
INFORME FINAL

Ingeniería de detalle, implementación, puesta en marcha e inicio de operación de la infraestructura que permita mejorar el abasto y la calidad del agua en la Región Lagunera en el estado de Durango

CONVENIO DE COLABORACIÓN CONAGUA-IMTA SGAPDS-OCCCN-RL-15-06-FED-CC



México 2016

México 2016

Participantes

M. I. Arturo González Herrera, Jefe de proyecto

M. I. Antonio Javier García López, Colaborador

M. I. Fernando Pozo Román, Colaborador

Dr. Martín Piña Soberanis, Supervisor

Ing. Antonio Flores Ocampo, Apoyo técnico

Ing. Jorge Arturo Islas Báez, Apoyo técnico

Ing. Juan Rodríguez Castillo, Apoyo técnico

Arq. Hugo Mauricio Sánchez Guerrero, Apoyo técnico

Bio. Evelin Karina Martínez Espíndola, Apoyo técnico

RESUMEN EJECUTIVO

En gran cantidad de pozos profundos de la Comarca Lagunera en el estado de Durango, se ha detectado la presencia de arsénico en concentraciones por arriba del límite máximo permisible que establece la Modificación del año 2000 a la NOM-127-SSA1-1994 (Salud ambiental, Agua para uso y consumo humano, Límites permisibles de calidad de agua y tratamientos a los que debe someterse el agua para su potabilización), lo que representa un riesgo para la población.

Ante la necesidad de dar solución a la problemática de calidad de agua conforme a la normatividad vigente y con el fin de extender el beneficio con agua potable de calidad a la población de la Región Lagunera de Durango, en el año 2014, la CONAGUA solicitó al IMTA llevar a cabo un Estudio de Factibilidad Técnica para la implementación de plantas potabilizadoras de filtración directa para potabilizar el agua de 21 pozos en el estado de Durango, y determinar los esquemas de tratamiento más convenientes de acuerdo a la calidad del agua, caudales de extracción, áreas disponibles, infraestructura e interconexiones existentes. Además se proporcionó asistencia técnica en el proceso de Licitación para la Construcción y Puesta en Marcha de dos Plantas Potabilizadoras para Remoción de Arsénico del tipo Filtración Directa en la cabecera municipal de Gómez Palacio, Dgo.

Con el propósito de dar continuidad a los trabajos realizados en el año 2014, la CONAGUA solicita inicialmente al IMTA la elaboración de ocho Proyectos Ejecutivos de Planta Potabilizadora para Remoción de Arsénico del tipo Filtración Directa, así como apoyo técnico para la revisión de proyectos ejecutivos de plantas potabilizadoras a pie de pozos elaborados por terceros y durante la ejecución de las ocho obras y la evaluación de su funcionamiento.

Posteriormente, Derivado de que mediante Oficio No. BOO.802.06.-451 de fecha 3 de agosto de 2015 “LA CONAGUA” solicitó “EL IMTA” el aplazamiento temporal de las actividades de “Asistencia técnica en los procesos de licitación y elaboración, por parte de un tercero, de seis proyectos ejecutivos de plantas potabilizadoras para remoción de arsénico y otros contaminantes” y “Asistencia técnica en los procesos de licitación, construcción y puesta en marcha de ocho plantas potabilizadoras para remoción de arsénico del tipo filtración directa”, por las razones expuestas en dicho oficio, las cuales no son imputables a las partes que suscriben el Convenio de Colaboración SGAPDS-OCCCN-RL-15-06-FED-CC y su Convenio Modificatorio.

Asimismo, mediante Oficio No. BOO.802.06.-538 de fecha 13 de octubre de 2015 “LA CONAGUA” informa a “EL IMTA” la continuación de las acciones de Construcción de Plantas Potabilizadoras para remoción de arsénico como se contempla en el Compromiso de Gobierno CG-114 para Impulsar Obras de Infraestructura que permitan mejorar el abasto y calidad del agua en la Región Lagunera de Durango; en el mismo documento “LA CONAGUA” informa sobre la necesidad de adecuar los alcances y plazos del Convenio de Colaboración SGAPDS-OCCCN-RL-15-06-FED-CC por las consideraciones expuestas en el citado oficio. Para cumplir con esto, se elabora y firma un convenio modificatorio y su anexo técnico.

Nuevamente los alcances y plazo de ejecución del Convenio de Colaboración se vieron afectados derivado del Oficio No. BOO.802.06.-040/2016 de fecha 24 de mayo de 2016 mediante el cual la CONAGUA informa al IMTA la autorización del incremento en el plazo de ejecución del contrato de obra pública No. SGAPDS-OCCCN-RL-15-010-FED-LP cuyo objeto es la Construcción y Puesta en Marcha de la planta potabilizadora para remoción de arsénico en el Cerro de la Pila de la ciudad de Gómez Palacio, Durango, para concluir el 30 de junio del 2016, por lo que, para dar continuidad a las actividades del IMTA en lo que respecta a la Asistencia técnica en los procesos de construcción y puesta en marcha de una planta potabilizadora para remoción de arsénico del tipo filtración directa es necesario adecuar los alcances y plazo de ejecución del Convenio de Colaboración, lo cual se llevó a cabo mediante la firma del Segundo Convenio Modificatorio y su anexo técnico.

Para cumplir con los objetivos acordados en el Convenio de Colaboración y sus dos modificaciones, las actividades realizadas fueron las siguientes:

a) Dos Proyectos Ejecutivos de Planta Potabilizadora para Remoción de Arsénico del tipo Filtración Directa en pozos con gastos menores a 70 L/s.

El IMTA elaboró dos proyectos a detalle de plantas de filtración directa para remoción de arsénico de las siguientes fuentes de abastecimiento:

1. Pozo 21 Dinamita del SIDEAPAAR Gómez Palacio
2. Pozo 15 Pueblo Nuevo del SIDEAPAAR Gómez Palacio

Previamente, se realizaron estudios de mecánica de suelos en los predios de los pozos para determinar la capacidad de carga de los suelos, su estratigrafía y recomendar el tipo de cimentación de las estructuras de las plantas potabilizadoras.

b) Tres Proyectos Ejecutivos de Planta Potabilizadora para Remoción de Arsénico del tipo Filtración Directa en pozos con gastos mayores a 70 L/s.

El IMTA elaboró tres proyectos a detalle de plantas de filtración directa para remoción de arsénico de las siguientes fuentes de abastecimiento:

-
1. Pozo 5 del SIDEAPA Gómez Palacio
 2. Pozo 33A del SIDEAPA Gómez Palacio
 3. Pozo El Quemado del SAAT de Tlahualilo

De igual manera que en los proyectos anteriores, previamente, se realizaron estudios de mecánica de suelos.

c) Cuatro Proyectos Ejecutivos de Planta Potabilizadora para Remoción de Arsénico del tipo Filtración Directa para el tratamiento de agua de dos o más fuentes.

El IMTA elaboró los proyectos a detalle de plantas de filtración directa para remoción de arsénico de las siguientes fuentes de abastecimiento:

1. Pozos 1 y 7 del SIDEAPA Gómez Palacio
2. Pozos 32, 34 y 4A del SIDEAPA Gómez Palacio
3. Pozos 22 y 24 del SIDEAPAAR Gómez Palacio
4. Pozos 20 y 23 Transportes del SIDEAPAAR Gómez Palacio

También se realizaron estudios de mecánica y adicionalmente levantamientos topográficos para las líneas de conducción e interconexión de pozos y planta potabilizadora, además de los análisis hidráulicos de funcionamiento combinado y arreglos preliminares por la interconexión de dos o tres pozos en las plantas.

Los proyectos ejecutivos incluyen todo lo relativo a los diseños: funcional, hidráulico, arquitectónico, estructural, línea de lodos, electromecánico y de automatización. Se elaboraron y entregaron en paquete las memorias de cálculo y planos a detalle; por otro lado se elaboraron y entregaron catálogo de conceptos, presupuesto base y especificaciones de cada una de las plantas como parte de los documentos de las bases para licitación de construcción de las obras.

Los presupuestos se elaboraron con base de precios unitarios tomando como referencia el Catálogo General de Precios Unitarios para la Construcción de Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado, publicado por la CONAGUA, en su versión 2015. Para los conceptos que no se encontraron en el catálogo de la CONAGUA, o en opinión del IMTA el precio en ellas estaba fuera de mercado, el IMTA lo agregó y/o modificó con base en un estudio de mercado. El IMTA entregó una Base de Datos en donde se relacionan los conceptos contenidos en los proyectos con los siguientes campos: Clave, Descripción, Unidad de Medida, Precio, Fuente de Información del Precio. Además, elaboró la Especificación General que contiene los aspectos de Definición, Ejecución, Medición y Pago.

d) Términos de Referencia Técnicos para los procesos de licitación para elaboración, por parte de un tercero, de cinco proyectos ejecutivos de plantas potabilizadoras para remoción de arsénico y otros contaminantes.

Con base en los proyectos de ingeniería básica, desarrollados por IMTA en el año 2014, se elaboraron los términos técnicos de referencia para complementar las bases de licitación de los proyectos a detalle de cinco plantas potabilizadoras de tipo nanofiltración, filtración directa combinada con nanofiltración y filtración a gravedad, para pozos con problemas de arsénico, dureza, fluoruros y sulfatos, seleccionadas previamente y de manera conjunta con la CONAGUA. Los términos de referencia incluyen: objetivos y alcances, datos básicos de los pozos, el esquema general de tratamiento e ingeniería básica, normas aplicables y conceptos de trabajo, entre lo principal.

e) Asistencia técnica en los procesos de licitación, construcción y puesta en marcha de una planta potabilizadora para remoción de arsénico del tipo filtración directa.

Con base en los proyectos de ingeniería básica, desarrollados por IMTA en el año 2014, se elaboraron los términos técnicos de referencia para complementar las bases de licitación para construcción y puesta en marcha de cuatro plantas de filtración directa para remoción de arsénico, aunque para 2015 sólo se licitó la construcción de una planta potabilizadora. Los términos de referencia técnicos fueron parte de las bases de licitación de obra pública sobre la base de precio mixto (alzado y precios unitarios) y tiempo determinado para el construcción, y puesta en marcha de la planta potabilizadora para la remoción de arsénico.

Relativo al proceso de licitación, personal del IMTA participó en las visitas a los sitios y juntas de aclaraciones como apoyo técnico a la CONAGUA para resolver dudas. Posteriormente, de manera conjunta con personal de la Dirección de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento del OCCCN, se llevó a cabo la evaluación de propuestas técnico-económicas como apoyo a los dictámenes, cuya decisión final fue responsabilidad de la CONAGUA. La evaluación se basó en los anexos técnicos, económicos y adicionales de los términos de referencia y la ingeniería básica de la licitación. También se brindó apoyo a la CONAGUA en la licitación para la supervisión externa de las obras antes mencionadas, en las etapas de visita al sitio de la obra y junta de aclaraciones.

