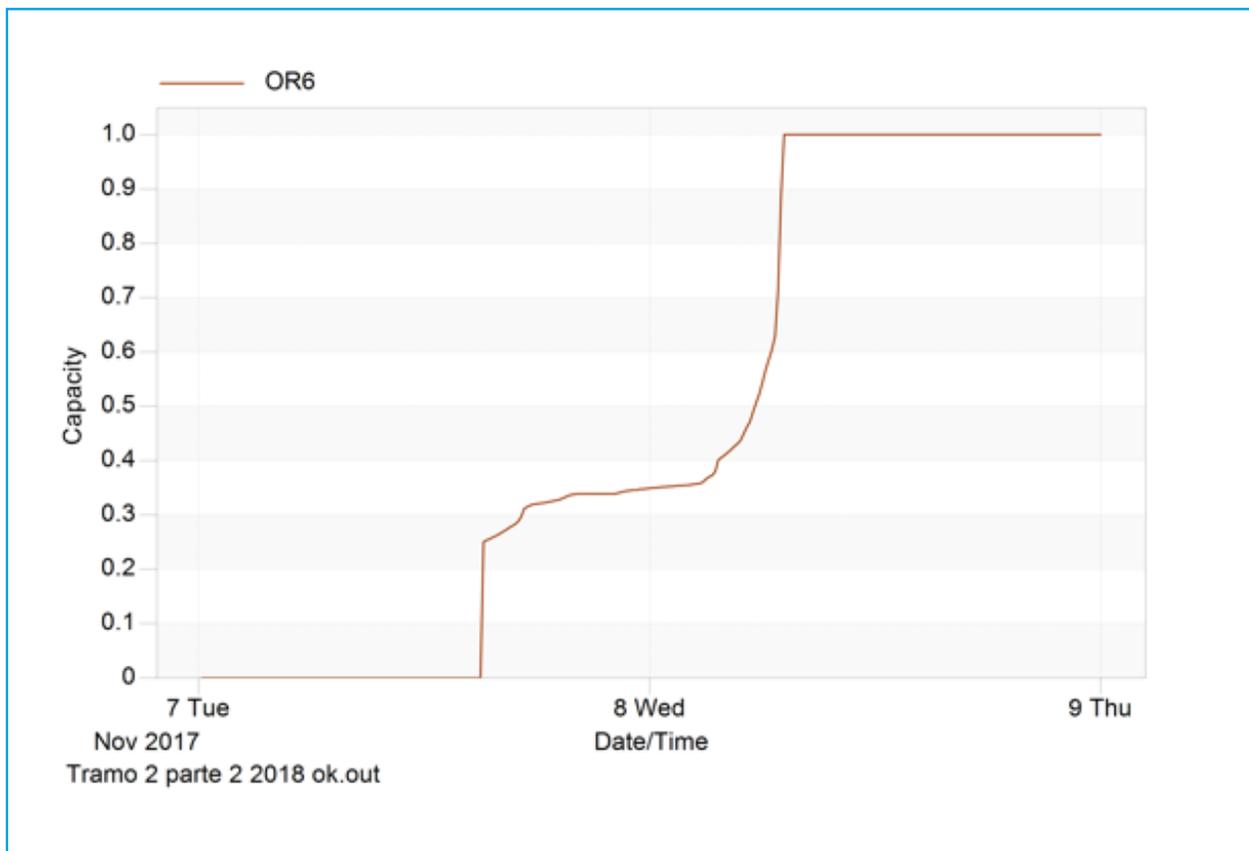


Ilustración 5.149 Operación de la apertura de la válvula de desfogue

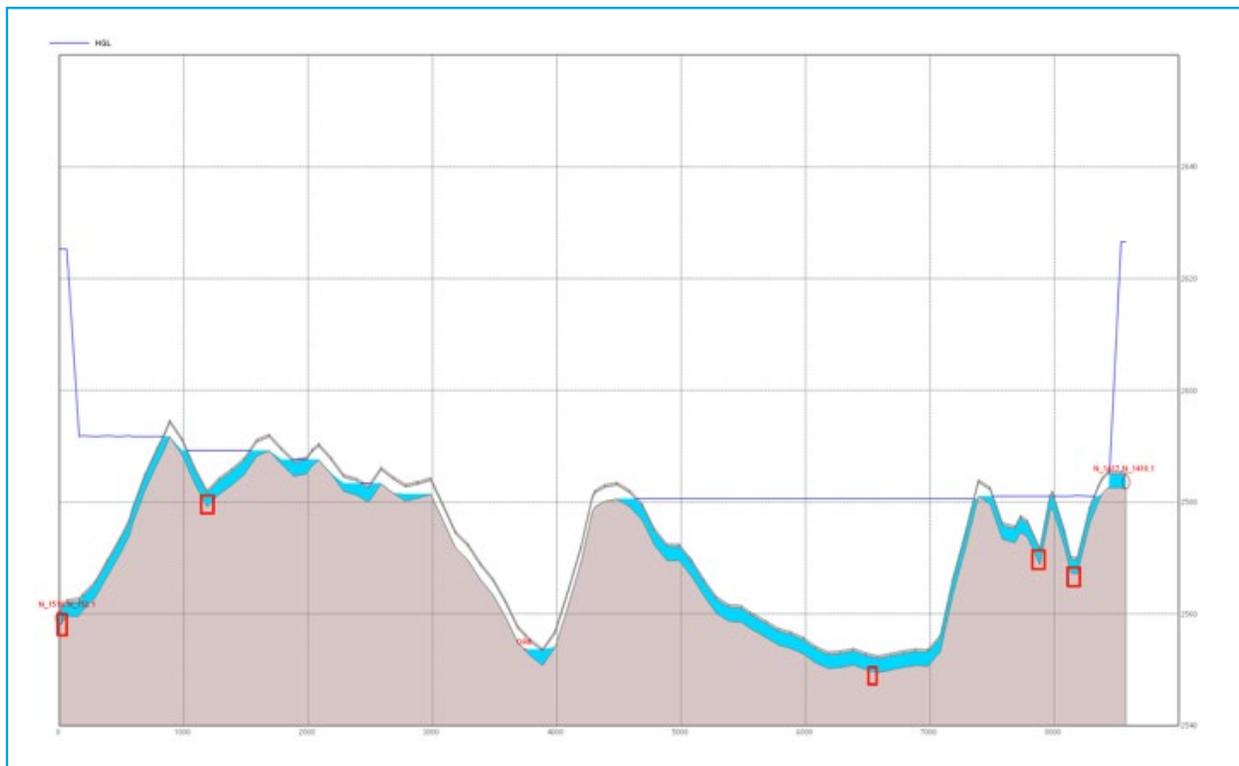


Ilustración 5.150 Propuesta de 6 válvulas de compuerta en el tramo interconexión 2 a Tanque Pericos

Línea 2. En esta línea se ubican los desfogues que llevan por nombre OR30 y OR-Desf-12 con un diámetro de 12". Los resultados de

los desfogues se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 5.18 Características de los desfogues de la línea 2, zona 2 del tramo 3

Línea	Desfogue	Diámetro (mm)	Hora de apertura	Velocidad de vaciado (m/s)	Gasto regulado m ³ /s	Tiempo de manejo de la válvula	Tiempo de operación (h)
L2	Or-Desf-4	0.305	15:00	4.77	0.35	13:50	19:00
	Or-Desf-5	0.305	15:00	4.76	0.35	11:20	13:00
	Or-Desf-6	0.305	16:00	4.76	0.35	17:00	22:00
	Or-Desf-7	0.305	16:00	4.76	0.35	05:30	06:30
	Or-Desf-8	0.305	17:00	4.76	0.35	04:50	05:50

Nota:

Tiempo de operación, se considera al intervalo de tiempo en que el desfogue regula un gasto cero, después de la apertura del mismo.

En lo que respecta al tiempo de apertura de las válvulas en el tramo, se tiene un tiempo de manejo que va desde las 04:50 horas hasta las 17:00 horas, en la siguiente ilustración se presenta el comportamiento en la apertura de cada una de estas, por ejemplo la válvula Or-Desf-8 tiene un inicio con 27 % de apertura que se aumenta gradualmente en un tiempo de 140 minutos hasta una apertura del 45 %, posteriormente en los siguientes 260 minutos abre la válvula de un valor del 45 % al 100 % (ver Ilustración 5.151).

5.4.6.14. Desfogues propuestos L2

Con respecto al desfogue de la línea 2 se desaloja el agua en un tiempo de 22:50 horas con las 6 válvulas de compuerta funcionando, aunque se notaron 3 puntos donde se requiere una colocación adicional de válvulas para la expulsión completa del agua en los kilómetros: 43+200.00, 48+350.00 y 49+660.00 (ver Ilustración 5.152).

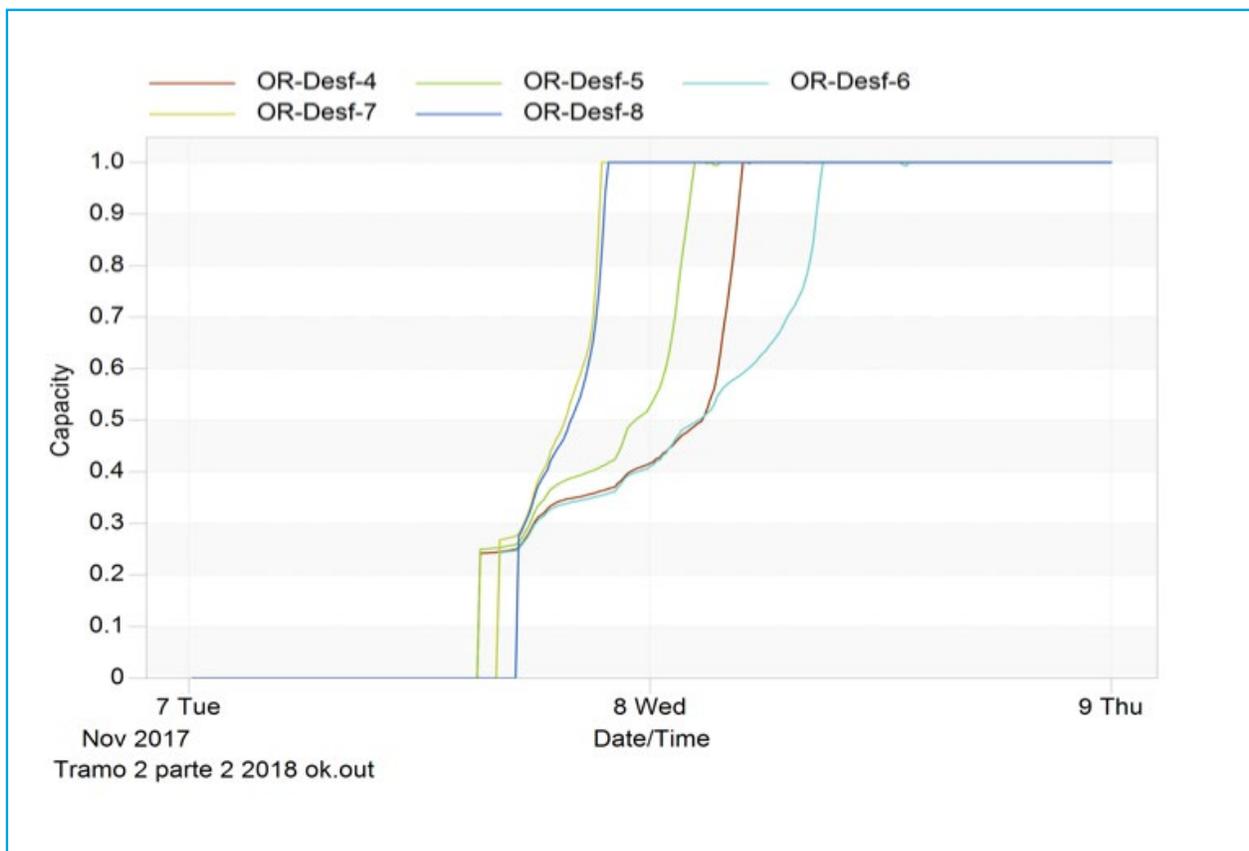


Ilustración 5.151 Operación de los desfogues en la línea 2, zona 2 del tramo 3

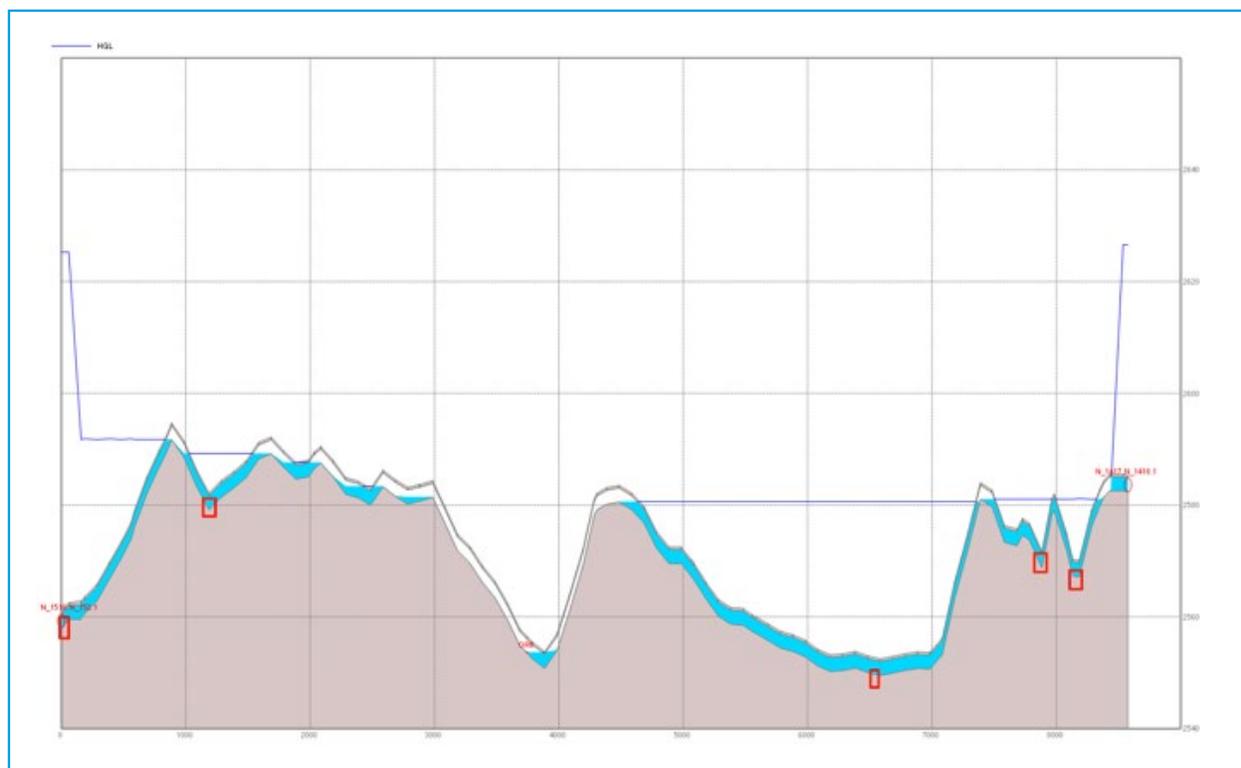


Ilustración 5.152 Desfogue propuestos en la línea 2, zona 2 del tramo 3

Línea 3. En la línea se ubican 11 desfuegos, de los cuales 6 se abrirán en una primera instancia y en las siguientes 3 horas se abrirán los 5 desfuegos de los kilómetros

48+820.00, 48+280.00, 44+600.00, 43+149.00 Y 43+961.00. Los desfuegos con que se operaran en primera instancia se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 5.19 Características de los desfuegos de la línea 3, zona 2 del tramo 3.

Línea	Cadenamiento (km)	Desfogue	Hora de apertura	Diámetro (mm)	Velocidad de vaciado (m/s)	Tiempo de manejo de la válvula	Tiempo de operación (h)
L2	49+560.00	DES49+560.00	15:00	0.457	3.93	02:30	03:50
	47+980.00	DES47+980.00	15:00	0.457	3.83	01:30	03:40
	46+865.00	DES46+865.00	16:00	0.457	3.64	04:30	05:40
	44+281.00	DES44+281.00	16:00	0.457	4.03	06:30	09:50
	42+920.00	DES42+920.00	17:00	0.305	4.62	01:20	03:00
	42+613.00	DES42+613.00	17:00	0.305	6.11	02:00	02:50

Nota:

Tiempo de operación, se considera al intervalo de tiempo en que el desfogue regula un gasto cero, después de la apertura del mismo.

Para la operación de las válvulas mencionadas en la anterior tabla se presenta la siguiente ilustración, que describe la apertura en el tiempo de cada una de estas, por ejemplo La válvula DES49+560.00 inicia su operación a las 15:00 horas y su apertura al 100% se da las 17:30 por lo que se tiene un tiempo de operación de 150 minutos; se inicia con una apertura del 27 % que se aumenta paulatinamente hasta tener una apertura del 31% en los siguientes 60 minutos, posteriormente en los siguientes

60 minutos se tiene una operación que va del 31 % al 72% y en los siguientes 30 minutos se opera del 72 % al 100 % (ver Ilustración 5.153).

El tiempo de desfogue en esta línea es de 09:50 horas con la apertura de las 6 válvulas se presenta el siguiente perfil, donde las válvulas restantes (5) se abrirán después de las 3 horas para evacuar al 100 % dentro de la tubería (ver Ilustración 5.154).

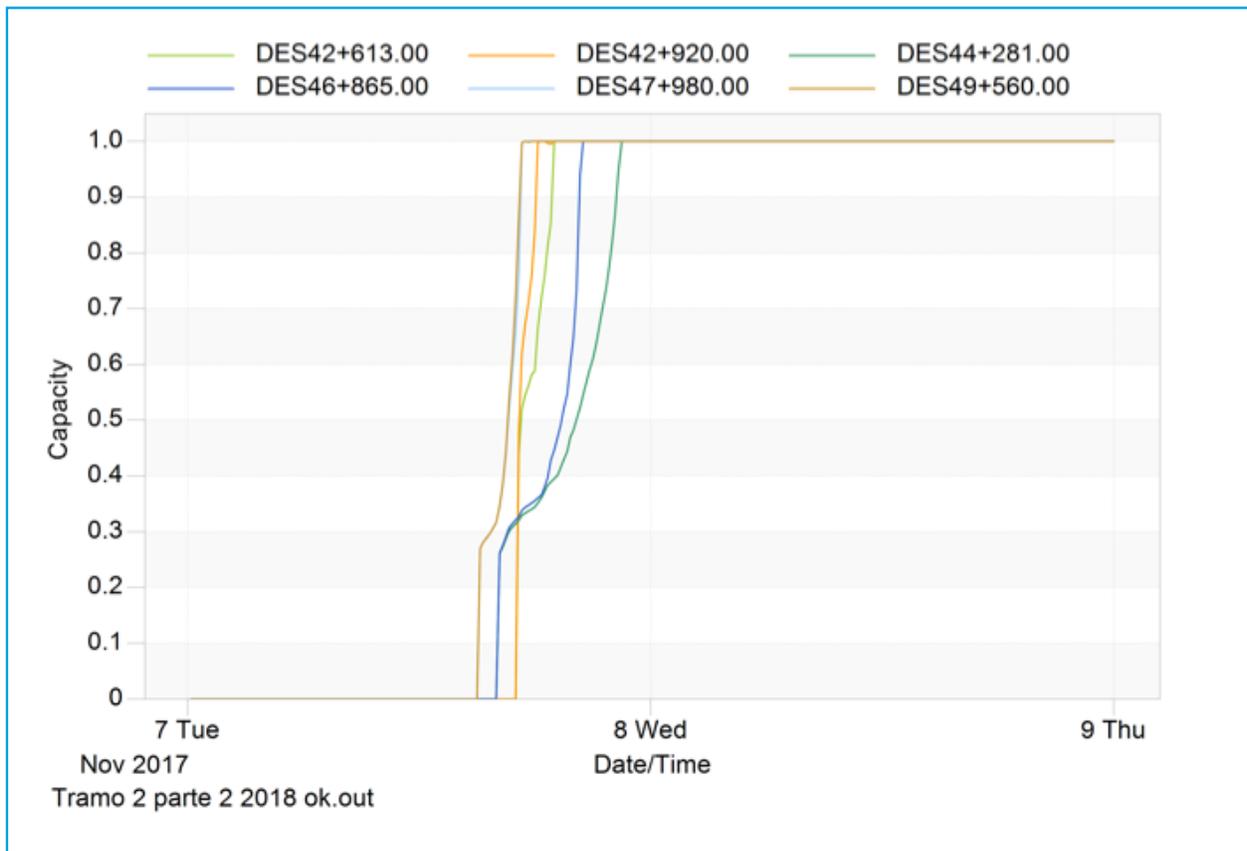


Ilustración 5.153 Apertura de las válvulas del tramo analizado

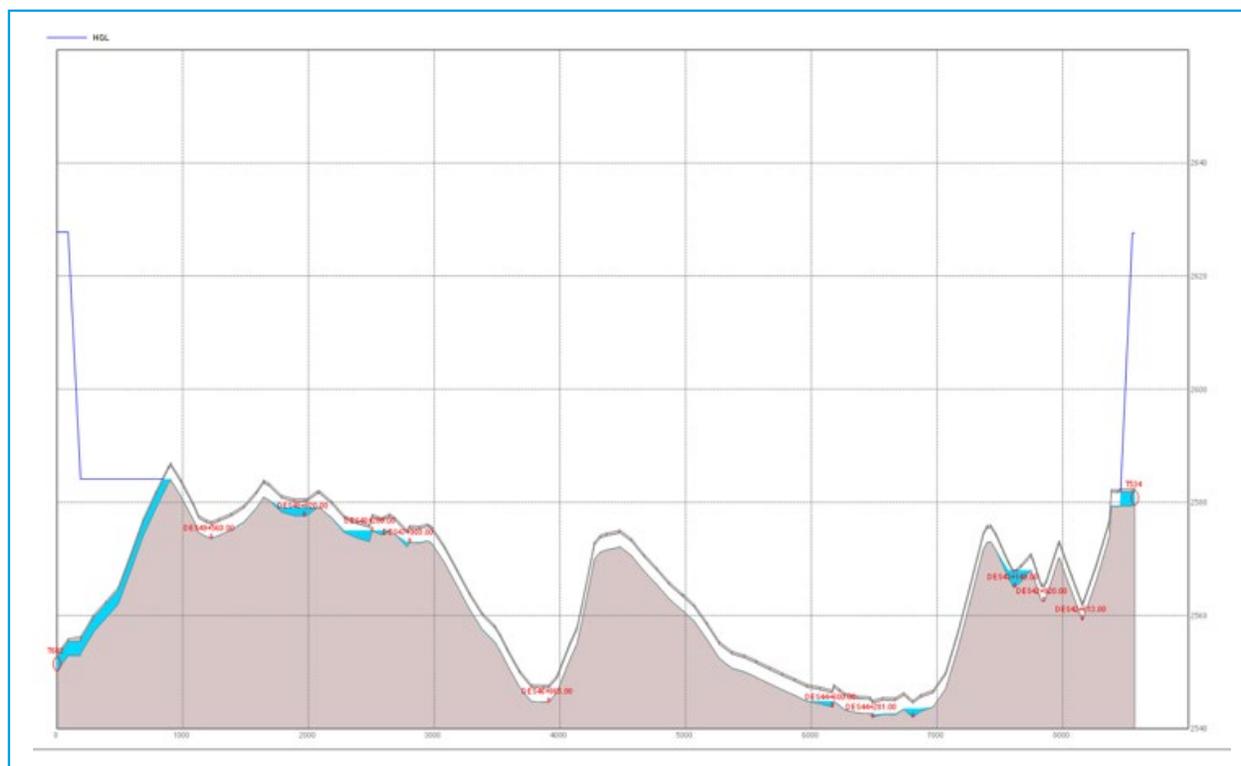


Ilustración 5.154 Operación adecuada de las válvulas de desfogue en el tramo analizado

5.4.6.15. Zona 3 del tramo 2

La zona 3 del tramo consiste en el seccionamiento propuesto en el kilómetro 42+200.00 al kilómetro 25+800.00 siendo una longitud de 16.4 km para cada una de líneas. El modelo numérico de simulación considera un tiempo de 35 horas, a cada línea es vertido $6.5 \text{ m}^3/\text{s}$ que a las 15 horas

se activa el seccionamiento y desaloja el agua en la zona 3.

Línea 1. El suministro del gasto inicia a las 00:00 horas de la simulación y el seccionamiento 42+000 entra en funcionamiento a las 15:00 horas, por lo que los 6 desfogues ubicados en el tramo empiezan a desalojar el agua, teniéndose los resultados para la línea 1 en la siguiente tabla.

Tabla 5.20 Características de los desfogues de la línea 1, zona 3 del tramo 2.

Línea	Desfogue	Diámetro (mm)	Horario de apertura	Velocidad de vaciado (m/s)	Gasto regulado m^3/s	Tiempo de manejo de la válvula	Tiempo de operación (h)
L1	OR7	0.305	15:00	4.77	0.34	16:00	18:00
	OR8	0.305	15:00	4.77	0.34	09:50	10:40
	OR9	0.305	16:00	4.77	0.34	03:00	08:40
	OR16	0.305	16:00	4.77	0.35	04:00	09:00
	OR10	0.305	17:00	4.77	0.35	06:00	08:40
	OR11	0.305	17:00	6.66	0.35	05:00	05:50

En la anterior tabla se presenta que se tiene un tiempo de operación que va desde las 18:00 horas hasta el menor tiempo de 05:50 horas, en la siguiente ilustración se presenta la operación de las válvulas de desfogue donde se indica el comportamiento de cada una hasta tener una apertura del 100 % (ver Ilustración 5.155).

5.4.6.16. Desfogues propuestos L1

Con respecto al vaciado de la línea 1 se realiza en tiempo de 18:00 horas y además se identificaron 5 puntos los cuales se queda retenida el agua dentro de la línea al no contar con válvulas de desfogue por lo que se proponen en 5 puntos, los kilometrajes son: 29+250, 33+050, 34+675, 36+875, 41+837 (ver Ilustración 5.156).



Ilustración 5.155 Apertura de las válvulas del tramo analizado

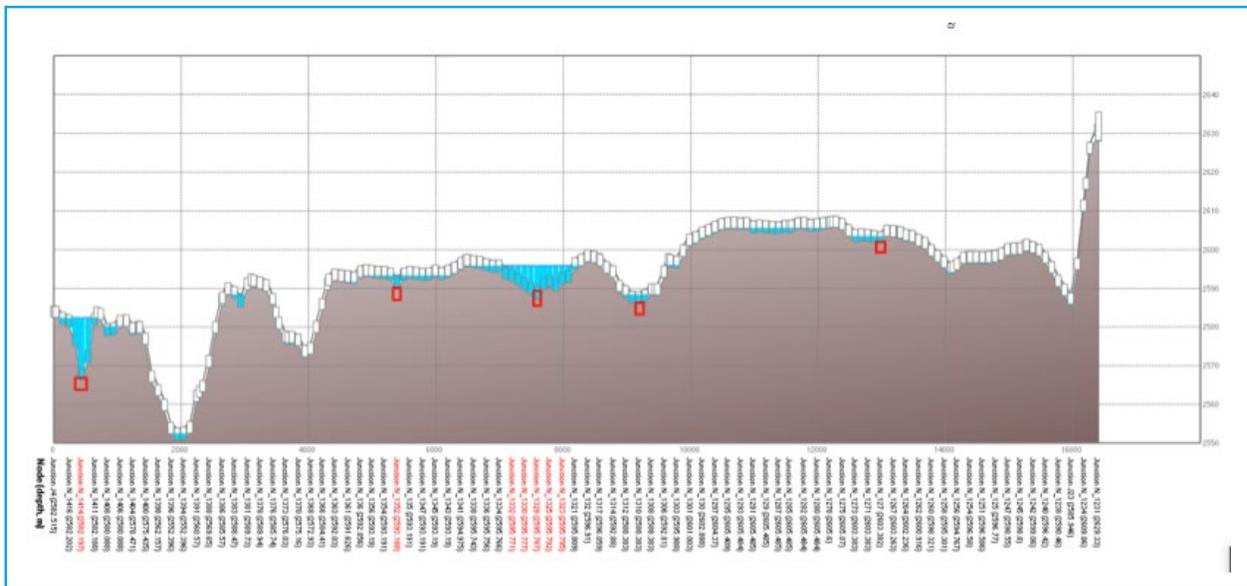


Ilustración 5.156 Propuesta de 6 válvulas de compuerta en el tramo interconexión 2 a Tanque Pericos

Línea 2. En esta línea se ubican 7 desfogues con un diámetro de 12". Los resultados de los desfogues se presentan en la Tabla 5.21.

En lo que respecta al tiempo de apertura de las válvulas en el tramo, se tiene un tiempo

de manejo que va desde las 06:40 horas hasta las 16:00 horas, en la siguiente ilustración se presenta el comportamiento en la apertura de cada una de estas, para conocer el tiempo y % de apertura de cada válvula analizada (ver Ilustración 5.157).

Tabla 5.21 Caracterización de los desfogues de la línea 2, zona 3 del tramo 2

Línea	Desfogue	Diámetro (mm)	Hora de apertura	Velocidad de vaciado (m/s)	Gasto regulado m3/s	Tiempo de manejo de la válvula	Tiempo de operación (h)
L2	OR18	0.305	15:00	4.77	0.35	12:50	16:00
	OR19	0.305	15:00	4.77	0.35	07:00	07:30
	OR20	0.305	16:00	4.76	0.35	10:30	12:00
	OR21	0.305	16:00	4.76	0.35	06:30	11:50
	OR23	0.305	17:00	4.76	0.35	05:20	08:00
	OR24	0.305	17:00	4.76	0.35	08:40	10:30
	Or-Desf-18	0.305	18:00	4.76	0.35	05:50	06:40
	Or-Desf-9	0.305	18:00	4.76	0.35	06:00	06:40

Nota: Tiempo de operación, se considera al intervalo de tiempo en que el desfogue regula un gasto cero, después de la apertura del mismo.

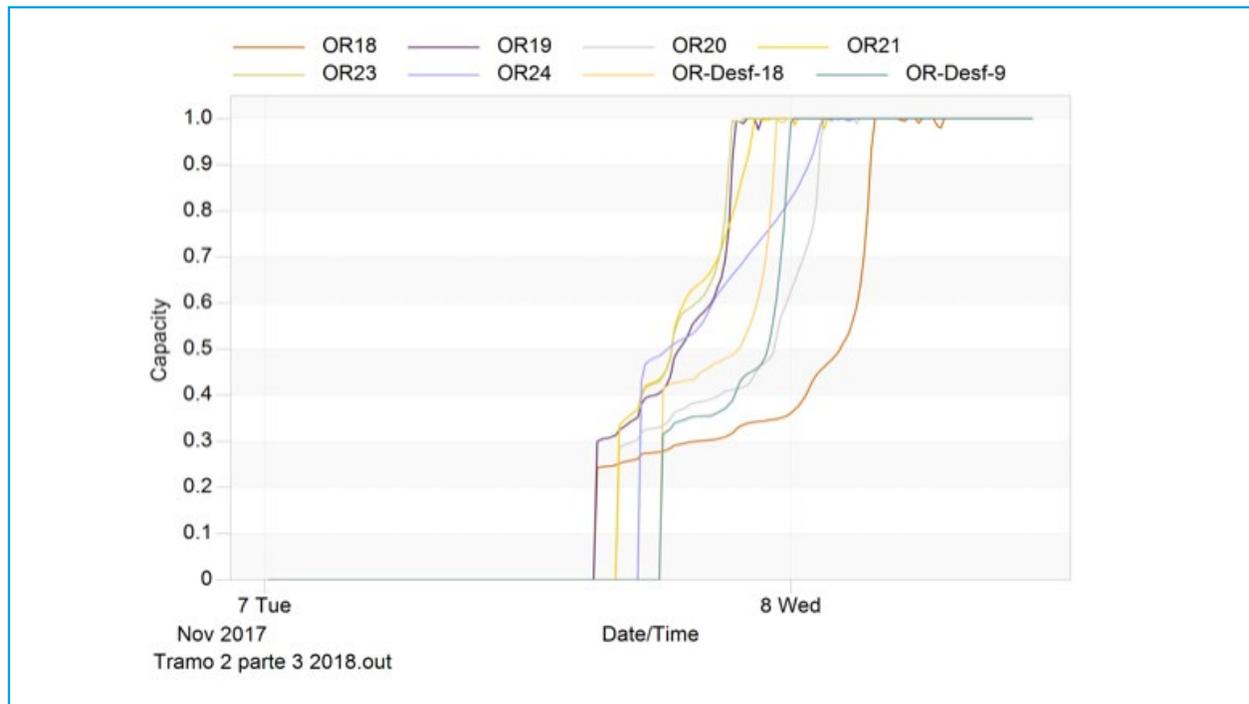


Ilustración 5.157 Operación de los desfogues en el tramo analizado

5.4.6.17. Desfogues propuestos L2

Para el desalojo del agua en el tramo de la línea 2 de la interconexión 3 al tanque Pericos se tiene instaladas al momento 5 válvulas de compuerta a lo largo de 16.5 kilómetros, que se encargan de expulsar el agua del sistema en un tiempo de 16:00 horas, aunque de acuerdo al modelo hidráulico no son suficientes, por lo que se proponen 7 válvulas en los siguientes kilometrajes: el primer kilometraje se sitúa en el cadenamiento 26+250, la segunda válvula

en el kilómetro 29+275, la tercera en el kilómetro 30+289, la cuarta en el kilómetro 34+600, la quinta en el kilómetro 36+800, la sexta en el kilómetro 41+450 y la última en el kilómetro 41+870 (ver Ilustración 5.158).

Línea 3. En la línea se ubican 21 desfogues, de los cuales 6 se abrirán en una primera instancia y en las siguientes 3 horas se abrirán los 15 desfogues. Los desfogues con que se operaran en primera instancia se presentan en la tabla siguiente.

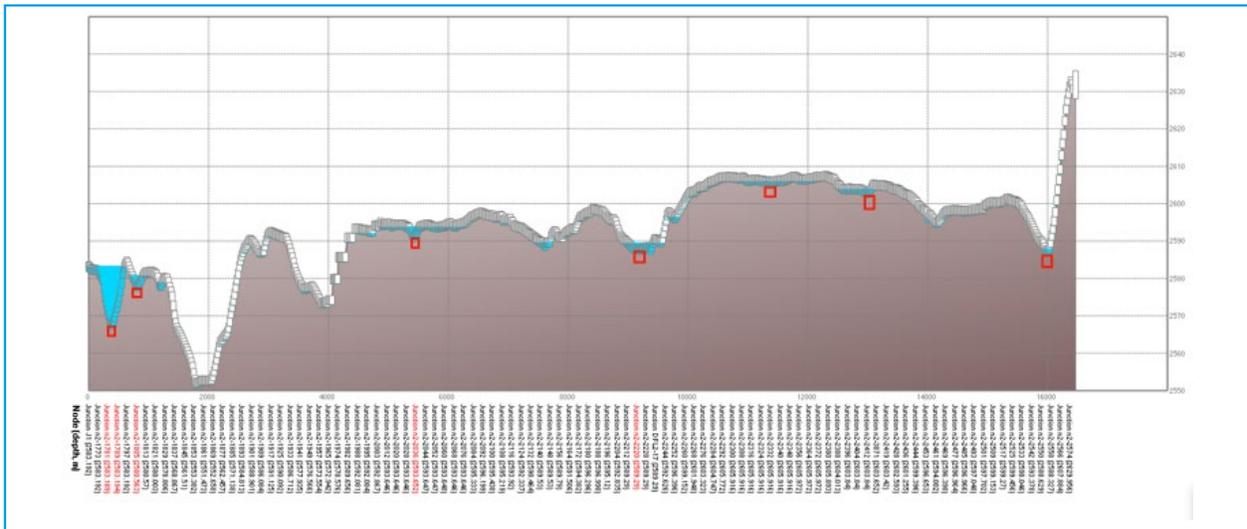


Ilustración 5.158 Desfogues propuestos en el tramo analizado

Tabla 5.22 Caracterización de los desfogues ubicados en la línea 3, zona3 del tramo 2.

Línea	Cadenamiento (km)	Desfogue	Hora de apertura	Diámetro (mm)	Gasto de vaciado (m³/s)	Velocidad de vaciado (m/s)	Tiempo de manejo de la válvula	Tiempo de operación (h)
L2	41+867.13	DES41+867.13	15:00	0.305	0.35	5.9	08:00	09:00
	40+473.87	DES40+473.87	15:00	0.305	0.35	4.77	10:40	15:00
	38+384.30	DES38+384.30	16:00	0.305	0.35	4.77	06:00	10:50
	32+898.69	DES32+898.69	16:00	0.305	0.35	4.77	02:30	06:50
	28+066.53	DES28+066.53	17:00	0.305	0.35	4.77	01:50	13:50
	26+287.63	DES26+287.63	17:00	0.305	0.35	4.77	05:40	7:00

Nota:

Tiempo de operación, se considera al intervalo de tiempo en que el desfogue regula un gasto cero, después de la apertura del mismo.

Para la operación de las válvulas mencionadas en la anterior tabla se presenta la siguiente ilustración, donde se tiene un tiempo de operación para el 100 % en tiempos que van de las 02:30 horas a las 10:40 horas (ver Ilustración 5.159).

El tiempo de desfogue en esta línea es de 15:00 horas con la apertura de las 6 válvulas se presenta el siguiente perfil, donde las válvulas restantes (15) se abrirán después de las 3 horas para evacuar al 100 % dentro de la tubería (ver Ilustración 5.160).

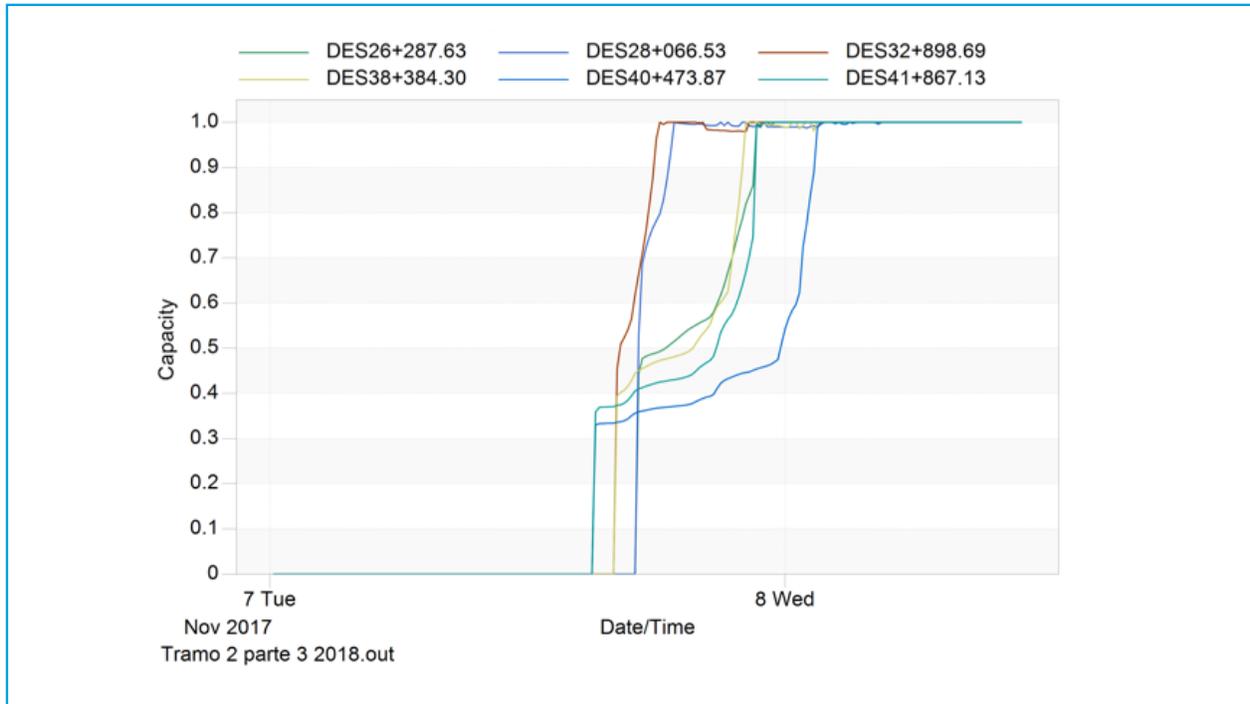


Ilustración 5.159 Apertura de los desfogues del tramo analizado

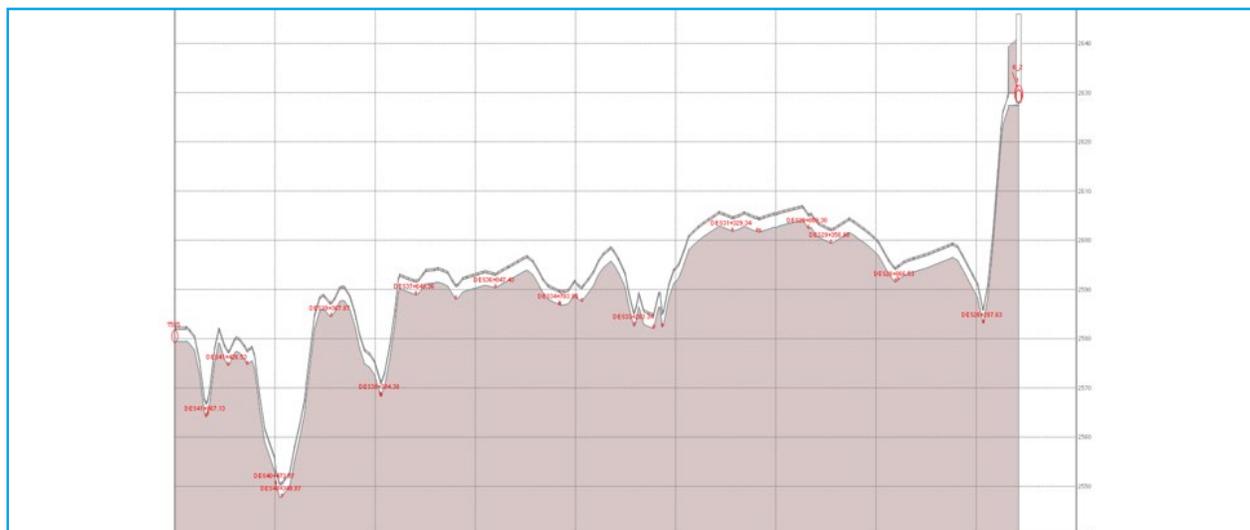


Ilustración 5.160 Operación adecuada de los desfogues propuestos de la línea 3 en el tramo analizado

5.4.6.18. Vaciado del tramo TP- Túnel Analco-San José

Para el tramo 1 (Tanque Pericos-Túnel Analco San José), se propone colocar dos seccionamientos en los cadenamientos 19+500 y 9+500. A partir de estos, se evaluaron tres zonas (Ilustración 5.161), las cuales se describen a continuación.

Zona 1. Simula el cierre del seccionamiento 19+500, desfogando el tramo de 6275 m aguas arriba del seccionamiento.

Zona 2. Realiza el cierre de los dos seccionamientos propuestos (19+500 y 9+500); realizando el vaciado del tramo comprendido entre ellos, que corresponde a una longitud de 10000 m.

Zona 3. Corresponde al cierre del seccionamiento 9+500. A partir de este cierre se vacía el tramo aguas abajo del seccionamiento, correspondiente a una longitud de 9500 m.

Las tres zonas se evaluaron para cada una de las tres líneas que conforman el sistema. Para el caso de la L1 y L2 se evaluaron los desfogues existentes y se propusieron la ubicación de nuevos desfogues, que ayudaran a agilizar el proceso de vaciado. Para el caso de la L3, se propusieron desfogues y se evaluó el funcionamiento hidráulico.

El gasto de entrada para cada línea corresponde a un valor de $6.5 \text{ m}^3/\text{s}$. El tiempo que tarda en llenarse cada línea es el siguiente: línea 1, 6 horas y 50 minutos; línea 2, 7 horas; línea 3, 6 horas y 40 minutos.

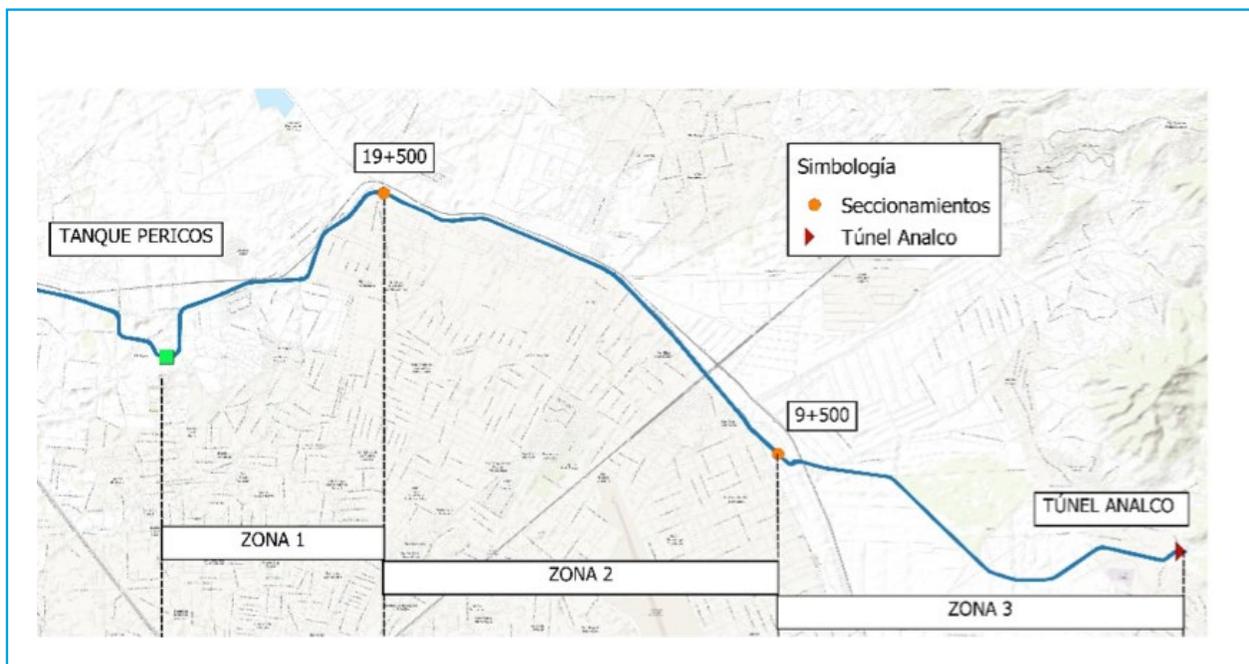


Ilustración 5.161 Ubicación de seccionamientos en el tramo 1

5.4.6.19.Zona 1 del tramo 1

El suministro del gasto para las tres líneas es a las 09:00 am y el seccionamiento 19+500 entra en funcionamiento a las 10:00 am.

Línea 1. En esta línea se ubica un desfogue en el cadenamiento 22+145 con un diámetro de 12". De la modelación, se observa que

el desfogue existente no es suficiente para vaciar el tramo por completo. Ilustración 5.162.

En la Ilustración 5.163 se muestra que el porcentaje de apertura inicial es del 41 %; en la siguiente hora es del 51 %, a los 120 minutos corresponde al 56 % hasta llegar en 9 h al 100 % de apertura.

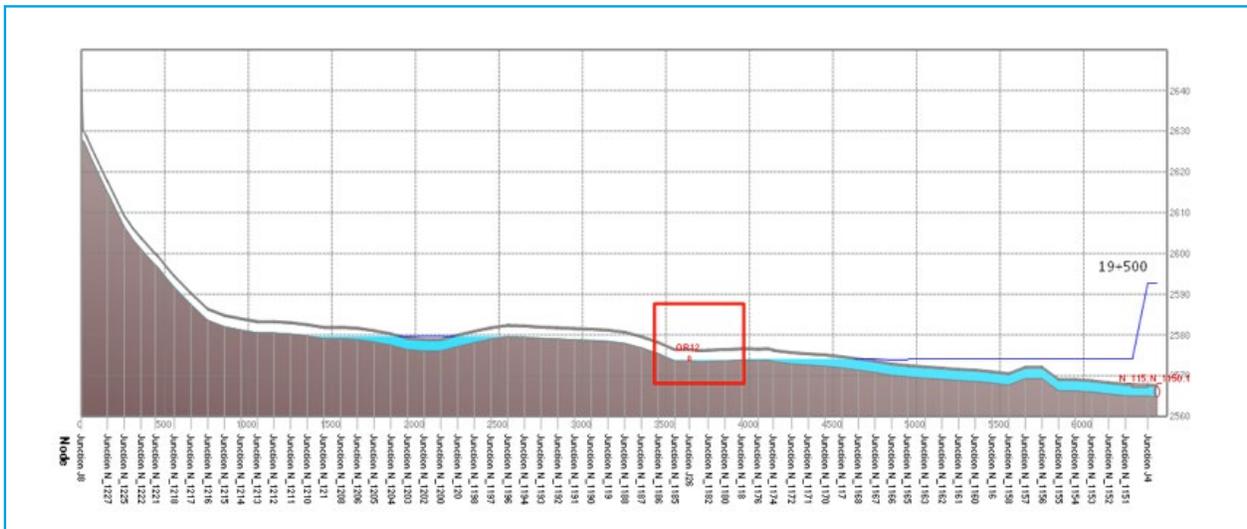


Ilustración 5.162 Entrada en funcionamiento del seccionamiento 19+500 y desfogue OR12

Tabla 5.23 Parámetros hidráulicos y tiempos de operación del desfogue L1.

Línea	Horario de apertura	Cad. (km)	Desfogue	Diámetro (m)	Velocidad de vaciado (m/s)	Gasto regulado m3/s	Tiempo de Manejo de la válvula (h)	Tiempo de operación (h)
L1	10:00	22+145	OR12	0.305	4.77	0.35	09:00	16:50

Nota:
Tiempo de operación, se considera al intervalo de tiempo en que el desfogue regula un gasto cero, después de la apertura del mismo.

5.4.6.20. Desfogues propuestos L1

Con base en el perfil de flujo que resulta después de la entrada en funcionamiento

del desfogue existente de la L1, se proponen 4 desfogues con un diámetro de 12”, en los cadenamientos: 23+735, 20+240, 20+841 y 19+528, Ilustración 5.164.

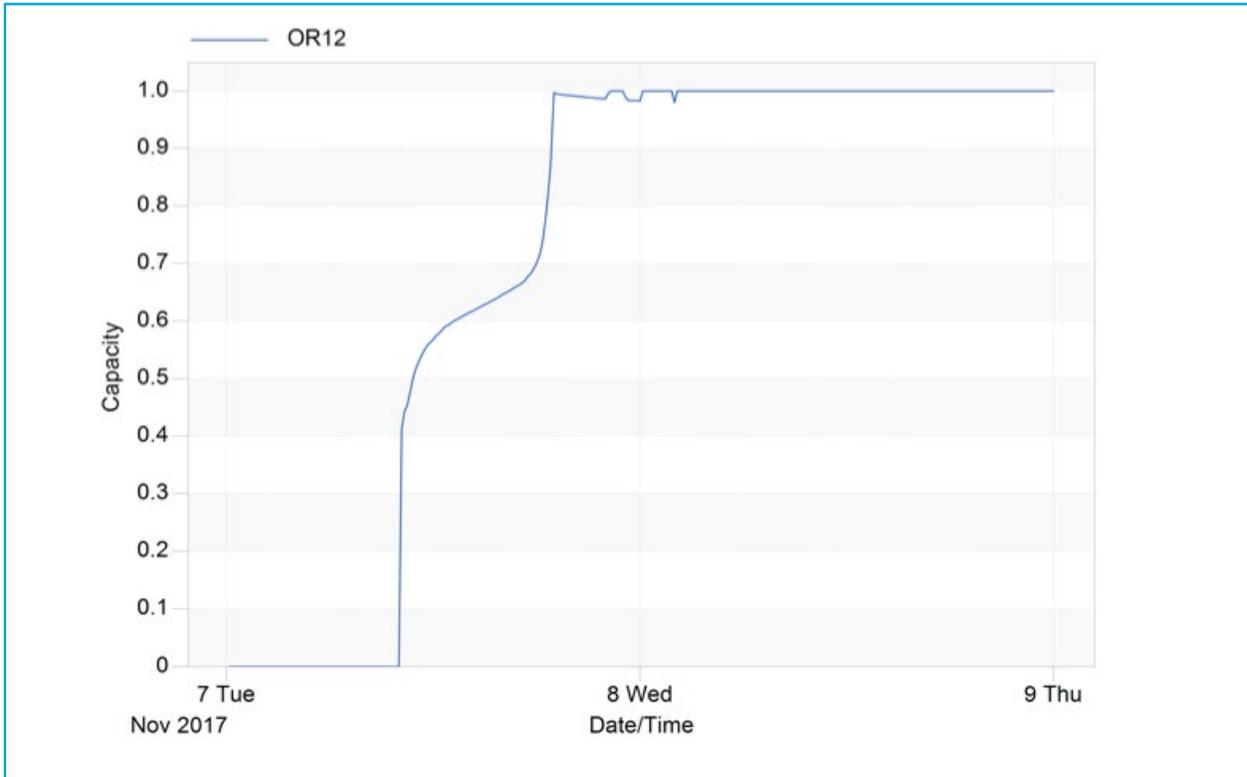


Ilustración 5.163 Porcentaje de apertura del desfogue de la L1

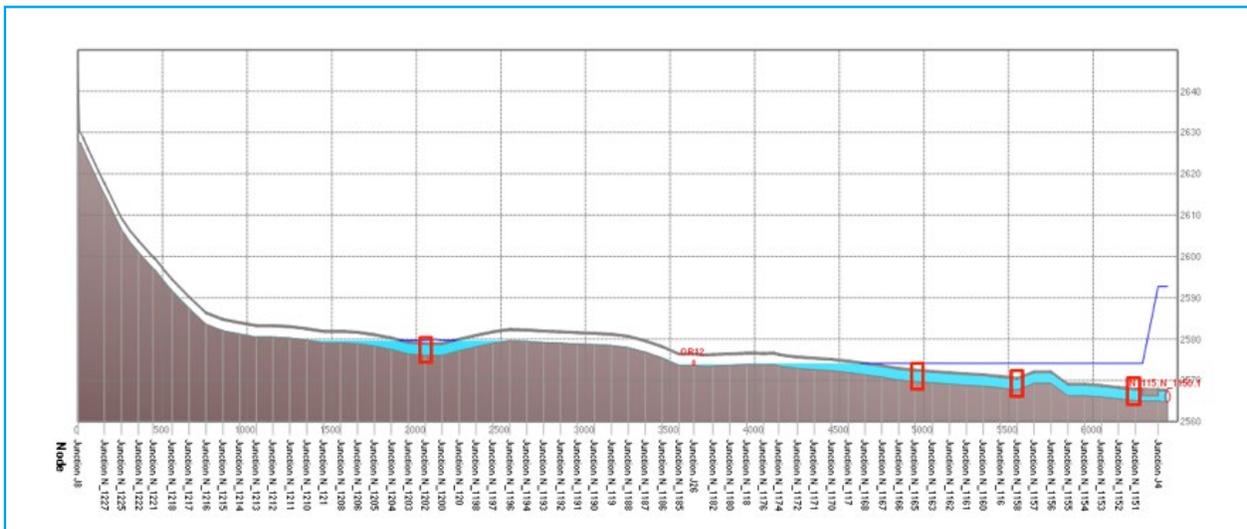


Ilustración 5.164 Ubicación de desfogues propuestos L1

Línea 2. En la línea se ubica un desfogue en el cadenamiento 22+127, con un diámetro de 12”, el cual no es suficiente para vaciar la zona 1 (Ilustración 5.165). En la Ilustración 5.166 se presentan el tiempo de manejo de la válvula y el porcentaje de apertura, para que la velocidad de vaciado no sea mayor de 5 m/s.

En la Ilustración 5.166, se muestra que el porcentaje de apertura inicial es del 42 %; en 1 h se llega a un porcentaje de apertura del 48 %, en la siguiente hora a un 55 %, así sucesivamente hasta llegar al 100 % en 9:30 h.

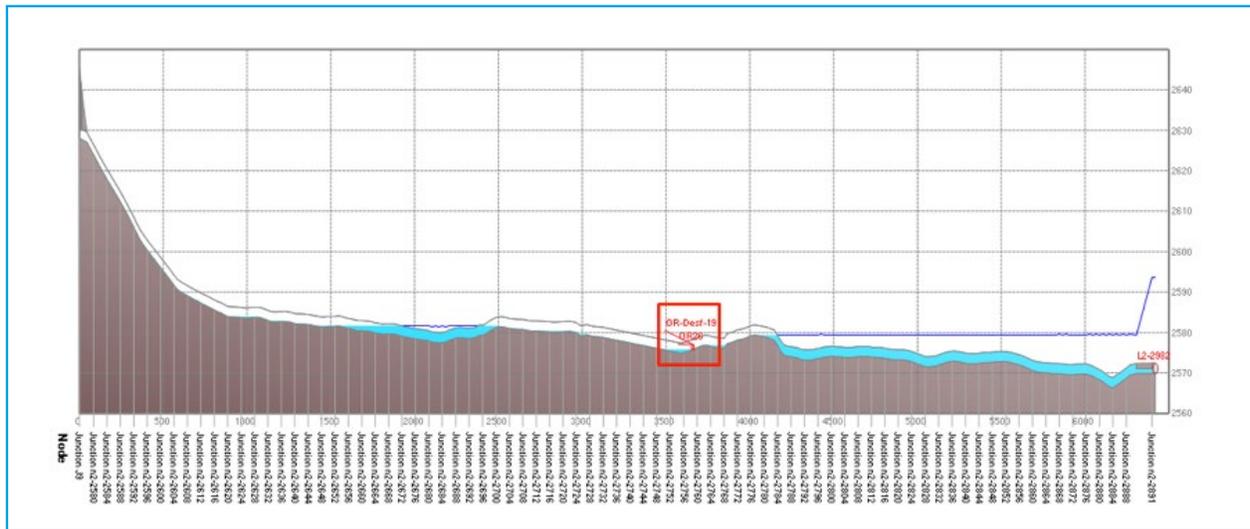


Ilustración 5.165 Entrada en funcionamiento del seccionamiento 19+500 y desfogue OR-Desf-19

Tabla 5.24 Parámetros hidráulicos y tiempos de operación de los desfogues L2

Línea	Horario de apertura	Cad (km)	Desfogue	Diámetro (m)	Velocidad de vaciado (m/s)	Gasto regulado (m3/s)	Tiempo de manejo de la válvula (h)	Tiempo de operación (h)
L2	10:00	22+127	OR-Desf-19	0.305	4.78	0.34	09:30	19:00

Nota:

Tiempo de operación, se considera al intervalo de tiempo en que el desfogue llega a un gasto cero, después de la apertura del mismo.

