

2. Estudio de Ingeniería del proyecto Acueducto el Zapotillo

2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Los Estados de Guanajuato y Jalisco, tienen insuficiencia de sus recursos hidráulicos, no sólo para el desarrollo futuro de ambas Entidades, sino para el abasto de los actuales requerimientos de agua.

Los acuíferos que suministran agua a las principales ciudades de los dos Estados, presentan sobreexplotación. Las aguas superficiales se encuentran totalmente comprometidas y su calidad, en el caso del Río Lerma, no permite emplearla como fuente para el abasto de agua potable a la población.

Por lo anterior, conjuntamente con la CONAGUA, los Gobiernos de los dos Estados han buscado alternativas de solución, que incluyen la importación de agua desde cuencas vecinas y por lo que en el año de 2005 y en el 2007 el Gobierno Federal y los Gobiernos de ambas Entidades firmaron un convenio, para desarrollar un proyecto para aprovechar las aguas del Río Verde, mediante la construcción de la presa El Zapotillo y el Acueducto del Zapotillo – Altos de Jalisco – León, que constituye una fuente factible para abastecer a localidades de los Estados.

Antes de lanzar la licitación la CONAGUA se ve obligada a realizar con el apoyo de ambos estados, los siguientes estudios de ingeniería.

Acueducto

- Estudio de factibilidad.
- Evaluación socioeconómica.
- Geotecnia de obra de toma, línea de conducción, planta potabilizadora y cruces.
- Estudios de resistividad y agresividad del suelo.
- Proyecto hidráulico del acueducto y plantas de bombeo.
- Proyecto de la planta potabilizadora
- Proyecto de la protección catódica para el acueducto.

Macrocircuito distribuidor del municipio de León:

- Topografía y geotecnia.
- Resistividad y agresividad del suelo.
- Ingeniería avanzada de líneas de conducción.
- Proyecto de interconexión para sitios de entrega.
- Distribuidor Tanque regulador:
- Topografía de detalle.

- Geología y Geotecnia.
- Anteproyecto en área de tanque.
- Protección perimetral de seguridad.
- Proyecto de entregas a cámaras y salidas a distribuidor.
- Proyecto desfogue de emergencia.
- Proyecto eléctrico alumbrado y vigilancia.

Como resultado de los Trabajos anteriores, se determinó la posibilidad de llevar con una línea de conducción un gasto de 5.6 m³/s, de la Cuenca del Río Verde, para abastecer localidades de Los Altos de Jalisco y León Guanajuato, Objeto de la licitación.

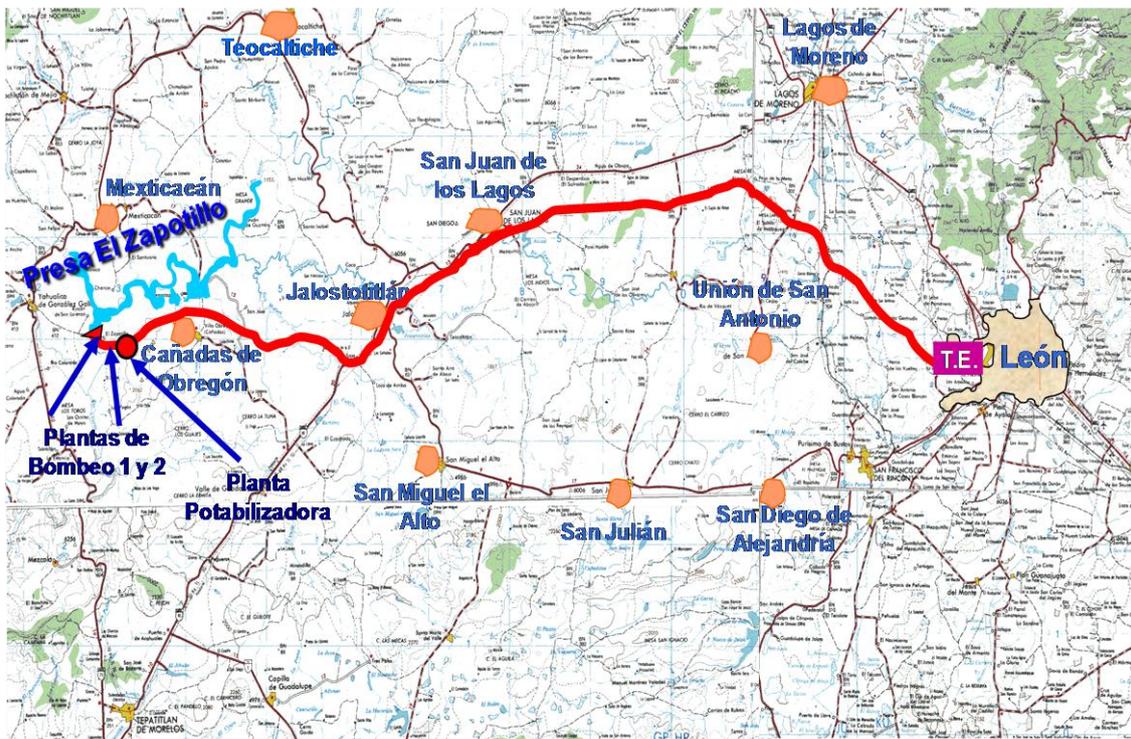


Figura 1. Trazo de la línea de conducción El Zapotillo-Los Altos de Jalisco-León Guanajuato

2.2 PROCESO DE LICITACIÓN

Para lograr la promoción y fomento de la participación de particulares en el financiamiento, construcción y operación de infraestructura hidráulica federal, así como en la prestación de los servicios respectivos, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), señala los términos y condiciones bajo los cuales otorgará una concesión para la elaboración del proyecto de ingeniería, construcción, equipamiento, operación, conservación y mantenimiento de la infraestructura hidráulica federal consistente en el Acueducto Zapotillo – Los Altos de Jalisco – León, Guanajuato; consistente en el suministro de agua potabilizada a la ciudad de León, Guanajuato, por 25 años, que será integrada por una línea de conducción, dos plantas de bombeo, una planta potabilizadora, un tanque regulador en Venaderos y un macrocircuito distribuidor con sitios de entrega en la ciudad de León, Guanajuato.

Mediante un Acuerdo de Coordinación, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, por conducto de la CONAGUA y el Gobierno del Estado, con la participación de la Comisión Estatal de Agua de Guanajuato (CEAG), y el Gobierno del Estado de Jalisco, acordaron llevar a cabo un programa especial para el uso y distribución de las aguas superficiales de propiedad nacional de la cuenca del Río Verde, con el objeto de lograr el abastecimiento de agua potable a la ciudad de León, Guanajuato, localidades de los Altos de Jalisco y la zona conurbada de la ciudad de Guadalajara; a partir de la construcción y operación de la infraestructura hidráulica en el sitio Zapotillo.

La CONAGUA publica la convocatoria a que hace referencia el punto anterior, en el Diario Oficial de la Federación, en el sistema CompraNET, en su página de Internet, así como en un periódico de circulación nacional, y en un periódico de circulación local del área geográfica del proyecto.

