



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

“ALTERNATIVAS PARA SOLUCIONAR LA PROBLEMÁTICA
DEL AGUA EN LA CIUDAD DE AGUASCALIENTES, MÉXICO”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

FRANCISCO JAVIER GONZÁLEZ SERNA



**DIRECTOR DE TESIS:
M.I. LUIS MANUEL SALMONES HERNÁNDEZ**

MÉXICO, D.F.

2012



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Para mi Madre, mi Padre y mi Hermano.

AGRADECIMIENTOS

A la vida y a Dios por darme la oportunidad de haber llegado hasta esta maravillosa etapa de mi vida.

A mis Padres y Hermano por el gran trabajo en equipo que hemos venido realizando hasta el momento.

En especial a mis Padres por haberme inculcado indeleblemente los valores de la honestidad, responsabilidad y entrega, los cuales me serán de mucha utilidad en el desarrollo de mi profesión.

A mi hermano por ser mi quien es, por ser quien me impulsa a siempre ser mejor, por transmitirme la curiosidad del saber y por alentarme a construir con mis acciones una sociedad mejor.

A mi abuelo Eutimio Serna por transmitirme el amor a mi estado, a todas sus pláticas que sin lugar a dudas fueron gran motivación para el desarrollo de este trabajo.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por todo.

Al profesor Luis Manuel Salmones, por transmitirme la inquietud por los temas relacionados con la planificación nacional en materia de agua potable, por generarme el interés en los proyectos de infraestructura innovadores que requiere el país y por guiar y enriquecer la presente investigación.

A los profesores José Manuel Covarrubias Solís, Óscar Vega Roldán, Humberto Marengo Mogollón, Francisco Chacón García y Víctor MahbubArelle, por marcar claramente mi paso por la Facultad de Ingeniería, por su compromiso con la enseñanza y la formación de nuevos ingenieros de calidad para la construcción de un mejor país y por haberme transmitido sus conocimientos en su materia sin recelo ni miramientos.

A Manuel Salas Flores por haberme enseñado todo sobre la construcción de acueductos y a Fermín Rivero por enseñarme todo sobre la construcción de túneles.

A Emilio Granados por haberme abierto las puertas de su casa y a mis compañeros de casa Jorge Cabrera y Roberto García por todas aquellas pláticas.

A Diego, Edson, Luis Fernando, Fernando Maceira y Fernando González por las innumerables anécdotas.

A Alejandra Nares López, por siempre estar ahí.

ÍNDICE

I	INTRODUCCIÓN	7
1.1	ENTORNO GLOBAL.....	7
1.2	ENTORNO NACIONAL.....	8
1.3	ENTORNO ESTATAL.....	15
1.3.1	Macro localización.....	15
1.3.2	Micro localización.....	16
1.3.3	Antecedentes.....	18
II	DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA	29
2.1	SOBRE EXPLOTACIÓN DEL ACUÍFERO.....	29
2.2	PÉRDIDAS EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN.....	32
2.3	PÉRDIDAS POR CONSUMO.....	35
III	OBJETIVOS	36
IV	HIPÓTESIS	37
V	ALCANCES	38
VI	DESARROLLO	39
6.1	ACCIONES DE MEJORA.....	39
6.1.1	Mitigación de Fugas de Agua.....	39
6.1.2	Reducción en el consumo.....	40
6.2	POBLACIÓN DE DISEÑO.....	42
6.3	GASTO DE DISEÑO.....	44
6.4	ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE A LA CIUDAD DE AGUASCALIENTES.....	45
6.4.1	Estado del arte.....	45
6.1.1	Aguas subterráneas.....	46
6.1.2	Aguas superficiales.....	46
6.1.4	Alternativas con aguas superficiales analizadas en el presente trabajo.....	49
6.2	ANÁLISIS DE LAS LÍNEAS DE CONDUCCIÓN A GRAVEDAD.....	56
6.3	ANÁLISIS DE LAS LÍNEAS DE CONDUCCIÓN POR BOMBEO.....	57
6.6.1	Análisis de bombeo 24 horas.....	58
6.6.2	Análisis de bombeo 20 horas.....	59
6.6.3	Comparación.....	59
VII	CONCLUSIONES	64
VIII	ANEXOS	67

8.1	ANEXO 1 Diseño de las Líneas a Gravedad.....	67
8.1.1	Cálculos con Darcy - Weisbach.....	67
8.2	ANEXO 2 Análisis de las Tarifas Eléctricas	74
8.3	ANEXO 3 Diseño de los Tramos por Bombeo de las Líneas de Conducción.....	80
8.3.1	BOMBEO LAS 24 HORAS.....	80
8.3.2	BOMBEO SÓLO 20 HORAS.....	89
8.4	ANEXO 4Diseño de los Tanque de Cambio de Régimen.	101
8.4.1.	Tanque de almacenamiento 24 horas.....	101
8.4.1	Tanque de almacenamiento 20 horas.....	102
8.5	ANEXO 5 Encuesta de Percepción del Problema de Aguas Potable en Aguascalientes	104
8.5.1	Tamaño De La Muestra	104
8.5.1	Encuesta muebles sanitarios ecológicos	106
8.5.2	Resultados de la encuesta.....	108
IX BIBLIOGRAFÍA		112

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1	Contraste Regional entre el Desarrollo y la Disponibilidad del Agua.....	8
Ilustración 2	Traza del Acueducto El Zapotillo	14
Ilustración 3	Regiones Hidrológico – Administrativas.....	15
Ilustración 4	Ampliación de la Región Hidrológica Administrativa número VIII	16
Ilustración 5	Regiones Hidrológicas de Aguascalientes	17
Ilustración 6	Inflación Anual (Banco de México).....	62

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Principales Acueductos de México por región hidrológico-administrativa, 2008.....	10
Cuadro 2	Resumen Acueductos en México.....	13
Cuadro 3	Infraestructura y servicios hidráulicos, 2008.....	22
Cuadro 4	Medidas de la infraestructura del proyecto	26
Cuadro 5	Sobreexplotación de Acuíferos de la Región	29
Cuadro 6	Condiciones Climatológicas	30
Cuadro 7	Distribución del Recurso por Actividad Económica.....	30
Cuadro 8	Cálculo del Déficit en el Acuífero del Valle de Aguascalientes	31
Cuadro 9	Características de ciudades de más de 500,000 habitantes.....	33
Cuadro 10	Proyecciones de la población del municipio de Aguascalientes hechas por CONAPO	42
Cuadro 11	Cálculo del gasto de diseño	44
Cuadro 12	Posible Aportación de las Presas de Almacenamiento del Estado de Aguascalientes	48
Cuadro 13	Elevación y capacidades del embalse del P.H. El Cajón.....	50
Cuadro 14	Resumen Líneas a Gravedad de las Alternativas (Darcy - Weisbach).....	56
Cuadro 15	Resumen de alternativas (por bombeo).....	57
Cuadro 16	Resumen Diseño Línea de Conducción por Bombeo con Darcy - Weisbach (24 hrs). 58	
Cuadro 17	Resumen Diseño Línea de Conducción por Bombeo con Darcy -Weisbach (20 hrs) . 59	
Cuadro 18	Tabla de Ahorros Anuales y Totales En Bombeo y Líneas de Conducción a Bombeo 59	
Cuadro 19	Precios para estructuras básicas encontradas en el documento "Costos Estimados para los Proyectos de Infraestructura Hidráulica Versión 1999"	60
Cuadro 20	Precios para estructuras básicas de nuestro proyecto basadas en el documento "Costos Estimados para los Proyectos de Infraestructura Hidráulica Versión 1999"	60
Cuadro 21	Porcentajes de inflación de Enero de 1999 a Marzo de 2012	61
Cuadro 22	Precios estructuras básicas traídos a valor actual	63
Cuadro 23	Clasificación horaria CFE.....	74
Cuadro 24	Clasificación en el periodo del 1ro de febrero al sábado anterior al primer domingo de abril	74
Cuadro 25	Horas por clasificación en el periodo del 1ro de febrero al sábado anterior al primer domingo de abril	75
Cuadro 26	Clasificación del 1ro de agosto al sábado anterior al último domingo de octubre... 75	

Cuadro 27 Horas por clasificación del 1ro de agosto al sábado anterior al último domingo de octubre	76
Cuadro 28 Clasificación del 1ro de agosto al sábado anterior al último domingo de octubre...	77
Cuadro 29 Horas por clasificación del 1ro de agosto al sábado anterior al último domingo de octubre	77
Cuadro 30 Clasificación del último domingo de octubre al 31 de enero	78
Cuadro 31 Horas por clasificación del último domingo de octubre al 31 de enero.....	79
Cuadro 32 Horas totales al año por clasificación	79
Cuadro 33Cálculo de las características físicas de la tubería a presión (Tramo PB1-PB2).....	80
Cuadro 34Cálculo de la sobre presión o golpe de ariete (Tramo PB1-PB2).....	80
Cuadro 35Cálculo financiero (Tramo PB1-PB2).....	80
Cuadro 36Integración del costo de la tubería tomando en cuenta los distintos diámetros (Tramo PB1-PB2)	81
Cuadro 37Costo total anual considerando cargo por bombeo y cargo por costo de tubería (Tramo PB1-PB2)	81
Cuadro 38Cálculo de las características físicas de la tubería a presión (Tramo PB2-PB3).....	82
Cuadro 39Cálculo de la sobre presión o golpe de ariete (Tramo PB2-PB3).....	82
Cuadro 40Cálculo financiero (Tramo PB2-PB3).....	82
Cuadro 41Integración del costo de la tubería tomando en cuenta los distintos diámetros (Tramo PB2-PB3)	82
Cuadro 42Costo total anual considerando cargo por bombeo y cargo por costo de tubería (Tramo PB2-PB3)	83
Cuadro 43Cálculo de las características físicas de la tubería a presión (Tramo PB3-PB4).....	84
Cuadro 44Cálculo de la sobre presión o golpe de ariete (Tramo PB3-PB4).....	84
Cuadro 45 Cálculo financiero (Tramo PB3-PB4).....	84
Cuadro 46Integración del costo de la tubería tomando en cuenta los distintos diámetros (Tramo PB3-PB4)	84
Cuadro 47Costo total anual considerando cargo por bombeo y cargo por costo de tubería (Tramo PB3-PB4)	85
Cuadro 48Cálculo de las características físicas de la tubería a presión (Tramo PB4-PB5).....	85
Cuadro 49Cálculo de la sobre presión o golpe de ariete (Tramo PB4-PB5).....	86
Cuadro 50 Cálculo financiero (Tramo PB4-PB5).....	86
Cuadro 51Integración del costo de la tubería tomando en cuenta los distintos diámetros (Tramo PB4-PB5)	86
Cuadro 52Costo total anual considerando cargo por bombeo y cargo por costo de tubería (Tramo PB4-PB5)	86
Cuadro 53Cálculo de las características físicas de la tubería a presión (Tramo PB5-TCR).....	87
Cuadro 54Cálculo de la sobre presión o golpe de ariete (Tramo PB5-TCR).....	87
Cuadro 55 Cálculo financiero (Tramo PB5-TCR).....	88
Cuadro 56Integración del costo de la tubería tomando en cuenta los distintos diámetros (Tramo PB5-TCR)	88
Cuadro 57Costo total anual considerando cargo por bombeo y cargo por costo de tubería (Tramo PB5-TCR)	88
Cuadro 58Cálculo de las características físicas de la tubería a presión (Tramo PB1-PB2).....	89
Cuadro 59Cálculo de la sobre presión o golpe de ariete (Tramo PB1-PB2).....	90

Cuadro 60	Cálculo financiero (Tramo PB1-PB2).....	90
Cuadro 61	Integración del costo de la tubería tomando en cuenta los distintos diámetros (Tramo PB1-PB2)	90
Cuadro 62	Costo total anual considerando cargo por bombeo y cargo por costo de tubería (Tramo PB1-PB2)	90
Cuadro 63	Cálculo de las características físicas de la tubería a presión (Tramo PB2-PB3).....	91
Cuadro 64	Cálculo de la sobre presión o golpe de ariete (Tramo PB2-PB3).....	92
Cuadro 65	Cálculo financiero (Tramo PB2-PB3).....	92
Cuadro 66	Integración del costo de la tubería tomando en cuenta los distintos diámetros (Tramo PB2-PB3)	92
Cuadro 67	Costo total anual considerando cargo por bombeo y cargo por costo de tubería (Tramo PB2-PB3)	93
Cuadro 68	Cálculo de las características físicas de la tubería a presión (Tramo PB3-PB4).....	94
Cuadro 69	Cálculo de la sobre presión o golpe de ariete (Tramo PB3-PB4).....	94
Cuadro 70	Cálculo financiero (Tramo PB3-PB4).....	94
Cuadro 71	Integración del costo de la tubería tomando en cuenta los distintos diámetros (Tramo PB3-PB4)	94
Cuadro 72	Costo total anual considerando cargo por bombeo y cargo por costo de tubería (Tramo PB3-PB4)	95
Cuadro 73	Cálculo de las características físicas de la tubería a presión (Tramo PB4-PB5).....	96
Cuadro 74	Cálculo de la sobre presión o golpe de ariete (Tramo PB4-PB5).....	96
Cuadro 75	Cálculo financiero (Tramo PB4-PB5).....	96
Cuadro 76	Integración del costo de la tubería tomando en cuenta los distintos diámetros (Tramo PB4-PB5)	96
Cuadro 77	Costo total anual considerando cargo por bombeo y cargo por costo de tubería (Tramo PB4-PB5)	97
Cuadro 78	Cálculo de las características físicas de la tubería a presión (Tramo PB5-TCR).....	98
Cuadro 79	Cálculo de la sobre presión o golpe de ariete (Tramo PB5-TCR).....	98
Cuadro 80	Cálculo financiero (Tramo PB5-TCR).....	98
Cuadro 81	Integración del costo de la tubería tomando en cuenta los distintos diámetros (Tramo PB5-TCR)	98
Cuadro 82	Costo total anual considerando cargo por bombeo y cargo por costo de tubería (Tramo PB5-TCR)	99
Cuadro 83	PERFIL TERRENO NATURAL Y PIEZOMÉTRICO	100
Cuadro 84	Cálculo para diseñar el tanque de almacenamiento y cambio de régimen planteando un bombeo de 24hrs al día.....	101
Cuadro 85	Cálculo para diseñar el tanque de almacenamiento y cambio de régimen planteando un bombeo de 20hrs al día.....	102

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Tarifas domésticas de agua potable, alcantarillado y/o saneamiento en algunas ciudades 2007, (pesos/m ³).....	24
Gráfico 2	Distribución del Recurso por Actividad Económica.....	31

Gráfico 3 Diámetro Económico Tramo PB1-PB2 con bombeo 24hrs.....	81
Gráfico 4 Diámetro Económico Tramo PB1-PB2 con bombeo 24hrs.....	83
Gráfico 5 Diámetro Económico Tramo PB3-PB4 con bombeo 24hrs.....	85
Gráfico 6 Diámetro Económico Tramo PB4-PB5 con bombeo 24hrs.....	87
Gráfico 7 Diámetro Económico Tramo PB5-TCR con bombeo 24hrs.....	89
Gráfico 8 Diámetro Económico Tramo PB1-PB2 con bombeo 20hrs.....	91
Gráfico 9 Diámetro Económico Tramo PB2-PB3 con bombeo 20hrs.....	93
Gráfico 10 Diámetro Económico Tramo PB3-PB4 con bombeo 20hrs.....	95
Gráfico 11 Diámetro Económico Tramo PB4-PB5 con bombeo 20hrs.....	97
Gráfico 12 Diámetro Económico Tramo PB5-TCR con bombeo 20hrs.....	99
Gráfico 13 Género de los encuestados	108
Gráfico 14 Ubicación de los encuestados	108
Gráfico 15 Distribución de ingresos de los encuestados	109
Gráfico 16 Conciencia de la problemática	109
Gráfico 17 Conocimiento de instalaciones ecológicas	111
Gráfico 18 Instalaciones ecológicas existentes	111

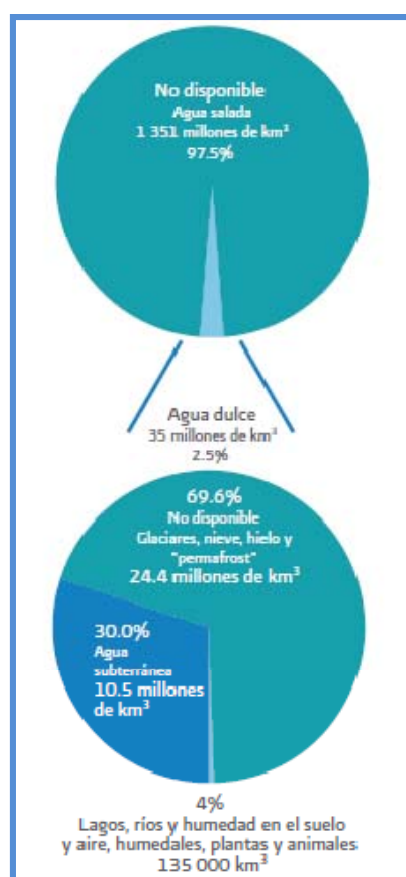
I INTRODUCCIÓN

1.1 ENTORNO GLOBAL.

Como es sabido, el planeta Tierra es conocido como el planeta azul, esto debido a la gran cantidad de agua que posee lo que hace que desde el espacio tenga una vista de este color; sin embargo, a pesar de que se posee una gran cantidad de este recurso, es muy poco lo que se puede aprovechar para el consumo humano y sus diferentes actividades.