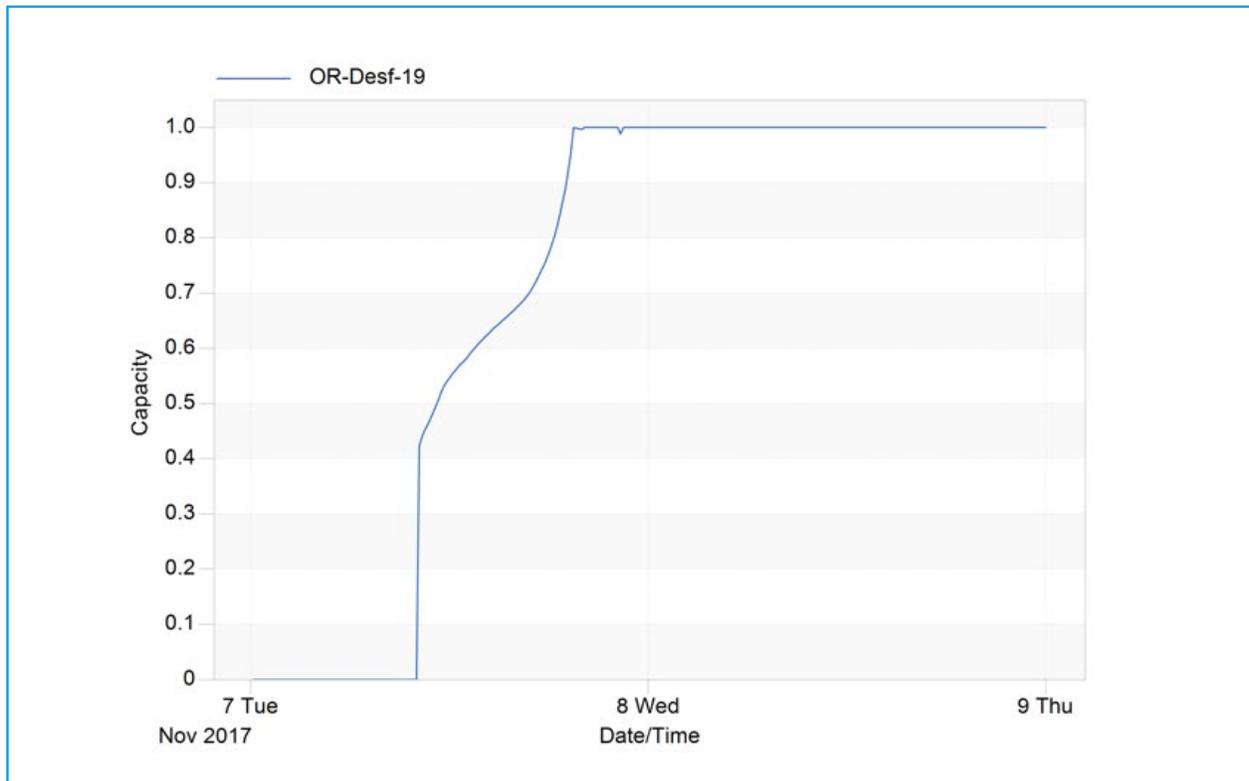


Ilustración 5.166 Porcentaje de apertura del desfogue de la L2

5.4.6.21. Desfogues propuestos L2

Para poder realizar el vaciado completo de la zona 1, en la línea2, se propone colocar

4 desfogues de 12" en las estaciones: 23+636, 21+428, 20+713 y 19+618 (ver Ilustración 5.167).

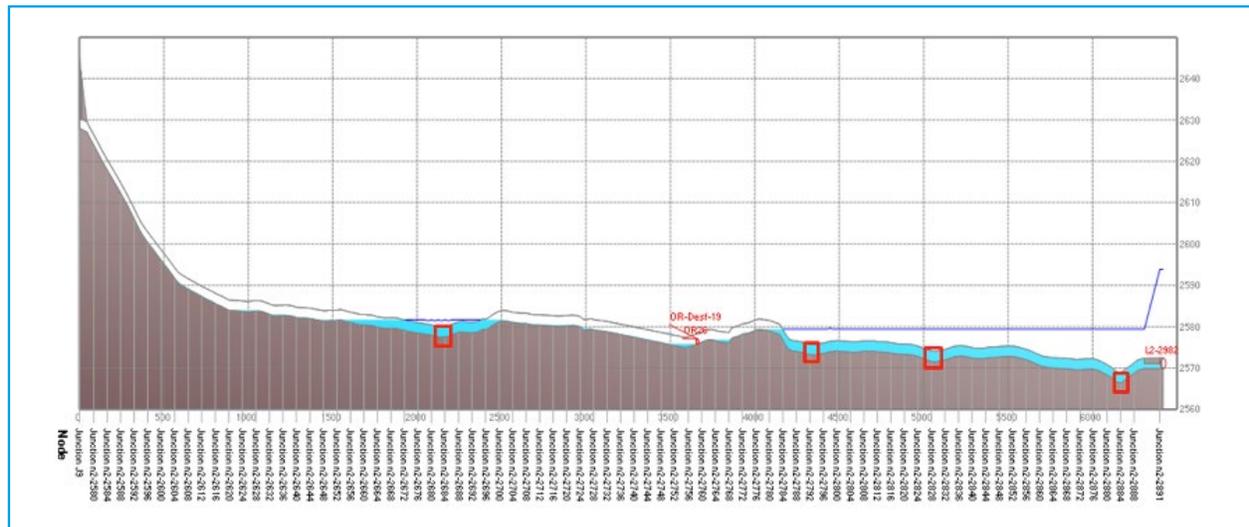


Ilustración 5.167 Ubicación de desfogues propuestos L2

Línea 3. En la línea se propone abrir un total de 6 desfogues, en los cadenamientos: 24+300, 23+480, 22+200, 21+680, 20+880 y 19+540, los cuales son suficientes para poder vaciar el tramo aguas arriba de 6,275 m. Cabe señalar, que los horarios de apertura de los seis desfogues propuestos se realizarán en intervalos de 1 hora, como lo muestra la Tabla 5.25.

Los porcentajes de apertura de cada válvula se presentan en la Ilustración 5.168. Por ejemplo, para el desfogue “OR70”, el porcentaje de apertura inicial corresponde al 40 %, a los 30 minutos es del 54 %, a los 60 minutos es del 90 % y así hasta llegar al tiempo de manejo de la válvula (01:40 h) con un 100 % de apertura.

Tabla 5.25 Parámetros hidráulicos y tiempos de operación de los desfogues L3

Línea	Horario de apertura	Cad (km)	Desfogue	Diámetro (m)	Velocidad de vaciado (m/s)	Gasto regulado (m³/s)	Tiempo de manejo de la válvula (h)	Tiempo de operación (h)
L3	10:00	24+300	OR70	0.457	3.55	0.58	01:40	03:00
	10:00	23+480	DES23_480	0.457	3.01	0.49	02:10	04:40
	11:00	22+200	DES22_200	0.457	3.70	0.60	01:20	02:30
	11:00	21+680	OR74	0.305	4.77	0.34	02:00	03:00
	12:00	20+880	OR75	0.305	4.24	0.31	02:50	03:30
	12:00	19+540	OR78	0.457	3.68	0.60	05:20	06:10

Nota:
Tiempo de operación, se considera al intervalo de tiempo en que el desfogue llega a gasto cero, después de la apertura del mismo.

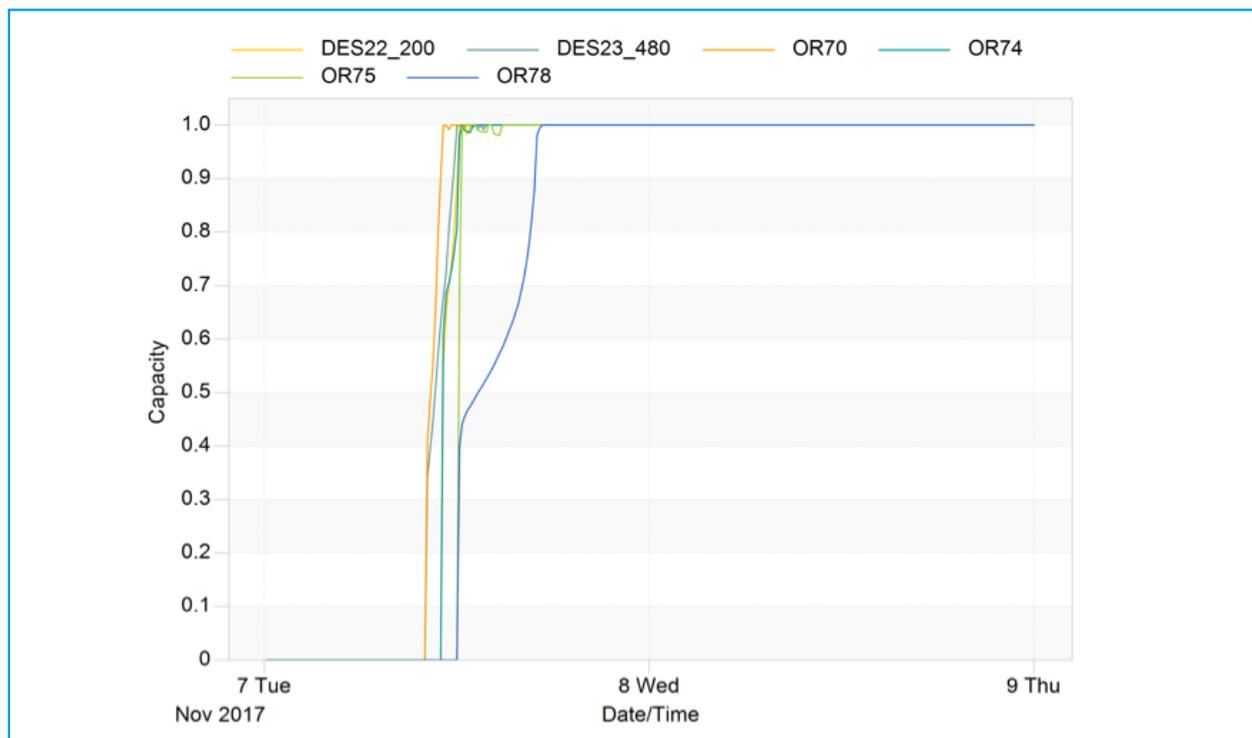


Ilustración 5.168 Porcentaje de apertura de los desfogues L3 zona 1

5.4.6.22. Evaluación de los desfogues L3

Con la operación de las seis válvulas de compuerta, la zona 1 se vacía por completo en un tiempo de 7:30 h, Ilustración 5.169.

14+600 con un diámetro de 12". Los desfogues existentes no son suficientes para vaciar el tramo por completo (Ilustración 5.170). En la Tabla 5.26 se presentan los parámetros hidráulicos de los desfogues existentes, así como los intervalos de manejo y operación; para poder regular una velocidad de vaciado menor de 5 m/s.

5.4.6.23. Zona 2 del tramo 1

Línea 1. En esta línea se ubican dos desfogues en los cadenamientos 18+334 y

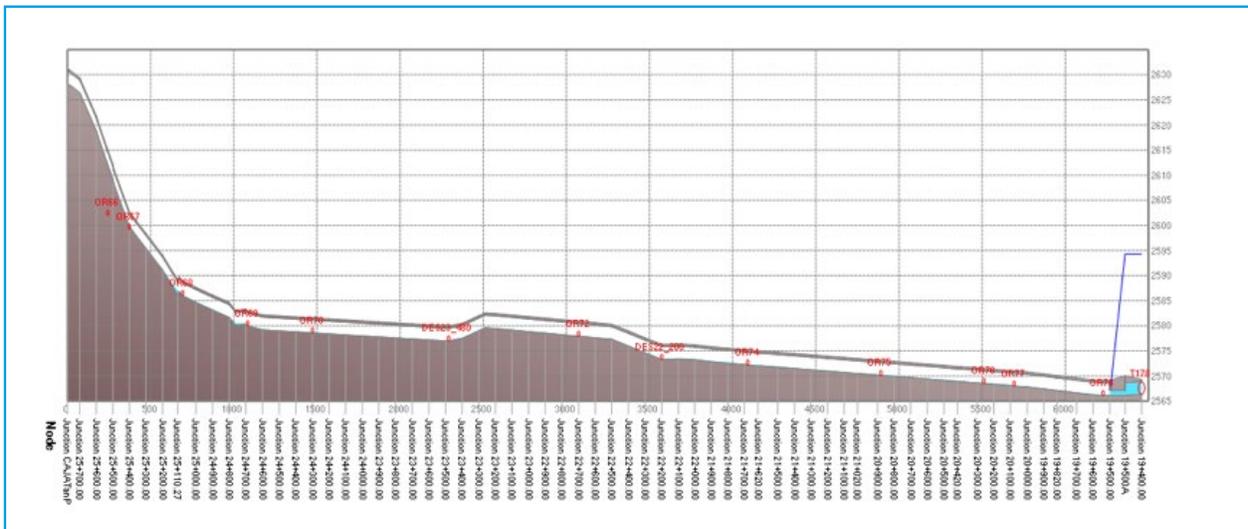


Ilustración 5.169 Vaciado zona 1, línea 3

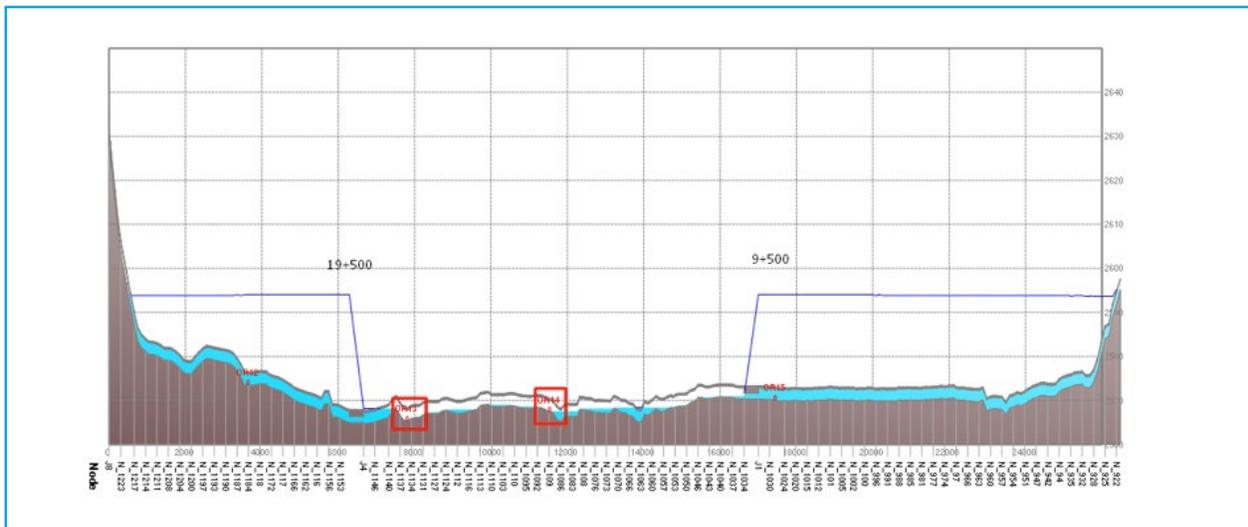


Ilustración 5.170 Funcionamiento del seccionamiento 19+500 y 9+500, zona 2 línea L1

Tabla 5.26 Parámetros hidráulicos y tiempos de operación de los desfogues L1

Línea	Horario de apertura	Cad. (km)	Desfogue	Diámetro (m)	Velocidad de vaciado (m/s)	Gasto regulado m³/s	Tiempo de manejo de la válvula (h)	Tiempo de operación (h)
L1	10:00	18+334	OR13	0.305	4.78	0.34	10:30	23:40
	10:00	14+600	OR14	0.305	4.77	0.34	3:10	30:00

Nota:
Tiempo de operación, se considera al intervalo de tiempo en que el desfogue llega a gasto cero, después de la apertura del mismo.

Los porcentajes de apertura de cada válvula se presentan en la Ilustración 5.171. Por ejemplo, para el desfogue “OR13”, el porcentaje de apertura inicial corresponde al 48 %, en una hora es del 63 %, a los 120 minutos es del 66 %, el porcentaje de apertura se incrementa en el tiempo de manejo de la válvula (10:30 h) hasta llegar al 100 %.

5.4.6.24. Desfogues propuestos L1

Con base en el perfil de flujo que resulta después de la entrada en funcionamiento del desfogue existente de la L1, se proponen 2 desfogues con un diámetro de 12”, en los cadenamientos: 14+308 y 12+200, Ilustración 5.172.

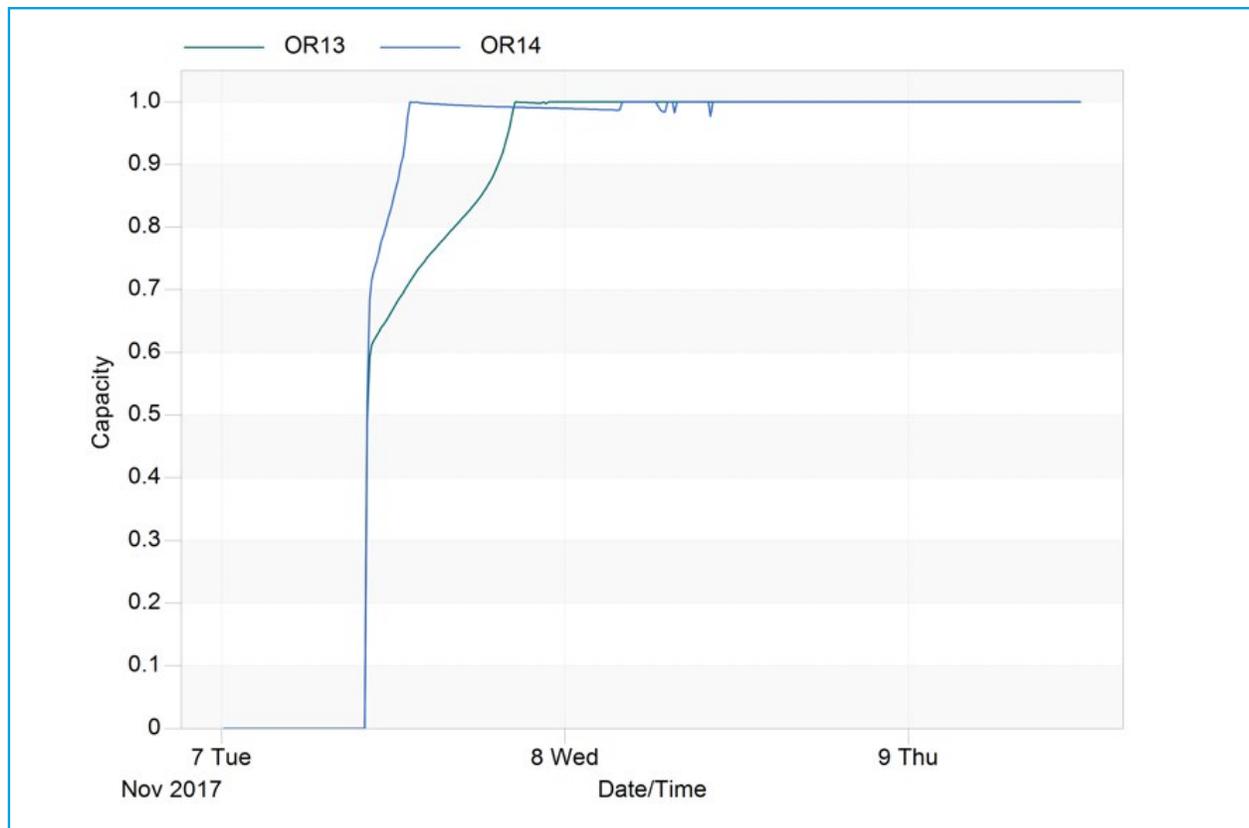


Ilustración 5.171 Porcentaje de apertura de los desfogues L1 zona 2

Línea 2. En esta línea se ubica un desfogue en el cadenamiento 14+454 con un diámetro de 12". El desfogue existente no es suficiente para vaciar el tramo por completo (Ilustración 5.173). En la Tabla 5.27 se

presentan los parámetros hidráulicos del desfogue existente, así como los intervalos de manejo y operación; para poder regular una velocidad de vaciado menor de 5 m/s.

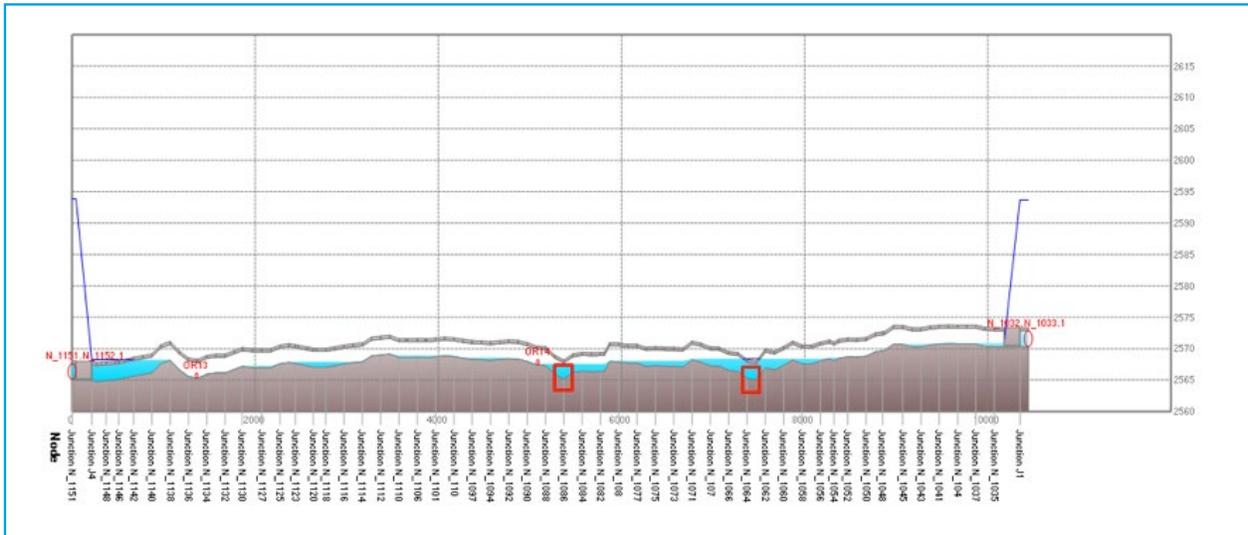


Ilustración 5.172 Ubicación de desfogues propuestos L1

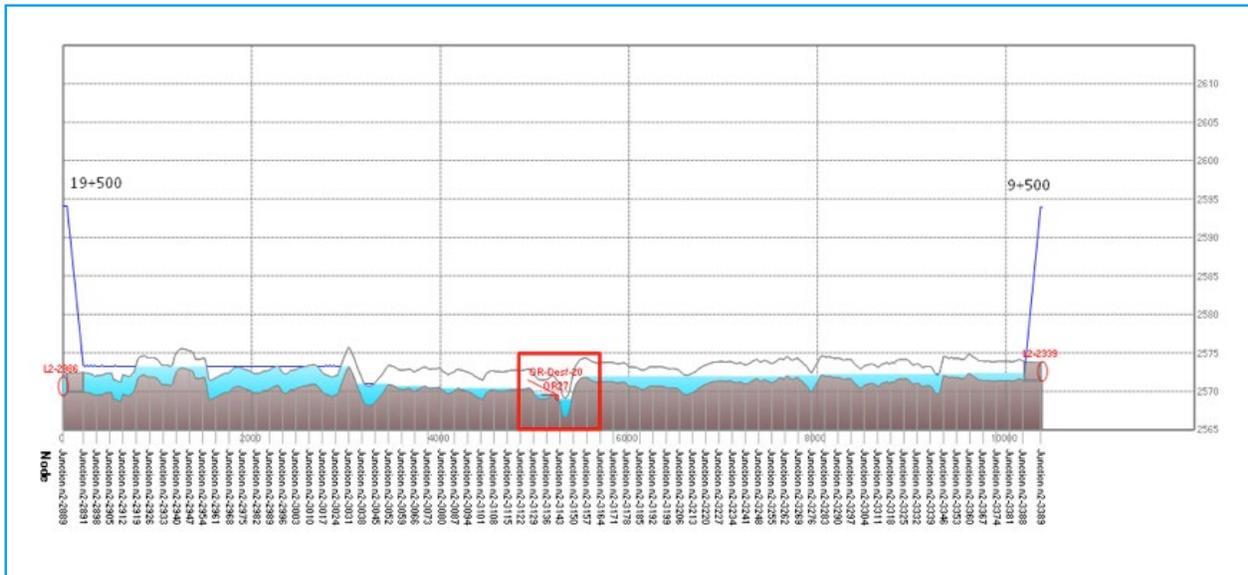


Ilustración 5.173 Funcionamiento del seccionamiento 19+500 y 9+500, línea L2

Tabla 5.27 Parámetros hidráulicos y tiempos de operación de los desfogues L2

Línea	Horario de apertura	Cad. (km)	Desfogue	Diámetro (mm)	Velocidad de vaciado (m/s)	Gasto regulado m ³ /s	Tiempo de manejo de la válvula (h)	Tiempo de operación (h)
L2	10:00	14+454	OR-Desf-20	0.305	4.78	0.34	15:00	46:40

Nota:
Tiempo de operación, se considera al intervalo de tiempo en que el desfogue llega a gasto cero, después de la apertura del mismo.

El porcentaje de apertura de la válvula se presenta en la Ilustración 5.174. Para el desfogue “OR-Desf-20”, el porcentaje de apertura inicial corresponde al 37 %, en una hora es del 50 %, a los 120 minutos es del 71 %, la apertura se vuelve gradual en el tiempo de manejo de la válvula (15:00 h) hasta llegar al 100 %.

5.4.6.25. Desfogues propuestos L2

Con base en el perfil de flujo que resulta después de la entrada en funcionamiento del desfogue existente de la L2, se proponen 2 desfogues con un diámetro de 12”, en los cadenamientos: 14+308 y 12+200. Ilustración 5.175.

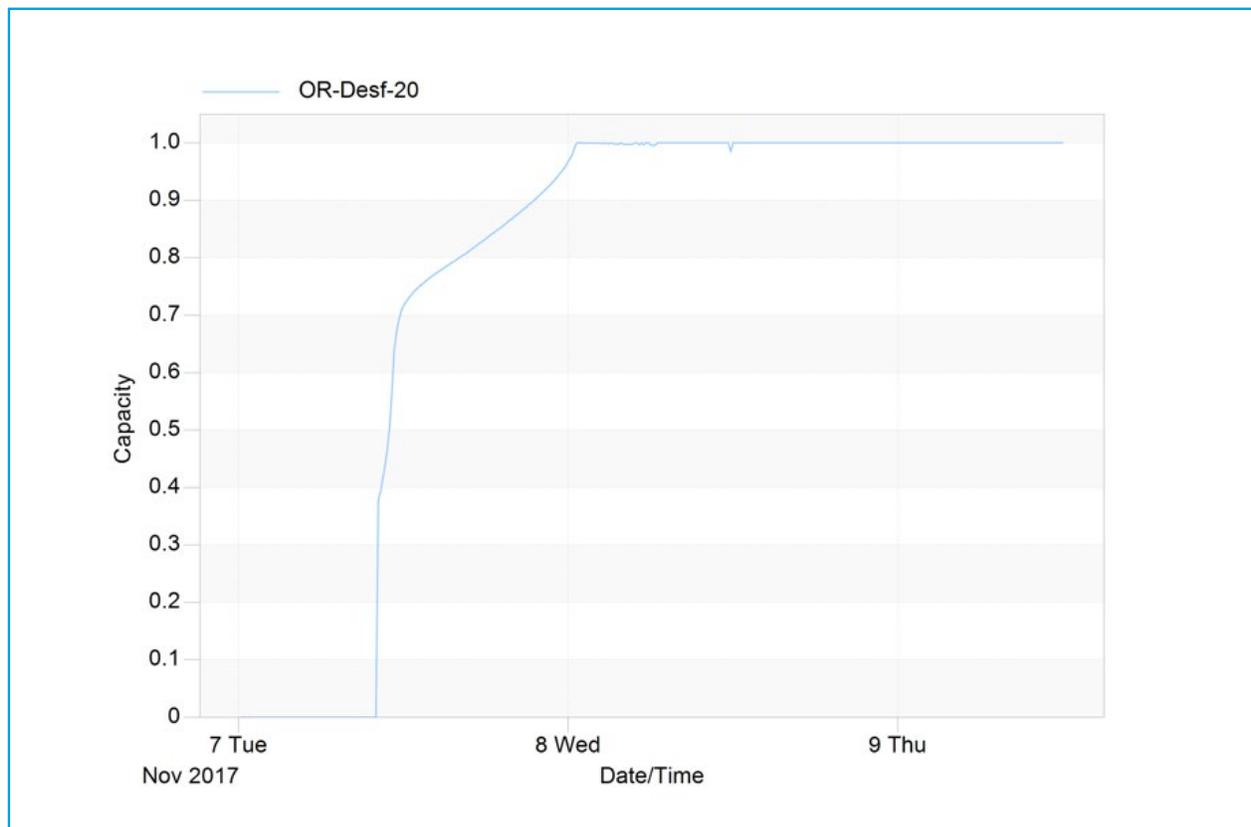


Ilustración 5.174 Porcentaje de apertura del desfogue L2 zona 2

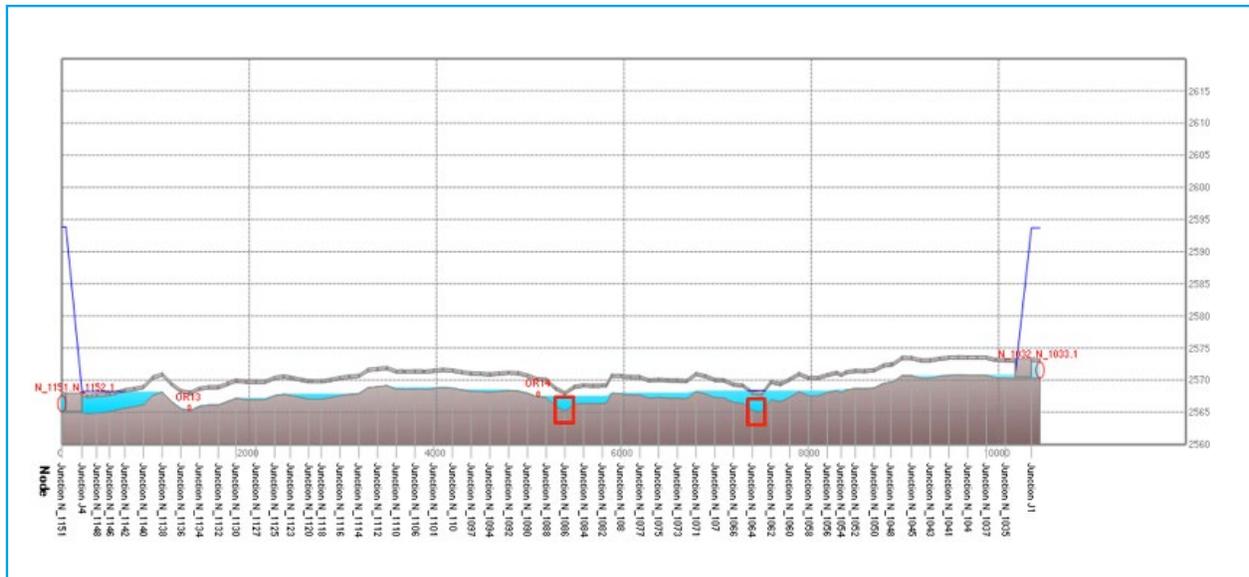


Ilustración 5.175 Ubicación de desfogues propuestos L2

Línea 3. En la línea se proponen abrir un total de 8 desfogues, en los cadenamientos: 19+011, 17+620, 14+460, 12+980, 11+662, 10+900, 10+436 y 10+141, los cuales son suficientes para poder vaciar el tramo comprendido entre

los seccionamientos 19+500 y 9+500, que tiene una longitud de 10,000 m. Cabe señalar, que los horarios de apertura de los seis desfogues propuestos se realizarán en intervalos de 1 hora, como lo muestra la Tabla 5.28.

Tabla 5.28 Parámetros hidráulicos y tiempos de operación de los desfogues L3

Línea	Horario de apertura	Cad (km)	Desfogue	Diámetro (m)	Velocidad de vaciado (m/s)	Gasto regulado (m ³ /s)	Tiempo de manejo de la válvula (h)	Tiempo de operación (h)
L3	10:00	19+011	OR79	0.305	4.59	0.34	01:00	09:40
	10:00	17+620	DES17_620	0.457	3.68	0.60	04:20	06:00
	11:00	14+460	OR87	0.457	5.51	0.60	01:30	03:00
	11:00	12+980	OR90	0.457	3.69	0.60	05:20	07:10
	12:00	11+662	OR92	0.305	4.76	0.35	01:10	03:10
	12:00	10+900	OR94	0.305	4.27	0.31	01:10	02:50
	13:00	10+436	OR95	0.305	4.34	0.31	01:10	02:50
	13:00	10+141	OR96	0.305	4.36	0.31	01:30	02:00

Nota:

Tiempo de operación, se considera al intervalo de tiempo en que el desfogue llega a gasto cero, después de la apertura del mismo.

Los porcentajes de apertura de cada válvula se presentan en la Ilustración 5.176. Por ejemplo, para el desfogue “OR79”, el porcentaje de apertura inicial corresponde al 51 %, a los 30 minutos es del 79%, a los 60 minutos es del 100 % de apertura.

5.4.6.26. Evaluación de los desfogues L3

Con la operación de las ocho válvulas de compuerta, la zona 2 se vacía por completo en un tiempo de 7:50 h, Ilustración 5.177.

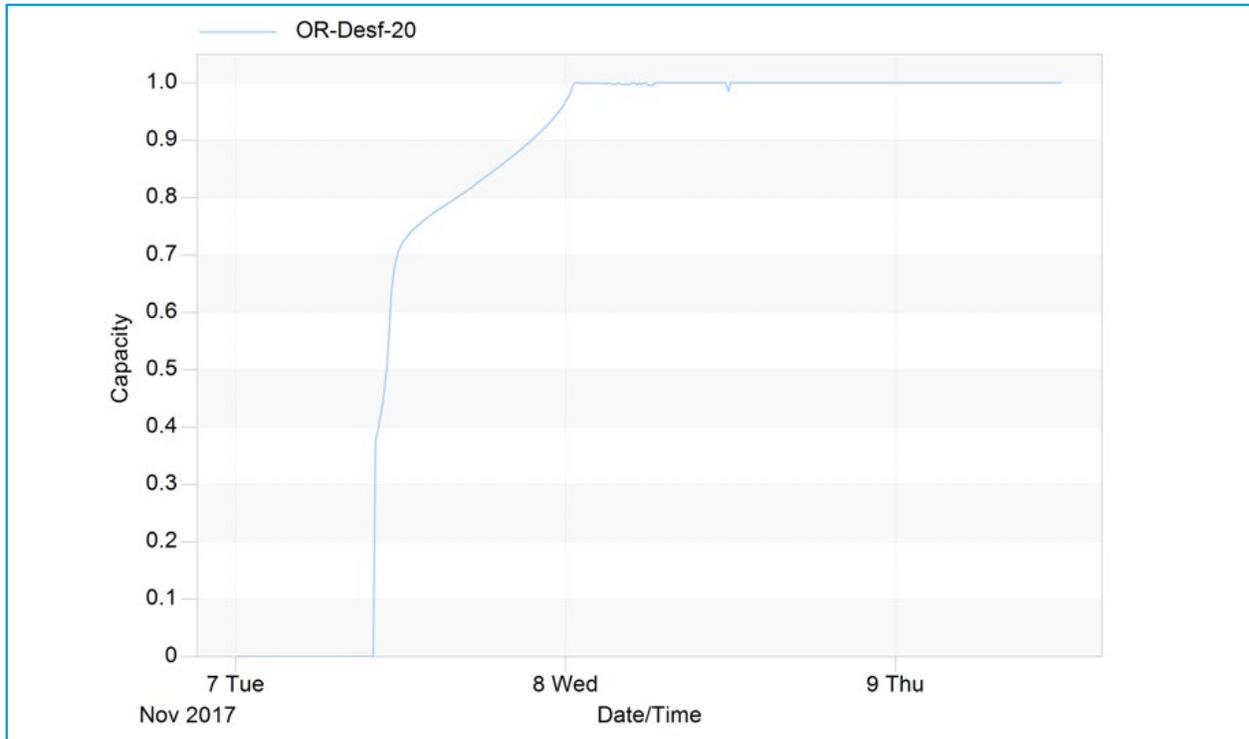


Ilustración 5.176 Porcentaje de apertura de los desfogues L3 zona 2

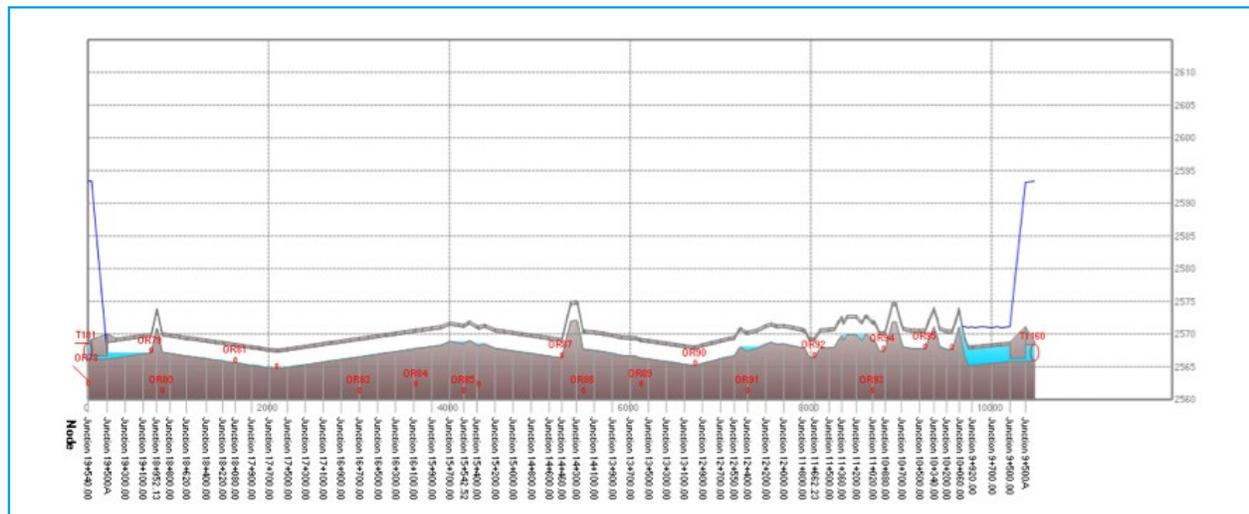


Ilustración 5.177 Ubicación de desfogues propuestos L1, zona 3

5.4.6.27. Zona 3 del tramo 1

Línea 1. En esta línea se ubica un desfogue en el kilometraje 9+080 con un diámetro de 12". El desfogue existente no es suficiente para vaciar el tramo por completo

(Ilustración 5.178). En la Tabla 5.29 se presentan los parámetros hidráulicos del desfogue existente, así como los intervalos de manejo y operación; para poder regular una velocidad de vaciado menor de 5 m/s.

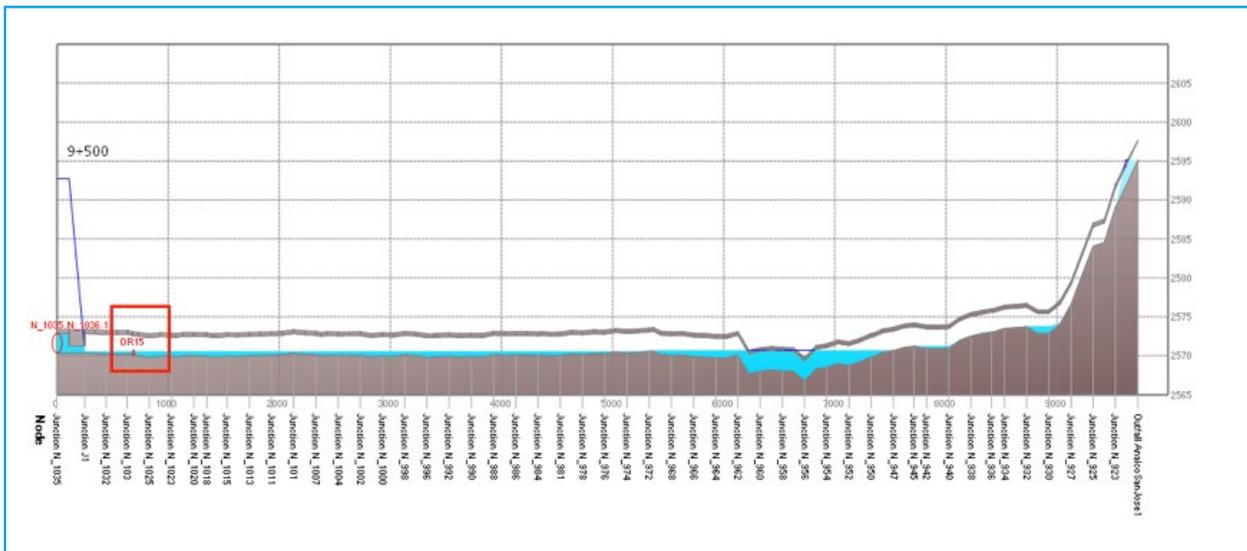


Ilustración 5.178 Funcionamiento del seccionamiento 9+500, línea L1

Tabla 5.29 Parámetros hidráulicos y tiempos de operación de los desfogues L1 zona 3

Línea	Horario de apertura	Cad. (km)	Desfogue	Diámetro (m)	Velocidad de vaciado (m/s)	Gasto regulado m3/s	Tiempo de manejo de la válvula (h)	Tiempo de operación (h)
L1	10:00	9+080	OR15	0.305	4.77	0.34	06:00	32:00

Nota:

Tiempo de operación, se considera al intervalo de tiempo en que el desfogue llega a gasto cero, después de la apertura del mismo.

Los porcentajes de apertura de cada válvula se presentan en la Ilustración 5.179. Por ejemplo, para el desfogue “OR15”, el porcentaje de apertura inicial corresponde al 39 %, en una hora es del 44 %, a los 120 minutos es del 58 %, la apertura se incrementa en el tiempo de manejo de la válvula (06:00 h) hasta llegar al 100 %.

5.4.6.28. Desfogues propuestos L1

Con base en el perfil de flujo que resulta después de la entrada en funcionamiento del desfogue existente de la L1, se proponen 3 desfogues con un diámetro de 12”, en los cadenamientos: 7+370, 5+380 y 3+019, Ilustración 5.180.

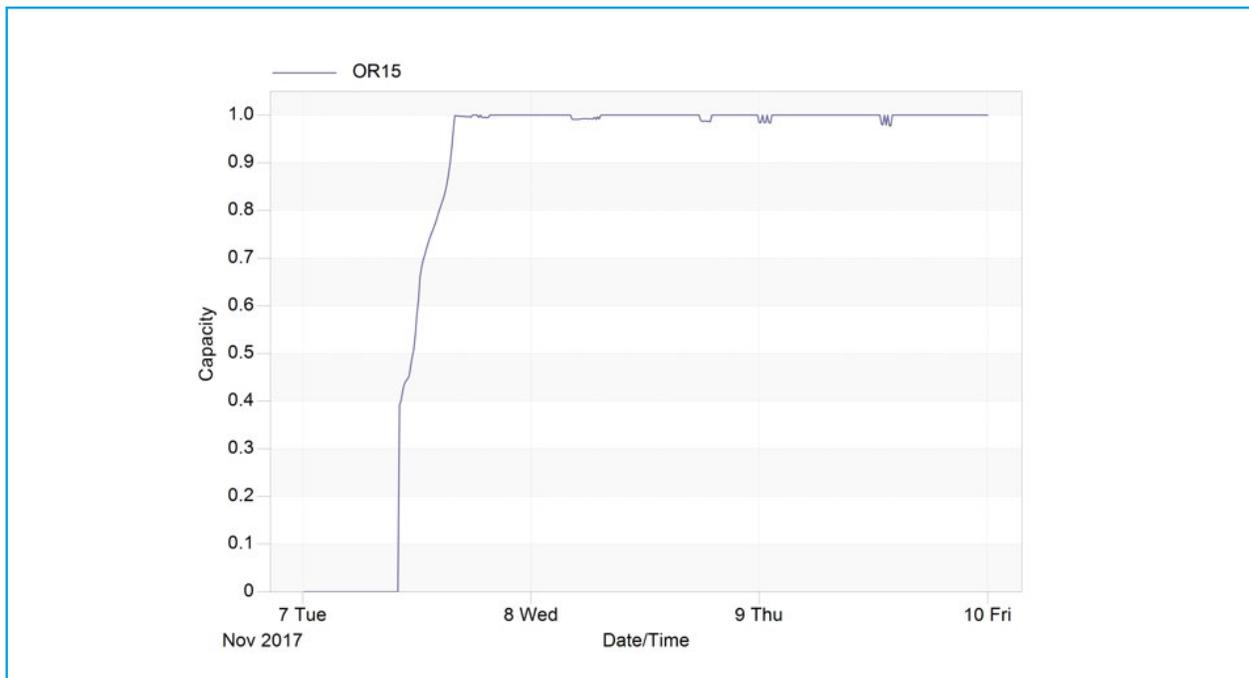


Ilustración 5.179 Porcentaje de apertura del desfogue L1 zona 3

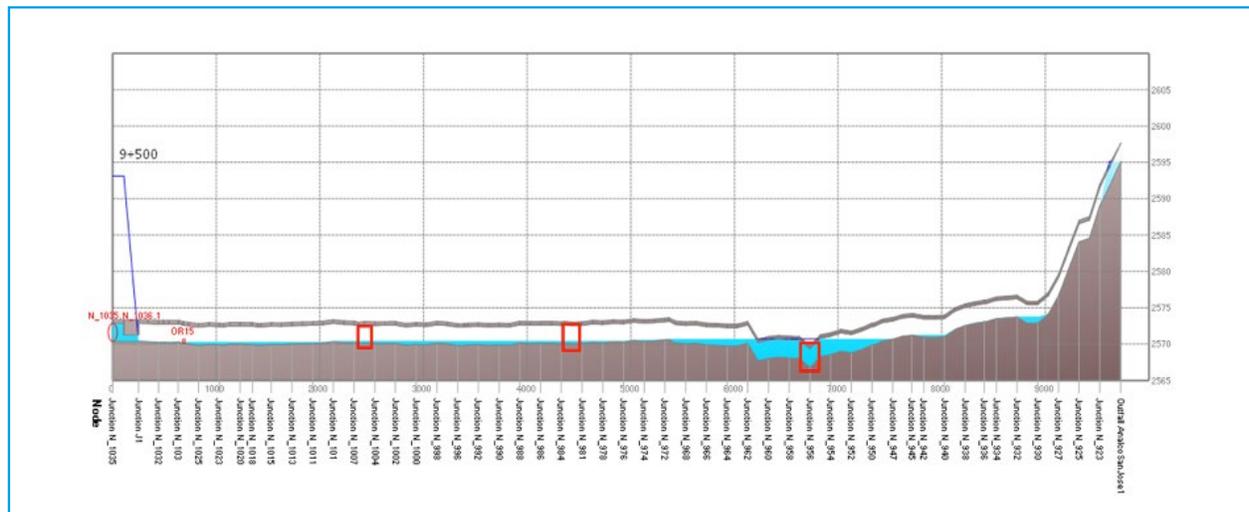


Ilustración 5.180 Ubicación de desfogues propuestos L1, zona 3

Línea 2. En esta línea se ubican dos desfogues en los kilometrajes 9+160 y 9+080 con un diámetro de 12”. El desfogue existente no es suficiente para vaciar el tramo por completo (Ilustración 5.181). En la Ilustración 5.182 se presentan los parámetros hidráulicos del desfogue existente, así como los intervalos de manejo y operación; para poder regular una velocidad de vaciado menor de 5 m/s.

Los porcentajes de apertura de cada válvula se presentan en la Ilustración 5.182. Por ejemplo, para el desfogue “OR-Desf-21”, el porcentaje de apertura inicial corresponde al 38 %, en una hora es del 46 %, a los 120 minutos es del 57 %, la apertura se vuelve gradual en el tiempo de manejo de la válvula (05:00 h) hasta llegar al 100 %.

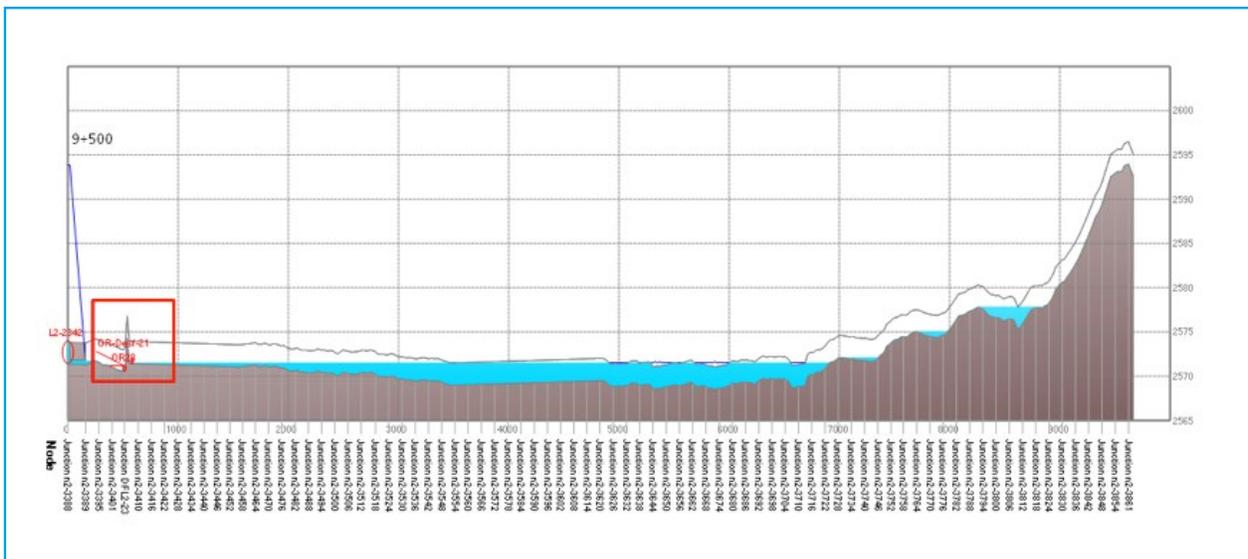


Ilustración 5.181 Funcionamiento del seccionamiento 9+500, línea L2 zona 3

Tabla 5.30 Parámetros hidráulicos y tiempos de operación de los desfogues L2 zona 3

Línea	Horario de apertura	Cad. (km)	Desfogue	Diámetro (m)	Velocidad de vaciado (m/s)	Gasto regulado m ³ /s	Tiempo de manejo de la válvula (h)	Tiempo de operación (h)
L2	10:00	9+160	OR-Desf-21	0.305	4.77	0.34	05:00	09:00
	10:00	9+080	OR-Desf-22	0.305	4.77	0.34	04:50	32:00

Nota:

Tiempo de operación, se considera al intervalo de tiempo en que el desfogue llega a gasto cero, después de la apertura del mismo.

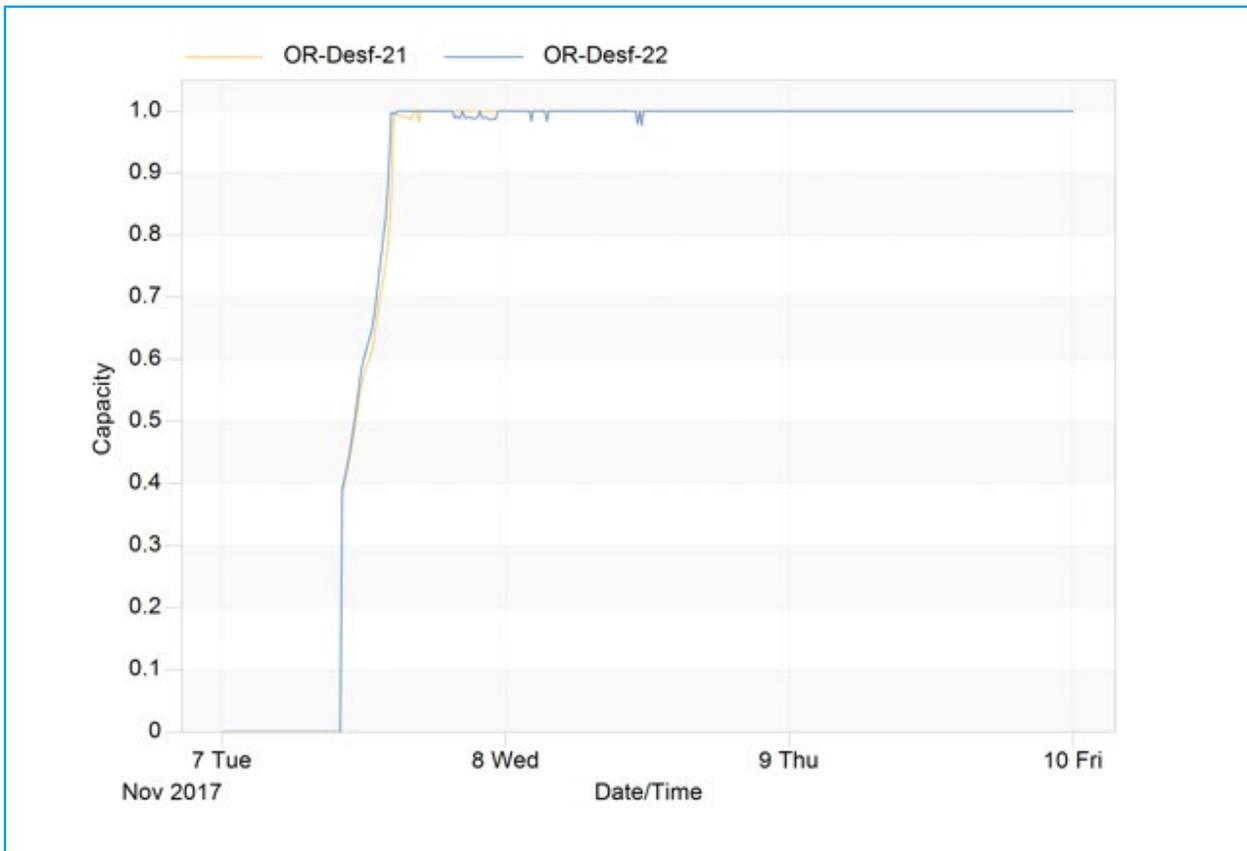


Ilustración 5.182 Porcentaje de apertura del desfogue L2 zona 3

5.4.6.29.Desfogues propuestos L2

Con base en el perfil de flujo que resulta después de la entrada en funcionamiento

del desfogue existente de la L2, se proponen 4 desfogues con un diámetro de 12”, en los cadenamientos: 6+120, 4+720, 3+090 y 1+044, Ilustración 5.183.

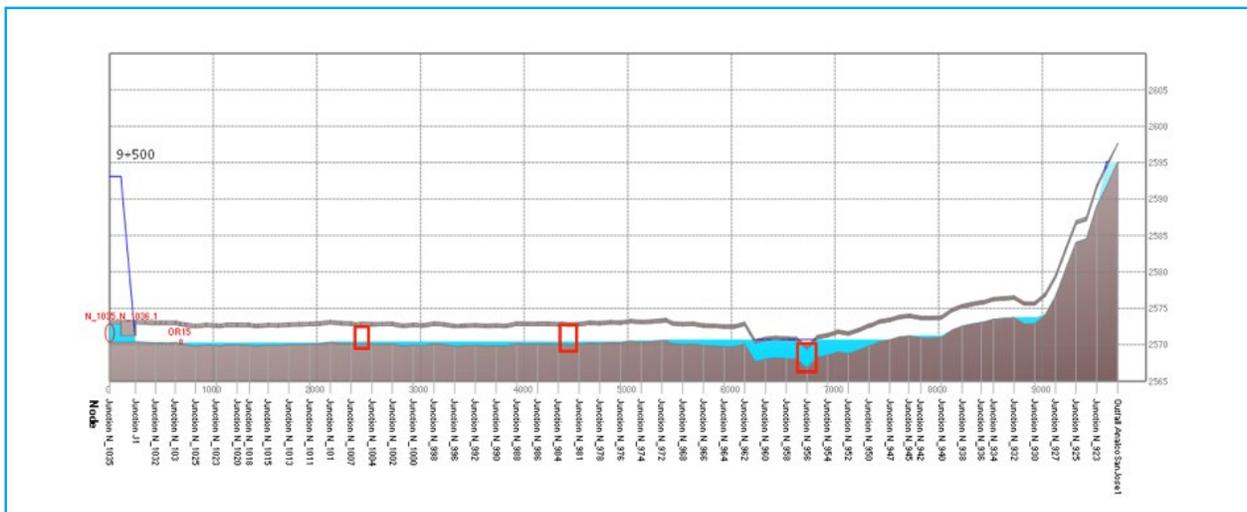


Ilustración 5.183 Ubicación de desfogues propuestos L2, zona 3

Línea 3. En la línea se propone abrir un total de 10 desfogues, en los cadenamientos: 9+000, 8+200, 7+260, 6+460, 5+960, 5+540, 4+720, 4+420, 2+980 y 0+980, los cuales son suficientes para poder vaciar el tramo aguas abajo del seccionamiento 9+500, que tiene una longitud de 9,500 m. Cabe señalar, que los horarios de apertura de los 10 desfogues propuestos se realizan en intervalos de 1 hora, como lo muestra la Tabla 5.31.

Los porcentajes de apertura para válvulas con diámetro de 0.305 m se presentan en la Ilustración 5.184 y los de 0.457 m en muestran en la Ilustración 5.185. Por ejemplo, para el desfogue “OR99”, el porcentaje de apertura inicial corresponde al 37 %, a los 60 minutos es del 47 %, a los 120 minutos es del 65 % así, sucesivamente hasta llegar al 100 % (04:00 h) de apertura.