La Licitación tiene por objeto el otorgamiento de una concesión para:

- La elaboración del proyecto de ingeniería, construcción, equipamiento, operación, conservación y mantenimiento de la infraestructura consistente en el Acueducto el Zapotillo – los Altos de Jalisco – León, Guanajuato;
- Para prestar el servicio hidráulico federal respectivo, consistente en el suministro de agua en bloque potabilizada a la ciudad de León, Guanajuato, por 25 años.

El licitante ganador, a través del concesionario, en su carácter de prestador de servicios, tendrá el derecho y la obligación de suscribir el CPS con la CEAG y el SAPAL, con la comparecencia de la CONAGUA, que tendrá una vigencia de 25 (veinticinco) años contados a partir de la fecha de su entrada en vigor, en los términos del CPS.

De conformidad con el título de concesión, el concesionario estará obligado a:

- Elaborar el proyecto de ingeniería, construir, equipar, operar, conservar y mantener la infraestructura consistente en el Acueducto el Zapotillo – los Altos de Jalisco – León, Guanajuato.
- Prestar el servicio hidráulico federal respectivo y a obtener la totalidad de los recursos económicos necesarios para la realización del proyecto, a excepción del apoyo Fonadin.

En resumen la licitación tiene por objeto la adjudicación de un contrato de prestación de servicio (CPS). Para la conducción y potabilización de agua en bloque para 5.6 m³/s desde la presa El Zapotillo mediante el Acueducto que incluirá; la elaboración del proyecto de ingeniería, construcción, pruebas, arranque, operación, mantenimiento, así como su transferencia a la CONAGUA al término de su vigencia del CPS.

Para garantizar el suministro de agua potable durante los próximos 30 años a los Altos de Jalisco, el municipio de León, Guanajuato y regular la entrega de agua para la ciudad de Guadalajara, Jalisco, mediante el aprovechamiento de las aguas del Río Verde, contribuyendo a la sustentabilidad y recuperación de los acuíferos con los que actualmente se abastecen y que presentan abatimientos de hasta 3 m por año, Beneficiando a una población actual de 2'361,000 (dos millones trescientos sesenta y un mil) habitantes, correspondiendo 316,000 (trescientos dieciséis mil) habitantes de 14 (catorce) municipios de los Altos de Jalisco, 1'095,000 (un millón noventa y cinco mil) habitantes del Municipio de León, Guanajuato.

El licitante ganador tendrá derecho a suscribir el CPS, que tendrá una vigencia de 25 (veinticinco) años contados a partir de la fecha de entrada en vigor del CPS.

La empresa ganadora debe considerar que operará el acueducto de manera constante y continua, durante este periodo, utilizando el equipo de bombeo a su máxima capacidad, en horarios de tarifas de electricidad bajas y de acuerdo a la curva de demanda del SAPAL.

2.3 ESTUDIO DE INGENIERÍA

2.3.1 Descripción general del proyecto

La presa no es objeto del proyecto del acueducto, sin embargo, de ahí inicia el acueducto por ende a continuación se anotan sus características.

Presa.

- Altura de cortina; 105 m.
- Almacenamiento (NAME); 991 Mm³.
- Gasto firme; 5.6 m³/s (3.8 m³/s León, Guanajuato y 1.8 m³/s Altos de Jalisco).
- Derivación; 3.3 m³/s, Z.C.G.
- Área de embalse; 4,200 Hectáreas.

Acueducto.

- Diámetro de Línea de Conducción; 100 in.
- Longitud de Línea de Conducción aproximadamente 138 Km.
- Plantas de Bombeo; 560 mca.
- Planta Potabilizadora; 5.6 m³/s
- Derecho de Vía;
- Tanque de Regulación.
- Microcircuito Distribuidor; aproximadamente de 40 km y con diez sitios de entrega.

La operación anual del acueducto será ordenada conforme al programa de necesidades establecido por la CONAGUA, de acuerdo a la curva de demanda entregada por el SAPAL anualmente y ajustado de manera mensual.



2.3.2 Programación y Ruta Crítica

2.3.2.1 Diseño de las obras y construcción.

Para este proyecto, la empresa licitante, como en la mayoría de los proyectos de esta naturaleza, desarrolló una ingeniería avanzada, la cual será entregada con las bases de licitación, la empresa podrá o no utilizar la ingeniería dada para la elaboración de sus proposiciones, por lo que las modificaciones que se propongan se admitirán en los términos que se establecen en las bases de licitación. No obstante, se deberá considerar obligatoriamente que las obras y las condiciones de operación y mantenimiento deben cumplir con los mínimos marcados en la ingeniería de la empresa licitante, y con las Normas y Especificaciones Técnicas que se especifiquen.

La Ingeniería y las Especificaciones Técnicas se deberán tomar como base para la elaboración de las proposiciones y establecen las referencias técnicas a cumplir por la empresa en la elaboración de las mismas relativos a criterios de diseño, dimensiones, número de componentes y capacidades, rendimientos, prestaciones y calidad de servicio, calidad del agua potable, economía de operación y mantenimiento incluyendo consumos de energía eléctrica, durabilidad de obras e instalaciones, calidad de materiales y equipos, condiciones de seguridad e higiene durante la ejecución de las obras y en la operación y mantenimiento del sistema, afectación medioambiental durante la ejecución de las obras y en la operación y mantenimiento del acueducto y niveles de automatización y telecontrol.

Es importante mencionar que cualquier modificación hecha a la ingeniería proporcionada por la licitante debe de cumplir con los requisitos técnicos señalados por la misma.

En caso de proponer modificaciones a la ingeniería presentada por la contratante, la empresa deberá presentar esquemas de los cambios propuestos a la infraestructura, mismos que se deberán acompañar en todo momento de las memorias de cálculo detalladas y las justificaciones técnicas para las modificaciones y las razones por las cuales estas modificaciones aportarían una mejora en el proyecto en términos de inversión y operación. Cualquier modificación deberá estar integrada en el documento técnico complementario.

Por la magnitud de la obra y la importancia del Sistema de la línea de conducción para los Altos de Jalisco y el municipio de León Guanajuato, la empresa, debe disponer de todos los elementos necesarios como son: Personal directivo y mandos medios con experiencia. mano de obra calificada, equipo eficiente y suficiente, equipos por instalar y accesorios certificados y probados, procedimientos de trabajo para todas las actividades a desarrollar, seguimientos de las actividades y su inspección, control de calidad y mantener los parámetros de seguridad, higiene y protección ambiental, lo anterior para dar cumplimiento al programa de obra propuesto y aprobado, la integración de tramos de línea regular con todas las obras especiales del propio acueducto, así como con las instalaciones superficiales mayores que lo componen, como son; plantas de bombeo, tanque de cambio de régimen, planta potabilizadora, tanque regulador y macrocircuito distribuidor y diez sitios de entrega en el municipio de León, la Operación y Mantenimiento de manera segura, eficiente, cuidando de no dañar y respetar el entorno Social, de infraestructura Federal, Municipal y Particular, así como el ámbito Ecológico y Arqueológico en la zona de influencia donde se desarrollen todas las actividades inherentes al CPS.