La Comisión Nacional del Agua de acuerdo con los autores Clarke, Robin y King, Jannet, y con su trabajo *The Water Atlas*, Estados Unidos de América, 2004, muestra en su publicación "Estadísticas del Agua en México 2008" la siguiente imagen, en donde se deja ver lo delicado de la situación de la disponibilidad del agua a nivel mundial:

Gráfico 1 Disponibilidad de Agua en el Mundo¹



"La disponibilidad natural media per cápita de un país resulta de dividir sus recursos naturales entre el número de habitantes. Según este criterio, México se encuentra en el lugar número 89 mundial sobre 177 países de los cuales se dispone información."²

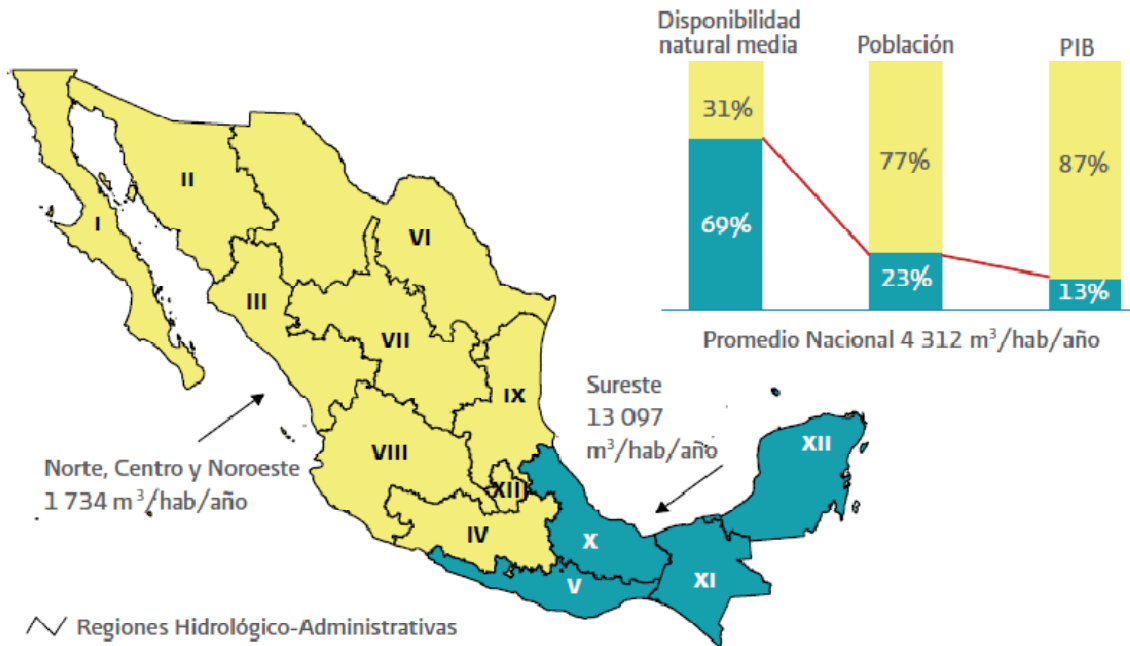
¹ Comisión Nacional del Agua. (2009). *Estadísticas del Agua en México 2008*. México, D.F.: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

² IDEM

1.2 ENTORNO NACIONAL.

En primer lugar, para situar este proyecto en un contexto nacional real es necesario hacer notar el contraste regional entre el desarrollo y la disponibilidad del agua. Para lo cual a continuación se muestra un mapa en conjunto con un gráfico que nos muestra lo paradójico de este tema.

Ilustración 1 Contraste Regional entre el Desarrollo y la Disponibilidad del Agua³



En la imagen anterior podemos ver que nuestra región en estudio (Región Hidrológico – Administrativa) se encuentra precisamente en la parte menos favorecida en cuanto a disponibilidad de agua.

Por otra parte, para terminar de contextualizar el entorno nacional, debemos señalar que la disponibilidad se debe de analizar desde tres puntos de vista:

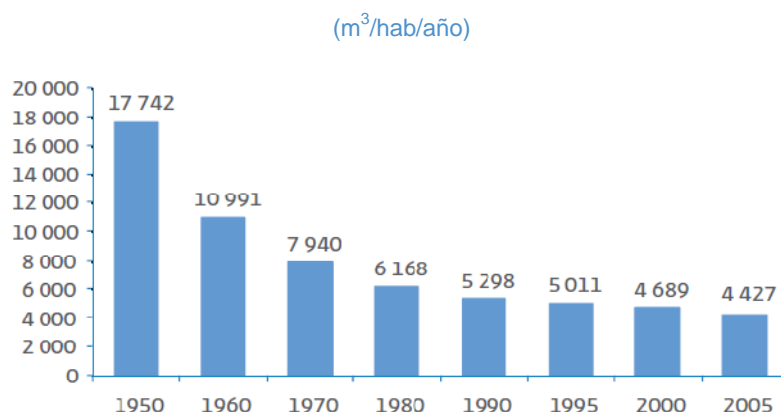
1. “Distribución temporal, ya que en México existen grandes variaciones de la disponibilidad a lo largo del año. La mayor parte de la lluvia ocurre en el verano, mientras que el resto del año es relativamente seco.
2. Distribución espacial, ya que en algunas regiones del país tienen precipitación abundante y baja densidad de población, mientras que otras ocurre exactamente lo contrario.
3. Área de análisis ya que el problema del agua es predominantemente de tipo local. Los indicadores calculados a gran escala esconden las fuertes variaciones que existen a lo largo y ancho del país.

³CONAGUA. Subdirección General de Programación. Elaborado a partir de: CONAGUA. Subdirección General Técnica. INEGI. Censos Económicos 2004. México, 2005.

En algunas Regiones Hidrológico – Administrativas, como en la XIII Aguas del Valle de México, VI Río Bravo y VIII Lerma – Santiago – Pacífico, el valor de la disponibilidad natural media per cápita es preocupantemente bajo.”⁴

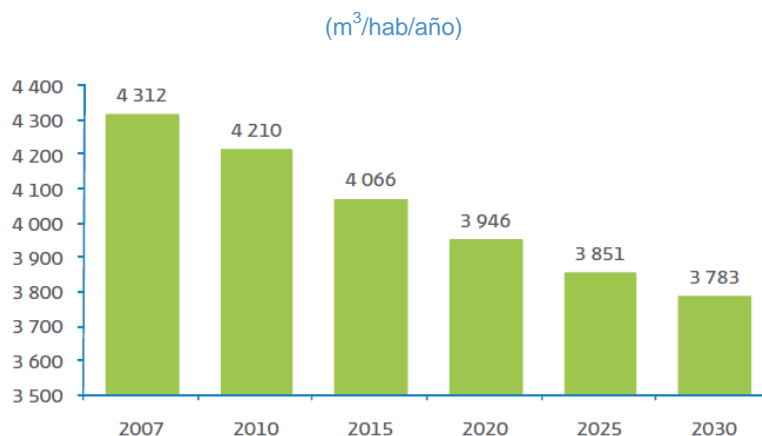
Los siguientes dos gráficos que se presentan a continuación muestran la variación en la disponibilidad natural media per cápita del agua en México desde la década de los cincuentas hasta el año 2005 y las proyecciones esperadas desde el 2007 hasta el 2030.

Gráfico 2 Variación de la disponibilidad natural media per cápita del agua, de 1950 a 2005



NOTA: El dato de disponibilidad natural total, en millones de metros cúbicos por año, es de 458 100. Para los años 1950, 1960, 1970, 1980, 1990 y 2000, los datos de población fueron interpolados al 31 de diciembre de cada año con base en datos censales del INEGI. Para los años 1995 y 2005 también se realizó la interpolación al 31 de diciembre de cada año, pero con base en datos del Censo del INEGI.
Fuente: CONAGUA. Subdirección General Técnica. México, 2008.

Gráfico 3 Proyecciones de la disponibilidad natural media de agua per cápita en México, años seleccionados de 2007 a 2030



NOTAS: Los datos considerados fueron los siguientes:
Para disponibilidad natural media total, 458 100 millones de metros cúbicos por año (dato del año 2007).
Para la población, los datos son estimados a diciembre, con base en las proyecciones de población de CONAPO 2005-2050.
FUENTE: CONAGUA. Subdirección General de Programación. Elaborado a partir de datos de: CONAPO. Proyecciones de la Población de México 2005-2050. México, 2007.
CONAGUA. Subdirección General Técnica.

⁴Comisión Nacional del Agua. (2009). *Estadísticas del Agua en México 2008*. México, D.F.: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

➤ **Acueductos más importantes en el país**

Debido a la situación que el país atraviesa en cuanto a la distribución del agua potable, ha sido necesaria la creación de grandes obras de infraestructura hidráulica que transporten el agua de una región a otra. La siguiente tabla nos muestra los proyectos de conducción de agua potable desarrollados en el país con características similares a las que se presentarán en el presente trabajo.

Cuadro 1 Principales Acueductos de México por región hidrológico-administrativa, 2008⁵

No.	Acueducto	Región Hidrológico Administrativa	Longitud (km)	Caudal de diseño (L/s)	Año de Terminación	Abastece a	Responsable de la operación
1	Río Colorado-Tijuana	I Península de Baja California	130	4 000	1982	Ciudades de Tijuana y Tecate y al poblado La Rumorosa en Baja California.	Comisión de Servicios de Agua del Estado de Baja California (COSAE)
2	Vizcaíno-Pacífico Norte	I Península de Baja California	206	62	1990	Localidades de Bahía Asunción, Bahía Tortugas y poblados pesqueros de Punta Abreojos en Baja California.	Organismo operador del municipio de Mulegé, B.C.
3	Sistema Cutzamala	IV Balsas y XIII Aguas del Valle de México	162	19 000	1993	La Zona Metropolitana de la Ciudad de México con agua de las presas Valle de Bravo, Villa Victoria y El Bosque, entre otras.	CONAGUA

⁵FUENTE: CONAGUA. Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento.

4	Linares Monterrey	VI Río Bravo	133	5 000	1984	Al área Metropolitana de la ciudad de Monterrey, N.L., con agua de la presa Cerro Prieto.	Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I .P. D.
5	El Cuchillo- Monterrey	VI Río Bravo	91	5 000	1994	Al área metropolitana de la ciudad de Monterrey con agua proveniente de la presa el Cuchillo	Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D.
6	Lerma	VIII Lerma-Santiago-Pacífico y XIII Aguas del Valle de México	60	14 000	1975	Ciudad de México con agua de los acuíferos localizados en la zona alta del Río Lerma.	Sistema de Aguas de la Ciudad de México.
7	Armería- Manzanillo	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	50	250	1987	Ciudad de Manzanillo, Colima.	Comisión de Agua Potable, Drenaje y Alcantarillado de Manzanillo, Colima.
8	Chapala- Guadalajara	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	42	7 500	1991	La zona metropolitana de la ciudad de Guadalajara con agua del Lago de Chapala	Sistema Intermunicipal para los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado (SIAPA)
9	Presa Vicente Guerrero- Ciudad Victoria	IX Golfo Norte	54	1 000	1992	Ciudad Victoria, Tamaulipas con agua proveniente de la presa Vicente Guerrero	Comisión Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (COMAPA Victoria).
10	Uxpanapa-La Cangrejera	X Golfo Centro	40	20 000	1985	22 industrias ubicadas en la parte sur del estado de Veracruz	CONAGUA
11	Yurivia- Coatzacoalcos y Minatitlán	X Golfo Centro	64	2 000	1987	Ciudades de Coatzacoalcos y Minatitlán, Ver. con agua del Río Ocotol y Tizizapa.	Comisión Municipal de Agua y Saneamiento de Coatzacoalcos, Ver. (CMAPS Coatzacoalcos)

12	Río Huitzilapan-Xalapa	X Golfo Centro	55	1 000	2000	Ciudad de Xalapa de Enríquez, Ver.	Comisión Municipal de Agua y Saneamiento de Xalapa (CMAS)
13	Chicbul-Ciudad del Carmen	XII Península de Yucatán	122	390	1975	Localidades de Sabancuy, Isla Aguada y Ciudad del Carmen, Campeche.	Sistema Municipal de Agua Potable de Ciudad del Carmen, Campeche.

Como complemento del cuadro anterior, se desarrolló el siguiente cuadro con base en la información obtenida a través del Programa Nacional de Infraestructura, dejándonos ver claramente los montos y la población beneficiada.⁶

Cuadro 2 Resumen Acueductos en México

Proyecto	Monto de inversión	Habitantes beneficiados
Acueducto Río Colorado - Tijuana	\$ 1 490 millones	1,3 millones
Acueducto Actopan – Pachuca	\$ 800 millones	230 mil
Acueducto Conejos – Médanos	\$ 1 327 millones	1,3 millones
Acueducto Chicbul – Ciudad del Carmen	\$ 800 millones	150 mil
Acueducto Paso de Vaqueros	\$119 millones	70 mil
Proyecto Acueducto Querétaro II	\$2854 millones	850 mil
Proyecto el Zapotillo	\$7765 millones	1,4 millones
Proyecto el Realito:	\$3886 millones	800 mil
Proyecto Paso Ancho:	\$2500 millones	500 mil

Podemos ver que el acueducto el Zapotillo es el proyecto con el mayor monto y con la mayor población beneficiada, por lo que es importante señalarlo y describir sus características más esenciales, además de que es el antecedente más próximo.

➤ **Proyecto el Zapotillo:⁷**

Consiste en el “otorgamiento de una concesión por 25 años 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 y para la prestación del servicio hidráulico, consistente en el suministro de agua en bloque potabilizada al municipio de León en el estado de Guanajuato y la preparación de los sitios de conexión para los municipios de Los Altos de Jalisco en el estado de Jalisco, que será integrada por la línea de conducción, dos plantas de bombeo, una planta potabilizadora, un tanque regulador y un macro circuito de distribución en la ciudad de León, Gto.⁸

⁶CONAGUA. (s.f.). <http://www.cmic.org>. Recuperado el 03 de 09 de 2011, de http://www.cmic.org/mnsectores/agua/presentaciones_2008/Seguimiento_PNI.pdf

⁷IDEM.

⁸ Descripción incluida en las Bases de Concurso Público Internacional No. CNA-SGAPDS-OCLSP-JAL-GTO-10-001 CP

Ilustración 2 Traza del Acueducto El Zapotillo



Datos básicos:⁹

Presa de almacenamiento:	911 Mm ³
Altura de la cortina:	105 m
Acueducto (longitud promedio):	149 km
Diámetro (promedio):	2,5 m
Altura de bombeo:	500 m
Beneficio social:	1,4 millones de habitantes

Además contará con:

- Planta potabilizadora (3,8 m³/s)
- Dos plantas de bombeo.
- Tanque de almacenamiento (100 mil m³)
- Macro circuito de distribución en la ciudad de León, Gto.

La inversión se dividirá en dos fases:

1. Construcción de la presa	\$2406 millones
2. Entrega de agua en bloque	\$5359 millones
Total	\$7765 millones

⁹IBID., p.12

1.3 ENTORNO ESTATAL.

Una vez entendido el panorama global y el nacional, podremos enfocarnos en nuestra población de proyecto, la Ciudad de Aguascalientes, pero antes de meternos en materia es necesario situarnos geográficamente, para ello describiremos en primer lugar la macro localización y posteriormente la micro localización.

1.3.1 Macro localización.

La Comisión Nacional del Agua con el fin de organizar la administración y la preservación de las aguas nacionales ha dividido el país en 13 Regiones Hidrológico – Administrativas en dónde la cuenca es la unidad básica de gestión de los recursos hídricos.

El siguiente mapa nos deja ver claramente las 13 Regiones Hidrológico – Administrativas:

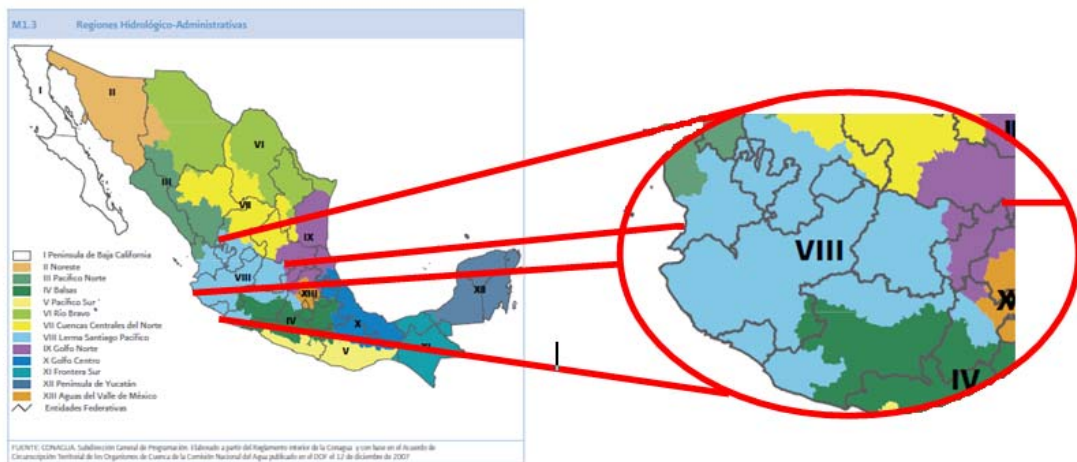
Ilustración 3 Regiones Hidrológico – Administrativas¹⁰



La macro localización de nuestro proyecto la ubicaremos en la Región Hidrológico – Administrativa número VIII, correspondiente a la cuenca Lerma – Santiago – Pacífico.

¹⁰ CONAGUA. Subdirección General de Programación. Elaborado a partir del Reglamento Interior de la Conagua y con base en el Acuerdo de Circunscripción Territorial de los Organismos de Cuenca de la Comisión Nacional del Agua publicado en el DOF el 12 de diciembre de 2007

Ilustración 4Ampliación de la Región Hidrológica Administrativa número VIII¹¹

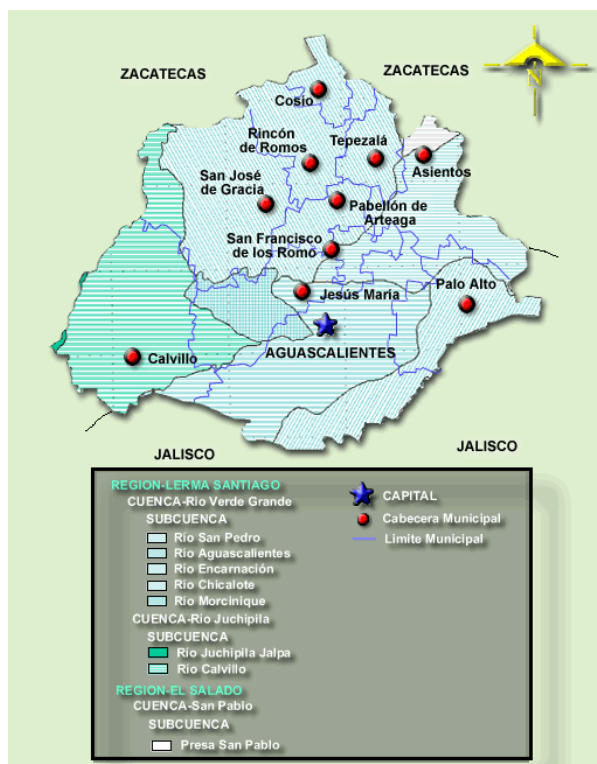


1.3.2 Micro localización.

Como hemos observado, nuestro estudio se enfoca en la problemática del agua en la ciudad de Aguascalientes, por lo que a continuación se presenta la imagen de las regiones hidrológicas que envuelven al estado del mismo nombre.