Tabla 5.31 Parámetros hidráulicos y tiempos de operación de los desfogues L3 zona 3

Línea	Horario de apertura	Cad (km)	Desfogue	Diámetro (m)	Velocidad de vaciado (m/s)	Gasto regulado (m ³ /s)	Tiempo de manejo de la válvula (h)	Tiempo de operación (h)
L3	10:00	9+000	OR99	0.305	4.74	0.34	04:00	07:50
	10:00	8+200	OR101	0.305	4.74	0.34	02:30	05:50
	11:00	7+260	DES7_260	0.457	3.87	0.60	01:40	03:20
	11:00	6+460	DES6_460	0.457	4.59	0.55	00:50	03:30
	12:00	5+960	OR105	0.457	3.63	0.59	01:40	06:40
	12:00	5+540	DES5_540	0.305	4.31	0.28	*	02:20
	13:00	4+720	OR108	0.457	3.66	0.60	01:50	02:50
	13:00	4+420	OR109	0.457	3.70	0.60	03:50	08:20
	14:00	2+980	OR112	0.457	3.55	0.58	01:10	03:10
	14:00	0+980	DES0_980	0.457	0.81	0.07	*	01:50

Nota:

Tiempo de operación, se considera al intervalo de tiempo en que el desfogue llega a gasto cero, después de la apertura del mismo.

*La apertura de la válvula es del 100 % desde el inicio

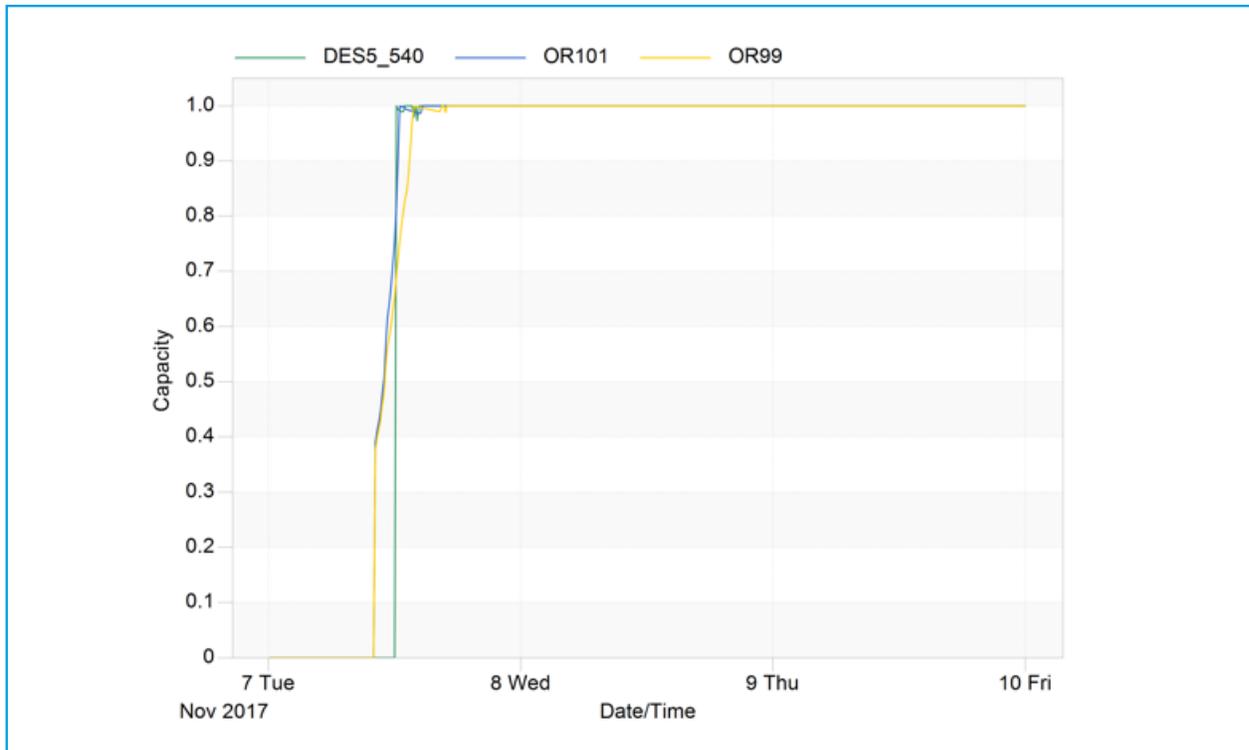


Ilustración 5.184 Porcentaje de apertura de los desfogues (0.305 m) L3 zona 3

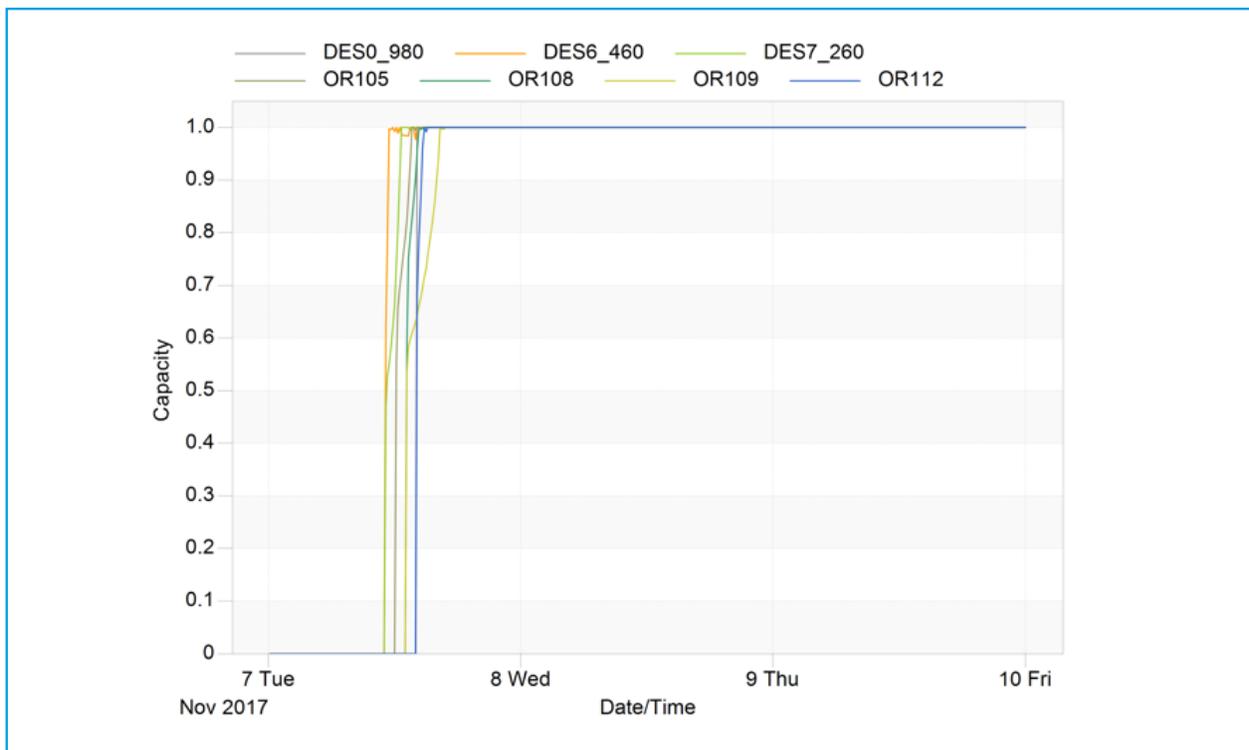


Ilustración 5.185 Porcentaje de apertura de los desfogues (0.457 m) L3 zona3

5.4.6.30. Evaluación de los desfuegos L3

Con la operación de las 10 válvulas de compuerta, la zona 3 se vacía por completo en un tiempo de 09:00 h, Ilustración 5.186.

5.5. DISEÑO CONCEPTUAL DE UN MODELO FÍSICO DEL SISTEMA CUTZAMALA

La técnica de la modelación física es una herramienta útil en el ámbito de la ingeniería hidráulica. En este caso hay la propuesta de modelar a escala el sistema funcional a gravedad de las tres líneas; a partir de la Torre de Oscilación No.5 hasta el portal de entrada Túnel Analco - San José, con su respectiva infraestructura hidráulica existente en los tramos intermedios. Es una técnica para resolver problemas de ingeniería hidráulica, consistente en el ensayo de una réplica del problema a escala reducida. El estudiar el problema hidráulico de un sistema de abastecimiento en modelo a escala, nos

permite prevenir los riesgos y disminuir costos de obra o mantenimiento; la disminución de riesgos y costos permiten generar su eficiente utilización.

Por otra parte, una vez que se dé la aceptación de construir el modelo físico y calibrarlo, será una herramienta importante para calibrar el modelo matemático; de esta manera se podrá analizar el funcionamiento hidráulico de las líneas en operación, la 1 y 2; y una tercera línea que está en construcción para garantizar la seguridad en el suministro; además permitirá mantener el caudal durante los trabajos de mantenimiento; la línea 3 estará en paralelo con la línea 1 y 2 (CONAGUA).

Cabe indicar que la parte constructiva y calibración del modelo físico no son alcances de este proyecto. Solamente se desarrollará el diseño conceptual del modelo físico a escala para el sistema Cutzamala; que comprende el tramo a gravedad, entre la Torre de Oscilación 5 al portal de entrada Túnel

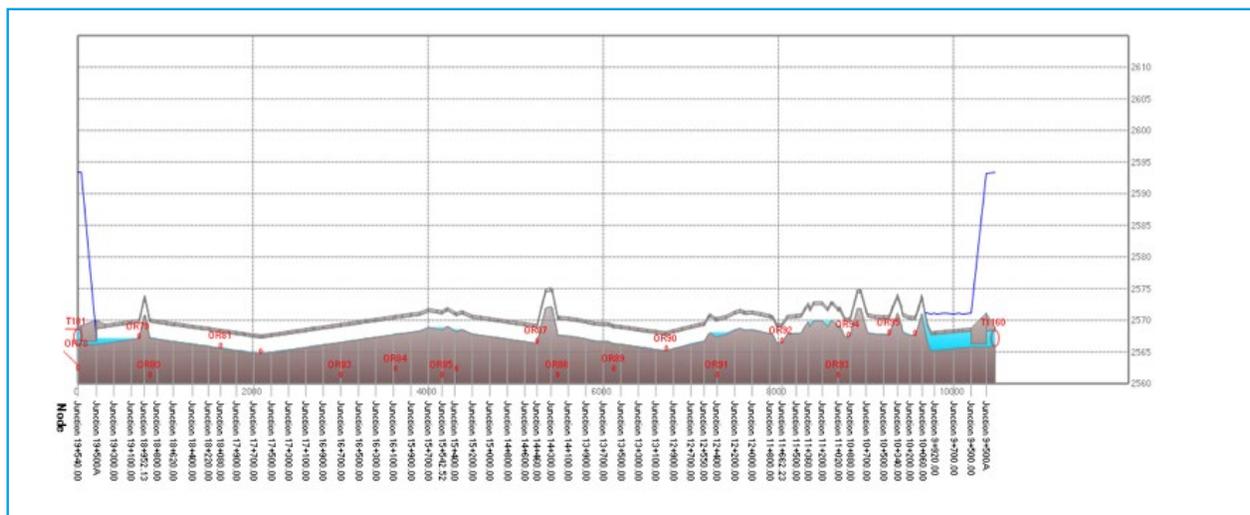


Ilustración 5.186 Vaciado zona 3, línea 3

Analco - San José. Incluye las tres líneas de conducción, tanques disipadores de energía, ubicación de VAEAs, y desagües.

5.5.1. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El Sistema Cutzamala, abastece el 23.7 % del agua potable que consume la zona metropolitana de la ciudad de México; y los municipios de Toluca, Lerma y Ocoyoacac.

El Sistema Cutzamala, reporta la CONAGUA, ya tiene operando 34 años en forma ininterrumpida a través de las líneas 1 y 2. La tercera línea de conducción del Sistema está en construcción, tendrá 77.6 km de longitud con un diámetro de 99". Evitará que se interrumpa el suministro a la ZMVM cada vez que se requieran labores de mantenimiento mayor en el Sistema Cutzamala; proporcionará, además, mayor seguridad en caso de fallas en las líneas de conducción exis-

tentes. En la Ilustración 5.187, se muestra el sitio de ubicación de la zona de estudio y el perfil del sistema Cutzamala.

5.5.2. PROBLEMÁTICA EN LÍNEAS DE CONDUCCIÓN

5.5.2.1. Funcionamiento hidráulico

Se tiene el antecedente que las líneas 1 y 2, que abastecen a la Ciudad de Toluca, México y Zona Metropolitana, conducían un caudal de 12 m³/s por cada línea, durante 1982 a 1990, llegaron a operar con este gasto; pero a través de los años, en el funcionamiento hidráulico en el tramo a gravedad, entre la Torre de Oscilación No. 5 y el portal de entrada al Túnel Analco - San José, se ha presentado una disminución del gasto conducido, que ha bajado hasta 8 m³/s por cada línea. Se tiene conocimiento que al intentar conducir gastos arriba de 8 m³/s a 12 m³/s, se presentan derrames de agua en la

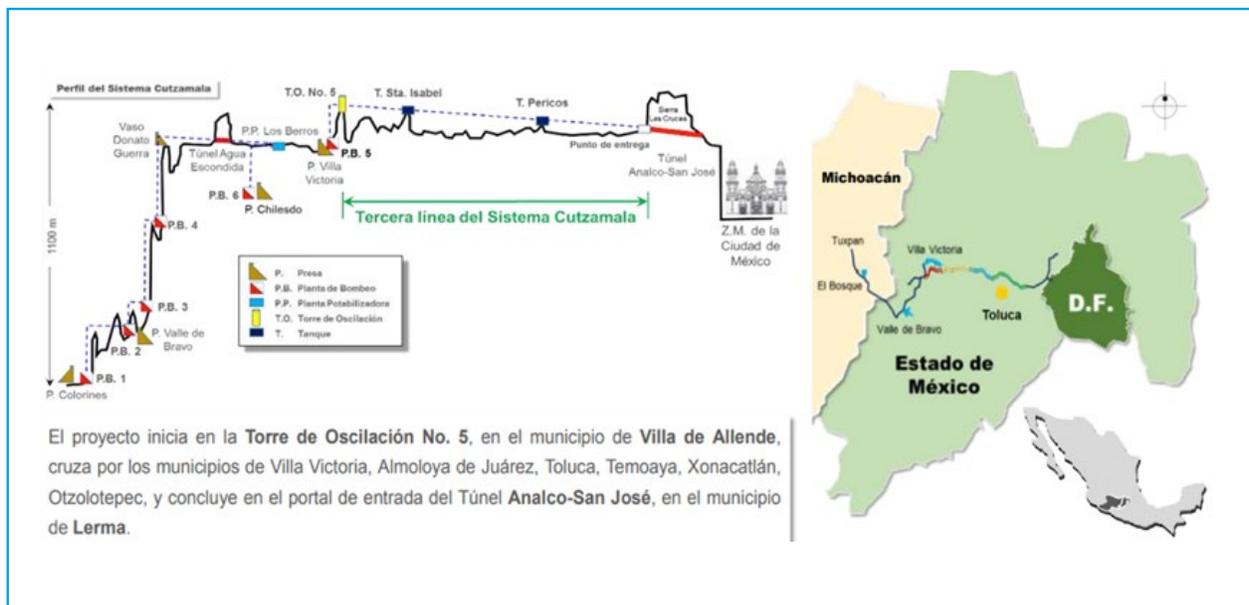


Ilustración 5.187 Ubicación de la zona de estudio y perfil del Sistema Cutzamala. Fuente: Idefonso González. CONAGUA

Torre de Oscilación No. 5, la cual tiene una altura de 50 m, y en el Tanque Santa Isabel. Se desconocen los motivos o fallas de la situación de funcionamiento hidráulico que se presenta. Se tiene el antecedente que en 1995 la Torre de Oscilación No. 5 desbordó el agua al suministrar 12 m³/s; ver Ilustración 5.188.

El llenado de las líneas se hace a través de un caudal de 1 m³/s como mínimo y máximo 1.5 m³/s; el llenado por línea se realiza entre 10 a 12 horas.

A la altura del Tanque Pericos, a la salida del tanque por lado izquierdo en dirección del flujo se presenta la línea 2, de la cual se deriva una línea de 24", con un gasto de 800

a 900 L/s para abastecer Toluca; ver Ilustración 5.188.

5.5.2.2. Localización y reparación de fugas en líneas de conducción

En abril 2016, Falla en la línea 1, reporte de Conagua, durante los trabajos de reparación se observó que la tubería cuenta con un alma de acero, encima de la cual hay un recubrimiento de concreto y luego una espiga de acero conformada por varillas que dan protección y resistencia. Así mismo, se presentó un color rojo o anaranjado; la corrosión es producto de la vida útil de operación que ha tenido la línea durante 35 años; ver Ilustración 5.189 e Ilustración 5.190.



Ilustración 5.188 Torre de Oscilación No. y 5 y Tanque Pericos



Ilustración 5.189 Reparación de fuga en la línea 1 del Sistema Cutzamala. Fuente: Conagua



Ilustración 5.190 Color rojo o anaranjado que presenta la corrosión en la parte inferior del tubo. Fuente: CAEM

Las características que presentó la fuga en la línea 1, dan pie a la importancia del mantenimiento preventivo a los cerca de 22 mil tubos que lo integran, la reparación de la fuga se presentó en el kilómetro 27+919.

En noviembre de 2009, en el Sistema Cutzamala ya operaban dos líneas de abaste-

cimiento, en un fin de semana se estaba dando mantenimiento a la línea 2 y en línea 1 ocurre una fuga, ver Ilustración 5.191, por lo que se tuvo que suspender al cien por ciento el suministro al valle de México.

En la Línea 1, por lo general ocurren fugas de tipo: orificio irregular, en la parte inferior

del tubo o ligeramente a un costado como se puede observar en la Ilustración 5.191. Durante 2001 al 2016 se han presentado cinco fugas en la trayectoria de la línea 1, en los siguientes cadenamientos: 49+000, 40+000, 50+000, 26+000, y 29+000.

En 2015, se presenta fuga en Línea 2, en el kilómetro 35+190, en el municipio de Almoloya de Juárez, trabajaron más de 89 personas. La Conagua abundó que para suprimir la fuga se realizó una maniobra con reducción de la presión para colocar una

pieza denominada “Z”, posteriormente se utilizó una “concha de reparación” que se coloca como brazaletes alrededor del tubo; ver Ilustración 5.192.

En la línea 2, no se presentan fugas de perforación, por lo general, son fallas en la unión de los tubos, es decir desajuste en juntas entre tubos. Posiblemente pueden ocasionarse por motivos operacionales en el llenado de líneas cuando existe un mantenimiento o reparación de fuga.



Ilustración 5.191 Orificio irregular de la fuga en línea por presencia de corrosión y deterioro externo del tubo, Fuente: CAEM y Callejas Martínez (ITC) respectivamente



Ilustración 5.192 Trabajos de reparación de la fuga en línea 2. Fuente: CAEM

5.5.2.3. Válvulas de admisión y expulsión de aire (VAEAS)

El levantamiento de cajas de válvulas, se realizó conjuntamente con personal del OCAVAM e IMTA. En este caso se indica el total de válvulas instaladas, las que operan y descompuestas, desde la Torre de Oscilación 5 al Túnel Análco, de las tres conducciones de abastecimiento.

En la línea 1, se levantaron 138 válvulas, de las cuales el 91.3% funcionan bien, el resto de las válvulas presentaron fallas.

En la línea 2, se levantaron 157 válvulas, de las cuales el 94.9% funcionan correctamente, y el resto presentaron fallas.

Sumando un total de 295 válvulas correspondientes a la línea 1 y Línea 2, determinándose que el 93.22 %, por redondeo el

93 % en promedio cumplen con su función de expulsar el aire que continuamente se acumula en la tubería cuando ésta se encuentra en operación; los resultados se muestran en la Tabla 5.32 y el 7 % restante presentan fallas.

En la Tabla 5.33 se muestra una relación de las VEAS de la Línea 1 y en la Tabla 5.34 las de la Línea 2. Los datos principales; tramo, cadenamientos, características de las VAEAS, presión registrada en el momento del levantamiento de caja de válvulas y sus coordenadas Geográfica. Para mayor detalle de esta información, ver el informe de 2017 denominado: “Estudio para restituir y mejorar la capacidad de conducción, mediante un manejo adecuado del aire y optimización del funcionamiento hidráulico, en las líneas 1 y 2 del sistema Cutzamala”.

Tabla 5.32 Levantamiento de las VAEAS en línea 1 y 2

Válvulas eliminadoras de aire	L1	(%)	L2	(%)	TO-TAL	(%)
Funciona correctamente	126	91.3	149	94.9	275	93.22
No funcionan	2	1.5	5	3.2	7	2.37
No se pudo revisar el funcionamiento	9	6.5	2	1.3	11	3.73
Sin acceso	1	0.7	1	0.6	2	0.68
Total	138	100%	157	100%	295	100

Estudio para restituir y mejorar la capacidad de conducción, mediante un manejo adecuado del aire y optimización del funcionamiento hidráulico, en las líneas 1 y 2 del sistema Cutzamala

Tabla 5.33 Relación de válvulas levantadas de la línea 1

ID	FECHA	CLAVE DEL ARREGLO	ELEMENTOS DEL ARREGLO	LÍNEA	TRAMO	CAD. EN CAJA	VAEA 1			VAEA 2			PRESIÓN REGISTRADA	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		
							MARCA	DIÁMETRO (m)	FUNCIONA	CONDICIONES	MARCA	DIÁMETRO (m)		FUNCIONA	CONDICIONES	LONGITUD
1	30/10/2017	L1.131	VAEA+ELIM+2SEC+FO	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	76+215	RENVAL	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	1.8	99.28.468W	19.20.702N	2,578.86
2	30/10/2017	L1.130	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	NO EXISTE	VARCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	1.9	99.28.840W	19.20.704N	2,575.22
3	30/10/2017	L1.129-A	VAEA+ELIM+2SEC+FO	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	75+418	RENVAL	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	1.8	99.28.849W	19.20.699N	2,575.08
4	30/10/2017	L1.128	VAEA+ELIM+2SEC+FO+TC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	75+449	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	2.10	99.29.021W	19.20.588N	2,573.35
5	31/10/2017	L1.127	VAEA+ELIM+SEC+TC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	73+165	RENVAL	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	2.65	99.30.071W	19.20.508N	2,570.25
6	31/10/2017	L1.126	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	72+152	RUD	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	2.75	99.30.489W	19.20.85N	2,569.98
7	31/10/2017	L1.125	VAEA+ELIM+2SEC+FO	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	71+191	RUD	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	2.75	99.30.890W	19.21.245N	2,570.03
8	31/10/2017	L1.124	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	70+160	VARCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	2.85	99.31.355W	19.21.540N	2,570.76
9	31/10/2017	L1.122	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	69+149	RENVAL	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	2.85	99.31.934W	19.21.612N	2,571.60
10	31/10/2017	L1.121	VAEA+ELIM+2SEC+FO	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	68+863	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	2.80	99.32.089W	19.21.648N	2,571.37
11	31/10/2017	L1.120	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	68+461	RUD	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO SE PUDO MEDIR	99.32.310W	19.21.670N	2,570.43
12	31/10/2017	L1.119	VAEA+ELIM+2SEC+FO	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	68+457	RUD	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	2.70	99.32.326W	19.21.661N	2,570.79
13	06/11/2017	L1.118	VAEA+ELIM+2SEC+FO	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	68+272	VARCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	2.40	99.32.401W	19.21.664N	2,570.98
14	06/11/2017	L1.117	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	66+704	SIN MARCA VISIBLE	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	2.50	99.33.024W	19.22.92N	2,571.76
15	06/11/2017	L1.116	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	NO EXISTE	SIN MARCA VISIBLE	8	SI	SIN TAPA PROTECTORA DE FLOTADOR	NO EXISTE	NO EXISTE	2.50	99.33.221W	19.22.508N	2,572.14
16	06/11/2017	L1.115	VAEA+ELIM+2SEC+FO	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	64+903	SIN MARCA VISIBLE	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	2.60	99.33.690W	19.23.027N	2,571.82
17	06/11/2017	L1.114	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	63+654	SIN MARCA VISIBLE	8	SI	SIN TAPA PROTECTORA DE FLOTADOR	NO EXISTE	NO EXISTE	2.60	99.34.180W	19.23.518N	2,571.90
18	07/11/2017	L1.113	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	62+209	VARCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	3.40	99.34.865W	19.23.938N	2,571.29
19	07/11/2017	L1.112	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	NO EXISTE	RENVAL	8	SI	SIN TAPA PROTECTORA DE FLOTADOR	NO EXISTE	NO EXISTE	3.40	99.35.122W	19.24.044N	2,571.75

Tabla 5.33 Relación de válvulas levantadas de la línea 1

ID	FECHA	CLAVE DEL ARREGLO	ELEMENTOS DEL ARREGLO	LINEA	TRAMO	CAD. EN CAJA	VAEA 1			VAEA 2			PRESIÓN REGISTRADA kg/cm ²	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		
							MARCA	DIÁMETRO (m)	FUNCIONA	CONDICIONES	MARCA	DIÁMETRO (m)		FUNCIONA	CONDICIONES	LONGITUD
20	07/11/2017	L1 111	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	NO EXISTE	RENVAL	8	SI	SINTAPA PROTECTORA DE FLOTADOR	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	99.35.134W	19 24.050N	2,571.72
21	07/11/2017	L1 110	VAEA+ELIM+2SEC+HO	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	61+616	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	99.35.175W	19 24.066N	2,571.68
22	07/11/2017	L1 109	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	61+402	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	99.35.235W	19 24.089N	2,571.78
23	07/11/2017	L1 108	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	61+481	SIN MARCA VISIBLE	8	SI	SINTAPA PROTECTORA DE FLOTADOR	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	99.35.247W	19 24.095N	2,571.70
24	07/11/2017	L1 107	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	60+470	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	99.35.779W	19 24.300N	2,572.84
25	08/11/2017	L1 106-A	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	NO EXISTE	VAPCO	8	SI	SINTAPA PROTECTORA DE FLOTADOR	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	99.35.881W	19 24.345N	2,572.06
26	08/11/2017	L1 106	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	NO EXISTE	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	99.36.212W	19 24.325N	2,571.87
27	08/11/2017	L1 105	VAEA+ELIM+2SEC+HO	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	58+406	SIN MARCA VISIBLE	8	SI	SINTAPA PROTECTORA DE FLOTADOR	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	99.36.896W	19 24.536N	2,571.98
28	07/11/2017	L1 104	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	NO EXISTE	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	99.36.931W	19 24.525N	2,571.90
29	07/11/2017	L1 103	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	58+150	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	99.37.023W	19 24.604N	2,570.56
30	08/11/2017	L1 102	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	56+691	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	99.37.688W	19 24.241N	2,574.07
31	08/11/2017	L1 101	VAEA+ELIM+2SEC+HO	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	55+853	SIN MARCA VISIBLE	8	SI	SINTAPA PROTECTORA DE FLOTADOR	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	99.37.901W	19 23.868N	2,576.80
32	08/11/2017	L1 100	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	NO EXISTE	SIN MARCA VISIBLE	8	SI	SINTAPA PROTECTORA DE FLOTADOR	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	99.37.905W	19 23.835N	2,576.88
33	08/11/2017	L1 99	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	NO EXISTE	VAPCO	8	SI	SINTAPA PROTECTORA DE FLOTADOR	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	99.37.926W	19 23.794N	2,577.23
34	08/11/2017	L1 98	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	55+745	RENVAL	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	99.37.932W	19 23.782N	2,577.29
35	08/11/2017	L1 97	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	NO EXISTE	SIN MARCA VISIBLE	8	SI	SINTAPA PROTECTORA DE FLOTADOR	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	99.37.967W	19 23.707N	2,577.85
36	08/11/2017	L1 96	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	55+462	RUD	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	99.38.018W	19 23.672N	2,578.27
37	08/11/2017	L1 95	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	54+314	RUD	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	99.38.671W	19 23.627N	2,583.73
38	09/11/2017	L1 94	VAEA+ELIM+2SEC+HO	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	53+233	RUD	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	99.39.191W	19 23.421N	2,584.28
39	09/11/2017	L1 93	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	52+433	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	99.39.191W	19 23.421N	2,584.28
40	09/11/2017	L1 92	VAEA+2ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	52+268	APCO	10	NO	SINTAPA PROTECTORA DE FLOTADOR	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	99.39.448W	19 23.958N	2,599.58
41	09/11/2017	L1 91	VAEA+ELIM+2SEC+HO	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	52+207	RENVAL	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	99.39.448W	19 22.963N	2,602.49
42	09/11/2017	L1 90	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	52+191	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	99.39.448W	19 22.966N	2,603.44

Estudio para restituir y mejorar la capacidad de conducción, mediante un manejo adecuado del aire y optimización del funcionamiento hidráulico, en las líneas 1 y 2 del sistema Cutzamala

Tabla 5.33 Relación de válvulas levantadas de la línea 1

ID	FECHA	CLAVE DEL ARREGLO	ELEMENTOS DEL ARREGLO	LINEA	TRAMO	CAD. EN CAJA	VAEA 1				VAEA 2				PRESIÓN REGISTRADA kg/cm ²	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		
							MARCA	DIÁMETRO (in)	FUNCIONA	CONDICIONES	MARCA	DIÁMETRO (in)	FUNCIONA	CONDICIONES		LONGITUD	LATITUD	ELEVACIÓN
43	09/11/2017	L1 89	2VAEA+2ELIM+2SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	52+055	VAMEX	8	SI	BUENAS	VAMEX	6	SI	BUENAS	99.39.456W	19.22.88N	2,610.90	
44	09/11/2017	L1 88	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	52+038	VAPCO	8	SI	SINTAPA PROTECTORA DE FLOTADOR	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	99.39.460W	19.22.87N	2,611.83	
45	09/11/2017	L1 87	VAEA+ELIM+2SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	NO EXISTE	VAMEX	8	NO SE SABE	SINTAPA PROTECTORA DE FLOTADOR	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	99.39.517W	19.22.87N	2,624.02	
46	09/11/2017	L1 86	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	NO EXISTE	SIN MARCA VISIBLE	8	NO SE SABE	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	99.39.586W	19.22.81N	2,628.48	
47	09/11/2017	L1 85	VAEA+ELIM+2SEC+HO	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	50+599	SIN MARCA VISIBLE	8	SI	SINTAPA PROTECTORA DE FLOTADOR	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	99.40.160W	19.23.08N	2,600.14	
48	09/11/2017	L1 84	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	NO EXISTE	RENVAL	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	99.40.443W	19.23.77N	2,597.33	
49	10/11/2017	L1 83	VAEA+ELIM+2SEC+HO	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	48+625	VAPCO	10	SI	SINTAPA PROTECTORA DE FLOTADOR	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	99.41.043W	19.23.54N	2,604.99	
50	10/11/2017	L1 82	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	47+548	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	99.41.573W	19.23.70N	2,607.26	
51	10/11/2017	L1 81	VAEA+ELIM+2SEC+HO	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	46+872	VAPCO	10	SI	SINTAPA PROTECTORA DE FLOTADOR	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	99.41.754W	19.24.03N	2,606.37	
52	13/11/2017	L1 80	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	NO EXISTE	VAMEX	10	SI	SINTAPA PROTECTORA DE FLOTADOR	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	99.42.390W	19.24.86N	2,593.22	
53	13/11/2017	L1 79	VAEA+ELIM+2SEC+HO	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	43+876	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	99.42.846W	19.25.22N	2,563.07	
54	13/11/2017	L1 78	VAEA+2ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	42+911	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	99.43.331W	19.25.42N	2,590.81	
55	13/11/2017	L1 77	VAEA+ELIM+2SEC+HO	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	41+771	VAPCO	8	SI	SINTAPA PROTECTORA DE FLOTADOR	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	99.43.968W	19.25.51N	2,596.64	
56	14/11/2017	L1 76	VAEA+ELIM+2SEC+HO	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	40+811	SIN MARCA VISIBLE	8	SI	SINTAPA PROTECTORA DE FLOTADOR	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	99.44.514W	19.25.49N	2,593.32	
57	14/11/2017	L1 75	2VAEA+2ELIM+2SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	NO EXISTE	CLAVAL	10	SI	BUENAS	CLAVAL	10	SI	BUENAS	99.44.827W	19.25.46N	2,595.08	
58	14/11/2017	L1 74	2VAEA+2ELIM+2SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	NO EXISTE	CLAVAL	10	SI	BUENAS	CLAVAL	10	SI	BUENAS	99.45.161W	19.25.08N	2,593.44	
59	14/11/2017	L1 73	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	39+037	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	99.45.458W	19.25.40N	2,578.06	
60	14/11/2017	L1 72	VAEA+ELIM+2SEC+HO	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	38+855	SIN MARCA VISIBLE	8	SI	SINTAPA PROTECTORA DE FLOTADOR	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	99.45.563W	19.25.36N	2,581.30	
61	14/11/2017	L1 71-A	2VAEA+3SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	NO EXISTE	DIRKAYA	6	SI	BUENAS	DIRKAYA	6	SI	BUENAS	99.45.785W	19.25.35N	2,591.69	
62	14/11/2017	L1 71	VAEA+ELIM+2SEC+HO	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	38+008	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	99.46.036W	19.25.32N	2,589.04	
63	14/11/2017	L1 70	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	37+640	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	99.46.200W	19.25.46N	2,564.14	
64	14/11/2017	L1 69	VAEA+2ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	37+990	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	99.46.288W	19.25.51N	2,553.55	
65	15/11/2017	L1 68	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	36+703	VAPCO	8	SI	SINTAPA PROTECTORA DE FLOTADOR	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	99.46.641W	19.25.68N	2,577.85	
66	15/11/2017	L1 67	VAEA+ELIM+2SEC+HO	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	36+671	VAPCO	8	SI	SINTAPA PROTECTORA DE FLOTADOR	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	99.46.659W	19.25.68N	2,578.36	

Tabla 5.33 Relación de válvulas levantadas de la línea 1

ID	FECHA	CLAVE DEL ARREGLO	ELEMENTOS DEL ARREGLO	LINEA	TRAMO	CAD. EN CAJA	VAEA 1				VAEA 2				PRESIÓN REGISTRADA kg/cm ²	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		
							MARCA	DIÁMETRO (m)	FUNCIONA	CONDICIONES	MARCA	DIÁMETRO (m)	FUNCIONA	CONDICIONES		LONGITUD	LATITUD	ELEVACIÓN
67	15/11/2017	L1 66	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TUNEL ANÁLICO	36+927	VARCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	5.30	99 47 026W	19 25 666N	2,582.98
68	15/11/2017	L1 65-A	2VAEA+3SEC	L1	TANQUE PERICOS - TUNEL ANÁLICO	NO EXISTE	DIKKAYA	6	SI	BUENAS	DIKKAYA	6	SI	BUENAS	NO SE PUDO MEDIR	99 47 419W	19 25 695N	2,582.88
69	15/11/2017	L1 65	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TUNEL ANÁLICO	35+256	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	5.85	99 47 465W	19 25 696N	2,577.14
70	15/11/2017	L1 64	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TUNEL ANÁLICO	34+866	RENVAL	8	SI	SINTAPA PROTECTORA DE FLOTADOR	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	5.85	99 47 686W	19 25 708N	2,574.23
71	15/11/2017	L1 63	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TUNEL ANÁLICO	34+630	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	6.00	99 47 819W	19 25 722N	2,571.67
72	15/11/2017	L1 62	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TUNEL ANÁLICO	34+299	RENVAL	8	SI	SINTAPA PROTECTORA DE FLOTADOR	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	5.55	99 48 009W	19 25 748N	2,576.59
73	15/11/2017	L1 61	VAEA+ELIM+SEC+TC	L1	TANQUE PERICOS - TUNEL ANÁLICO	33+890	VARCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO SE PUDO MEDIR	99 48 237W	19 25 716N	2,549.05
74	15/11/2017	L1 60	VAEA+ELIM+2SEC+FO	L1	TANQUE PERICOS - TUNEL ANÁLICO	32+455	VARCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	8.40	99 49 048W	19 25 653N	2,553.98
75	15/11/2017	L1 59	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TUNEL ANÁLICO	31+958	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	7.20	99 49 317W	19 25 710N	2,562.99
76	16/11/2017	L1 58-A	2VAEA+3SEC	L1	TANQUE PERICOS - TUNEL ANÁLICO	31+312	DIKKAYA	6	SI	BUENAS	DIKKAYA	6	SI	BUENAS	NO SE PUDO MEDIR	99 49 506W	19 26 072N	2,576.00
77	16/11/2017	L1 58	VAEA+VMEGA+2ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TUNEL ANÁLICO	31+123	VAMEX	8	SI	SINTAPA PROTECTORA DE FLOTADOR	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	6.10	99 49 544W	19 26 102N	2,572.27
78	16/11/2017	L1 57	VAEA+VMEGA+ELIM+2SEC	L1	TANQUE PERICOS - TUNEL ANÁLICO	31+096	VARCO	8	SI	SINTAPA PROTECTORA DE FLOTADOR	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	6.40	99 49 558W	19 26 111N	2,569.42
79	16/11/2017	L1 56-A	2VAEA+3SEC	L1	TANQUE PERICOS - TUNEL ANÁLICO	NO EXISTE	DIKKAYA	6	SI	BUENAS	DIKKAYA	6	SI	BUENAS	NO SE PUDO MEDIR	99 50 248W	19 26 341N	2,577.49
80	16/11/2017	L1 56	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TUNEL ANÁLICO	28+933	VARCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	5.25	99 50 718W	19 26 302N	2,583.47
81	16/11/2017	L1 54	VAEA+VMEGA+ELIM+2SEC+FO	L1	TANQUE PERICOS - TUNEL ANÁLICO	27+740	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	5.00	99 51 390W	19 26 273N	2,588.10
82	16/11/2017	L1 53	VAEA+2ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TUNEL ANÁLICO	27+456	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	6.50	99 51 550W	19 26 292N	2,572.68
83	16/11/2017	L1 52	VAEA+2ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TUNEL ANÁLICO	26+896	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	8.40	99 51 860W	19 26 257N	2,553.60
84	16/11/2017	L1 51	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TUNEL ANÁLICO	26+787	VARCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	8.50	99 51 913W	19 26 227N	2,552.49
85	16/11/2017	L1 49	VAEA+2ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TUNEL ANÁLICO	25+992	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	7.55	99 52 308W	19 26 040N	2,562.26
86	16/11/2017	L1 48	VAEA+ELIM+2SEC	L1	TANQUE PERICOS - TUNEL ANÁLICO	NO EXISTE	VARCO	8	SI	SINTAPA PROTECTORA DE FLOTADOR	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO SE PUDO MEDIR	99 52 381W	19 26 020N	2,567.45
87	16/11/2017	L1 47	SIN INFORMACIÓN	L1	TANQUE PERICOS - TUNEL ANÁLICO	25+939	SIN ACCESO	SIN ACCESO	SIN ACCESO	SIN ACCESO	SIN ACCESO	SIN ACCESO	SIN ACCESO	SIN ACCESO	SIN ACCESO	99 52 673W	19 25 938N	2,556.86
88	16/11/2017	L1 46	VAEA+2ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TUNEL ANÁLICO	24+546	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	7.70	99 53 097W	19 25 744N	2,540.74
89	16/11/2017	L1 45	VAEA+2ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TUNEL ANÁLICO	24+443	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	7.50	99 53 150W	19 25 770N	2,544.05
90	16/11/2017	L1 44	VAEA+ELIM+2SEC+FO	L1	TANQUE PERICOS - TUNEL ANÁLICO	24+971	VARCO	8	SI	SINTAPA PROTECTORA DE FLOTADOR	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	7.50	99 53 188W	19 25 751N	2,566.27

Estudio para restituir y mejorar la capacidad de conducción, mediante un manejo adecuado del aire y optimización del funcionamiento hidráulico, en las líneas 1 y 2 del sistema Cutzamala

Tabla 5.33 Relación de válvulas levantadas de la línea 1

ID	FECHA	CLAVE DEL ARREGLO	ELEMENTOS DEL ARREGLO	LINEA	TRAMO	CAD. EN CAJA	VAEA 1			VAEA 2			PRESIÓN REGISTRADA kg/cm ²	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		
							MARCA	DIÁMETRO (m)	FUNCIONA	CONDICIONES	MARCA	DIÁMETRO (m)		FUNCIONA	CONDICIONES	LONGITUD
91	16/11/2017	L1 43	VAEA+2ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	24+207	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	6.10	99 53.276W	19 25.709N	2,571.71
92	17/11/2017	L1 42	2VAEA+4SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	23+481	DIKKAYA	6	SI	BUENAS	SI	BUENAS	4.50	99 53.539W	19 25.588N	2,594.70
93	17/11/2017	L1 41	VAEA+2ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	23+361	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	6.00	99 53.720W	19 25.599N	2,580.39
94	17/11/2017	L1 40	VAEA+ELIM+2SEC+FO	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	22+156	SIN MARCA VISIBLE	8	SI	SINTAPA PROTECTORA DE FLOTADOR	NO EXISTE	NO EXISTE	7.20	99 54.372W	19 25.722N	2,570.55
95	17/11/2017	L1 39	2VAEA+3SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	21+498	DIKKAYA	6	SI	BUENAS	SI	BUENAS	NO SE PUDO MEDIR	99 54.718W	19 25.708N	2,595.66
96	17/11/2017	L1 38	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	NO EXISTE	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	3.50	99 55.083W	19 25.720N	2,606.44
97	17/11/2017	L1 37	2VAEA+3SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	NO EXISTE	DIKKAYA	6	SI	BUENAS	SI	BUENAS	NO SE PUDO MEDIR	99 55.108W	19 25.723N	2,607.18
98	17/11/2017	L1 36	VAEA+2ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	NO EXISTE	RENVAL	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	3.50	99 55.232W	19 25.739N	2,606.58
99	17/11/2017	L1 35	VAEA+2ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	NO EXISTE	VAMEX	8	NO SE SABE	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO SE PUDO MEDIR	99 55.843W	19 25.981N	2,580.60
100	17/11/2017	L1 34	VAEA+ELIM+2SEC+FO	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	19+330	SIN MARCA VISIBLE	8	SI	SINTAPA PROTECTORA DE FLOTADOR	NO EXISTE	NO EXISTE	5.50	99 55.875W	19 25.991N	2,582.56
101	17/11/2017	L1 32	VAEA+ELIM+2SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	NO EXISTE	VAPCO	8	SI	SINTAPA PROTECTORA DE FLOTADOR	NO EXISTE	NO EXISTE	NO SE PUDO MEDIR	99 56.265W	19 25.981N	2,561.63
102	17/11/2017	L1 31-B	VAEA+2ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	NO EXISTE	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	8.50	99 56.348W	19 25.779N	2,565.21
103	22/11/2017	L1 31-A	2VAEA+3SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	NO EXISTE	DIKKAYA	6	SI	BUENAS	SI	BUENAS	NO SE PUDO MEDIR	99 56.408W	19 25.365N	2,607.56
104	22/11/2017	L1 31	VAEA+ELIM+SEC+TC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	NO EXISTE	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	4.40	99 56.494W	19 25.365N	2,608.80
105	22/11/2017	L1 29	VAEA+ELIM+2SEC+FO	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	16+118	SIN MARCA VISIBLE	8	SI	SINTAPA PROTECTORA DE FLOTADOR	NO EXISTE	NO EXISTE	1.60	99 57.017W	19 25.081N	2,636.57
106	22/11/2017	L1 28	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	NO EXISTE	VAMEX	8	NO SE SABE	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO SE PUDO MEDIR	99 57.109W	19 24.982N	2,652.59
107	22/11/2017	L1 27	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	NO EXISTE	VAMEX	8	NO SE SABE	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO SE PUDO MEDIR	99 57.114W	19 24.975N	2,653.88
108	22/11/2017	L1 26	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	NO EXISTE	VAMEX	8	NO SE SABE	PRESENTA OXIDACIÓN	NO EXISTE	NO EXISTE	NO SE PUDO MEDIR	99 57.124W	19 24.961N	2,656.65
109	22/11/2017	L1 25	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	NO EXISTE	VAMEX	8	NO SE SABE	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO SE PUDO MEDIR	99 57.130W	19 24.969N	2,659.85
110	22/11/2017	L1 24	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	NO EXISTE	VAPCO	8	NO SE SABE	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO SE PUDO MEDIR	99 57.138W	19 24.958N	2,662.57
111	22/11/2017	L1 23	VAEA+ELIM+SEC	L1	TANQUE PERICOS - TÚNEL ANÁLICO	NO EXISTE	SIN MARCA VISIBLE	8	NO SE SABE	SINTAPA PROTECTORA DE FLOTADOR	NO EXISTE	NO EXISTE	NO SE PUDO MEDIR	99 57.147W	19 24.927N	2,665.15
112	22/11/2017	L1 22-A	2VAEA+3SEC	L1	TORRE DE OSCILACION 5 - TANQUE DE SANTA ISABEL	14+452	DIKKAYA	6	SI	BUENAS	SI	BUENAS	NO SE PUDO MEDIR	99 57.673W	19 25.427N	2,626.69
113	22/11/2017	L1 22	2VAEA+4SEC+FO	L1	TORRE DE OSCILACION 5 - TANQUE DE SANTA ISABEL	13+413	DIKKAYA	6	SI	BUENAS	SI	DIKKAYA	NO SE PUDO MEDIR	99 57.951W	19 25.496N	2,637.19
114	22/11/2017	L1 21	VAEA+VMEA+ELIM+SEC	L1	TORRE DE OSCILACION 5 - TANQUE DE SANTA ISABEL	NO EXISTE	RENVAL	8	SI	SINTAPA PROTECTORA DE FLOTADOR	NO EXISTE	NO EXISTE	4.80	99 58.261W	19 25.425N	2,631.70

Tabla 5.33 Relación de válvulas levantadas de la línea 1

ID	FECHA	CLAVE DEL ARREGLO	ELEMENTOS DEL ARREGLO	LINEA	TRAMO	CAD. EN CAJA	VAEA1				VAEA 2				PRESION REGISTRADA kg/cm²	COORDENADAS GEOGRAFICAS		
							MARCA	DIÁMETRO (in)	FUNCIONA	CONDICIONES	MARCA	DIÁMETRO (in)	FUNCIONA	CONDICIONES		LONGITUD	LATITUD	ELEVACION
115	23/11/2017	L1 20	VAEA+ELIM+2SEC	L1	TORRE DE OSCILACION 5 - TANQUE DE SANTA ISABEL	NO EXISTE		SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	7.00	99 59.048W	19 25.292N	2,612.66	
116	23/11/2017	L1 19	VAEA+ELIM+2SEC+FO	L1	TORRE DE OSCILACION 5 - TANQUE DE SANTA ISABEL	11+499	SIN MARCA VISIBLE	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	6.20	99 59.239W	19 25.317N	2,618.22	
117	23/11/2017	L1 18	VAEA+VMEGA+ELIM+SEC	L1	TORRE DE OSCILACION 5 - TANQUE DE SANTA ISABEL	NO EXISTE	RENVAL	NO	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO SE PUDO MEDIR	99 59.435W	19 25.285N	2,619.77	
118	23/11/2017	L1 17	VAEA+ELIM+SEC	L1	TORRE DE OSCILACION 5 - TANQUE DE SANTA ISABEL	10+443	VAPCO	SI	SINTAPA PROTECTORA DE FLOTADOR	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	7.10	99 59.762W	19 25.553N	2,612.24	
119	23/11/2017	L1 16	VAEA+ELIM+SEC	L1	TORRE DE OSCILACION 5 - TANQUE DE SANTA ISABEL	NO EXISTE	VAMEX	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	8.40	100 00.087W	19 25.749N	2,599.01	
120	23/11/2017	L1 15	VAEA+SSSEC+FO	L1	TORRE DE OSCILACION 5 - TANQUE DE SANTA ISABEL	8+414	DIKKAYA	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO SE PUDO MEDIR	100 00.752W	19 25.922N	2,607.49	
121	23/11/2017	L1 14-A	2VAEA+3SEC	L1	TORRE DE OSCILACION 5 - TANQUE DE SANTA ISABEL	5+040	DIKKAYA	SI	BUENAS	DIKKAYA	6	SI	BUENAS	NO SE PUDO MEDIR	100 00.969W	19 25.920N	2,615.92	
122	23/11/2017	L1 14	2VAEA+3SEC	L1	TORRE DE OSCILACION 5 - TANQUE DE SANTA ISABEL	7+198	DIKKAYA	SI	BUENAS	DIKKAYA	6	SI	BUENAS	NO SE PUDO MEDIR	100 01.430W	19 25.872N	2,638.78	
123	23/11/2017	L1 13	VAEA+SEC	L1	TORRE DE OSCILACION 5 - TANQUE DE SANTA ISABEL	6+809	DIKKAYA	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO SE PUDO MEDIR	100 01.585W	19 25.545N	2,646.03	
124	23/11/2017	L1 12	2VAEA+4SEC+FO	L1	TORRE DE OSCILACION 5 - TANQUE DE SANTA ISABEL	5+864	DIKKAYA	SI	BUENAS	DIKKAYA	6	SI	BUENAS	NO SE PUDO MEDIR	100 01.762W	19 25.262N	2,652.44	
125	23/11/2017	L1 11	VAEA+ELIM+SEC	L1	TORRE DE OSCILACION 5 - TANQUE DE SANTA ISABEL	5+581	VAPCO	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	3.60	100 01.814W	19 25.098N	2,645.63	
126	24/11/2017	L1 10-A	2VAEA+3SEC	L1	TORRE DE OSCILACION 5 - TANQUE DE SANTA ISABEL	NO EXISTE	DIKKAYA	SI	BUENAS	DIKKAYA	6	SI	BUENAS	NO SE PUDO MEDIR	100 01.949W	19 24.673N	2,633.24	
127	24/11/2017	L1 10	VAEA+ELIM+SEC	L1	TORRE DE OSCILACION 5 - TANQUE DE SANTA ISABEL	NO EXISTE	SIN MARCA VISIBLE	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	6.00	100 01.923W	19 24.318N	2,627.38	
128		L1 9	VAEA+ELIM+SEC	L1	TORRE DE OSCILACION 5 - TANQUE DE SANTA ISABEL	3+349	SIN MARCA VISIBLE	SI	SINTAPA PROTECTORA DE FLOTADOR	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	9.2	100 02.189W	19 24.008N	2,597.19	
129		L1 8-A	2VAEA+3SEC	L1	TORRE DE OSCILACION 5 - TANQUE DE SANTA ISABEL	NO EXISTE	DIKKAYA	SI	BUENAS	DIKKAYA	6	SI	BUENAS	NO SE PUDO MEDIR	100 02.394W	19 23.790N	2,593.11	
130		L1 8	VAEA+ELIM+SEC	L1	TORRE DE OSCILACION 5 - TANQUE DE SANTA ISABEL	2+461	SIN MARCA VISIBLE	SI	SINTAPA PROTECTORA DE FLOTADOR	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	11	100 02.522W	19 23.659N	2,594.23	
131		L1 7	VAEA+SSSEC+FO	L1	TORRE DE OSCILACION 5 - TANQUE DE SANTA ISABEL	1+938	DIKKAYA	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO SE PUDO MEDIR	100 02.770W	19 23.498N	2,628.02	
132		L1 6	2VAEA+3SEC	L1	TORRE DE OSCILACION 5 - TANQUE DE SANTA ISABEL	1+659	DIKKAYA	SI	BUENAS	DIKKAYA	6	SI	BUENAS	NO SE PUDO MEDIR	100 02.899W	19 23.410N	2,653.75	
133		L1 3	2VAEA+3SEC	L1	TORRE DE OSCILACION 5 - TANQUE DE SANTA ISABEL	1+469	DIKKAYA	SI	BUENAS	DIKKAYA	6	SI	BUENAS	NO SE PUDO MEDIR	100 02.993W	19 23.67N	2,656.78	
134		L1 4-A	2VAEA+3SEC	L1	TORRE DE OSCILACION 5 - TANQUE DE SANTA ISABEL	1+052	DIKKAYA	SI	BUENAS	DIKKAYA	6	SI	BUENAS	NO SE PUDO MEDIR	100 03.224W	19 23.357N	2,665.83	
135		L1 4	VAEA+VMEGA+ELIM+SEC	L1	TORRE DE OSCILACION 5 - TANQUE DE SANTA ISABEL	0+644	RENVAL	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO SE PUDO MEDIR	100 03.464W	19 23.37N	2,667.17	
136		L1 3	VAEA+ELIM+SEC	L1	TORRE DE OSCILACION 5 - TANQUE DE SANTA ISABEL	0+317	VAPCO	SI	SINTAPA PROTECTORA DE FLOTADOR	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	3.4	100 03.643W	19 23.291N	2,664.66	
137		L1 2	VAEA+ELIM+2SEC+FO	L1	TORRE DE OSCILACION 5 - TANQUE DE SANTA ISABEL	0+083	SIN MARCA VISIBLE	SI	SINTAPA PROTECTORA DE FLOTADOR	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	3	100 03.730W	19 23.204N	2,667.41	
138		L1 1	VAEA+SEC	L1	TORRE DE OSCILACION 5 - TANQUE DE SANTA ISABEL	NO EXISTE	VAG	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO SE PUDO MEDIR	100 03.745W	19 23.121N	2,667.64	

Estudio para restituir y mejorar la capacidad de conducción, mediante un manejo adecuado del aire y optimización del funcionamiento hidráulico, en las líneas 1 y 2 del sistema Cutzamala

Tabla 5.34 Relación de válvulas levantadas de la línea 2

ID	FECHA	CLAVE DEL ARREGLO	ELEMENTOS DEL ARREGLO	LINEA	TRAMO	CAD. AUTOTADO	DISTANCIA ENTRE VAJAS	VAEA 1			VAEA 2			PRESIÓN REGISTRADA kg/cm2	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		
								MARCA	DIÁMETRO (m)	FUNCIONA	CONDICIONES	MARCA	DIÁMETRO (in)		FUNCIONA	CONDICIONES	LONGITUD
1	30/10/2017	L2.151	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE PERICOS -TUNEL ANNALCO	76+879	529	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	1.3	99 28.050W	19 20.62N	2,583.14
2	30/10/2017	L2.150	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE PERICOS -TUNEL ANNALCO	76+850	952	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	1.8	99 28.344W	19 20.684N	2,579.13
3	30/10/2017	L2.149	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE PERICOS -TUNEL ANNALCO	75+998	229	REN-VAL	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	2.1	99 28.862W	19 20.700N	2,574.85
4	30/10/2017	L2.148	VAEA+ELIM+SEC+FO	L2	TANQUE PERICOS -TUNEL ANNALCO	75+169	401	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	2.2	99 28.967W	19 20.632N	2,574.44
5	31/10/2017	L2.147	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE PERICOS -TUNEL ANNALCO	74+768	721	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	2.35	99 29.155W	19 20.808N	2,573.96
6	31/10/2017	L2.146	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE PERICOS -TUNEL ANNALCO	74+047	486	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	2.6	99 29.556W	19 20.394N	2,571.61
7	31/10/2017	L2.145	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE PERICOS -TUNEL ANNALCO	73+561	502	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	2.7	99 29.810W	19 20.417N	2,570.13
8	31/10/2017	L2.144	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE PERICOS -TUNEL ANNALCO	73+099	472	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	2.8	99 30.072W	19 20.517N	2,570.16
9	31/10/2017	L2.143	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE PERICOS -TUNEL ANNALCO	72+887	524	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	2.9	99 30.268W	19 20.692N	2,570.30
10	31/10/2017	L2.142	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE PERICOS -TUNEL ANNALCO	72+063	559	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	2.95	99 30.484W	19 20.886N	2,570.00
11	31/10/2017	L2.141	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE PERICOS -TUNEL ANNALCO	71+504	466	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	3	99 30.716W	19 21.094N	2,570.06
12	31/10/2017	L2.140	VAEA+ELIM+SEC+FO	L2	TANQUE PERICOS -TUNEL ANNALCO	71+038	480	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	3.1	99 30.904W	19 21.273N	2,570.05
13	31/10/2017	L2.139	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE PERICOS -TUNEL ANNALCO	70+858	518	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	2.95	99 31.107W	19 21.448N	2,570.75
14	31/10/2017	L2.138	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE PERICOS -TUNEL ANNALCO	70+040	542	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	3.1	99 31.379W	19 21.546N	2,570.69
15	31/10/2017	L2.137	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE PERICOS -TUNEL ANNALCO	69+498	438	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	3	99 31.686W	19 21.884N	2,571.49
16	31/10/2017	L2.136	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE PERICOS -TUNEL ANNALCO	69+060	513	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	3.1	99 31.924W	19 21.615N	2,571.87
17	31/10/2017	L2.135	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE PERICOS -TUNEL ANNALCO	68+547	203	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	3.15	99 32.208W	19 21.682N	2,571.02
18	06/11/2017	L2.134	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE PERICOS -TUNEL ANNALCO	68+944	40	RUD	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	2.5	99 32.316W	19 21.676N	2,570.36
19	06/11/2017	L2.133	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE PERICOS -TUNEL ANNALCO	68+904	213	RUD	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	2.65	99 32.333W	19 21.662N	2,570.55
20	06/11/2017	L2.132	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE PERICOS -TUNEL ANNALCO	68+091	449	REN-VAL	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	2.85	99 32.433W	19 21.717N	2,571.06
21	06/11/2017	L2.131	VAEA+ELIM+SEC+FO	L2	TANQUE PERICOS -TUNEL ANNALCO	67+642	531	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	2.85	99 32.618W	19 21.885N	2,571.41
22	06/11/2017	L2.130	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE PERICOS -TUNEL ANNALCO	67+111	448	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	2.85	99 32.838W	19 22.083N	2,571.33
23	06/11/2017	L2.129	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE PERICOS -TUNEL ANNALCO	66+663	554	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO SE PUDO MEDIR	99 32.997W	19 22.272N	2,571.76
24	06/11/2017	L2.128	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE PERICOS -TUNEL ANNALCO	66+109	441	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	2.9	99 33.204W	19 22.499N	2,572.13
25	06/11/2017	L2.127	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE PERICOS -TUNEL ANNALCO	65+668	538	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	2.9	99 33.366W	19 22.683N	2,571.87
26	06/11/2017	L2.126	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE PERICOS -TUNEL ANNALCO	65+130	446	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	3	99 33.565W	19 22.908N	2,571.78
27	06/11/2017	L2.125	VAEA+ELIM	L2	TANQUE PERICOS -TUNEL ANNALCO	64+684	560	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	3.1	99 33.735W	19 23.085N	2,571.82