2.3.2.2 Experiencia de empresa que efectuara el proyecto de ingeniería y la construcción.

En virtud que los trabajos de la construcción del acueducto involucran volúmenes de obra aproximados y conceptos de trabajo que podrían ser limitados en la información que se le otorga al licitante y que serán plenamente definidos y ampliados por la empresa, una vez se haga la visita de obra, las inspecciones necesarias posteriores por su cuenta y los análisis, estudios y cálculos correspondientes y se proponga en el proyecto de ingeniería, la empresa ejecutará los volúmenes de obra necesarios y conceptos de trabajo ya ampliados y completos, siendo esta última su responsabilidad y si por omisión no los hayan observado en su totalidad con su costo respectivo.

Los costos de cada una de las actividades, deben formularse con base al procedimiento de construcción del acueducto que proponga la empresa, considerando que los trabajos se realizarán a lo largo del derecho de vía y las áreas dispuestas para las instalaciones superficiales, en las condiciones del terreno observadas en la visita de obra y en puntos aislados uno de otro, en zonas rurales y el municipio de León y tomando en cuenta la información preliminar que fue entregada a la empresa, como: planos de ingeniería avanzada, lineamientos generales, especificaciones generales y particulares.

Se deberá analizar las actividades de trabajo de manera minuciosa, bien integradas es decir, los materiales, mano de obra y equipo se determinarán con base a la unidad propuesta por la empresa y aprobada, con rendimientos razonables apegados al procedimiento de ejecución.

Todas las actividades o subactividades consideradas por la empresa y ya aprobadas, serán las propuestas, considerando el volumen de trabajo calculado, ya que en caso de requerirse a la contratista trabajos adicionales no contemplados por la empresa, no se autorizarán, salvo casos extraordinarios motivados por causa fortuita o de fuerza mayor.

La empresa deberá considerar los tiempos requeridos para que el suministro de materiales sea oportuno, en el caso de que en el programa de trabajo propongan el suministro de estos en tiempos inferiores a los que normalmente indican los proveedores estaría arriesgando la entrega oportuna de los mismos dejando suelta la posibilidad de atrasar los trabajos y así el término total de los trabajos.

Debido a la longitud del acueducto, se deberá considerar la existencia de cruces con instalaciones u obras ajenas al proyecto por lo que la empresa deberá prever la necesidad de realizar los sondeos previos de verificación para su localización e identificación en los puntos de cruce o cercanía con la tubería, en coordinación con la entidad que tenga la propiedad o concesión, a partir de esta actividad se observará la situación constructiva, como: la necesidad de instalar ademes en excavaciones con paredes inestables, instalación de señalamientos, las dimensiones de la cepa por excavar, así como los trabajos requeridos para efectuar el cruce. Se deberán acatar los lineamientos adicionales que emitan los propietarios de las obras afectadas, tomando en consideración que esto es con la finalidad de mantener estable su estructura y que no sufra ningún daño en el proceso constructivo. En todos estos casos la empresa deberá hacer los trámites correspondientes del permiso de obra ante la Dependencia o Entidad correspondiente debiendo pagar la empresa los derechos correspondientes.

Para el acondicionamiento del derecho de vía de la línea de conducción y de áreas para obras especiales, debe considerarse que será construido de tal manera que permita efectuar todas las fases de construcción de la línea de conducción, de las obras especiales, de las estructuras y edificaciones, así mismo, que sea accesible para que permita posteriormente hacer Trabajos de Mantenimiento al mismo acueducto.

Es importante que la empresa, revise con atención el contenido del modelo del contrato que a efecto se incluye en las bases del concurso, especialmente lo relativo al aspecto del financiamiento, con el objeto de que se realice un programa de construcción y de prestación de servicio adecuado y se realice en el tiempo considerado para ello.

Es muy importante que desde el inicio de los trabajos se anote en la bitácora, los trabajos por realizar, así como el registro de la cantidad de equipo, material y personal que labora, lo anterior como lo que indica el RLOPSRM y firmada por la supervisión de obra y el superintendente del prestador de servicios. Es importante resaltar la importancia que como documento oficial tiene la bitácora de obra, como documento fidedigno para consultas posteriores y deberá contener los sucesos relevantes que se desarrollen durante la ejecución de la obra, cambios de proyecto, relación de equipo y personal, avances generales, incumplimientos de programa, en su caso, etc, por lo que deberá tenerse especial cuidado de realizar su llenado de manera diaria tal como lo indica el proceso para llenado de bitácora y con las consideraciones especiales que amerita, para el CPS.

En caso de que durante el desarrollo del CPS surgieran controversias de carácter técnico - constructivo, administrativo o legal, debido a la interpretación y aplicación de la ley y/o del contrato de prestación de Servicios, el prestador del servicio deberá agotar todas las posibilidades de solución a los conflictos relacionados con la ejecución de los Trabajos, primeramente ante la Supervisión y de no llegar a una conciliación, se trataran en orden ascendente con las instancias superiores.

El fideicomiso asignará a la supervisión, para que durante el proceso constructivo, se cumplan con los requerimientos establecidos para el buen desarrollo de los trabajos. En el proceso de construcción del acueducto, esta supervisión se llevará a cabo en todas las etapas de construcción, por lo que la supervisión designada verificará el proceso de trabajo aplicable a cada fase de la obra, contando con la capacidad técnica y experiencia necesaria para supervisar, juzgar y decidir en todas las etapas del proyecto.

2.3.3 Análisis de Movimiento de Tierras

Para entregar una oferta competitiva y sobretodo cumpliendo con las características y especificaciones citadas, la empresa debe elaborar un programa para la preparación de la oferta incluyendo los alcances de la misma y los sectores o factores que intervengan en el proyecto.

Partiendo de esto se describen a continuación las actividades para la construcción y los lineamientos que intervienen en la línea de conducción que deberá cumplir la empresa, tomando en consideración que será con el único objetivo de desarrollar en forma segura, eficiente y con calidad, los trabajos inherentes a la construcción de la línea de conducción que va de la Presa Zapotillo, a León Guanajuato. No se deberá considerar en forma limitativa los aspectos descritos, sino que la empresa pueda ampliar los que a continuación se describen:

Trabajos topográficos

En necesario establecer los lineamientos para los trabajos topográficos asegurando el apoyo para la ubicación correcta de los ejes de referencia para la construcción de la línea de conducción y dar inicio a la apertura del derecho de vía, eje de instalación de la línea de conducción y sus terracerías, accesos, áreas de almacenamiento, instalaciones superficiales, integraciones y obras especiales, así como la medición y control de los volúmenes correspondientes.