Durante la construcción e instalación de la potabilizadora, se realizaron diversas visitas de campo a la planta potabilizadora en construcción y a los talleres de fabricación de tanques de acero para filtros a presión, con el propósito de verificar que las unidades de tratamiento, equipos y dispositivos cumplieran con los diseños ejecutivos de procesos, hidráulico- mecánico, eléctrico y de instrumentación y control, en los aspectos funcionales y de especificaciones. También se aclararon dudas sobre el diseño, se corrigieron algunas deficiencias, se validaron las modificaciones en la configuración de líneas de interconexión entre los pozos, la planta potabilizadora y los tanques de distribución de

agua tratada, el sistema de automatización (PLC), nivel de desplante del tanque de almacenamiento y cárcamo de bombeo, entre lo más importante, que surgió durante el proceso.

En la etapa de puesta en marcha de la planta y una vez realizadas las pruebas eléctricas, mecánicas e hidráulicas de la planta por parte del Contratista, la Supervisión de CONAGUA y la Supervisión Externa y superadas las fallas detectadas, se procedió a realizar las pruebas de funcionamiento integral, con el objetivo es dejar la planta potabilizadora en condiciones de operar en continuo conforme a diseño. Se monitorearán los parámetros hidráulicos (presión y caudal de entrada a la planta y de cada filtro) y parámetros de calidad de agua a la entrada de la planta y salida de filtros (arsénico, hierro, cloro residual, SDT, pH y temperatura) para ajustar dosificación de reactivos y determinar eficiencias de remoción de contaminantes y carreras de filtración.

Con las condiciones de dosificación aplicadas se logró alcanzar hasta el 95,0% de eficiencia en la remoción de arsénico (contenido de 2 µg/L), lo que permite tener en el agua filtrada concentraciones de arsénico por debajo del límite máximo permisible establecido por la NOM-127-SSA1-1994, modificación al año 2000, de 25 µg/L y el valor guía establecido por la Organización Mundial de la Salud, OMS, (10 µg/L).

f) Se elaboraron y entregaron Informes de avance mensual, en los cuales se presentaron las actividades realizadas y resultados alcanzados, así como este informe final.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ANTECEDENTES	1
Objetivo.....	1
Actividades realizadas	2
METODOLOGÍA GENERAL.....	5
POZOS PRIORITARIOS PARA ELABORACIÓN DE PROYECTOS EJECUTIVOS DE PLANTA POTABILIZADORA PARA REMOCIÓN DE ARSÉNICO	9
ELABORACIÓN DE PROYECTOS EJECUTIVOS DE PLANTA POTABILIZADORA PARA REMOCIÓN DE ARSÉNICO DEL TIPO FILTRACIÓN DIRECTA EN POZOS....	10
Esquema general de tratamiento.....	10
Estudios de campo preliminares.....	15
Estudios de Mecánica de suelos.....	15
Levantamientos topográficos	19
Análisis hidráulicos de líneas de interconexión de pozos y plantas potabilizadoras	20
Proyectos ejecutivos.....	21
Catálogos, especificaciones y Presupuestos base	21
ELABORACIÓN DE LOS TÉRMINOS DE REFERENCIA TÉCNICOS PARA LOS PROCESOS DE LICITACIÓN PARA ELABORACIÓN, POR PARTE DE UN TERCERO, DE CINCO PROYECTOS EJECUTIVOS DE PLANTA POTABILIZADORA PARA REMOCIÓN DE ARSÉNICO Y OTROS CONTAMINANTES.....	22
ASISTENCIA TÉCNICA EN LOS PROCESOS DE LICITACIÓN, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE UNA PLANTA POTABILIZADORA PARA REMOCIÓN DE ARSÉNICO.....	25
Licitación.....	25
Construcción.....	31
Álbum fotográfico de avance de las obras	34
Evaluación del funcionamiento de la planta potabilizadora Cerro de la Pila	39
Conclusiones de la evaluación de la planta y recomendaciones	42
Álbum fotográfico	43
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros de diseño de las plantas potabilizadoras de filtración directa	14
Tabla 2. Ubicación de sitios para estudios de mecánica de suelos.....	16
Tabla 3. Ubicación de pozos de interconexión y sitios de plantas potabilizadoras.....	20
Tabla 4. Datos generales de los pozos para licitación de proyectos ejecutivos de 5 plantas potabilizadoras para remoción de arsénico y otros contaminantes	22
Tabla 5. Datos generales de los pozos para licitación de construcción y puesta en marcha de 4 plantas de filtración directa para remoción de arsénico	24
Tabla 6. Resultados de análisis en campo, julio 28 segundo muestreo	40
Tabla 7. Condiciones de trabajo de bombas dosificadoras, sexto ajuste	41
Tabla 8. Mediciones de presión y caudal en influente a planta y pozos.....	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema general de filtración directa para la planta del pozo La Concha	11
Figura 2. Diagrama de flujo de una planta de filtración directa con filtros a gravedad ...	12
Figura 3. Toma de muestra de suelo para análisis de propiedades en laboratorio	18
Figura 4. Equipo de penetración estándar en operación en pozo 33 A.....	18
Figura 5. Análisis de laboratorio de mecánica de suelos	19
Figura 6. Asistencia del IMTA en proceso de licitación de la construcción	26
Figura 7. Resumen de evaluación binaria de la licitación de construcción y puesta en marcha de la planta Cerro de la Pila	28
Figura 8. Formato de Estructura de la propuesta económica AE12	29
Figura 9. Resumen de evaluación binaria de la licitación de <i>Supervisión</i> de construcción y puesta en marcha de la planta Cerro de la Pila.....	30
Figura 10. Formato de Estructura de la propuesta económica AE12 de la licitación de <i>Supervisión</i>	31
Figura 11. Demolición de tanque viejo y excavación para tanque nuevo de almacenamiento.....	34
Figura 12. Cimbra y armado de acero en tanque de almacenamiento y sedimentador .	34
Figura 13. Fabricación de tanques de acero para filtros en taller de pailería	35
Figura 14. Interconexión de llegada a planta y tanque de agua tratada; línea de conducción a zonas de influencia de pozos 4A y 34	35
Figura 15. Obra civil en caseta de vigilancia, laboratorio y cárcamo de lodos	36
Figura 16. Proceso de conexión de filtros a líneas de tuberías y verificación de control de válvulas	36
Figura 17. Empaquetado de material filtrante; toberas en el fondo	37
Figura 18. Cárcamo de bombeo de agua filtrada y bombas de suministro a tanques y retrolavado	37
Figura 19. Caseta de dosificación y mezcladores estáticos para agua cruda y de retrolavado	38
Figura 20. Panorámicas de los filtros, mega-tanque y casetas	38
Figura 21. Instrumental para análisis de calidad de agua en laboratorio de la planta	43
Figura 22. Análisis de arsénico en agua cruda y filtrada con el Arsenator	44
Figura 23. Puertos de muestreo en tren de tratamiento	45
Figura 24. Medidores de presión y caudal en agua cruda.....	46

ANTECEDENTES

En gran cantidad de pozos profundos de la Comarca Lagunera en el estado de Durango, se ha detectado la presencia de arsénico en concentraciones por arriba del límite máximo permisible que establece la Modificación del año 2000 a la NOM-127-SSA1-1994 (Salud ambiental, Agua para uso y consumo humano, Límites permisibles de calidad de agua y tratamientos a los que debe someterse el agua para su potabilización), lo que representa un riesgo para la población.

Ante la necesidad de dar solución a la problemática de calidad de agua conforme a la normatividad vigente y con el fin de extender el beneficio con agua potable de calidad a la población de la Región Lagunera de Durango, en el año 2014, la CONAGUA solicitó al IMTA llevar a cabo un Estudio de Factibilidad Técnica para la implementación de plantas potabilizadoras de filtración directa para potabilizar el agua de 21 pozos en el estado de Durango, y determinar los esquemas de tratamiento más convenientes de acuerdo a la calidad del agua, caudales de extracción, áreas disponibles, infraestructura e interconexiones existentes. Además se proporcionó asistencia técnica en el proceso de Licitación para la Construcción y Puesta en Marcha de dos Plantas Potabilizadoras para Remoción de Arsénico del tipo Filtración Directa en la cabecera municipal de Gómez Palacio, Dgo.

Con el propósito de dar continuidad a los trabajos realizados en el año 2014, la CONAGUA solicita al IMTA la elaboración de ocho Proyectos Ejecutivos de Planta Potabilizadora para Remoción de Arsénico del tipo Filtración Directa, así como apoyo técnico para la revisión de proyectos ejecutivos de plantas potabilizadoras a pie de pozos elaborados por terceros y durante la ejecución de las ocho obras y la evaluación de su funcionamiento.

Objetivo

El objetivo general de este Convenio de Colaboración, es:

Elaboración de proyectos ejecutivos, asistencia técnica para la licitación de proyectos ejecutivos y construcción de potabilizadoras, apoyo técnico durante la ejecución de las obras y evaluación de funcionamiento durante la puesta en marcha.

Actividades realizadas

1. Elaboración de dos Proyectos Ejecutivos de Planta Potabilizadora para Remoción de Arsénico del tipo Filtración Directa en pozos con gastos menores a 70 L/s.
2. Elaboración de tres Proyectos Ejecutivos de Planta Potabilizadora para Remoción de Arsénico del tipo Filtración Directa en pozos con gastos mayores a 70 L/s.
3. Elaboración de cuatro Proyectos Ejecutivos de Planta Potabilizadora para Remoción de Arsénico del tipo Filtración Directa para el tratamiento de agua de dos o más fuentes.
4. Elaboración de los Términos de Referencia Técnicos para los procesos de licitación para elaboración, por parte de un tercero, de cinco Proyectos Ejecutivos de Planta Potabilizadora para Remoción de Arsénico y otros contaminantes.
5. Asistencia Técnica en los procesos de Licitación, Construcción y Puesta en Marcha de una Planta Potabilizadora para Remoción de Arsénico del tipo Filtración Directa.
6. Informes de avance mensual
7. Informe final

Cronograma de ejecución de actividades

Actividad	2015									2016						
	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
1	XX	XXXX														
2	XX	XXXX														
3	XX	XXXX														
4				XXXX												
5				XXXX			XXXX	XXXX	XXXX	XX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
6	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
7																XXXX
Avance físico Prog. (%)	4.87%	5.53%	6.23%	9.85%	5.17%	9.44%	18.41%	20.24%	4.05%	4.17%	4.29%	4.29%	0.81%	0.81%	0.81%	1.02%
Avance físico acumulado Prog. (%)	4.87%	10.41%	16.63%	26.49%	31.66%	41.10%	59.51%	79.75%	83.81%	87.98%	92.26%	96.55%	97.36%	98.17%	98.98%	100.00%

METODOLOGÍA GENERAL

- 1. Elaboración de dos Proyectos Ejecutivos de Planta Potabilizadora para Remoción de Arsénico del tipo Filtración Directa en pozos con gastos menores a 70 L/s.**

El IMTA elaborará los proyectos a detalle de plantas de filtración directa para remoción de arsénico de las siguientes fuentes de abastecimiento:

- a. Pozo 21 Dinamita del SIDEAPAAR Gómez Palacio**
- b. Pozo 15 Pueblo Nuevo del SIDEAPAAR Gómez Palacio**

Previamente, se realizarán estudios de mecánica de suelos en los sitios donde se construirán las plantas para el diseño de cimentaciones.