Tabla 5.34 Relación de válvulas levantadas de la línea 2

ID	FECHA	CLAVE DEL ARREGLO	ELEMENTOS DEL ARREGLO	LINEA	TRAMO	CAD. AJUSTADO	DISTANCIA ENTRE VAJAS	VAEA 1			VAEA 2			PRESIÓN REGISTRO TRADA	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		
								MARCA	DIÁMETRO (in)	FUNCIONA	CONDICIONES	MARCA	DIÁMETRO (in)		FUNCIONA	CONDICIONES	LONGITUD
28	06/11/2017	L2.124	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE PERICOS - TUNEL ANNALCO	64+124	493	REN-VAL	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	3.1	99 33.952W	19 23.309N	2,571.68
29	06/11/2017	L2.123	VAEA+ELIM+SEC+FO	L2	TANQUE PERICOS - TUNEL ANNALCO	63+631	371	VAMEX	8	NO	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO SE PUDO MEDIR	99 34.150W	19 23.499N	2,571.82
30	07/11/2017	L2.122	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE PERICOS - TUNEL ANNALCO	63+260	580	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	3.5	99 34.298W	19 23.642N	2,571.74
31	07/11/2017	L2.121	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE PERICOS - TUNEL ANNALCO	62+680	437	REN-VAL	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	3.6	99 34.568W	19 23.822N	2,572.11
32	07/11/2017	L2.120	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE PERICOS - TUNEL ANNALCO	62+243	544	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	3.8	99 34.801W	19 23.916N	2,571.21
33	07/11/2017	L2.119	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE PERICOS - TUNEL ANNALCO	61+699	419	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	3.8	99 35.085W	19 24.035N	2,571.71
34	07/11/2017	L2.118	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE PERICOS - TUNEL ANNALCO	61+280	524	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	3.9	99 35.306W	19 24.122N	2,571.62
35	07/11/2017	L2.117	VAEA+ELIM+SEC+FO	L2	TANQUE PERICOS - TUNEL ANNALCO	60+756	561	VAMEX	8	NO	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	3.6	99 35.583W	19 24.230N	2,572.18
36	07/11/2017	L2.116	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE PERICOS - TUNEL ANNALCO	60+195	460	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	3.95	99 35.878W	19 24.347N	2,572.07
37	07/11/2017	L2.115	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE PERICOS - TUNEL ANNALCO	59+235	624	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	4	99 36.142W	19 24.348N	2,571.56
38	07/11/2017	L2.114	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE PERICOS - TUNEL ANNALCO	59+111	506	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	3.9	99 36.487W	19 24.373N	2,571.99
39	07/11/2017	L2.113	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE PERICOS - TUNEL ANNALCO	58+605	534	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	4	99 36.751W	19 24.485N	2,572.08
40	07/11/2017	L2.112	No se realizó por embargo de abajats			58+071	867			NO	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE				
41	08/11/2017	L2.111	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE PERICOS - TUNEL ANNALCO	57+204	244	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	4.1	99 37.428W	19 24.446N	2,571.91
42	08/11/2017	L2.110	VAEA+ELIM+SEC+FO	L2	TANQUE PERICOS - TUNEL ANNALCO	56+960	1176	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	4.15	99 37.526W	19 24.352N	2,572.43
43	08/11/2017	L2.109	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE PERICOS - TUNEL ANNALCO	55+784	1036	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	3.6	99 37.914W	19 23.868N	2,576.87
44	08/11/2017	L2.108	VAEA+ELIM+SEC+FO	L2	TANQUE PERICOS - TUNEL ANNALCO	54+748	408	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	3.65	99 38.382W	19 23.660N	2,582.71
45	08/11/2017	L2.107	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE PERICOS - TUNEL ANNALCO	54+340	928	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	3.75	99 38.614W	19 23.645N	2,584.10
46	08/11/2017	L2.106	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE PERICOS - TUNEL ANNALCO	53+412	446	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	3.55	99 39.105W	19 23.460N	2,583.25
47	08/11/2017	L2.105	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE PERICOS - TUNEL ANNALCO	52+966	336	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	3.45	99 39.344W	19 23.380N	2,585.34
48	09/11/2017	L2.104	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE PERICOS - TUNEL ANNALCO	52+630	438	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	3.2	99 39.456W	19 23.251N	2,587.41
49	09/11/2017	L2.103	VAEA+ELIM+SEC+FO	L2	TANQUE PERICOS - TUNEL ANNALCO	52+192	80	REN-VAL	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	2.1	99 39.458W	19 23.014N	2,598.84
50	09/11/2017	L2.102	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE PERICOS - TUNEL ANNALCO	52+112	64	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	1.7	99 39.457W	19 22.971N	2,602.85
51	09/11/2017	L2.101	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE PERICOS - TUNEL ANNALCO	52+048	83	SIN MARCA VISIBLE	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	1.45	99 39.459W	19 22.950N	2,605.77
52	09/11/2017	L2.100	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE PERICOS - TUNEL ANNALCO	51+965	84	SIN MARCA VISIBLE	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO SE PUDO MEDIR	99 39.470W	19 22.892N	2,611.16
53	09/11/2017	L2.99	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE PERICOS - TUNEL ANNALCO	51+881	69	REN-VAL	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO SE PUDO MEDIR	99 39.495W	19 22.855N	2,618.61

Estudio para restituir y mejorar la capacidad de conducción, mediante un manejo adecuado del aire y optimización del funcionamiento hidráulico, en las líneas 1 y 2 del sistema Cutzamala

Tabla 5.34 Relación de válvulas levantadas de la línea 2

ID	FECHA	CLAVE DEL ARREGLO	ELEMENTOS DEL ARREGLO	LINEA	TRAMO	CAD. AUISTADO	DISTANCIA ENTRE VAJAS	MARCA	VAEA 1			VAEA 2			COORDENADAS GEOGRAFICAS		
									DIÁMETRO (m)	FUNCIONA	CONDICIONES	MARCA	DIÁMETRO (m)	FUNCIONA	CONDICIONES	PRESIÓN REGISTRO	LONGITUD
54	09/11/2017	L298	VAEA-ELIM+SEC	L2	TANQUE PERICOS - TUNEL ANÁLICO	51+812	103	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	99 39.528W	19 22.832N	2,623.37
55	09/11/2017	L297	VAEA-ELIM+SEC	L2	TANQUE PERICOS - TUNEL ANÁLICO	51+709	972	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	99 39.586W	19 22.825N	2,628.49
56	09/11/2017	L295	VAEA-ELIM+SEC+CHO	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL - TANQUE PERICOS	50+737	31	SIN MARCA VISIBLE	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	2.8	99 40.069W	19 23.035N	2,599.20
57	09/11/2017	L294	VAEA-2ELIM+SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL - TANQUE PERICOS	50+706	1095	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	2.9	99 40.087W	19 23.038N	2,599.67
58	09/11/2017	L293	VAEA-ELIM+SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL - TANQUE PERICOS	49+611	273	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	3.1	99 40.463W	19 23.396N	2,597.35
59	09/11/2017	L292	VAEA-ELIM+SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL - TANQUE PERICOS	49+338	227	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	3.3	99 40.616W	19 23.442N	2,596.81
60	10/11/2017	L291	VAEA-2ELIM+SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL - TANQUE PERICOS	49+111	161	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	3.1	99 40.799W	19 23.480N	2,600.75
61	10/11/2017	L290	VAEA-ELIM+SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL - TANQUE PERICOS	48+950	153	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	2.9	99 40.856W	19 23.500N	2,602.48
62	10/11/2017	L289	VAEA-ELIM+SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL - TANQUE PERICOS	48+797	239	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	2.8	99 40.923W	19 23.517N	2,603.58
63	10/11/2017	L288	VAEA-ELIM+SEC+CHO	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL - TANQUE PERICOS	48+558	378	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	2.85	99 41.045W	19 23.542N	2,605.00
64	10/11/2017	L287	VAEA-ELIM+SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL - TANQUE PERICOS	48+180	615	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	2.65	99 41.259W	19 23.575N	2,603.84
65	10/11/2017	L286	VAEA-ELIM+SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL - TANQUE PERICOS	47+565	253	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	99 41.553W	19 23.684N	2,607.58
66	10/11/2017	L285	VAEA-ELIM+SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL - TANQUE PERICOS	47+312	273	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	2.55	99 41.619W	19 23.806N	2,606.90
67	10/11/2017	L284	VAEA-ELIM+SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL - TANQUE PERICOS	47+039	676	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	2.5	99 41.686W	19 23.939N	2,607.18
68	10/11/2017	L283	VAEA-ELIM+SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL - TANQUE PERICOS	46+563	544	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	2.5	99 41.892W	19 24.248N	2,606.10
69	10/11/2017	L282	VAEA-ELIM+SEC+CHO	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL - TANQUE PERICOS	45+819	364	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	2.75	99 42.067W	19 24.492N	2,606.91
70	13/11/2017	L281	VAEA-ELIM+SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL - TANQUE PERICOS	45+455	496	SIN MARCA VISIBLE	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	3.5	99 42.197W	19 24.646N	2,603.69

Tabla 5.34 Relación de válvulas levantadas de la línea 2

ID	FECHA	CLAVE DEL ARREGLO	ELEMENTOS DEL ARREGLO	LINEA	TRAMO	CAD. AUTOTADO	DISTANCIA ENTRE VAJAS	VAEA 1			VAEA 2			COORDENADAS GEOGRÁFICAS			
								MARCA	DIÁMETRO (m)	FUNCIONA	CONDICIONES	MARCA	DIÁMETRO (in)	FUNCIONA	CONDICIONES	PRESIÓN REGISTRADA kg/cm2	LONGITUD
71	13/11/2017	L2.80	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERCOS	44+059	709	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	3.8	99 42.371W	19 24.858N	2,594.06
72	13/11/2017	L2.79	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERCOS	44+250	227	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	4.2	99 42.636W	19 25.146N	2,587.09
73	13/11/2017	L2.78	VAEA+ELIM+SEC+HO	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERCOS	44+023	287	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	3.9	99 42.744W	19 25.214N	2,593.49
74	13/11/2017	L2.77	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERCOS	43+736	669	RENVAL	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	3.5	99 42.896W	19 25.273N	2,581.66
75	13/11/2017	L2.76	VAEA+ELIM+SEC+HO	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERCOS	43+067	1354	SIN MARCA	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	4.1	99 43.221W	19 25.416N	2,592.57
76	13/11/2017	L2.75	VAEA+2ELIM+SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERCOS	41+713	388	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	3.95	99 43.963W	19 25.524N	2,596.72
77	13/11/2017	L2.74	VAEA+ELIM+SEC+HO	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERCOS	41+355	445	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	4	99 44.167W	19 25.520N	2,593.90
78	13/11/2017	L2.73	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERCOS	40+910	229	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	4.5	99 44.421W	19 25.514N	2,594.90
79	14/11/2017	L2.72	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERCOS	40+681	168	RENVAL	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	4.3	99 44.550W	19 25.497N	2,592.85
80	14/11/2017	L2.71	VAEA+ELIM+SEC+HO	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERCOS	40+513	880	RENVAL	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	3.9	99 44.644W	19 25.476N	2,594.29
81	14/11/2017	L2.70	VAEA+2ELIM+SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERCOS	39+633	575	RUD	14	SI	BUENAS	RUD	SI	NO SE PUDO MEDIR	99 45.167W	19 25.511N	2,593.37
82	14/11/2017	L2.69	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERCOS	39+058	482	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	5.5	99 45.413W	19 25.411N	2,577.02
83	14/11/2017	L2.68	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERCOS	38+576	178	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	4.5	99 45.686W	19 25.384N	2,590.00
84	14/11/2017	L2.67	VAEA+ELIM+SEC+HO	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERCOS	38+198	213	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	4.4	99 45.786W	19 25.365N	2,591.69
85	14/11/2017	L2.66	VAEA+2ELIM+SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERCOS	38+185	186	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	4.8	99 45.905W	19 25.341N	2,588.30
86	14/11/2017	L2.65	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERCOS	37+999	64	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	5	99 46.013W	19 25.323N	2,589.70

Estudio para restituir y mejorar la capacidad de conducción, mediante un manejo adecuado del aire y optimización del funcionamiento hidráulico, en las líneas 1 y 2 del sistema Cutzamala

Tabla 5.34 Relación de válvulas levantadas de la línea 2

ID	FECHA	CLAVE DEL ARREGLO	ELEMENTOS DEL ARREGLO	LINEA	TRAMO	CAD. AUTOTADO	DISTANCIA ENTRE VAJAS	VAEA 1			VAEA 2			PRESIÓN REGISTRO	COORDENADAS GEOGRÁFICAS			
								MARCA	DIÁMETRO (m)	FUNCIONA	CONDICIONES	MARCA	DIÁMETRO (in)		FUNCIONA	CONDICIONES	LONGITUD	LATITUD
87	14/11/2017	L2.64	VAEA+2ELIM+SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERCOS	37+935	161	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	4.9	99 46.050W	19 25.325N	2,587.98	
88	14/11/2017	L2.63	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERCOS	37+774	847	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	6.6	99 46.128W	19 25.367N	2,577.38	
89	15/11/2017	L2.62	VAEA+2ELIM+SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERCOS	36+927	289	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	8.1	99 46.488W	19 25.642N	2,581.72	
90	15/11/2017	L2.61	2VAEA+SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERCOS	36+638	263	DIRKAYA	6	SI	BUENAS	DIRKAYA	SI	BUENAS	NO SE PUDO MEDIR	99 46.449W	19 25.647N	2,559.89
91	15/11/2017	L2.60	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERCOS	36+375	400	SIN MARCA VISIBILE	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	6	99 46.803W	19 25.656N	2,581.57	
92	15/11/2017	L2.59	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERCOS	35+975	700	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	5	99 47.031W	19 25.673N	2,582.78	
93	15/11/2017	L2.58	VAEA+VME+GA+ELIM+SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERCOS	35+275	460	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	5.9	99 47.429W	19 25.705N	2,582.46	
94	15/11/2017	L2.57	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERCOS	34+815	236	SIN MARCA VISIBILE	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	5.9	99 47.692W	19 25.713N	2,574.90	
95	15/11/2017	L2.56	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERCOS	34+579	326	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	5.4	99 47.823W	19 25.732N	2,571.45	
96	15/11/2017	L2.55	VAEA+VME+GA+ELIM+SEC+FO	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERCOS	34+253	1857	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	5.5	99 48.010W	19 25.757N	2,576.59	
97	15/11/2017	L2.54A	VAEA+2ELIM+SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERCOS	32+596	1	RENVAL	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	9	99 49.060W	19 25.665N	2,554.21	
98	15/11/2017	L2.54	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERCOS	32+395	211	SIN MARCA VISIBILE	8	NO	MALAS	NO EXISTE	NO EXISTE	9.15	99 49.060W	19 25.665N	2,554.21	
99	15/11/2017	L2.53	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERCOS	32+184	843	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	99 49.181W	19 25.674N	2,556.08
100	16/11/2017	L2.52	2VAEA+3SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERCOS	31+341	1556	DIRKAYA	6	SI	BUENAS	DIRKAYA	SI	BUENAS	NO SE PUDO MEDIR	99 49.455W	19 26.010N	2,576.78
101	16/11/2017	L2.51	2VAEA+3SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERCOS	29+785	881	DIRKAYA	6	SI	BUENAS	DIRKAYA	SI	BUENAS	NO SE PUDO MEDIR	99 50.221W	19 26.548N	2,577.90
102	16/11/2017	L2.50A	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERCOS	28+904	1	RENVAL	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	6	99 50.715W	19 26.313N	2,583.48	
103	16/11/2017	L2.50	VAEA+VME+GA+ELIM+SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERCOS	28+903	1169	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	99 50.715W	19 26.313N	2,583.48
104	16/11/2017	L2.49	VAEA+VME+GA+ELIM+SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERCOS	27+734	465	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	5.1	99 51.373W	19 26.281N	2,587.79	

Tabla 5.34 Relación de válvulas levantadas de la línea 2

ID	FECHA	CLAVE DEL ARREGLO	ELEMENTOS DEL ARREGLO	LINEA	TRAMO	CAD. AJUSTADO	DISTANCIA ENTRE VÁLVULAS	VÁLVULA 1			VÁLVULA 2			COORDENADAS GEOGRÁFICAS				
								MARCA	DIÁMETRO (in)	FUNCIONA	CONDICIONES	MARCA	DIÁMETRO (in)	FUNCIONA	CONDICIONES	LONGITUD	LATITUD	ELEVACIÓN
105	16/11/2017	L2.48	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERICOS	27+269	1424	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	8.4	99 51.638W	19 26.307N	2,565.30	
106	16/11/2017	L2.47	VAEA+ELIM+SEC+FO	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERICOS	25+845	1501	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	8.45	99 52.382W	19 26.032N	2,567.38	
107	16/11/2017	L2.46	VAEA+ELIM+SEC+TC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERICOS	24+944	767	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	8.9	99 53.188W	19 25.765N	2,566.14	
108	17/11/2017	L2.45	2VAEA+3SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERICOS	2+3577	824	DIRKAYA	6	SI	BUENAS	DIRKAYA	SI	BUENAS	NO SE PUDO MEDIR	99 53.584W	19 25.592N	2,595.30
109	17/11/2017	L2.44	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERICOS	22+753	1313	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	8.5	99 54.043W	19 25.608N	2,569.23	
110	17/11/2017	L2.43	2VAEA+3SEC+FO	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERICOS	21+440	725	DIRKAYA	6	SI	BUENAS	DIRKAYA	SI	BUENAS	NO SE PUDO MEDIR	99 54.740W	19 25.784N	2,596.05
111	17/11/2017	L2.42	2VAEA+3SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERICOS	20+715	509	DIRKAYA	6	SI	BUENAS	DIRKAYA	SI	BUENAS	NO SE PUDO MEDIR	99 55.133W	19 25.738N	2,607.95
112	17/11/2017	L2.41	VAEA+VME-GA+ELIM+SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERICOS	20+206	898	REN-VAL	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	4.5	99 55.408W	19 25.805N	2,601.61	
113	17/11/2017	L2.40	VAEA+ELIM+SEC+FO	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERICOS	19+308	1539	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	7.85	99 55.873W	19 26.001N	2,582.38	
114	17/11/2017	L2.39	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERICOS	17+769	619	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	8.8	99 56.315W	19 25.883N	2,574.01	
115	22/11/2017	L2.38	VAEA+SEC+VME-GA+FO	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERICOS	17+150	1009	DIRKAYA	6	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO SE PUDO MEDIR	99 56.482W	19 25.855N	2,608.71	
116	22/11/2017	L2.37	VAEA+ELIM+SEC+FO	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERICOS	16+141	229	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	2.5	99 56.996W	19 25.117N	2,633.44	
117	22/11/2017	L2.36	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERICOS	15+912	61	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	1.8	99 57.088W	19 25.028N	2,647.45	
118	22/11/2017	L2.35	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERICOS	15+851	61	VAMEX	10	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	1.5	99 57.109W	19 25.002N	2,651.60	
119	22/11/2017	L2.34	VAEA+ELIM+SEC+FO	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERICOS	15+790	54	VAMEX	10	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	1.2	99 57.129W	19 24.974N	2,656.46	
120	22/11/2017	L2.33A	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERICOS	15+736	1	VAMEX	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	0.4	99 57.144W	19 24.948N	2,661.84	
121	22/11/2017	L2.33	VAEA+ELIM+SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL -TANQUE PERICOS	15+735	18	REN-VAL	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	0.4	99 57.144W	19 24.948N	2,661.84	

Estudio para restituir y mejorar la capacidad de conducción, mediante un manejo adecuado del aire y optimización del funcionamiento hidráulico, en las líneas 1 y 2 del sistema Cutzamala

Tabla 5.34 Relación de válvulas levantadas de la línea 2

ID	FECHA	CLAVE DEL ARREGIO	ELEMENTOS DEL ARREGIO	LINEA	TRAMO	CAD.ALU-S-TADO	DISTANCIA ENTRE VALVAS	VAEA 1			VAEA 2			PRESIÓN REGISTRADA kg/cm2	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		
								MAR-CA	DIÁMETRO (in)	FUNCIONA	CONDICIONES	MARCA	DIÁMETRO (in)		FUNCIONA	CONDICIONES	LONGITUD
122	22/11/2017	L2.32	VAEA+VME-GA+HELM+SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL 5 - TANQUE DE PERCOS	15+717	51	APCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO SE PUDO MEDIR	99 57.149W	19 24.940N	2.663.59
123	22/11/2017	L2.31	VAEA+VME-GA+HELM+SEC	L2	TANQUE DE SANTA ISABEL 5 - TANQUE DE PERCOS	15+666	1298	APCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO SE PUDO MEDIR	99 57.170W	19 24.923N	2.672.79
124	22/11/2017	L2.30	2VAEA+3SEC	L2	TORRE DE OSCILACIÓN 5 - TANQUE DE SANTA ISABEL	14+568	602	DIRKAYA	6	SI	BUENAS	SI	BUENAS	NO SE PUDO MEDIR	99 57.667W	19 25.438N	2.626.67
125	22/11/2017	L2.29	VAEA+HELM+SEC	L2	TORRE DE OSCILACIÓN 5 - TANQUE DE SANTA ISABEL	13+766	320	VAPCO	8	SI	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	3.2	99 57.970W	19 25.503N	2.637.35
126	22/11/2017	L2.28A	VAEA+HELM+SEC	L2	TORRE DE OSCILACIÓN 5 - TANQUE DE SANTA ISABEL	13+446	1	VAPCO	8	SI	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	3.7	99 58.150W	19 25.462N	2.628.84
127	22/11/2017	L2.28	VAEA+HELM+SEC	L2	TORRE DE OSCILACIÓN 5 - TANQUE DE SANTA ISABEL	13+445	245	VAPCO	8	SI	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO SE PUDO MEDIR	99 58.150W	19 25.462N	2.628.84
1/28	22/11/2017	L2.27	VAEA+HELM+SEC+HO	L2	TORRE DE OSCILACIÓN 5 - TANQUE DE SANTA ISABEL	13+200	1108	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	3.6	99 58.284W	19 25.438N	2.631.91
129	23/11/2017	L2.26	VAEA+HELM+SEC	L2	TORRE DE OSCILACIÓN 5 - TANQUE DE SANTA ISABEL	12+092	223	VAPCO	8	SI	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	5.5	99 58.901W	19 25.294N	2.604.48
130	23/11/2017	L2.25-1	INCLUIDA EN L2 25-2VAEA+3SEC+HO	L2	TORRE DE OSCILACIÓN 5 - TANQUE DE SANTA ISABEL	11+869	386	NO EXISTE	8	NO SE SABE		NO EXISTE	NO EXISTE	NO SE PUDO MEDIR	99 59.028W	19 25.297N	2.612.34
131	23/11/2017	L2.24	VAEA+HELM+SEC	L2	TORRE DE OSCILACIÓN 5 - TANQUE DE SANTA ISABEL	11+483	384	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	4.6	99 59.244W	19 25.326N	2.619.85
132	23/11/2017	L2.23	VAEA+HELM+SEC	L2	TORRE DE OSCILACIÓN 5 - TANQUE DE SANTA ISABEL	11+099	497	VAPCO	8	SI	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	5.2	99 59.488W	19 25.301N	2.618.58
133	23/11/2017	L2.22A	VAEA+HELM+SEC	L2	TORRE DE OSCILACIÓN 5 - TANQUE DE SANTA ISABEL	10+602	614	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	5.8	99 59.632W	19 25.506N	2.613.07
134	23/11/2017	L2.22	VAEA+HELM+SEC	L2	TORRE DE OSCILACIÓN 5 - TANQUE DE SANTA ISABEL	10+602	613	VAPCO	8	SI	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	5.8	99 59.632W	19 25.506N	2.613.07
135	23/11/2017	L2.21	VAEA+HELM+SEC+HO	L2	TORRE DE OSCILACIÓN 5 - TANQUE DE SANTA ISABEL	9+989	196	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	6.7	99 59.935W	19 25.638N	2.603.51
136	23/11/2017	L2.20	VAEA+HELM+SEC	L2	TORRE DE OSCILACIÓN 5 - TANQUE DE SANTA ISABEL	9+793	755	VAPCO	8	SI	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	7.9	100 00.018W	19 25.706N	2.600.80
137	23/11/2017	L2.19	VAEA+HELM+SEC	L2	TORRE DE OSCILACIÓN 5 - TANQUE DE SANTA ISABEL	9+038	597	VAPCO	8	SI	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	8.6	100 00.395W	19 25.898N	2.595.23
138	23/11/2017	L2.18	VAEA+2SEC	L2	TORRE DE OSCILACIÓN 5 - TANQUE DE SANTA ISABEL	8+441	990	DIRKAYA	6	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO SE PUDO MEDIR	100 00.732W	19 25.954N	2.606.65

Tabla 5.34 Relación de válvulas levantadas de la línea 2

ID	FECHA	CLAVE DEL ARREGLO	ELEMENTOS DEL ARREGLO	LINEA	TRAMO	CAD. AUTOTADO	DISTANCIA ENTRE VAJAS	VAEA 1			VAEA 2				PRESIÓN REGISTRADA			COORDENADAS GEOGRÁFICAS		
								MARCA	DIÁMETRO (m)	FUNCIONA	CONDICIONES	MARCA	DIÁMETRO (in)	FUNCIONA	CONDICIONES	kg/cm2	LONGITUD	LATITUD	ELEVACIÓN	
139	23/11/2017	L2.17	VAEA+2SEC	L2	TORRE DE OSCILACIÓN 5 - TANQUE DE SANTA ISABEL	7+451	293	DIRKAYA	6	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO SE PUDO MEDIR	100 01.290W	19 25.928N	2,631.50		
140	23/11/2017	L2.16	2VAEA+3SEC	L2	TORRE DE OSCILACIÓN 8 - TANQUE DE SANTA ISABEL	7+158	735	DIRKAYA	6	SI	BUENAS	SI	BUENAS	NO SE PUDO MEDIR	100 01.449W	19 25.877N	2,640.71			
141	23/11/2017	L2.15	VAEA+2SEC	L2	TORRE DE OSCILACIÓN 8 - TANQUE DE SANTA ISABEL	6+423	165	DIRKAYA	6	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO SE PUDO MEDIR	100 01.605W	19 25.517N	2,646.95			
142	23/11/2017	L2.14	SIN ACCESO	L2	TORRE DE OSCILACIÓN 8 - TANQUE DE SANTA ISABEL	6+258	453	SIN ACCESO	6	SIN ACCESO	SIN ACCESO	SIN ACCESO	SIN ACCESO	SIN ACCESO	100 01.636W	19 25.433N	2,648.02			
143	23/11/2017	L2.13A	VAEA+SEC	L2	TORRE DE OSCILACIÓN 8 - TANQUE DE SANTA ISABEL	5+805	1	DIRKAYA	6	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO SE PUDO MEDIR	100 01.780W	19 25.227N	2,655.26			
144	23/11/2017	L2.13	VAEA+SEC	L2	TORRE DE OSCILACIÓN 8 - TANQUE DE SANTA ISABEL	5+804	212	DIRKAYA	6	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	100 01.780W	19 25.227N	2,655.26			
145	23/11/2017	L2.12	VAEA+ELIM+SEC	L2	TORRE DE OSCILACIÓN 8 - TANQUE DE SANTA ISABEL	5+592	517	VAMEX	8	SI	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	100 01.817W	19 25.119N	2,651.09			
146	23/11/2017	L2.11	VAEA+ELIM+SEC+FO	L2	TORRE DE OSCILACIÓN 8 - TANQUE DE SANTA ISABEL	5+075	344	SIN MARCA VISIBILE	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	100 01.906W	19 24.852N	2,631.78			
147	24/11/2017	L2.10	VAEA+ELIM+SEC	L2	TORRE DE OSCILACIÓN 8 - TANQUE DE SANTA ISABEL	4+731	469	APCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	100 01.958W	19 24.672N	2,644.42			
148	24/11/2017	L2.9	VAEA+ELIM+SEC	L2	TORRE DE OSCILACIÓN 8 - TANQUE DE SANTA ISABEL	4+262	278	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	100 01.925W	19 24.421N	2,631.45			
149	24/11/2017	L2.8	VAEA+ELIM+SEC	L2	TORRE DE OSCILACIÓN 8 - TANQUE DE SANTA ISABEL	3+984	695	APCO	8	SI	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	100 01.953W	19 24.276N	2,631.92			
150	24/11/2017	L2.7	VAEA+ELIM+SEC+FO	L2	TORRE DE OSCILACIÓN 8 - TANQUE DE SANTA ISABEL	3+289	469	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	100 02.218W	19 23.998N	2,596.34			
151	24/11/2017	L2.6	VAEA+ELIM+SEC	L2	TORRE DE OSCILACIÓN 8 - TANQUE DE SANTA ISABEL	2+820	224	VAPCO	8	SI	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	100 02.475W	19 23.714N	2,589.04			
152	24/11/2017	L2.5	NO LOCALIZADA	L2	TORRE DE OSCILACIÓN 8 - TANQUE DE SANTA ISABEL	2+596	894	NO SE PUDO UBICAR	NO SE PUDO UBICAR	NO SE PUDO UBICAR	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO SE PUDO UBICAR	NO SE PUDO UBICAR	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	
153	24/11/2017	L2.4A	VAEA+2SEC	L2	TORRE DE OSCILACIÓN 8 - TANQUE DE SANTA ISABEL	1+702	542	DIRKAYA	6	SI	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	100 02.891W	19 23.433N	2,645.86	BUENAS		
154	24/11/2017	L2.4	VAEA+SEC	L2	TORRE DE OSCILACIÓN 8 - TANQUE DE SANTA ISABEL	1+702	542	DIRKAYA	6	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	100 02.891W	19 23.433N	2,645.86	BUENAS		
155	24/11/2017	L2.3	2VAEA+3SEC	L2	TORRE DE OSCILACIÓN 8 - TANQUE DE SANTA ISABEL	1+160	1089	DIRKAYA	6	SI	BUENAS	SI	BUENAS	NO EXISTE	100 03.181W	19 23.366N	2,665.76			
156	24/11/2017	L2.2	VAEA+ELIM+SEC	L2	TORRE DE OSCILACIÓN 8 - TANQUE DE SANTA ISABEL	0+071	66	VAPCO	8	SI	BUENAS	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	100 03.739W	19 23.202N	2,667.43			
157	24/11/2017	L2.1	VAEA+ELIM+SEC	L2	TORRE DE OSCILACIÓN 8 - TANQUE DE SANTA ISABEL	0+005	5	RENVAL	10	NO SE SABE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE	100 03.748W	19 23.167N	2,667.64			

5.5.2.4. Levantamiento de presiones en caja de VAEAS

Durante los levantamientos de cajas de válvulas, en algunos sitios se pudo registrar la presión, se realizó conjuntamente con personal del OCAVAM e IMTA. En este caso se indica el total de presiones registradas, desde la Torre de Oscilación 5 al Túnel Análco, de las tres conducciones de abastecimiento.

En la línea 1, se levantaron 138 válvulas, de las cuales en el 68% de las cajas de válvulas se midieron las presiones, y el 32% no se pudo registrar la presión.

En la línea 2, se levantaron 157 válvulas, de las cuales el 79% de las cajas de válvulas se midieron presiones, y el 21% no se pudo registrar.

Sumando un total de 295 cajas de válvulas entre la línea 1 y Línea 2, determinándose que en el 74 %, se cuenta con un registro de presiones y un 26% que no se pudo medir en algunas cajas. Los resultados se muestran en la Tabla 5.35 de la Línea 1 y Línea 2. En las Tabla 5.33 y Tabla 5.34 se muestran sus cadenamientos entre una y otra y sus coordenadas de ubicación; en la Ilustración 5.194, se muestra en planta la ubicación de las cajas donde se registró la presión en la Línea 2.

Tabla 5.35 Levantamiento de presiones en cajas de válvulas Líneas 1 y 2

Total de presiones levantadas	L1	(%)	L2	(%)	TOTAL	(%)
No. total de cajas de válvulas	94	68	124	79	218	74
No. total presiones registradas	44	32	33	21	77	26
TOTAL	138	100%	157	100%	295	100

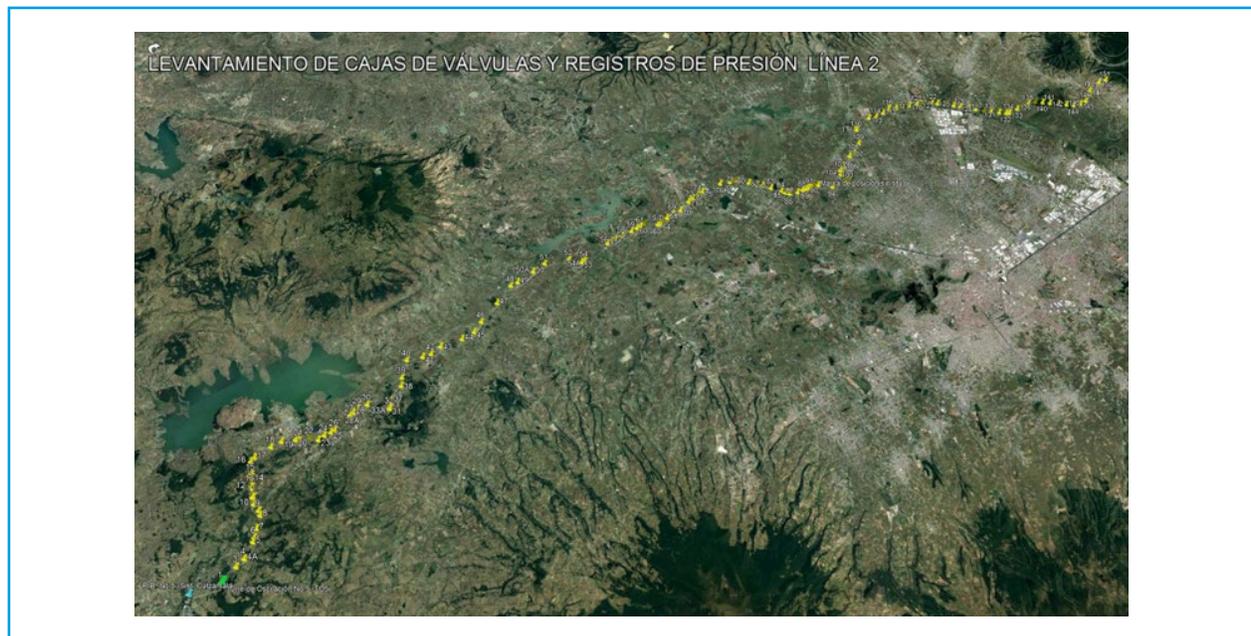


Ilustración 5.193 Ubicación de las cajas de válvulas donde se registró la presión

5.5.2.5. Investigaciones con respecto al problema de aire en tuberías

La deficiencia del funcionamiento hidráulico de las líneas de conducción, puede ocasionarse por la presencia de aire atrapado en la tubería, debido a diversas causas, como son: la conducción no opera presurizada, trabaja como canal; en el llenado de las líneas cuando se tiene que dar mantenimiento o realizar una reparación.

Las burbujas de aire atrapado pueden permanecer en lugares fijos, o trasladarse a lo largo de la línea causando no solo reducción de capacidad hidráulica, sino también sobrepresiones importantes que pueden causar las fallas que se presentan en los tubos.

El investigador Miguel A. Monge Redondo, presenta un artículo donde explica una serie de conceptos relacionados al problema del aire en tuberías; menciona que el aire llena totalmente el tubo cuando se pone nuevamente en servicio después de realizar algún mantenimiento preventivo o correctivo. En estos casos la cantidad de aire que se debe de evacuar es muy grande y por tanto es una operación delicada sobre todo por la velocidad que puede alcanzar el agua durante la operación de llenado de la tubería. Debido al grado de alto riesgo el llenado se realiza lento, puede durar varias horas o días, dependiendo de la longitud del acueducto y diámetro.

También, el aire puede introducirse en las conducciones con la puesta en marcha de

la bomba y por el proceso de succión en los vórtices formados durante la aspiración.

En los cambios de pendientes de las conducciones se producen alteraciones de la presión dentro de las mismas, lo que hace que pueda liberarse aire disuelto con la formación de bolsas de aire. Esto es particularmente importante en impulsiones donde la presión va disminuyendo progresivamente a lo largo de la conducción; las válvulas de admisión y expulsión de aire instaladas a lo largo de la línea de conducción mantienen el flotador abajo.

Una vez que la instalación está en funcionamiento las bolsas de aire se pueden desplazar por la tubería y se acumulan en las zonas más elevadas y a lo largo de accesorios y derivaciones.

Las bolsas de aire y el aire disuelto en el agua pueden ocasionar los siguientes problemas en las conducciones:

- Roturas de las tuberías debido a sobrepresiones o incluso a depresiones.
- Limitación parcial o total de la circulación del agua.
- Pérdidas de la eficiencia del sistema y aumento de costos.
- Cavitación en accesorios (válvulas, y otros)

En la Ilustración 5.194 se muestran posibles problemas de atrapamiento de aire en líneas de conducción.

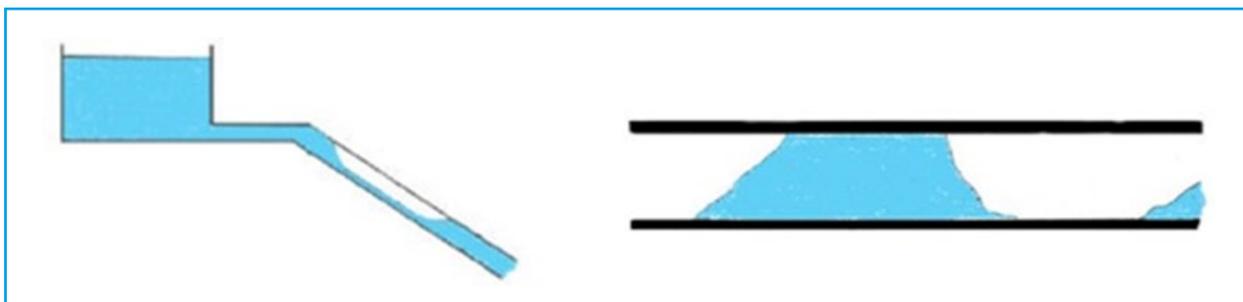


Ilustración 5.194 problemas de atrapamiento de aire en líneas de conducción

Las bolsas de aire reducen el caudal que circula por la tubería perdiendo eficiencia el sistema debido a las altas pérdidas de carga

generadas. En algunas ocasiones incluso se puede detener la circulación del flujo por falta de presión (Ilustración 5.195).

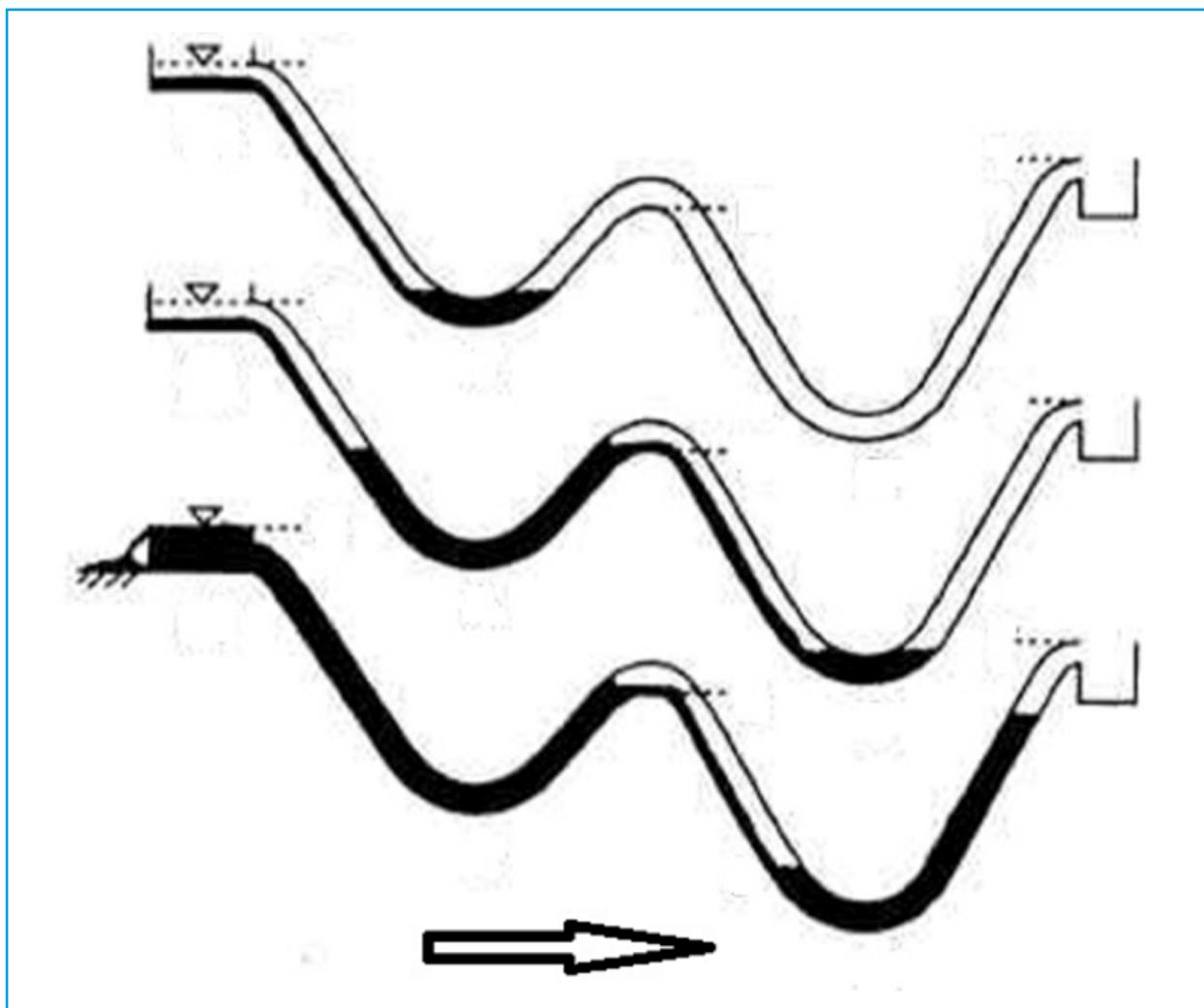


Ilustración 5.195 Pérdida de capacidad de conducción por aire atrapado

Durante el proceso de llenado de una tubería se pueden acumular en los puntos altos bolsas de aire. Estas bolsas, debido a la presión del agua que va llenando la tubería, se pueden desplazar en sentido contrario y a gran velocidad. El aire que queda atrapado en la parte alta, al perder esa velocidad, aumenta su volumen, provocando un estrangulamiento de la vena líquida que impide por completo, en algunos casos, la circulación del agua. Además la gran compresibilidad del aire puede ocasionar daños importantes en la instalación si no se toman medidas para evacuarlo.

El artículo “Análisis de los efectos del aire atrapado en transitorios hidráulicos en acueductos a bombeo por los autores: O. Pozos-Estrada, O.A. Fuentes, A. Sánchez, E.A. Rodal y F. de Luna, menciona lo siguiente:

“La presencia de bolsas de aire atrapadas en conductos a presión puede reducir de forma importante el transporte de agua en este tipo de sistemas. En acueductos a bombeo o impulsiones, la presencia de aire se puede reflejar

en un incremento en el consumo de energía eléctrica y la reducción del caudal. Estos problemas siguen ocurriendo hoy en día, incluso en acueductos construidos recientemente, debido a la falta de criterios de diseño que hagan que éstos funcionen eficientemente. En los acueductos a bombeo el análisis de los transitorios hidráulicos se hace generalmente asumiendo que no hay aire atrapado en los mismos. Sin embargo, en muchos de estos sistemas el aire puede ser introducido a través de los sellos defectuosos de las juntas y las válvulas, cuando se presenta una presión menor a la atmosférica en la tubería. Además, es bien sabido que el agua contiene aproximadamente un 2% de aire disuelto, si la presión baja o la temperatura del agua aumenta el aire escapa de la solución y forma pequeñas bolsas de aire, que pueden migrar a los puntos altos o intermedios de la tubería y unirse al aire que pudo haber quedado acumulado por un mal purgado de la conducción. Asimismo, las bombas pueden introducir entre un 5% y 10% de aire por volumen de agua mediante los vórtices que se forman en la succión de éstas; Ilustración 5.196.

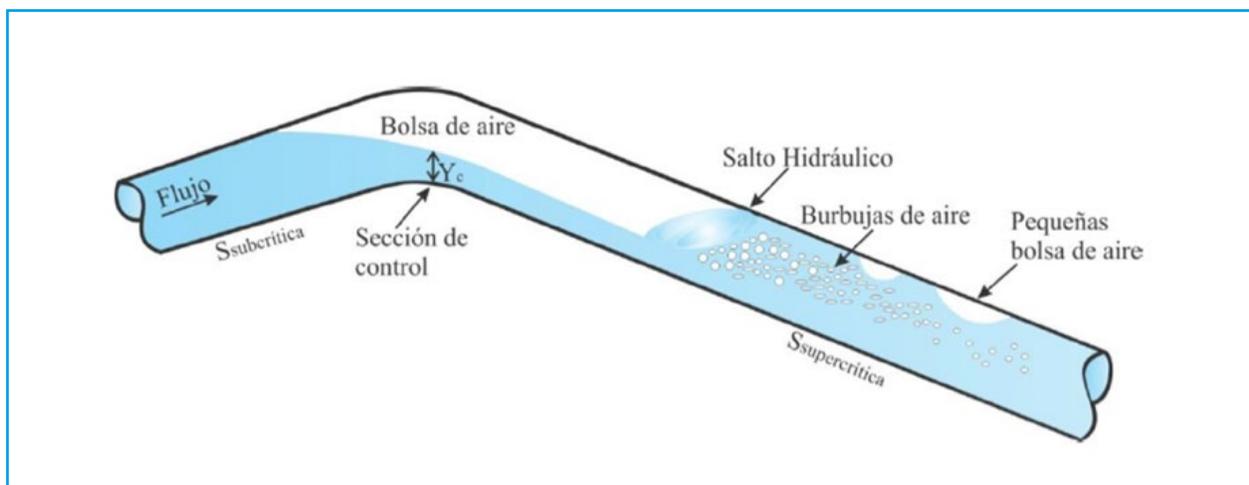


Ilustración 5.196 Bolsa de aire atrapado

Varios investigadores han demostrado que la presencia de bolsas de aire en acueductos puede incrementar de forma importante las presiones máximas durante un transitorio hidráulico, lo suficiente para causar la falla de la tubería. La magnitud del daño dependerá de la cantidad y del lugar donde se encuentre localizado el aire no disuelto, de la configuración de la conducción, así como de las causas que generan el transitorio. Por ejemplo, se ha demostrado que las bolsas de aire pequeñas pueden incrementar considerablemente las presiones transitorias, lo suficiente para causar la rotura de tuberías. Por el contrario, la formación de grandes bolsas de aire en los acueductos puede ayudar a reducir el valor de las sobre - presiones causadas por la ocurrencia de transitorios hidráulicos. La explicación física del porqué las bolsas pequeñas generan elevadas sobrepresiones, por un lado se debe a la baja densidad del aire, es decir a su baja inercia que lo hace fácil de comprimir. Por el contrario, cuando las bolsas de aire son grandes, éstas actúan como un colchón de aire o amortiguador el cual ayuda a reducir las presiones transitorias.”

5.5.2.6. Desagües

Los desagües propuestos y los existentes en las Líneas 2, 3 y 1, son para el vaciado de la tubería cuando se requiere realizar alguna reparación, hacer conexiones de otras tuberías, o simplemente para efectuar una limpieza periódica de la línea de conducción. La instalación de dichos desagües se realiza en los puntos más bajos de la línea de conducción, con el fin de hacer escurrir

las partes ascendentes y descendentes de los tramos hacia estos puntos, y desalojar el agua hacia los arroyos más cercanos.

Los desagües consisten de una derivación de acero o de fierro fundido instalada en los puntos más bajos de la conducción, controlada por medio de una válvula de seccionamiento situada en el extremo libre de la derivación y dentro de una caja de operación.

5.5.3. ESTRUCTURAS DEL PROTOTIPO A MODELAR

La información que se indica a continuación es obtenida del “**Proyecto ejecutivo de la 3ra línea de conducción de la Torre de Oscilación No. 5 al Portal de entrada del Túnel Analco - San José, Sistema Cutzamala, en el Estado de México**”; localizada por internet de la CONAGUA, correspondiente de la Subdirección general técnica – Dirección General del Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México – Dirección Técnica. Es una descripción del prototipo a modelar, desde la Torre de Oscilación No. 5 hasta el Túnel Analco San José.

De Torre de Oscilación No. 5 (TO5) a Tanque de Transición Santa Isabel (TSI). La línea proyectada estará ubicada al centro del actual Camino de Operación, lo que implica que se ubicará entre las actuales Líneas 1 y 2. Cabe destacar que en el arranque de la TO5, habrá un “intercambio de preparaciones de salida”, ya que la preparación contemplada para la Línea 3 (L3) será conectada a Línea 1 (L1), y la actual conexión de ésta será el

inicio para la L3 del proyecto; lo anterior permite que la 3ra Línea de Conducción del Acueducto Cutzamala “salga” de la TO5 por el centro del Camino de Operación, lo que en términos ambientales implica el NO derribo de árboles ubicados en la margen derecha del camino referido, los cuales aun estando ubicados dentro del Derecho de Vía, hubiesen tenido que ser removidos al elegirse la opción de pasar la L3 por la margen derecha de la L1 Características generales de las plantas de bombeo; Ilustración 5.197.

De la TO5, el trazo continúa al centro de las líneas existentes, cruzando la autopista Toluca-Zitácuaro a través de las preparaciones realizadas ex profeso con anterioridad, y

continúa de la misma manera hasta el cruce con la Barranca Los Berros, la cual se cruzará a través de la técnica denominada Tubo-Puente, que implica la reducción de impactos en el medio físico; Ilustración 5.198.

Después del cruce de la Barranca Los Berros, la tubería del proyecto seguirá al centro de las líneas L1 y L2 hasta llegar al TSI; en este tramo se localizan tres cruzamientos con caminos vecinales y dos cruzamientos con la Carretera No. 15 Zitácuaro-Toluca, así como diversos cruces con arroyos intermitentes y perenes hasta llegar al Tanque de Transición Santa Isabel; Ilustración 5.199 y la Ilustración 5.200.



Ilustración 5.197 Torre de oscilación 5 y salidas de las tres líneas conducción a modelar

Estudio para restituir y mejorar la capacidad de conducción, mediante un manejo adecuado del aire y optimización del funcionamiento hidráulico, en las líneas 1 y 2 del sistema Cutzamala

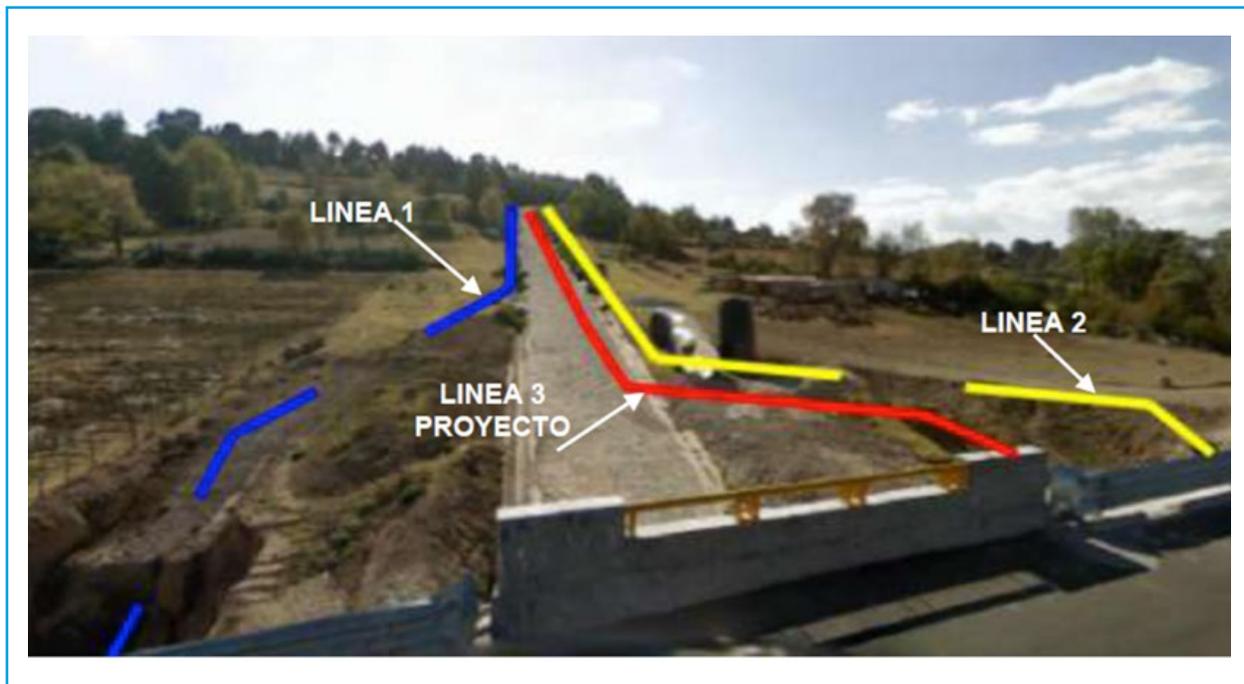


Ilustración 5.198 Llegada y cruce con autopista Toluca – Zitácuaro

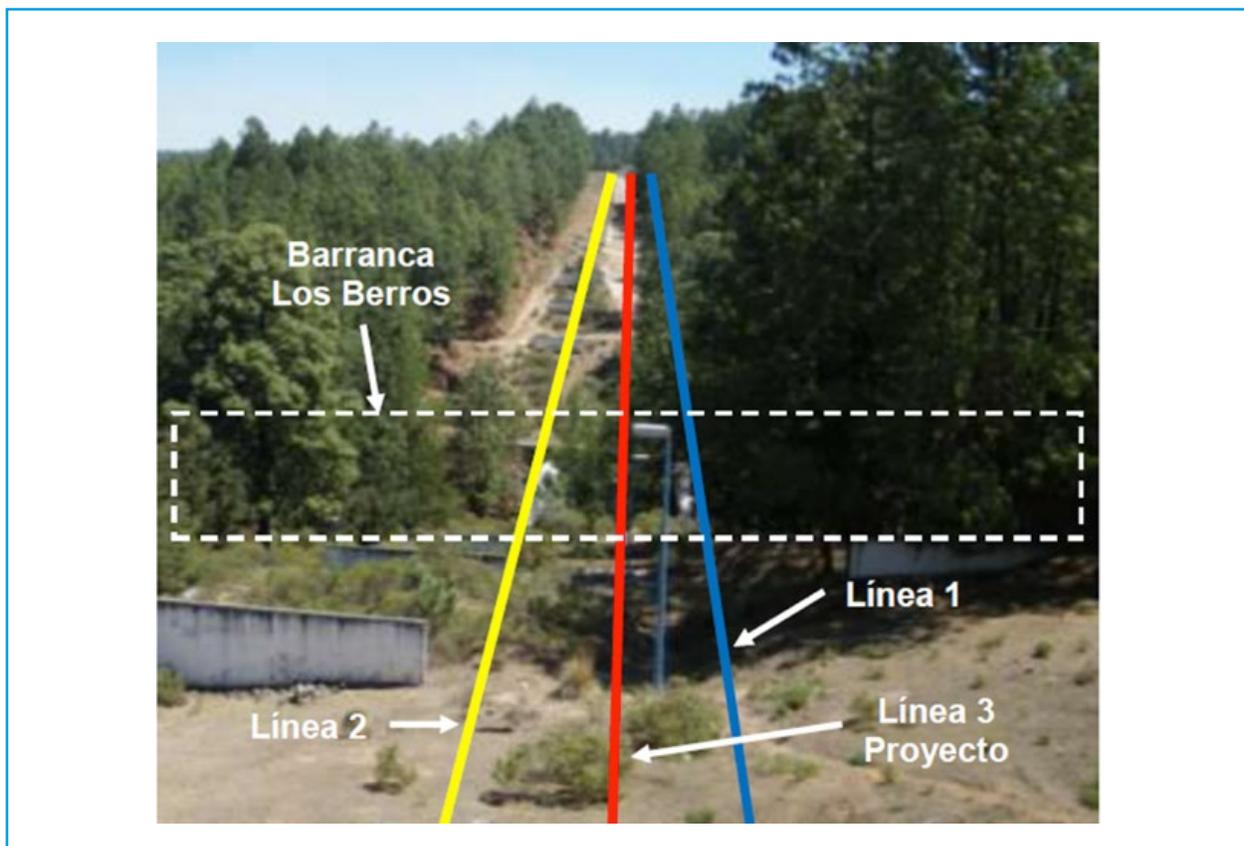


Ilustración 5.199 Cruce con arroyo y Barranca Los Berros

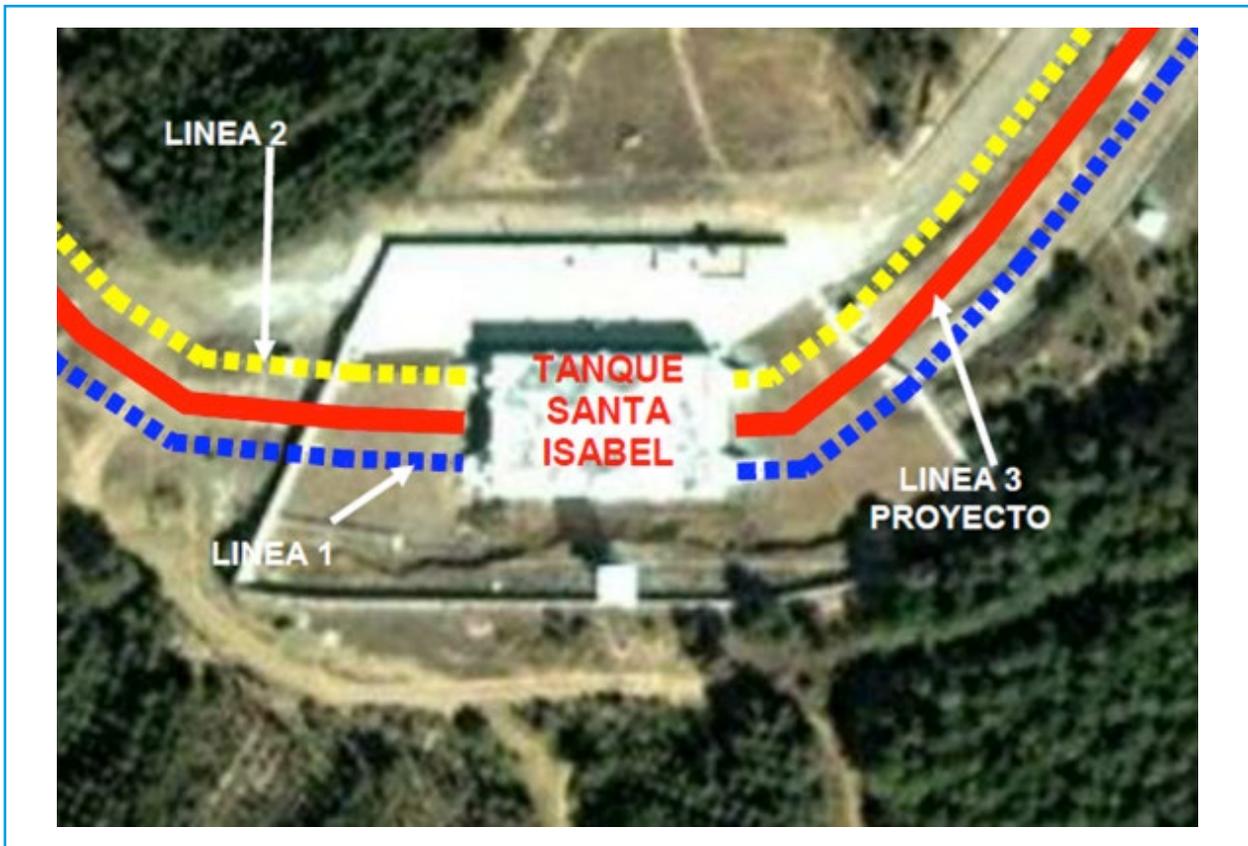


Ilustración 5.200 Tanque Santa Isabel, llegada y salida de líneas de conducción

Tanque de Transición Santa Isabel (TSI) - CEFERESO Almoloya de Juárez. Al igual que en el caso anterior, el trazo proyectado continúa al centro del Camino de Operación y presenta un cruce con la Autopista No. 15 Toluca-Zitácuaro, un cruce con vías de ferrocarril, cinco cruces con caminos vecinales y los cruzamientos con los arroyos San Cristóbal, San Diego, Almoloya y Río de la Gavia; Ilustración 5.201.