Actividades que preferentemente deben realizarse para la preparación de la oferta:

- Efectuar recorrido de la ruta para reconocimiento del terreno y obtención de datos para la programación de ejecución de obra y verificación del proyecto de ingeniería y en los casos extraordinarios que se presenten, inclusive se lleguen hacer modificaciones debido a cambios que sean necesarios.
- Localizar las referencias de elevaciones, vértices, ejes y cadenamientos conforme al proyecto de ingeniería, tales como: mojoneras, estacas y trompos.
- Verificar los permisos de paso para trazo y sondeos si se requieren, para la confirmación de paso subterráneo de ductos o estructuras, contando de preferencia con detector de metales para ubicar rápidamente los ductos metálicos y pueda efectuarse el sondeo sobre de la línea de conducción, para verificar su profundidad y características y sea más fácil y rápida su localización e Instalación de marcas y señalamientos de referencia.
- Recorrer el camino de acceso principal y los caminos de acceso secundarios que serán necesarios para llegar a lugares donde por las condiciones del terreno no sea posible introducir la tubería sobre con tracto camión con plataformas, si no, con sobre acarreo con tractor pluma u otro equipo.

- Verificar la localización y trazo de los ejes del derecho de vía (límites), del eje para hacer el tendido de Tubería, del eje de zanja, trazo de curvas horizontales, trazo requerido para obras especiales.
- Hacer un levantamiento de las Instalaciones superficiales, cruzamientos (Obras Especiales de la línea de conducción) y los levantamientos fluviales, en su caso; para fines de verificación del proyecto de ingeniería.
- Revisar, clasificar, ubicar y dimensionar las obras especiales, verificando que de acuerdo a las condiciones topográficas reales del terreno, el Procedimiento que se efectuara para su Cruce será el correcto.
- Efectuar sondeos necesarios para localización y señalamiento de ductos en operación u otro tipo de estructura.
- Revisar y elaborar volúmenes para fines de presupuesto y control interno.

2.3.4 Análisis Hidráulico y Determinación de Diámetros Óptimos

Para ello se consideraron 3 tramos de líneas de conducción, originado de buscar una opción optima de conducción desde el sitio de la presa el zapotillo a la ciudad de León Guanajuato pasando por los altos de Jalisco realizando 6 entregas mas en esas zonas.

Como inicio del proyecto se propone realizar tramos de bombeo lo más cortos posible hasta una altura que proporcionara la carga hidráulica necesaria para continuar la conducción bajo el régimen de gravedad, en recorridos de campo y con ayuda de las cartas topográficas del INEGI se pudo localizar el terreno que alojará posiblemente las estructuras de bombeo.

Ubicando una primera estación de bombeo a las faldas de la presa tendremos la cota de terreno 1565, lo cual nos da una carga a vencer por bombeo de 485 m, posteriormente el largo del trayecto restante a León seria por régimen a gravedad.

Para la distribución de los tramos por bombeo se propone el colocar dos plantas de bombeo y repartir la carga a vencer equitativamente para que originen dos plantas de bombeo con equipos similares, esto permitirá tener un acceso más sencillo a refacciones y disponibilidad de equipos.

Por ello cada planta de bombeo tendrá una carga a vencer de 243 m. aproximadamente, para ello se propone una elevación intermedia en la cota 1800 para ubicar la segunda planta de bombeo.

En el sitio de propuesta para el cambio de régimen también se anexara una planta potabilizadora, esto con el propósito de reducir los riesgos de pérdidas debido a incrustaciones originadas por las aguas crudas, así el sitio cumplirá con dos propósitos, el de potabilizar y servir de tanque regulador de gasto y cambio de régimen.

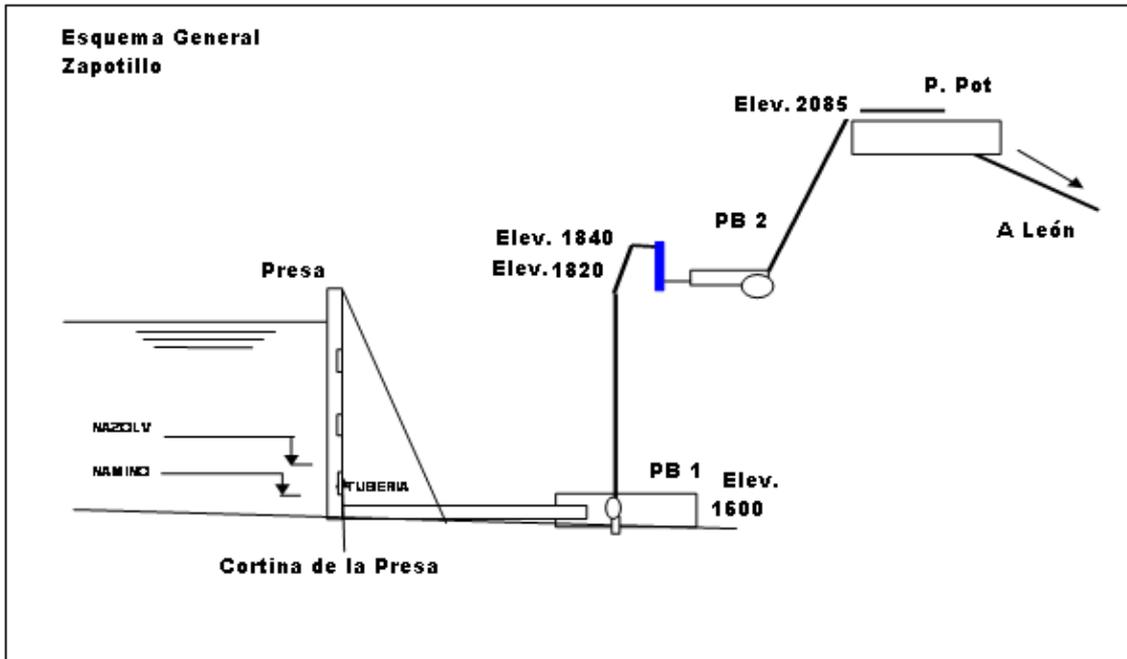
Bajo esas condiciones la alternativa que se desarrollará quedo del siguiente modo:

- Tramo 1: Planta de Bombeo 1 a Planta de Bombeo 2
Longitud: 1,895 m.
- Tramo 2: Planta de Bombeo 2 a Planta Potabilizadora
Longitud: 2,570 m.
- Tramo 3: Planta Potabilizadora – Los Altos – León
Longitud: 134,040 m.

Apoyándose en los datos anteriores, perfiles topográficos y cartografía del INEGI se realiza un estudio preliminar con diámetro teórico que finalmente se comprueba en los distintos análisis para los tramos aquí descritos, en cuanto a los materiales se propone acero en la línea de conducción a presión y acero, concreto o ambos en la línea a gravedad.

Las condicionantes de gastos reflejan que de los 5.6 m³/s que saldrán de este acueducto 1.8 serán para el estado de Jalisco, mientras que el 3.8 restante para la ciudad de León, en Guanajuato, por lo que se propondrán 2 escenarios de conducción en las estaciones de bombeo aunque la tubería estará preparada para alojar desde un inicio el gasto máximo proyectado de 5.6 m³/s.