- 2. Elaboración de tres Proyectos Ejecutivos de Planta Potabilizadora para Remoción de Arsénico del tipo Filtración Directa en pozos con gastos mayores a 70 L/s.**

El IMTA elaborará los proyectos a detalle de plantas de filtración directa para remoción de arsénico de las siguientes fuentes de abastecimiento:

- a. Pozo 5 del SIDEAPA Gómez Palacio**
- b. Pozo 33A del SIDEAPA Gómez Palacio**
- c. Pozo El Quemado del SAAT de Tlahualilo**

Previamente, se realizarán estudios de mecánica de suelos en los sitios donde se construirán las plantas para el diseño de cimentaciones.

- 3. Elaboración de cuatro Proyectos Ejecutivos de Planta Potabilizadora para Remoción de Arsénico del tipo Filtración Directa para el tratamiento de agua de dos o más fuentes.**

El IMTA elaborará los proyectos a detalle de plantas de filtración directa para remoción de arsénico de las siguientes fuentes de abastecimiento:

- a. Pozos 1 y 7 del SIDEAPA Gómez Palacio**
- b. Pozos 32, 34 y 4A del SIDEAPA Gómez Palacio**
- c. Pozos 22 y 24 del SIDEAPAAR Gómez Palacio**
- d. Pozos 20 y 23 Transportes del SIDEAPAAR Gómez Palacio**

Previamente, se realizarán estudios de mecánica de suelos en los sitios donde se construirán las plantas para el diseño de cimentaciones y levantamientos topográficos para las líneas de conducción e interconexión de pozos y planta potabilizadora, además de los análisis hidráulicos de funcionamiento combinado y arreglos preliminares por la interconexión de dos o tres pozos en las plantas.

Los siguientes aspectos aplicarán para los proyectos considerados en los puntos 1, 2 y 3:

Se deberá incluir todo lo relativo a los diseños: funcional, hidráulico, arquitectónico, estructural, línea de lodos, electromecánico y de automatización. Se entregarán memorias descriptivas y de cálculo, presupuesto, especificaciones y planos a detalle.

Los presupuestos deberán ser elaborados a base de precios unitarios tomando como referencia, en el orden especificado, las siguientes fuentes de información:

- a) Catálogo General de Precios Unitarios para la Construcción de Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado, publicado por la CONAGUA, en su versión 2015.
- b) Catálogos de Precios Unitarios publicados por la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción en su edición más reciente
- c) Tabuladores oficiales de la entidad federativa
- d) Cuando algún concepto no se encuentre disponible en las fuentes de información referidas, o en opinión del IMTA el precio en ellas esté fuera de mercado, el IMTA deberá agregarlo o modificarlo debiendo realizar un estudio de mercado con por lo menos tres cotizaciones y desarrollar la Tarjeta de Precios Unitarios.

El IMTA deberá entregar una Base de Datos en donde se relacionen los conceptos contenidos en los proyectos con por lo menos los siguientes campos:

- Clave
- Descripción
- Unidad de Medida
- Precio
- Fuente de Información del Precio
- Especificación General debiendo contener por lo menos los aspectos de Definición, Ejecución, Medición y Pago

Al concluir los proyectos, El IMTA deberá entregar dos tantos originales impresos de cada Proyecto Ejecutivo, además de entregar los archivos magnéticos organizados por carpetas en una Memoria USB a fin de facilitar su consulta, lectura o manipulación en los equipos con los que cuenta la CONAGUA.

4. Elaboración de los Términos de Referencia Técnicos para los procesos de licitación para elaboración, por parte de un tercero, de cinco proyectos ejecutivos de plantas potabilizadoras para remoción de arsénico y otros contaminantes.

Con base en los proyectos de ingeniería básica, desarrollados por IMTA en el año 2014, se elaborarán los *términos técnicos de referencia* para complementar las bases de licitación de los proyectos a detalle de cinco plantas potabilizadoras de tipo nanofiltración, filtración directa combinada con nanofiltración y filtración a gravedad, para pozos con problemas de arsénico, dureza, fluoruros y sulfatos, seleccionadas previamente y de manera conjunta con la CONAGUA.

5. Asistencia técnica en los procesos de licitación, construcción y puesta en marcha de una planta potabilizadora para remoción de arsénico del tipo filtración directa.

Con base en los proyectos de ingeniería básica, desarrollados por IMTA en el año 2014, se elaborarán los *términos técnicos de referencia* para complementar las bases de licitación para construcción y puesta en marcha de cuatro plantas de filtración directa para remoción de arsénico.

Durante el proceso de licitación se brindará asistencia técnica para la *evaluación de propuestas* y selección para la construcción y puesta en marcha de una planta potabilizadora, cuyo proyecto ejecutivo se elabora al amparo del presente convenio modificatorio.

El proceso de licitación por parte del OCCCN de la CONAGUA inicia en octubre de 2015 y la construcción y puesta en marcha de la planta de filtración directa concluirá en mayo de 2016.

Se dará *apoyo técnico durante la construcción e instalación* de una potabilizadora con el propósito de verificar que las unidades de tratamiento, equipos y dispositivos cumplan con lo establecido en los proyectos ejecutivos, en los aspectos funcional y de especificaciones y validar modificaciones. Asimismo se dará *seguimiento a las pruebas de puesta en*

marcha de cada una de las plantas para ajustes de funcionamiento de todos los elementos que integran el sistema.

Una vez realizadas las pruebas eléctricas, mecánicas e hidráulicas de la planta, se procederá a realizar las pruebas de funcionamiento integral, cuyo objetivo es que las plantas potabilizadoras estén en condiciones de operar en continuo conforme a diseño y con la eficiencia de remoción de contaminantes necesaria para cumplir con la norma de calidad de agua NOM-127-SSA1-1994 (Modificación del 2000). Se monitorearán los parámetros hidráulicos (presión y caudal) y parámetros de calidad de agua a la entrada y salida de filtros (arsénico, hierro, cloro residual, SDT, pH y temperatura) para ajustar dosificación de reactivos y determinar eficiencias de remoción de contaminantes y carreras de filtración. De igual modo, se monitoreará la calidad del agua de retrolavado y efectividad del proceso de tratamiento de lodos (arsénico, SST, hierro, pH).

6. Elaboración de Informes de avance mensual.

El IMTA preparara informes mensuales donde se evidencie el avance de los servicios objeto del Convenio Modificatorio del Convenio de Colaboración y acorde a su Anexo Técnico Modificatorio

Dichos informes serán entregados, dentro de los 5 días hábiles posteriores al cierre de cada mes, en reuniones de evaluación en las que deberán participar los funcionarios designados por ambas partes para la supervisión de los servicios.

Se entregarán dos ejemplares impresos de acuerdo a las especificaciones institucionales de la Comisión Nacional del Agua, así como los archivos magnéticos de cada informe mensual y de los documentos de evidencia de avances.

POZOS PRIORITARIOS PARA ELABORACIÓN DE PROYECTOS EJECUTIVOS DE PLANTA POTABILIZADORA PARA REMOCIÓN DE ARSÉNICO

A solicitud del Consejo de Cuenca Cuencas Centrales del Norte (CCCN) de la CONAGUA para efectos de licitación, el IMTA inicia la elaboración de manera prioritaria de cuatro proyectos a detalle de plantas de filtración directa para remoción de arsénico. Las plantas son:

Para gastos menores a 70 L/s: *Pozo 15 Pueblo Nuevo del SIDEAPAAR, Gómez Palacio, Dgo., caudal de diseño de 8.0 L/s*

Para gastos mayores a 70 L/s: *Pozo 5 del SIDEAPA Gómez Palacio, caudal de diseño de 111.6 L/s*

Para tratamiento de agua de dos o más fuentes:

- *Pozos 1 y 7 del SIDEAPA Gómez Palacio, caudal de diseño de 83.5 L/s*
- *Pozos 32, 34 y 4A del SIDEAPA Gómez Palacio, caudal de diseño de 112.7 L/s*

ELABORACIÓN DE PROYECTOS EJECUTIVOS DE PLANTA POTABILIZADORA PARA REMOCIÓN DE ARSÉNICO DEL TIPO FILTRACIÓN DIRECTA EN POZOS

Los proyectos ejecutivos se desarrollaron con base en la elaboración de tres proyectos tipo, agrupando aquellos pozos que tuvieran caudales en el mismo rango, y haciendo después adaptaciones de las unidades para cada caso. Los proyectos tipo son iguales en cuanto al número y diámetro de filtros a presión, volumen del tanque de almacenamiento y cárcamo de agua filtrada, volumen del sedimentador, volumen del cárcamo de lodos y capacidad del filtro prensa; de igual modo, las capacidades de las bombas de dosificación de reactivos y las de impulsión de agua filtrada y retrolavado son similares, adaptadas a la capacidad de cada pozo y a la concentración de arsénico en el agua cruda.

Los rangos de caudal y agrupamiento de pozos, fue el siguiente:

Pozos con caudales menores a 70 L/s:

- a. **Pozo 21 Dinamita del SIDEAPAAR Gómez Palacio**
- b. **Pozo 15 Pueblo Nuevo del SIDEAPAAR Gómez Palacio**

Pozos con caudales mayores a 70 L/s:

- a. **Pozo 5 del SIDEAPA Gómez Palacio**
- b. **Pozo 33A del SIDEAPA Gómez Palacio**
- c. **Pozo El Quemado del SAAT de Tlahualilo**

Tratamiento para dos o tres pozos:

- a. **Pozos 1 y 7 del SIDEAPA Gómez Palacio**
- b. **Pozos 32, 34 y 4A del SIDEAPA Gómez Palacio**
- c. **Pozos 22 y 24 del SIDEAPAAR Gómez Palacio**
- d. **Pozos 20 y 23 Transportes del SIDEAPAAR Gómez Palacio**

Esquema general de tratamiento

El esquema general de procesos de potabilización de filtración directa para remoción sólo de arsénico, es el siguiente:

- BOMBEO DE LOS POZOS AL SISTEMA DE TRATAMIENTO
- PRE-OXIDACIÓN con hipoclorito de sodio en línea
- COAGULACIÓN/PRECIPITACIÓN con cloruro férrico en línea
- FILTRACIÓN DIRECTA en filtros a presión con lecho de arena- antracita y soporte de grava
- DESCARGA DE AGUA TRATADA EN TANQUE DE ALMACENAMIENTO/CÁRCAMO DE BOMBEO A RED DE DISTRIBUCIÓN
- RETROLAVADO CON BOMBEO DE AGUA TRATADA DESDE EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO
- TRATAMIENTO DE LODOS DEL RETROLAVADO por sedimentación espesamiento con uso de polímero y deshidratado en filtro prensa con uso de polímero.
- RECIRCULACIÓN DE AGUA CLARIFICADA DEL SEDIMENTADOR AL INICIO DEL PROCESO