CEFERESO. Después de analizar tres variantes, se determinó que, en la zona de confluencia con el CEFERESO, el trazo de la Línea 3 será por la margen izquierda del

Camino de Operación -considerando el sentido de flujo-, hasta pasar la zona de conflicto y emparar nuevamente con las actuales L1 y L2 a la altura del Colegio de Policía existente. Este tramo de 1.38 km es el único que, por causas ajenas a la Promoviente de la obra, se sale del Derecho de vía del Acueducto Cutzamala. Dicha trayectoria también se considera factible para la reubicación de las líneas L1 y L2 que se encuentran ahora inscritas en las instalaciones del CEFERESO, y por ende, carentes de trabajos de inspección, rehabilitación y mantenimiento; Ilustración 5.202 .

Estudio para restituir y mejorar la capacidad de conducción, mediante un manejo adecuado del aire y optimización del funcionamiento hidráulico, en las líneas 1 y 2 del sistema Cutzamala

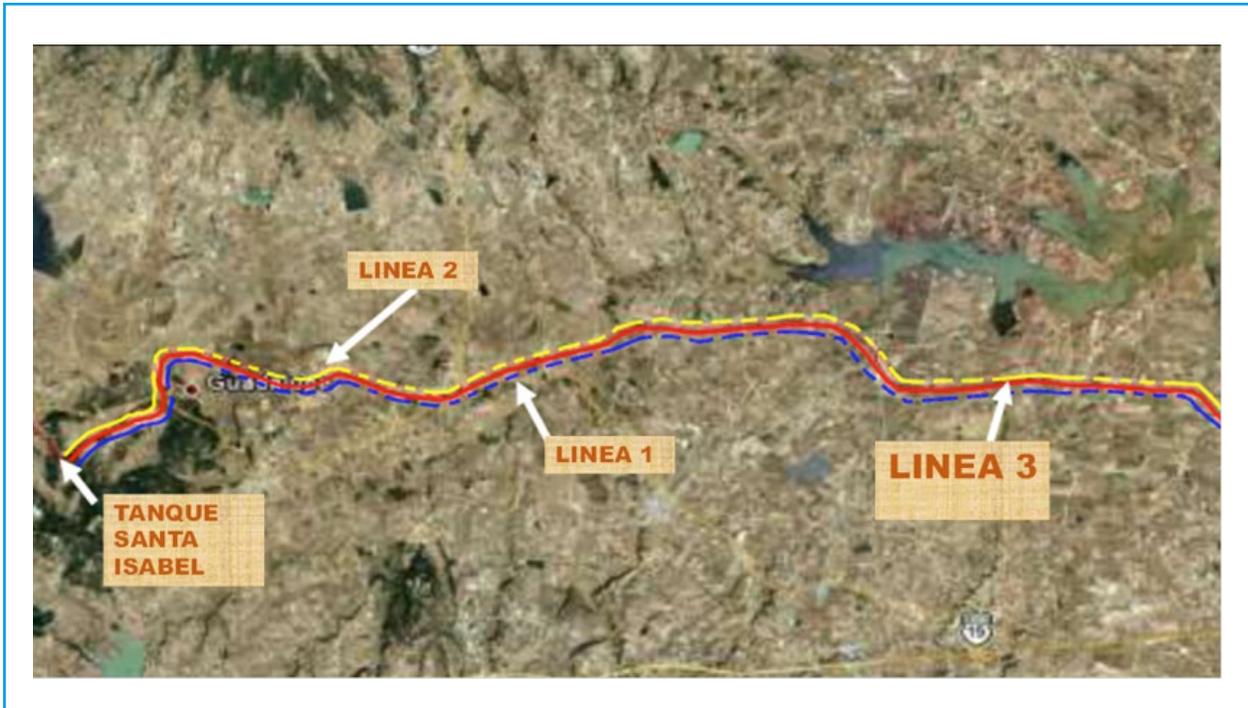


Ilustración 5.201 Trama Tanque Santa Isabel - CEFERESO



Ilustración 5.202 Alternativas de trazo para el punto de conflicto a la altura del CEFERESO

CEFERESO Almoloya de Juárez - Tanque de Transición Pericos (TP). En este segmento, el trazo se mantiene al centro de las actuales líneas de conducción, por lo que se mantiene dentro del Camino de Operación, y por ende, dentro del Derecho de vía correspondiente para esta infraestructura. Para este caso, se presentan cuatro cruces importantes, el primero con líneas de energía de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), el segundo con el Arroyo San Cayetano, el tercero con la carretera Toluca-Ixtlahuaca y el cuarto con el camino a Tlachaloya; Ilustración 5.203.

En este tramo se hará un replanteamiento de las Líneas 2 y 3, antes y después del cruce con la carretera Toluca-Ixtlahuaca. En las instalaciones de Tanque Pericos, la estructura de transición (Tanque Pericos o Periquitos) se pretende aprovechar como actualmente opera, y llegar al centro del mismo con la línea del proyecto; así mismo,

se considera la rehabilitación de los Tanques de Almacenamiento (Tanques Pericos), así como su interconexión futura con las actuales líneas de conducción y la proyectada en este estudio. Aunado a lo anterior, se toma en cuenta la derivación de volúmenes de agua hacia la Zona Metropolitana de Toluca; Ilustración 5.204.

Tanque Pericos (TP)-Río Lerma, ver Ilustración 5.205. En este segmento, al igual que en los anteriores, la 3ra. Línea de Conducción del Acueducto Cutzamala se sigue contemplando al centro de las actuales líneas 1 y 2, por lo que se mantiene dentro del Camino de Operación existente. Se identifican para este caso tres cruces de importancia: el primero con la carretera No. 37 (ahora autopista Toluca -Temoaya), el segundo con la carretera No. 134 Toluca-Xonacatlan, y el tercero con el río Lerma. Se consideran además, tres cruces con caminos vecinales.

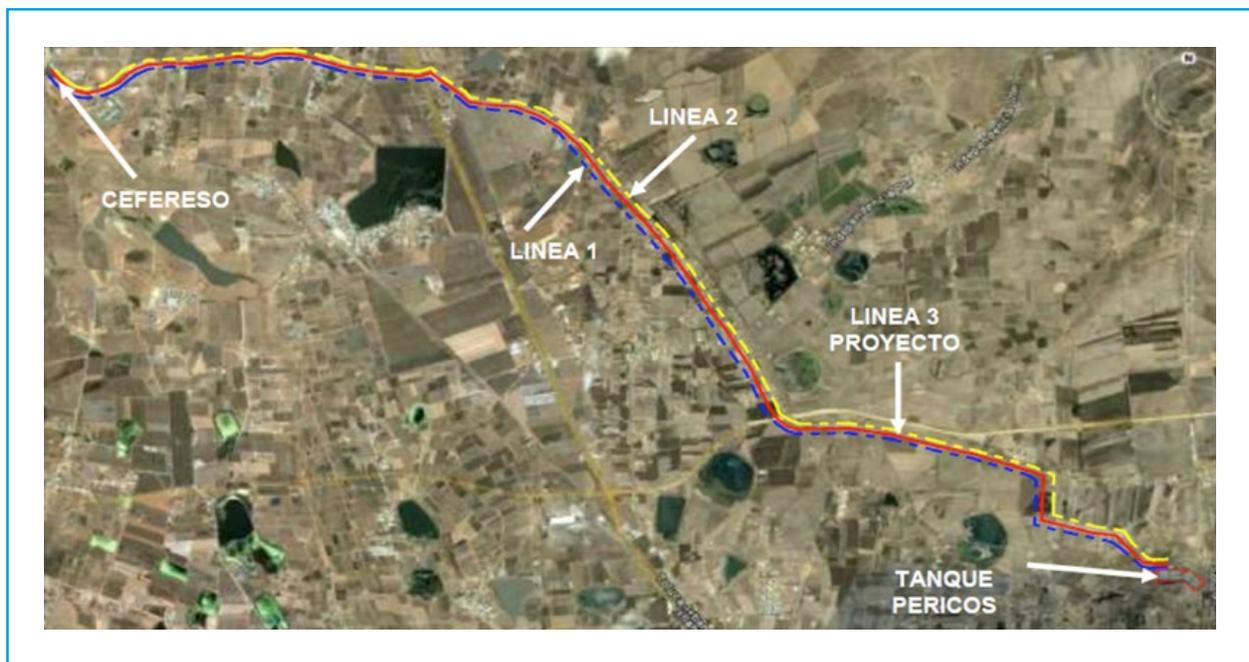


Ilustración 5.203 Tramo CEFERESO – Tanque Pericos

Estudio para restituir y mejorar la capacidad de conducción, mediante un manejo adecuado del aire y optimización del funcionamiento hidráulico, en las líneas 1 y 2 del sistema Cutzamala



Ilustración 5.204 Tanque Pericos, llegada y salida de líneas de conducción



Ilustración 5.205 Tramo Tanque Pericos - Río Lerma

En el cruce con el río Lerma se proponen tres variantes, una de ellas es ubicar la tubería del proyecto en la margen derecha de la línea 2, cruzando por la parte baja de ésta, y alojarla en el Camino de Operación (Opción A), una segunda opción es cruzar por en medio de las dos líneas y más adelante cruzar nuevamente la línea 2 (Opción B), y una tercera, que es la más viable, es hacer un cruceamiento de la L2 antes de llegar al río Lerma para tomar la margen izquierda de la L2 y hacer un cruce franco sobre el cauce del río Lerma a unos 20 metros de L2 (Opción C); Ilustración 5.206.

Río Lerma - Portal de Entrada Túnel Alco-San José. En este caso, una vez que se

cruza el río Lerma, el trazo se aloja en la margen izquierda de la Línea 2 –con respecto al flujo hidráulico, a un costado del Camino de Operación y contiguo al Polígono III de las Ciénegas del Lerma; Ilustración 5.207, después de este tramo, las líneas existentes se “abren” para ubicarse a ambos lados del Camino de Operación, por lo que obligadamente la 3ra Línea de Conducción del Acueducto Cutzamala cruzará nuevamente la línea 2 para volverse a alojar al centro del Camino de Operación. Se efectuará una restructuración de conexión en Cruz de La Misión –sitio donde se realiza la medición del caudal que se incorpora al Acueducto Cutzamala-, al llegar al Portal del Túnel, el trazo cambia nuevamente hacia la margen

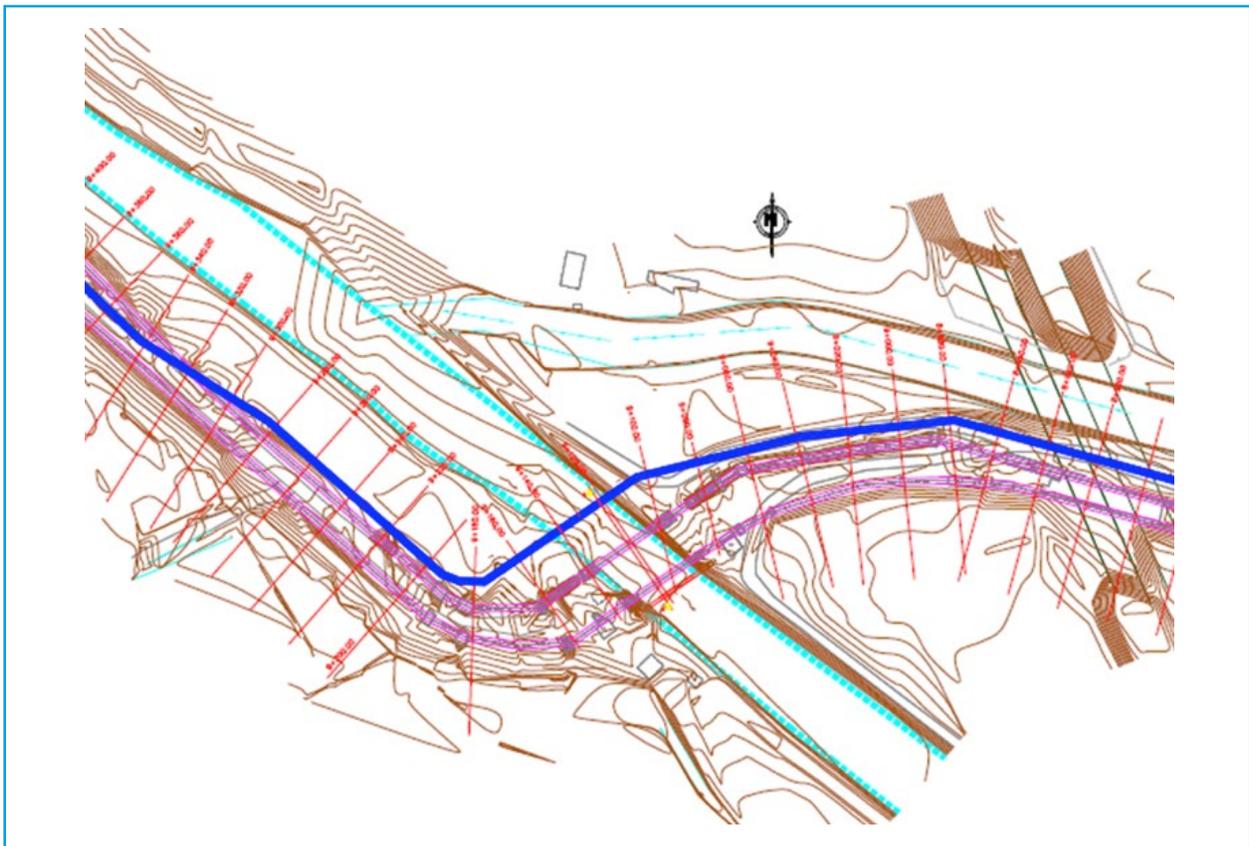


Ilustración 5.206 Cruce con el río Lerma de la 3ra línea de conducción del Cutzamala

derecha para conectarse a la preparación existente en el Portal de Entrada al Túnel. En este tramo por lo complejo y reducido del

espacio se propone que se realice otro cruce de la Línea 3 con la Línea 1 entrando franca; Ilustración 5.208.

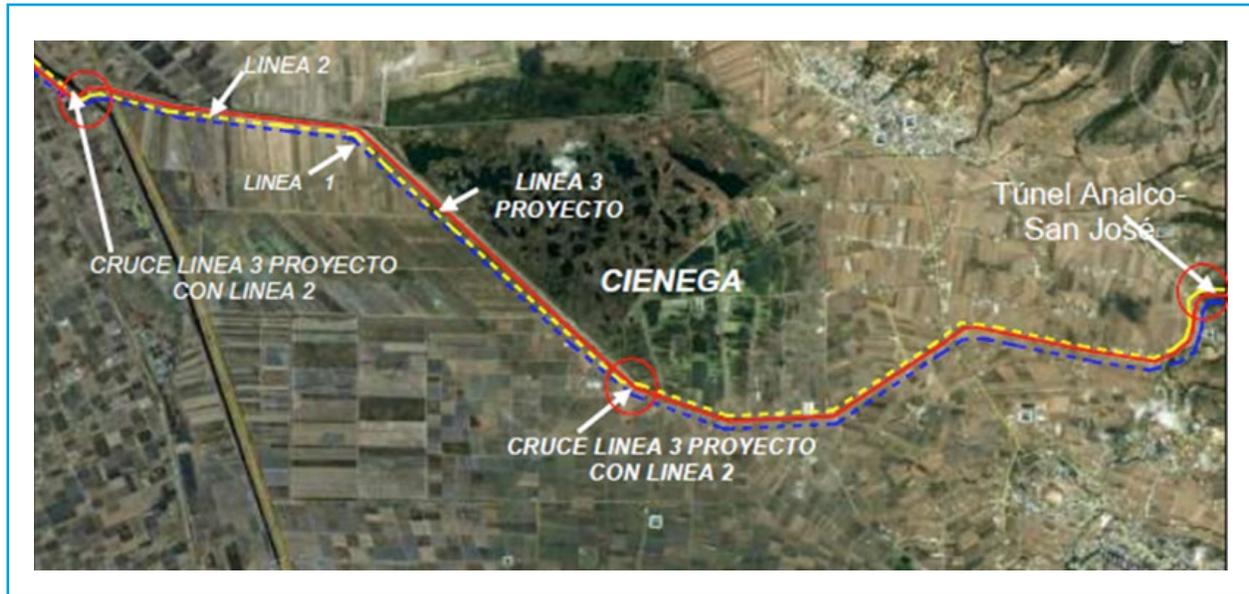


Ilustración 5.207 Tramo Río Lerma Portal de Entrada del Túnel Analco – San José

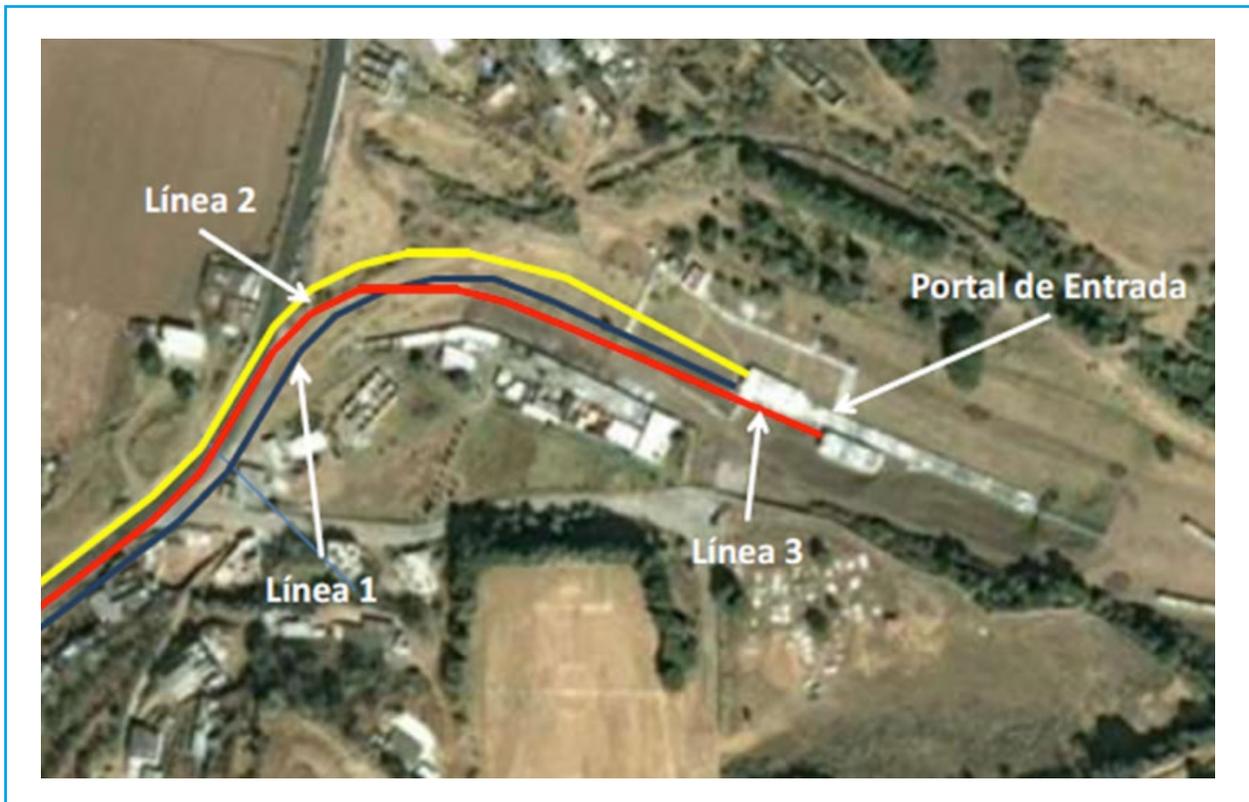


Ilustración 5.208 Configuración de llegada al Portal de entrada del Túnel Analco – San José

Según los recorridos de campo por el IMTA “se observó lo siguiente: La línea de conducción que sale de la Planta Potabilizadora. En este tramo de línea se dispone de un sitio de medición con equipo diferencial de mercurio, el caudal que llega al cárcamo de la Planta de Bombeo No. 5 en promedio, es de: 15.16 m³/s; ver Ilustración 5.209.

Planta de Bombeo No. 5 (P.B.5). La planta dispone de 6 equipos de bombeo, con una

capacidad de 4 m³/s, cada uno y, 3 equipos de bombeo chicos de una capacidad de 1.7 m³/s; ver Ilustración 5.210.

De la Planta de Bombeo No. 5, salen dos líneas de conducción de 99” de diámetro, que llegan a la Torre de Oscilación No.5. Actualmente solo está operando una línea para conducir el gasto de los 15.16 m³/s que se está monitoreando; ver Ilustración 5.211.



Ilustración 5.209 Sitio de medición de caudal y equipo diferencial de mercurio

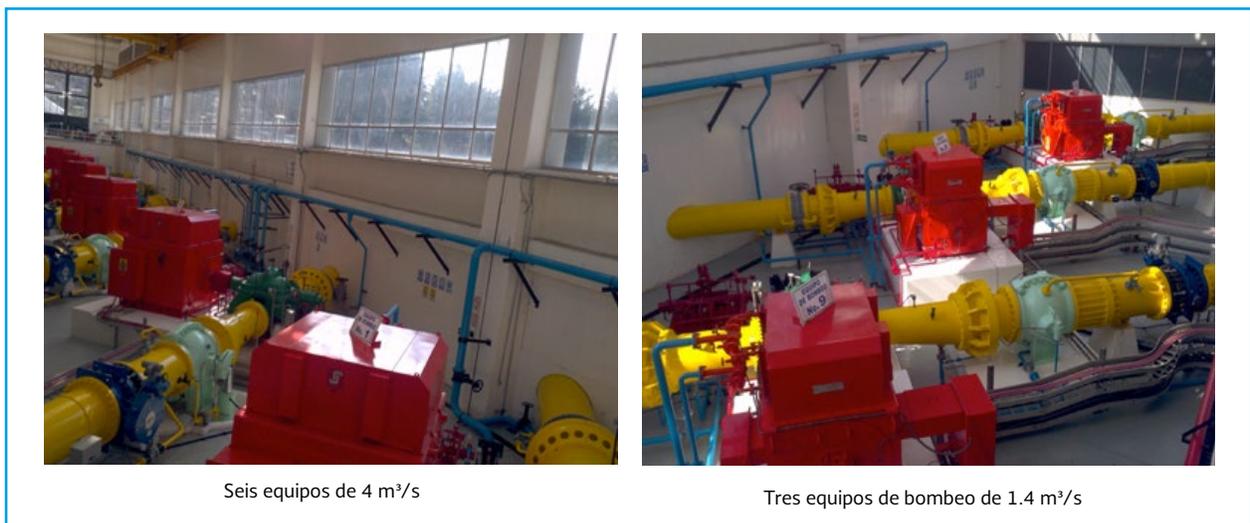


Ilustración 5.210 Equipos de bombeo en operación

Estudio para restituir y mejorar la capacidad de conducción, mediante un manejo adecuado del aire y optimización del funcionamiento hidráulico, en las líneas 1 y 2 del sistema Cutzamala



Ilustración 5.211 Planta Bombeo No. 5; dos líneas de conducción, una abastece a Torre de Oscilación No. 5

Torre de oscilación No.5 (TO5). La Torre de Oscilación tiene un diámetro de 10 m interior y una altura comprendida entre 55 m; con sus correspondientes válvulas de sec-

cionamiento. Se estima un 60 % de carga hidráulica, es decir: $H = 16.5$ m, en el interior de la Torre de Oscilación; ver Ilustración 5.212.



Ilustración 5.212 Torre de Oscilación No.5; las dos líneas que vienen de la P.B.5, y la línea en operación la 59

Líneas de conducción a partir de la Torre de oscilación No.5 (TO5). Inicialmente, las líneas de conducción estaban proyectadas de la siguiente manera: A partir de la Torre de Oscilación No. 5 (TO5) al Tanque de Transición Santa Isabel (TSI); Línea 2, Línea 1 y Línea 3, según el sentido del caudal (ver Ilustración 5.213 círculo color rojo); después de reuniones y acuerdos la Línea 3 estará ubicada al centro del actual Camino de Operación, lo que implica que se ubicará entre las actuales Línea 2 y Línea 1. Por lo tanto, en el arranque de la TO5, hubo un “intercambio de prepa-

raciones de salida”, ya que la preparación contemplada para la Línea 3 (L3) se conectó a la Línea 1 (L1), y en la actual conexión (L1) se instaló la línea 3 (L3); es decir, operará por el centro de ambas líneas (L2) y la (L1); ver Ilustración 5.214.

Actualmente las líneas están instaladas como en la propuesta final, ver la Ilustración 5.215; a partir de la Torre de Oscilación No. 5 hasta el Tanque Santa Isabel. En la Ilustración 5.216 se muestra la interconexión a la torre de Oscilación No.5 de forma cónica.



Ilustración 5.213 Propuesta de instalación de líneas de conducción inicial y final



Ilustración 5.214 Ubicación de instalación de las Líneas: L2, L3, y L1, en operación línea L2 y L1



Ilustración 5.215 Tramo de tubería de interconexión cónica 99" x 70" a la Torre de Oscilación No.5

Las líneas L2, L3 y la L1 continúan hasta llegar al Tanque Pericos; después de este tanque la Línea 3 (L3) presenta modificaciones en su posición, no siempre va al centro. Conforme se describe el desarrollo de las líneas de conducción, se indicaran los cambios con más detalle.

Caudales de operación. El Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México (OCAVAM) proporcionó los gastos de operación en los puntos de entrega por mes para 2017, y por día del mes de octubre 2017. Los gastos muestran poca variación

diaria, sin embargo al ser datos promedio diarios no es posible determinar si hubo variación horaria significativa.

Las líneas 1 y 2 existentes se diseñaron con una diámetro de 2.51 m. para un gasto de 12 m³/s por cada línea.

Debido a unas observaciones de derrames de caudal por funcionamiento hidráulico; en el tramo a gravedad, a partir de la Torre de Oscilación No. 5 hasta el portal de entrada al Túnel Analco - San José, se ha presentado una importante disminución del gasto con-

ducido, llegando a ser de unos 8 m³/s por cada línea.

Gastos Calculados:

- Torre de Oscilación No. 5 (TO5) a Tanque Santa Isabel (TSI) Q= 8.06 m³/s
- Tanque Santa Isabel (TSI) a Tanque Pericos (TP) Q= 8.06 m³/s

- Tanque Pericos (TP) Q= 7.74 m³/s a Túnel Analco San José (TASJ)

En la Ilustración 5.216, se muestran los datos técnicos de la Línea 3, la cual está en construcción.

De la TO5, el trazo continúa con las mismas posiciones de las líneas, al centro la L3; lado izquierdo L2 y lado derecho L1, según el sentido del caudal; cruzan la autopista Toluca-Zitácuaro (Ilustración 5.217) y continúan de la misma manera hasta el cruce con la Barranca Los Berros (Ilustración 5.218).



Ilustración 5.216 Datos generales de la Línea 3 en Construcción

Estudio para restituir y mejorar la capacidad de conducción, mediante un manejo adecuado del aire y optimización del funcionamiento hidráulico, en las líneas 1 y 2 del sistema Cutzamala



Ilustración 5.217 Sitio donde se instalará VAEA en L3 y aguas arriba puente autopista



Ilustración 5.218 Sitio de instalación de VAEA de la L3 y ubicación de la L2- L3 y L1

En el Tanque Santa Isabel el caudal de la Línea 1 y de la Línea 2 llega al tanque de

una forma tranquila, no se observan turbulencias; ver Ilustración 5.219.



Ilustración 5.219 Tanque Santa Isabel e interior del tanque descargando L1 y L2

Por otro lado, se registró el tirante hidráulico en el tanque (TSI), con un escantillón, resultando: $d1 = 2.21$ m. (Ilustración 5.220); por lo tanto, el tubo de la Línea 1 y Línea 2, no sale lleno o presurizado hacía el Tanque Pericos, si el diámetro del tubo interior es de 2.51 m, le queda un espacio libre de 0.30 m. Así mismo,

se midió la altura como espacio libre en el interior del Tanque (TSI), resultando $d2=5.83$ m (Ilustración 5.221); y según datos de proyecto el Tanque Santa Isabel tiene una altura interior de $H = 8.10$ m.; sumando $d1 + d2 = 8.04$ m.; valor por diferencia de alturas registradas de proyecto y en campo: $H = 0.06$ m.



Ilustración 5.220 Medición de la profundidad del agua en el Tanque Santa Isabel



Ilustración 5.221 Medición del claro en el interior del Tanque Santa Isabel

Con respecto a la entrada del flujo a las Líneas 1 y la Línea 2, si el nivel del agua en el tanque se presentara cuarenta centímetros como mínimo, arriba del lomo del tubo y que no varíe su nivel, posiblemente el tubo saldría lleno. Por otra parte, para la Línea 1 y Línea 2, las líneas de corriente del

flujo generan una pequeña caída al entrar el caudal al tubo, las líneas de corriente se asemejan levemente a tipo embudo; ver Ilustración 5.222 y la Ilustración 5.223. En este tramo la línea No. 3 aún no entra en operación.



Ilustración 5.222 Flujo entrante a la tubería de la L1 para continuar su trayecto al Tanque Pericos



Ilustración 5.223 Flujo entrante a la tubería de la L2 para continuar su trayecto al Tanque Pericos

En la Ilustración 5.224 y la Ilustración 5.225 se muestran líneas L1, L3, y L2 a la salida

del Tanque Santa Isabel para continuar su transición al CEFERESO Almoloya de Juárez.



Ilustración 5.224 Posición de las Líneas L1, L3 y L2 a la salida del TSI, para continuar al CEFERESO

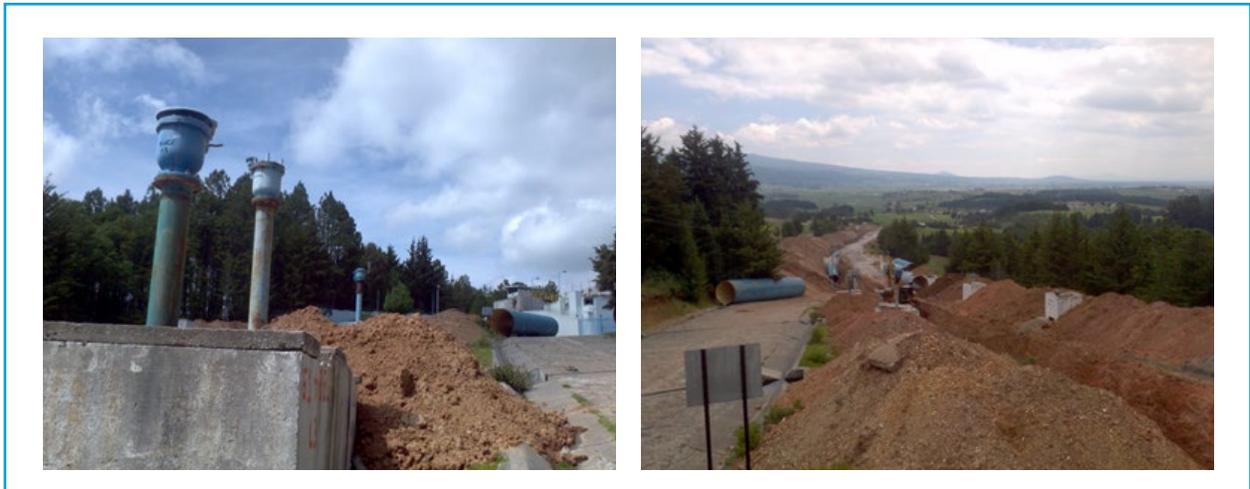


Ilustración 5.225 Posición de las Líneas L1, L3 y L2 aguas abajo del TSI, para continuar al CEFERESO

Del Tanque de Transición Santa Isabel (TSI) al CEFERESO de Almoloya de Juárez, la posición de las tres líneas continúa igual, no existen cambios de posición; la línea L3 continúa al centro del Camino de Operación como se propuso en proyecto.

Al llegar a las instalaciones del CEFERESO, las líneas L1, L3, y L2 están instaladas a un costado del penal, como se muestra en la Ilustración 5.227, conservando la misma posición; ver también Ilustración 5.228.



Ilustración 5.226 Instalaciones del CEFERESO y ubicación y posición de las líneas L1, L3 y L2



Ilustración 5.227 Cajas de las VAEAS en el CEFERESO de Almoloya y posición de las líneas L1, L3 y L2

Con respecto al tramo CEFERESO de Almoloya de Juárez al Tanque de Transición Pericos (TP), en el trazo de Líneas L1, L3 y L2 se mantiene igual posición de acuerdo a lo indicado en el proyecto ejecutivo para la Línea L3, la L3 continúa al centro de las líneas de conducción en operación.

Las instalaciones del Tanque Pericos se ubican en el km 25+798; existe una derivación del cárcamo de salida de la línea 2 para abastecer a Toluca con diámetro de 48” para un gasto aproximadamente entre 600 a 700 l/s; ver Ilustración 5.229.



Ilustración 5.228 Tanque Pericos (TP) y derivación para abastecer a Toluca

Con respecto a lo hidráulico, en la línea 2, el caudal sale con turbulencia en el interior del tanque, se observa una velocidad alta, con estos efectos entra el caudal a la tubería para continuar su transición; como ya se indicó en la Ilustración 5.228, inmediatamente existe un cárcamo para derivar un gasto para Toluca, se estima que hay entrada de aire a la tubería, la longitud del Tanque no suficiente para mitigar el efecto de las líneas

de corriente; ver La Ilustración 5.229, Ilustración 5.230 y la Ilustración 5.231. Cabe indicar que la L3, aún no está en operación, y se puede observar que los tubos: L2 y L1 no funcionan a tubo lleno, en la L3 se observa el espacio faltante para cubrir el diámetro total del tubo, se estima un espacio entre 45 a 50 cm. Por otro lado, el caudal de la Línea 1, fluye con menos turbulencia, las líneas de corriente van más lentas.

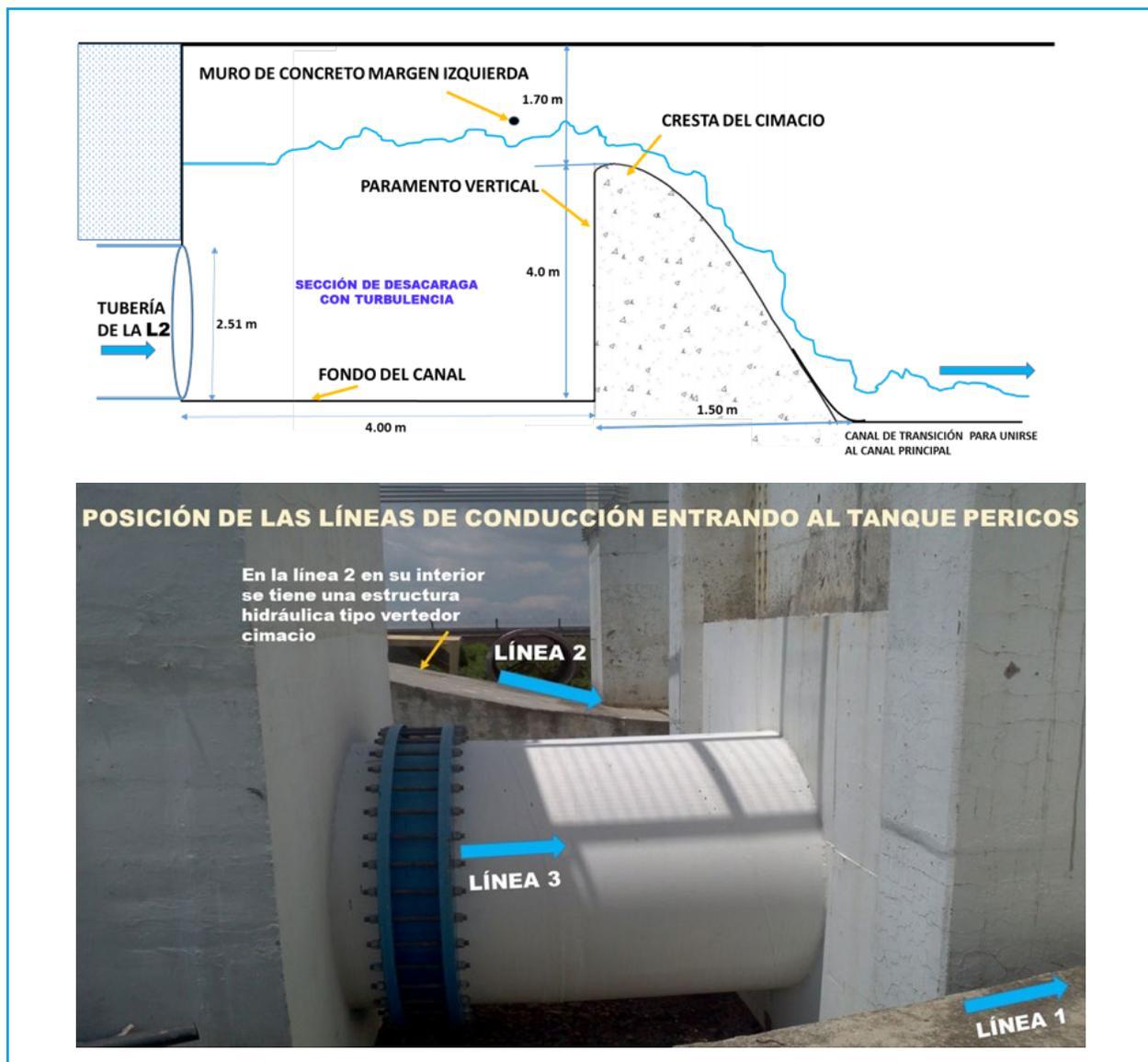


Ilustración 5.229 Estructura hidráulica en el interior de la descarga y posición de L1, L3 y L2 entrada del TP



Ilustración 5.230 Turbulencia en el caudal de la Línea 2 ocasionada por el vertedor tipo cimacio

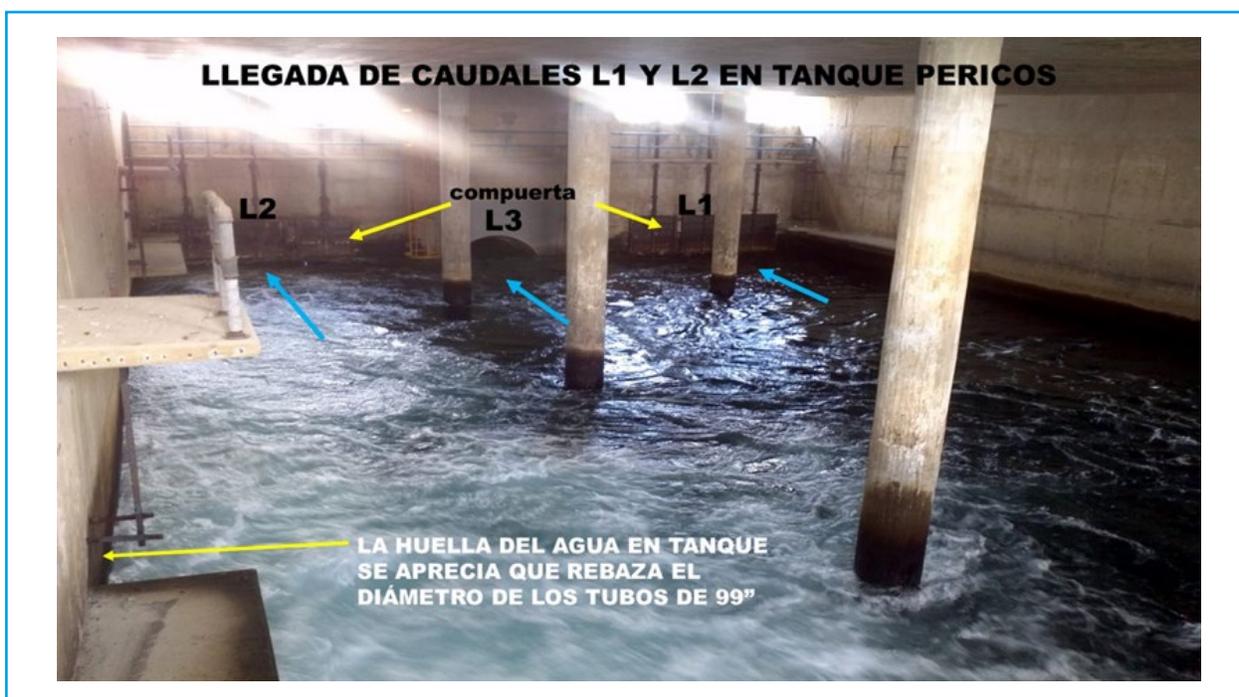


Ilustración 5.231 Llegada de caudales al Tanque Pericos de la Línea 2 y Línea 1

A partir del Tanque Pericos (TP), cruce del Río Lerma, hasta Túnel Analco, hay 5

cambios de posición de la L3, ver Ilustración 5.232.

Estudio para restituir y mejorar la capacidad de conducción, mediante un manejo adecuado del aire y optimización del funcionamiento hidráulico, en las líneas 1 y 2 del sistema Cutzamala

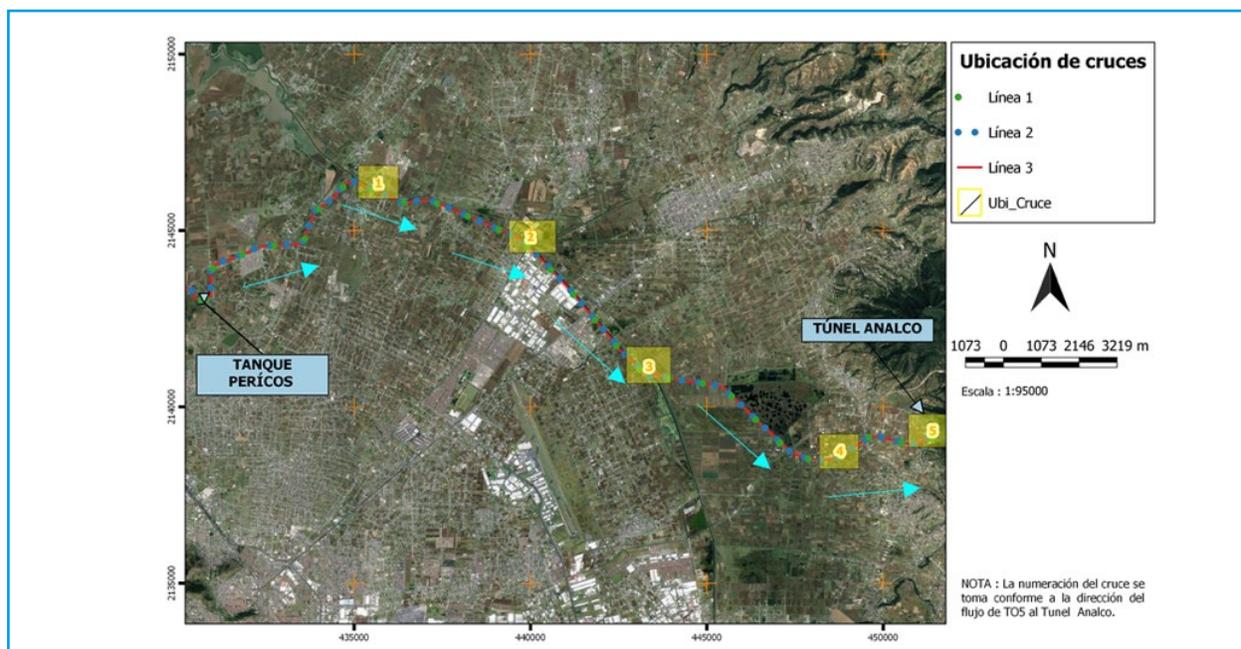


Ilustración 5.232 Entre el Tanque Pericos, Río Lerma hasta el Túnel Analco hay 5 cruces

Existen sitios donde la línea 3 se observa superficial; la Línea 2 en tramos va al centro y Línea 3 al extremo izquierdo según el sentido del flujo; los 5 cruces de líneas se

muestran en las siguientes ilustraciones: del primer cruce ver: Ilustración 5.233; Ilustración 5.234 y la Ilustración 5.235.

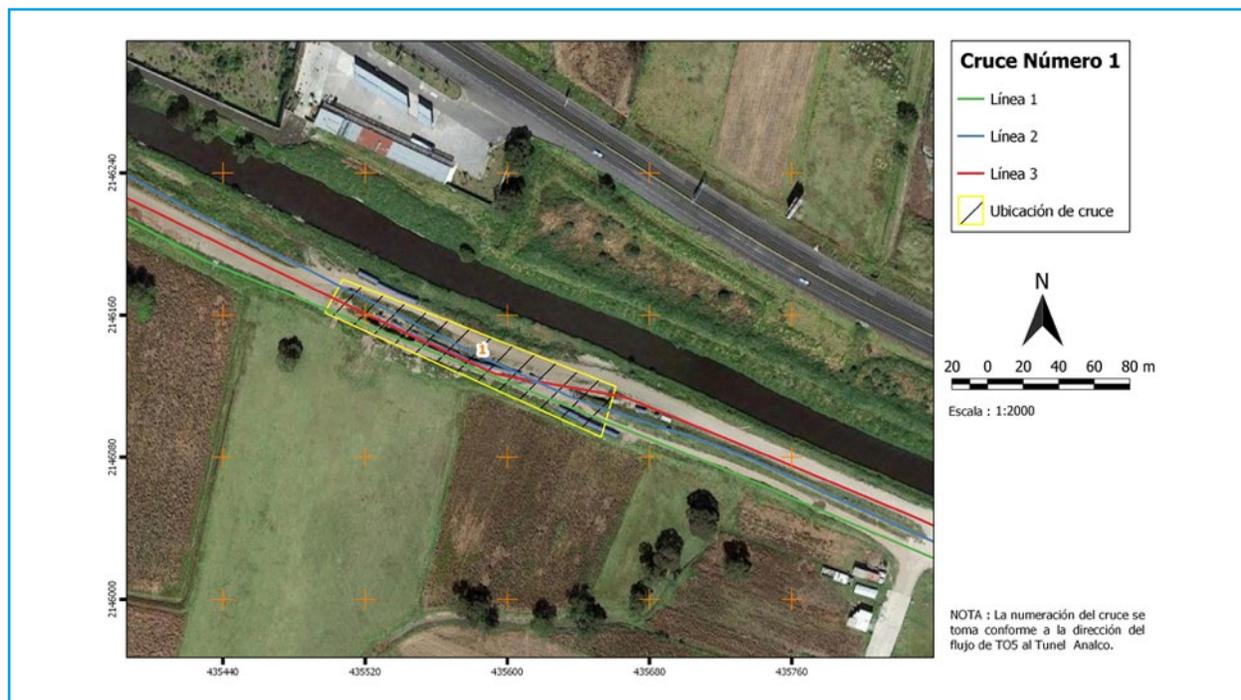


Ilustración 5.233 Ubicación del primer sitio sobre el Río Lerma margen derecha posición de la Línea 3

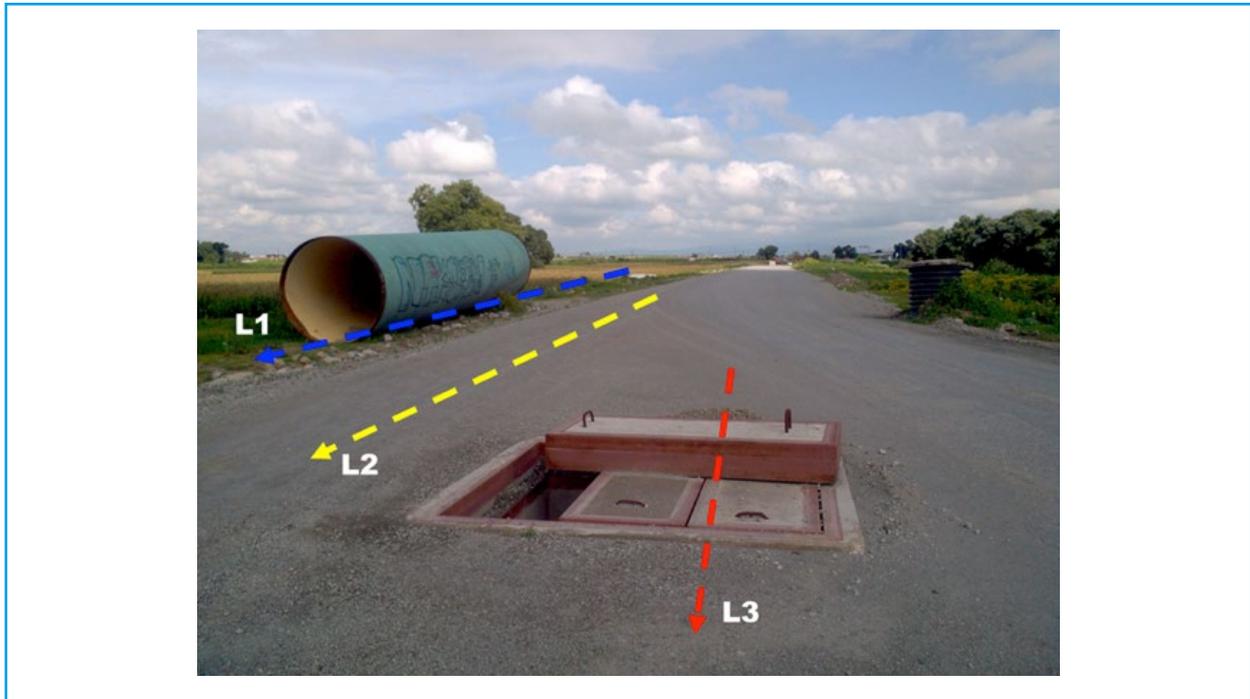


Ilustración 5.234 Ubicación del primer sitio cambiando la posición de la L3



Ilustración 5.235 Nueva posición de las líneas conducción: L3, L2 y la L1

Con respecto al segundo sitio, ver la Ilustración 5.236, Ilustración 5.237, se muestra

el cambio de la L3 regresando al centro entre las líneas L1 y L2.

Estudio para restituir y mejorar la capacidad de conducción, mediante un manejo adecuado del aire y optimización del funcionamiento hidráulico, en las líneas 1 y 2 del sistema Cutzamala

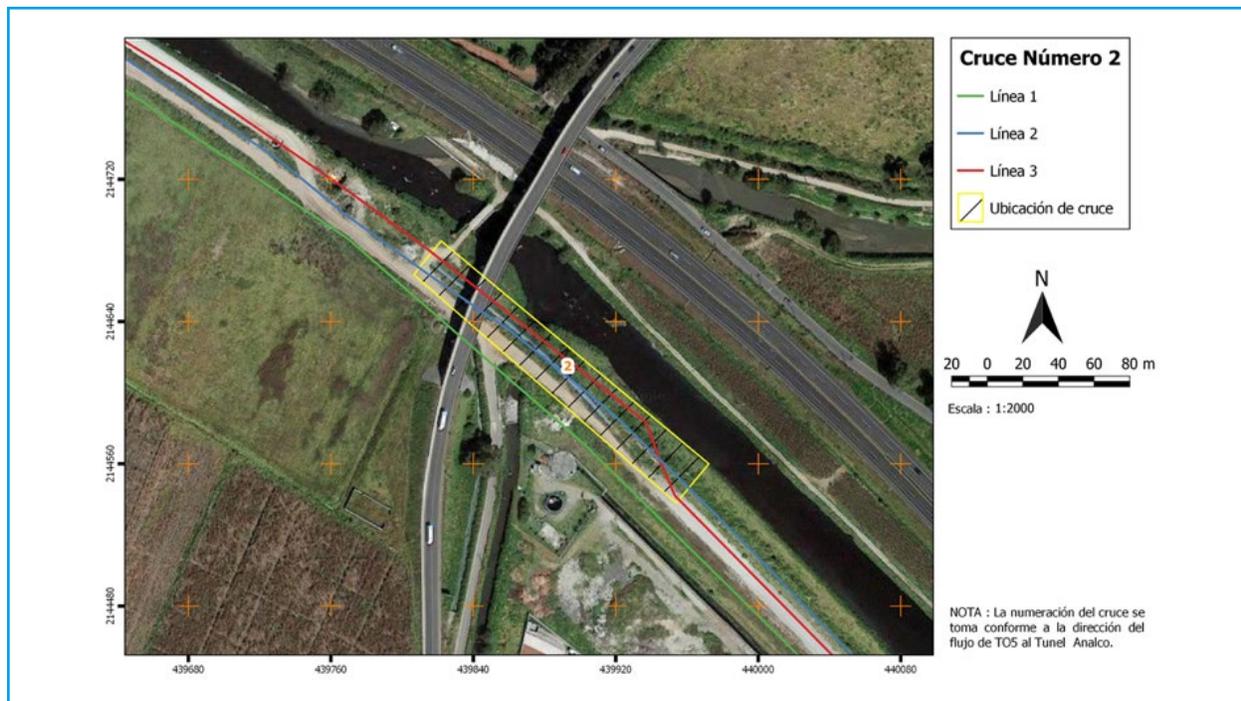


Ilustración 5.236 Ubicación del segundo sitio donde cambia la L3 al centro

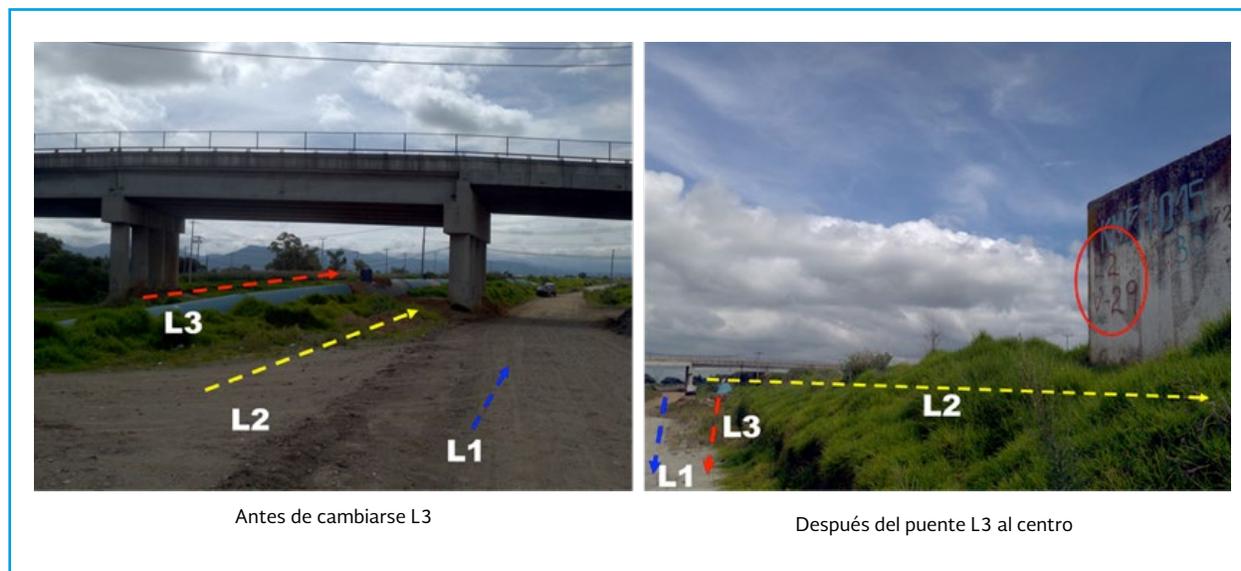


Ilustración 5.237 Ubicación del segundo sitio donde cambia la L3 al centro el antes y después

El tercer sitio se ubica antes de cruzar el Río Lerma, ver la Ilustración 5.238, Ilustración 5.239 y la Ilustración 5.240, se muestra el cambio de la L3, se construye por lado iz-

quierdo de la L2, al centro se conserva L2; ver Ilustración 5.240, Ilustración 5.241 y la Ilustración 5.242.