En los tramos a presión se determinaron los costos de energía y los costos de la tubería para optimizar la selección de diámetros, en los tramos de gravedad únicamente influye el costo de la tubería por lo que el más económico es el menor diámetro que garantice la llegada del gasto con la carga de presión disponible.



2.3.4.1 Diámetro propuesto en la línea de conducción a presión

Tramo: Planta Potabilizadora – los Altos – León para 5.6 m³/s en acero

La conducción por bombeo es necesaria cuando se requiere adicionar energía para obtener la carga dinámica asociada con el gasto de diseño. Este tipo de conducción se usa generalmente cuando la elevación del agua en la fuente de abastecimiento es menor a la altura piezométrica requerida en el punto de entrega. El equipo de bombeo proporciona la energía necesaria para lograr el transporte del agua.

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

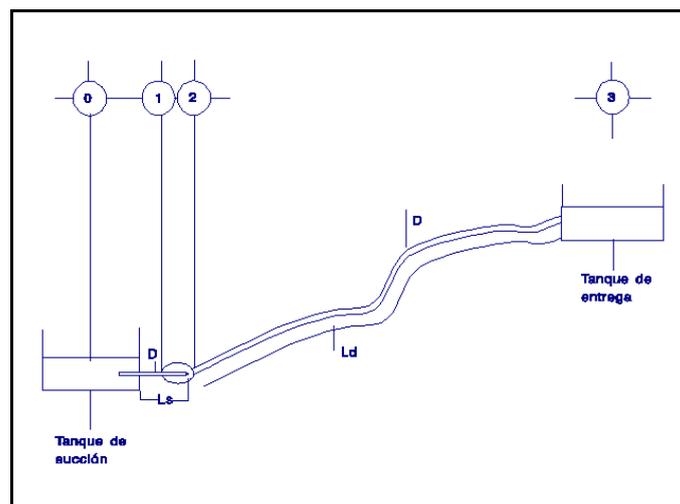
Conforme el diámetro seleccionado sea menor, disminuye el costo de la tubería y su instalación, pero se incrementan las pérdidas de carga y con ello el costo de bombeo, al requerir bombas de carga elevada con mayores consumos de energía. Ocurriría lo contrario si se incrementa el diámetro. Por lo anterior,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

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

$$C_T = C_1 * D * L \quad (1)$$

Donde:

- C_1 Es el costo de suministro e instalación por unidad de diámetro y longitud
- L Es la longitud de la conducción
- D Es el diámetro de la conducción



2.3.4.2 Diámetro propuesto en la línea de conducción a gravedad

Tramo: Planta Potabilizadora – los Altos – León para 5.6 m³/s en acero

Una conducción por gravedad se presenta cuando la elevación del agua en la fuente de abastecimiento es mayor a la altura piezométrica requerida o existente en el punto de entrega del agua, el transporte del fluido se logra por la diferencia de energías disponible.

Tal es el caso del tramo de conducción desde la Planta Potabilizadora hasta el sitio de entrega en la ciudad de León, en el estado de Guanajuato, ya que la elevación del terreno natural del sitio de salida de la planta potabilizadora ubicado en el km. 5+000.00 de la línea de conducción es de 2,029.29 m.s.n.m., mientras que el punto a la llegada a León está en la cota 1981.56 originándose una carga de 47.73 m.c.a.

Por tal motivo se procederá a obtener el diámetro más económico que pueda aprovechar esa carga disponible y garantizar la entrega a la ciudad de León.

Análisis económico del diámetro

Una vez obtenido el trazo y el gasto de diseño, un aspecto importante en el proyecto de conducción, es la determinación del diámetro, cuya solución se decide por condiciones económicas a partir de hacer mínimo el costo de la tubería el cual es el elemento principal en una línea de conducción a gravedad ya que no hay costos de energía para la conducción.

Bajo estas circunstancias el diámetro económico se determina con el menor diámetro comercial que conduzca el gasto de 5.6 m³/s con la carga disponible mencionada anteriormente que es de 47.73 m.c.a., el cual se desarrolla a continuación bajo las condiciones establecidas en el Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de la CONAGUA.

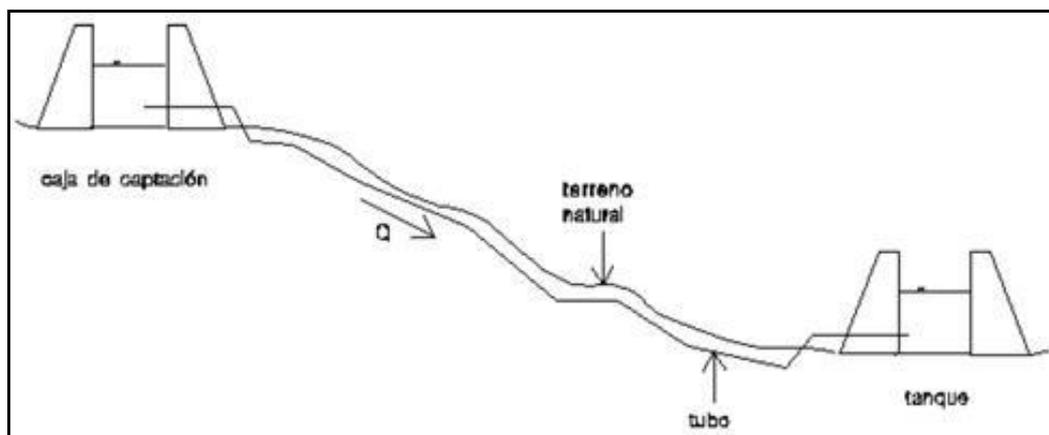


Figura 1. Esquema de una línea de conducción por gravedad

Pérdidas de energía por fricción en la conducción

Para calcular las pérdidas de energía por fricción en la conducción, entre otras ecuaciones, existen las de Darcy-Weisbach, Hazen - Williams, y Manning, de las cuales se utilizó la primera, por su carácter general y mejor modelación del fenómeno.

La ecuación de Darcy-Weisbach se expresa:

$$h_f = f \frac{LV^2}{D2g} \quad (1)$$

Donde f es un coeficiente de pérdidas. L y D son la longitud y el diámetro interior del tubo, V es la velocidad media del flujo y h_f es la pérdida de energía por fricción.

El flujo en régimen turbulento es el caso que normalmente se presenta en los conductos de sistemas de agua potable. En este régimen de flujo, f depende del número de Reynolds y de la rugosidad relativa ε/D ; sus valores se obtienen aplicando la siguiente ecuación de Colebrook-White.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3.71} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (2)$$

Donde:

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad (3)$$

ε es la rugosidad absoluta de la pared interior del tubo expresado en mm, y ν es la viscosidad cinemática del fluido en m^2/s .