¹¹CONAGUA. Subdirección General de Programación. Elaborado a partir del Reglamento Interior de la Conagua y con base en el Acuerdo de Circunscripción Territorial de los Organismos de Cuenca de la Comisión Nacional del Agua publicado en el DOF el 12 de diciembre de 2007

Ilustración 5 Regiones Hidrológicas de Aguascalientes¹²



¹² El estado de Aguascalientes está comprendido en parte de las regiones hidrológicas "Lerma-Chapala-Santiago" que comprende la mayor parte de su superficie con 5 658.70 Km² y "El Salado" mínima porción en la parte noreste con 73.17 km².

Región Hidrológica "Lerma-Chapala-Santiago" (No. 12): La parte que corresponde a esta región dentro del estado de Aguascalientes es la más importante, no sólo por representar el 98% de la superficie estatal sino por incluir prácticamente el total de su población y el de la industria existente. De toda esta parte del estado se desprenden ríos tributarios que son los afluentes principales del Río Santiago y que algunas ocasiones son orígenes de estos mismos.

Cuenca Río Verde Grande: Se ubica en toda la parte norte y centro en toda la porción sur y sureste del estado de Aguascalientes, y drena una superficie de 4 384.37 Km². El Río Verde Grande es el más importante de los afluentes derechos del Río Grande Santiago; se origina en el estado de Zacatecas donde se desarrolla la parte más elevada de su cuenca: Río San Pedro, Río Aguascalientes, Río Encarnación, Río Chicalote y Río Morcinique, que pertenecen al estado de Aguascalientes.

La corriente del Río Aguascalientes tiene su origen justo al norte de la ciudad de Aguascalientes, y sigue la dirección sur hasta terminar en la unión con el Río Verde Grande.

Cuenca Río Juchipila: Drena una superficie de 1 201.16 km². La porción correspondiente al estado se ubica en toda la parte oeste y suroeste.

La corriente principal de esta cuenca tiene su origen 10 km al sur de Zacatecas y conserva una dirección general al suroeste con un recorrido total de 250 km hasta su confluencia en el Río Grande Santiago. Las subcuencas intermedias son: Río Calvillo, que es uno de los afluentes principales del Río Juchipila y Río Zapoqui ubicado al norte de esta cuenca.

Región Hidrológica "El Salado" (No. 37): Esta región es una de las vertientes anteriores más importantes del país, por ser un conjunto hidrográfico constituido por una serie de cuencas cerradas de diferentes dimensiones.

Esta región hidrológica aporta muy poco volumen de agua al estado de Aguascalientes y se ubica en una pequeña porción al noreste del estado. Sólo una cuenca queda dentro de los límites que corresponden a este último.

Cuenca San Pablo y otras: Esta cuenca, que cuenta con 73.17 km² de superficie, no presenta escurrimientos ni almacenamientos importantes, y tiene una sola sub cuenca intermedia: la presa San Pablo.

1.3.3 Antecedentes.

➤ **Antecedente de infraestructura hidráulica en la ciudad de Aguascalientes (Qanat).**

“Muchos de los grandes trabajos que se requirieron para valorizar estas tierras se desarrollaron en el transcurso del siglo XVII. En la villa se invirtió mucho trabajo, el primer y mayor esfuerzo se dedicó a la conducción del agua desde el Ojocaliente. Para realizar esta obra fue necesaria la cooperación del grueso de la población: a la cabeza de las obras estuvieron el clero y el ayuntamiento. En 1644 cuando paso por Aguascalientes el oidor don Cristóbal de la Torre, ya todo funcionaba; el acueducto, las acequias, el surtidor. Gracias al agua que llegó hasta el barrio de Triana, la villa tomaba otro aspecto. Las huertas, los chilares, los melonares, las viñas, todo fructificaba.” (Rojas, 1995)¹³

¹³(Radiogrupos), J. A. (s.f.). <http://www.radiogrupos.com.mx>. Recuperado el 09 de Octubre de 2011, de http://www.radiogrupos.com.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=7420:mas-de-30-millones-de-m3-de-agua-se-desperdician-cada-ano-en-aguascalientes-por-fugas&catid=5:local&Itemid=14

BIONERSIS. (s.f.). <http://www.bionersis.com/es/lexique>. Recuperado el 05 de Octubre de 2011, de <http://www.bionersis.com/es/lexique>

Blanca Jiménez Cisneros, M. L. (2010). *El Agua en México: Cauces y Encauces*. México, DF: Academia Mexicana de Ciencias.

Cámara de Diputados. (2003). *Servicio de investigación y análisis*. Recuperado el 06 de Marzo de 2011, de <http://www.diputados.gob.mx/bibliot/publica/inveyana/polisoc/dps03/9elagua.htm#172>

Centro de Educación Ambiental, Cultural y Recreativo el Cedazo: Gobierno del Estado de Aguascalientes. (2010). Recuperado el 05 de Marzo de 2011, de <http://www.aguascalientes.gob.mx/ima/areasverdes/cearcedazo.aspx>

Comisión Federal de Electricidad. (s.f.). Recuperado el 17 de Septiembre de 2011, de <http://www.cfe.gob.mx/negocio/conocetarifa/Paginas/Tarifas.aspx>

Comisión Nacional del Agua. (2009). *Estadísticas del Agua en México 2008*. México, D.F.: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Comisión Nacional del Agua. (10 de julio de 2009). *Proyecto Emblemáticos. Programa Nacional Hídrico 2007 - 2012*. México, D.F.: Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento.

Comité Técnico de Aguas Subterráneas. (s.f.). www.cotas.org.mx. Recuperado el 04 de 09 de 2011, de

El acueducto “qanat” trazado anteriormente aprovechaba las aguas subterráneas de los manantiales del oriente de la villa, mientras que el proyecto del que hoy hablamos estaría

<http://www.cotas.org.mx/documentos/Escenarios%20Agua%20Acuifero%202015%20y%202030%20Cotas%202006.pdf>

CONAGUA. (2010). *Guía sobre la Participación Privada en la Prestación de los Servicios de Agua y Saneamiento*. México DF: SEMARNAT / CNA - OMM 2005.

CONAGUA. (s.f.). <http://www.cmic.org>. Recuperado el 03 de 09 de 2011, de http://www.cmic.org/mnsectores/agua/presentaciones_2008/Seguimiento_PNI.pdf

CONAGUA. (Agosto de 2010). *Subdirección General Técnica*. Recuperado el 06 de Marzo de 2011, de Presentación de los resultados de los estudios técnicos de los acuíferos: http://www.cotas.org.mx/documentos/Aguascalientes_Ojocaliente_Encarnaci%F3n-Agosto2010x.pdf

CONAGUA. (s.f.). www.conagua.gob.mx. Recuperado el 04 de 09 de 2011, de http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/pdf-vedas%20subterr%C3%A1neas/32-zac/760520_MEDIALUNA_ZAC.pdf

INEGI. (s.f.). www.inegi.gob.mx. Recuperado el 03 de 09 de 2011, de <http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/perspectivas/perspectiva-ags.pdf>

Palerm-Viqueira, J. (s.f.). *Las galerías filtrantes o qanats en México: introducción y tipología de técnicas*. Estado de México , México.

Rodríguez, O. d. (s.f.). www2.ine.gob.mx. Recuperado el 05 de Octubre de 2011, de <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/508/alternativas.pdf>

Rojas, B. (1995). *Breve historia de Aguascalientes*. México, DF.: Fideicomiso Historia de las Américas, El Colegio de México y el Fondo de Cultura Económica.

SEMARNAT. (s.f.). [/sinat.semarnat.gob.mx](http://sinat.semarnat.gob.mx). Recuperado el 03 de 09 de 2011, de <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/ags/estudios/2006/01AG2006HD019.pdf>

SEMARNAT. (s.f.). sinat.semarnat.gob.mx. Recuperado el 04 de 09 de 2011, de <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/nay/estudios/2002/18NA2002E0001.pdf>

Zermeño de León, D. E., Esquivel Ramírez, I. R., Hernández Navarro, I. A., Mendoza Otero, M. E., & Arellano Sánchez, L. J. (s.f.). *Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Recuperado el 06 de Marzo de 2011, de Influencia de la extracción del agua en la subsidencia y agrietamiento de la ciudad de Aguascalientes : <http://www.uaa.mx/investigacion/revista/archivo/revista32/Articulo%202.pdf>

aprovechando las aguas superficiales de alguna cuenca que cubra con ciertas características para su aprovechamiento.

“La galería filtrante o qanat es una técnica milenaria originada en el cercano oriente para llevar a la superficie aguas subterráneas por gravedad. Se caracteriza por alumbrar con técnica minera aguas ocultas en abanicos aluviales. Es una tecnología tradicional, en el sentido que el conocimiento para su construcción es de poblaciones locales, y su introducción en México data de inicios de la colonia, o inclusive se propone un origen prehispánico. Aquí se discute la evidencia de las fechas de construcción de galerías en México con base en los casos existentes de qanats y su vínculo con técnicas en la minería, así como la evidencia de construcción ingenieril o de la población local con conocimiento tradicional. Se examina también la diversidad tecnológica de los qanats en México y en otras partes del mundo.”¹⁴ (Palerm-Viqueira)

En la página del gobierno del estado encontramos la longitud de este acueducto y observamos que al final, el acueducto no solo sirvió para abastecer a la población sino también a las huertas aledañas:

“Entre 1786 y 1814 se construyó la cañería del acueducto subterráneo de el cedazo, con una longitud aproximada de 4 km con el fin de abastecer de agua limpia a la villa de Ags., se concluyó en el porfiriato con el fin de regar las huertas del oriente del antiguo Aguascalientes.”¹⁵

➤ **Estudio antecedente a este trabajo; “Estudio de abastecimiento a largo plazo de Zacatecas, Zac. Y Aguascalientes Ags.”¹⁶**

Este estudio es un trabajo realizado en el año de 1993 por la empresa Proyectos de Infraestructura S.A de C.V., por encargo de la Comisión Nacional del Agua y ha servido como base y punto de arranque para nuestro trabajo. Este trabajo sigue una línea de investigación similar al actual.

- Identificación de la problemática.
- Proyección del crecimiento de la población y determinación del gasto de diseño.
- Detección de posibles fuentes de abastecimiento mediante cartas topográficas de INEGI.

¹⁴Palerm-Viqueira, J. (s.f.). Las galerías filtrantes o qanats en México: introducción y tipología de técnicas. Estado de México , México.

¹⁵<http://www.aguascalientes.gob.mx/ima/areasverdes/cearcedazo.aspx> (Centro de Educación Ambiental, Cultural y Recreativo el Cedazo: Gobierno del Estado de Aguascalientes., 2010)

¹⁶Estudio de Fuentes de Abastecimiento a largo Plazo para la ciudad de Aguascalientes, Ags., y Zacatecas, Zac. Comisión Nacional del Agua. Subdirección General de Infraestructura Hidráulica Urbana e Industrial Gerencia de estudios y proyectos. Proyectos de Infraestructura S.A. de C.V.; Contrato: SGIHUI-94-331D

- Realización de funcionamiento de vasos o análisis de excedentes.
- Diseño de la línea de conducción.
- Determinación de costos de la línea de conducción y costos por bombeo.
- Valoración e identificación de la alternativa más viable.

El objetivo del proyecto “Estudio de abastecimiento a largo plazo de Zacatecas, Zac. Y Aguascalientes Ags.”, era proponer alternativas de solución al problema de la escasez de agua en Aguascalientes; en donde concluyeron que las alternativas más viables eran:

1. Presa El Chique
2. Presa Huanusco
3. Presa Niágara

Sin embargo, en el presente trabajo analizaremos dichas conclusiones y comprobaremos si siguen siendo válidas.

➤ **Precedente importante: Concesión integral para la prestación del servicio de abastecimiento de agua potable y alcantarillado.¹⁷**

La concesión de la prestación del servicio integral para el abastecimiento de agua potable a un particular, tuvo su origen precisamente en el estado de Aguascalientes, como señala la publicación de la Comisión Nacional del Agua “Guía sobre la Participación Privada en la Prestación de los Servicios de Agua y Saneamiento”, en la cual también se puede ver que:

“... la prestación de servicios de agua en forma integral. Se considera exitosa porque a través de este contrato:

Se ha aumentado la eficiencia del organismo operador – Una mayor proporción de la población se abastece con la misma cantidad de agua. En otras palabras, se ha aumentado la eficiencia técnica, al reducir las pérdidas de agua. En cuanto al desempeño comercial, se recauda el 98 de lo facturado.

Se ha logrado prestar servicio de agua al 98 por ciento de las residencias en la ciudad, y servir a áreas rurales con pozos para 100 – 150 residencias cada uno.

¹⁷ Óp. Cit.

Bajo el contrato de concesión, la operadora privada extrae agua en bloque, la trata, distribuye a clientes, factura, cobra, y provee servicio a los clientes...”¹⁸ (CONAGUA, 2010)

➤ **Estadísticas del agua en Aguascalientes¹⁹**

Cuadro 3 Infraestructura y servicios hidráulicos, 2008

Concepto	Nacional	Entidad	Lugar Nacional
----------	----------	---------	----------------

¹⁸CONAGUA. (2010). *Guía sobre la Participación Privada en la Prestación de los Servicios de Agua y Saneamiento*. México DF: SEMARNAT / CNA - OMM 2005.

¹⁹INEGI. (s.f.). *www.inegi.gob.mx*. Recuperado el 03 de 09 de 2011, de <http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/perspectivas/perspectiva-ags.pdf>

a/ Caudales estimados en función de los siguientes parámetros: población, producción, coeficiente de aportación y cobertura de alcantarillado. Puede incluir descargas al alcantarillado municipal de usuarios con fuentes de abastecimiento propias.

b/ Porcentaje respecto al agua residual colectada. Puede darse el caso de que el caudal de agua residual tratada sea mayor a la colectada debido a que existen usuarios con fuentes de abastecimiento propias que descargan al alcantarillado municipal.

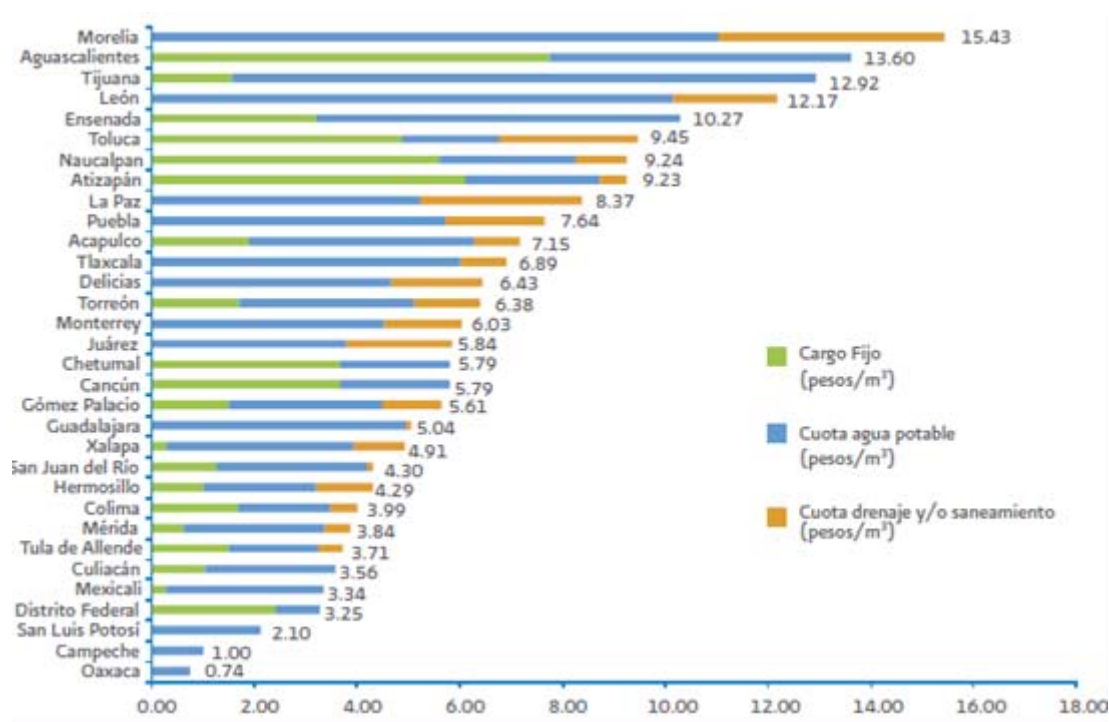
c/ El agua facturada es aquella parte del agua suministrada para uso público urbano para el que la entidad prestadora del servicio expida un formato de pago y represente una fuente potencial de ingresos para la misma. La recaudación puede incluir pagos correspondientes a periodos anteriores. Datos estimados a partir de 506 entidades prestadoras del servicio.