Ilustración 5.238 Ubicación del tercer cruce la L3 cambia al lado izquierdo de la L2, la cual va al centro

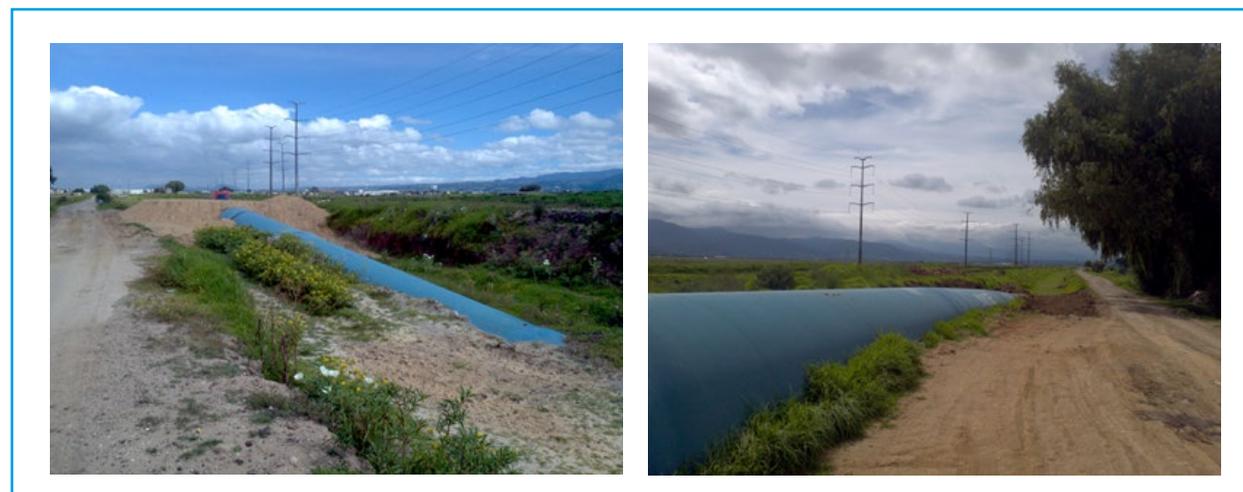


Ilustración 5.239 Tramos donde la línea L3 se ve superficial a un km. antes de llegar al cruce Río Lerma

Estudio para restituir y mejorar la capacidad de conducción, mediante un manejo adecuado del aire y optimización del funcionamiento hidráulico, en las líneas 1 y 2 del sistema Cutzamala



Ilustración 5.240 Sitio donde L3 cruza por encima de la línea L2 y toma posición al extremo izquierdo de L2



Ilustración 5.241 Cruzando el Río Lerma las líneas: L1, L2 y L3 aguas abajo continúan hacia el Túnel Analco



Ilustración 5.242 Durante el recorrido Río Lerma – Túnel Analco las líneas continúan L3, L2, y L1

El cuarto sitio se ubica en el trayecto Río Lerma - Portal de entrada Túnel Analco – San José, el trazo de la L3 regresa al centro entre la línea L2 y L1 –con respecto al flujo

hidráulico; ver Ilustración 5.243, Ilustración 5.244, Ilustración 5.245 y la Ilustración 5.246.



Ilustración 5.243 Sitio del cuarto cruce, la línea L3 regresa al centro: L2, L3 y L1, continúa a Túnel Analco



Ilustración 5.244 Ubicación del cruce L3 pasa al centro entre L2 y L1 antes de llegar a Túnel Analco



Ilustración 5.245 Trayecto de las líneas después del cruce L2, L3 y L1 antes de llegar a Túnel Analco



Ilustración 5.246 Continúa trayecto de las líneas después del cruce L2, L3 y L1 antes de llegar a Túnel Analco

El quinto sitio se ubica a unos 200 metros aproximadamente antes de llegar al Portal de entrada Túnel Analco – San José, el trazo de la L3 cambia de posición, se construye

por el lado derecho de la L1. Punto final donde descargan las tres líneas L2, L1 y la L3; ver Ilustración 5.247 e Ilustración 5.248.

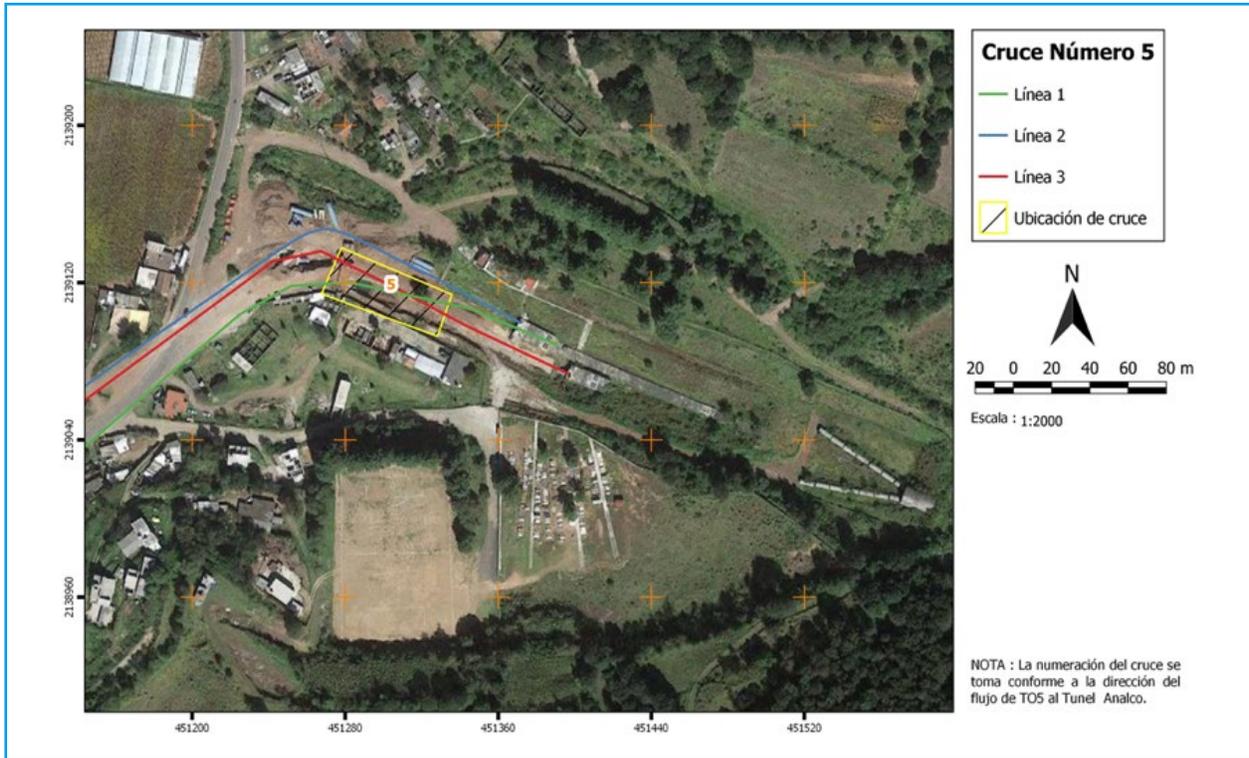


Ilustración 5.247 Sitio del quinto cruce de líneas, la L3 descarga por el lado derecho de L1 al Túnel Analco



Ilustración 5.248 Sitio del quinto cruce, línea L3 descarga por el lado derecho de L1 al Túnel Analco

Estudio para restituir y mejorar la capacidad de conducción, mediante un manejo adecuado del aire y optimización del funcionamiento hidráulico, en las líneas 1 y 2 del sistema Cutzamala



Ilustración 5.249 Portal de entrada Túnel Analco – San José donde descargan 3 líneas del sistema Cutzamala

En las obras hidráulicas del Túnel Analco, se construyó una estructura tipo cimacio a unos 4 metros después de donde termina la tubería de conducción a la llegada del canal

de transición. En la Ilustración 5.250, se muestra de manera esquemática en planta la obra hidráulica del Túnel Analco.



Ilustración 5.250 Llegada de las líneas L2, L1 y L3 del Sistema Cutzamala al Portal de entrada Túnel Analco

En la Ilustración 5.251, se muestra un esquema de la estructura tipo cimacio en el interior del canal de transición (ver ubicación Ilustración 5.250), se indican longitudes de manera estimada, no se tienen planos de esta estructura.

Es una estructura hidráulica de cresta redondeada que opera como una obra de control de nivel en el interior de cada línea de conducción (L2 y L1) aguas arriba. Porque el caudal que conduce cada línea del sistema Cutzamala L2 y L1 no sale directamente al canal de transición Túnel Analco.

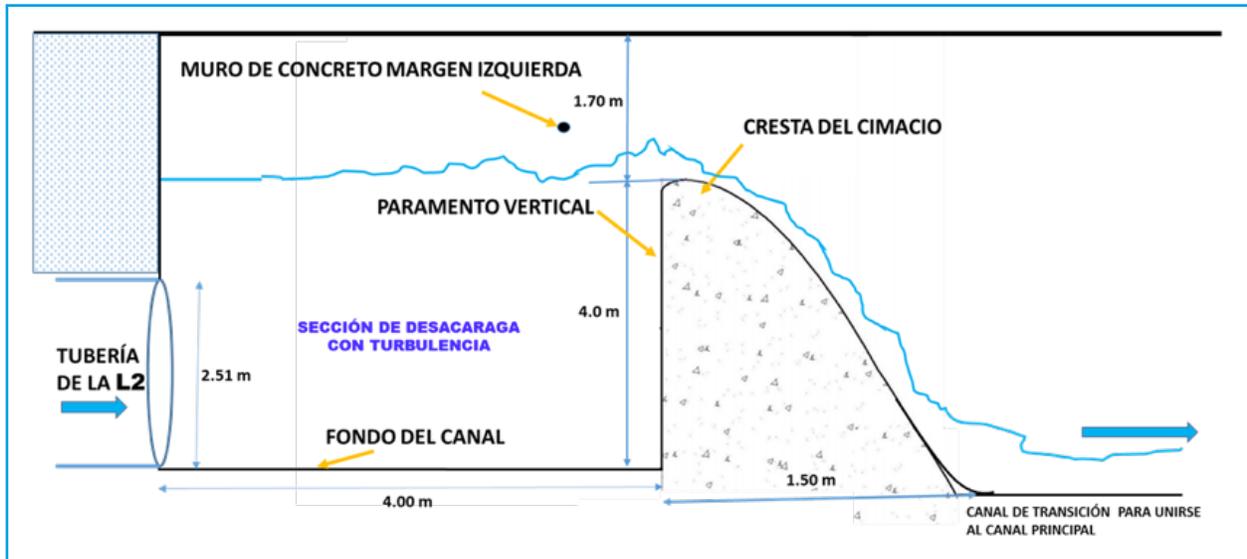


Ilustración 5.251 Estructura hidráulica de control de niveles construida en el interior del canal de la L2



Ilustración 5.252 Llegada de caudal de la L2 en Túnel Analco en un área de 20 m² para verter por un cimacio

Estudio para restituir y mejorar la capacidad de conducción, mediante un manejo adecuado del aire y optimización del funcionamiento hidráulico, en las líneas 1 y 2 del sistema Cutzamala



Ilustración 5.253 Flujo turbulento sobre la cresta del vertedor, en la caída al canal se genera mucha turbulencia



Ilustración 5.254 Flujo turbulento sobre la cresta del vertedor y turbulencia en toda la trayectoria del canal



Ilustración 5.255 Flujo turbulento sobre la cresta y en canal de transición por la caída libre del flujo

En la Ilustración 5.256, se muestra el caudal de la línea de conducción L1, su descarga no se percibe turbulencia, el flujo sobre la cresta del vertedor la lámina de agua se adhiere a la estructura hidráulica sin presencia de turbulencia, solamente se ocasiona en la caída para tomar su dirección

en el canal de transición, se observa también el tirante hidráulico a la entrada de la cresta bien definido y como disminuye hasta su caída, el espejo de agua entre la sección de la descarga L1 y el cimacio se mantiene tranquila, sin turbulencia; ver la Ilustración 5.257 y la Ilustración 5.258.

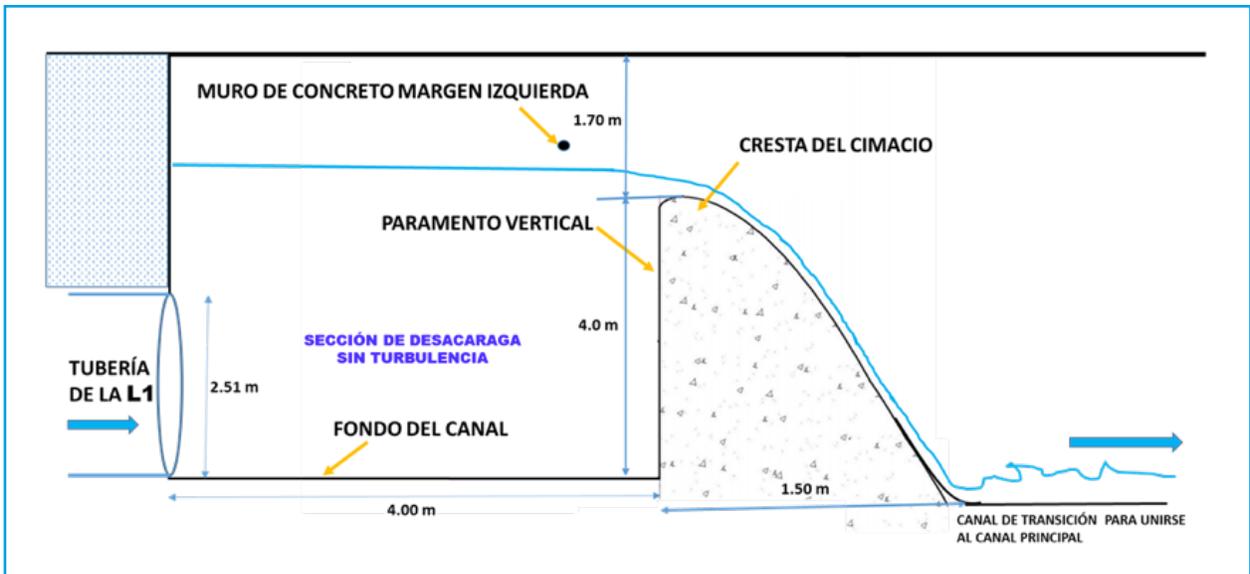


Ilustración 5.256 Estructura hidráulica de control de niveles construida en el interior del canal de la L1

Estudio para restituir y mejorar la capacidad de conducción, mediante un manejo adecuado del aire y optimización del funcionamiento hidráulico, en las líneas 1 y 2 del sistema Cutzamala



Ilustración 5.257 El caudal de descarga de la L1 se mantiene tranquilo sin turbulencia diferencia de la L2



Ilustración 5.258 Canal de transición de la L1 con turbulencia

5.5.4. DATOS BÁSICOS DEL PROTOTIPO

Gasto máximo de diseño Planta de Bombeo No.5 (PB5): 24 m^{3/s}

De la Planta de Bombeo No.5 salen dos líneas que llegan a la Torre de Oscilación

No.5 (TO5), sus longitudes y diámetros de ambas líneas se indican en la Tabla 5.36. Actualmente una línea (No.58) está terminada en su construcción, falta interconectarse al entronque ubicado en las cercanías de la Torre de Oscilación No.5; la otra línea (No.59) está en operación; ver Ilustración 5.259.

Tabla 5.36 Líneas de bombeo longitudes y diámetros (PB5 – TO5)
Líneas de conducción del bombeo Planta de bombeo no. 5 - Torre de oscilación no.5.

Línea de conducción en construcción no.58			Línea de conducción en operación no.59		
Tramo	Longitud (m)	Diámetro (m)	Tramo	Longitud (m)	Diámetro (m)
T1192	6.306	1.32	T1183	9.71	1.00
T1193	6.448	1.83	T1184	10.49	1.51
T1194	5.905	2.03	T1185	7.72	1.85
T1195	6.298	2.24	T1186	52.50	2.14
T1196	6.126	2.34	T1187	9.39	2.38
T1197	21.942	2.74	T1188	7.01	2.61
9	32.101	2.87	T1191	39.47	2.90
T1231	17.811	2.90	T1232	75.61	2.90
T1259	75.876	2.90	T1233	43.85	2.90
T1263	27.708	2.90	T1235	35.84	2.90
T1264	20.569	2.90	T1237	64.18	2.90
C10	10.202	3.00	T1239	110.34	2.90
C12	5.668	3.00	T1240	110.07	2.90
C14	7.62	3.00	T1241	146.44	2.90
T1140	9.089	3.00	T1242	128.59	2.90
T1143	5.642	3.00	C11	8.32	3.00
T1261	9.085	3.00	C13	5.94	3.00
T1266	5.702	3.00	T1141	8.91	3.00
10	10.041	3.15	T1142	5.16	3.00
T1265	47.432	3.15	T1234	8.36	3.00
T1267	116.376	3.15	T1238	5.57	3.00
T1268	74.482	3.15	T1189	6.34	3.10
T1269	69.165	3.15	T1190	6.14	3.10
T1270	55.134	3.15	T1243	146.95	3.24
T1271	193.77	3.15	T1244	149.39	3.24
T1272	295.449	3.15	T1245	123.50	3.24
T1273	213.008	3.15	C16	10.05	3.50
T1274	128.774	3.15	T1145	3.31	3.50

Tabla 5.36 Líneas de bombeo longitudes y diámetros (PB5 – TO5) (Continuación)

Líneas de conducción del bombeo Planta de bombeo no. 5 - Torre de oscilación no.5.

Línea de conducción en construcción no.58			Línea de conducción en operación no.59		
Tramo	Longitud (m)	Diámetro (m)	Tramo	Longitud (m)	Diámetro (m)
T1275	24.068	3.15	T1246	77.77	3.50
T1276	71.713	3.15	T1247	73.79	3.50
			T1248	52.83	3.50
			T1249	28.41	3.50
			T1250	62.84	3.50
			T1251	5.46	3.50
			11.00	9.80	4.00
Longitud total (m)	1,580		Longitud total (m)	1,650	



Ilustración 5.259 Ubicación de las líneas de bombeo de la (PB5 – TO5)

En la Ilustración 5.260, se muestra el perfil del Sistema Cutzamala, indicando las elevaciones de la Planta de Bombeo No. 5 y de

la Torre de Oscilación No. 5, existiendo un desnivel de $H = 204.75$ m.

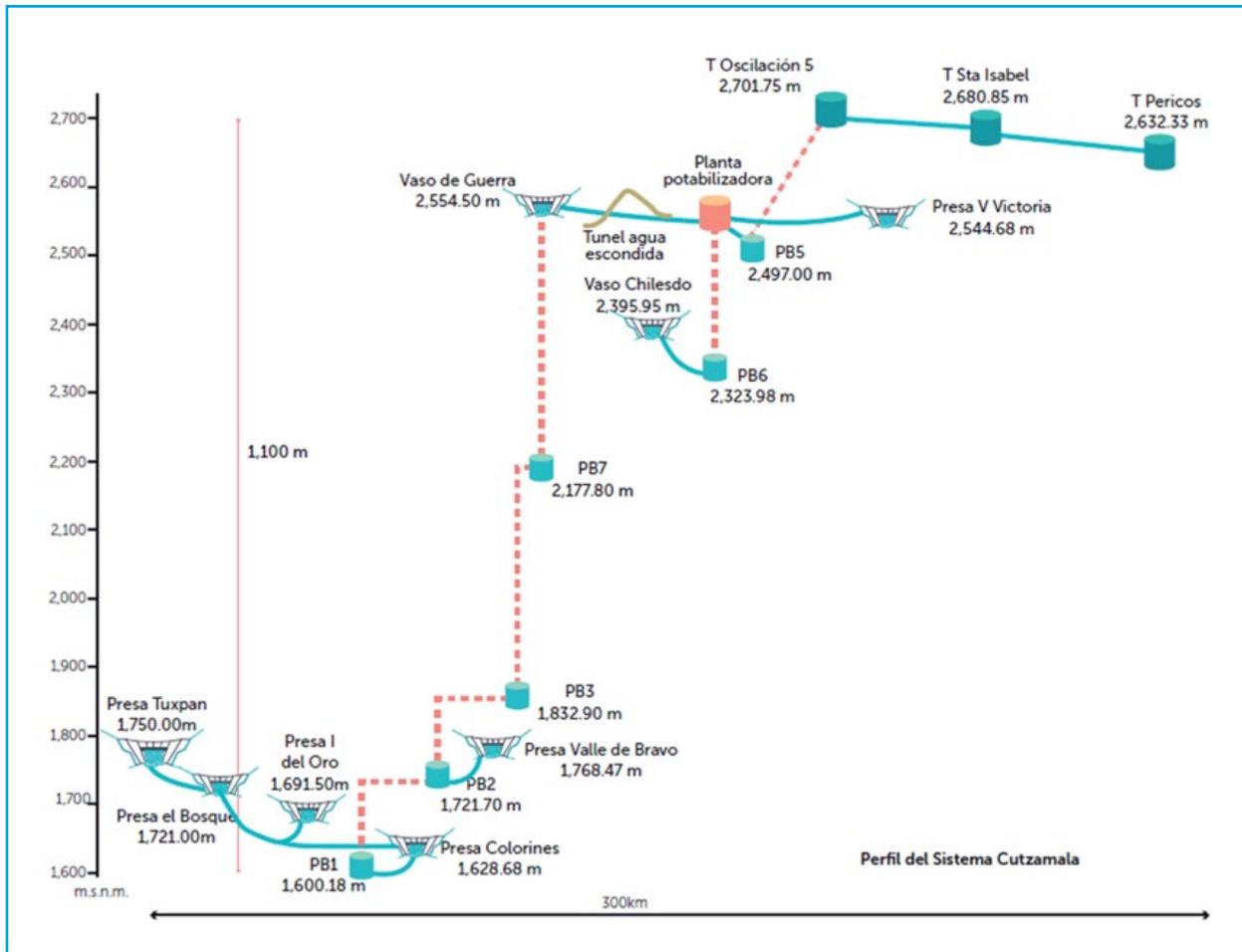


Ilustración 5.260 Perfil del Sistema Cutzamala y sus respectivas elevaciones

Caudal de diseño que llegaría a la Torre de Oscilación No. 5 (TO5): $24 \text{ m}^3/\text{s}$

Las líneas L1, L2 y L3, se diseñaron para una capacidad de gasto de $12 \text{ m}^3/\text{s}$ cada una; actualmente operan la L1 y L2; la línea L3 se termina de construir en este año para entrar en operación en el 2019; se construye para casos emergentes, como: mantenimientos a la L1 y L2, reparación de fugas, entre otros movimientos para mejorar la operación; cada línea tiene una longitud aproximadamente de 77,000 m.; el diámetro de cada tubería es de 2.51 m; el tipo de material de las tuberías L1 y L2 es de Concreto Pres-

forzado. Con respecto a la tubería de la línea L3, es de acero. El Coeficiente de rugosidad de Manning para las tuberías L1 y L2; $n = 0.017$; y para la línea L3; $n = 0.015$.

5.5.5. RESULTADOS OBTENIDOS DE LA MODELACIÓN MATEMÁTICA

Gasto máximo promedio que envía la Planta de Bombeo No.5 a la Torre de Oscilación No.5: $15.55 \text{ m}^3/\text{s}$, según información proporcionada por la CONAGUA; ver Tabla 5.37 y Ilustración 5.261.

Tabla 5.37 Caudales y volúmenes de la Planta de Bombeo No.5

Gasto y volumen promedio registrados en planta de bombeo no.5				
Mes	Periodo 2017		Periodo 2018	
	Gasto (m ³ /s)	Volumen (m ³ /mes)	Gasto (m ³ /s)	Volumen (m ³ /mes)
Enero	15.54	1,342,656	16.28	1,345,527
Febrero	16.22	1,401,581	15.89	1,372,606
Marzo	16.33	1,411,085	16.42	1,407,818
Abril	16.39	1,416,010	16.49	1,425,076
Mayo	16.37	1,414,541	16.31	1,409,117
Junio	15.60	1,347,408	16.36	1,412,916
Julio	15.40	1,330,906	15.18	1,307,652
Agosto	15.59	1,346,803		
Septiembre	17.31	1,495,930		
Octubre	17.41	1,504,397		
Noviembre	16.01	1,383,178		
Diciembre	8.43	728,352		
Volumen (m ³ /año)		16,122,845		9,680,712
Volumen (m ³ /mes)		1,343,570		1,382,959
Gasto (m ³ /s)		15.55	16.13	



Ilustración 5.261 Comparativa de gastos registrados en (PB5) de 2017 y 2018

Caudal que llega a la Torre de Oscilación No. 5 (TO5): $13.4 \text{ m}^3/\text{s}$, este flujo se encauza por las líneas de conducción L1 y L2.

Cabe indicar, que en cada línea de conducción L1 y L2, el Tanque Santa Isabel, el Tanque Pericos y a la llegada del Túnel Analco - San José, obras hidráulicas ubicadas en el trayecto de las líneas de conducción del sistema de abastecimiento Cutzamala, no existen instrumentos de aforo para conocer el gasto que está llegando a cada sitio de mitigación de energía. Los resultados que se indican a continuación son resultado de la modelación de simulación hidráulica, tal como se presentó en el apartado 4.1.3 al 4.1.10.5.

De la Torre de Oscilación No. 5 al Tanque Santa Isabel (TO5-TSI) se analizó un gasto de $Q = 13.4 \text{ m}^3/\text{s}$, caudal entre las dos líneas en operación L1 y L2; (ver inciso 4.1.10.2).

Del Tanque Santa Isabel al Tanque Pericos se analizó un gasto (TSI-TP) $Q = 13.3 \text{ m}^3/\text{s}$, caudal entre las dos líneas en operación L1 y L2; (ver 4.1.10.4).

Y a la llegada del Túnel Analco - San José; la línea de conducción L2 descarga un gasto de $7.06 \text{ m}^3/\text{s}$, mientras que la línea L1 descarga un gasto de $6.33 \text{ m}^3/\text{s}$, sumando un caudal total de $13.39 \text{ m}^3/\text{s}$.

5.5.6. MODELO FÍSICO

5.5.6.1. Generalidades

En la búsqueda bibliográfica relacionada al análisis de problemas de aire en tuberías,

los estudios de investigación son puntuales, experimentos de corta longitud de tubería, no más de 10 metros de longitud, viable para determinar una escala adecuada para analizar el fenómeno de aire en un espacio corto y si se cumplen todas las condiciones hidráulicas necesarias.

En este caso, la longitud a modelar es de 77 km para cada línea, son tres conducciones y un ancho de la zona de estudio de 12 km, ambas longitudes son aproximadas. Se analizan las escalas de acuerdo a espacio, gasto, diámetro del tubo, para manejar un diámetro comercial. Se analizan las escalas del modelo físico tanto no distorsionado como distorsionado.

De acuerdo con Brooks y Blackmer en el libro "Vortex Energy Dissipator for San Diego Ocean Outfall" en los capítulos 1 y 2, indican recomendaciones de diseño en modelos hidráulicos aplicado a estudios de atrapamiento de aire; Report No. Kh-R-5.-Diciembre 1962; y Boughton (1960) en el Capítulo 3 del mismo libro "Model Laws and Limitations"; subcapítulo "Air Entrainment", página 3.03.2, recomienda tres condiciones importantes para los modelos físicos en estudios de arrastre de aire:

- Las escalas de longitud deben estar sin distorsión;
- La Ley de Froude es necesaria para el modelado de la velocidad. (Si el agua se utiliza tanto en modelo como en prototipo, la presión y los gradientes serán así iguales);
- La relación de las velocidades de la burbuja en relación con el agua en

determinado gradiente de presión debe ser igual a la velocidad relación por la Ley de Froude. Para satisfacer la tercera condición, Boughton (1960) sugiere usar gotas de queroseno. Estos criterios darán una indicación adecuada del movimiento de las burbujas, pero todavía no ayudan a resolver el problema de la cantidad de aire. Pero, con estas condiciones los resultados serán más cercanos a la realidad.

En caso de la relación con la posible distorsión del modelo, es necesario tener en cuenta que, aunque la escala de longitud longitudinal es constante, la escala de longitud transversal depende de que a su vez es una función del número de Reynolds. Exactamente hablando, la escala de longitud transversal varía con el tamaño de la sección transversal de flujo, así como con la velocidad de flujo. Además, una distorsión del modelo afecta el coeficiente de pérdida de carga asociado con los accesorios de la tubería ya que las relaciones geométricas son diferentes (por ejemplo, el ángulo de expansión, pendientes, estructuras hidráulicas que son parte del estudio, entre otras) y las distancias relativas entre las inserciones sucesivas se acortan. Investigadores dedicados al estudio de los problemas hidráulicos en modelos físicos, tanto de la parte fluvial, obras hidráulicas, problemas de atrapamiento de aire en tuberías, entre otros casos; afirman que el trabajar con un modelo no distorsionado, donde su escala vertical y horizontal es la misma, la semejanza modelo y prototipo es ideal.

Mientras que los modelos distorsionados, por la diferencia de escala vertical con la horizontal pueden cambiar las características de dispersión en el modelo físico y la similitud adecuada puede no lograrse. Las ventajas de usar un modelo distorsionado: aumenta el número de Reynolds; reduce el tamaño del modelo, principalmente cuando hay la necesidad de que las secciones de un río son radicalmente muy anchas, profundidad, caudal; asimismo, facilita a los modelos de fondo móvil estudiar el movimiento del material. Con respecto a sus desventajas: se distorsiona la semejanza dinámica, el escurrimiento puede ser diferente que en el prototipo, y aumenta la posibilidad de error y producirse una impresión desfavorable al que se observa. Ahora, hay casos en que es necesaria la distorsión, en el inciso 6.5.6.3 se describen algunos puntos a considerar:

5.5.6.2. Modelos no distorsionados

Son aquellos en los cuales es aplicada la misma escala de longitudes en cualquier dirección, es decir existe una escala entre el modelo y el prototipo. En este tipo de modelos se alcanza una mayor semejanza entre modelo y prototipo.

5.5.6.3. Modelos distorsionados

Son aquellos en los que la escala de longitudes en una dirección es diferente de las otras dos o bien cuando las tres escala de longitudes (x, y, z) difieren entre sí. Usualmente se dice que en este tipo de modelos existe una escala para longitudes verticales y otra para longitudes horizontales.

Algunos autores indican en sus publicaciones de modelos hidráulicos, que la distorsión máxima sea de 10 para modelos de fondo fijo. Cuando un modelo hidráulico se distorsiona mucho, su similitud geométrica presenta mayores errores en su topografía y diámetro de batimetría, así como en la medición de las características hidráulicas del cauce, y se requieren de equipos de medición de tecnología. Por otro lado, si se dispone de una área de terreno sin restricción para la instalación de la mesa experimental, y se construyera fuera del acondicionamiento de un laboratorio de hidráulica, al diseñar el modelo con esa área, la obra saldría en un costo muy alto, que es el caso, pero lo mismo sucede si no se hace distorsionado, porque hay que adecuar el sitio en todos los aspectos de funcionalidad para el modelo. Otra variable importante que forma parte de la distorsión, es cuando se tiene que representar la rugosidad, en ocasiones puede ser pequeña físicamente, y también sería imposible conseguirlo.

Causas que ocasionen la distorsión de un modelo hidráulico, entre algunas de ellas:

Rugosidad. Cuando esta es minúscula, debido a que físicamente es imposible de representar. Por ejemplo, no es posible proporcionar coeficientes de rugosidad de Manning (n) en modelos inferiores a 0.008.

En la Tabla 5.38 se muestran coeficientes de fricción (n) para usarse en la ecuación de Manning.

Flujo. Debido a la no correspondencia del flujo para lo que fue diseñado el prototipo. Por ejemplo, si el flujo del prototipo es hidráulicamente muy turbulento, cualitativamente lo debe satisfacer el modelo aunque no se cumpla de manera cuantitativa.

Espacio. Este problema se ocasionada porque el modelo resulta ser más grande que la superficie disponible, lo que significa aumentar numéricamente la escala de

Tabla 5.38 Coeficientes de rugosidad de Manning (n) para diferentes materiales de tubería

MATERIAL	n
-PVC y polietileno de alta densidad	0.009
- Asbesto-cemento nuevo	0.010
- Asbesto-cemento usado	0.011 a 0.015
- Fierro fundido nuevo	0.013
- Fierro fundido usado	0.017
- Concreto liso	0.012
- Concreto áspero	0.016
- Concreto preforzado	0.012
- Concreto con buen acabado	0.014
- Mampostería con mortero de cemento	0.0020
- Acero soldado con revestimiento interior a base de epoxy	0.011
- Acero sin revestimiento	0.014
- Acero galvanizado nuevo o usado	0.014

líneas, que su vez implica reducir la escala de líneas verticales, haciendo más fuerte la influencia de otros fenómenos. Por ejemplo en la tensión superficial que en el prototipo no es de consideración.

Equipo de Medición. En caso de disponer o construir equipo de medición cuyas proporciones no permitan obtener la información correcta. Se analizarán en este caso los orificios para la instalación de las VAEAS a escala e instalación de sensores para medir la presión.

Para fines del estudio se diseñara el modelo hidráulico no distorsionado, se anexan algunas propuestas con distorsión desde 2 hasta 6.

5.5.6.4. Condiciones de similitud

La similitud geométrica se cumple cuando la relación entre dimensiones homólogas prototipo y modelo son iguales. Esto quiere decir que son idénticos en forma, únicamente difieren en el tamaño. Por lo tanto, como primer paso es determinar el tamaño del modelo.

$$E_i = \frac{L_p}{L_m} \quad \text{Ecuación 5.1}$$

Donde:

- E_i = Escala de longitudes
- L_p = Longitud del prototipo
- L_m = Longitud del modelo

En este caso se determina la escala para un modelo no distorsionado, donde $L_{he} \neq L_{ve}$. Así mismo, se analiza para un modelo distor-

sionado, por lo tanto la similitud geométrica se será:

$$L_{he} = \frac{L_p}{L_m} \quad \text{Ecuación 5.2}$$

Por lo tanto:

La distorsión se expresa como:

$$\Delta = \frac{L_{he}}{L_{ve}} > 1 \quad \text{Ecuación 5.3}$$

La similitud cinemática se cumple cuando la forma de los patrones de flujo homólogos son iguales en cualquier tiempo. Es decir, hay similitud de movimiento de los sistemas, prototipo y modelo. Por lo tanto, la similitud cinemática obliga a que modelo y prototipo tengan una escala de líneas y una escala de tiempos. Con ello se logra una escala única de velocidades, o sea:

$$V_e = \frac{V_p}{V_m} \quad \text{Ilustración 5.1}$$

Donde:

- V_e = Escala de velocidades
- V_p = Velocidad en el prototipo
- V_m = Velocidad homóloga en el modelo

Y con respecto a la escala de tiempos:

$$t_e = \frac{t_p}{t_m} \quad \text{Ecuación 5.4}$$

Donde:

- t_e = Escala de tiempo
- t_p = Tiempo en el prototipo
- t_m = Tiempo homólogo en el modelo

Para que se logre la similitud cinemática primeramente debe cumplirse la similitud geométrica.

La similitud dinámica se cumple si las fuerzas ejercidas por el fluido en puntos homólogos del modelo y prototipo están relacionadas entre sí mediante un valor fijo, que recibe el nombre de escala de fuerzas (F_e). Las fuerzas que actúan sobre una partícula de fluido son: la gravedad (F_g), la presión (F_p), la viscosidad (F_v), y a la tensión superficial (F_σ). La semejanza dinámica implica que se cumpla:

$$F_e = \frac{F_{gp}}{F_{gm}} = \frac{F_{pp}}{F_{pm}} = \frac{F_{vp}}{F_{vm}} = \frac{F_{\sigma p}}{F_{\sigma m}} \quad \text{Ecuación 5.5}$$

El concepto básico de similitud dinámica puede establecerse como un requisito para que dos sistemas, con fronteras geométricamente semejantes, tengan configuraciones de flujo geométricamente semejantes, en tiempos correspondientes.

Por otro lado, sí un fenómeno hidráulico depende únicamente de la gravedad o solo de la viscosidad, se estudia en un modelo que cumpla con las condiciones de Froude o la de Reynolds, respectivamente.

Si en el fenómeno por estudiar interviene tanto fuerzas gravitacionales como viscosas, debe construirse un modelo que cumpla ambas condiciones.

Al cumplirse la simultaneidad de las dos condiciones, expresadas por la Ecuación 5.7 y la Ecuación 5.8 la condición de Froude,

indica la relación que tiene que existir entre las escalas, cuando se desea representar adecuadamente los escurrimientos en que la fuerza predominante es debida a la gravedad:

$$\frac{V_e}{\sqrt{g_e L_e}} = 1 \quad \text{Ecuación 5.6}$$

Relación entre escalas conocidas como condición de Reynolds:

$$\frac{V_e L_e}{\nu_e} = 1 \quad \text{Ecuación 5.7}$$

Donde:

ν_e = escala de viscosidad cinemática e igual a:

$$t_e = \frac{t_p}{t_m} \quad \text{Ecuación 5.8}$$

Por lo tanto, la ecuación 4.8 garantiza la similitud dinámica cuando las únicas fuerzas de interés se deban a la inercia y a la viscosidad del fluido. El cumplimiento de la condición de Reynolds obliga a que los números de Reynolds en modelo y prototipo sean iguales, es decir se debe cumplir que:

$$R = \frac{V_p L_p}{\nu_p} = \frac{V_m L_m}{\nu_m} \quad \text{Ecuación 5.9}$$

Donde:

R = **Número de Reynolds**

La condición de Reynolds la deben cumplir modelos donde se estudien: el empuje y sustentación de cuerpos, flujos laminares y de transición en tuberías.

Por lo tanto con la Ecuación 5.7 y la Ecuación 5.8, se llega a la siguiente relación.

$$\vartheta_e = (L_e)^{\frac{3}{2}} \quad \text{Ecuación 5.10}$$

La cual indica que el fluido del modelo y el tamaño de éste deben estar relacionados entre sí y no pueden escogerse libremente.

El cumplimiento de la ϑ_e obliga a seleccionar en el modelo un fluido diferente al del prototipo, ya que de otra manera L_e es igual 1, lo cual puede resultar muy costoso o poco práctico. Por lo tanto, pocos modelos llegan a cumplir con las condiciones de Froude y de Reynolds simultáneamente.

En los modelos hidráulicos, para representar que un flujo es turbulento, es necesario que en el modelo también lo sea, aun cuando no se cumpla con el grado (igual número de Reynolds en el modelo que en el prototipo) pero sí con la condición correspondiente a la de frontera hidráulicamente rugosa, para representar un flujo sumamente turbulento o de transición. El flujo turbulento ha sido ampliamente estudiado, existen varios criterios para su delimitación, todos ellos relacionados con el número de Reynolds, el cual al ser mayor que un cierto valor indica que el flujo es turbulento, como lo indica la expresión de Ven Te Chow.

$$R_e = \frac{VR}{\nu} > 500 \quad \text{Ecuación 5.11}$$

Donde:

V = Velocidad media del flujo (m/s)

R = Radio hidráulico (m)
 ν = Viscosidad cinemática $1 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$

5.5.6.5. Determinación de escalas según el espacio disponible

Para determinar las escalas del modelo hidráulico se utilizaron los siguientes datos:

Cabe indicar que en el inciso “4.5.6.1. Generalidades” se menciona una longitud de 77 km en prototipo para modelar, esta longitud en una sola trayectoria no es posible, mínimo se requiere una longitud de 900 metros lineales, espacio no disponible en las instalaciones del IMTA. Para fines del modelo físico, se hizo dividir los 77 km en tres tramos: el primer tramo es de 15,620 metros; el segundo tramo de 36,240 metros y el tercero de 25,760 m. De los tres tramos el más crítico en longitud, es el segundo tramo, valor que se redondea a 37,000 m; el ancho promedio para las tres líneas según los recorridos de campo: 15 m. Para el diseño del modelo físico, las longitudes de las tuberías es variable, se evitó hacer el corte igual, se trató de no interrumpir el fenómeno hidráulico que ocurra entre salida y llegada de estructuras hidráulicas que disipan la energía, es decir: Torre de Oscilación, Tanques (Santa Isabel y Pericos), y Canal San José o Canal de salida que conduce el caudal a la ciudad de México; el trazo se diseñó en forma de “U”.

- Área a modelar del prototipo; Longitud: 37,000 m; Ancho: 15 m; Área: 555,000 m²

- Gasto máximo de prueba: 24 m³/s.
- Gasto disponible en las instalaciones del laboratorio experimental Enzo Levi del IMTA: 200 L/s.
- Espacio disponible en el laboratorio: Longitud: 370 m; Ancho: 6 m ; Área: 2,220 m²

El modelo se analizará bajo las siguientes condiciones de similitud de Froude:

- No distorsionado: $\Delta = 1$; se aplica cuando el movimiento del fluido está en turbulencia completamente desarrollada.
- Con distorsión máxima utilizada: $\Delta = 6$; se aplica este criterio cuando el prototipo a modelar es muy largo.
- En ambos casos se pretende determinar un tubo de acrílico de diámetro comercial, para aminorar el costo del proyecto.

Para el caso de los cálculos de escalas con distorsión se aplicaron valores menores o igual a 6. Algunos autores indican en sus publicaciones sobre modelos hidráulicos, que la distorsión máxima debe ser de 10 para no modificar tanto las condiciones del prototipo.

La escala horizontal se determinó considerando el dato de la longitud del acueducto del prototipo y la longitud del espacio disponible en el laboratorio de hidráulica, resultando de:

La Escala de Líneas Horizontal se calcula con la Ecuación 5.2, y es igual a:

$$L_{he} = \frac{L_p}{L_m} = \frac{37000}{350} = 105.71 \cong 106$$

Cuando aplicamos el criterio de un modelo no distorsionado, la escala de líneas es: $L_{he} = L_{ve}$; la finalidad es de conservar un diámetro sin deformación.

Para determinar la Escala de Líneas Vertical para el caso de un modelo distorsionado:

- De la expresión (4.3), la escala de líneas vertical es igual a:

$$L_{ve} = \frac{L_{he}}{\Delta}$$

- Se propone una distorsión de $\Delta = 6$; $L_{ve} = 17.67$
- Se considera la expresión de escala de gastos: $Q_e = L_{he} (L_{ve})^{3/2}$ para condiciones de Froude; el parámetro de gastos forma parte de las condiciones de similitud cinemática.
- Se considera también la expresión para determinar el gasto máximo a utilizarse en modelo físico en L/s, siendo igual a: $Q_{m\acute{a}x\ mod} = (Q_{m\acute{a}x\ prot} / Q_e) * 1000$.

Con esta información se realizaron los cálculos necesarios y se obtienen los valores de ambas escalas para un modelo no distorsionado con su respectivo gasto máximo para utilizarse el modelo hidráulico.

En la Tabla 5.39, se pueden observar los resultados de las escalas analizadas, los valores son muy variables; en algunos casos son favorables, pero el gasto máximo a

utilizar en modelo físico es pequeño o demasiado grande la escala.

En este análisis de escalas con el criterio de un modelo no distorsionado, si se considera la escala 1:106 en ambas direcciones “x” - “y”, se determina un diámetro de tubo de acrílico no comercial de 23.58 mm. En este caso el proyecto del modelo hidráulico resulta muy costoso, porque el tubo de acrílico no es comercial, debido al costo se procede al análisis de encontrar un diámetro comercial, obteniéndose una escala 1:98.83

para ambas direcciones “x” - “y”, con este resultado el diámetro del tubo es de una pulgada o 25.4 mm. Con estas dos variables de frontera; “espacio disponible” y “diámetro comercial del tubo”, se estudiaron las escalas.

$$Escala = L_{he} = \frac{L_p}{L_m}$$

$$L_p = 37000; L_{he} = 106$$

$$Q_e = L_{he} (L_{ve})^3$$

$$Q_{max} = \frac{Q_{maxprot}}{Q_e} 1000$$

Tabla 5.39 Escalas sin distorsión, con distorsión y su respectivo gasto

Observaciones	L _{he}	Distorsión	L _{ve}	Q _e	Q _{máx.Mod}	Diámetro comercial	Q _{máx=Qmax prot/Qe*1000}
					L/s	mm	in
Escalas sin distorsión: (por espacio)	106	1	106.00	115,682	0.21	23.68	0.9324
Por diámetro comercial (la viable)	98.83	1	98.83	97,101	0.25	25.40	1
Escalas para modelo distorsionado (no recomendable) para estos casos El diámetro del tubo se vuelve de forma elíptica	106	2	53.00	40,900	0.59		
	98.83	2	49.42	34,330	0.70	50.79	2
	106	3	35.33	22,263	1.08		
	98.83	3	32.94	18,687	1.28	76.19	3
	106	4	26.50	14,460	1.66		
	98.83	4	24.71	12,138	1.98	101.59	4
	106	5	21.20	10,347	2.32		
	98.83	5	19.77	8,685	2.76	126.99	5
	106	6	17.67	7,871	3.05		
98.93	6	16.49	6,624	3.62	152.23	6	

Por lo tanto, para fines del diseño del modelo hidráulico y con el criterio de un modelo no distorsionado, las escalas son: 1:98.83 en la horizontal y 1:98.83 en la vertical; son las que más se acercaron a las condiciones disponibles en las instalaciones del Laboratorio y determinando un tubo de diámetro comercial.

En la Tabla 5.40, se indican los resultados de prototipo – modelo con las escalas ob-

tenidas, cabe indicar que con la escala seleccionada 1:98.83 en ambas direcciones “x – y”, el espacio disponible se amplía un poco más; de 350 m a 366.7 m, como se aprecian los valores no es una diferencia representativa, el espacio se dispone para construir el modelo hidráulico. En la Ilustración 5.263, se muestran los diámetros comerciales de la tubería de acrílico, espesor y longitud por tramo.

Tabla 5.40 Comparativa de escalas al transportar datos de prototipo – modelo y diámetro comercial

Escala calculada por espacio en el laboratorio experimental						Datos a modelo					
Prototipo		Escala (L_{he})	Datos a modelo	Prototipo	(m)	Escala (L_{ve})	(m)	(cm)	(in)	(mm)	
To5 - TSI-- long. (m)	15,620	106	147.4	Diám. Tub (99")	2.51	106	0.024	2.368	0.932	23.68	
TSI - TP--- long. (m)	36,240		341.9	Orificio VAEA (8")	0.2032	106	0.002	0.192	0.075	1.917	
TP - CSJ----long. (m)	25,760		243.0								
Ancho para las 3 líneas (m)	15		0.14								
$Q_{m\acute{a}ximo}$ m ³ /s	24		0.21								
Escala analizada para obtener un diámetro comercial del tubo de acrílico						Datos a modelo					
Prototipo		Escala (L_{he})	Datos a modelo	Prototipo	(m)	Escala (L_{ve})	(m)	(cm)	(in)	(mm)	
To5 - TSI-- long. (m)	15,620	98.83	158.0	Diám. Tub (99")	2.51	98.83	0.025	2.540	1.000	25.40	
Tsi - TP--- long. (m)	36,240		366.7	Orificio VAEA (8")	0.2032	98.83	0.002	0.206	0.081	2.056	
TP - CSJ----long. (m)	25,760		260.6								
Ancho para las 3 líneas (m)	15		0.2								
$Q_{m\acute{a}ximo}$ m ³ /s	24		0.25								

DIAMETRO mm.	PULGADAS PARED		LARGO
6.3	1/4"	1.5	1.80 mts
9.5	3/8"	1.0	1.80 mts
12.7	1/2"	1.0	1.80 mts
19.0	3/4"	1.0	1.80 mts
19.0	3/4"	3.0	1.80 mts
25.4	1"	3.0	1.80 mts
31.7	1 1/4"	3.0	1.80 mts
38.1	1 1/2"	3.0	1.80 mts
50.8	2"	3.0	1.80 mts
63.5	2 1/2"	3.0	1.80 mts
76.2	3"	3.0	1.80 mts
88.9	3 1/2"	3.0	1.80 mts
101.6	4"	3.0	1.80 mts
127.0	5"	3.0	1.80 mts
152.4	6"	3.0	1.80 mts



Ilustración 5.262 Diámetros de tubería de acrílico comercial con su respectivo espesor y longitud

5.5.6.6. Determinación del factor de escala para cada magnitud física

Este factor multiplicador que se calcula para cada magnitud física, se aplica para hacer algo más grande (ampliarlo) o para hacerlo más pequeño, se determinan para transportar las magnitudes de modelo a prototipo o de prototipo a modelo.

Con los resultados obtenidos de las magnitudes físicas de cada condición de similitud, como son la geométrica, cinemática e hidráulica, se muestra un análisis que justifique el cumplimiento de las condiciones de similitud con el criterio de Froude y Reynolds.

En la Tabla 5.41 se indican los factores de escalas, calculados de acuerdo a la expresión de cada magnitud física que cumple con la condición de Froude.

Tabla 5.41 Factores de escala por magnitud física para el modelo hidráulico

Magnitud física	Escala	Expresión	Factor de escala
Condición Geométrica			
Longitud horizontal	L_{he}	L_e	98.83
Longitud vertical	L_{ve}	L_e	98.83
Condición Cinemática			
Velocidad	$v_e = L/t$	$(L_e)^{1/2}$	9.941
Gasto	Q_e	$L_{he} (L_{ve})^{3/2}$	97,101
Tiempo	$t_e = L/v$	$(L_e)^{1/2}$	9.941
Condición hidráulica			
Pendiente	$S_e = L_v/L_h$	L_{ve}/L_{he}	1
Perímetro mojado	P_m	L_e	98.83
Radio hidráulico	$R_h = A/P_m$	L_e	98.83
Coefficiente de fricción de Manning	n_e	$n_e = (L_e)^{1/6}$	2.1502
Reynolds	R_e	$L_e^{(3/2)}$	982.501

En la Tabla 5.42, se muestran las fronteras para cumplir con un flujo turbulento, según la condición de Reynolds, aplicando la ecuación de Ven Te Chow.

Condiciones de flujo laminar y turbulento según Número de Reynolds, para el prototipo:

$Re \leq 2000$: Régimen laminar.

$2000 < Re \leq 4000$: Zona crítica o de transición.

$Re > 4000$: Régimen turbulento.

Se cumple en prototipo:

$$Reynolds = R_p = 4,058,125 > 4000$$

Se cumple en modelo aplicando el factor de escala del Número de Reynolds (Tabla 5.42):

$$Reynolds = R_m = R_p/R_e = 4058125/982.501 = 4130.41 > 500$$

Con respecto a coeficiente de Manning, para fines del prototipo se consideró un n_p para la tubería de: $n_p = 0.017$; por tanto, aplicando el factor de escala de Manning (Tabla 5.41).

$$\text{Coeficiente de Manning} = n_m = n_p/n_e = 0.017/2.1502 = 0.0079$$

El Coeficiente de Manning del tubo de acrílico que se utilizará para el modelo hidráulico es de 0.0085; el resultado es muy similar. Para fines del modelo hidráulico es viable el material seleccionado.

5.5.6.7. Transportando las magnitudes de prototipo a modelo

En la Tabla 5.43 se indican las magnitudes transportadas de prototipo a modelo, de acuerdo con los factores calculados e indicados en la Tabla 5.41, para realizar el diseño de las estructuras experimentales. Asimismo, se presentan algunas observaciones y un análisis de las condiciones de similitud obtenidas.

Tabla 5.42 Condiciones para determinar el tipo de flujo según Reynolds

EN PROTOTIPO						
A=4.95 m ²	P=7.89 m	Re=	4,058,125	>	4000	El número de Reynolds (Re) permite predecir el tipo de flujo turbulento o laminar en ciertos casos. En conductos o tuberías (en otros sistemas, varía el Reynolds límite): Si el número de Reynolds es menor de 2100 el flujo será laminar y si es mayor de 4000 el flujo será turbulento
EN MODELO						
V=0.163						El flujo turbulento ha sido ampliamente estudiado, existen varios criterios para su delimitación, todos ellos relacionados con el número de Reynolds, el cual a ser mayor que un cierto valor indica que el flujo es turbulento. Para fines de este caso se aplicará el criterio de Ven Te Chow.
Rh=0.025 m		Re=	4,130	>	500	

Tabla 5.43 Transportación de magnitudes de frontera del prototipo a modelo

Datos del Prototipo	Datos a Modelo Físico	Observaciones
Área a modelar del prototipo; de Longitud: 77,000 m.	779 m	No es viable por espacio de terreno
Ancho: 15 m.	0.152 m	
Por falta de espacio en Laboratorio se divide en 4 tramos		
De la Planta de Bombeo No.5 a Torre de Oscilación No.5: 1,650 m	17 m	Condiciones disponibles en el Laboratorio para construirse el Modelo Hidráulico
De la Torre de Oscilación No.5 al Tanque Santa Isabel: 15,620 m	158 m	
Del Tanque Santa Isabel a Tanque Pericos: 36,240 m	367 m	
Del Tanque Pericos al Canal San José: 25,760 m	261 m	
Gasto máximo de prueba: 24 m³/s.	0.25 L/s	
Radio Hidráulico del tubo : 2.51 m	0.0254 m	
Se consideró un Coeficiente de Rugosidad "n" de Manning: 0.017	0.0079	
Velocidad media del caudal: 1.62 m/s	0.163 m/s	
Gasto estimado por cada línea actualmente: 8 m³/s.	0.082 l/s	
Número de Reynolds: 4,058,125	4130.41	

- El modelo hidráulico no se puede construir de manera longitudinal como se presenta en el prototipo, no se dispone del espacio requerido en el Laboratorio Experimental.
- El prototipo se diseñará en cuatro tramos; tres de ellos serán paralelos, que corresponden a las tres conducciones en estudio y un tramo para la alimentación. En cada tramo seleccionado se construirá una estructura hidráulica como disipadora de energía (un tanque de control de gasto) y en el tercer tramo corresponde a una estructura hidráulica como de salida, sitio denominado Túnel Analco - San José". Se evitará seleccionar corte de tubería en tramo de conducción por estudiar. En cada tanque como cambio de dirección del flujo, se tratará de reproducir el efecto del caudal a la llegada y salida para continuar su transición al siguiente tramo.
- Se modelará solamente el perfil de las tres conducciones, no se consideran los efectos de planimetría por trazo de las líneas por falta de espacio en el Laboratorio experimental.
- Se cumple con el tipo de régimen de flujo turbulento en los dos casos (Prototipo – Modelo).
- En lo que respecta al Coeficiente de Rugosidad, para el modelo hidráulico resultó ser de 0.0079, mientras que la tubería de acrílico a utilizar, de una pulgada y de tres milímetros de espesor, como tubería nueva, presenta una "n" de Manning de 0.0085. Por lo tanto, el coeficiente de rugosidad obtenido es aceptable, el material del tubo seleccionado es viables para fines del estudio.

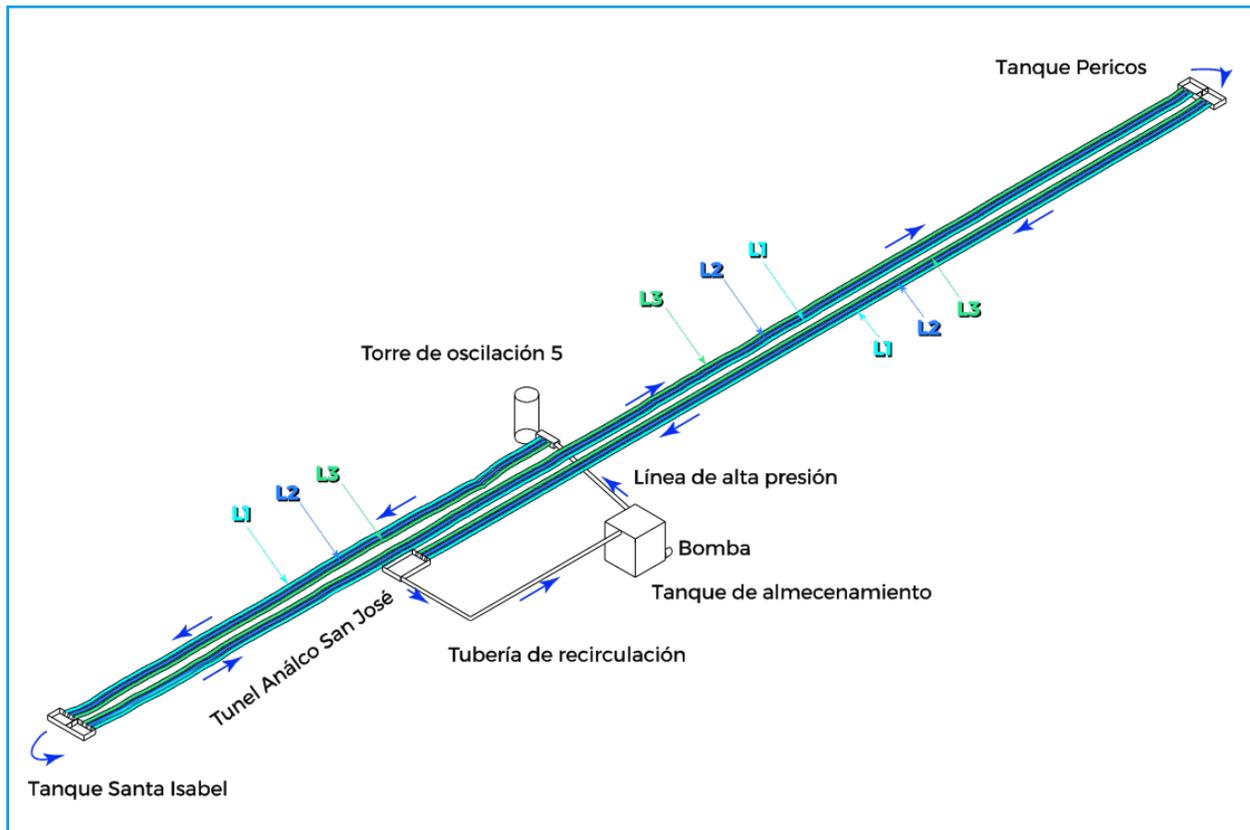


Ilustración 5.263 Arreglo conceptual del modelo físico del sistema Cutzamala, entre la TO5 al TASJ

- Se cumple con el caudal requerido y espacio disponible en el Laboratorio de Hidráulica.

5.5.7. DISEÑO DEL MODELO HIDRÁULICO Y PROPUESTA ECONÓMICA DEL PROYECTO

5.5.7.1. Objeto

Construcción del modelo físico a escala reducida del Sistema Cutzamala, en el Laboratorio de Hidráulica Enzo Levi. Requerido para mejorar la capacidad de conducción,

mediante el manejo adecuado del aire y funcionamiento hidráulico de las líneas 1, 2 y 3.

5.5.7.2. Lugar de ejecución

Laboratorio de Hidráulica Enzo Levi del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, ubicado en Paseo Cuauhnáhuac No. 8532, Col. Progreso, Jiutepec, Morelos.