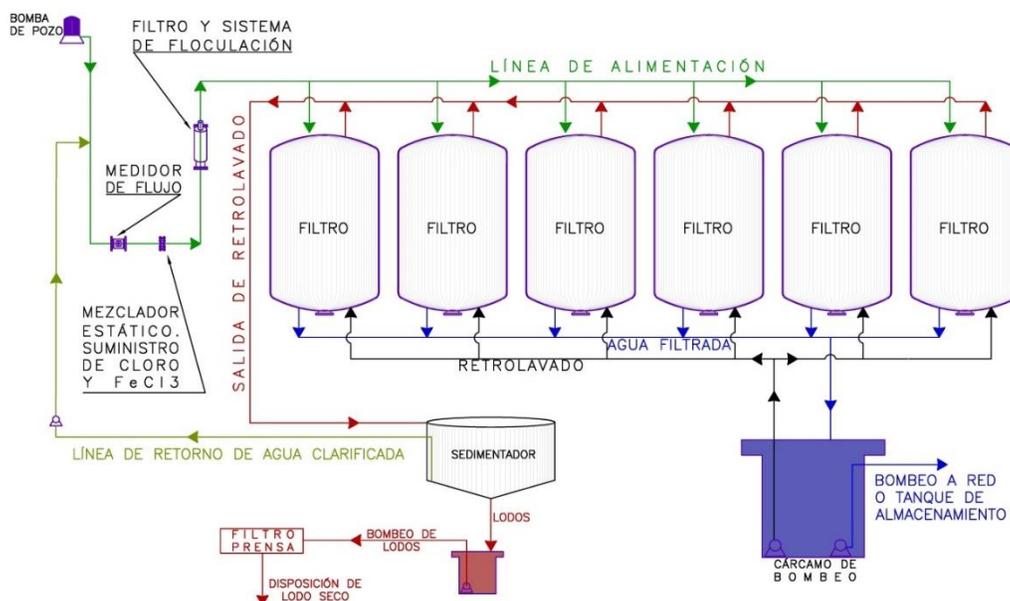


Figura 1. Esquema general de filtración directa para la planta del pozo La Concha

Para los pozos Transportes I y III, la planta potabilizadora cuenta con los mismos procesos, pero el tipo de filtros es diferente, pues estos no operan a presión, sino a gravedad (fabricados de concreto armado), y pre-oxidación se llevará a cabo con gas cloro en lugar de hipoclorito de sodio; ambos cambios se deben a que el caudal de tratamiento es muy grande. El esquema de tratamiento para esta planta, es el siguiente:

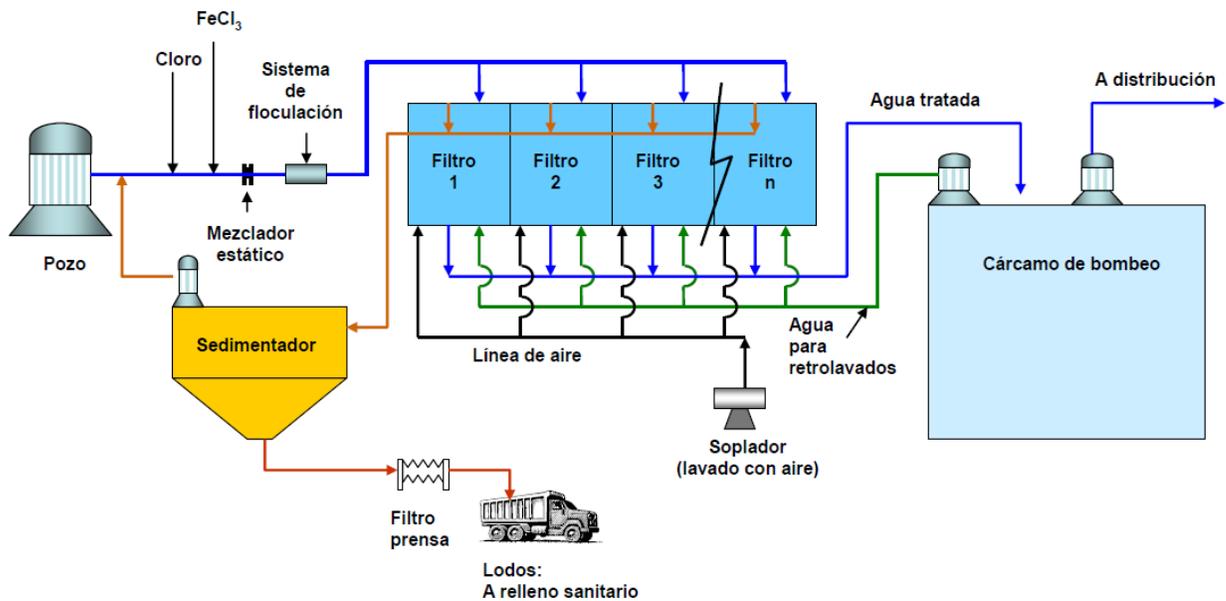


Figura 2. Diagrama de flujo de una planta de filtración directa con filtros a gravedad

Los parámetros de diseño de las plantas se presentan a continuación.

Oxidación:	demanda de $NaClO$ para oxidar Fe, Mn y As + 1.5 mg/L como cloro libre residual
Coagulación:	40mg Fe / mg As
Tasa de filtración:	6.0 m^3/m^2-h
Tasa de retrolavado:	60 m^3/m^2-h
Carrera de filtración:	48 horas

Sedimentador.	Operación en lotes, capacidad para un retrolavado
Tiempo de sedimentación:	2 hr
Tiempo de recirculación:	2 – 3 hr
Arreglo de filtración:	Mínimo 4 filtros
Medios Filtrantes:	Arena (70cm, T.E. = 0.33mm) Antracita (30cm, T.E. = 0.60mm)
Filtros a presión:	Acero al carbón A-285 C que cumplan con ASME (American Society of Mechanical Engineers) en lo referente a la Sección VIII, Div 1
Filtros a gravedad:	Concreto armado, que cumplan con las normas del ACI, del Manual de Construcción de Obras de la CFE y del Reglamento de Construcciones del D.D. F., así como del Manual de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento de la CONAGUA (lo mismo aplica para tanques de almacenamiento, cárcamos de bombeo y casetas)
Tanque de almacenamiento:	Volumen para 30 minutos de operación + volumen para un retrolavado

El predimensionamiento de las plantas potabilizadoras para los pozos referenciados, se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de diseño de las plantas potabilizadoras de filtración directa

Planta / pozo(s)	As	Caudal	Tasa filtración	Tasa retrolavado	Diá. De filtro	Núm. De filtros	Cap. Tanque de Almtó.	Cap. Sedimentador	Cap. Cárcamo de lodos
	mg/L	L/s	m/h	m/h	m	#	m ³	m ³	m ³
21 Dinamita	0.0465	65.0	6.3	60.0	2.44	8	164.0	47.0	4.23
15 Pueblo Nuevo	0.0362	8.0	6.2	60.0	1.22	4	26.1	11.7	0.702
5 Cerro de la Cruz	0.031	118.3	7.3	60.0	3.048	8	285.9	73.0	6.57
33 A Canal Sacramento	0.0337	31.50	5.5	60.0	1.98	6	87.7	31.0	1.86
Tlahualilo	0.050	80.0	6.1	60.0	2.74	8	203.0	59.0	5.31
1 y 7 Centro	0.0283	83.5	6.3	60.0	2.74	8	209.3	59.0	5.31
4 A, 32, 34 Cerro de la Pila	0.0423	112.8	7.36	60.0	3.048	8	276.0	73.0	6.57
22 y 24 San Felipe	0.172	94.9	5.85	60.0	3.048	8	243.8	73.0	6.57
Transportes I y III	0.050	192.7	6.4	60.0	18.2 m ^{2*}	6	528.9	182.0	10.92

La planta Transportes es de filtración a gravedad, el valor de 16.8 m² corresponde a la superficie de un filtro de 4.9m x 3.7m.

Estudios de campo preliminares

En el año 2014, se realizaron levantamientos topográficos de los sitios donde se ubicarán las plantas potabilizadoras. Inicialmente se habían realizado para cada planta, la ingeniería básica y el arreglo general; ahora se realiza a más detalle el arreglo general de las plantas, conservando el esquema de tratamiento y los parámetros de diseño originales.

Para el caso de los pozos urbanos, los trabajos iniciaron con contacto con funcionarios del SIDEAPA de las áreas técnicas para obtener información sobre infraestructura, proyectos y datos de operación de los pozos y sistema de abastecimiento de agua en general. Lo mismo se realizó para los pozos rurales con el SIDEAPAAR.

El SIDEAPA proporcionó planos de la red hidráulica urbana y rural de Gómez Palacio, y aunque no son recientes, sirvieron de base para hacer el diseño de trazo de las líneas de interconexión de pozos y conducción a las plantas potabilizadoras. Estos planos contienen información relativa a: ubicación de pozos y tanques de almacenamiento, diámetros y tipos de tubería, niveles de piso y carga dinámica total en pozos, entre otros.

Adicionalmente, se hicieron recorridos por los sitios de los pozos, las rutas o recorridos de las líneas de los pozos, cruceros, a los tanques de almacenamiento, con apoyo de personal operativo del SIDEAPA, para verificar información proporcionada y complementarla.

Estudios de Mecánica de suelos

Como actividad previa al desarrollo de los proyectos ejecutivos, se realizaron nueve estudios de mecánica de suelos para el diseño de cimentaciones en los sitios donde se construirán las plantas potabilizadoras para remoción de arsénico.

El estudio permitió conocer la estratigrafía y propiedades mecánicas del subsuelo en las zonas donde se van a ubicar las estructuras de las plantas potabilizadoras, de tal forma que los resultados obtenidos sirvieron para definir y diseñar las cimentaciones respectivas y dar recomendaciones para el proceso constructivo más adecuado. En la Tabla 2, se presentan la ubicación de los sitios de la mecánica de suelos.

Tabla 2. Ubicación de sitios para estudios de mecánica de suelos

Pozos	Municipio	Coordenadas
		Ubicación predio de planta potabilizadora
# 1 y 7 Centro	Gómez Palacio	N25°33'52.6" W103°30'11.6" Parque Morelos, zona norte, en la esquina de Rayón y Zaragoza
# 32, 34 y 4A	Gómez Palacio	N25°34'10.0" W103°30'29.5"
		Camino sobre el cerro La Pila a un costado del Pozo 32
# 33A	Gómez Palacio	N25°33'08.1" W103°28'57.3"
		Estacionamiento del Estadio Rosa Laguna
# 5	Gómez Palacio	N25°33'27.2" W103°30'08.63"
		Cerro de la Cruz, frente al Pozo 5
# 21 Dinamita	Gómez Palacio	N 25°40'57.4" W 103°37'49.4"
		Carretera Las Américas - La Torreña, km 6
# 22 y 24 San Felipe	San Felipe	N25°42'25.3" W103°23'41.3"
		Tanque del Pozo San Felipe
Tlahualilo	Tlahualilo	N25°53'1.12" W103°24'4.22"
		Carretera Estatal a Tlahualilo, Tanque El Lucero
# 15 Pueblo Nuevo	Gómez Palacio	N25°44'0.00" W103°38'11.76"
		Comunidad de Pueblo Nuevo, Gómez Palacio
Transportes I y III	Gómez Palacio	N 25° 37' 22.9" W 103° 36' 9.3"
		Intersección Carr. a La Luz y Carr. La Torreña

Metodología:

- a) Marco geológico regional.
Se definirá el marco geológico regional del sitio donde se ubican las estructuras, con el propósito de detectar rasgos geológicos característicos que pudieran poner en riesgo las obras.
- b) Trabajos de campo.
Realizar en cada sitio de ubicación de planta potabilizadora, un pozo a cielo abierto (PCA), excavado hasta una profundidad máxima de 3.0 m. Se obtendrán muestras para determinar propiedades índice (contenido del agua, límites de consistencia y granulometría simplificada) y propiedades "in situ", tales como peso volumétrico natural y grado de compacidad.

c) Trabajos de Laboratorio.