Agua suministrada (litros por segundo)	328 176.0	3 919.5	26°
Agua desinfectada para consumo humano (%)	97.1	94.7	27°
Dotación de agua potable por habitante (litros por habitante día)	274	302	16°
Plantas potabilizadoras de agua en operación	631	3,00	25°
Capacidad instalada (litros por segundo)	133 090.5	44,00	23°
Caudal potabilizado (%)	66,70	59,10	21°
Agua residual generada (litros por segundo) a/	237 460	2.744,00	27°
Agua residual colectada (litros por segundo) a/	209 094	2 659	25°
Plantas de tratamiento de aguas residuales en operación			
Municipales	2 029	117	5°
Capacidad instalada (litros por segundo)	120 860.9	4 099.5	14°
Caudal tratado (litros por segundo)	88 127.1	3 354.2	11°
Cobertura de tratamiento (%) b/	42,10	126,10	1°
Industriales	2 186	53,00	15°
Capacidad instalada (litros por segundo)	72 468.6	253.6	26°
Caudal en operación (litros por segundo)	36 700.0	119.8	26°
Participación respecto al agua residual generada (%)	15.5	4.4	22°
Agua facturada (millones de pesos) c/	36 638.0	569.1	19°
Recaudación (%)	73.9	91.0	3°

El cuadro anterior nos ha mostrado que Aguascalientes se sitúa en uno de los principales sitios en materia de recaudación por concepto de agua facturada; motivo el cual nos alienta a que un proyecto de gran envergadura pudiese llegar a ser factible económicamente.

Si a lo anterior le sumamos que Aguascalientes es una de las entidades con las tarifas de agua potable y alcantarillado más elevadas, podríamos pensar que tenemos un margen considerable para las propuestas de solución.

Gráfico 1 Tarifas domésticas de agua potable, alcantarillado y/o saneamiento en algunas ciudades 2007, (pesos/m³)²⁰



➤ **Infraestructura hidráulica actual en el estado de Aguascalientes:**

Anteriormente en la micro localización habíamos señalado las regiones hidrológicas que comprendían el estado de Aguascalientes, a continuación se presentan las obras de infraestructura hidráulica dentro del estado separándolas por regiones hidrológicas.

- **Región Hidrológica "Lerma-Chapala-Santiago" (No. 12)**

- **Cuenca Río Verde Grande**

- **Presa Calles:²¹**

Su construcción se inició en 1927, esta obra tiene el propósito de abastecer 6000ha del distrito de riego 001 y también regular las avenidas del río Santiago. La cortina es de arco de

²⁰ CONAGUA: Subdirección General de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento

NOTA: Tarifa más alta aplicable para un consumo de 30m³/mes

²¹Estudio de Fuentes de Abastecimiento a largo Plazo para la ciudad de Aguascalientes, Ags., y Zacatecas, Zac.

Comisión Nacional del Agua. Subdirección General de Infraestructura Hidráulica Urbana e Industrial Gerencia de estudios y proyectos. Proyectos de Infraestructura S.A. de C.V.; Contrato: SGIHUI-94-331D

concreto con contrafuertes, de 63m de altura y 283m de longitud; la obra de toma se encuentra en el centro de ésta, y el vertedor, de cresta libre con capacidad de descarga de 700 m³/s, en la margen derecha. La capacidad total del vaso es de 340 millones de m³, aunque cabe señalar que a la fecha nunca se ha cubierto dicho volumen. Otros usos de esta obra son el abastecimiento de agua potable a San José de Gracia y la pesca de diversas especies.

- **Presas Jocoque y Pabellón:**²²

Estas presas son derivadoras y complementan el sistema hidráulico que alimenta al distrito de riego. La primera, sobre el río Santiago deriva los volúmenes extraídos de la Presa Calles Principal; consta de cortina de arcos múltiples, dos obras de toma y un pequeño vertedor; en realidad toda la cortina puede funcionar como vertedor. La derivadora Pabellón conecta los escurrimientos del río Pabellón hacia la Presa Calles por medio del túnel 2; tienen una cortina de arco de concreto, con obra de demasías en el centro y obra de toma en la margen derecha.

- **Distrito de Riego 001, Pabellón:**²³

El Distrito de Riego de 001 hasta el año 2006 estaba conformado como bien se indica en el trabajo “Estudio de abastecimiento a largo plazo de Zacatecas, Zac. Y Aguascalientes, Ags.”:

“... Se localiza en la porción central del valle de Aguascalientes, extendiéndose a una superficie aproximada de 11,948ha que incorporan a los municipios de Pabellón, Rincón de Romos, Tepezalá y Aguascalientes. El consumo de aguas en el distrito alcanza un volumen estimado de 70.2x10⁶ m³ anuales que responden a diferente tipo de aprovechamiento del recurso: 46.1 x10⁶ m³ esto es, el 65% procede de la extracción de agua subterránea, a través de 26 pozos ejidales y 198 de pequeños propietarios; el 35% restante obedece a la captación de agua superficial que representa el 24.1 x10⁶ m³ anuales.

El canal principal cuenta con una capacidad de 13 m³/s y su longitud es de aproximadamente 46.5 km; las desiguales características de revestimiento, 18.4 km de concreto, 11 construidos de mampostería y 17.1 sin recubrir, explican la reducida eficiencia en la conducción es este canal cuyas condiciones constructivas propician importantes pérdidas por filtración. La red de canales laterales alcanzan 80.89 km de longitud de los cuales tan sólo 32 se encuentran revestidos; la extensión de drenes se aproxima a los 22.5 km, situándose la capacidad del dren principal entorno a los 3 m³/s, aunque desafortunadamente se encuentra azolvado en la actualidad.

La producción agraria incluye tanto cultivos de ciclo anual: maíz, frijol, sorgo, ajo, alpiste, cebada, trigo, chile, papa y diversas hortalizas, como frutales, durazno, membrillo y nogal, viñedos especiales de varios cortes, alfalfa...”²⁴

²² *IDEM.*

²³ *IDEM.*

²⁴ *IBID., p. 22*

Sin embargo a partir del año 2006, se comenzó la primera fase de construcción del proyecto de modernización de este distrito de riego, modernización que tiene como objetivos principales:

- Incrementar la eficiencia del uso del agua de un 40% a un 75% (evitando pérdidas por infiltración, evaporación o coleos)
- Lograr una distribución más homogénea y oportuna.
- Disminuir los costos al evitar el bombeo.

“... El proyecto en general consiste en el entubamiento del total del Sistema de Riego 001; mediante tuberías que transportará el agua desde la cortina de la presa Calles, hasta el total de la zona agrícola que comprende el distrito de riego...”²⁵

Estos últimos datos mencionados son de suma importancia para los análisis y deducciones que se harán más adelante en este trabajo, dónde el punto principal a destacar es la gran inversión que se está haciendo en esta zona la cual es destinada al uso agrícola del agua y no del agua potable.

Cuadro 4 Medidas de la infraestructura del proyecto²⁶

Proyecto	Medida
Línea de conducción de tubería desde el inicio del proyecto hasta la plataforma de filtrado	4498 m
Dentro del túnel	1200 m
De la salida del túnel a la base de válvulas	180 m
Total	4878 m
Superficie beneficiada en la zona de riego	6100 ha

- **Presa General Abelardo L. Rodríguez:**²⁷

Esta presa es la segunda en magnitud en el estado, se localiza al oeste de la capital, sobre el Río Morcinique; cuenta con una cortina de tipo gravedad de mampostería de 115m de longitud y 29 de altura, que capta 28.7 millones de m³, cuyo uso principal es el riego de 2000ha.

- **Presa el Niágara**²⁸

Aprovecha el escurrimiento del Río Aguascalientes o San Pedro, aguas abajo de la Ciudad de Aguascalientes, su cortina es de tipo gravedad de 31.5 m de altura y 192 m de largo. Su obra de excedencias se compone de un túnel con vertedor de cresta libre de 40 m, con un

²⁵SEMARNAT. (s.f.). /sinat.semarnat.gob.mx. Recuperado el 03 de 09 de 2011, de <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/ags/estudios/2006/01AG2006HD019.pdf>

²⁶IDEM.

²⁷Estudio de Fuentes de Abastecimiento a largo Plazo para la ciudad de Aguascalientes, Aguascalientes. Comisión Nacional del Agua. Subdirección General de Infraestructura Hidráulica Urbana e Industrial Gerencia de estudios y proyectos. Proyectos de Infraestructura S.A. de C.V.; Contrato: SGIHUI-94-331D

²⁸IDEM

gasto de diseño de 640 m³/s. Esta obra tiene una capacidad de almacenamiento de 16.5 millones de m³, cuyo propósito es el riego de 1750ha de la margen derecha del río.

○ **Cuenca Río Juchipila**

- **Presa La Media Luna²⁹**

Localizada al sureste del estado en el municipio de Calvillo, es la obra hidráulica más importante de esta cuenca. Se construyó en 1970 con la finalidad de abastecer de agua para riego un área de 2,100ha; la cortina es de enrocamiento, con un vertedor lateral de cresta libre en la margen derecha.

La capacidad de almacenamiento de esta presa alcanza los 15 millones de m³, que abarcan una superficie de 9.15ha. En esta obra tiene una evaporación potencial de 166.6 mm además de tener problemas en la dificultad del aprovechamiento debido a que la obra de toma presenta una acumulación de lirio acuático (eutroficación), esto posiblemente debido a la aportación de aguas residuales provenientes de la cabecera municipal a través del Río Calvillo.

- **Presa Malpaso³⁰**

Es la segunda en importancia en esta cuenca, se encuentra sobre el Arroyo Gil, al noreste de Calvillo, fue construida en 1934, con una capacidad total de 6.1 millones de m³. La obra de contención es de mampostería y el vertedor de demasías es de cresta libre. Su función principal es abastecer de agua para riego a una superficie aproximada de 1,000 ha destinadas fundamentalmente al cultivo de frutales; guayaba y durazno delicados.

- **Presa La Codorniz.³¹**

Se encuentra sobre el río La Labor, cercana al poblado Puerta de la Fragua, fue construida en 1959 con la finalidad de abastecer aproximadamente 634ha de regadío. Se compone de una cortina de mampostería de 100 m de longitud y 5 de altura, cuenta con una capacidad de almacenamiento de 4.5 millones de m³.

- **Presa Ordeña Vieja³²**

Al sureste de la Presa La Codorniz, se encuentra la Presa Ordeña Vieja, ubicada sobre el Arroyo Mezquitillo o Temazcal, la cual es de tipo gravedad y fue construida en 1974. Esta obra tiene una capacidad total de almacenamiento de 4 millones de m³, está compuesta por una cortina de mampostería y un vertedor central de cresta libre. La obra de toma se encuentra en la margen derecha y es de tipo canal, siendo la función principal de esta obra la de abastecer de agua para riego a 150ha aproximadamente.

- **Presa Cerro Blanco³³**

²⁹ IDEM

³⁰ IDEM

³¹ IDEM

³² *IBID.*, p. 24

Al oeste de Calvillo, también de tipo gravedad, sobre el arroyo que dio nombre a la obra, se construyó en 1922. Su cortina es de mampostería de 70m de largo y 13.6m de alto, posee una capacidad del almacenamiento 0.75 millones de m³ con lo cual suministra agua para riego a 150ha.

- **Región Hidrológica "El Salado" (No. 37)**
 - **Cuenca San Pablo y otras**³⁴

La naturaleza de la hidrografía no presenta condiciones para la formación de una red hidrográfica, lo cual nos lleva a observar la inexistencia de obras hidráulicas relevantes en el área que esta cuenca ocupa en el estado de Aguascalientes; únicamente cabe mencionar dentro de este apartado de aguas superficiales de pequeños bordos, principalmente destinados al uso pecuario.

³³ *IBID.*, p. 24

³⁴ *IBID.*, p. 24

II DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

2.1 SOBRE EXPLOTACIÓN DEL ACUÍFERO.

Para entender bien el problema tan severo de la ciudad de Aguascalientes en materia de agua es necesario saber en primera instancia que el 100% del agua utilizada para el abastecimiento a la población y a las distintas actividades económicas de la ciudad proviene de los mantos freáticos, tal como lo deja ver el siguiente estudio realizado por la sección de servicios de investigación y análisis de la cámara de diputados:

“... Aguascalientes, reputada en todo México por sus famosos baños termales alimentados por manantiales naturales de agua caliente, ha visto empobrecer su potencial hidráulico a medida que se desarrollan las actividades agrícolas, la industria y la población que se aproxima hoy día a los 800.000 habitantes.

La totalidad de los recursos hidráulicos de Aguascalientes proviene de las capas subterráneas, sobreexplotadas. El sector agrícola absorbe, él solo, más de dos tercios del consumo. La razón de esta situación es que esta región es, como otros estados del centro de México, una zona donde predominan la agricultura y la cría del ganado bovino. Por otra parte, la ciudad crece a un ritmo del 3% anual. Podríamos decir que una futura penuria por falta de agua se verá pronto si no se toman medidas severas.

El último estudio del acuífero, financiado por Francia (FASEP) -con un importe de 6 millones de dólares y realizados por la oficina de ingenieros asesores BURGEAP, entre junio de 1997 y junio de 1998- ha concluido que «si las condiciones actuales de explotación se mantienen, existe un riesgo de un descenso de 100 metros en el nivel de los acuíferos de aquí al año 2015». «Si se quisiera restablecer el nivel del acuífero, habría que interrumpir todas las tomas durante 25 años. Para mantenerlo simplemente en este estado, es necesario reducir las tomas, esencialmente de origen agrícola, del orden del 45%. Si no se hace nada, el 70% de las perforaciones de la ciudad de Aguascalientes estarán secas en el año 2015»...” (Cámara de Diputados, 2003)³⁵

El panorama actual de los acuíferos de la zona en estudio es realmente desolador, el siguiente cuadro muestra la sobreexplotación de los acuíferos de la región:

Cuadro 5 Sobreexplotación de Acuíferos de la Región³⁶

Acuífero	Estado	Déficit anual
Valle de Aguascalientes	Aguascalientes	124.29 millones de m ³
Encarnación	Jalisco	42.96 millones de m ³
Ojocaliente	Zacatecas	10.78 millones de m ³

³⁵ Cámara de Diputados. (2003). *Servicio de investigación y análisis*. Recuperado el 06 de Marzo de 2011, de <http://www.diputados.gob.mx/bibliot/publica/inveyana/polisoc/dps03/9elagua.htm#172>

³⁶ CONAGUA. (Agosto de 2010). *Subdirección General Técnica*. Recuperado el 06 de Marzo de 2011, de Presentación de los resultados de los estudios técnicos de los acuíferos: http://www.cotas.org.mx/documentos/Aguascalientes_Ojocaliente_Encarnaci%F3n-Agosto2010x.pdf

Como podemos observar, la región presenta una situación crítica que tiene que ser atendida a la brevedad mediante soluciones precisas que permitan la recarga inmediata de los mantos acuíferos.

Enfocándonos en nuestro caso en estudio, observamos que el acuífero del Valle de Aguascalientes es el que presenta el mayor abatimiento de acuerdo con el Informe de Resultados de los Estudios Técnicos de los Acuíferos desarrollado por la Conagua, en el cual también se muestran los siguientes argumentos:

Cuadro 6 Condiciones Climatológicas³⁷

Precipitación promedio anual	505 mm
Evaporación potencial media anual	2202mm

De la tabla anterior podemos ver que del agua precipitada la mayor parte se evapora, con lo que la recarga del acuífero es aún más complicada.

Por otra parte, en la siguiente ilustración vemos que el 68% del agua extraída es usada en el sector agrícola en primer lugar y en segundo se encuentra el sector público – urbano con un 25.2%

Volumen de extracción total: 430 millones de m³ anuales.

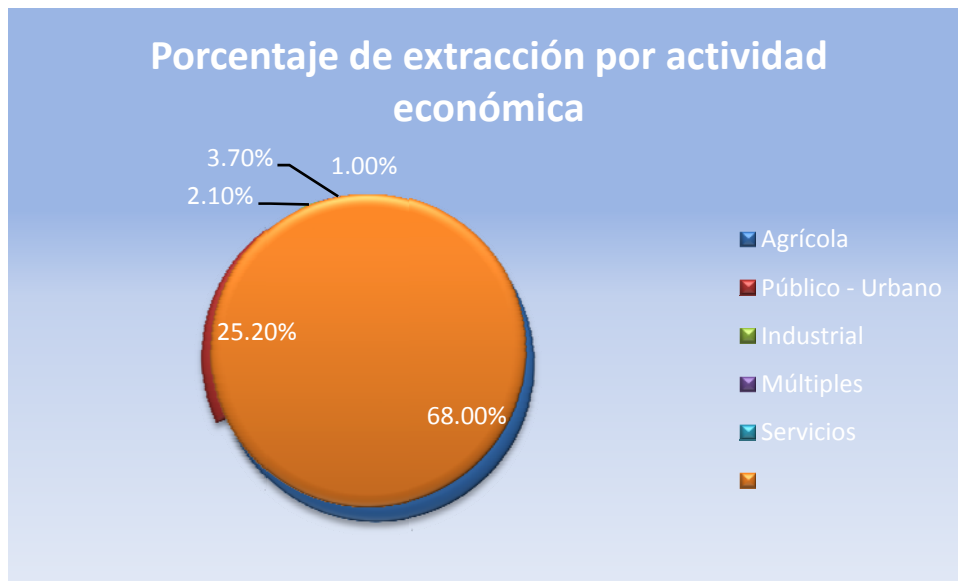
Cuadro 7 Distribución del Recurso por Actividad Económica³⁸

Uso	Porcentaje	Metros cúbicos anuales
Agrícola	68,00%	292.400.000,00
Público – Urbano	25,20%	108.360.000,00
Industrial	2,10%	9.030.000,00
Múltiples	3,70%	15.910.000,00
Servicios	1,00%	4.300.000,00
	100,00%	430.000.000,00

³⁷ CONAGUA. (Agosto de 2010). *Subdirección General Técnica*. Recuperado el 06 de Marzo de 2011, de Presentación de los resultados de los estudios técnicos de los acuíferos: http://www.cotas.org.mx/documentos/Aguascalientes_Ojocaliente_Encarnaci%F3n-Agosto2010x.pdf

³⁸ IDEM.

Gráfico 2 Distribución del Recurso por Actividad Económica³⁹



El déficit en el acuífero del Valle de Aguascalientes de acuerdo a lo publicado en el Diario Oficial de la Federación el 28 de Agosto del 2009 con fecha de corte al 30 de septiembre de 2008 y conforme al método establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000.