5.5.7.3. Descripción de los servicios

La construcción del modelo físico consiste en: configurar, realizar pruebas preliminares,

y las modificaciones correspondientes a la geometría en el modelo físico en caso necesario a escala 1:98.83, durante su construcción. Será construido en un área aproximadamente de 2,319 m², el ancho es variable, desde: 2.2, 4, y 5 metros por 366 m de largo; el Gasto máximo por operar en el modelo 0.25 L/s. Las partes que componen el modelo son:

- La alimentación al modelo hidráulico será por bombeo a través de una tubería de PVC 3/4" de diámetro.
- Dispondrá de cuatro depósitos de acrílico como disipadores de energía, pasará el flujo continuamente, no será almacenado.
- Las líneas de conducción: del sistema Cutzamala, para modelarlo, se dividió en tres tramos, las tres líneas: L1 = L2 = L3 = 158 m, L1 = L2 = L3 = 365 m, L1 = L2 = L3 = 262 m, se propuso de una tubería de 1" de diámetro, de acrílico, de un espesor de 3 mm.
- Todos los elementos que conforman el modelo hidráulico en acrílico, serán soportados por una mesa experimental metálica.
- Se instalarán 460 dispositivos que actuaran como válvulas expulsora de aire, distribuidos en las tres líneas: L1 = 138 dispositivos, L2 = 157 dispositivos y L3 = 165 dispositivos.
- Se instalarán 460 sensores para el control de las presiones.
- Los gastos de pruebas hidráulicas serán retornados a la cisterna que forma parte del modelo hidráulico para su abastecimiento.

Como parte de estos términos, se anexan los planos de diseño del modelo; mismos que contienen la información de los perfiles de cada línea de conducción: L1, L3 y L2, escalados a modelo físico, el diseño hidráulico y geométrico.

El responsable del proyecto supervisará el montaje del módulo experimental.

El prestador del servicio suministrará los materiales requeridos para la correcta instalación del modelo hidráulico, que consiste en instalaciones hidráulicas, eléctricas, estructuras metálicas, dispositivos de medición, entre otros conceptos indicados en el catálogo de actividades; asimismo el prestador suministrará las herramientas, equipos, escaleras; lo necesario que requiera para su correcta instalación; ya que las instalaciones serán verificadas, revisadas y validadas por el supervisor.

Dichas actividades deberán realizarse de acuerdo al "Catálogo de Conceptos" y a las "Especificaciones Técnicas" descritas a continuación, donde una o varias especificaciones describen detalladamente los requisitos y parámetros de cada actividad.

5.5.8. PROPUESTA ECONÓMICA

Las actividades se cotizarán de acuerdo con la descripción que aparece en los términos de referencia y planos correspondientes, de acuerdo con el catálogo de conceptos de la Tabla 5.44.

Tabla 5.44 Presupuesto para la construcción del Modelo Físico del Sistema Cutzamala

Núm.	Actividad	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Importe (\$)
7.6.2.	ALIMENTACIÓN (PBO5)				
7.6.2.1	Suministro e instalación de tubería de PVC de ¾"	m	5.00	30.26	151.30
7.6.2.2	Suministro e instalación de codos de ¾" de PVC de 90°	pza	10.00	38.69	386.90
7.6.2.3	Suministro e instalación de T de ¾" de PVC	pza	3.00	44.88	134.64
7.6.2.4	Suministro e instalación de válvula de esfera desmontable o cierre rápido de ¾" de PVC	pza	5.00	378.00	1,890.00
7.6.2.5	Suministro e instalación de adaptador macho de PVC de ¾"	pza	16.00	42.00	672.00
7.6.2.6	Suministro e instalación de tapón de PVC de ¾" hembra	pza	3.00	34.61	103.83
7.6.2.7	Suministro e instalación de válvula Check ¾" de PVC	pza	3.00	194.29	582.87
7.6.2.8	Suministro e instalación de una Bomba de 1 HP, 127 volts	pza	1.00	3,238.00	3,238.00
7.6.2.9	Suministro e instalación de tornillos de cabeza plana de 1/2"x2" c/tuerca y rondana de seguridad	pza	6.00	13.12	78.72
7.6.2.10	Suministro e instalación de cisterna de polietileno de 2500 litros y accesorios	pza	1.00	6,970.61	6,970.61
7.6.3.	TORRE DE OSCILACIÓN No.5; (TO5)				
7.6.3.1	Forjado, montaje y nivelación de estructuras (depósito "TO5") en material transparente (acrílico).	Lote	1.00	2,070.00	2,070.00
7.6.3.2	Suministro e instalación de PTR de 1" x 1" para soporte del depósito de acrílico circular.	m	3.00	50.00	150.00
7.6.3.3	Suministro de Placa de Naylamid de 0.15x0.15x6 mm de espesor	pza	1.00	615.00	615.00
7.6.3.4	Suministro de tubería de acrílico de 4" de diámetro de un espesor de 3mm	m	0.55	1,310.00	720.50
7.6.3.5	Suministro e instalación de Tornillo de cabeza plana de ½" x 2" con tuerca y rondana de seguridad	pza	4.00	13.12	52.48
7.6.4.	LINEA DE BOMBEO DESDE LA ALIMENTACIÓN (PBO5) A LA TORRE DE OSCILACIÓN No.5; (TO5)				
7.6.4.1	Forjado, montaje y nivelación de estructuras (Conducción a presión "PBO5 - TO5") en material transparente (acrílico).	Lote	1.00	3,161.68	3,161.68
7.6.4.2	Suministro de tubería de acrílico de 1 ¼" de diámetro de 3mm de espesor	m	31.98	450.00	14,391.00
7.6.4.3	Suministro de tubería de acrílico de ¾" de diámetro de 3mm de espesor	m	0.15	220.00	33.00
7.6.4.4	Suministro de reducción de acrílico 1 ¼" a ¾" de diámetro de un espesor de 3mm.	m	0.05	560.00	28.56

Tabla 5.44 Presupuesto para la construcción del Modelo Físico del Sistema Cutzamala (Continuación)

Núm.	Actividad	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Importe (\$)
7.6.4.5	Suministro de abrazadera Omega de 1 ¼" para recibir la tubería.	pza	16.00	5.00	80.00
7.6.4.6	Suministro e instalación de tornillos de cabeza plana ¼" x 1" con rondana y tuerca.	pza	32.00	3.00	96.00
7.6.4.7	Suministro de solera de 1/4" x 2" de acero inoxidable, placa base para apoyar la Omega	m	24.00	280.00	6,720.00
7.6.4.8	Suministro de placa inoxidable de ¼" de espesor, para sobreponerla en la parte superior de la Omega.	m ²	0.04	8,200.00	328.00
7.6.4.9	Suministro e instalación de PTR de 1 ½" x 1 ½" para soporte de la tubería de acrílico.	m	23.00	50.00	1,150.00
7.6.4.10	Suministro de Neopreno de 1.68 mm de espesor.	m ²	0.05	120.00	6.00
7.6.5.	TANQUE SANTA ISABEL (TSI)				
7.6.5.1	Forjado, montaje y nivelación de estructuras (depósito "TSI") en material transparente (acrílico).	Lote	1.00	3,150.00	3,150.00
7.6.5.2	Suministro e instalación de PTR de 1" x 1" para soporte del depósito rectangular de acrílico.	m	8.00	50.00	400.00
7.6.5.3	Suministro de ángulo de 1/4" x 1" x 1" para cajón.	m	1.00	26.00	26.00
7.6.5.4	Suministro de placa de Naylamid de 2.15 x 0.30 x 6mm de espesor.	pza	1.00	17,200.00	17,200.00
7.6.5.5	Suministro de una placa de acrílico de un espesor de 3mm.	m ²	0.50	757.14	378.57
7.6.5.6	Suministro e instalación de tornillos de cabeza plana de ½" x 2" con tuerca y rondana de seguridad.	pza	6.00	13.12	78.72
7.6.6.	LINEAS DE CONDUCCIÓN: L1, L3, L2 TRAMO No.1. (TO5) AL TANQUE SANTA ISABEL (TSI).				
7.6.6.1	Forjado, montaje y nivelación de estructuras (Conducción a gravedad) de la (TO5) al (TSI) en material transparente (acrílico).	Lote	1.00	63,920.00	63,920.00
7.6.6.2	Suministro de tubería de acrílico de 1" de diámetro, de un espesor de 3mm; (se consideran tres líneas de 159 m).	m	477.00	450.00	214,650.00
7.6.6.3	Suministro de abrazadera Omega de 1" para recibir la tubería.	pza	795.00	4.00	3,180.00
7.6.6.4	Suministro e instalación de tornillos de ¼" x 1" con rondana y tuerca.	pza	3,180.00	3.00	9,540.00
7.6.6.5	Suministro de solera de 1/4" x 2" de acero inoxidable, placa base para apoyar la Omega	m	398.00	280.00	111,440.00

Tabla 5.44 Presupuesto para la construcción del Modelo Físico del Sistema Cutzamala (Continuación)

Núm.	Actividad	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Importe (\$)
7.6.6.6	Suministro de placa inoxidable de ¼" de espesor, para sobreponerla en la parte superior de la Omega.	m ²	1.20	8,200.00	9,840.00
7.6.6.7	Suministro de PTR de 1"x1" para soporte de tubería de acrílico.	m	113.00	50.00	5,650.00
7.6.6.8	Suministro de solera de 1/8" x 1" de acero inoxidable, para ligar los tres PTR que soportan las líneas (L1, L3 y L2)	m	48.00	148.00	7,104.00
7.6.6.9	Suministro de Neopreno de 1.68 mm de espesor	m ²	2.20	130.00	286.00
7.6.7.	TANQUE PERICOS (TP)				
7.6.7.1	Forjado, montaje y nivelación de estructuras (depósito "TP") en material transparente (acrílico).	Lote	1.00	3,150.00	3,150.00
7.6.7.2	Suministro e instalación de PTR de 1" x 1" para soporte del depósito rectangular de acrílico.	m	8.00	50.00	400.00
7.6.7.3	Suministro de ángulo de 1/4" x 1" x 1" para cajón.	m	1.00	26.00	26.00
7.6.7.4	Suministro de placa de Naylamid de 2.15x0.30x 6mm espesor.	m	1.00	17,200.00	17,200.00
7.6.7.5	Suministro de una placa de acrílico de un espesor de 3mm.	m ²	0.40	757.14	302.86
7.6.7.6	Suministro e instalación de Tornillo de cabeza plana de ½" x 2" con tuerca y rondana de seguridad	pza	6.00	13.12	78.72
7.6.8.	LINEAS DE CONDUCCIÓN: L1, L3, L2 TRAMO No.2. (TSI) AL TANQUE PERICOS (TP)				
7.6.8.1	Forjado, montaje y nivelación de estructuras (Conducción a gravedad) del (TSI) al (TP) en material transparente (acrílico).	Lote	1.00	152,230.00	152,230.00
7.6.8.2	Suministro de tubería de acrílico de 1" de diámetro, de 3 mm de espesor; (se consideran tres líneas de 365 m).	m	1,095.00	450.00	492,750.00
7.6.8.3	Suministro de abrazadera Omega de 1" para recibir la tubería.	pza	1,825.00	4.00	7,300.00
7.6.8.4	Suministro e instalación de tornillos de ¼" x 1" con rondana y tuerca.	pza	7,300.00	3.00	21,900.00
7.6.8.5	Suministro de solera de 1/4" x 2" de acero inoxidable, placa base para apoyar la Omega	m	913.00	280.00	255,640.00
7.6.8.6	Suministro de placa inoxidable de ¼" de espesor, para sobreponerla en la parte superior de la Omega.	m ²	5.00	8,200.00	41,000.00
7.6.8.7	Suministro e instalación de PTR de 1 ½" x 1 ½" para soporte de la tubería de acrílico.	m	2,555.00	50.00	127,750.00

Tabla 5.44 Presupuesto para la construcción del Modelo Físico del Sistema Cutzamala (Continuación)

Núm.	Actividad	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Importe (\$)
7.6.8.8	Suministro de solera de 1/8" x 1" de acero inoxidable, para ligar los tres PTR que soportan las líneas (L1, L3 y L2)	m	426.00	148.00	63,048.00
7.6.8.9	Suministro de Neopreno de 1.68 mm de espesor	m ²	10.00	130.00	1,300.00
7.6.9.	PORTAL DE ENTRADA "TÚNEL ANALCO – SAN JOSÉ" (TASJ)				
7.6.9.1	Forjado, montaje y nivelación de estructuras (depósito "TASJ") en material transparente (acrílico).	Lote	1.00	2,250.00	2,250.00
7.6.9.2	Suministro e instalación de PTR de 1" x 1" para soporte del depósito rectangular de acrílico.	m	7.00	50.00	350.00
7.6.9.3	Suministro de solera de 1/4" x 1" de acero inoxidable para evitar deslizamientos del depósito	m	5.30	140.00	742.00
7.6.9.4	Suministro de ángulo de 1/4" x 1" x 1" para cajón.	m	1.00	26.00	26.00
7.6.9.5	Suministro de placa de Naylamid de 2.15x0.30x un espesor de 6mm.	pza	1.00	17,200.00	17,200.00
7.6.9.6	Suministro de una placa de acrílico de un espesor de 3mm.	m ²	0.50	757.14	378.57
7.6.9.7	Suministro e instalación de Tornillo de cabeza plana de ½" x 2" con tuerca y rondana de seguridad	pza	6.00	13.12	78.72
7.6.10.	LINEAS DE CONDUCCIÓN: L1, L3, L2 TRAMO No.3. (TP) AL (TASJ)				
7.6.10.1	Forjado, montaje y nivelación de estructuras (Conducción a gravedad) del (TP) al (TASJ) en material transparente (acrílico).	Lote	1.00	109,280.00	109,280.00
7.6.10.2	Suministro de tubería de acrílico de 1" de diámetro, de 3 mm de espesor; (se consideran tres líneas de 262 m).	m	786.00	450.00	353,700.00
7.6.10.3	Suministro de abrazadera Omega de 1" para recibir la tubería.	pza	1,310.00	4.00	5,240.00
7.6.10.4	Suministro de tornillos de ¼" x 1" con rondana y tuerca.	pza	5,240.00	1.00	5,240.00
7.6.10.5	Suministro de solera de 1/4" x 2" de acero inoxidable, placa base para apoyar la Omega	m	655.00	280.00	183,400.00
7.6.10.6	Suministro de placa inoxidable de ¼" de espesor, para sobreponerla en la parte superior de la Omega.	m ²	3.00	8,200.00	24,600.00
7.6.10.7	Suministro de PTR de 1 ½" x 1 ½" para soportar la tubería de acrílico.	m	1,834.00	50.00	91,700.00

Tabla 5.44 Presupuesto para la construcción del Modelo Físico del Sistema Cutzamala (Continuación)

Núm.	Actividad	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Importe (\$)
7.6.10.8	Suministro de solera de 1/8" x 1" de acero inoxidable, para ligar los tres PTR que soportan las líneas (L1, L3 y L2)	m	306.00	148.00	45,288.00
7.6.10.9	Suministro de Neopreno de 1.68 mm de espesor	m ²	7.00	130.00	910.00
7.6.11.	CONDUCCIÓN DE DESCARGA FINAL TRAMO No.4. "PORTAL DE ENTRADA TÚNEL ANALCO – SAN JOSÉ (TASJ) A LA CISTERNA				
7.6.11.1	Suministro, fabricación e Instalación de tubería de 2" de diámetro de PVC	m	9.00	55.97	503.73
7.6.12.	PIEZAS ESPECIALES (VÁLVULAS)				
7.6.12.1	Suministro, Fabricación e instalación de válvulas expulsoras de aire de PVC.	pza	460.00	25.00	11,500.00
7.6.12.2	Suministro e instalación de válvulas de desagüe de PVC.	pza	137.00	56.00	7,672.00
7.6.13.	SISTEMA DE CONTROL DE CELDAS DE PRESIÓN				
7.6.13.1	Suministro e instalación de transmisores de presión de alta precisión.	pza	90.00	14,695.20	1,322,568.00
7.6.13.2	Suministro e instalación de una fuente de poder para el sistema integral de presiones	pza	1.00	24,747.12	24,747.12
7.6.13.3	Suministro, fabricación y colocación de tablero de control para sistema integral de presiones	pza	1.00	15,307.50	15,307.50
7.6.13.4	Suministro, fabricación e instalación de cable multiconductor de 4 vías	m	3,600.00	80.00	288,000.00
7.6.14.	PRUEBA HIDROSTÁTICA AL SISTEMA INTEGRAL DEL MODELO HIDRÁULICO				
7.6.14.1	Prueba hidrostática de tubería de acrílico de 1" de diámetro.	Lote	1.00	95,600.00	95,600.00
SUBTOTAL					4,281,011.60
IVA (16%)					684,961.86
IMPORTE TOTAL					4,965,973.45

La propuesta se realizó considerando la construcción en las instalaciones del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y tomando en cuenta el tamaño del modelo, así como el espacio disponible, el perfil topográfico se muestra en la Ilustración 5.264. Debido a esta situación es necesario construir una estructura que permita mantener el perfil del modelo. El extremo sur del modelo, donde se pretende instalar el modelo del tanque Santa Isabel tiene una altura de 7.79 metros del suelo a la pasarela de operación del modelo, adicionalmente se debe tener una cubierta sobre el modelo

para facilitar los trabajos en el modelo y no exponer al sol a los trabajadores.

Por tanto, si se toma la decisión de construir el modelo en las instalaciones del IMTA se deberá considerar la estructura de la Ilustración 5.265 y el costo estimado en la Tabla 5.45.

La propuesta económica para la construcción del modelo físico a escala reducida 1:98.83 del Sistema Cutzamala, en el Laboratorio de Hidráulica Enzo Levi, se determina un importe de \$ 8'380,388.27, con IVA resulta de 9'721,250.40.

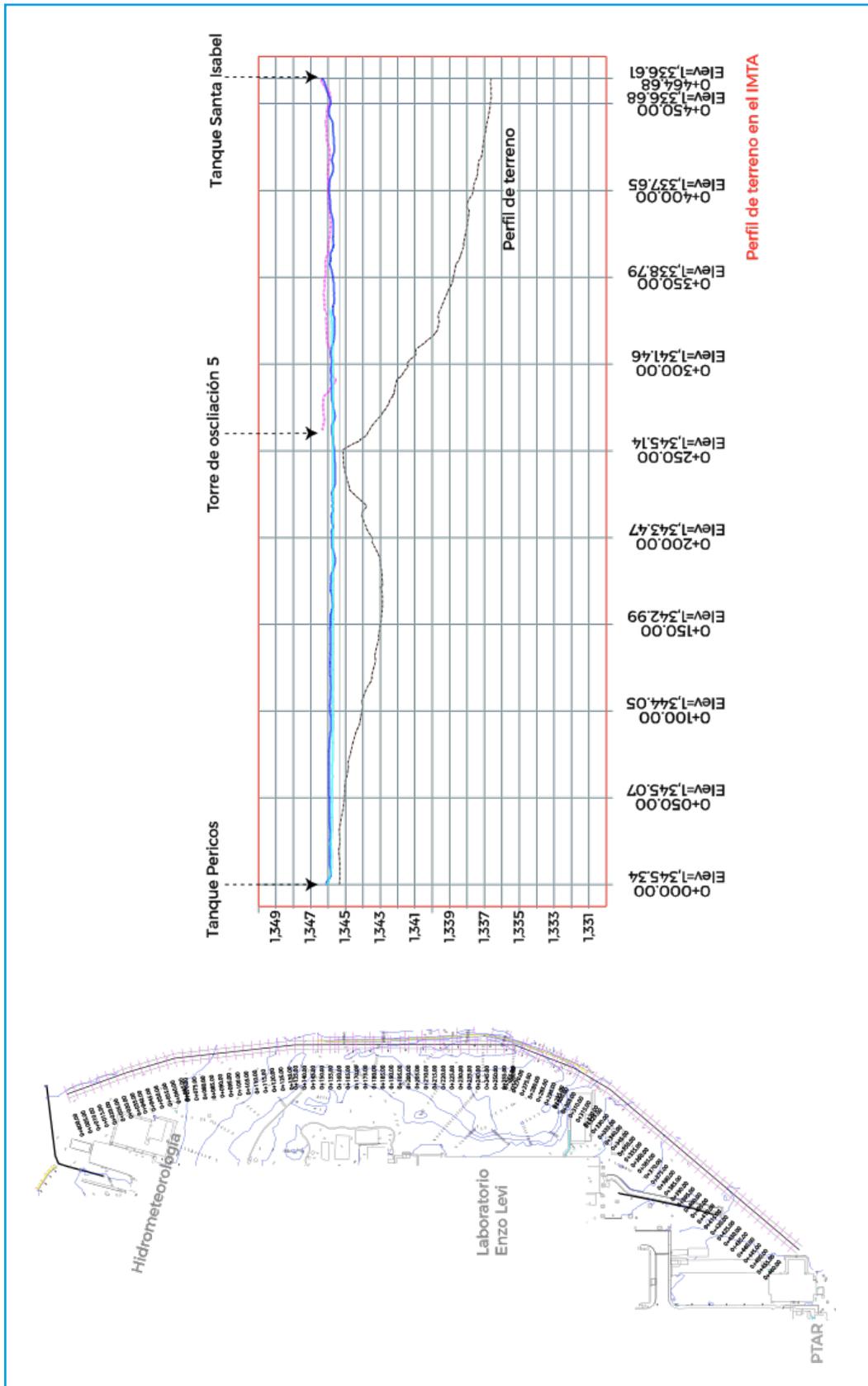


Ilustración 5.264 Planta y perfil del terreno en el IMTA

Tabla 5.45 Presupuesto de obras complementarias del modelo físico

Núm.	Actividad	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Importe (\$)
7.6.1.	DESPLANTE DE INSTALACIONES				
7.6.1.1	Trazo y nivelación del área de trabajo	m ²	2,319.00	12.76	29,590.44
7.6.1.2	Excavación a mano para desplante de estructuras, material tipo "B", en seco, hasta 2.00 metros de profundidad	m ³	761.25	169.28	128,864.40
7.6.1.3	Suministro, habilitado y colocación de acero de refuerzo del #3 (3/8") de diámetro	kg	251.42	28.48	7,160.44
7.6.1.4	Suministro, habilitado y colocación de acero de refuerzo del #4 (1/2") de diámetro	kg	120.30	27.81	3,345.54
7.6.1.5	Suministro, habilitado y colocación de acero de refuerzo del #5 (5/8") de diámetro	kg	1,630.61	27.81	45,347.26
7.6.1.6	Suministro, fabricación, y colocación de concreto, para plantilla de 8 cm de espesor, resistencia $F'c = 100 \text{ kg/cm}^2$	m ²	185.08	180.87	33,475.42
7.6.1.7	Suministro, fabricación, y colocación de concreto armado en estructuras (zapatas) con resistencia $F'c = 200 \text{ kg/cm}^2$	m ³	69.83	2,665.37	186,122.79
7.6.1.8	Suministro, fabricación, y colocación de concreto armado en estructuras (dados o columnas) con resistencia $F'c = 250 \text{ kg/cm}^2$	m ³	13.64	2,810.22	38,331.40
7.6.1.9	Suministro y fabricación y colocación de concreto armado de 10 cm de espesor, resistencia $F'c = 200 \text{ kg/cm}^2$, con malla electro soldada 6 - 6/10 - 10, y juntas frías	m ²	1,915.74	334.28	640,393.57
7.6.1.10	Suministro y colocación de placas de 3/4", de 40 x 40, para apoyos y juego de anclas redondas de 3/4", ahogadas en concreto	Jgos	42.00	1,435.00	60,270.00
7.6.15	ESTRUCTURAS METÁLICAS				
7.6.15.1	Suministro, habilitado y montaje de estructura metálica (Mesa experimental) a base de perfiles estructurales IR 203 mm X 35.9 kg/m (Perfil I rectangular)	m	155.07	478.96	74,272.33
7.6.15.2	Suministro, habilitado y montaje de estructura metálica (Mesa experimental) a base de perfiles estructurales OR 203 mm X 15.8 mm; e un peso de 88.28 kg/m (Tubo cuadrado)	m	1,877.50	419.09	786,841.48
7.6.15.3	Suministro, habilitado y montaje de estructura metálica (Mesa experimental) a base de perfiles estructurales OR 152 mm X 102 mm x 7.9 mm; e un peso de 28.39 kg/m (Tubo rectangular)	m	36.00	359.23	12,932.28
7.6.15.4	Suministro, habilitado y montaje de estructura metálica (Mesa experimental) a base de perfiles estructurales OR 102 mm X 4.8 mm; e un peso de 14.02 kg/m (Tubo cuadrado)	m	1,873.80	299.36	560,940.77

Tabla 5.45 Presupuesto de obras complementarias del modelo físico (Continuación)

Núm.	Actividad	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Importe (\$)
7.6.15.5	Suministro, habilitado y montaje de estructura metálica, a base de perfiles estructurales PTR, en columnas, traveses o vigas secundarias soldados. PTR de 3" X 2"; espesor 3.4 mm; C10. (Estructura para el tejado)	m	1,643.45	239.49	393,589.84
7.6.16	TECHO Y MALLA DE SOMBRA				
7.6.16.1	Suministro, habilitación e instalación de teja plástica	m ²	1,808.80	476.00	860,988.80
7.6.16.2	Suministros, habilitación e instalación de cumbrera para techo	m	361.76	520.00	188,115.20
7.6.16.3	Suministro, habilitación e instalación de malla sombra	m ²	1,642.92	29.70	48,794.72
SUBTOTAL					4,099,376.68
IVA (16%)					655,900.27
IMPORTE TOTAL					4,755,276.95

5.6. TALLERES DE ADIESTRAMIENTO EN EL FUNCIONAMIENTO DEL MODELO MATEMÁTICO REALIZADO

5.6.1. CURSO DE SIMULACIÓN DE REDES CON EPANET

Actualmente el modelo de simulación de redes de agua potable de mayor uso es el desarrollado por la Agencia de Protección Medioambiental de los Estados Unidos (US EPA, por sus siglas en inglés): el modelo EPANET, dado lo anterior el presente curso tiene como finalidad el de mostrar las principales herramientas y elementos de simulación con que cuenta el EPANET para el análisis y simulación de redes de agua

potable además, en el presente curso se describe un tema sobre la simulación de la calidad del agua en los sistemas de distribución y los posibles problemas asociados a la calidad del agua dentro de las tuberías.

5.6.1.1. Objetivo del Curso

Presentar las técnicas de análisis de redes de abastecimiento. El empleo de estas técnicas de modelación y sus aplicaciones más inmediatas requieren de un modelo computacional de análisis. Para ello se familiariza a los asistentes en el manejo de la herramienta informática, sus capacidades y limitaciones, así como las posibilidades de análisis y explotación derivadas de su uso. El contenido del curso es eminentemente práctico y orientado a que sean los participantes del

curso quienes resuelvan en su computadora los problemas planteados durante el desarrollo de las diferentes sesiones.

5.6.1.2. Los criterios

El curso está dirigido a profesionistas, académicos y personal técnico, interesados en la simulación de redes de agua potable y cada participante debe tener conocimientos básicos de:

- a) Hidráulica de conductos a presión (redes de agua potable).
- b) Funcionamiento de equipos de bombeo (comprensión de la curva característica de una bomba).
- c) Conocimiento de Autocad, en el manejo de layers, líneas, polígonos, etcétera.
- d) Manejo de hoja de cálculo en el programa Ms Excel®.

Cada participante requiere contar con una computadora personal con espacio suficiente para instalar el software de EPANET.

Es importante mencionar que la práctica es fundamental para lograr reafirmar los conocimientos; por esta razón, en el desarrollo de los temas que se tratan en el curso se realizarán prácticas por parte de los asistentes en el software utilizado, las cuales serán un criterio importante a considerar.

5.6.1.3. Instructores del curso

M. en I. José Manuel Rodríguez Varela. Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad

Autónoma de Coahuila, 1989, Maestría en Ingeniería Hidráulica, UNAM, 1995, Candidato a Doctor en Ingeniería Hidráulica, École Polytechnique de Montréal. Las principales líneas de investigación son: Manejo integral de agua pluvial en zonas urbanas, Simulación de inundaciones en zonas urbanas. Diseño y gestión de redes de agua potable y alcantarillado. Mejora de la eficiencia física de organismos operadores. Diagnóstico y recuperación de fugas en redes de agua potable. Sectorización de redes de agua potable. Actualización de catastro de redes y Padrón de Usuarios. Simulación hidráulica de redes de agua potable y alcantarillado. Ha participado en la publicación de: 2 manuales editados por la CNA y de 23 artículos técnicos editados en congresos nacionales, internacionales y revistas técnicas, además de ser coautor de 4 capítulos del libro Reducción Integral de Pérdidas editado por el IMTA. Ha impartido 18 cursos de capacitación en México y el Extranjero de diversos temas técnicos, Actualmente es Subcoordinador de Hidráulica Urbana del IMTA.

M. en I. Rodrigo Ulises Santos Téllez. Ingeniero Civil por la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco (2008); Maestro en Ingeniería Hidráulica por la Universidad Nacional Autónoma de México (2011). Actualmente es tecnólogo del agua, en la Subcoordinación de Hidráulica Urbana del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua; Las principales líneas de investigación y trabajo en que participa son: Diseño de redes de agua potable y alcantarillado sanitario; mejora de eficiencia física de organismos operadores de agua

potable; Sectorización de redes de agua potable; Actualización de catastro de redes y Padrón de Usuarios; Simulación hidráulica

de redes de agua potable y alcantarillado sanitario.

5.6.1.4. Programa del curso

DÍA 1		
Inauguración		9:00 – 09:10
Evaluación Diagnóstica		9:10 – 9:30
1. Conducciones a presión	M. en I. Rodrigo Ulises Santos Tellez	9:30 – 12:30
1.1 Conceptos básicos		
1.2 Ecuaciones de conservación		
1.3 Diagrama de energía		
1.4 Pérdidas de energía		
1.5 Algoritmos para el diseño de conducciones a presión	M. en I. Rodrigo Ulises Santos Tellez	12:30 – 14:00
1.5.1 Cálculo de diámetro requerido		
1.5.2 Cálculo de potencia requerida		
1.5.3 Cálculo de caudal conducido		
2. Fundamentos de Cálculo de Redes Hidráulicas a Presión	M. en I. Humberto Ramírez Rivera	16:00 - 17:00
3. Introducción al Manejo Elemental del Programa Epanet	M en I José Manuel Rodríguez Varela	17:00 – 19:00

DÍA 2		
5. Introducción al Análisis Dinámico de Redes	M. en I. Rodrigo Ulises Santos Tellez	09:00 – 10:00
6. Estudio de Tanques	M en I José Manuel Rodríguez Varela	10:00 - 11:45
RECESO		11:45 – 12:00
7. Estudio de Sistemas de Bombeo e Inyección a la Red	M. en I. Rodrigo Ulises Santos Tellez	12:00 – 14:00
8. Manejo del Archivo Inp	M en I José Manuel Rodríguez Varela	14:00 – 16:00

DÍA 3		
9. Estudio de Válvulas de Regulación y Válvulas Automáticas	M. en I. Rodrigo Ulises Santos Tellez	9:00 – 11:00
10. Estudio Fugas	M en I José Manuel Rodríguez Varela	11:00 – 11:45
RECESO		11:45 – 12:00
11. Introducción de Controles y Reglas	M. en I. Rodrigo Ulises Santos Tellez	12:00 - 14:00

12. Simulación matemática aplicada al Sistema Cutzamala	M. en I. Rodrigo Ulises Santos Tellez	14:00 – 15:00
Evaluación final		15:00 – 15:20
Clausura		15:20 – 15:30



Ilustración 5.266 Participantes del curso de Epanet en Oficinas de Conagua

Nombre del Curso: Simulación de redes de distribución de agua potable con EPANET		
Nombre de los Instructores: M. en I. Manuel Rodríguez Varela M. en I. Rodrigo Ulises Santos Tellez M. en I. Humberto Ramírez Rivera		
Lugar de Impartición Comisión Nacional del Agua	Coordinador del Curso: M. en I. Rodrigo Ulises Santos Tellez	
No.	Nombre del Participante	Firma
1	HUGO IVÁN VERA BENÍTEZ	6 de noviembre
2	Javier Velasco de Jesús	8 de noviembre
3	Mina de la Cruz Jairo Rife	
4	DIEGO PEDROZA AGUIA	
5	TIMOTEO GÓMEZ ASCIÑA	
6	José de la Cruz Santiago Caratella	
7	KAREN YADIRA AGUILAR CURE	
8	Carlos Eduardo Vargas Bernard	
9	JOSÉ ARMANDO LAUREL CASTIÑO	
10	Antonio Gómez Arteaga	
11	Alfonso Martínez Ayala	
12	Nahum Muñoz Miranda	
13		
14		
15		

Ilustración 5.267 Lista de asistencia del curso de Epanet

El curso se desarrolló en instalaciones de la Comisión Nacional del Agua los días 6 y 8 de noviembre de 2018, con la participación de 12 técnicos de la Subdirección General Técnica y del Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México. En la Ilustración 5.267 se presenta la lista de asistencia del curso de Epanet.

5.6.2. DISEÑO Y SIMULACIÓN DE ALCANTARILLADO PLUVIAL Y SANITARIO CON EL USO DEL SWMM

5.6.2.1. Objetivo General:

El curso Diseño y simulación de alcantarillado Pluvial y Sanitario con el uso del SWMM tiene como objetivo general presentar las técnicas de análisis de redes de alcantarillado. El empleo de estas técnicas de modelación y

sus aplicaciones más inmediatas requieren de un modelo computacional de análisis. Para ello se familiariza a los asistentes en el manejo de la herramienta informática, sus capacidades y limitaciones, así como las posibilidades de análisis y explotación derivadas de su uso. El contenido del curso es eminentemente práctico y orientado a que sean los participantes del mismo quienes resuelvan en su computadora los problemas planteados durante el desarrollo de las diferentes sesiones.

5.6.2.2. Instructores

- M.I. José Manuel Rodríguez Varela
- M.I. Óscar Jesús Llaguno Guilberto

Este curso está dirigido al público en general, profesionistas independientes, académicos y personal de las dependencias gubernamentales.

mentales del ámbito federal, estatal o municipal, interesados en el diseño de alcantarillado pluvial.

5.6.2.3. Contenido

1. Fundamentos de cálculo
2. Introducción al manejo elemental del SWMM
3. Simulación y diseño de una red de alcantarillado sanitario en SWMM
4. Manejo de los archivos *.inp en SWMM
5. Simulación de depósitos (tanques), orificios y vertedores
6. Simulación de estaciones de bombeo

7. Análisis de precipitación
8. Modelos de transformación lluvia escurrimiento.
9. Modelación de una red de drenaje pluvial con SWMM
10. Manejo de los controles

El curso se desarrolló en instalaciones de la Comisión Nacional del Agua los días 10 y 11 de diciembre de 2018, con la participación de 11 técnicos de la Subdirección General Técnica y del Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México. En la Ilustración 5.269 se presenta la lista de asistencia del curso de Epanet.



Ilustración 5.268 Participantes del curso de SWMM en Oficinas de Conagua

CURSO		
"SISTEMA STORM WATER MANAGEMENT MODEL (SWMM)"		
10-11 de diciembre del 2018, Comisión Nacional del Agua		
Horario de las a <u>09:00</u> las <u>14:00</u> horas		
No.	Nombre	Firma
1	Héctor Iván Vera Benítez	[Firma]
2	Abdías Montoya Ayala	[Firma]
3	Alma de la Cruz Juárez Pérez	[Firma]
4	Javier Vilchus de Jesús	[Firma]
5	TIMOTEO GÓMEZ ASPITIA	[Firma]
6	Karen Yadira Aguilar Cruz	[Firma]
7	JORGE ARMANDO LAUREL CASTILLO	[Firma]
8	Nahum Munive Miranda	[Firma]
9	DIEGO PEDROZO ACUÑA	[Firma]
10	Carlos Eduardo Vargas Gerardo	[Firma]
11	Loordes De Santigua Caretta	[Firma]

Ilustración 5.269 Lista de asistencia del curso de SWMM

5.7. CONCLUSIONES

Modelo físico

- Cabe indicar, que es importante la supervisión de los trabajos relacionados a la mesa experimental de todo el acueducto a presión, tiene un importante número de cambios de pendiente, estos puntos hay que

identificarlos y revisar los acabados, porque son los posibles puntos de acumulación de aire.

- Con este modelo hidráulico se pretende estudiar los posibles escenarios que pueden llevar a cabo problemas severos en un mal manejo en la operación. Los ensayos ayudaran a identificar los problemas de atrapamiento de aire y mejorar las maniobras

de operación en los mantenimientos sin interrumpir el abastecimiento a los sitios de entrega (Toluca – Ciudad de México).

- El estudio de una investigación experimental es más riguroso analizar el efecto del aire atrapado, por lo tanto, en este caso los acabados juegan un papel muy importante para su calibración, con fines de lograr una mejor confiabilidad en los resultados, para la toma de decisiones en el prototipo.
- La Ilustración 5.263 muestra de forma conceptual el arreglo completo del modelo físico.

Modelo hidráulico

- El modelo hidráulico para representar la condiciones actuales cuenta con los siguientes resultados:
 - 1) Las bombas P1 y P2 presentan un gasto promedio de 4.72 m³/s, mientras que las bombas P5 y P6 de 2.17 m³/s, con lo que se tiene un gasto a la entrada de la tuberías de 14.59 m³/s, valor similar al que reporta el personal de la OCAVM.
 - 2) De acuerdo con el modelo hidráulico el tiempo de recorrido del agua

hasta el túnel Analco-San José, para la línea 1 es de 19 horas con un gasto de descarga en la línea 1 de 7.98 m³/s y en la línea 2 se tiene un tiempo de 21:30 horas con un gasto de 7.47 m³/s

- 3) El dato de los llenados debe de revisarse con un levantamiento actual del tanque Pericos al túnel San José, debido a que presenta una variación importante entre los tiempos de llenado de las tuberías
- Los modelos hidráulicos de las interconexiones se proponen 4 interconexiones (km 69+400.00, 50+600.00, 19+500 y 9+500.00) y se le agrega la existente del km 42+200.00; estas conexiones se evalúan para dar mantenimiento a la línea 1 y 2 dejando como auxiliar a la línea 3, además de realizar los desfogues y llenados correspondientes conforme a normatividad.
 - Los modelos hidráulicos para los seccionamientos se proponen en la misma ubicación que el de las interconexiones, por lo que se analiza los tiempos de llenado y vaciado de las líneas en zonas específicas, evitando el vaciado por ejemplo de tanque a tanque.



CONCLUSIONES

Como resultados del estudio desarrollado en dos etapas, se determinaron posibles soluciones para incrementar la capacidad de conducción de las líneas 1 y 2 del sistema Cutzamala y se definió el diseño, ubicación y parámetros de las válvulas de admisión y expulsión de aire (VAEAs) y desfogues de la nueva línea 3 (L3). Derivado de los recorridos e inspección del funcionamiento de las VAEAs existentes en las líneas 1 y 2, las mediciones de presión en las mismas y el análisis hidráulico con los modelos matemáticos, se determinó que los tramos del Tanque Santa Isabel al Tanque Pericos y del Tanque Pericos al Túnel Análco San José tienen una capacidad de conducción suficiente para conducir caudales cercanos a los de diseño (11.26 y 10.46 m³/s, respectivamente) por lo que el caudal de operación actual podría incrementarse sin cambios importantes en estos dos tramos. Sin embargo en el tramo de la Torre de Oscilación 5 al Tanque Santa Isabel (TO5-TSI), de acuerdo con los datos recabados en campo la capacidad máxima es de 9.78 m³/s, lo cual puede asociarse problemas de atrapamiento de aire, funcionamiento inadecuado de las VAEAs o un incremento en la rugosidad de los tubos a través de los años de operación.

La necesidad que da origen a la construcción de la tercera línea del sistema es contar con una conducción adicional para poder realizar paros parciales o totales de una de las dos líneas existentes, sin que se vea afectado el suministro de agua a la Ciudad de México y la Ciudad de Toluca, con la terminación de la línea 3, las interconexiones ya no serán requeridas debido a que el uso de compuertas en los tanques Santa Isabel y Pericos permitirán el funcionamiento alternado de los nueve tramos de conducción, tres entre TO5 y TSI, tres entre TSI y TP y tres entre TP y TASJ.

También se desarrollaron modelos matemáticos para representar el comportamiento del flujo en las tres líneas del sistema y se efectuaron talleres de capacitación al personal operativo de la Conagua, mismos que permitirán realizar diversos escenarios de funcionamiento, llenado, vaciado y puesta en marcha del sistema.

La construcción de la Línea 3, como toda gran obra de infraestructura, no está exenta de problemas y complicaciones durante su construcción. En el estudio se identificaron algunos de estos problemas que al momento

de la conclusión del informe no han sido subsanados, principalmente el aspecto de seguridad e integridad de la conducción con espesor de 5/8”, que si bien no pone en riesgo inmediato a la tubería, si puede presentar una falla ante la combinación de eventos, como puede ser un vaciado súbito por ruptura y la falla de las VAEAs.

Adicionalmente como parte del estudio se realizó la propuesta de ubicación y dimensiones de VAEAS y desfogues, el cual no tuvo retroalimentación alguna por lo que no se tiene la certeza si será tomada en cuenta para la conclusión de la obra. A este respecto se recomienda tomar en consideración la propuesta puesto que se apega a los lineamientos de la normatividad y en el caso de los desfogues se considera las obras complementarias para una descarga segura y estos se llevaron a nivel de proyecto ejecutivo.

Dada la magnitud, complejidad e importancia del sistema, es necesario continuar con los estudios para conocer el comportamiento de los fenómenos que afectan el funcionamiento de las Líneas 1 y 2 en el transcurso de los años que llevan operando y proponer alternativas de solución o mitigación, así como para evitar que situaciones similares se presenten en la línea 3, por lo que se recomienda construir el modelo físico del sistema. Con esta herramienta podrá visualizarse el comportamiento del aire dentro de las conducciones y permitirá proponer modificaciones al sistema y evaluar sus efectos. También permitirá capacitar al personal en la operación y el comportamiento del sistema.

En este mismo sentido, se recomienda la instrumentación para el monitoreo de los principales parámetros hidráulicos como son la presión a lo largo de las tres líneas, el flujo a la salida y llegada de cada tanque, así como del portal de descarga en el TASJ y los niveles en los tanques.

Reporte fotográfico del levantamiento de VAEAs en cajas 1, 4, 4A, 5, 6, 7, 8A, 10A, 12, 13, 14, 14A, 15, 18, 22 y 22A de la línea 1

VAEA de Caja 1

Conclusiones



Condición inicial de la salida de la Línea 1, del tanque de almacenamiento junto a la torre de oscilación 5, el día 24 de noviembre de 2017. En preparación la nueva Línea 1.



El día 18 de julio 2018, ya se encontraba cerrada con tapa ciega lo que fue la salida de la Línea 1 para que ésta pase a ser la salida de la Línea 3



Árbol de VAEAs a la salida de la nueva Línea 3



Vista de las dos líneas 3 y 1

Estudio para restituir y mejorar la capacidad de conducción, mediante un manejo adecuado del aire y optimización del funcionamiento hidráulico, en las líneas 1 y 2 del sistema Cutzamala

VAEA de caja 1A



Nueva VAEA instalada en línea 1



Tomando los datos del posicionamiento de la VAEA

VAEA de la caja 4



Caja 4 de la línea 1



Arreglo de la VAEA



Realizando mediciones techo de la VAEA a techo de la losa

VAEAs de la caja 4A



Las losas de la caja no se pudieron levantar; se tomaron los datos de geometría de la caja

VAEAs de la caja 5



Caja de la VAEA 5



Arreglo del árbol de VAEAs

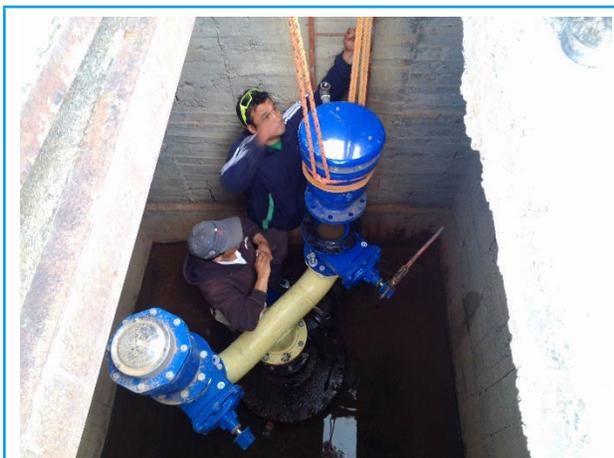


Desmontaje de la VAEA de sitio



Preparación para subir la nueva VAEA a instalar

Estudio para restituir y mejorar la capacidad de conducción, mediante un manejo adecuado del aire y optimización del funcionamiento hidráulico, en las líneas 1 y 2 del sistema Cutzamala



Bajando la nueva VAEA para su instalación

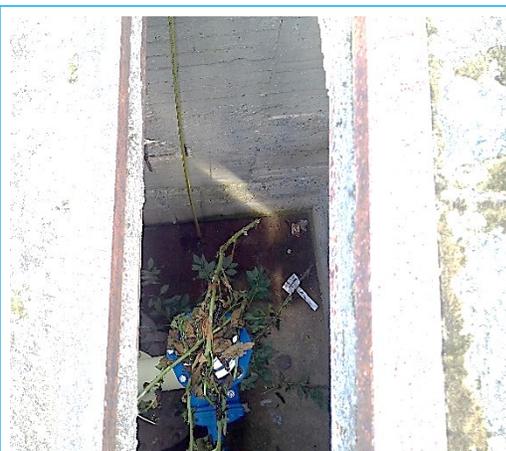


Tomando la presión

VAEAs de la caja 6



La caja se encontraba cubierta por vegetación

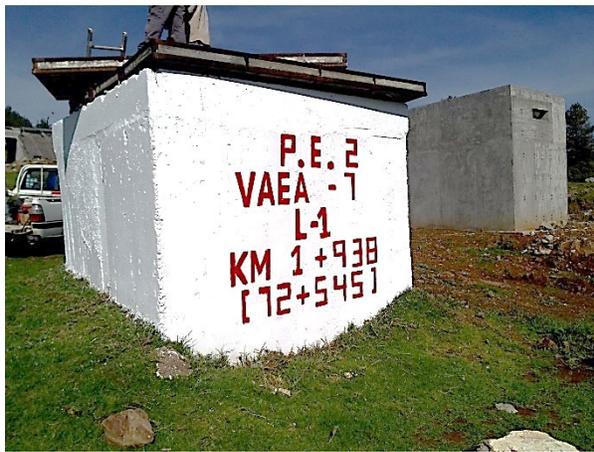


El interior de la caja y la VAEA estaban cubiertos de vegetación. Se tomaron los datos de la geometría de la caja



Arreglo de las VAEAs (fotografía del 24 de noviembre de 2017)

VAEA de la caja 7



Caja de la VAEA 7



Arreglo de la VAEA



Montando la nueva VAEA para toma de presión

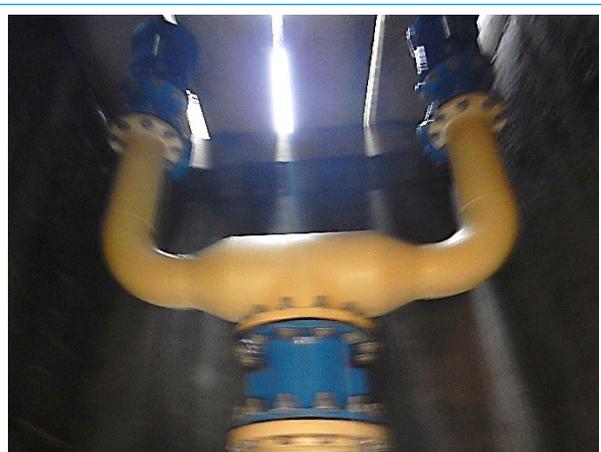


Tomando la presión

VAEAs de la caja 8A



Tomando los datos de la geometría de la caja.



Arreglo del árbol de las VAEAs

VAEAs de la caja 10A



Tomando los datos de la geometría de la caja



Arreglo del árbol de las VAEAs

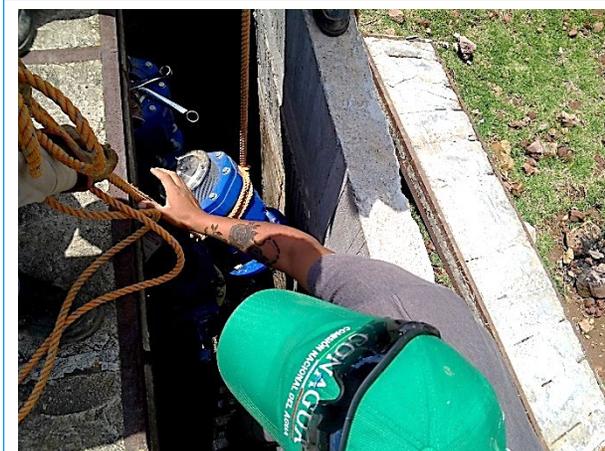
VAEAs de la caja 12



Caja de la VAEA 12



Tomando dimensiones de la geometría de la caja



Sacando la VAEA de sitio, llevando la VAEA al techo de la caja



Tomando lectura de la presión en el sitio, una vez que fue instalada la VAEA con manómetro

VAEA de la caja 13



Caja de la VAEA



Arreglo de la VAEA

VAEAs de la caja 14



Caja de la VAEA



Preparando el desmontaje de la VAEA: cierre de la válvula de seccionamiento de la VAEA y quitando tornillos de la brida



Instalando la VAEA con arreglo para manómetro



Tomando lectura de presión del manómetro

Estudio para restituir y mejorar la capacidad de conducción, mediante un manejo adecuado del aire y optimización del funcionamiento hidráulico, en las líneas 1 y 2 del sistema Cutzamala

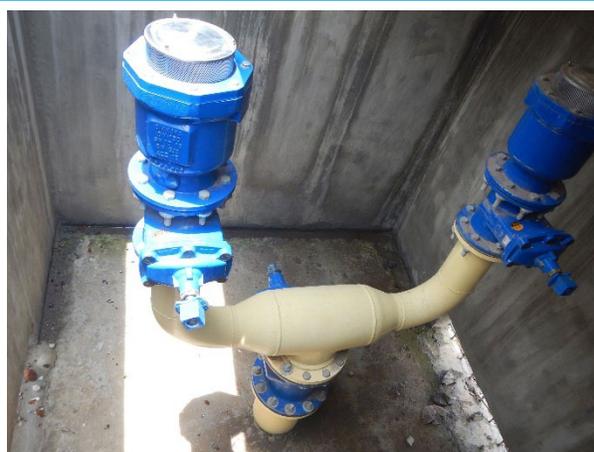


Vista de ambas VAEAs: la VAEA del sitio y la VAEA con el arreglo para instalar manómetro

VAEAs de la caja 14A



Tomando mediciones de la geometría de la caja



Arreglo del árbol de las VAEAs

VAEA de la caja 15



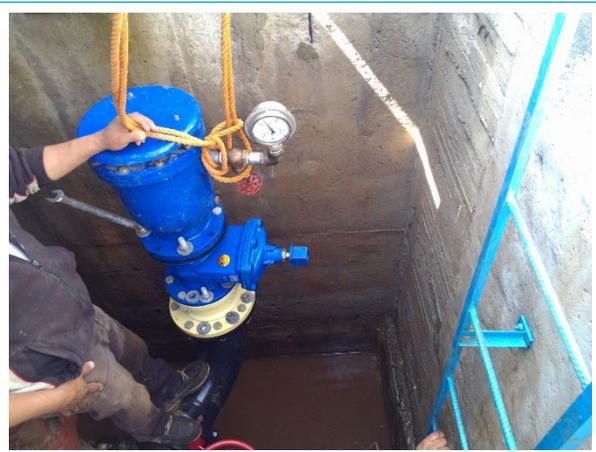
Caja de la VAEA



Arreglo de la VAEA



Desmontando la VAEA de sitio



Tomando la presión en la VAEA con arreglo para manómetro

VAEA de la caja 18



Caja de la VAEA



Arreglo de la VAEA, se intentó tomar presión en la salida de la eliminadora pero no sellaba el flotador de la VAEA, dejándola en su estado inicial, cerrada la válvula de seccionamiento general. Se espera en que en los siguientes días se cambie la VAEA.

VAEAs de la caja 22



Caja de la VAEA 22



Arreglo del árbol de las VAEAs

VAEAs de la caja 22A



Tomando medidas de la geometría de la caja



Arreglo del árbol de VAEAs

Especificaciones técnicas

Trazo y nivelación del área de trabajo.

DEFINICIÓN Y EJECUCIÓN. Se entenderá por limpieza y trazo a las actividades involucradas con la limpieza del terreno de maleza, basura, piedras sueltas etc., y su retiro a sitios donde no entorpezca la ejecución de los trabajos. Asimismo, se entenderá por este concepto a las actividades que realizará el PRESTADOR DEL SERVICIO para el levantamiento topográfico, donde se hará el trazo y la nivelación donde ira montado el modelo físico en una superficie de 2,319 metros cuadrados.

MEDICIÓN Y PAGO. Será susceptible de pago al presentar el área total limpia, así como la memoria fotográfica de los trabajos realizados la cual entregará en formato digital, ya sea vía correo electrónico o en una memoria de disco extraíble, que una vez aprobado por El Jefe de Proyecto, será motivo de pago utilizando como unidad en METROS CUADRADOS.

Suministro y colocación de acero de refuerzo.

DEFINICIÓN Y EJECUCIÓN.- Se entenderá por suministro y colocación de acero de refuerzo al conjunto de operaciones necesarias para cortar, doblar, formar ganchos y colocar las varillas de acero de refuerzo utilizadas para la formación de estructuras de concreto reforzado, conforme a las líneas de proyecto y/o las órdenes del jefe de proyecto.

El acero de refuerzo que proporcione el PRESTADOR DEL SERVICIO, deberá llenar los requisitos señalados para este material en la norma NMX-B-72-CANACERO, de la Dirección General de Normas, así como las normas complementarias.

El acero de alta resistencia deberá satisfacer los requisitos señalados para ella en las normas A-431 y A-432 de la A.S.T.M.

El acero de refuerzo deberá ser enderezado en la forma adecuada, previamente a su colocación en las estructuras.

Las distancias a que deban colocarse las varillas de refuerzo que se indiquen en los planos, serán consideradas de centro a centro, salvo que específicamente se indique otra cosa; la posición exacta, el traslape, el tamaño y la forma de las varillas, deberán ser las que se consignan en los planos o las que ordene el Jefe de proyecto.

Antes de proceder a su colocación, las superficies de las varillas y de los soportes metálicos de éstas, deberán limpiarse de óxido, polvo, grasa u otras sustancias y deberán mantenerse en estas condiciones hasta que queden ahogadas en el concreto.

Las varillas deberán ser colocadas y aseguradas exactamente en su lugar, por medio de soportes metálicos, etc., de manera que no sufran movimientos durante el vaciado del concreto y hasta el fraguado inicial de éste. Se deberá tener el cuidado necesario para aprovechar de la mejor manera la longitud de las varillas de refuerzo.

MEDICIÓN Y PAGO.- La cuantificación del acero de refuerzo se hará por kilogramo colocado con aproximación a dos decimales, quedando incluido en el precio: mermas, desperdicios, descalibres, sobrantes; los fletes totales; las maniobras y manejos locales hasta dejarlo en el sitio de su colocación; la mano de obra, el equipo y la herramienta necesaria, así como alambre y silletas necesarias. Considerando como máximo el peso teórico tabulado según el diámetro de la varilla conforme a las líneas de proyecto y/o las órdenes del Jefe de proyecto.

De manera especial debe contemplarse cuando la varilla sea de 1" de diámetro o mayor, ya que no irá traslapada sino soldada a tope, cumpliendo con los requisitos de soldadura.

Será susceptible de pago al presentar la cuantificación del acero de refuerzo total solicitada terminada según los requerimientos mostrados en los planos, así como la memoria fotográfica de los trabajos realizados la cual entregará en formato digital, ya sea vía correo electrónico o en una memoria de disco extraíble, que una vez aprobado por el Jefe de proyecto, será motivo de pago utilizando como unidad por KILOGRAMO.

Fabricación y colocación de concreto

DEFINICIÓN Y EJECUCIÓN.- Se entenderá por concreto el producto endurecido resultante de la combinación y mezcla de cemento, agua y agregados pétreos en proporciones adecuadas, pudiendo o no tener aditivos para su mejoramiento.

La construcción de estructuras y el revestimiento de canales con concreto, deberá hacerse de acuerdo con las líneas, elevaciones y dimensiones que señale el proyecto y/u ordene el Residente. Las dimensiones de las estructuras que señale el proyecto quedarán sujetas a las modificaciones que ordene el Jefe de proyecto cuando así lo crea conveniente. El concreto empleado en la construcción, en general, deberá tener una resistencia a la compresión por lo menos igual al valor indicado para cada una de las partes de la obra, conforme a los planos y especificaciones del proyecto y/o lo ordenado por el Jefe de proyecto. PRESTADOR DEL SERVICIO deberá proporcionar las facilidades necesarias para la obtención y manejo de muestras representativas para realizar las pruebas correspondientes de concreto, conforme a las indicaciones del Residente.

La localización de las juntas de construcción deberá ser aprobada por el Residente.

Se entenderá por cemento el material inorgánico finalmente pulverizado, que al agregarle agua, ya sea solo o mezclado con arena, grava, y otros materiales, tiene la propiedad de fraguar y endurecer, incluso bajo el agua, en virtud de reacciones químicas durante la hidratación y que, una vez endurecido, desarrolla su resistencia y conserva su estabilidad.

Conforme a la Norma NMX-C-414-ONNCCE-2010, los diferentes tipos de cemento se designan como sigue:

TIPO	DENOMINACION
CPO	Cemento Portland Ordinario
CPP	Cemento Portland Puzolánico
CPEG	Cemento Portland con Escoria Granulada de alto horno
CPC	Cemento Portland Compuesto
CPS	Cemento Portland con humo de Sílice
CEG	Cemento con Escoria Granulada de alto horno

El cemento de cada uno de los 6 (SEIS) tipos antes señalados deberá cumplir con las especificaciones físicas y químicas de acuerdo a las Normas Oficiales.

Se entenderá por Cemento Portland Ordinario.- Es el cemento producido a base de la molienda de Clinker portland y usualmente sulfato de calcio.

Se entenderá por Cemento Portland Puzolánico.- Es el cemento que resulta de la integración de Clinker portland, materiales puzolánicos y sulfato de calcio.

Se entenderá por Cemento Portland con Escoria Granulada de alto horno.- Es el cemento que resulta de la integración de Clinker portland, escoria granulada de alto horno y sulfato de calcio.

Se entenderá por Cemento Portland Compuesto.- Es el cemento que resulta de la integración de Clinker portland, sulfato de calcio

y una mezcla de materiales puzolánicos, escoria alto horno y caliza. En el caso de la caliza, éste puede ser componente único.

Se entenderá por Cemento Portland con humo de Sílice.- Es el cemento que resulta de la integración de Clinker portland, humo de sílice y sulfato de calcio.