Para una línea de conducción por gravedad (figura I), se presenta un modelo para encontrar el tubo necesario que transporta al gasto de diseño sobre una topografía que proporciona un desnivel favorable hacia el punto de descarga. En este tipo de conducción se tiene un desnivel disponible dado entre las cargas hidráulicas existentes en el inicio (en la fuente) y el final (la descarga) de la conducción. Sea el valor de este desnivel H_{disp} . El problema consiste entonces en determinar el diámetro del tubo, que conducirá el gasto deseado Q con una pérdida de carga en la conducción igual a H_{disp} .

En principio, de la fórmula de pérdidas de carga (ecuación 1, 2 y 3) para una $h=H_{disp}$ y un Q dados, podría despejarse un valor teórico para el diámetro, que daría la pérdida de carga H_{disp} . Ese diámetro seguramente no corresponderá a un diámetro comercial. Para salvar el inconveniente, se propone construir una parte de la conducción con el diámetro inmediato inferior comercial y el resto con el diámetro inmediato superior; de forma tal que la pérdida de carga total en los dos tramos diera el valor de H_{disp} .

Cabe señalar que en el caso de un escaso desnivel entre la fuente y la entrega o un gradiente hidráulico insuficiente, puede requerirse de un diámetro grande en la conducción. En este caso, deberá realizarse un análisis económico para determinar si la conducción conviene que sea por bombeo o por gravedad.

Velocidad en función del gasto y el diámetro.

Expresando la velocidad en función del gasto y del diámetro tenemos la siguiente expresión-

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

Fórmula de Bresse.

$$D_0 = \sqrt[5]{\frac{10}{19} \frac{C_2 f \gamma}{C_1 n \pi^2 g}} * \sqrt{Q} \quad (5)$$

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

$$D_0 = \sqrt[5]{\frac{10}{19} \frac{C_2 \gamma f}{C_1 n \pi^2 g}} \quad (6)$$

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

$$D_0(\text{m}) = 1.2 \sqrt{Q(\text{m}^3/\text{s})} \quad (7)$$

$$D_0(\text{pulgadas}) = 1.5 \sqrt{Q(\text{L}/\text{s})} \quad (8)$$

Coefficiente de fricción para ecuación de Manning.

En lugar de f y C, para las ecuaciones de Darcy–Weisbach y Hazen–Williams respectivamente, en la ecuación de Manning está presente el coeficiente de rugosidad de Manning, n (varía de acuerdo con el material de la tubería).

Las pérdidas están expresadas en función de las mismas variables que las dos ecuaciones anteriores: diámetro del tubo, longitud, caudal y un coeficiente que involucra la rugosidad interna de cada tubería, además de un factor de conversión de unidades, el cual también está presente en la ecuación de Hazen – Williams.

El coeficiente “n” representa las características internas de la superficie de la tubería, su valor depende del tipo de material, calidad del acabado y el estado de la tubería, en la siguiente tabla se presentan los valores para algunas tuberías de diferentes materiales, para ser utilizados en la ecuación de Manning.

Las perdidas por fricción se calculan de la siguiente forma:

$$hf = \frac{10.293 n^2 L Q^2}{D^{16/3}}$$

Donde: hf = Pérdidas por fricción en m.
L = Longitud de la línea de conducción en m.
Q = Gasto en m³/s.
n = Coeficiente de rugosidad.
D = Diámetro de la tubería en m

Tabla 1. Coeficiente de fricción para ecuación de Manning,

| COEFICIENTE DE FRICCIÓN PARA USARSE EN LA ECUACIÓN DE MANNING. | |
|---|------------|
| MATERIAL | "n" |
| PVC y polietileno de alta densidad | 0.009 |
| Asbesto-cemento | 0.010 |
| Fierro Fundido nuevo | 0.013 |
| Fierro Fundido usado | 0.017 |
| Concreto liso | 0.012 |
| Concreto áspero | 0.016 |
| Concreto presforzado | 0.012 |
| Concreto con buen acabado | 0.014 |
| Mampostería con mortero de cemento | 0.020 |
| Acero soldado con revestimiento interno a base de epoxy | 0.011 |
| Acero sin revestimiento | 0.014 |
| Acero galvanizado nuevo o usado | 0.014 |

Para este tramo se empleara tubería de Acero, para el caso del Acero emplearemos un coeficiente de Fricción de 0.014.

Al realizar el análisis hidráulico en operación normal, nos brinda la información para determinar cuáles son los diámetros más económicos para la línea de conducción de la planta potabilizadora-Los Altos-León, con los consumos fijos que se presentan a lo largo de la línea de conducción, para un gasto de 5.6 m³/s, en tubería de acero.

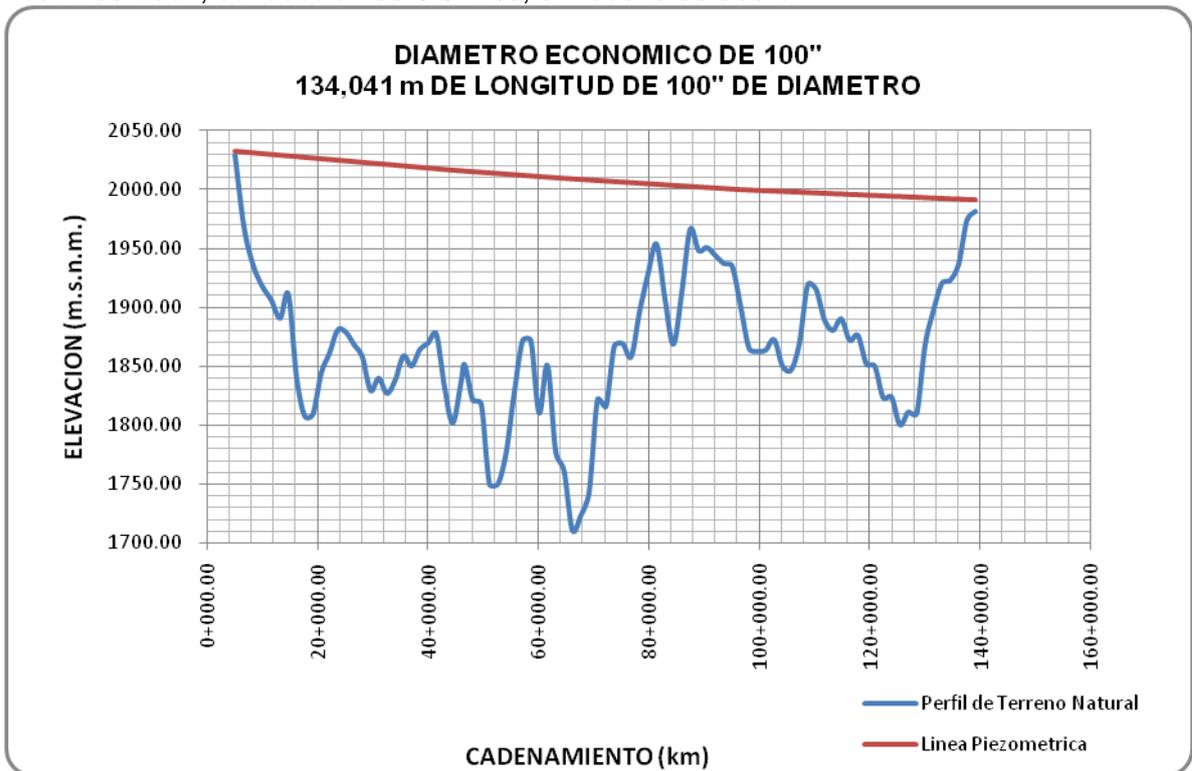
Se realizo el análisis para un diámetro de 100 pulgadas a lo largo de toda la línea de conducción y se obtuvieron los resultados que se ilustran en la grafica 1.