En términos generales, el programa de laboratorio incluye:

- Peso volumétrico de todas las muestras
- Granulometría o por ciento de finos, cuando se requiera
- Límites de consistencia
- Contenido natural de agua
- Densidad de sólidos
- Clasificación S.U.C.S.
- Pruebas de resistencia a la compresión no confinada, practicadas a muestras inalteradas de materiales cohesivos
- Pruebas triaxiales, en los estratos seleccionados, apegándose al procedimiento que defina la Dependencia y el Contratista
- Gráfica y registro anexo, de la variación de la carga crítica de preconsolidación, con la profundidad.

d) Trabajos de Gabinete

Con base en la información obtenida de los trabajos de campo y laboratorio, se elaboran perfiles estratigráficos ortogonales, que muestren claramente el espesor y sucesión de estratos, así como los niveles freáticos detectados.

Así mismo se hace el diagnóstico del comportamiento probable de los suelos bajo las condiciones de trabajo a que serán sometidos por las estructuras de proyecto, para lo cual se definirán los siguientes aspectos:

- Tipo de cimentación
- Profundidad de desplante
- Capacidad de carga admisible
- Análisis de deformaciones
- Esfuerzos de contacto estático y sísmico para el sistema de cimentación propuesto (para cimentaciones superficiales)
- Capacidad de carga lateral para cimentaciones profundas



Figura 3. Toma de muestra de suelo para análisis de propiedades en laboratorio



Figura 4. Equipo de penetración estándar en operación en pozo 33 A



a) Secado de una muestra



b) Determinación de límite líquido

Figura 5. Análisis de laboratorio de mecánica de suelos

Levantamientos topográficos

Previamente, se llevaron a cabo levantamientos topográficos para las líneas de conducción e interconexión de pozos y plantas potabilizadoras en los casos mixtos, donde una planta potabilizadora tratará los caudales de dos o tres pozos, o cuando la planta no está a pie de pozo.

Se realizaron cuatro levantamientos topográficos de altimetría de tres sistemas (ver Tabla 3), desde los predios de cada uno de los pozos hasta el sitio donde se ubicarán las plantas potabilizadoras.

Tabla 3. Ubicación de pozos de interconexión y sitios de plantas potabilizadoras

Pozos	Municipio y Estado	Ubicación pozos		Ubicación planta potabilizadora
		Coordenadas		Coordenadas Dirección
# 1 Centro	Gómez Palacio	N25°33'24.3"	W103°30'12.0"	N25°33'52.6" W103°30'11.6" Parque Morelos, zona norte, en la esquina de Rayón y Zaragoza
# 7 Centro	Gómez Palacio	N25°33'54.50"	W103°30'17.7"	
# 32	Gómez Palacio	N25°34'9.50"	W103°30'31.2"	N25°34'10.20" W103°30'30.43" Camino sobre el cerro La Pila a un costado del Pozo 32
# 34	Gómez Palacio	N25°34'09.0"	W103°30'46.7"	
# 4a	Gómez Palacio	N25°34'12.1"	W103°30'36.6"	
# 22 San Felipe	San Felipe	N25°41'26.7"	W103°23'43.5"	N25°42'25.3" W103°23'41.3"
# 24 San Felipe	San Felipe	N25°41'17.7"	W103°23'23.0"	Tanque del Pozo San Felipe
# 5	Gómez Palacio	N25°33'28.90"	W103°30'4.30"	N25°33'27.22" W103°30'8.63" Cerro de la Cruz

Metodología:

Realizar el trazo geométrico de las líneas de interconexión del pozo hasta el predio de la planta potabilizadora y de la planta potabilizadora hasta su conducción a red. Ya se cuenta con los levantamientos topográficos de los sitios de las plantas potabilizadoras (3).

El trazo del eje de la conducción, se realiza mediante una poligonal abierta y un cadenamiento con estaciones a cada 20m y secciones transversales extendidas a cada 25m del eje de trazo.

Realizar dibujo en planta del eje de trazo de la tubería con curvas de nivel a cada 25 cm, y mediante una nivelación de las estaciones del eje del trazo se trazará el terreno referido a elevaciones snm.

Se entregan planos en formato Autocad con croquis de localización, vistas de plantas y perfil, con ubicación del norte magnético, coordenadas referenciadas a un banco oficial y longitud de las líneas.

Análisis hidráulicos de líneas de interconexión de pozos y plantas potabilizadoras

Con base en los arreglos de interconexión, características de tuberías, levantamientos topográficos, caudales de explotación de los pozos y la capacidad de sus equipos de bombeo, se realizaron los análisis hidráulicos de funcionamiento

combinado por la interconexión entre pozos y las plantas potabilizadoras, para revisar y calcular requerimientos de los equipos de bombeo de los pozos cuando se implementen las plantas de filtración, y revisar capacidades y resistencias de tuberías, y definir arreglos preliminares por la interconexión de dos o tres pozos en las plantas.

Proyectos ejecutivos

Una vez realizados los estudios previos (levantamientos topográficos, mecánica de suelos, ingeniería básica), se procedió a la elaboración de los proyectos ejecutivos incluyendo los diseños en orden de procedencia:

1. funcional
2. arquitectónico
3. hidráulico
4. estructural
5. línea de lodos
6. electromecánico
7. automatización

Se elaboraron y entregaron impresos y en archivos electrónicos, las memorias de cálculo, catálogo de conceptos, especificaciones y presupuesto base en hojas de Excel, y planos constructivos a detalle de cada especialidad.

Catálogos, especificaciones y Presupuestos base

Los presupuestos fueron elaborados con base en los precios unitarios tomados del *Catálogo General de Precios Unitarios para la Construcción de Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado*, publicado por la CONAGUA, en su versión 2015. En algunos conceptos especiales, para los cuales no había referencia en el catálogo de la CONAGUA, el IMTA lo desarrollo y agregó apoyándose en estudio de mercado.

ELABORACIÓN DE LOS TÉRMINOS DE REFERENCIA TÉCNICOS PARA LOS PROCESOS DE LICITACIÓN PARA ELABORACIÓN, POR PARTE DE UN TERCERO, DE CINCO PROYECTOS EJECUTIVOS DE PLANTA POTABILIZADORA PARA REMOCIÓN DE ARSÉNICO Y OTROS CONTAMINANTES

Como parte de la *Asistencia Técnica en los procesos de Licitación y Elaboración por parte de un tercero, de seis Proyectos Ejecutivos de Planta Potabilizadora para Remoción de Arsénico y otros contaminantes*, el IMTA desarrolló los términos de referencia técnicos para complementar las bases de licitación de los proyectos a detalle de cinco plantas potabilizadoras de tipo nanofiltración, filtración directa combinada con nanofiltración y filtración a gravedad, para pozos con problemas de arsénico, dureza, fluoruros y sulfatos, seleccionadas previamente y de manera conjunta con la CONAGUA. El sexto pozo que está quedando fuera de estos términos, es el No. 24A, ubicado en un predio en forma de triángulo que forman las calles de Amado Nervo y Bravo, con nulo espacio para la instalación de la planta potabilizadora, por lo que se está en la búsqueda de un terreno disponible o de cambiar el pozo en cuestión.

Los datos generales de los pozos se presentan a continuación.

Tabla 4. Datos generales de los pozos para licitación de proyectos ejecutivos de 5 plantas potabilizadoras para remoción de arsénico y otros contaminantes

Pozos	Calidad de agua (mg/L)			Caudal
	As	Fluoruros	Dureza total como CaCO ₃	(L/s)
Macitas	0.32	3.04	58	48.4
La Barranca	0.0575	3.09	372	5.3
12 Poanas	0.046	2.09	780	6.0
# 20 y 23 Transportes	0.054	1.45	380	192.7
# 13a Canal Sacramento	0.038	0.868	340	50.7

Por cuestiones de logística y tipo de plantas, se elaboraron los términos de referencia agrupando las plantas por tipo de tecnología:

- Plantas de filtración directa más nanofiltración: pozos Macitas y la Barranca
- Planta de nanofiltración: pozo 12 Poanas
- Planta de filtración directa a presión: pozo 13A Canal Sacramento
- Planta de filtración convencional a gravedad: pozos Transportes 20 y 23

Los *Términos de Referencia* se basaron en las ingenierías básicas desarrolladas por el IMTA en el año 2014, incluyen: datos básicos del pozo, calidad del agua, resultado de pruebas de eficiencia energética, levantamiento topográfico, parámetros de diseño y pre dimensionamiento de la planta potabilizadora y plano de arreglo general.

El contenido de todos los documentos (términos de referencia) es el mismo, sólo cambia en los aspectos particulares de cada pozo y por consiguiente de cada planta.

Adicionalmente, se elaboraron los *Términos de Referencia Técnicos para licitación de construcción y puesta en marcha de 8 plantas potabilizadoras para remoción de arsénico*.

De igual manera, como parte de la actividad del Convenio de Colaboración original *Asistencia Técnica en los procesos de Licitación, Construcción y Puesta en Marcha de ocho Plantas Potabilizadoras para Remoción de Arsénico del tipo Filtración Directa*, el IMTA desarrolló los términos de referencia para licitación de plantas potabilizadoras de remoción de arsénico con tecnología de filtración directa.

Por cuestiones de disponibilidad presupuestaria de la CONAGUA se desarrollaron los *Términos de Referencia* para 4 plantas de las 8 plantas inicialmente consideradas; el IMTA había elaborado los diseños ejecutivos de estas 4 plantas durante el año del 2015, basados en la tecnología de filtración directa para remoción de arsénico, que es el único contaminante fuera de norma (NOM-127-SSA1-1994, modificada en el año 2000) detectado en el agua de los pozos respectivos. El IMTA también elaboró los catálogos de conceptos, presupuestos base y especificaciones para la licitación de estas obras. Finalmente, la CONAGUA sólo licitó la construcción y puesta en marcha de una sola planta, la del Cerro de la Pila, para los pozos 4A, 32 y 34.