Cuadro 8 Cálculo del Déficit en el Acuífero del Valle de Aguascalientes⁴⁰

Concepto	Signo	Millones de m ³
Recarga total media anual	+	235
Descarga natural comprometida	-	10
Volumen concesionado e inscrito en el REPDA	-	349,293136
Disponibilidad media anual de agua subterránea	=	-124,293136

Es importante mencionar que el problema del abatimiento del acuífero no solo genera el escenario de afectación al sistema de abastecimiento de agua potable a la población e industria sino que también se ha identificado un gran problema paralelo de hundimientos y grietas en los terrenos, además de que al extraer el agua cada día a mayor profundidad, ésta se encuentra contaminada con elementos naturales nocivos para la salud del ser humano.

³⁹ CONAGUA. (Agosto de 2010). *Subdirección General Técnica*. Recuperado el 06 de Marzo de 2011, de Presentación de los resultados de los estudios técnicos de los acuíferos: http://www.cotas.org.mx/documentos/Aguascalientes_Ojocaliente_Encarnaci%F3n-Agosto2010x.pdf

⁴⁰ IDEM.

Lo anterior basado en un trabajo realizado por investigadores de la Universidad Nacional Autónoma de Aguascalientes “Influencia de la extracción del agua en la subsidencia y agrietamiento de la ciudad de Aguascalientes”

“... Del análisis de la componente vertical de los levantamientos con GPS de los monumentos de referencia, se observa un hundimiento considerable en la mayor parte de la ciudad, que parece estar relacionado directamente con las variaciones del nivel freático producidos por la sobreexplotación del acuífero de la zona urbana de Aguascalientes...”⁴¹

2.2 PÉRDIDAS EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN.

Un tema inevitable en nuestro trabajo, sin lugar a dudas es el tema de las fugas en el sistema de distribución de agua potable, ya que para poder plantear una alternativa de solución al problema de escasez de agua es imprescindible saber cuánta es la que se pierde por un mal sistema de distribución.

La publicación “El Agua en México: Cauces y Encauces”, editado por Blanca Jiménez Cisneros, María Luisa Torregrosa y Armentia y Luis Aboites Aguilar, nos muestra claramente la situación tan lamentable en la que se encuentra inmerso el país a causa de los malos sistemas de distribución de agua potable. El siguiente cuadro nos muestra las características de las ciudades del país con más de 500,000 habitantes (Ciudades en las que se cuenta con dicha información publicada).

⁴¹Zermeño de León, D. E., Esquivel Ramírez, I. R., Hernández Navarro, I. A., Mendoza Otero, M. E., & Arellano Sánchez, L. J. (s.f.). *Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Recuperado el 06 de Marzo de 2011, de Influencia de la extracción del agua en la subsidencia y agrietamiento de la ciudad de Aguascalientes :

<http://www.uaa.mx/investigacion/revista/archivo/revista32/Articulo%202.pdf>

Cuadro 9 Características de ciudades de más de 500,000 habitantes⁴²

CIUDAD	POBLACIÓN CON AGUA POTABLE	DOTACIÓN (litros/hab./día)	EFICIENCIA FÍSICA	CONSUMO NETO PER CÁPITA (litros/hab./día)	EFICIENCIA COMERCIAL	AÑO DEL ÚLTIMO REPORTE
Acapulco	593078	366	38%	139	87%	2005
Aguascalientes	659701	340	56%	191	91%	2005
Cancún	567963	283	79%	224	66%	2005
Cd. de México	8277960	334	59%	197	78%	2006
Chihuahua	716781	460	53%	244	89%	2006
Ciudad Juárez	1310302	413	69%	244	79%	2005
Culiacán	613144	288	67%	194	88%	2007
Guadalajara*	3408488	231	68%	157	n.d.	2005
Hermosillo	688112	400	47%	187	74%	2007
León	1086298	205	57%	117	70%	2005
Mérida	795146	346	36%	125	92%	2007
Mexicali	718516	325	83%	270	61%	2007
Monterrey*	3459121	275	70%	193	99%	2006
Morelia	587823	452	40%	181	56%	2006
Puebla	1733393	183	68%	124	70%	2007
Querétaro	612156	310	51%	158	100%	2007
Reynosa	536587	294	64%	189	65%	2007
Saltillo	597584	221	55%	221	n.d.	2004
San Luis Potosí	921958	291	51%	150	88%	2007
Tijuana	1486800	191	81%	155	70%	2007
Torreón	557203	307	51%	158	86%	2007
Máximo	8277960	460	83%	270	100%	
Mínimo	536587	183	36%	117	56%	
Promedio	1,425,148	310	59%	182	79%	
Mediana	716781	307	57%	187	79%	

*Zona Metropolitana

Es importante señalar y aclarar que la dotación por habitante por día es el total del agua producida en el año, dividida entre el número de habitantes y entre los 365 días del año; el agua que llega finalmente al consumidor se le llama eficiencia física; con lo anterior, el consumo neto per cápita es la dotación multiplicada por el porcentaje de eficiencia física, que sería. Por otra parte la eficiencia comercial se refiere a la proporción de facturación de agua que realmente se cobra, o bien, cuántos centavos se recaudan por cada peso de agua que se factura, en teoría todos los organismos deberían recaudar 100% de lo que cobra por el servicio de agua.

⁴²Blanca Jiménez Cisneros, M. L. (2010). *El Agua en México: Cauces y Encauces*. México, DF: Academia Mexicana de Ciencias.

Por otra parte encontramos una información publicada por el titular de la Comisión Ciudadana de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Aguascalientes (CCAPAMA) en la que establece que el promedio anual de fugas es de 20 mil reportes lo que representa un desperdicio global de 30 millones de m³.⁴³

En la misma entrevista el titular de dicha dependencia señaló que la zona más conflictiva es precisamente la zona centro, ya que es la que cuenta con la infraestructura más vieja y por ende la más frágil y propensa a fallar; sin embargo, también se mencionó que el 60% de las fugas se dan en las viviendas particulares⁴⁴, por lo que es indispensable que las personas hagan conciencia y revisen sus instalaciones.

No obstante las cifras arriba mencionadas son contundentes y bien fundamentadas, se realizó una consulta por medio del portal de transparencia del gobierno estatal de Aguascalientes, en el cual fuimos canalizados a la Comisión Ciudadana de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Aguascalientes:

PREGUNTA: "BUENAS NOCHES; DE LA MANERA MÁS ATENTA LE SOLICITO ME PROPORCIONE EL PORCENTAJE Y EL MONTO TOTAL EN METROS CÚBICOS DE PÉRDIDAS DE AGUA POTABLE POR CONCEPTO DE FUGAS EN EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN EL MUNICIPIO DE AGUASCALIENTES ACTUALMENTE. SALUDOS."⁴⁵

Para lo cual el C. José Alfonso Rubalcaba Romo, Titular de la Unidad de Enlace de la Comisión Ciudadana de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Aguascalientes, nos contestó:

RESPUESTA: El volumen perdido por concepto de fugas es difícil de cuantificar, sin embargo del volumen que se extrae contra el volumen que se entrega, existe una pérdida aproximada al 35%, que representa alrededor de 2,700,000 m3 aproximadamente.

Como complemento a todo lo anterior, podemos observar en el Anexo 1 de este trabajo, una encuesta de percepción de la ciudadanía de realización propia, representativa de la población de la ciudad de Aguascalientes, en la que podemos observar que el 44.33% de la población reconoce como una causante de la problemática actual el exceso de fugas de agua en el sistema.⁴⁶

⁴³(Radiogrupo), J. A. (s.f.). <http://www.radiogrupo.com.mx>. Recuperado el 09 de Octubre de 2011, de http://www.radiogrupo.com.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=7420:mas-de-30-millones-de-m3-de-agua-se-desperdician-cada-ano-en-aguascalientes-por-fugas&catid=5:local&Itemid=14

⁴⁴Op. Cit. (Radiogrupo)

⁴⁵Solicitud de información presentada en fecha cinco de octubre de dos mil once, en el sistema de solicitudes de información "SISAI" del Gobierno del Estado de Aguascalientes, con número 15154, por el C. FRANCISCO JAVIER GONZALEZ SERNA

⁴⁶De acuerdo a la pregunta No. 6 de la encuesta presentada en el Anexo 1 del presente trabajo, podemos observar que si sumamos todas las opciones que contenga como respuesta "Muchas fugas en el sistema de distribución", nos daría como resultado el 44.33%.

2.3 PÉRDIDAS POR CONSUMO.

Un punto que no debemos de olvidar para nuestro trabajo, es sin lugar a dudas el consumo que se le da al agua por parte de los ciudadanos; ya que es aquí en donde se puede encontrar otro punto de mejora y disminución del gasto de proyecto.

Con base en el siguiente cuadro que representa la integración de la dotación en una ciudad de entre 2500 a 15000 habitantes.

INTEGRACIÓN DE LA DOTACIÓN (l/hab/día)	
Para bebida, cocina y limpia	De 20 a 30
Servicios sanitarios	De 30 a 45
Para baño y regadera	De 20 a 30
Total	De 70 a 105

Obtenemos el siguiente cuadro que representa la integración aproximada de la dotación para la ciudad de Aguascalientes.

INTEGRACIÓN DE LA DOTACIÓN CIUDAD DE AGUASCALIENTES (l/hab/día)	
Para bebida, cocina y limpia	97
Servicios sanitarios	146
Para baño y regadera	97
Total	340

De acuerdo con la encuesta de percepción de los ciudadanos de Aguascalientes presentada en el Anexo 1 de este trabajo, podemos asegurar que:

- El 90% de los habitantes están conscientes de que la ciudad atraviesa una problemática severa en materia de abastecimiento de agua potable.
- El 68% de los habitantes conocen las instalaciones sanitarias ahorradoras de agua.
- Sólo 21% cuenta con alguna instalación sanitaria ahorradora de agua.

III OBJETIVOS

1. Observar y proponer alternativas para disminuir la dotación por habitante en la ciudad de Aguascalientes.
2. Comprobar si las conclusiones del trabajo antecedente a este “Estudio de fuentes de abastecimiento a largo plazo para la ciudad de Aguascalientes, Ags., y Zacatecas, Zac.”, siguen siendo válidas.
3. Realizar el análisis somero de 1 alternativa de solución dentro del estado de Aguascalientes proponiendo un intercambio de derechos de agua con los campesinos.
4. Realizar el análisis de 3 alternativas de solución fuera de del estado de Aguascalientes.
5. Proponer un proyecto a gran visión para dar solución a la problemática del agua en el estado de Aguascalientes.
6. Realizar el diseño a grandes rasgos de la alternativa dentro del estado de Aguascalientes y la de alternativa más viable fuera del estado.
7. Mostrar un análisis económico del proyecto.

IV HIPÓTESIS

Las alternativas de solución presentadas en el trabajo “Estudio de fuentes de abastecimiento a largo plazo para la ciudad de Aguascalientes, Aguascalientes”, desarrollado en el año de 1994 ya no son vigentes debido a que muchas de las condiciones han cambiado.

Este estudio propone una nueva solución al problema que satisfará las necesidades actuales y futuras de la población de la ciudad de Aguascalientes, de una manera sustentable y viable económicamente.

Se considera que la Presa Plutarco Elías Calles en conjunto con las demás presas de almacenamiento del estado, actualmente destinadas únicamente al abasto de campos agrícolas podrían brindar el servicio de abastecimiento de agua potable a la ciudad de Aguascalientes mediante un intercambio de derechos de agua con los campesinos.

Por otro lado, de no ser posible la utilización del agua de la Presa Plutarco Elías Calles y demás presas, se considera que la Central Hidroeléctrica El Cajón” es la alternativa más viable por estar ya construida y en operación aparte de contar mejor infraestructura y comunicación con la ciudad de Aguascalientes lo que reduce los costos de inversión del proyecto de una manera muy significativa.

V ALCANCES

Como hemos observado a lo largo de la introducción de este trabajo, el problema del agua en el estado de Aguascalientes es un problema crítico y complejo en el que se involucra la escasez, la disponibilidad y la propiedad del recurso. Lo anterior genera que este trabajo se enmarque en ciertos límites, lo cuales se describen a continuación:

1. En primer lugar es necesario definir y establecer que entenderemos por Proyecto:

“Es la búsqueda de una solución inteligente al planteamiento de un problema tendiente a resolver, entre muchas, una necesidad humana. En esta forma puede haber diferentes ideas, inversiones de diverso monto, tecnología y metodologías con diverso enfoque, pero todas ellas destinadas a resolver las necesidades del ser humano en todas sus facetas, como pueden ser educación, alimentación, salud, ambiente, cultura, etcétera”⁴⁷

2. En segundo lugar, es necesario mencionar que este estudio es un Proyecto de Gran Visión, por lo cual presentamos la siguiente definición:

“Se elabora a partir de la información existente. En términos monetarios sólo presenta cálculos globales de las inversiones, los costos y los ingresos, sin entrar a investigaciones de terreno.”⁴⁸

3. El análisis de las alternativas se hace a partir de la localización de una posible fuente de abastecimiento de agua potable mediante un programa satelital.
4. No se desarrollarán funcionamientos de vaso, ya que se considera el supuesto de un intercambio de derechos de agua, lo que nos deja entrever que se tendría la capacidad de proveer el servicio de abastecimiento de agua.
5. Para este estudio, las alternativas propuestas en el exterior del estado de Aguascalientes, se propondrán las líneas de conducción en línea recta desde la fuente de abastecimiento hasta la ciudad de Aguascalientes.

⁴⁷Baca Urbina , Gabriel, “Evaluación de Proyectos”, Tercera Edición, Mc. Graw Hill, México 1995.

⁴⁸IDEM

VI DESARROLLO

6.1 ACCIONES DE MEJORA

Llevar a cabo estas acciones nos permitirán reducir las dotaciones y con ello nuestro gasto de diseño.

6.1.1 Mitigación de Fugas de Agua

Tomando en cuenta el Cuadro 5 Características de ciudades de más de 500,000 habitantes, podemos observar lo siguiente:

- Comparación Eficiencia Física:

La mejor eficiencia física la tiene Mexicali con 83%, la peor la ciudad de Acapulco con 38%, mientras que el promedio fue de 57%, lo que significa que el promedio de pérdida en las ciudades es de 43%. Aguascalientes tiene un 56% de eficiencia física y por lo tanto un 44% de pérdidas, con lo que podemos asegurar que se encuentra sobre el promedio.

- Comparación Consumo Neto Per Cápita

Aunque la ciudad de Chihuahua cuenta con la mayor dotación (460 litros diarios) dada su baja eficiencia física (53%), el consumo per cápita es de 244 litros por habitante al día. Por otro lado, el mayor consumo neto es el de Mexicali, que es de 270 litros diarios al tener la mejor eficiencia física de las ciudades analizadas. Por otro lado el menor consumo neto lo tiene la ciudad de León con 117 litros; Aguascalientes tiene un consumo neto per cápita de 191 litros.

- Comparación Eficiencia Comercial:

El promedio de recaudación en las ciudades analizadas es del 79%, Querétaro es la ciudad que más recauda con el 100%, por el contrario la ciudad de Morelia es la que menos recauda con el 56%. Aguascalientes tiene una recaudación del 91%.

Del análisis de las comparativas anteriores podemos ver que establecer un objetivo de reducir las fugas a un 17% como en la ciudad de Mexicali, sería demasiado ambicioso, sin embargo podríamos proponer como objetivo la reducción del 44% actual de pérdidas a un 30% como la ciudad de Monterrey.

De lograr el objetivo anterior, estaríamos hablando de un ahorro en el consumo del 14%; es decir:

Si la dotación:	340 (l/hab/día)
Con un ahorro de 14% nos queda:	292.40 (l/hab/día)

6.1.2 Reducción en el consumo

De acuerdo con el cuadro "Integración de la Dotación de la Ciudad de Aguascalientes" presentado en la sección Pérdidas por Consumo de este trabajo; podríamos asegurar que es posible lograr una disminución en la dotación si los habitantes de la ciudad de Aguascalientes modificaran para bien sus patrones de consumo así como sus instalaciones domiciliarias.

➤ Escusado:

El uso promedio del escusado son 3 descargas diarias por persona, y teniendo en cuenta que cada descarga es de 16 litros tenemos que:

- 48 litros por persona diariamente

Si se intercambiaran por escusados ecológicos de 6 litros por descarga, estaríamos hablando de:

- 18 litros por persona diariamente, con un ahorro de 30 litros por persona diariamente.

➤ Llaves:

El uso promedio de llaves de lavabo son 3 veces por persona por día, y teniendo en cuenta que por cada uso se consumen 0.20 litros tenemos que:

- 0.6 litros por persona diariamente.

Si se intercambiaran por llaves ecológicas o se pusieran reductores de caudal en las llaves de 0.10 litros, estaríamos hablando de:

- 0.30 litros por persona diariamente, con un ahorro de 0.30 litros por persona diariamente.

➤ Cepillado de dientes:

De acuerdo con las recomendaciones para ahorrar agua de la CONAGUA, si cerráramos la llave mientras nos cepillamos los dientes podríamos ahorrar hasta 8 litros por persona diariamente.

➤ Regadera:

El uso promedio de la regadera es de 1 vez por persona por día, y teniendo en cuenta que el promedio de tiempo de cada persona para bañarse es de 15 minutos, sabiendo que las regaderas habituales consumen alrededor de 6 litros por minuto tenemos que:

- 90 litros por habitante diariamente.

Si se intercambiarían por regadera ecológicas o pusieran reductores de caudal en las regaderas de 4 litros por minuto, estaríamos hablando de:

- 60 litros por habitante diariamente, con un ahorro de 30 litros por persona diariamente.