En este análisis, la conducción del gasto se cumple, con la cota piezométrica inicial de 2,032 m.s.n.m., pero se tienen una carga disponible en el punto de entrega de 9.46 metros lo cual es alta para las condiciones en este punto de entrega.

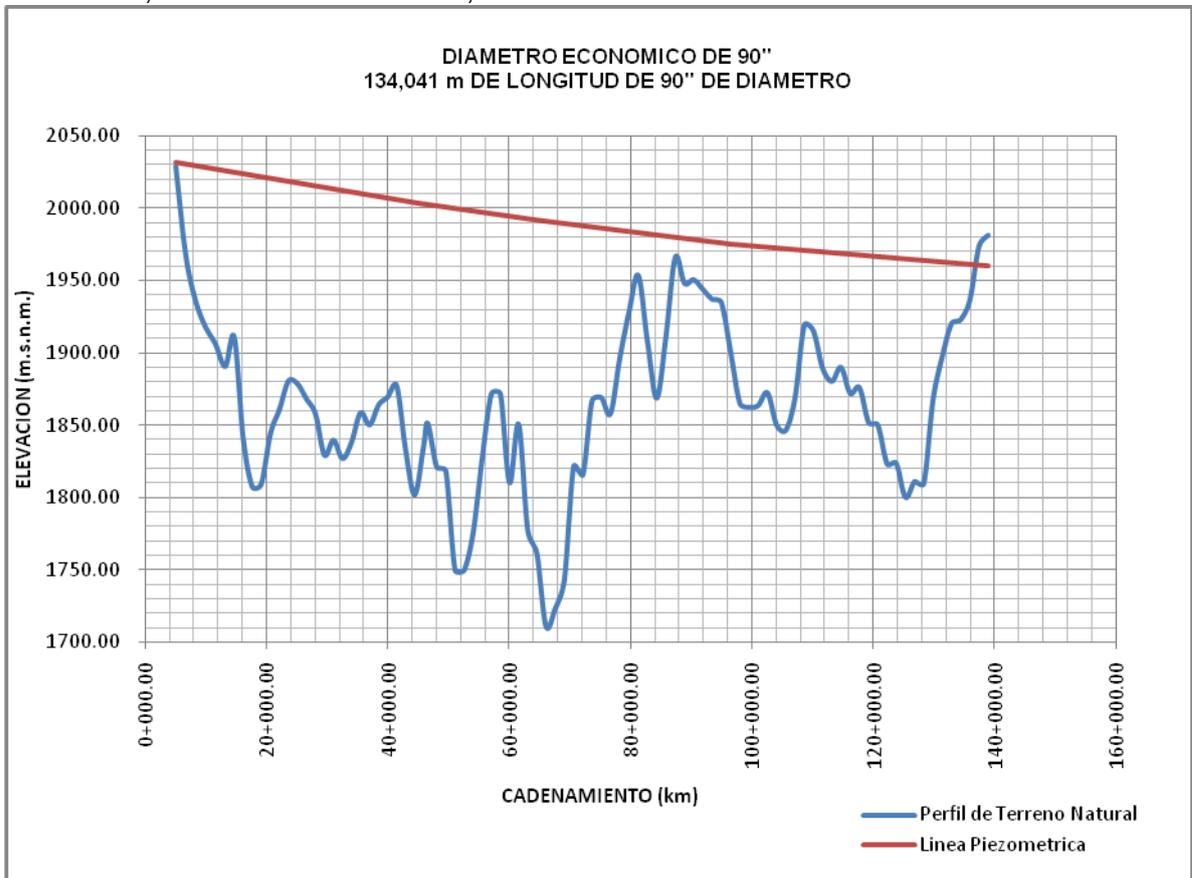
Se realizo el análisis para un diámetro de 90 pulgadas a lo largo de toda la línea de conducción y se obtuvieron los resultados que se ilustran en la grafica 2.

En este análisis, la conducción del gasto se cumple, con la cota piezométrica inicial de 2,032 m.s.n.m., pero no se tienen una carga disponible en el punto de entrega, lo que nos indica que el agua no llegaría a la elevación que se requiere para las condiciones en el punto de entrega.

Grafica 1. Comportamiento de la conducción, diametro de 100 pulgadas, de PPOT- Los Altos-León, conducción de 5.6 m³/s, en tubería de acero.

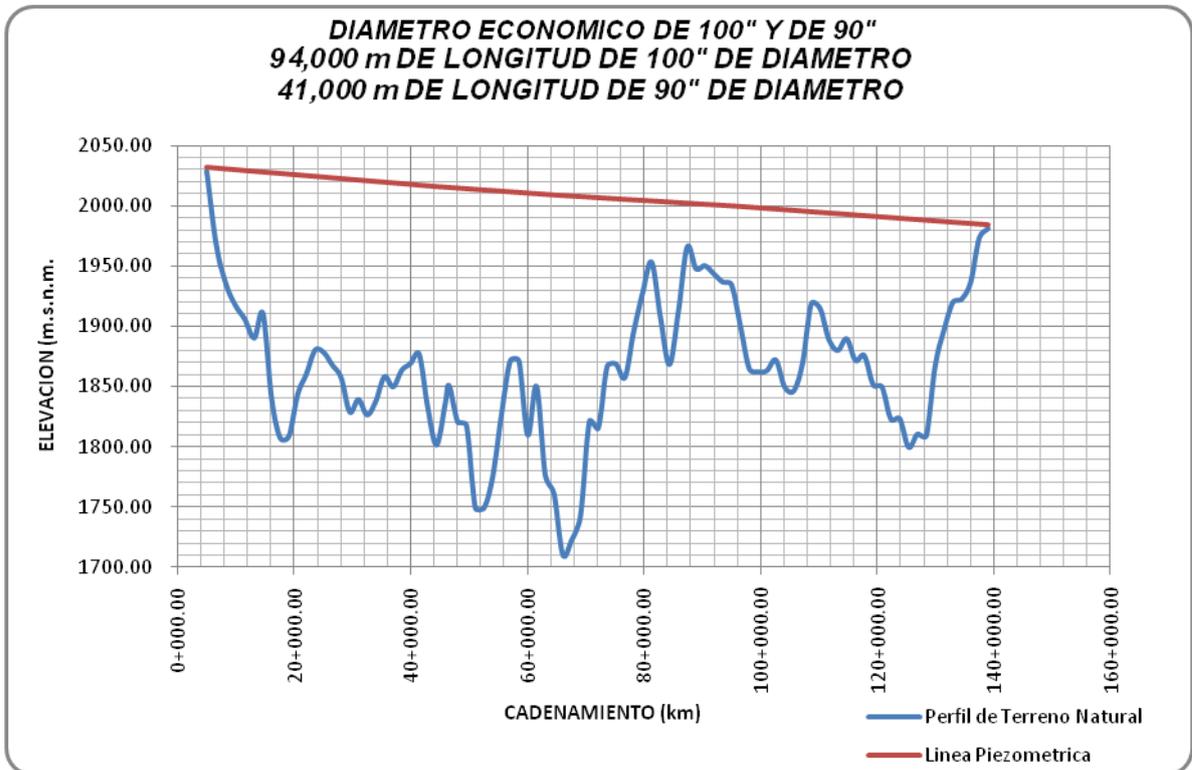


Grafica 2. Comportamiento de la conducción, diametro de 90 pulgadas, de PPOT-Los Altos-León, conducción de 5.6 m³/s, en tubería de acero