Tabla 5. Datos generales de los pozos para licitación de construcción y puesta en marcha de 4 plantas de filtración directa para remoción de arsénico

Pozos	Contenido de arsénico	Caudal
	(mg/L)	(L/s)
# 1 y 7 Centro, planta en Parque Morelos	0.0283	83.5
# 4A, 32 y 34, planta en Cerro de la Pila	0.0423	113.0
# 5, planta en Cerro de la Cruz	0.0310	111.6
# 16, El Cariño, El Quemado, planta en Tanque el Lucero	0.050	80.0

El contenido de todos los documentos (términos de referencia) es el mismo, sólo cambia en los aspectos particulares de cada pozo y por consiguiente de cada planta, por lo que en el Apéndice 2 de este informe se presentan términos de referencia globales.

Los *Términos de Referencia* se entregaron como producto en el cuarto informe parcial del mes de julio de 2015.

ASISTENCIA TÉCNICA EN LOS PROCESOS DE LICITACIÓN, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE UNA PLANTA POTABILIZADORA PARA REMOCIÓN DE ARSÉNICO

Licitación

A finales del mes de octubre de 2015, inicia el OCCCN de la CONAGUA dos procesos de licitación, uno para construcción y puesta en marcha de la planta para remoción de arsénico de filtración para los pozos 4A-32-34 de la ciudad de Gómez Palacio, y el otro para supervisión de la obra.

El IMTA participa dando asistencia técnica a la CONAGUA en las etapas de visita al sitio de la obra y durante la junta de aclaraciones, llevadas a cabo los días 29 y 30 de octubre respectivamente.

A la visita al sitio de la obra asistieron seis representantes de empresas licitantes para la *construcción*, y tres representantes de licitantes para *supervisión*, así como personal técnico del SIDEAPA y de la CONAGUA; el recorrido se hizo por los pozos números 4A, 32 y 34, localizados en el Cerro de la Pila; en el trayecto se dio explicación general de los pozos y de la planta potabilizadora que se construirá en el sitio del tanque Cerro de la Pila, junto al pozo 32.

A la junta de aclaraciones para construcción y puesta en marcha de la planta asistieron cinco representantes de las empresas licitantes; para la junta de la licitación para supervisión asistieron dos representantes; en ambas juntas participó personal técnico del IMTA, SIDEAPA y funcionarios de la CONAGUA.

En la junta de aclaraciones para construcción y puesta en marcha se presentaron de manera presencial preguntas varias por parte de dos licitantes referentes a aspectos técnicos y principalmente del catálogo de conceptos; a través de *Compranet* no hubo preguntas. Una vez reídas todas las preguntas, fueron respondidas de manera amplia y satisfactoria por parte del IMTA y CONAGUA, después de un periodo de 2 horas.

Adicionalmente, la CONAGUA presentó 6 aclaraciones relativas a la manera de enviar las propuestas por *Compranet*, el tipo de archivos, modo de integración y compactación, inclusión de firma electrónica avanzada, nombre del funcionario a quién deben ir dirigidos los documentos, recomendaciones para que las propuestas estén bien soportadas, correcciones sobre tipo de "Unidad" de varios conceptos, y la inclusión de un concepto faltante.



a) Visita al sitio de la obra

b) Junta de aclaraciones

Figura 6. Asistencia del IMTA en proceso de licitación de la construcción

En la junta de aclaraciones para *Supervisión* de la construcción y puesta no hubo preguntas por parte de los licitantes, ni de manera presencial ni a través de *Compranet*. Por parte de la convocante (CONAGUA) hubo cuatro aclaraciones referentes a la manera de enviar las propuestas por *Compranet*, el tipo de archivos, modo de integración y compactación, inclusión de firma electrónica avanzada, nombre del funcionario a quién deben ir dirigidos los documentos y recomendaciones para que las propuestas estén bien soportadas.

Posteriormente, en el mes de noviembre, el IMTA participa en la etapa de evaluación de propuestas para el dictamen y posterior fallo de la CONAGUA de ambas licitaciones.

El Acto de Presentación y apertura de Propuestas Técnico- Económica de la licitación de *Construcción de obra*, se llevó a cabo el 6 de noviembre de 2015 a las 9:00 am. Se presentaron manera presencial tres propuestas; por *Compranet*, ninguna, mientras que para la *Supervisión* para la construcción de obra, el acto de apertura se llevó a cabo el 9 de noviembre de 2015 a las 9:00 am. No hubo asistencia de Licitantes presenciales; se presentaron 8 proposiciones por *Compranet*.

Para la evaluación de las propuestas, se aplicó el sistema binario para determinar la solvencia a partir de verificar el cumplimiento de las condiciones legales, técnicas y económicas, de acuerdo a lo requerido por la CONAGUA de acuerdo a las bases de la licitación y en lo señalado en los artículos 38 de la Ley de Obras Públicas y

Servicios Relacionados con las Mismas, y 63 fracción I, inciso b), 64, 65, 66, 67 fracción I, 68 y 69 de su reglamento.

Se revisaron y evaluaron por cada empresa 12 documentos AD (anexos adicionales), 11 AT (anexos técnicos) y 12 AE (anexos económicos); con éstos se determinaron la capacidad técnica, la estructura de la propuesta económica, la solvencia económica y la suficiencia presupuestal.

En cuanto a la *Capacidad técnica*, se evaluó la planeación, el procedimiento constructivo, la capacidad técnica y experiencia del personal y la experiencia de la empresa en obras de naturaleza y magnitud similares.

Respecto a la *Estructura de la propuesta económica*, la evaluación se enfocó principalmente a la determinación de los precios unitarios de materiales, mano de obra, maquinaria y equipos; de la *Solvencia económica*, se evaluó la capacidad financiera para financiamiento para los dos primeros meses.

De la Suficiencia presupuestal, se consideró el monto de las propuestas con relación al presupuesto base.

Los registros se hicieron en un formato en hoja de Excel tipo matriz elaborado por el Ing, Javier Gutiérrez de la CONAGUA.

Respecto a la *Construcción y puesta en marcha de la planta*, con base en los resultados de la revisión y evaluación anterior, la CONAGUA desechó la propuesta del licitante *Ing. Armando Ivanhoe Moreno López, en asociación con Bufete de Desarrollo del Sur, S. A. de C. V.*, y dictamina que dicha propuesta no cumple con los requisitos de la convocatoria, ya que presentan en oferta en su anexo económico AE12 un importe total que rebasa considerablemente el presupuesto base elaborado de manera previa por parte de la Comisión Nacional del Agua, debido a que no es factible pagarla (25.9%).

De las dos empresas que quedaron como solventes, el OCCCN de la CONAGUA adjudicó el contrato a la empresa *Osto, Diseño Ingeniería, S. A. de C. V.*, con un monto sin IVA de \$15,914,172.62, porque la que ofertó el precio más bajo, cumpliendo con los requisitos establecidos en la convocatoria a la licitación pública LO-016BOO018-N33-2015 y de los artículos 63, 64, 65 y 67 del Reglamento de la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados, declarándose solvente legal, técnica y económicamente, que resulta ser la que asegura las mejores condiciones en cuanto a precio, calidad, financiamiento, oportunidad y demás circunstancias pertinentes para la CONAGUA.

En la Figura 7 se presenta el formato del *Resumen de evaluación binaria* de la licitación para construcción y puesta en marcha de la planta Cerro de la Pila,

mientras que en la Figura 8 se muestra el formato de evaluación de la *Estructura de la propuesta económica AE12* que fue donde se decidió el resultado final.

LICITACIÓN PÚBLICA NACIONAL No. LO-016B000018-N33-2015

EVALUACIÓN CUALITATIVA

Noviembre de 2015

CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE LA PLANTA
POTABILIZADORA PARA REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN EL CERRO DE LA
PILA DE LA CIUDAD DE GÓMEZ PALACIO, DURANGO.

RESUMEN DE EVALUACIÓN BINARIA

LICITANTE <small>(en orden de su propuesta, de menor a mayor monto)</small>	DOCUMENTOS ADICIONALES (H.1)	ANEXOS TÉCNICOS (H.2)	ANEXOS ECONÓMICOS (H.3)	SOLVENCIA ECONÓMICA	SUFICIENCIA PRESUPUESTAL	RESULTADO FINAL DE LA EVALUACIÓN BINARIA: CUMPLE
OSTO DISEÑO INGENIERÍA, S.A. DE C.V.	SI	SI	SI	SI	SI	SI
SERVICIOS DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN S.A. DE C.V.	SI	SI	SI	SI	SI	SI
ARMANDO IVANHOE MORENO LÓPEZ Y BUFETE DE DESARROLLO DEL SUR, S.A. DE C.V.	SI	SI	SI	SI	NO	NO
0						
0						
0						
0						
0						
0						
0						

ÁREA TÉCNICA DE LA DEPENDENCIA
CONAGUA



ING. FCO. JAVIER GUTIÉRREZ SANTANA
JEFE DE PROYECTO DE AGUA POTABLE, ALC. Y S.

ASISTENCIA TÉCNICA
IMTA



ING. ANTONIO JAVIER GARCÍA LÓPEZ
ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA

Figura 7. Resumen de evaluación binaria de la licitación de construcción y puesta en marcha de la planta Cerro de la Pila

LICITANTE <small>(en orden de su propuesta, de menor a mayor monto)</small>	PRECIOS UNITARIOS (AES)					CUMPLE	PROGRAMAS (ATD y AE10) CONGRUENTE	CUMPLE	SUFICIENCIA PRESUPUESTAL		
	MAD. Y EQ.	MATERIALES	M/O	C.D., C.I., C.F., C.U., C.A.	ESTRUCTURA CONGRUENTE				LÍMITES MÁXIMOS Y MÍNIMOS PROPUESTOS =		
									10.0%	30.0%	% RESPECTO A PRESUP. BASE
OSTO DISEÑO INGENIERÍA, S.A. DE C.V.	✓	✓	✓	✓	✓	SI		SI	\$15,914,172.62	-3.3%	SI
SERVICIOS DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN S.A. DE C.V.	✓	✓	✓	✓	✓	SI		SI	\$16,997,361.20	3.3%	SI
ARMANDO IVANHOE MORENO LÓPEZ Y BUFETE DE DESARROLLO DEL SUR, S.A. DE C.V.	✓	✓	✓	✓	✓	SI		SI	\$20,715,203.59	25.9%	NO
0											
0											
0											
0											
0											
0											
0											
0											
0											
0											
0											
									\$16,450,140.69		PRESUPUESTO BASE

ÁREA TÉCNICA DE LA DEPENDENCIA
CONAGUA

ING. FCO. JAVIER GUTIÉRREZ SANTANA
JEFE DE PROYECTO DE AGUA POTABLE, ALC. Y S.

ASISTENCIA TÉCNICA
IMTA

ING. ANTONIO JAVIER GARCÍA LÓPEZ
ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA

Figura 8. Formato de Estructura de la propuesta económica AE12

Respecto a la licitación de *Supervisión*, en el rubro Suficiencia presupuestal, los montos de cinco de las ocho proposiciones rebasan sustancialmente el importe del presupuesto elaborado por la CONAGUA; las tres restantes quedaron por debejo del presupuesto base, las cuales además cumplían con todos los requisitos de los anexos Adicionales, Técnicos y Económicos. Con base en los resultados de la revisión y evaluación anterior, de las tres empresas que quedaron como solventes, el OCCCN de la CONAGUA adjudicó el contrato a la empresa *Jurado y Socios, Ingeniería y Planeación, S. A. de C. V.*, porque la que ofertó el segundo precio más bajo (\$798,883.73), cumpliendo con los requisitos establecidos en la convocatoria a la licitación pública LO-016BOO018-N33-2015 y de los artículos 63, 64, 65 y 67 del Reglamento de la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados, declarándose solvente legal, técnica y económicamente, que resulta ser la que asegura las mejores condiciones en cuanto a precio, calidad, financiamiento, oportunidad y demás circunstancias pertinentes para la CONAGUA.