A manera de resumen podríamos hablar de un ahorro total en la dotación de:

INSTALACIÓN SANITARIA	AHORRO (L)
Escusado	30
Llaves	0.30
Cepillado de dientes	8
Regadera	30
Total	68.30

Teniendo en cuenta que en la sección anterior Mitigación de Fugas de Agua, nuestra dotación se estableció en 292.40 (l/hab/día), si le restamos el ahorro obtenido con el consumo nos quedaría de:

$$\text{Dotación} = 292.40 - 68.30$$

$$\text{Dotación} = \mathbf{224.10 \text{ (l/hab/día)}}$$

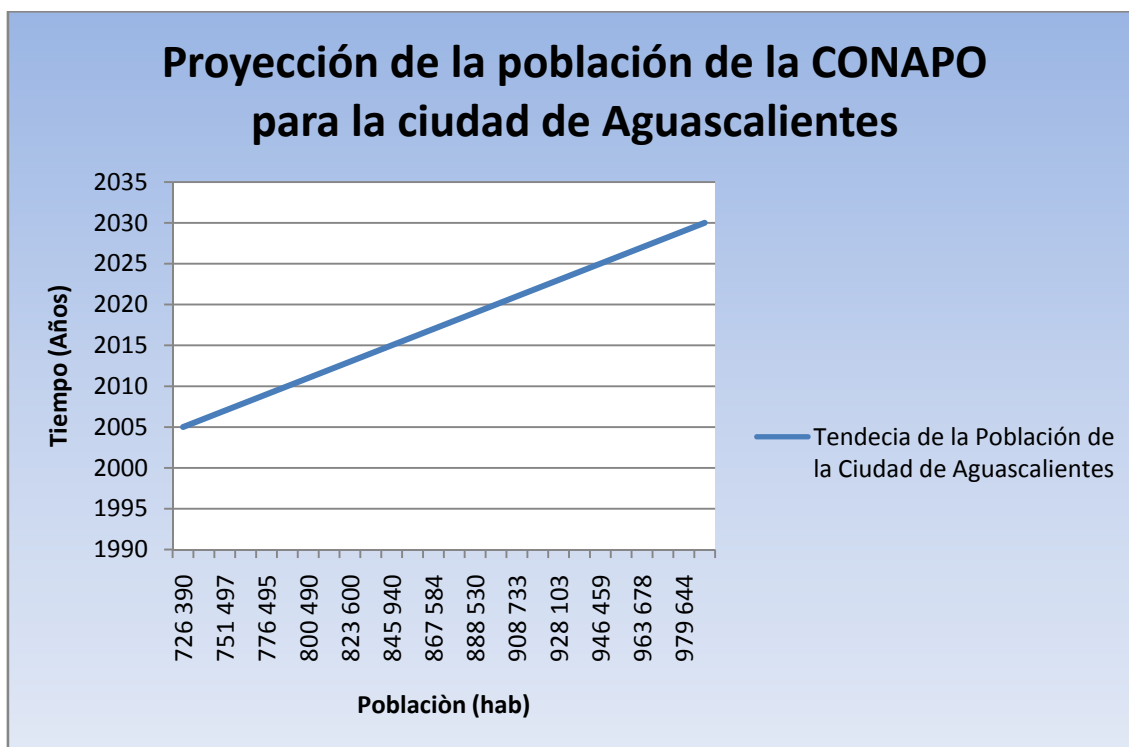
6.2 POBLACIÓN DE DISEÑO

Un punto fundamental para el desarrollo de nuestro proyecto es determinar la población de proyecto ya que de esto dependerá el diseño de todo el sistema de abastecimiento de agua potable.

Para determinar la población de proyecto se tomaron las proyecciones hechas por la CONAPO, las cuales abarcan hasta el año 2030.

Cuadro 10 Proyecciones de la población del municipio de Aguascalientes hechas por CONAPO

Año	Población	Año	Población	Año	Población	Año	Población	Año	Población
2005	726 390								
2006	738 583	2011	800 490	2016	856 835	2021	908 733	2026	955 213
2007	751 497	2012	812 154	2017	867 584	2022	918 533	2027	963 678
2008	764 126	2013	823 600	2018	878 147	2023	928 103	2028	971 832
2009	776 495	2014	834 859	2019	888 530	2024	937 415	2029	979 644
2010	788 602	2015	845 940	2020	898 724	2025	946 459	2030	987 109



Una vez teniendo esta información observamos que las proyecciones de población hasta el año 2030 son insuficientes ya que se ha considerado que este proyecto tenga un periodo de vida útil de 20 años suponiendo un proceder del tiempo como sigue:

1. El primer año se ocuparía para desarrollar los estudios de pre-factibilidad y la ingeniería básica.
2. El segundo año y tercer año se destinarían los estudios de costo beneficio y registro en la SChP y para la liberación de las tierras.
3. El cuarto año se destinaría para liberar la manifestación de impacto ambiental y para comenzar el proceso de licitación.

Con lo anterior proponiendo el año 2012 como el inicio de las actividades referentes a la gestión del proyecto, estaríamos hablando de que en 2016 se pondría en marcha el proyecto, planeando su vida útil para el 2036.⁴⁹

⁴⁹ Nota: para obtener la población de diseño en el siguiente apartado, sabiendo que las proyecciones de población de la CONAPO se muestran hasta el año 2030, se siguió la tendencia de crecimiento hasta el año 2036.

6.3 GASTO DE DISEÑO

De acuerdo con nuestras reducciones en fugas y consumos, observamos que la dotación para la ciudad de Aguascalientes es de 224 (l/hab/día)

Las fórmulas utilizadas fueron:

Gasto medio:

$$Q_m = \frac{\text{Población} * \text{Dotación}}{86400s}$$

Gasto máximo diario:

$$Q_{MD} = CVD * Q_m$$

Gasto máximo horario:

$$Q_{MH} = CVH * Q_{MD}$$

Coefficiente de variación diaria:

$$CVD = 1.20$$

Coefficiente de variación horaria:

$$CVH = 1.50$$

Cuadro 11 Cálculo del gasto de diseño

Año	Población	Dotación	Gasto medio	Gasto máximo diario	Gasto máximo horario
	Hab	l/hab/día	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
2005	726 390				
2006	738 583	340	2.906	3.488	5.232
2010	788 602	340	3.103	3.724	5.586
2015	845 940	340	3.329	3.995	5.992
2020	898 724	340	3.537	4.244	6.366
2025	946 459	340	3.724	4.469	6.704
2030	987 109	340	3.884	4.661	6.992
2036	990 027	224	2.567	3.080	4.620

Nuestro gasto de diseño es de 3.08m³/s.

6.4 ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE A LA CIUDAD DE AGUASCALIENTES

A continuación se presentan las alternativas para la solución del problema de la escasez y disponibilidad del agua en la ciudad de Aguascalientes. Se explicarán las causas por las que se desechan o se aceptan las diferentes alternativas en estudio.

6.4.1 Estado del arte.

En cuanto al estudio en comento realizado por la empresa Proyectos de Infraestructura S.A de C.V, es necesario tener en cuenta que tanto las poblaciones como las dotaciones inferidas fueron menores a las que actualmente se tienen y a las que en un futuro se prevén por los organismos correspondientes (como se puede ver en las sección destinada a la obtención de los parámetros de diseño). Es decir, podemos observar que su población de diseño al año 2010 es de 1,200,423 habitantes y una dotación de 260l/hab/día con lo que obtienen un gasto de diseño de 1m³/s para complementar el abastecimiento dato que dista mucho de lo que este estudio ha obtenido, ya que en este estudio se considera no seguir extrayendo agua del subsuelo para mitigar todos los problemas que esto está provocando

1. Presa El Chique:

Una vez aclarado que el gasto de diseño que ellos encontraron en su estudio fue de 1 (m³/s), el análisis de esta fuente de abastecimiento arrojó que el gasto que se puede extraer de ella es de tan solo 750 (l/s), además de que se provoca un desabasto a las obligaciones que actualmente se tienen con las tierras para cultivo de esta zona y se dejan de producir 25 Gwh, lo que representa un 35% de su producción anual, según este mismo estudio.

No obstante, se investigó más a fondo, y en efecto, se encontró un decreto en el Registro Público de Derechos del Agua (REPGA), en el cual se establece que esta agua se tiene contemplada para la creación de un distrito de riego en esta zona,

“05-20-76 Decreto que declara de utilidad pública el establecimiento de la Unidad de Riego para el Desarrollo Rural “Media Luna”, en terrenos ubicados en los Municipios de Calvillo, Ags., Huanusco y Jalpa, Zac....

... Que el Gobierno Federal por conducto de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, aprobó la construcción de las obras necesarias que permitan el mejor aprovechamiento de las

aguas del río Calvillo y sus afluentes, para el riego de terrenos ubicados en los Municipios de Calvillo, Estado de Aguascalientes, Huanusco y Jalpa, Estado de Zacatecas....”⁵⁰

2. Sitio Huanusco

La construcción de una nueva presa en el municipio de Huanusco, Zacatecas es otra de las alternativas más viables que propone el estudio hecho en el año 1994, sin embargo se ha tomado la decisión de descartar este estudio por las mismas razones por las que se descarta la Presa el Chique.

En primer lugar no cumple con la capacidad de aportar el caudal necesario para la población de diseño y en segundo lugar, como hemos visto en el punto anterior el agua de esta zona ha sido comprometida por el ex presidente de la república Luis Echeverría Álvarez para la creación de un distrito de riego que coadyuve al crecimiento del sector agrícola en esta zona.

6.1.1 Aguas subterráneas

En nuestro estudio hemos descartado desde un inicio cualquier fuente que tenga relación con las aguas subterráneas ya que como hemos podido observar en la presentación de la problemática de este proyecto, los acuíferos de la región presentan un severo abatimiento y consideramos que el manejo de las aguas superficiales conlleva una mayor sustentabilidad del medio ambiente, caso contrario a la extracción del agua subterránea la cual supone una dificultad para la posterior recuperación de los mantos freáticos.

No obstante es necesario hacer notar que en el estudio precedente a nuestro trabajo: “Estudio de abastecimiento a largo plazo de Zacatecas, Zac. Y Aguascalientes, Ags.” ya antes mencionado, considera dentro las conclusiones finales la posibilidad de hacer uso de del acuífero de Encarnación de Díaz y Peñuelas, ambos en el estado de Jalisco, para abastecer parte de la demanda de agua potable de la ciudad de Aguascalientes; sin embargo, desde aquel entonces estas opciones eran poco optimistas, por lo que hoy en día resultan inviables ya que de acuerdo al REPDA podemos observar que estos acuíferos están en veda a causa de la sobre explotación.

6.1.2 Aguas superficiales

En cuanto a las alternativas por medios superficiales, se han dividido de la siguiente manera:

⁵⁰ CONAGUA. (s.f.). *www.conagua.gob.mx*. Recuperado el 04 de 09 de 2011, de http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/pdf-vedas%20subterr%C3%A1neas/32-zac/760520_MEDIALUNA_ZAC.pdf

- Alternativa con agua superficial dentro del estado de Aguascalientes propuesta en este trabajo.
 1. Aprovechamiento del agua de las presas de almacenamiento de agua más importantes del estado (Plutarco Elías Calles, Presa General Abelardo L. Rodríguez, El Niágara, Media Luna, Malpaso, La Codorniz) y reutilización para riego.
 2. Alternativas con aguas superficiales presentadas como las más viables en el trabajo “Estudio de abastecimiento a largo plazo de Zacatecas, Zac. Y Aguascalientes, Ags.”
 - Presa El Chique
 - Presa Huanusco
 3. Alternativas con aguas superficiales propuestas en el presente trabajo.
 - C.H. El Cajón
 - Aprovechamiento Río Bolaños
 - P.H. Las Cruces

6.1.3 Aprovechamiento del agua de las presas de almacenamiento de agua más importantes del estado (Plutarco Elías Calles, General Abelardo L. Rodríguez, El Niágara, Media Luna, Malpaso, La Codorniz) y reutilización para riego.

Como se ha podido observar en los antecedentes de infraestructura hidráulica de Aguascalientes, las presas más importantes del estado en estudio son:

- Plutarco Elías Calles
- General Abelardo L. Rodríguez
- El Niágara
- La Media Luna
- Malpaso
- La codorniz

Esta alternativa consiste en el planteamiento de un sistema de conducciones de estas presas de almacenamiento a la Ciudad de Aguascalientes por medio de acueductos y posteriormente, una vez usada el agua para consumo humano, tratarla y devolverla a los sistemas de riego por medio del intercambio de los derechos de agua con los campesinos de la región.

Este proyecto propuesto, pudiera darse con cierta facilidad técnica, ya que como hemos podido observar en el **Cuadro 3 Infraestructura y servicios hidráulicos, 2008**, Aguascalientes es el 1er lugar en cobertura de tratamiento de agua residual municipal, con lo

que se pudiera cumplir con los requisitos técnicos que requiere el agua para poderse reusar para el regadío de los campos agrícolas.

Sin embargo, el siguiente cuadro nos muestra claramente la debilidad de esta alternativa, la cual radica en que aún reuniendo las principales presas de almacenamiento de agua es imposible conseguir la totalidad del gasto necesario para cubrir con la demanda necesaria para dejar de abatir el acuífero.

Cuadro 12 Posible Aportación de las Presas de Almacenamiento del Estado de Aguascalientes

PRESA	CAPACIDAD	APORTACIÓN AL GASTO
	Mm ³	m ³ /s
Plutarco Elías Calles	340	0.76
General Abelardo L. Rodríguez	28.7	0.06
El Niágara	16.5	0.04
Media Luna	15	0.03
Malpaso	6.1	0.01
La Codorniz	4.5	0.01
TOTAL	410.8	0.92

La siguiente imagen nos muestra claramente lo que se pretendería realizar de existir las condiciones necesarias para lograr aportar el caudal necesario para el abastecimiento de agua potable a la ciudad de Aguascalientes desde la Presa Plutarco Elías Calles. La imagen aquí debajo nos permite ver que la orografía favorece mucho para generar una conducción a gravedad y muy poco bombeo, además se puede observar que la distancia es realmente corta, poco más de 30km aproximadamente.



Descripción Línea de Conducción Agua Potable

1er Planta de bombeo:

Se encuentra en el cadenamamiento 0 + 000, vence una altura de 165 metros en 2.49km

Tanque de Cambio:

Se localizan a una altura de 2155 m.s.n.m. en el cadenamamiento 2 + 490

Línea de conducción a gravedad

Comienza al salir del tanque de cambio de régimen en el cadenamamiento 2 + 490 y termina al llegar a la planta potabilizadora, ya en la ciudad de Aguascalientes en el cadenamamiento 35 + 400, dando una longitud de 32.91 km a gravedad.

6.1.4 Alternativas con aguas superficiales analizadas en el presente trabajo.

A continuación se presentarán y describirán cada una de las alternativas de solución que se proponen en el presente trabajo.

3. Alternativa C.H. El Cajón.



1er Planta de bombeo:

Tomando en cuenta los datos del estudio hecho para la realización de la MIA, modalidad regional del Proyecto Hidroeléctrico El Cajón, podemos obtener la cota a la cual deberíamos de poner nuestra primer planta de bombeo.

Cuadro 13 Elevación y capacidades del embalse del P.H. El Cajón⁵¹

Cota	Descripción	Elevación	Capacidad
		Msnm	Hm ³
	Corona de la cortina	394,50	
NAME	Nivel de aguas máximas extraordinarias	394,00	2369,00
NAMO	Nivel de aguas máximas de operación	391,00	2252,00
NAMINO	Nivel de aguas mínimas de operación	346,00	936,00

Se localiza en el cadenamiento 0+000, a 267 msnm, altura que corresponde al nivel de aguas mínimas de operación según la tabla anterior.

El primer equipo de bombeo bombea una distancia de 6.26 km a través de un túnel como se muestra en la imagen y vence una carga estática de 510m.

1er Túnel:

Inicia al salir de la Planta de Bombeo No. 1 en el cadenamiento 0+000 y termina al entrar a la Planta de Bombeo No. 2 en el cadenamiento 6 + 260.

2da Planta de Bombeo

Se localiza en el cadenamiento 6+260 a una elevación de 803 msnm.

El segundo equipo de bombeo bombea una distancia de 1.94km y vence una carga estática de 355m.

3er Planta de Bombeo.

Se localiza en el cadenamiento 8+200 a una elevación de 870 msnm.

El tercer equipo de bombeo bombea una distancia de 2km y vence una carga estática de 355m.

⁵¹SEMARNAT. (s.f.). *sinat.semarnat.gob.mx*. Recuperado el 04 de 09 de 2011, de <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/nay/estudios/2002/18NA2002E0001.pdf>

4ta Planta de Bombeo

Se localiza en el cadenamamiento 10+200 a una elevación de 590 msnm.

El cuarto equipo de bombeo bombea una distancia de 1.80km y vence una carga estática de 355m.

5ta Planta de Bombeo

Se localiza en el cadenamamiento 12+000a una elevación de 794 msnm.

El cuarto equipo de bombeo bombea una distancia de 2.00km y vence una carga estática de 355m.

Tanque de Cambio de Régimen

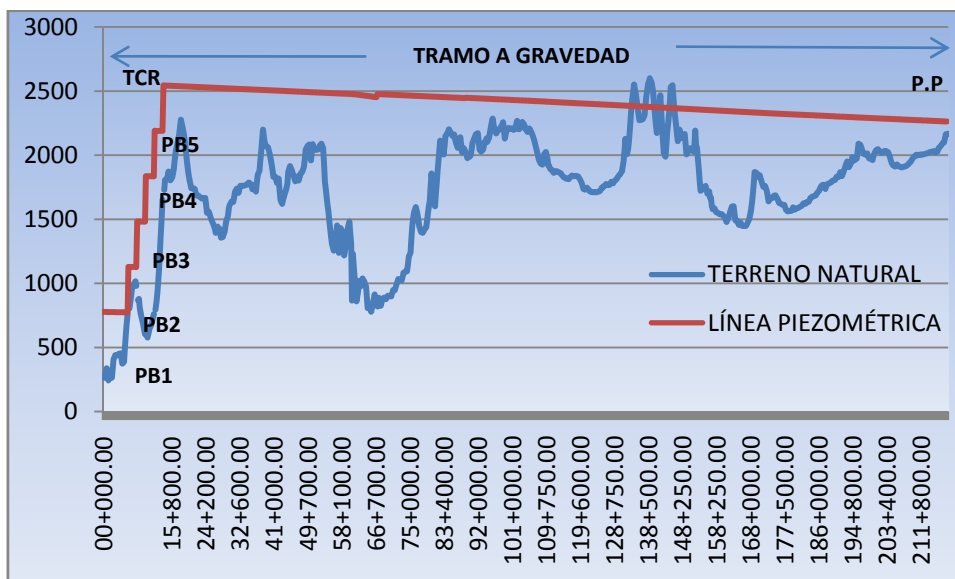
Se localiza en el cadenamamiento 14+000 a una elevación de 2600 msnm.