Se entenderá por Cemento con Escoria Granulada de alto horno.- Es el cemento que resulta de la integración de Clinker portland, sulfato de calcio y principalmente escoria granulada de alto horno.

De acuerdo a la clase resistente, éstos pueden ser:

La resistencia normal de un cemento es la resistencia mínima mecánica a la compresión a los 28 días y se indica como 20, 30 o 40 en Newton por milímetro cuadrado (N/mm²).

CLASE RESISTENTE	
20	
30	
30 R	
40	
40 R	

De acuerdo a sus características especiales, éstos pueden ser:

NOMENCLATURA	CARACTERÍSTICAS ESPECIALES DE LOS CEMENTOS
RS	Resistente a los sulfatos
BRA	Baja reactividad alcalina agregado
BCH	Bajo calor de hidratación
B	Blanco

Ejemplo de identificación del cemento:

Un cemento portland Puzolánico de clase 30 de baja reactividad alcalina-agregado y bajo calor de hidratación se identifica como:

Cemento CPP 30 BRA/BCH

Dentro de los materiales que de acuerdo con la definición deben considerarse como nocivas, todas aquellas sustancias inorgánicas de las que se conoce un efecto retardante en el endurecimiento.

Se entiende por puzolanas aquellos materiales compuestos principalmente por óxidos de silicio o por sales cálcicas de los ácidos silicios que en presencia del agua y

a la temperatura ambiente sean capaces de reaccionar con el hidróxido de calcio para formar compuestos cementantes.

La arena que se emplee para la fabricación de mortero y concreto, y que en su caso deba proporcionar el PRESTADOR DEL SERVICIO deberá consistir en fragmentos de roca duros de un diámetro no mayor de 5 (cinco) mm, densos, durables y libres de cantidades objetables de polvo, tierra, partículas de tamaño mayor, pizarras, álcalis, materia orgánica, tierra vegetal, mica y otras sustancias perjudiciales y deberán satisfacer los requisitos siguientes:

- Las partículas no deberán tener formas lajeadas o alargadas sino aproximadamente esféricas o cúbicas.
- El contenido del material orgánico deberá ser tal, que en la prueba de color (A.S.T.M., designación C-40), se obtenga un color más claro que el estándar, para que sea satisfactorio.
- El contenido de polvo (partículas menores de 74 (setenta y cuatro) micras: cedazo número 200 (A.S.T.M., designación C- 117), no deberá exceder del 3 (tres) por ciento en peso.
- El contenido de partículas suaves, tepetates, pizarras, etc. sumado con el contenido de arcillas y limo no deberá exceder del 6 (seis) por ciento en peso.
- Cuando la arena se obtenga de bancos naturales de este material, se procurará que su granulometría esté comprendida entre los límites

máximos y mínimos, especificación A.S.T.M.E.11.3a.

Cuando se presenten serias dificultades para conservar la graduación de la arena dentro de los límites citados, el Residente podrá autorizar algunas ligeras variaciones al respecto. Salvo en los casos en que el Residente otorgue autorización expresa por escrito, la arena se deberá lavar siempre.

La arena entregada a la planta mezcladora deberá tener un contenido de humedad uniforme y estable, no mayor de 6 (seis) por ciento.

El agregado grueso que se utilice para la fabricación de concreto y que en su caso deba proporcionar el PRESTADOR DEL SERVICIO, consistirá en fragmentos de roca duros, de un diámetro mayor de 5 (cinco) mm, densos, durables, libres de cantidades objetables de polvo, tierra, pizarras, álcalis, materia orgánica, tierra vegetal, mica y otras sustancias perjudiciales y deberá satisfacer los siguientes requisitos:

- a) Las partículas no deberán tener formas lajeadas o alargadas sino aproximadamente esféricas o cúbicas.
- b) La densidad absoluta no deberá ser menor de 2.4.
- c) El contenido de polvo (partículas menores de 74 (setenta y cuatro) micras: cedazo número 200 (doscientos) (A.S.T.M., designación C-117), no deberá exceder del 1 (uno) por ciento, en peso.
- d) El contenido de partículas suaves determinado por la prueba respectiva

“ Método Standard de U.S. Bureau of Reclamation” (designación 18), no deberá exceder del 1 (uno) por ciento, en peso.

- e) No deberá contener materia orgánica, sales o cualquier otra sustancia extraña en proporción perjudicial para el concreto.

Cuando se empleen tolvas para el almacenamiento y la proporción de los agregados para el concreto, éstas deberán ser construidas de manera que se limpien por sí mismas y se descarguen hasta estar prácticamente vacías por lo menos cada 48 (cuarenta y ocho) horas. La carga de las tolvas deberá hacerse en tal forma que el material se coloque directamente sobre las descargas, centrado con respecto a las tolvas. El equipo para el transporte de los materiales ya dosificados hasta la mezcladora, deberá estar construido y ser mantenido y operado de manera que no haya pérdidas de materiales durante el transporte ni se entremezclen distintas cargas.

Los ingredientes del concreto se mezclarán perfectamente en mezcladoras de tamaño y tipo aprobado, y diseñadas para asegurar positivamente la distribución uniforme de todos los materiales componentes al final del periodo de mezclado.

El tiempo se medirá después de que estén en la mezcladora todos los materiales, con excepción de la cantidad total de agua. Los tiempos mínimos de mezclado han sido especificados basándose en un control apropiado de la velocidad de rotación de la mezcladora y de la introducción de los ma-

teriales, quedando a juicio del Residente el aumentar el tiempo de mezclado cuando lo juzgue conveniente. El concreto deberá ser uniforme en composición y consistencia de carga en carga, excepto cuando se requieran cambios en composición o consistencia. El agua se introducirá en la mezcladora, antes, durante y después de la carga de la mezcladora. No se permitirá el sobre mezclado excesivo que requiera la adición de agua para preservar la consistencia requerida del concreto. Cualquiera mezcladora que en cualquier tiempo no de resultados satisfactorios se deberá reparar rápida y efectivamente o deberá ser sustituida.

La cantidad de agua que entre en la mezcladora para formar el concreto, será justamente la suficiente para que con el tiempo normal de mezclado produzca un concreto que a juicio del Residente pueda trabajarse convenientemente en su lugar sin que haya segregación y que con los métodos de acomodamiento estipulados por el Residente produzcan la densidad, impermeabilidad y superficies lisas deseadas. No se permitirá el mezclado por mayor tiempo del normal para conservar la consistencia requerida del concreto. La cantidad de agua deberá cambiarse de acuerdo con las variaciones de humedad contenida en los agregados, de manera de producir un concreto de la consistencia uniforme requerida.

No se vaciará concreto para revestimientos, cimentación de estructuras, dentellones, etc., hasta que toda el agua que se encuentre en la superficie que vaya a ser cubierta con concreto haya sido desalojada.

No se vaciará concreto en agua sino con la aprobación escrita del Jefe de proyecto y el método de depósito del concreto estará sujeto a su aprobación. No se permitirá vaciar concreto en agua corriente y ningún colado deberá estar expuesto a una corriente de agua sin que haya alcanzado su fraguado inicial.

El concreto que se haya endurecido al grado de no poder colocarse, será desechado. El concreto se vaciará siempre en su posición final y no se dejará que se escurra, permitiendo o causando segregación. No se permitirá la separación excesiva del agregado grueso a causa de dejarlo caer desde grande altura o muy desviado de la vertical o porque choque contra las formas o contra las varillas de refuerzo; donde tal separación pudiera ocurrir, se colocarán canaletas y deflectores adecuados para confinar y controlar la caída del concreto. Excepto donde se interpongan juntas, todo el concreto en formas se colocará en capas continuas aproximadamente horizontales cuyo espesor generalmente no excederá de 50 (cincuenta) centímetros. La cantidad del concreto depositado en cada sitio estará sujeta a la aprobación del Residente. Las juntas de construcción serán aproximadamente horizontales a no ser que se muestren de otro modo en los planos o que lo ordene el Residente y se les dará la forma prescrita usando moldes donde sea necesario o se asegurara una unión adecuada con la colada subsecuente, retirando la "nata superficial" a base de una operación de "picado" satisfactorio.

Todas las intersecciones de las juntas de construcción con superficies de concreto quedaran a la vista, se harán rectas y a nivel o a plomo según el caso.

Cada capa de concreto se consolidara mediante vibrado hasta la densidad máxima practicable, de manera que quede libre de bolsas de agregado grueso y se acomode perfectamente contra todas las superficies de los moldes y materiales ahogados. Al compactar cada capa de concreto, el vibrador se pondrá en posición vertical y se dejará que la cabeza vibradora penetre en la parte superior de la capa subyacente para vibrarla de nuevo.

La temperatura del concreto al colar no deberá ser mayor de 27 (veintisiete) grados centígrados y no deberá ser menor de 4 (cuatro) grados centígrados. En los colados de concreto durante los meses de verano, se emplearán medios efectivos tales como: regado del agregado, enfriado del agua de mezclado, colados de noche y otros medios aprobados para mantener la temperatura del concreto al vaciarse abajo de la temperatura máxima especificada. En caso de tener temperaturas menores de 4 (cuatro) grados centígrados no se harán colados de concreto.

El concreto se compactará por medio de vibradores eléctricos o neumáticos del tipo de inmersión. Los vibradores de concreto que tengan cabezas vibratoras de 10 (diez) centímetros o más de diámetro, se operarán a frecuencias por lo menos de 6 000 (seis mil) vibraciones por minuto cuando sean

metidos en el concreto.

Los vibradores de concreto que contengan cabezas vibratoras de menos de 10 (diez) centímetros de diámetro se operarán cuando menos a 7000 (siete mil) vibraciones por minuto cuando estén metidos en el concreto. Las nuevas capas de concreto no se colocarán sino hasta que las capas coladas previamente hayan sido debidamente vibradas. Se tendrá cuidado en evitar que la cabeza vibradora haga contacto con las superficies de las formas de madera.

Todo el concreto se “curará” con membrana o con agua. Las superficies superiores de muros serán humedecidas con yute mojado u otros medios efectivos tan pronto como el concreto se haya endurecido lo suficiente para evitar que sea dañado por el agua y las superficies se mantendrán húmedas hasta que se aplique la composición para sellar. Las superficies moldeadas se mantendrán húmedas antes de remover las formas y durante la remoción.

El concreto curado con agua se mantendrá mojado por lo menos por 21 (veintiún) días inmediatamente después del colado del concreto o hasta que sea cubierto con concreto fresco, por medio de material saturado de agua o por un sistema de tuberías perforadas, regaderas mecánicas o mangueras porosas, o por cualquier otro método aprobado por el Residente, que conserven las superficies que se van a curar continuamente (no periódicamente) mojadas. El agua usada por el curado llenará

los requisitos del agua usada en la mezcla del concreto.

El curado con membrana se hará con la aplicación de una composición para sellar con pigmento blanco que forme una membrana que retenga el agua en las superficies de concreto.

Para usar la composición para sellar, se agitará previamente a fin de que el pigmento se distribuya uniformemente en el vehículo. Se revolverá por medio de un agitador mecánico efectivo operado por motor, por agitación por aire comprimido introducido en el fondo del tambor, por medio de un tramo de tubo o por otros medios efectivos. Las líneas de aire comprimido estarán provistas de trampas efectivas para evitar que el aceite o la humedad entren en la composición.

MEDICIÓN Y PAGO.- El concreto se medirá en metros cúbicos con aproximación a dos decimales; y de acuerdo con la resistencia indicada en el proyecto; para lo cual se determinará directamente en la estructura el número de metros cúbicos colocados conforme a las líneas de proyecto y/u órdenes del Jefe de proyecto.

No se medirán para fines de pago los volúmenes de concreto colocados fuera de las secciones de proyecto y/u órdenes del Jefe de proyecto, ni el concreto colocado para ocupar sobreexcavaciones imputables al PRESTADOR DEL SERVICIO. Así mismo se deberá de descontar el volumen ocupado por el acero de refuerzo, cuando este exceda

el 2% del volumen de concreto cuantificado conforme a las líneas de proyecto.

De manera enunciativa se señalan a continuación las principales actividades que se contemplan en estos conceptos:

- a) El suministro del cemento en obra, considerando carga en el sitio de abastecimiento, todos los acarrees totales hasta la obra y descarga en la cantidad que se requiera incluyendo todas las mermas y desperdicios para dar la resistencia requerida.
- b) La adquisición y/u obtención de la arena y la grava en las cantidades necesarias considerando, regalías, mermas y desperdicios, carga en el lugar de obtención, transporte total hasta la obra y descarga en el lugar de su utilización.
- c) El suministro de toda el agua necesaria considerando regalías, mermas y desperdicios.
- d) El curado con membrana, agua y/o curacreto.
- e) La mano de obra, herramienta y el equipo necesarios.

Se ratifica que la CONAGUA al utilizar estos conceptos está pagando unidades de obra terminada y con la resistencia especificada; por lo que el PRESTADOR DEL SERVICIO tomará las consideraciones y procedimientos constructivos de su estricta responsabilidad para proporcionar las resistencias de proyecto y/o a lo indicado por el Jefe de proyecto.

Será susceptible de pago al presentar el área total solicitada terminada según los requerimientos mostrados en los planos, así como la memoria fotográfica de los trabajos realizados la cual entregará en formato digital, ya sea vía correo electrónico o en una memoria de disco extraíble, que una vez aprobado por el Jefe de proyecto, será motivo de pago utilizando como unidad el METRO CUBICO.

Suministro y fabricación de firme de concreto armado.

Se entenderá por este concepto a las actividades que realizará el PRESTADOR DEL SERVICIO para el suministro y fabricación del firme de concreto. Piso de concreto armado $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$; de 10 cm de espesor; reforzado con malla electro soldada 6-6-10-10 acabado rayado con cepillo de alambre y juntas frías acabadas con volteador (para áreas donde se desplantará la mesa experimental, equipo de bombeo, cisterna, armado estructural). Incluye: El precio unitario incluye: suministro y colocación de todos los materiales con mermas, desperdicios, cimbra, descimbra, mano de obra, herramienta, elaboración de concreto y limpieza del área de trabajo.

El concreto deberá cumplir con la especificación de este documento.

MEDICIÓN Y PAGO. Será susceptible de pago al presentar el área total solicitada terminada según los requerimientos mostrados en los planos, así como la memoria fotográfica de los trabajos realizados la

cual entregará en formato digital, ya sea vía correo electrónico o en una memoria de disco extraíble, que una vez aprobado por el Jefe de proyecto, será motivo de pago utilizando como unidad el METRO CUADRADO. \$1039.00 m²

Suministro, forjado y montaje de estructuras en material transparente (acrílico) para formar los conductos y depósitos

El PRESTADOR DEL SERVICIO fabricará en acrílico de 3 mm, las piezas con las características mostradas en el plano que el Jefe de proyecto le proporcionará, considerando para ello todos los materiales, equipo, mano de obra y herramientas necesarias, con una tolerancia de hasta 1mm.

El PRESTADOR DEL SERVICIO deberá hacer el montaje de los conductos y depósitos en acrílico.

Para tal efecto el PRESTADOR DEL SERVICIO deberá proporcionar el personal con la capacidad técnica necesaria para poder realizar el montaje, la fijación incluyendo los materiales, mano de obra, equipo y herramienta para llevar a cabo esta actividad.

El PRESTADOR DEL SERVICIO deberá considerar en su propuesta económica todos los materiales a utilizar a saber: tornillos, adhesivos, lijas, tuercas, rondanas así como todos los materiales necesarios para realizar el montaje y cumplir con los objetivos planteados en estos términos de referencia.

El acrílico debe cumplir con las siguientes indicaciones, la mesa experimental estará expuesta en intemperie.

- RESISTENCIA A LA INTEMPERIE.
- APARIENCIA: brillantez y claridad como la del vidrio.
- GAMA DE COLORES: transparente
- LIGEREZA: 50% mayor que el vidrio.
- RESISTENCIA AL IMPACTO: 17 veces más que el vidrio ordinario.
- RESISTENCIA AL CALOR
- RESISTENCIA A ESFUERZOS MECANICOS: que no se deforme, que no se astille ni se rompa.
- RESISTENCIA QUIMICA: que resista gran variedad de productos químicos, sustancias como; thinner, alcohol metílico, benceno, tolueno, ésteres y cetonas pueden llegar a afectarlo. Por algún accidente o producto químico imprevisto. Todas las instalaciones hidráulicas están diseñadas para utilizar agua potable.
- TRANSMISION DE LUZ: 92% de transmisión de luz y que no se amarille. Que sea un excelente aislante de electricidad.
- ELONGACIÓN A LA RUPTURA (%): 4.5

MEDICIÓN Y PAGO. Será susceptible de pago al presentar las piezas terminadas y fijadas de manera correcta y a satisfacción del Jefe de proyecto, presentando adicionalmente una memoria fotográfica de la fabricación la cual entregará en disco compacto (CD-ROM), que una vez aprobado, será motivo de pago utilizando como unidad LOTE.

Prueba hidrostática al sistema integral del modelo hidráulico

DEFINICIÓN Y EJECUCIÓN. Por prueba hidrostática de la tubería de acrílico, se entenderá a todas las maniobras que se realicen en un tramo o al sistema integral terminado, de las líneas de conducción y sus aditamentos hidráulicos, para probar las tuberías mediante inyección de agua a presión hasta la indicada en el proyecto; considerar la presión que se registre con el gasto de prueba máximo a utilizar en el modelo hidráulico: 0.25 l/s.

La tubería se llenará lentamente de agua y se purgará al aire atrapado, mediante las válvulas de admisión y expulsión de aire que se instalaron en las tres líneas de prueba (L1, L3| L2), que también serán revisadas y evaluadas, una vez que haya escapado el aire se procederá a cerrar las válvulas y se aplicará la presión de prueba mediante una bomba adecuada que se conectará al sistema integral de tuberías. Una vez alcanzada la presión de prueba se sostendrá ésta continuamente durante el tiempo necesario para revisar cada tubo, las juntas, válvulas y piezas especiales, depósitos, a fin de localizar posibles fugas en las uniones donde se aplicó el adhesivo utilizado, las cuales no deberán existir a lo largo de las tuberías, válvulas, piezas especiales y depósitos. En el caso de que las fallas o fugas se presenten por la mala calidad del pegamento o mano de obra en las uniones, éstas serán reparadas, suministradas e instaladas por el PRESTADOR DEL SERVICIO no recibiendo compensación alguna.

El seccionamiento de cada tramo se llevará a cabo a través de tapones de prueba, posiblemente en una primera propuesta, de acuerdo a los tres tramos diseñados entre depósitos o según las indicaciones del Jefe de proyecto.

En caso de que se requieran dispositivos adicionales, atraques u obras de apoyo para la prueba hidrostática, éstos deberán ser construidos por el PRESTADOR DEL SERVICIO, suministrando todos los materiales para ello hasta el lugar de su utilización, asimismo, el PRESTADOR DEL SERVICIO está obligado a demolerlos y retirar todos los materiales resultantes de dicha demolición.

El Jefe de proyecto indicará al PRESTADOR DEL SERVICIO el sitio de la fuente de abastecimiento de agua para la prueba de la tubería y el bombeo.

MEDICIÓN Y PAGO. Para fines de estimación y pago, la prueba hidrostática de tubería de acrílico se utilizara como lote.

Al efecto se determinara directamente en la obra las longitudes de tubería efectivamente probadas, aprobadas y certificadas por el Jefe de proyecto con base en el proyecto y/o lo ordenado durante el periodo de pruebas. No se cuantificarán para fines de pago las tuberías, válvulas, depósitos, piezas especiales, que no hayan pasado la prueba, las cuales deberán ser reparadas sin compensación adicional.

El PRESTADOR DEL SERVICIO deberá proporcionar los materiales, equipo y la mano

de obra necesaria para la realización de la prueba hidrostática.

De manera enunciativa se señalan las actividades principales contempladas en este concepto:

- Incorporar, manejar y transvasar el agua,
- Reponer los materiales defectuosos,
- Llevar a cabo la prueba hidrostática, y
- Reparar desperfectos.

El PRESTADOR DEL SERVICIO deberá hacer los preparativos necesarios, colocar tapones, atraques provisionales etc. cuyos costos deberá de considerarlos en su precio unitario de la prueba hidrostática de la tubería.

Será susceptible de pago al presentar el área total solicitada terminada según los requerimientos mostrados en los planos, así como la memoria fotográfica de los trabajos realizados la cual entregará en formato digital, ya sea vía correo electrónico o en una memoria de disco extraíble, que una vez aprobado por el Jefe de proyecto, será motivo de pago utilizando como unidad LOTE.

Suministro, fabricación e instalación de celdas de presión, incluye tablero de conexiones

Se entenderá por este concepto a la acción que realizará el PRESTADOR DEL SERVICIO

para adquirir y hacer entrega completa de todos los materiales, así como la fabricación y colocación de bases para celdas de presión que serán instaladas en un panel de control, en este concepto se indica un esquema de cómo se plantea su funcionamiento. La fabricación consistirá adecuar en preparar las mangueras con sus respectivas boquillas para conectar las celdas que podrán ser de plástico y latón con un diámetro de 3mm, así como su colocación.

Se considera la fabricación de un tablero de control para colocar 250 celdas de presión, cada módulo para al menos 120 celdas de presión.

Presión mínima, 0.010 Kg/cm² y máxima 0.111 Kg/cm².

Factor de seguridad: 0.05%

Convertidor a USB el transmisor equipado

Caja de conexiones: 120 transmisores

Las longitudes de cable son variables van desde 10 metros a 250 metros, los requerimientos eléctricos, como son transformadores de energía, voltaje, etc. implementarlos de acuerdo al sistema integral de control de presiones.

MEDICIÓN Y PAGO. Será susceptible de pago al contar con lo solicitado a satisfacción del jefe de proyecto y la presentación de una memoria fotográfica de los trabajos realizados la cual entregará en formato digital, ya sea vía correo electrónico o en

una memoria de disco extraíble, que una vez aprobado y funcionando de manera integral el sistema de control de presiones, será motivo de pago utilizando como unidad LOTE.

Suministro y colocación de válvula de desagüe

Se entenderá por este concepto a los trabajos que realizará el PRESTADOR DEL SERVICIO para la ejecución de actividades referentes al suministro e instalación hidráulica de un pequeño tramo de 20 cm de tubería de acrílico en reducción de 0.025 m x 0.0031 m; también serán de 0.025 m x 0.0046 m y por último 0.025 m x 0.0062 m; es decir la perforación en las líneas (L1, L3, L2) será de: 3 mm, 4.6 mm y 6 mm, válvula de esfera de PVC cementar, se instalarán para desalojar el agua en algunos sitios durante la realización de las pruebas de simulación en el modelo. Los desfuegos serán conectados a la línea de recirculación, ver planos.

MEDICIÓN Y PAGO. Será susceptible de pago al contar con el accesorio correctamente instalado, sin fugas y a satisfacción del jefe de proyecto, así como la memoria fotográfica de los trabajos realizados la cual entregará en formato digital, ya sea vía correo electrónico o en una memoria de disco extraíble, que una vez aprobado, será motivo de pago utilizando como unidad la PIEZA.

Suministro, fabricación y montaje de estructuras de soporte, techo, fijación y estructura de protección

El PRESTADOR DEL SERVICIO fabricará las estructuras de soporte para la mesa experimental, techo, fijación y estructuras de protección, en acero según diseño presentado en el plano anexo.

El PRESTADOR DEL SERVICIO deberá considerar en su propuesta la pintura base (“primer”) de las estructuras para evitar la corrosión dada la naturaleza del material y además porque la instalación experimental estará fuera del laboratorio experimental, tiene que protegerse de los factores climáticos, es necesario que la pintura anticorrosiva cumpla con los estándares de buena calidad.

La estructura se fijará en bases de concreto, utilizando para ello elementos que permitan una sujeción que impida el movimiento de la misma.

Las estructuras serán pintadas al final de su montaje y/o instalación de color azul o el color que defina el jefe de proyecto en su momento.

Para tal efecto el PRESTADOR DEL SERVICIO deberá proporcionar el personal con la capacidad técnica necesaria para poder realizar el montaje, la fijación incluyendo los materiales, mano de obra, equipo y herramienta para llevar a cabo esta actividad. El PRESTADOR DEL SERVICIO deberá considerar en su propuesta económica todos los materiales a utilizar a saber: soldadura, taquetes de expansión, tornillos, tuercas, rondanas así como todos los materiales necesarios para realizar el montaje y cumplir con los objetivos planteados en estos términos de referencia.

MEDICIÓN Y PAGO. Será susceptible de pago al presentar al IMTA las piezas terminadas y contando con las estructuras montadas y fijas de manera correcta y a satisfacción del IMTA, presentando adicionalmente una memoria fotográfica de la fabricación la cual entregará en disco compacto (CD-ROM), que una vez aprobado por personal del IMTA, será motivo de pago utilizando como unidad LOTE.

Suministro e instalación de acero estructural.

DEFINICIÓN Y EJECUCIÓN.- Acero estructural es el trabajo de armado ejecutado con piezas metálicas a base de perfiles laminados, forjados, tubulares o troquelados para formar elementos cuya finalidad será la de construir una mesa experimental.

Todos los trabajos que ejecute el PRESTADOR DEL SERVICIO en elementos de herrería deberán cumplir con las normas, dimensiones y demás características estipuladas por el proyecto y/o por las órdenes del Residente.

Todos los materiales que utilice el PRESTADOR DEL SERVICIO para la fabricación de elementos de herrería deberán ser nuevos y de primera calidad.

La presentación y unión de las partes de cada armazón se hará en forma de lograr ajustes precisos evitando la necesidad de rellenos o emplastes de soldadura.

La unión de las partes de cada armazón se hará empleando soldadura eléctrica. Los extremos de las piezas que concurrirán en las juntas soldadas deberán ser previamente limpiados retirando de ellos grasa, aceite, herrumbre y cualquier otra impureza.

Las juntas de soldadura deberán ser esmeriladas y reparadas cuando se requiera, verificando que en su acabado aparente no queden grietas, rebordes o salientes.

Los trabajos de soldadura deberán ser ejecutados por personal calificado y con experiencia, a satisfacción del Jefe de proyecto.

Se evitarán torceduras o “tropezones” que obstruyan su libre funcionamiento.

Todos los trabajos de herrería deberán ser protegidos con la aplicación de cuando menos dos manos de pintura anticorrosiva.

La presentación, colocación y amacizado de las piezas de herrería, serán ejecutados de acuerdo con lo siguiente:

Todos los elementos de herrería deberán ser colocados por el PRESTADOR DEL SERVICIO dentro de las líneas y niveles marcados por el proyecto y/o por el Jefe de proyecto.

La estructura de herrería quede a plomo y nivel dentro de los lineamientos del proyecto.

Los anclajes o soportes de la mesa experimental, estarán apoyados en base de concreto previamente forjados, el anclaje se indicara en los planos.

La conservación de la herrería hasta el momento de la entrega del modelo hidráulico será a cargo del PRESTADOR DEL SERVICIO.

Otras actividades que van implícitas en este concepto, independientemente del suministro de los materiales será necesario fabricar, manejar, cortar y probar todos los elementos estructurales que de acuerdo al proyecto se requiera; llevando implícito en esto cortar perfiles y placas, limpiar de escorias, barrenar, enderezar perfiles; así como puntear y soldar a tope, donde sea necesario todo previo alineado.

MEDICIÓN Y PAGO.- Será susceptible de pago al contar con lo solicitado a satisfacción del jefe de proyecto y la presentación de una memoria fotográfica de los trabajos realizados la cual entregará en formato digital, ya sea vía correo electrónico o en una memoria de disco extraíble, que una vez verificado y aprobado, será motivo de pago utilizando la unidad como KILO.

Incluyéndose el suministro de todos los materiales en obra con mermas y flete, desperdicios soldaduras, andamios, equipo adecuado: soldadora de una capacidad mínima de 300 Amperes, los porta electrodos, cables, lo necesario para realizarlo, y mano de obra necesaria.

También incluye una limpieza y una protección a base de pintura anticorrosiva aplicada con pistola de aire y con un espesor de 0.002” y finalmente una aplicación a dos manos de esmalte alquidálico del mismo espesor.

CONTENIDO FIGURAS

Ilustración 1.1	Torre de Oscilación TO5	11
Ilustración 1.2	Gastos producidos en diferentes tramos de la línea	13
Ilustración 1.3	Gastos producidos en diferentes tramos de la línea 2	14
Ilustración 1.4	Tirantes y entradas de flujo en el tanque Santa Isabel	15
Ilustración 1.5	a) Gastos de la línea 1 y b) Gastos de la línea 2	15
Ilustración 1.6	Tirantes y Entradas de flujo presentadas en el Tanque Pericos	16
Ilustración 1.7 7	a) Gastos de la línea 1 y b) Gastos de la línea 2	16
Ilustración 1.8	Comunicación por radiofrecuencia y GPRS	19
Ilustración 1.9	Tramos de la línea 3	20
Ilustración 1.10	Extracto de la memoria de Dirac 2018	20
Ilustración 1.11	Interconexiones propuestas para el sistema Cutzamala	22
Ilustración 1.12	Arreglo conceptual del modelo físico del sistema Cutzamala, entre la TO5 al TASJ	23
Ilustración 1.13	Planta y perfil del terreno en el IMTA	25
Ilustración 1.14	Planta y perfil del terreno en el IMTA	27
Ilustración 1.15	Estructura para modelo y cubierta	28
Ilustración 1.16	Participantes del curso de Epanet en Oficinas de Conagua	29
Ilustración 1.17	Lista de asistencia del curso de Epanet	30
Ilustración 1.18	Participantes del curso de Epanet en Oficinas de Conagua	31
Ilustración 1.19	Lista de asistencia del curso de Epanet	31
Ilustración 2.1	Lista de asistencia del curso de Epanet	34
Ilustración 2.2	Esquema de las dos líneas de conducción	35
Ilustración 5.1	Discrepancia en plano	45
Ilustración 5.2	Método de propagación de flujo	46
Ilustración 5.3	Pasos de tiempo del modelo	47
Ilustración 5.4	Opciones del método de propagación de flujo con la onda dinámica	47
Ilustración 5.5	Equipo de bombeo del sistema Cutzamala Datos y ubicación de la torre de oscilación	48
Ilustración 5.6	Datos y ubicación del tanque Santa Isabel	49
Ilustración 5.7	Datos y ubicación del tanque Santa Isabel	50
Ilustración 5.8	Datos y ubicación de la torre de oscilación	50
Ilustración 5.9	Primer tramo Torre de Oscilación – Tanque Santa Isabel	51
Ilustración 5.10	Tramo 2 Santa Isabel – Tanque Pericos	52

Ilustración 5.11	Tramo 2 Santa Isabel – Tanque Pericos	52
Ilustración 5.12	Gasto generado con 5 equipos prendidos	53
Ilustración 5.13	Relación Gasto – Horas en la bomba P1 y P2.	54
Ilustración 5.14	Relación Gasto – Horas en la bomba P5 y P6.	55
Ilustración 5.15	Gasto previo a la descarga previo a conducirse por la línea 1 y 2	55
Ilustración 5.16	Relación Tirante – Tiempo en el tanque de Oscilación	56
Ilustración 5.17	Tirante y Volumen presentado en tanque Santa Isabel durante el tiempo de simulación	56
Ilustración 5.18	Tirante y Volumen presentado en tanque Pericos durante el tiempo de simulación	56
Ilustración 5.19	Relación Gasto de salida – Horas en la línea 1	57
Ilustración 5.20	Relación Gasto de salida – Horas en la línea 2	57
Ilustración 5.21	Gastos producidos en diferentes tramos de la línea 1	58
Ilustración 5.22	Gastos producidos en diferentes tramos de la línea 2	58
Ilustración 5.23	Tirantes y entradas de flujo en el tanque Santa Isabel	59
Ilustración 5.24	a) Gastos de la línea 1 y b) Gastos de la línea 2	59
Ilustración 5.25	Tirantes y Entradas de flujo presentadas en el Tanque Pericos	60
Ilustración 5.26	Conducción de 700 l/s a llevar al Valle de Toluca	60
Ilustración 5.27	a) Gastos de la línea 1 y b) Gastos de la línea 2	61
Ilustración 5.28	Ubicación de VAEAs inspeccionadas durante el recorrido de campo	63
Ilustración 5.29	VAEA habilitada por la cuadrilla de mantenimiento del Sistema Cutzamala para la toma de presión	64
Ilustración 5.30	Procedimiento general utilizado para la toma de presión en las cajas	65
Ilustración 5.31	Medición de cajas de VAEAs	66
Ilustración 5.32	Clasificación de cajas de VAEAs por sus características	67
Ilustración 5.33	Clasificación de cajas de VAEAs por sus condicionesç	68
Ilustración 5.34	Resumen de VAEA L1-1	69
Ilustración 5.35	Resumen de VAEA L1-1A	69
Ilustración 5.36	Resumen de VAEA L1-4	70
Ilustración 5.37	VAEA L1-4A	70
Ilustración 5.38	VAEA L1-5	71
Ilustración 5.39	Resumen de la VAEA L1-6	71
Ilustración 5.40	Resumen de la VAEA L1-7	72
Ilustración 5.41	Resumen de la VAEA L1-8 ^a	72
Ilustración 5.42	Resumen de la VAEA L1-10A	73
Ilustración 5.43	Resumen de la VAEA L1-12	73

Ilustración 5.44	Resumen de la VAEA L1-13	74
Ilustración 5.45	Resumen de la VAEA L1-14	74
Ilustración 5.46	Resumen de la VAEA L1-14A	75
Ilustración 5.47	Resumen de la VAEA L1-14 ^a	75
Ilustración 5.48	Resumen de la VAEA L1-18	76
Ilustración 5.49	Resumen de la VAEA L1-22	76
Ilustración 5.50	Resumen de la VAEA L1-22A	77
Ilustración 5.51	Cobertura de señal GPRS	80
Ilustración 5.52	Comunicación por fibra óptica	81
Ilustración 5.53	Comunicación por radiofrecuencia y GPRS	82
Ilustración 5.54	Definición de tramos constructivos de la línea 3 del sistema Cutzamala	82
Ilustración 5.55	Cruce en la barranca de Berros	84
Ilustración 5.56	Tubo puente sobre el río Lerma	85
Ilustración 5.57	Zona de humedales	85
Ilustración 5.58	Extracto de la memoria de Dirac 2018	86
Ilustración 5.59	Gráfico de envoltentes de presión ante el paro de los equipos de bombeo en la PB5	88
Ilustración 5.60	Resultado del vaciado de la zona 1 del tramo 1	88
Ilustración 5.61	Ubicación de los seccionamiento propuestos	89
Ilustración 5.62	Avance de la obra del proyecto de OCAVM de válvulas intermedias entre los tanques	90
Ilustración 5.63	Interconexiones propuestas para el sistema Cutzamala	91
Ilustración 5.64	Ubicación de la interconexión en el tramo 1	92
Ilustración 5.65	Acceso a la interconexión 1	93
Ilustración 5.66	Esquema de la interconexión	93
Ilustración 5.67	Apertura de la válvula para el tramo 4	94
Ilustración 5.68	Comportamiento del gasto y la velocidad en la tubería INTERL2_A_L3	95
Ilustración 5.69	Perfil del flujo de la línea 3 al tiempo de la apertura de la válvula	95
Ilustración 5.70	Válvulas de desfogue propuestas de la interconexión al Tanque Santa Isabel	96
Ilustración 5.71	Esquema para el escenario del mantenimiento de la línea 1	97
Ilustración 5.72	Comportamiento del flujo y velocidad en la tubería INTERL1_A_L3	98
Ilustración 5.73	Apertura de la válvula de la línea 1 a la línea 3	99
Ilustración 5.74	Perfil de flujo de la línea 3 al tiempo de la apertura de la válvula	99

Ilustración 5.75	Válvulas propuestas para la línea 1 de la interconexión al Tanque Santa Isabel	100
Ilustración 5.76	Ubicación de las interconexiones en el tramo 3	101
Ilustración 5.77	Acceso para la interconexión propuesta en el tramo 3	101
Ilustración 5.78	Interconexión existente en el tramo 2	102
Ilustración 5.79	Comportamiento en el tiempo del gasto y velocidad en la tubería INTER1_L2_A_L3	103
Ilustración 5.80	Apertura de la válvula que conecta a la línea 2 y línea 3	103
Ilustración 5.81	Perfil de la conducción de la interconexión 2 al tanque Pericos	104
Ilustración 5.82	Perfil de flujo donde se marcan las zonas que requieren un válvula de compuerta (desfogue)	105
Ilustración 5.83	Comportamiento del flujo y velocidad en la tubería INTER1_L1_A_L3	105
Ilustración 5.84	Apertura de la válvula para la darle mantenimiento a la línea 1	106
Ilustración 5.85	Llenado de la línea 3	107
Ilustración 5.86	Propuesta de 6 válvulas de compuerta en el tramo interconexión 2 a Tanque Pericos	107
Ilustración 5.87	Comportamiento del flujo y velocidad en la tubería INTER_EXIS_L2_A_L3	108
Ilustración 5.88	Apertura de la válvula para la darle mantenimiento a la línea 1	109
Ilustración 5.89	Llenado de la línea 3 tramo de la interconexión al Tanque Pericos	110
Ilustración 5.90	Desfogue de la línea 2 y propuesta de 7 válvulas de desfogue del tramo interconexión 3 al Tanque Pericos	110
Ilustración 5.91	Gasto y velocidad en la interconexión 3, conexión línea 1-3	111
Ilustración 5.92	Operación de la válvula reguladora de caudal en la interconexión 3, conexión línea 1-3	112
Ilustración 5.93	Vaciado de la línea 1	112
Ilustración 5.94	Propuesta de desfogues en la línea 1	113
Ilustración 5.95	Llenado de la línea 3, interconexión 3	113
Ilustración 5.96	Ubicación de la interconexión 4 propuesta	115
Ilustración 5.97	Ruta para poder acceder a la interconexión 4	115
Ilustración 5.98	Interconexión 4 entre línea 1 y línea 3	116
Ilustración 5.99	Porcentaje de apertura de la válvula de regulación	117
Ilustración 5.100	Caudal y velocidades presentes en la interconexión INTER2_L2_A_L3	117
Ilustración 5.101	Caudal conducido por la línea 3 hacia el Túnel Analco	118
Ilustración 5.102	Perfil de flujo de la línea 2 después del proceso de vaciado	119

Ilustración 5.103	Ubicación de desfogues propuestos	119
Ilustración 5.104	Interconexión 4 entre línea 1 y línea 3	120
Ilustración 5.105	Porcentaje de apertura de la válvula	121
Ilustración 5.106	Caudal y velocidades presentes en la interconexión INTER 3_L1_A_L3	121
Ilustración 5.107	Caudal conducido por la línea 3 hacia el Túnel Analco	122
Ilustración 5.108	Perfil de flujo de la línea 1 después del proceso de vaciado	123
Ilustración 5.109	Ubicación de desfogues propuestos en la línea 1	123
Ilustración 5.110	Ruta para poder acceder a la interconexión 5	124
Ilustración 5.111	Interconexión 5 entre línea 1 y línea 3	125
Ilustración 5.112	Porcentaje de apertura de la válvula de regulación	126
Ilustración 5.113	Caudal y velocidades presentes en la interconexión INTER 3_L2_A_L3	126
Ilustración 5.114	Caudal conducido por la línea 3 hacia el Túnel Analco	127
Ilustración 5.115	Perfil de flujo de la línea 2 después del proceso de vaciado	128
Ilustración 5.116	Ubicación de desfogues propuestos en la línea 2	128
Ilustración 5.117	Interconexión 5 entre línea 1 y línea 3	129
Ilustración 5.118	Porcentaje de apertura de la válvula de regulación	130
Ilustración 5.119	Caudal y velocidades presentes en la interconexión INTER 3_L1_A_L3	130
Ilustración 5.120	Perfil de flujo de la línea 1 después del proceso de vaciado	131
Ilustración 5.121	Perfil de flujo de la línea 1 después del proceso de vaciado	132
Ilustración 5.122	Ubicación de desfogues propuestos en la línea 1	132
Ilustración 5.123	Ductos de ventilación a la salida del Tanque Santa Isabel	133
Ilustración 5.124	Ductos de ventilación a la salida del Tanque Santa Isabel	134
Ilustración 5.125	Plano en perfil del ducto de ventilación a la salida del tanque pericos	135
Ilustración 5.126	Corte longitudinal de la estructura de transición al túnel Analco - San José para la línea 3	136
Ilustración 5.127	Estructura de transición al túnel Analco - San José	136
Ilustración 5.128	Seccionamientos propuestos en el sistema Cutzamala	137
Ilustración 5.129	Zonas propuestas en el tramo del T05 al Tanque Santa Isabel	138
Ilustración 5.130	Operación de los desfogues en el tramo de la línea 1 analizada	139
Ilustración 5.131	Ubicación de desfogues propuestos L1	140
Ilustración 5.132	Operación de los desfogues en la línea 2, zona 1, tramo 4	141
Ilustración 5.133	Desfogues propuesta para la línea 1, zona del tramo 4	142
Ilustración 5.134	Apertura de las válvulas en la línea 3 del tramo analizado	143

Ilustración 5.135	Perfil de la línea 3 visualizando el desfogue de las válvulas	144
Ilustración 5.136	Apertura de la válvula de desfogue OR1	145
Ilustración 5.137	Ubicación de desfogues propuestos L1	146
Ilustración 5.138	Apertura de válvulas en la línea 2	147
Ilustración 5.139	Desfogues propuesto para la línea 2, zona 2 del tramo 4	148
Ilustración 5.140	Operación de las válvulas de desfogue de la línea 2, zona 2 del tramo 4	149
Ilustración 5.141	Operación de los desfogues de la línea 3, zona 2 del tramo 4	150
Ilustración 5.142	Zonas en el tramo del Tanque Santa Isabel al Tanque Pericos	151
Ilustración 5.143	Apertura de válvulas de la línea 1, de la zona del tramo 3	152
Ilustración 5.144	Ubicación de desfogues propuestos L1	153
Ilustración 5.145	Apertura de los desfogues de la línea 2, zona 1 del tramo 3	154
Ilustración 5.146	Funcionamiento adecuado de las válvulas de desfogue	155
Ilustración 5.147	Operación de los desfogues de la línea 3, zona 1 del tramo 3	156
Ilustración 5.148	Operación adecuada de los desfogues en el tramo analizado	157
Ilustración 5.149	Operación de la apertura de la válvula de desfogue	158
Ilustración 5.150	Propuesta de 6 válvulas de compuerta en el tramo interconexión 2 a Tanque Pericos	159
Ilustración 5.151	Operación de los desfogues en la línea 2, zona 2 del tramo 3	160
Ilustración 5.152	Desfogue propuestos en la línea 2, zona 2 del tramo 3	161
Ilustración 5.153	Apertura de las válvulas del tramo analizado	162
Ilustración 5.154	Operación adecuada de las válvulas de desfogue en el tramo analizado	163
Ilustración 5.155	Apertura de las válvulas del tramo analizado	164
Ilustración 5.156	Propuesta de 6 válvulas de compuerta en el tramo interconexión 2 a Tanque Pericos	164
Ilustración 5.157	Operación de los desfogues en el tramo analizado	165
Ilustración 5.158	Desfogues propuestos en el tramo analizado	166
Ilustración 5.159	Apertura de los desfogues del tramo analizado	167
Ilustración 5.160	Operación adecuada de los desfogues propuestos de la línea 3 en el tramo analizado	167
Ilustración 5.161	Ubicación de seccionamientos en el tramo 1	168
Ilustración 5.162	Entrada en funcionamiento del seccionamiento 19+500 y desfogue OR12	169
Ilustración 5.163	Porcentaje de apertura del desfogue de la L1	170
Ilustración 5.164	Ubicación de desfogues propuestos L1	170

Ilustración 5.165	Entrada en funcionamiento del seccionamiento 19+500 y desfogue OR-Desf-19	171
Ilustración 5.166	Porcentaje de apertura del desfogue de la L2	172
Ilustración 5.167	Ubicación de desfogues propuestos L2	172
Ilustración 5.168	Porcentaje de apertura de los desfogues L3 zona 1	173
Ilustración 5.169	Vaciado zona 1, línea 3	174
Ilustración 5.170	Funcionamiento del seccionamiento 19+500 y 9+500, zona 2 línea L1	174
Ilustración 5.171	Porcentaje de apertura de los desfogues L1 zona 2	175
Ilustración 5.172	Ubicación de desfogues propuestos L1	176
Ilustración 5.173	Funcionamiento del seccionamiento 19+500 y 9+500, línea L2	176
Ilustración 5.174	Porcentaje de apertura del desfogue L2 zona 2	177
Ilustración 5.175	Ubicación de desfogues propuestos L2	178
Ilustración 5.176	Porcentaje de apertura de los desfogues L3 zona 2	179
Ilustración 5.177	Ubicación de desfogues propuestos L1, zona 3	179
Ilustración 5.178	Funcionamiento del seccionamiento 9+500, línea L1	180
Ilustración 5.179	Porcentaje de apertura del desfogue L1 zona 3	181
Ilustración 5.180	Ubicación de desfogues propuestos L1, zona 3	181
Ilustración 5.181	Funcionamiento del seccionamiento 9+500, línea L2 zona3	182
Ilustración 5.182	Porcentaje de apertura del desfogue L2 zona 3	183
Ilustración 5.183	Ubicación de desfogues propuestos L2, zona 3	183
Ilustración 5.184	Porcentaje de apertura de los desfogues (0.305 m) L3 zona 3	185
Ilustración 5.185	Porcentaje de apertura de los desfogues (0.457 m) L3 zona3	185
Ilustración 5.186	Vaciado zona 3, línea 3	186
Ilustración 5.187	Ubicación de la zona de estudio y perfil del Sistema Cutzamala. Fuente: Idefonso González. CONAGUA	187
Ilustración 5.188	Torre de Oscilación No. y 5 y Tanque Pericos	188
Ilustración 5.189	Reparación de fuga en la línea 1 del Sistema Cutzamala. Fuente: Conagua	189
Ilustración 5.190	Color rojo o anaranjado que presenta la corrosión en la parte inferior del tubo. Fuente: CAEM	189
Ilustración 5.191	Orificio irregular de la fuga en línea por presencia de corrosión y deterioro externo del tubo, Fuente: CAEM y Callejas Martínez (ITC) respectivamente	190
Ilustración 5.192	Trabajos de reparación de la fuga en línea 2. Fuente: CAEM	190
Ilustración 5.193	Ubicación de las cajas de válvulas donde se registró la presión	206
Ilustración 5.194	problemas de atrapamiento de aire en líneas de conducción	208

Ilustración 5.195	Pérdida de capacidad de conducción por aire atrapado	208
Ilustración 5.196	Bolsa de aire atrapado	209
Ilustración 5.197	Torre de oscilación 5 y salidas de las tres líneas conducción a modelar	211
Ilustración 5.198	Llegada y cruce con autopista Toluca – Zitácuaro	212
Ilustración 5.199	Cruce con arroyo y Barranca Los Berros	212
Ilustración 5.200	Tanque Santa Isabel, llegada y salida de líneas de conducción	213
Ilustración 5.201	Trama Tanque Santa Isabel - CEFERESO	214
Ilustración 5.202	Alternativas de trazo para el punto de conflicto a la altura del CEFERESO	214
Ilustración 5.203	Tramo CEFERESO – Tanque Pericos	215
Ilustración 5.204	Tanque Pericos, llegada y salida de líneas de conducción	216
Ilustración 5.205	Tramo Tanque Pericos - Río Lerma	216
Ilustración 5.206	Cruce con el río Lerma de la 3ra línea de conducción del Cutzamala	217
Ilustración 5.207	Tramo Río Lerma Portal de Entrada del Túnel Analco – San José	218
Ilustración 5.208	Configuración de llegada al Portal de entrada del Túnel Analco – San José	218
Ilustración 5.209	Sitio de medición de caudal y equipo diferencial de mercurio	219
Ilustración 5.210	Equipos de bombeo en operación	219
Ilustración 5.211	Planta Bombeo No. 5; dos líneas de conducción, una abastece a Torre de Oscilación No. 5	220
Ilustración 5.212	Torre de Oscilación No.5; las dos líneas que vienen de la P.B.5, y la línea en operación la 59	220
Ilustración 5.213	Propuesta de instalación de líneas de conducción inicial y final	221
Ilustración 5.214	Ubicación de instalación de las Líneas: L2, L3, y L1, en operación línea L2 y L1	222
Ilustración 5.215	Tramo de tubería de interconexión cónica 99” x 70” a la Torre de Oscilación No.5	222
Ilustración 5.216	Datos generales de la Línea 3 en Construcción	223
Ilustración 5.217	Sitio donde se instalará VAEA en L3 y aguas arriba puente autopista	224
Ilustración 5.218	Sitio de instalación de VAEA de la L3 y ubicación de la L2- L3 y L1	224
Ilustración 5.219	Tanque Santa Isabel e interior del tanque descargando L1 y L2	225
Ilustración 5.220	Medición de la profundidad del agua en el Tanque Santa Isabel	225
Ilustración 5.221	Medición del claro en el interior del Tanque Santa Isabel	226

Ilustración 5.222	Flujo entrante a la tubería de la L1 para continuar su trayecto al Tanque Pericos	226
Ilustración 5.223	Flujo entrante a la tubería de la L2 para continuar su trayecto al Tanque Pericos	227
Ilustración 5.224	Posición de las Líneas L1, L3 y L2 a la salida del TSI, para continuar al CEFERESO	227
Ilustración 5.225	Posición de las Líneas L1, L3 y L2 aguas abajo del TSI, para continuar al CEFERESO	228
Ilustración 5.226	Instalaciones del CEFERESO y ubicación y posición de las líneas L1, L3 y L2	228
Ilustración 5.227	Cajas de las VAEAS en el CEFERESO de Almoloya y posición de las líneas L1, L3 y L2	229
Ilustración 5.228	Tanque Pericos (TP) y derivación para abastecer a Toluca	229
Ilustración 5.229	Estructura hidráulica en el interior de la descarga y posición de L1, L3 y L2 entrada del TP	230
Ilustración 5.230	Turbulencia en el caudal de la Línea 2 ocasionada por el vertedor tipo cimacio	231
Ilustración 5.231	Llegada de caudales al Tanque Pericos de la Línea 2 y Línea 1	231
Ilustración 5.232	Entre el Tanque Pericos, Río Lerma hasta el Túnel Analco hay 5 cruces	232
Ilustración 5.233	Ubicación del primer sitio sobre el Río Lerma margen derecha posición de la Línea 3	232
Ilustración 5.234	Ubicación del primer sitio cambiando la posición de la L3	233
Ilustración 5.235	Nueva posición de las líneas conducción: L3, L2 y la L1	233
Ilustración 5.236	Ubicación del segundo sitio donde cambia la L3 al centro	234
Ilustración 5.237	Ubicación del segundo sitio donde cambia la L3 al centro el antes y después	234
Ilustración 5.238	Ubicación del tercer cruce la L3 cambia al lado izquierdo de la L2, la cual va al centro	235
Ilustración 5.239	Tramos donde la línea L3 se ve superficial a un km. antes de llegar al cruce Río Lerma	235
Ilustración 5.240	Sitio donde L3 cruza por encima de la línea L2 y toma posición al extremo izquierdo de L2	236
Ilustración 5.241	Cruzando el Río Lerma las líneas: L1, L2 y L3 aguas abajo continúan hacia el Túnel Analco	236
Ilustración 5.242	Durante el recorrido Río Lerma – Túnel Analco las líneas continúan L3, L2, y L1	236

Ilustración 5.243	Sitio del cuarto cruce, la línea L3 regresa al centro: L2, L3 y L1, continúa a Túnel Analco	237
Ilustración 5.244	Ubicación del cruce L3 pasa al centro entre L2 y L1 antes de llegar a Túnel Analco	237
Ilustración 5.245	Trayecto de las líneas después del cruce L2, L3 y L1 antes de llegar a Túnel Analco	238
Ilustración 5.246	Continúa trayecto de las líneas después del cruce L2, L3 y L1 antes de llegar a Túnel Analco	238
Ilustración 5.247	Sitio del quinto cruce de líneas, la L3 descarga por el lado derecho de L1 al Túnel Analco	239
Ilustración 5.248	Sitio del quinto cruce, línea L3 descarga por el lado derecho de L1 al Túnel Analco	239
Ilustración 5.249	Portal de entrada Túnel Analco – San José donde descargan 3 líneas del sistema Cutzamala	240
Ilustración 5.250	Llegada de las líneas L2, L1 y L3 del Sistema Cutzamala al Portal de entrada Túnel Analco	240
Ilustración 5.251	Estructura hidráulica de control de niveles construida en el interior del canal de la L2	241
Ilustración 5.252	Llegada de caudal de la L2 en Túnel Analco en un área de 20 m ² para verter por un cimacio	241
Ilustración 5.253	Flujo turbulento sobre la cresta del vertedor, en la caída al canal se genera mucha turbulencia	242
Ilustración 5.254	Flujo turbulento sobre la cresta del vertedor y turbulencia en toda la trayectoria del canal	242
Ilustración 5.255	Flujo turbulento sobre la cresta y en canal de transición por la caída libre del flujo	243
Ilustración 5.256	Estructura hidráulica de control de niveles construida en el interior del canal de la L1	243
Ilustración 5.257	El caudal de descarga de la L1 se mantiene tranquilo sin turbulencia diferencia de la L2	244
Ilustración 5.258	Canal de transición de la L1 con turbulencia	244
Ilustración 5.259	Ubicación de las líneas de bombeo de la (PB5 – TO5)	246
Ilustración 5.260	Perfil del Sistema Cutzamala y sus respectivas elevaciones	247
Ilustración 5.261	Comparativa de gastos registrados en (PB5) de 2017 y 2018	248
Ilustración 5.262	Diámetros de tubería de acrílico comercial con su respectivo espesor y longitud	258

Ilustración 5.263	Arreglo conceptual del modelo físico del sistema Cutzamala, entre la TO5 al TASJ	261
Ilustración 5.264	Planta y perfil del terreno en el IMTA	269
Ilustración 5.265	Estructura para modelo y cubierta	270
Ilustración 5.266	Participantes del curso de Epanet en Oficinas de Conagua	275
Ilustración 5.267	Lista de asistencia del curso de Epanet	276
Ilustración 5.268	Participantes del curso de SWMM en Oficinas de Conagua	277
Ilustración 5.269	Lista de asistencia del curso de SWMM	278

CONTENIDO TABLAS

Tabla 1.1	Tramos de tubería que no cumplen con la profundidad mínima	21
Tabla 1.2	Transportación de magnitudes de frontera del prototipo a modelo	24
Tabla 5.1	Discrepancias entre el plano de la línea 2 y los datos levantados en campo	44
Tabla 5.2	Coeficientes de Manning para las tuberías del sistema Cutzamala	47
Tabla 5.3	Curva para las bombas P1, P2, P3, P4, P5 y P6	48
Tabla 5.4	Curva de la bomba para los equipos P7, P8, P9 Y P10	49
Tabla 5.5	Condiciones del desbordamiento en el tanque Santa Isabel	54
Tabla 5.6	Concentrado de VAEAs levantadas	78
Tabla 5.7	Concentrado de avances por tramo constructivo	83
Tabla 5.8	Desfogues de la línea 1, zona 1, tramo 4	139
Tabla 5.9	Desfogues de la línea 2, zona 1, tramo 4	140
Tabla 5.10	Datos de los desfogues operados para el desfogue de la línea 3, tramo 4 y zona 1	142
Tabla 5.11	Características del desfogue de la línea 1 en la zona 2 del tramo 4	144
Tabla 5.12	Características de los desfogues de la línea 2, zona 2 del tramo 4.	146
Tabla 5.13	Características de los desfogues de la línea 3, zona 2 del tramo 4.	148
Tabla 5.14	Características de los desfogues de la línea 1, zona 1 del tramo 3.	151
Tabla 5.15	Características de los desfogues de la línea 2, zona 1 del tramo 3.	153
Tabla 5.16	Características de los desfogues de la línea 3, zona 1 del tramo 3.	155
Tabla 5.17	Características del desfogue ubicado en la línea 1 de la zona 2 del tramo 3	157
Tabla 5.18	Características de los desfogues de la línea 2, zona 2 del tramo 3	159
Tabla 5.19	Características de los desfogues de la línea 3, zona 2 del tramo 3.	161
Tabla 5.20	Características de los desfogues de la línea 1, zona 3 del tramo 2.	163
Tabla 5.21	Caracterización de los desfogues de la línea 2, zona 3 del tramo 2	165
Tabla 5.22	Caracterización de los desfogues ubicados en la línea 3, zona 3 del tramo 2.	166
Tabla 5.23	Parámetros hidráulicos y tiempos de operación del desfogue L1.	169
Tabla 5.24	Parámetros hidráulicos y tiempos de operación de los desfogues L2	171
Tabla 5.25	Parámetros hidráulicos y tiempos de operación de los desfogues L3	173
Tabla 5.26	Parámetros hidráulicos y tiempos de operación de los desfogues L1	175
Tabla 5.27	Parámetros hidráulicos y tiempos de operación de los desfogues L2	177

Tabla 5.28	Parámetros hidráulicos y tiempos de operación de los desfogues L3	178
Tabla 5.29	Parámetros hidráulicos y tiempos de operación de los desfogues L1 zona 3	180
Tabla 5.30	Parámetros hidráulicos y tiempos de operación de los desfogues L2 zona 3	182
Tabla 5.31	Parámetros hidráulicos y tiempos de operación de los desfogues L3 zona 3	184
Tabla 5.32	Levantamiento de las VAEAS en línea 1 y 2	191
Tabla 5.33	Relación de válvulas levantadas de la línea 1	192
Tabla 5.34	Relación de válvulas levantadas de la línea 2	198
Tabla 5.35	Levantamiento de presiones en cajas de válvulas Líneas 1 y 2	206
Tabla 5.36	Líneas de bombeo longitudes y diámetros (PB5 – TO5)	245
Tabla 5.37	Caudales y volúmenes de la Planta de Bombeo No.5	248
Tabla 5.38	Coeficientes de rugosidad de Manning (n) para diferentes materiales de tubería	251
Tabla 5.39	Escalas sin distorsión, con distorsión y su respectivo gasto	256
Tabla 5.40	Comparativa de escalas al transportar datos de prototipo – modelo y diámetro comercial	257
Tabla 5.41	Factores de escala por magnitud física para el modelo hidráulico	258
Tabla 5.42	Condiciones para determinar el tipo de flujo según Reynolds	259
Tabla 5.43	Transportación de magnitudes de frontera del prototipo a modelo	260
Tabla 5.44	Presupuesto para la construcción del Modelo Físico del Sistema Cutzamala	263
Tabla 5.45	Presupuesto de obras complementarias del modelo físico	271