En la Figura 9 se presenta el formato del *Resumen de evaluación binaria* de la licitación para *Supervisión* de construcción y puesta en marcha de la planta Cerro de la Pila, mientras que en la se Figura 10 muestra el formato de evaluación de la *Estructura de la propuesta económica AE12*.

LICITACIÓN PÚBLICA NACIONAL No. LO-016B00018-N34-2015

EVALUACIÓN CUALITATIVA

Noviembre de 2015

SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD DE LOS TRABAJOS DE CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE LA PLANTA POTABILIZADORA PARA REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN EL CERRO DE LA PILA DE LA CIUDAD DE GÓMEZ PALACIO, DURANGO.

RESUMEN DE EVALUACIÓN BINARIA

LICITANTE (en orden de su propuesta, de menor a mayor monto)	DOCUMENTOS ADICIONALES (H.1)	ANEXOS TÉCNICOS (H.2)	ANEXOS ECONÓMICOS (H.3)	CAPACIDAD TÉCNICA (H.4)	SOLVENCIA ECONÓMICA (H.4)	ANÁLISIS DE PRECIOS (H.5)	SUFICIENCIA PRESUPUESTAL (H.5)	RESULTADO FINAL DE LA EVALUACIÓN BINARIA: CUMPLE
JURADO Y SOCIOS, INGENIERÍA Y PLANEACIÓN, S.A. DE C.V.	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
COUMA S.A. DE C.V.	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
GRUPO PRESTIGIO CONSULTORÍA Y CONSTRUCCIONES S.A. DE C.V.	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
ROCHER INGENIERÍA S.A. DE C.V.							NO	NO
CAL INGENIERÍA Y PROYECTOS S.A. DE C.V.							NO	NO
INGENIERÍA ICONO EN CONSULTORÍA Y CONSTRUCCIÓN S.A. DE C.V.							NO	NO
MEXICANA DE SERVICIOS DE INGENIERÍA MEXSI S.A. DE C.V.							NO	NO
CALIDAD Y TÉCNICA INDUSTRIAL DE MEXICO S.A. DE C.V.							NO	NO
	0							
	0							

NOTAS:
1.-De la cuarta a la octava propuesta, se rebasa sustancialmente el importe del presupuesto elaborado de manera previa por la Comisión Nacional del Agua.
2.-De la cuarta a la octava propuesta, existe una diferencia mayor al 40% en relación a la propuesta solvente más baja.

ÁREA TÉCNICA DE LA DEPENDENCIA
CONAGUA



ING. FCO. JAVIER GUTIÉRREZ SANTANA
JEFE DE PROYECTO DE AGUA POTABLE, ALC. Y S.

ASISTENCIA TÉCNICA
IMTA



ING. ANTONIO JAVIER GARCÍA LÓPEZ
ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA

Figura 9. Resumen de evaluación binaria de la licitación de *Supervisión* de construcción y puesta en marcha de la planta Cerro de la Pila

LICITACIÓN PÚBLICA NACIONAL No. LO-016B00018-N34-2015

CONAGUA
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

EVALUACIÓN CUALITATIVA

Noviembre de 2015

ESTRUCTURA DE LA PROPUESTA ECONÓMICA

SUFICIENCIA PRESUPUESTAL

LÍMITES MÁXIMOS Y MÍNIMOS PROPUESTOS = 10.0% -30.0%

LICITANTE (en orden de su propuesta, de menor a mayor monto)	PROGRAMA (AE10)	PRECIOS UNITARIOS (AE9)						CUMPLE	IMPORTE TOTAL DE LA PROPUESTA	% RESPECTO A PRESUP. BASE	CUMPLE
		MAQ. Y EQ.	MATERIALES	M/O	C.D., C.I., C.F., C.U., C.A.	ESTRUCTURA CONGRUENTE	CUMPLE				
JURADO Y SOCIOS, INGENIERÍA Y PLANEACIÓN, S.A. DE C.V.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	SI	\$798,883.73	-4.2%	SI
COUMA S.A. DE C.V.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	SI	\$799,252.28	-4.2%	SI
GRUPO PRESTIGIO CONSULTORÍA Y CONSTRUCCIONES S.A. DE C.V.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	SI	\$809,339.14	-2.9%	SI
ROCHER INGENIERÍA S.A. DE C.V.									\$1,135,655.48	36.2%	NO
CAL INGENIERÍA Y PROYECTOS S.A. DE C.V.									\$1,542,680.28	85.0%	NO
INGENIERÍA ICONO EN CONSULTORÍA Y CONSTRUCCIÓN S.A. DE C.V.									\$1,693,305.11	103.1%	NO
MEXICANA DE SERVICIOS DE INGENIERÍA MEXSI S.A. DE C.V.									\$1,885,215.31	126.1%	NO
CALIDAD Y TÉCNICA INDUSTRIAL DE MEXICO S.A. DE C.V.									\$1,973,591.11	136.7%	NO
0										-100.0%	
0										-100.0%	
									\$833,900.39	PRESUPUESTO BASE	

NOTAS:

- 1.-De la cuarta a la octava propuesta, se rebasa sustancialmente el importe del presupuesto elaborado de manera previa por la Comisión Nacional del Agua.
- 2.-De la cuarta a la octava propuesta, existe una diferencia mayor al 40% en relación a la propuesta solvente más baja.

ÁREA TÉCNICA DE LA DEPENDENCIA
CONAGUA

ING. FCO. JAVIER GUTIÉRREZ SANTANA
JEFE DE PROYECTO DE AGUA POTABLE, ALC. Y S.

ASISTENCIA TÉCNICA
IMTA

ING. ANTONIO JAVIER GARCÍA LÓPEZ
ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA

Figura 10. Formato de Estructura de la propuesta económica AE12 de la licitación de Supervisión

Los detalles de ambos procesos se presentaron en los informes parciales 7, del mes de octubre, y 8 del mes de noviembre de 2015.

Construcción

La obra de construcción de la planta potabilizadora para remoción de arsénico del Cerro de la Pila se inició en diciembre del 2015; a la par también se iniciaron las pruebas de inspección y rehabilitación del pozo #32, meses más tarde siguieron las del pozo #34.

Las visitas a la obra en el Cerro de la Pila para verificación de cumplimiento de proyecto funcional se hicieron por lo menos una mes por mes, en compañía de la Supervisión de la CONAGUA (Ing. Fco. Javier Gutiérrez), de la Supervisión externa de la empresa Jurado y Socios, Ingeniería y Planeación, S. A. de C. V., del superintendente o residente de obra de la compañía constructora OSTO Diseño Ingeniería S. A. de C. V., y de algún Ingeniero operativo o directivo del SIDEAPA. También se realizaron visitas al taller de pailería donde se fabricaron los tanques de acero para los filtros.

Las verificaciones en obra se fundaron en los planos constructivos, especificaciones de diseño y memorias de cálculo de los diferentes rubros: diseño funcional, arquitectónico, estructural, hidráulico, mecánico, eléctrico y de control y automatización.

En cada visita de verificación, también se realizaron reuniones técnicas en las oficinas de la CONAGUA para tratar aclaraciones sobre las unidades de tratamiento (materiales, dimensiones, niveles de desplante, cantidades de obra, etc.), tipos y características de equipos y dispositivos, y derivado de estas revisiones fueron surgiendo detalles que requieran ser modificados, para lo cual se hicieron los análisis pertinentes y en su caso, se validaron dichas modificaciones al proyecto, asentado en minutas y en la bitácora de obra electrónica. De igual modo, a través de correo electrónico se atendieron solicitudes de aclaraciones y propuestas de modificación del proyecto por parte del Contratista o del Supervisor de la CONAGUA, pero directamente con este último.

Algunos de los temas que requirieron ser revisados, aclarados, analizados y en algunos casos modificados, fueron:

- Cambio de nivel de desplante del tanque de almacenamiento- cárcamo de bombeo de agua tratada y sedimentador.
- Utilización de tanques de acero fabricados de línea para sustitución de los filtros a presión de diseño.
- Diseño hidráulico del cárcamo de bombeo de agua tratada
- Características de las bombas dosificadoras de reactivos
- Variadores de velocidad de los equipos de bombeo de los pozos
- Control de nivel en tanques receptores de agua tratada
- Modificación del proyecto de subestación eléctrica (reubicación y cambio a tipo pedestal).
- Interconexiones de agua cruda de pozos y agua tratada a tanques de recepción e interconexiones aledañas al pozo 4 A para distribución de agua tratada.
- Análisis de cavitación de la bomba de retrolavado

-
- Cambio de la bomba del pozo #34 para dar mayor presión y el gasto de diseño
 - Cambio de tipo y características del PLC, con base en conteo de punto y funcionamiento
 - Cambio de ubicación de escalera de cárcamo de bombeo y puerta de acceso a la planta.
 - Cambio de ubicación de la descarga de agua tratada en tanque de almacenamiento.
 - Inclusión de un laboratorio, baño y caseta de vigilancia y modificación de entrada a caseta de dosificación. Aunado a esto, se incluye drenaje sanitario y biodigestor de patente para las aguas residuales.

Álbum fotográfico de avance de las obras



Figura 11. Demolición de tanque viejo y excavación para tanque nuevo de almacenamiento



Figura 12. Cimbra y armado de acero en tanque de almacenamiento y sedimentador



Figura 13. Fabricación de tanques de acero para filtros en taller de pailería



Figura 14. Interconexión de llegada a planta y tanque de agua tratada; línea de conducción a zonas de influencia de pozos 4A y 34



Figura 15. Obra civil en caseta de vigilancia, laboratorio y cárcamo de lodos



Figura 16. Proceso de conexión de filtros a líneas de tuberías y verificación de control de válvulas



Figura 17. Empaquetado de material filtrante; toberas en el fondo



Figura 18. Cárcamo de bombeo de agua filtrada y bombas de suministro a tanques y retrolavado



Figura 19. Caseta de dosificación y mezcladores estáticos para agua cruda y de retrolavado



Figura 20. Panorámicas de los filtros, mega-tanque y casetas

Evaluación del funcionamiento de la planta potabilizadora Cerro de la Pila

En el mes de julio de 2016, y una vez concluidas las obras de construcción e instalación, así como las pruebas eléctricas, hidráulicas y de funcionamiento individual de equipos, se llevó a cabo la campaña de evaluación de funcionamiento de la planta potabilizadora Cerro de la Pila, diseñada para un caudal de 97 L/s, y que tratará el agua de tres pozos: 4A, 32 y 34; la planta es del tipo filtración directa y tiene como función la remoción de arsénico.