Se realizó el análisis tomando estos dos diámetros anteriores ya que uno llega con mucha carga disponible en el punto de entrega y en el otro caso el agua no llegaría al punto de entrega, así que se realizó el análisis con los diámetros de 100 y 90 pulgadas a lo largo de la línea de conducción y se obtuvieron los resultados que a continuación se ilustran en la grafica.

Grafica 3. Comportamiento de la conducción, diámetro de 90 y 100 pulgadas, de PPOT-Los Altos-León, conducción de 5.6 m³/s, en tubería de acero



En este análisis, la conducción del gasto se cumple, con la cota piezométrica inicial de 2,032 m.s.n.m., y se tienen una carga disponible en el punto de entrega adecuada para las condiciones de entrega, lo que nos indica que estos diámetros y estas longitudes son las más económicas para la línea de conducción.

Las características físicas de la línea de conducción se obtuvieron de los trabajos de topografía realizados, los datos de las condiciones de conducción en operación normal, resultan de un análisis hidráulico, realizado para demostrar que los diámetros seleccionados cumple satisfactoriamente con la conducción del gasto.

2.3.5 Programa de Suministros e Instalación

Parte fundamental para la preparación de la oferta y la proyección que tenga esta en el tiempo es establecer las actividades y lineamientos para la recepción de tubería, materiales anticorrosivos, válvulas y accesorios, asegurando la calidad necesaria de estos, así como su correcto movimiento y manejo para evitar mermas y daños.

La empresa elaborará el Programa de la recepción de los materiales de acuerdo al proyecto, procedimiento propuesto y lineamientos, ya sea por ferrocarril o tracto camión para evitar pagos por demoras y para agilizar su distribución.

Es necesaria la determinación e inspección de las áreas de descarga, movimiento interno y estiba. Determinar su acondicionamiento para efecto que el equipo y los tracto camiones puedan desarrollar los trabajos.

Aspectos a considerar para el suministro y control de la tubería.

1. Acarreo y tendido de tubería.

Será necesario establecer las actividades para el acarreo y tendido de tubería de línea, asegurando el cuidado de los tramos de tubo, así como su correcto transporte y distribución a lo largo del derecho de vía, obras especiales, en el municipio de León, y en su caso, en áreas provisionales para su posterior sobre acarreo tubo por tubo a lugares inaccesibles.

Revisar los planos del proyecto, procedimiento de construcción y especificaciones particulares, definiendo las rutas óptimas para el acarreo, las zonas inaccesibles en campo, en el municipio de León, para programar el suministro en la cantidad requerida y el tiempo programado.

Se requieren efectuar recorridos para ver la vialidad de los caminos de acceso y derecho de vía, así como lugares de estiba en campo y Áreas de lanzamiento (en ríos o arroyos) o de concentración para sobre acarreo a zonas de difícil acceso, si es necesario determinando el acondicionamiento del área donde sea requerido. También para medir las distancias desde las áreas de almacenamiento o plantas de protección anticorrosivo, lastrado y doble junta en su caso (para Tubería de acero), hasta los Centros de gravedad del derecho de vía y en el municipio de León, para definir las rutas para la introducción de la tubería en la ciudad de León, de tal forma que el suministro sea tramo por tramo de tal forma de no hacer estiba de la tubería en la calle, por obvio motivo de afectar lo menos posible al tráfico y al paso de peatones.

Para campo, se necesita elaborar un programa de distribución de tubería, de acuerdo al diagrama de flujo del proyecto y su logística, antes planteado, conforme a las rutas de los centros de distribución al derecho de vía. Para el municipio de León, verificar la posibilidad de localizar pequeñas áreas fuera de las calles para hacer estiba de tal forma de llevar en el menor tiempo posible la tubería al punto de su Instalación, en caso contrario llevar tubo por tubo. Para el caso de la distribución de tubería saliendo de autopistas, se tendrá Coordinación con la Autoridad Federal, con la finalidad de evitar eventos inesperados o accidentes, motivo por el cual se tendrá que definir cuales serán las salidas y entradas a las mismas considerando todos los gastos y trámites que esto representa.

Determinar los lugares que serán inaccesibles a tracto camión tales como pendientes pronunciadas de terreno u otras, estudiando la opción más adecuada para el correcto acarreo de la tubería.

2. Excavación de zanja

Dependiendo del tipo de terreno, condiciones climatológicas y clase de localización, analizar y decidir el inicio de esta Fase, de preferencia antes del tendido de Tubería o de la soldadura o en caso extremo y necesario en forma simultánea, lo anterior porque se debe tener un gran avance sobre las otras subactividades mencionadas, ya que éstas son más rápidas de ejecutar que la de excavación.

Para una correcta planeación de esto, se deben revisar los planos del proyecto, los procedimientos de construcción y la elaboración del programa de zanja y la interferencia con las demás subactividades así como la estimación del grado de dificultad en los diferentes puntos del recorrido incluido el municipio de León, zonas de material tipo III determinando zonas donde se debe empezar de forma anticipada, debido a que se lleva mayor tiempo construirla, determinando la cantidad de frentes de excavación que deben hacerse e inclusive los turnos de trabajo.

Clasificar el tipo de Material de excavación, para efectos prácticos de seleccionar al equipo adecuado para atacarlo y puedan obtenerse mayores rendimientos, así mismo, para situaciones de control y consideración del costo.

Se deben dimensionar las dimensiones de zanja para que estas sean las óptimas teniendo en cuenta especificaciones y diferentes reglamentos que puedan regular esta actividad.

3. Bajado y tapado de línea.

Para esto se requiere efectuar cálculos volumétricos de todas las actividades inherentes a este punto tales como:

Profundidad y ancho mínimo con forme a Especificación

Acarreo y formación de la plantilla con material especificado, "cama" en suelo rocoso, acostillamiento y parte superior, así como la compactación del material según lo especificado en el procedimiento propuesto y especificado en el proyecto.

Estimar la cantidad de maquinaria necesaria para la ejecución en tiempo y forma adecuados de los trabajos.