2do Túnel:

El segundo túnel proyectado en esta alternativa se plantea en el cadenamamiento 128 + 070 y termina en el cadenamamiento 143 + 860 obteniendo una longitud de 15.79km.

Planta Potabilizadora:

En esta alternativa la planta potabilizadora se localiza al final de toda la conducción, al llegar a la Ciudad de Aguascalientes, en el cadenamamiento: 218 + 750



4. Aprovechamiento Río Bolaños



1er Planta de bombeo:

Se localiza en el cadenamamiento 0 +000, a una elevación de 800 msnm (la elevación de 800 msnm es propuesta).

Bombea una distancia de 7.14km y vence una carga estática de 284.25m.

2da Planta de bombeo:

Se localiza en el cadenamamiento 7 + 140, a una elevación de 1084.25 msnm.

Bombea una distancia de 3.57km y vence una carga estática de 379m.

3er Planta de bombeo:

Se localiza en el cadenamamiento 10 + 710, a una elevación de 1463.25 msnm.

Bombea una distancia de 4.76km y vence una carga estática de 284.25m.

Tanque de Cambio de Régimen

El agua sale impulsada de la Planta de Bombeo No. 3 y llega al Tanque de Cambio de Régimen, el cual se localiza en el cadenamamiento 15 + 470 a una altura de 1747.50msnm, a partir de este punto el agua se conduce por gravedad hasta llegar a la Planta de Bombeo No. 4.

Túnel:

La Planta de Bombeo No. 3 bombea el agua al Tanque de Cambio de Régimen y a partir de este tanque se proyecta un túnel en donde el agua baja por gravedad hasta llegar a la Planta de Bombeo No. 4:

Cadenamiento inicial: 15 + 470

Cadenamiento final: 29 + 761

Obteniendo una longitud total del túnel de 15.29km.

4ta Planta de bombeo:

Se localiza en el cadenamiento 69 + 047, a una elevación de 1710 msnm.

Bombea una distancia de 2.97km y vence una carga estática de 453m.

5ta Planta de bombeo:

Se localiza en el cadenamiento 72 + 023, a una elevación de 2163 msnm.

Bombea una distancia de 2.97km y vence una carga estática de 453m.

Planta Potabilizadora:

Se localiza en el cadenamiento 74 + 999, a una elevación de 2616 msnm. A partir de este punto, el agua baja por gravedad hasta la ciudad de Aguascalientes, teniendo como cadenamiento final 153 + 570.

5. P.H. Las Cruces



1er Planta de Bombeo:

A partir del funcionamiento de vaso realizado para la construcción de esta presa, se obtienen los siguientes niveles de operación:

Niveles de Operación				
Cotas	NAMO	235.00	Msnm	154.00 m
	NAME	248.53	Msnm	167.53 m
	NAMINO	180.00	Msnm	99.00 m
	Ndis.	225.00	Msnm	144.00 m
	Hmax	153.00	Msnm	153.00 m
	Hmin	98.00	Msnm	98.00 m
	Hb			143.00 m
	Elev. Terreno	81.00	Msnm	0.00 m
	N. Desfogue	82.00	Msnm	1.00 m

La primera Planta de Bombeo lo encontraremos en la cota 180 msnm, perteneciente al Nivel Mínimo de Operación, en el cadenamamiento 0 + 000

Esta primera planta vence una carga estática de 450m en una distancia de 21.276km.

2da Planta de Bombeo:

Se localiza en el cadenamiento 21 + 276, a una elevación de 630 msnm.

Bombea una distancia de 21.276km y vence una carga estática de 450m.

3er Planta de Bombeo:

Se localiza en el cadenamiento 42 + 552, a una elevación de 1080 msnm.

Bombea una distancia de 21.276km y vence una carga estática de 450m.

4ta Planta de Bombeo:

Se localiza en el cadenamiento 63 + 828, a una elevación de 1530 msnm.

Bombea una distancia de 21.276km y vence una carga estática de 450m.

5ta Planta de Bombeo:

Se localiza en el cadenamiento 85 + 104, a una elevación de 1980 msnm.

Bombea una distancia de 21.276km y vence una carga estática de 450m.

Tanque de Cambio de Régimen

El agua al salir de la Planta de Bombeo No. 5, entra al Tanque de Cambio de Régimen, después de haber recorrido una distancia de 21.276km y vencer una carga estática de 450m.

De tal forma que el tanque se ubica el cadenamiento 106 + 380 a una elevación de 2430 msnm. A partir de este punto el agua corre por gravedad hasta llegar a la planta potabilizadora.

1er Túnel:

Cadenamiento inicial: 177 + 270

Cadenamiento final: 197 + 872

Obteniendo una longitud total del túnel de 20.60km.

2er Túnel:

Cadenamiento inicial: 214 + 894

Cadenamiento final: 219 + 149

Obteniendo una longitud total del túnel de 4.26km.

Planta Potabilizadora:

Se localiza al final de la conducción del agua en el cadenamamiento 263 + 000, a una elevación de 2346 msnm. A partir de este punto, el agua baja por gravedad hasta la ciudad de Aguascalientes.

6.2 ANÁLISIS DE LAS LÍNEAS DE CONDUCCIÓN A GRAVEDAD

De acuerdo con el Anexo 1 de este trabajo, desarrollamos el siguiente cuadro que nos muestra claramente los resultados producto del diseño de las líneas de gravedad de las distintas alternativas propuestas en este trabajo:

Cuadro 14 Resumen Líneas a Gravedad de las Alternativas (Darcy - Weisbach)

Alternativa	Longitud	Diámetro
	M	m
El Cajón	204,750	1.50
Bolaños (1er tramo)	53,577	1.00
Bolaños (2do tramo)	74,999	1.00
Las Cruces	156,620	1.00

Es posible observar claramente que el modelo de Darcy – Weisbach nos genera un ahorro sustancial en los diámetros, lo que se después se traduce en un ahorro sustancial en la inversión.

De acuerdo a la información recopilada en los dos cuadros anteriores se puede decir que la alternativa el Cajón es menos viable ya que conlleva una mayor longitud y un mayor diámetro; sin embargo, no se descartará ya que se considera que los factores determinantes en este tipo de proyectos son los cargos por operación y mantenimiento y no las inversiones fijas, más adelante se verá más claramente lo que se trata de enunciar ahora.

6.3 ANÁLISIS DE LAS LÍNEAS DE CONDUCCIÓN POR BOMBEO

De acuerdo con el cuadro siguiente, es posible asegurar que el Proyecto Hidroeléctrico Las Cruces es el menos viable ya que representa un mayor costo de bombeo.

Cuadro 15 Resumen de alternativas (por bombeo)

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
	El Cajón	Bolaños	Las Cruces
No. de plantas de bombeo	5	5	5
Carga estática a superar (m)	1930	1853,5	2250
Kilómetros totales a bombear (km)	14,00	21,41	106,38

Sin embargo, en cuanto a las alternativa 1 y 2, El Cajón y El Río Bolaños respectivamente, podemos observar que no es tan fácil descartarlas entre si, por lo que se plantean las siguientes relaciones:

$$14000 Cx + 1930 Cy = CT_1 \dots\dots\dots (1)$$

$$21410 Cx + 1853.50 Cy = CT_2 \dots\dots\dots (2)$$

Se propone para el análisis

Suposición 1

$$CT_1 \leq CT_2 \dots\dots\dots (3)$$

Suposición 2

$$Cy \leq 10Cx \dots\dots\dots (4)$$

Sustituyendo, 1 y 2 en 3, tenemos que;

$$14000 Cx + 1930 Cy \leq 21410 Cx + 1853.50 Cy$$

$$76.5 C_y \leq 7410 C_x$$

$$C_y \leq 96.86 C_x$$

Donde:

C_x = costo del bombeo por componente horizontal

C_y = costo del bombeo por componente vertical

CT_1 = costo total de la alternativa 1 (El Cajón)

CT_2 = costo total de la alternativa 2 (Bolaños)

Explicación:

Suponemos que el Costo Total de la Alternativa 1 (CT_1) es menor o igual que el Costo Total de la Alternativa 2 (CT_2) y esto se cumpliría si, y sólo si, el Costo de la Componente Vertical (C_y) fuera 146.33 veces el Costo de la Componente Horizontal (C_x). Tomando en cuenta que se

$$C_y \leq 10 C_x$$

Podemos asegurar que la alternativa 1 en cuanto a bombeo se refiere es la más viable; una vez descartadas las anteriores se procedió a realizar el diseño de la línea por bombeo de la alternativa El Cajón, mediante el método del diámetro económico por el modelo de Darcy-Weisbach (Anexo 3), pero antes fue necesario realizar el análisis de las tarifas eléctricas y para verificar si es mejor bombear las 24 horas o tan sólo 20 horas al día (Anexo 2).

6.6.1 Análisis de bombeo 24 horas

Basándonos en el Anexo 3 de este trabajo, en el apartado de diseño para 24 horas, y sabiendo que la alternativa que se analiza es la alternativa No. 1 "El Cajón" es posible observar lo siguiente:

Cuadro 16 Resumen Diseño Línea de Conducción por Bombeo con Darcy - Weisbach (24 hrs)

TRAMO	Diámetro Económico	Longitud	Costo Anual Equivalente
	In	M	\$
PB1 - PB2	70"	6260	\$218,616,565.40
PB2 - PB3	70"	1940	\$151,062,854.14
PB3 - PB4	70"	2000	\$151,075,359.10
PB4 - PB5	70"	1800	\$151,040,991.33

PB5 - TCR	70"	2000	\$151,075,359.10
TOTAL			\$822,871,129.06

6.6.2 Análisis de bombeo 20 horas

Basándonos en el Anexo 3 de este trabajo, en el apartado de diseño para 20 horas, y sabiendo que la alternativa que se analiza es la alternativa No. 1 "El Cajón" es posible observar lo siguiente:

Cuadro 17 Resumen Diseño Línea de Conducción por Bombeo con Darcy -Weisbach (20 hrs)

TRAMO	Díámetro Económico	Longitud	Costo Anual Equivalente
	In	M	\$
PB1 - PB2	70"	6260	\$178,625,310.16
PB2 - PB3	70"	1940	\$123,337,692.39
PB3 - PB4	70"	2000	\$123,350,197.35
PB4 - PB5	70"	1800	\$123,315,829.58
PB5 - TCR	70"	2000	\$123,350,197.35
TOTAL			\$671,979,226.83

6.6.3 Comparación

Cuadro 18 Tabla de Ahorros Anuales y Totales En Bombeo y Líneas de Conducción a Bombeo

TRAMO	Bombeo 24 hrs	Bombeo 20 hrs	Ahorro Anual	Ahorro en los 20 años a precios de 2011
PB1 - PB2	\$218,616,565.40	\$178,625,310.16	\$39,991,255.24	\$799,825,104.88
PB2 - PB3	\$151,062,854.14	\$123,337,692.39	\$27,725,161.75	\$554,503,234.94
PB3 - PB4	\$151,075,359.10	\$123,350,197.35	\$27,725,161.75	\$554,503,234.94
PB4 - PB5	\$151,040,991.33	\$123,315,829.58	\$27,725,161.75	\$554,503,234.94
PB5 - TCR	\$151,075,359.10	\$123,350,197.35	\$27,725,161.75	\$554,503,234.94
Totales	\$822,871,129.06	\$671,979,226.83	\$150,891,902.23	\$3,017,838,044.63

La tabla anterior nos muestra un claro ahorro al bombear tan sólo 20 horas. Siguiendo este principio estarías ahorrando un 18% anual.

Por otra parte vemos que la conducción por bombeo (14.00km), representa el 6.4% de la totalidad de la conducción (218km), con lo que suponiendo una relación lineal, estaríamos pensando que el costo aproximado del proyecto es de **\$10,463,676,532.11**. El costo de bombear 1m³ es de **\$6.88/m³**

Una vez obtenido los costos por la conducción del agua potable es necesario añadir a nuestro presupuesto los costos de algunas de las estructuras básicas para nuestro proyecto, esto con base en los precios marcados en el documento creado por la Comisión Nacional del Agua en el año de 1999 "Costos Estimados para los Proyectos de Infraestructura Hidráulica Versión 1999" en su apartado No. I "Costos de inversión para sistemas de agua potable".

Cuadro 19 Precios para estructuras básicas encontradas en el documento "Costos Estimados para los Proyectos de Infraestructura Hidráulica Versión 1999"

Precios a 1999				
Componente	Subcomponente	Cantidad base	Unidad base	Costo
Estación de bombeo	Obra electromecánica	1	lps	\$ 65,343.00
	Subestación Eléctrica	350	KVA	\$ 1,425.00
	Equipo hidroneumático	4	lps	\$ 4,460.00
Potabilización	Cárcamo de Bombeo	100	m3	\$ 2,160.00
	Equipo de cloración	1	lps	\$ 12,496.00
Regularización	Tanque superficial de concreto	500	m3	\$ 1,861.00

Cuadro 20 Precios para estructuras básicas de nuestro proyecto basadas en el documento "Costos Estimados para los Proyectos de Infraestructura Hidráulica Versión 1999"

Precios a 1999				
Componente	Subcomponente	Cantidades de proyecto	Unidades de proyecto	Costo
Estación de bombeo	Obra electromecánica	3080	lps	\$ 201,256,440.00
	Subestación Eléctrica	350	KVA	\$ 1,425.00
	Equipo hidroneumático	3080	lps	\$ 3,434,200.00
Potabilización	Cárcamo de Bombeo	1000	m3	\$ 21,600.00
	Equipo de cloración	3080	lps	\$ 38,487,680.00

Regularización	Tanque superficial de concreto	62475.49	m3	\$	232,533.77
-----------------------	--------------------------------	----------	----	----	------------

Una vez obtenidos los precios para nuestro proyecto a través de una relación lineal simple, observamos que los precios está basados en una documento que data del año 1999; lo cual nos lleva a traer a valor presente los costos, para lo cual ha sido necesario basarse en las tasas de inflación marcadas en el Banco de México mostradas en el siguiente cuadro:

Cuadro 21 Porcentajes de inflación de Enero de 1999 a Marzo de 2012⁵²

Periodo	Inflación	Periodo	Inflación	Periodo	Inflación	Periodo	Inflación
Mes	%	Mes	%	Mes	%	Mes	%
Ene 1999	19.02	May 2002	4.68	Sep 2005	3.51	Ene 2009	6.28
Feb 1999	18.54	Jun 2002	4.94	Oct 2005	3.05	Feb 2009	6.20
Mar 1999	18.26	Jul 2002	5.51	Nov 2005	2.91	Mar 2009	6.04
Abr 1999	18.23	Ago 2002	5.29	Dic 2005	3.33	Abr 2009	6.17
May 1999	18.01	Sep 2002	4.95	Ene 2006	3.94	May 2009	5.98
Jun 1999	17.39	Oct 2002	4.94	Feb 2006	3.75	Jun 2009	5.74
Jul 1999	17.04	Nov 2002	5.39	Mar 2006	3.41	Jul 2009	5.44
Ago 1999	16.58	Dic 2002	5.70	Abr 2006	3.20	Ago 2009	5.08
Sep 1999	15.83	Ene 2003	5.16	May 2006	3.00	Sep 2009	4.89
Oct 1999	14.91	Feb 2003	5.52	Jun 2006	3.18	Oct 2009	4.50
Nov 1999	13.92	Mar 2003	5.64	Jul 2006	3.06	Nov 2009	3.86
Dic 1999	12.32	Abr 2003	5.25	Ago 2006	3.47	Dic 2009	3.57
Ene 2000	11.02	May 2003	4.70	Sep 2006	4.09	Ene 2010	4.46
Feb 2000	10.52	Jun 2003	4.27	Oct 2006	4.29	Feb 2010	4.83
Mar 2000	10.11	Jul 2003	4.13	Nov 2006	4.09	Mar 2010	4.97
Abr 2000	9.73	Ago 2003	4.04	Dic 2006	4.05	Abr 2010	4.27
May 2000	9.48	Sep 2003	4.04	Ene 2007	3.98	May 2010	3.92
Jun 2000	9.41	Oct 2003	3.96	Feb 2007	4.11	Jun 2010	3.69
Jul 2000	9.12	Nov 2003	3.98	Mar 2007	4.21	Jul 2010	3.64
Ago 2000	9.10	Dic 2003	3.98	Abr 2007	3.99	Ago 2010	3.68
Sep 2000	8.85	Ene 2004	4.20	May 2007	3.95	Sep 2010	3.70
Oct 2000	8.91	Feb 2004	4.53	Jun 2007	3.98	Oct 2010	4.02
Nov 2000	8.87	Mar 2004	4.23	Jul 2007	4.14	Nov 2010	4.32
Dic 2000	8.96	Abr 2004	4.21	Ago 2007	4.03	Dic 2010	4.40
Ene 2001	8.11	May 2004	4.29	Sep 2007	3.79	Ene 2011	3.78
Feb 2001	7.09	Jun 2004	4.37	Oct 2007	3.74	Feb 2011	3.57
Mar 2001	7.17	Jul 2004	4.49	Nov 2007	3.93	Mar 2011	3.04
Abr 2001	7.11	Ago 2004	4.82	Dic 2007	3.76	Abr 2011	3.36

⁵²Fuente: Banco de México

<http://www.banxico.org.mx/graph/test/?s=SP30578%2CCP151%2C4&period=Men&l=es>

May 2001	6.95	Sep 2004	5.06	Ene 2008	3.70	May 2011	3.25
Jun 2001	6.57	Oct 2004	5.40	Feb 2008	3.72	Jun 2011	3.28
Jul 2001	5.88	Nov 2004	5.43	Mar 2008	4.25	Jul 2011	3.55
Ago 2001	5.93	Dic 2004	5.19	Abr 2008	4.55	Ago 2011	3.42
Sep 2001	6.14	Ene 2005	4.54	May 2008	4.95	Sep 2011	3.14
Oct 2001	5.89	Feb 2005	4.27	Jun 2008	5.26	Oct 2011	3.20
Nov 2001	5.39	Mar 2005	4.39	Jul 2008	5.39	Nov 2011	3.48
Dic 2001	4.40	Abr 2005	4.60	Ago 2008	5.57	Dic 2011	3.82
Ene 2002	4.79	May 2005	4.60	Sep 2008	5.47	Ene 2012	4.05
Feb 2002	4.79	Jun 2005	4.33	Oct 2008	5.78	Feb 2012	3.87
Mar 2002	4.66	Jul 2005	4.47	Nov 2008	6.23	Mar 2012	3.73
Abr 2002	4.70	Ago 2005	3.95	Dic 2008	6.53		

Ilustración 6 Inflación Anual (Banco de México)



Del cuadro y la imagen anterior es posible ver que el promedio de la tasa de inflación es de **5.84%**. Una vez teniendo estos datos es posible traer a valor presente los costos del año 1999:

$$\text{Valor actual} = \text{Valor pasado} * (1 + \text{inflación})^n$$

Cuadro 22 Precios estructuras básicas traídos a valor actual

Componente	Subcomponente	Valor pasado	Tasa	1 + Tasa	n	Valor Actual
Estación de bombeo	Obra electromecánica	\$ 201,256,440.00	0.058	1.058	12.000	\$ 397,724,024.68
	Subestación Eléctrica	\$ 1,425.00	0.058	1.058	12.000	\$ 2,816.09
	Equipo hidroneumático	\$ 3,434,200.00	0.058	1.058	12.000	\$ 6,786,683.92
	Cárcamo de Bombeo	\$ 21,600.00	0.058	1.058	12.000	\$ 42,686.03
Potabilización	Equipo de cloración	\$ 38,487,680.00	0.058	1.058	12.000	\$ 76,059,553.62
Regularización	Tanque superficial de concreto	\$ 232,533.77	0.058	1.058	12.000	\$ 459,534.45
		\$ 243,433,878.77	0.058	1.058	12.000	\$ 481,075,298.80

Por lo tanto, sumando el costo de la conducción y bombeo de agua al costo de las estructuras básicas; el costo total de nuestro proyecto se estimaría en **\$10,721,328,633.54**.