Los procesos de tratamiento que integran la planta son, en la línea de agua: oxidación con hipoclorito de sodio; coagulación-precipitación con cloruro férrico, floculación incidental en línea y filtración rápida; en la línea de tratamiento de lodos: espesamiento en lotes, con ayuda de polímero catiónico y desecado con filtro prensa. Los elementos con que consta la planta son: medidores de flujo de entrada (agua cruda) y salida (agua filtrada), mezclador estático, 8 filtros en tanques de acero que operan a presión, tanque de almacenamiento de agua tratada y cárcamo de bombeo, sedimentador, cárcamo de lodos, filtro prensa caseta de dosificación de reactivos, CCM y control por automatización; como instalaciones auxiliares cuenta con laboratorio, baño y caseta de vigilancia.

En general, la evaluación del funcionamiento de una planta potabilizadora consistió en tres etapas: diagnóstico de la operación inicial, ajuste de la operación y estabilización de la operación. La campaña de evaluación se realizó del 25 al 30 de julio del 2016.

Para tal propósito se recolectaron muestras varias veces al día de agua cruda, agua cruda más reactivos y agua filtrada (en cada filtro y en la mezcla total) para análisis de calidad mediante equipos portátiles. Los parámetros analizados fueron: arsénico, hierro, cloro residual libre, turbiedad, pH, sólidos disueltos totales y temperatura. Con la comparación entre valores de entrada y salida se determinó la eficiencia de remoción del arsénico y el cumplimiento del límite máximo permisible (25 µg/L) de la NOM-127-SSA1-1994, modificada en el año 2000. La dosificación de cloruro férrico e hipoclorito de sodio se ajustó para lograr que el contenido de arsénico en el agua tratada fuera menor a 10 microgramos/litro, que es el valor guía de la Organización Mundial de la Salud, y que el hierro estuviera en el valor más bajo, casi cero, como está en el agua cruda; el cloro residual debería estar entre 0.2 y 1.5 mg/L, y se optó por 1.0 mg/L.

Adicionalmente a las mediciones de calidad de agua, se monitorearon las presiones de entrada en cada pozo, a la planta y en cada filtro, así como el caudal de entrada a la planta. Es importante conocer el valor de los caudales para ajustar la dosificación de los reactivos (hipoclorito de sodio y cloruro férrico), además de

conocer la producción de agua filtrada y las pérdidas por el retrolavado y tratamiento de lodos. El monitoreo de las presiones indica cómo se van colmatando los filtros y el momento en que se debe retrolavar alguno de los filtros.

Durante la evaluación de la planta, se contó con la presencia de personal técnico del SIDEAPA que será el responsable de la operación (Ing. Ma. de Jesús Nájera Moreno), y quien también estuvo realizando análisis con las mismas técnicas y con las mismas muestras que los que utilizó el IMTA.

La planta no operó de manera continua durante las 24 horas del día; durante la puesta en marcha (y campaña de evaluación) en general el periodo de operación fue de 8 am a 7 pm. Las razones fueron dos: 1) debido a la temporada de estiaje y calor, la demanda de agua de la población es la más alta del año y el SIDEAPA no quería afectar a los usuarios, y la menor afectación a la distribución de agua era funcionar el periodo de evaluación con el pozo 32 e incorporar por periodos cortos (3 horas) los caudales de los pozos #4A y #32; 2) los paros también servían para hacer ciertas reparaciones de equipos y dispositivos en la planta.

En la Tabla 6 se presentan los resultados de análisis realizados al finalizar la campaña de evaluación, cuando la planta estaba operando en sus mejores condiciones.

Tabla 6. Resultados de análisis en campo, julio 28 segundo muestreo

Hora	Muestra	As (µg/L)	Cl ₂ (mg/L)	Fe (mg/L)	Turbiedad (UTN)	PH	T (C)	SDT (mg/L)	Remoción As (%)
09:40	Entra a planta agua de pozo 34, pozo 32 y pozo 4 (Q=95 L/s)								
11:04	Se activa dosificación de acuerdo a tabla 12								
12:00	AF	1	0,12	0,07	0,21	7,4	-	-	95,0*
12:00	AF (duplicado)	3	-	-	-	-	-	-	
12:00	AC+R	40	2,2	1,39	2,9	7,26	-	-	

*El porcentaje de remoción se calcula con el promedio de las dos lecturas de As en agua filtrada (AF)

Las condiciones de dosificación de la planta al momento de tomar las muestras de la tabla anterior, fueron las siguientes:

Tabla 7. Condiciones de trabajo de bombas dosificadoras, sexto ajuste

Bomba	q (mL/min)	Stroke (%)	Speed (%)	Caudal total (L/s)	As (mg/L)
NaClO	244,9	90	160	95	40
FeCl ₃	77,9	85	85		

* El caudal de cada bomba (Q) se midió en línea de descarga, utilizando el método de aforo denominado volumen-tiempo.

Con las condiciones de dosificación presentadas en la Tabla 7 se alcanza remoción de arsénico del 95,0%, lo que permite tener en el agua filtrada concentraciones de arsénico por debajo del límite máximo permisibles de la NOM-127-SSA1-1994 (25 µg/L) y el valor guía de la Organización Mundial de la Salud, OMS, (10 µg/L).

En la Tabla 8 se presentan las mediciones de presión y caudal a la entrada de la planta y en los pozos 4A, 32 y 34 durante los días 27 y 28 de julio cuando la planta estaba operando con “normalidad”, de manera casi continua.

Tabla 8. Mediciones de presión y caudal en influente a planta y pozos

Punto	Día	Hora	Presión	Caudal	Observaciones
			kg/cm ²	L/s	
Planta	27/07/2016	10:40	1,1	47,0	
		14:50	1,1	40,5	Operando pozo 32
		16:25	1,6	76,5	Operando pozo 32 y 4A
		16:50	1,8	95,3	Operando pozos 32, 4A y 34
Pozo 32		16:05	2,0	45,0	
Pozo 32	28/07/2016	9:37	1,3	47,9	
Planta		9:45	1,8	98,0	Operando pozos 4A, 32 y 34
		10:30	1,8	99,0	Operando pozos 4A, 32 y 34
		11:01	1,8	91,0	Operando pozos 4A, 32 y 34
		12:12	1,8	97,4	Operando pozos 4A, 32 y 34
		13:28	0,9		Operando pozo 32
Pozo 34		11:56	5,4	27,0	
Pozo 4A	12:03	5,4	29,9		
Pozo 32	13:28	1,1	47,5		

Se observa en la tabla anterior que la presión a la entrada de la planta se incrementa con el número de pozos incorporados, de 1.1 kg/cm² (cuando sólo se incorpora el pozo 32) a 1.8 kg/cm². La presión en la descarga del pozo 32 es de 1.3 kg/cm² antes de entrar a la planta, lo que indica una caída de presión de 0.2 kg/cm². La presión

de los pozos 4 A y 32 en la descarga es de 5.4 kg/cm², mientras que en la planta es de 1.8 kg/cm², lo que indica una caída de presión de 3.6 kg/cm², debido a la diferencia de altura y pérdidas durante la conducción.

El caudal varía de 47 L/s hasta 99 L/s; el valor de diseño es de 112 L/s; la diferencia se debe al abatimiento de los pozos por la época de estiaje, pero aun así, el caudal para potabilizar es del 88.4%.

Conclusiones de la evaluación de la planta y recomendaciones

1. Con las condiciones de dosificación aplicadas se alcanzó remoción de arsénico del 95,0%, lo que permite tener en el agua filtrada concentraciones de arsénico por debajo del límite máximo permisible establecido por la NOM-127-SSA1-1994, modificación al año 2000, de 25 µg/L y el valor guía establecido por la Organización Mundial de la Salud, OMS, (10 µg/L).
2. Durante las pruebas de evaluación, el cloro residual libre en el agua filtrada llegó a 0,12 mg/L, pero no es suficiente para alcanzar la concentración deseada de 1 mg/L por el SIDEAPA y cumplir con la NOM-127-SSA-1994, sin embargo, es fácil llegar a este valor aumentando la dosificación por el incremento de la velocidad o el stroke en la bomba respectiva. Es importante tomar en cuenta que la concentración del hipoclorito de sodio comercial es muy variable, ya que aunque los proveedores los venden al 13%, frecuentemente presenta menor concentración, llegando hasta 6% (también con el calor y al paso del tiempo de almacenamiento pierde concentración), lo que implica que las bombas se deberán ajustar a la concentración real diaria.
3. Para un mejor control del proceso, se debe monitorear la calidad del agua cruda y filtrada con los siguientes parámetros: arsénico en agua cruda una vez al día o cada tres o cinco días si es que no hay variación significativa; cloro libre residual en el agua cruda una vez al día o cada vez que haya cambio en la cloración del pozo 32; arsénico en el agua filtrada global una vez al día; una vez por quincena, medir arsénico en cada uno de los 8 filtros; cloro libre residual y hierro total en el agua filtrada global una vez al día o cada vez que haya ajuste en la dosificación de reactivos.
4. La presión a la entrada de filtros es directamente proporcional a la presión de entrada a la planta, que a su vez, depende del número de pozos incorporados; la caída de presión en filtros depende principalmente del colmatamiento de los medios filtrantes, y en menor medida a la presión de entrada al filtro. Con la operación intermitente de la planta, no se pudo observar la culminación de la carrera de filtración ni conocer cuál será la caída de presión máxima permisible.
5. La evaluación se realizó únicamente al sistema de filtración porque el sistema de tratamiento de lodos no entró en operación durante el periodo de evaluación debido a que la planta no operó a su capacidad total de diseño de manera continua, por lo

menos en un periodo de 48 horas, por decisión del SIDEAPA, ya que era prioridad abastecer de agua a la población en esta temporada de alto consumo por el clima caluroso. Una condición limitante fue que la distribución de agua filtrada mediante el mega-tanque aún o está puesta bien calibrada.

6. Se recomienda realizar una nueva evaluación integral operando a planta a su capacidad de diseño, tanto en el aspecto de tratamiento de agua como de lodos, tanto en la parte de calidad como la hidráulica.

Álbum fotográfico



Figura 21. Instrumental para análisis de calidad de agua en laboratorio de la planta

Agua cruda As = 42 µg/L

Agua filtrada As = 12 µg/L



Izq. Blanco; centro agua cruda; Der. Agua filtrada

Figura 22. Análisis de arsénico en agua cruda y filtrada con el Arsenator



Agua cruda (AC)



Agua cruda con reactivos (AC+R)



Efluente de filtro (F1, F2, ..., F8)



Agua mezcla de filtros (AF)

Figura 23. Puertos de muestreo en tren de tratamiento



Figura 24. Medidores de presión y caudal en agua cruda

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SSA, (2000), *Modificación a la NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental, Agua para uso y consumo humano, límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización*, DOF 22 de noviembre de 2000, Mex.

EPA, (2003), *Arsenic treatment technology evaluation handbook for small systems*, Office of water, EPA 816-R-03-014, US.

Calderón C., Arroyo P., Cruz F., Garrido S., Gélover S., (2010), *Evaluación técnico-Económica de cinco tecnologías para remoción de arsénico*, informe final proyecto IMTA, Mex.