Analizando el costo anterior y los mostrados en la Cuadro 6, observamos que nuestro proyecto es poco más de **3 mil millones** de pesos más caro que el Zapotillo, el cual es el proyecto de infraestructura hidráulica más costoso hasta el momento; sin embargo, se encuentra en un límite dónde sin lugar a dudas pudiera ser viable económicamente.

VII CONCLUSIONES

Para concluir, es necesario resumir y contextualizar los puntos esenciales analizados a lo largo de este trabajo:

1. Se cumplió con el objetivo de presentar alternativas para disminuir la dotación, se propuso mitigar las fugas en el sistema de distribución en un 14% y además se propuso la implementación de muebles sanitarios ecológicos que reduzcan considerablemente nuestro consumo.
2. Se analizó y comprobó que el trabajo base y antecedente a éste: “Estudio de fuentes de abastecimiento a largo plazo para la ciudad de Aguascalientes, Ags., y Zacatecas, Zac.”, presenta condiciones adversas que invalidan sus propuestas al día de hoy, siendo los decretos de concesiones de los derechos del agua a los campesinos y distritos de riego y los vetos por el REPDA los argumentos más importantes.
3. Se analizó y comprobó que no hay recursos suficientes dentro del estado de Aguascalientes para proveer y abastecer a sus habitantes de agua potable conservando e impidiendo el abatimiento de los mantos acuíferos. Se analizó la opción de reunir todos los aprovechamientos superficiales del interior del estado; sin embargo, al hacer un análisis, los resultados fueron negativos al encontrarse que sólo se podría proveer alrededor de $0.9\text{m}^3/\text{s}$ cuando son necesarios $3.08\text{m}^3/\text{s}$.
4. Se analizaron 3 posibles alternativas de solución para al final elegir la más viable y proponerla como solución. La cual ha sido identificada en este trabajo como “El cajón”, aunado a esto, es necesario mencionar que previa la construcción de esta Central Hidroeléctrica está contemplado el uso de cierta cantidad de agua para el abastecimiento de la ciudad de Aguascalientes, tal como se puede ver en la Manifestación de Impacto Ambiental (MIA) de la construcción de la central hidroeléctrica El Cajón⁵³:

“Con esta obra se pretende instalar la totalidad de la capacidad proyectada para la central hidroeléctrica, por lo que no se contempla ningún plan de ampliación. La obra se proyectó de acuerdo con la disponibilidad de agua aprovechable del río Santiago, considerando una disminución a futuro de su gasto, debido a que parte del caudal de los ríos Verde, Juchipila, afluentes del río Santiago, se destinará para el abastecimiento de agua a las ciudades de León, Aguascalientes y Guadalajara, según planes de la Comisión Nacional del Agua”

5. Se cumplió el objetivo de proponer un proyecto a gran visión que da solución a la problemática del abastecimiento de agua potable en la ciudad de Aguascalientes.

⁵³SEMARNAT. (s.f.). *sinat.semarnat.gob.mx*. Recuperado el 04 de 09 de 2011, de <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/nay/estudios/2002/18NA2002E0001.pdf>

6. Se diseñaron las estructuras principales de la alternativa más viable: conducción a gravedad, conducción por bombeo, se plantearon las ubicaciones de plantas de bombeo, plantas potabilizadoras y túneles así como también se desarrolló el diseño del tanque de cambio de régimen
7. Se desarrolló un análisis económico sencillo pero que deja ver la complejidad que representa este proyecto y el reto tan importante de pulir varias ideas presentadas en el presente trabajo con la intención de seguir mitigando los costos y poder hacer más viable el proyecto.
8. Se desarrolló un encuesta de percepción representativa de la población de Aguascalientes, donde podemos observar que es necesario poner más a la mano de la ciudadanía la información referente al problema que enfrenta la ciudad en materia de agua potable y de esta manera involucrarla para generar más conciencia y poder lograr disminuir considerablemente el caudal de diseño a partir de un consumo más medido.

Al final de este trabajo podemos darnos cuenta de la gran complejidad que representa el problema del abastecimiento en la ciudad de Aguascalientes, lo cual involucra la dificultad económica y financiera de la viabilidad del proyecto, no obstante, lo interesante del desarrollo y ejercicio de este proyecto es que nos ha dejado ver que pudieren existir caminos y nichos de oportunidad poco explotados hasta el momento en nuestro país para tratar de encontrar la viabilidad económica de los proyectos tales como: implementación de políticas públicas para crear conciencia en la población, introducción de este tipo de proyectos a la economía de los bonos de carbono así mismo introducción de este tipo de proyecto a la economía de los bonos de agua.

Sabiendo los alcances establecidos para este trabajo, podemos concluir diciendo que se han cumplido todos y cada uno de los objetivos propuestos, incluso han sido superados y por mucho; sin embargo, sabiendo el gran trabajo que queda por hacer es necesario mencionar las posibles acciones a emprender o las posibles líneas de investigación a seguir:

- En la sección de Alcances de este trabajo se mencionó que éste es un Proyecto de Gran Visión, por lo que una vez concluido éste, se recomienda en primer lugar pulir un poco más la idea para posteriormente pasar a la siguiente etapa del desarrollo de un proyecto; es decir, Estudio de Prefactibilidad o Anteproyecto.
- Si al realizar un análisis más profundo de las posibles alternativas de abastecimiento de la Ciudad de Aguascalientes, la alternativa aquí mostrada sigue siendo la más viable, deberá diseñarse una línea de conducción siguiendo la traza del proyecto carretero Tepic – Aguascalientes, esto con la finalidad de aprovechar el derecho de vía.
- Es necesario que en este país se empiecen a generar ideas y proyectos tomando en cuenta el crecimiento del mercado de bonos de carbono y bonos de agua así como los esquemas de participación privada en el sector de prestación de servicios, ya que ambos van muy ligados.
- Por otra parte, es importante señalar las deficiencias que provoca el hecho de tomar decisiones basadas únicamente en el aspecto político, dejando muy aislados los aspectos

técnicos y sociales; ya que se puede notar que posiblemente la solución al problema del abastecimiento de agua potable a la ciudad de Aguascalientes hubiese sido resuelto de manera más fácil si el agua destinada a la ciudad de León, Guanajuato mediante el acueducto el Zapotillo se hubiera dirigido a la ciudad de Aguascalientes, ya que la distancia es más corta, además de que Aguascalientes es la ciudad que más aporta al caudal del río verde, fuente primaria de este proyecto.

Por último, es necesario destacar que aunque el trabajo aquí descrito pudiese parecer irreal y poco factible de acuerdo a las condiciones económicas que presenta (cerca de \$7/m³), hay otros proyectos nacionales en puerta que no distan mucho de lo que aquí se presenta, tal es el caso de un proyecto de conducción a bombeo que dará agua a la ciudad de Monterrey, o las mismas desaladoras que actualmente se están desarrollando en el país en las cuales el costo por metro cúbico no dista mucho del obtenido en este proyecto. Se les invita hacer conciencia en la gravedad de la situación que atraviesa la ciudad de Aguascalientes, es inminente la toma de decisiones, por lo que es necesario el apoyo a la investigación y al desarrollo de proyectos que ayuden a mejorar dicha situación.

VIII ANEXOS

8.1 ANEXO 1 Diseño de las Líneas a Gravedad

En este anexo se muestran los cálculos que dan sustento a lo dicho en la presentación de las líneas de conducción a gravedad de las distintas alternativas, se podrá observar que los cálculos fueron realizados mediante el modelo más usado en la actualidad para el cálculo de las pérdidas por fricción, Darcy- Weisbach.

8.1.1 Cálculos con Darcy - Weisbach

- Alternativa El Cajón

A partir del cadenamiento 14+020 se inicia el primer tramo por gravedad. Hasta llegar al cadenamiento 214 + 000

Datos

Longitud $L = 199.98\text{km}$

Gasto $Q = 3.08 \text{ m}^3/\text{s}$

Rugosidad $E = 0,1 \text{ mm}$

Gravedad $g = 9.81 \text{ m}/\text{s}^2$

Carga total en B

$H = \text{Altura Tanque de Régimen} - \text{Altura Planta potabilizadora}$

$H = 2250\text{msnm} - 2214\text{msnm}$

$H = 36 \text{ m}$

Carga disponible en B

$H_{\text{dis}} = 36 \text{ m}$

$h_f + h_s = 36\text{m}$

Suponiendo que las pérdidas secundarias con el 15% de las pérdidas por fricción, tendríamos que:

$h_f + 0.15h_f = 36\text{m}$

$$h_f = 31.30 \text{ m}$$

$$h_s = 4.69 \text{ m}$$

Ahora podemos obtener el diámetro a través de la expresión de Darcy – Weisbach seguimos el siguiente procedimiento:

Proponemos un diámetro, e iteramos cuantas veces sea necesario mediante un programa en hoja de cálculo para obtener el mejor diámetro con una velocidad aceptable.

$$d = f \frac{L V^2}{h_f 2g}$$

$$d = 1.50 \text{ m}$$

Obtenemos el área

$$A = \frac{\pi * 1.50^2}{4} = 1.77 \text{ m}^2$$

Verificamos la velocidad

$$V = \frac{Q}{A} = 1.77 \text{ m/s}$$

Revisamos Reynolds

$$Re = \frac{VxD}{1 \times 10^{-6}} = 2656826.52$$

El factor de fricción, se puede obtener mediante el diagrama de Moody, o programando la siguiente función:

$$f = \frac{0.25}{\log \left[\left(\frac{E}{D/3.71} \right) + \left(\frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0.012015$$

- Alternativa Aprovechamiento Río Bolaños

1er TRAMO A GRAVEDAD

A partir del cadenamamiento 15 + 470 se inicia el primer tramo por gravedad. Hasta llegar al cadenamamiento 69 + 047

Datos

Longitud $L = 53.577 \text{ km}$

Gasto $Q = 3.08 \text{ m}^3/\text{s}$

Rugosidad $E = 0,1 \text{ mm}$

Gravedad $g = 9.81 \text{ m}/\text{s}^2$

Carga total en B

$H = \text{Altura Planta Potabilizadora} - \text{Altura Ciudad de Aguascalientes}$

$$H = 2616 \text{ msnm} - 2216 \text{ msnm}$$

$$H = 400 \text{ m}$$

Carga total en B

$$H = 400 \text{ m}$$

Carga disponible en B

$$H_{\text{dis}} = 400 \text{ m}$$

$$h_f + h_s = 400 \text{ m}$$

Suponiendo que las pérdidas secundarias con el 15% de las pérdidas por fricción, tendríamos que:

$$h_f + 0.15h_f = 400 \text{ m}$$

$$h_f = 347.82 \text{ m}$$

$$h_s = 52.17 \text{ m}$$

Ahora podemos obtener el diámetro a través de la expresión de Darcy – Weisbach seguimos el siguiente procedimiento:

Proponemos un diámetro, e iteramos cuantas veces sea necesario mediante un programa en hoja de cálculo para obtener el mejor diámetro con una velocidad aceptable.

$$d = f \frac{L V^2}{h_f 2g}$$

$$d = 1.00 \text{ m}$$

Obtenemos el área

$$A = \frac{\pi * 1.50^2}{4} = 0.79m^2$$

Verificamos la velocidad

$$V = \frac{Q}{A} = 3.99 m/s$$

Revisamos Reynolds

$$Re = \frac{VxD}{1x10^{-6}} = 3985239.78$$

El factor de fricción, se puede obtener mediante el diagrama de Moody, o programando la siguiente función:

$$f = \frac{0.25}{\log \left[\left(\frac{E}{D/3.71} \right) + \left(\frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0.012487$$

2do TRAMO A GRAVEDAD

A partir del cadenamamiento 74 + 999 se inicia el primer tramo por gravedad. Hasta llegar al cadenamamiento 153 + 570

Datos

Longitud $L = 78.571km$

Gasto $Q = 3.08 m^3/s$

Rugosidad $E = 0,1 mm$

Gravedad $G = 9.81 m/s^2$

Carga total en B

$H = \text{Altura Planta Potabilizadora} - \text{Altura Ciudad de Aguascalientes}$

$H = 2616msnm - 2216msnm$

$H = 400 m$

Carga total en B

$$H = 400 \text{ m}$$

Carga disponible en B

$$H_{dis} = 400 \text{ m}$$

$$h_f + h_s = 400 \text{ m}$$

Suponiendo que las pérdidas secundarias con el 15% de las pérdidas por fricción, tendríamos que:

$$h_f + 0.15h_f = 400 \text{ m}$$

$$h_f = 347.82 \text{ m}$$

$$h_s = 52.17 \text{ m}$$

Ahora podemos obtener el diámetro a través de la expresión de Darcy – Weisbach seguimos el siguiente procedimiento:

Proponemos un diámetro, e iteramos cuantas veces sea necesario mediante un programa en hoja de cálculo para obtener el mejor diámetro con una velocidad aceptable.

$$d = f \frac{L V^2}{h_f 2g}$$

$$d = 1.00 \text{ m}$$

Obtenemos el área

$$A = \frac{\pi * 1.00^2}{4} = 0.79 \text{ m}^2$$

Verificamos la velocidad

$$V = \frac{Q}{A} = 3.99 \text{ m/s}$$

Revisamos Reynolds

$$Re = \frac{VxD}{1 \times 10^{-6}} = 3985239.78$$

El factor de fricción, se puede obtener mediante el diagrama de Moody, o programando la siguiente función:

$$f = \frac{0.25}{\log \left[\left(\frac{E}{D/3.71} \right) + \left(\frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0.012487$$

- P.H. Las Cruces

TRAMO A GRAVEDAD

A partir del cadenamiento 106 + 380 se inicia el primer tramo por gravedad. Hasta llegar al cadenamiento 263 + 000

Datos

Longitud $L = 156.620\text{km}$

Gasto $Q = 3.08 \text{ m}^3/\text{s}$

Rugosidad $E = 0,1 \text{ mm}$

Gravedad $G = 9.81 \text{ m}/\text{s}^2$

Carga total en B

$H = \text{Altura Tanque de Cambio de Régimen} - \text{Altura Planta Potabilizadora}$

$$H = 2430\text{msnm} - 2346\text{msnm}$$

$$H = 84 \text{ m}$$

Carga total en B

$$H = 84 \text{ m}$$

Carga disponible en B

$$H_{\text{dis}} = 84 \text{ m}$$

$$h_f + h_s = 84 \text{ m}$$

Suponiendo que las pérdidas secundarias con el 15% de las pérdidas por fricción, tendríamos que:

$$h_f + 0.15h_f = 84\text{m}$$

$$h_f = 73.04 \text{ m}$$

$$h_s = 10.96 \text{ m}$$

Ahora podemos obtener el diámetro a través de la expresión de Darcy – Weisbach seguimos el siguiente procedimiento:

Proponemos un diámetro, e iteramos cuantas veces sea necesario mediante un programa en hoja de cálculo para obtener el mejor diámetro con una velocidad aceptable.

$$d = f \frac{L V^2}{h_f 2g}$$

$$d = 1.00 \text{ m}$$

Obtenemos el área

$$A = \frac{\pi * 1.00^2}{4} = 0.79m^2$$

Verificamos la velocidad

$$V = \frac{Q}{A} = 3.99 \text{ m/s}$$

Revisamos Reynolds

$$Re = \frac{VxD}{1 \times 10^{-6}} = 3985239.78$$

El factor de fricción, se puede obtener mediante el diagrama de Moody, o programando la siguiente función:

$$f = \frac{0.25}{\log \left[\left(\frac{E}{D/3.71} \right) + \left(\frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$$
$$f = 0.012487$$

8.2 ANEXO 2 Análisis de las Tarifas Eléctricas

Para poder realizar el diseño de los tramos de conducción por bombeo ha sido necesario basarnos en la clasificación horaria que marca la CFE para la tarifa HS⁵⁴, como se puede observar en los siguientes cuadros:

Cuadro 23 Clasificación horaria CFE

Base	B
Intermedia	I
Punta	P

Periodo de 61 días comprendidos del 1ro de febrero al sábado anterior al primer domingo de abril

Cuadro 24 Clasificación en el periodo del 1ro de febrero al sábado anterior al primer domingo de abril

	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
0:00	B	B	B	B	B	B	B
1:00	B	B	B	B	B	B	B
2:00	B	B	B	B	B	B	B
3:00	B	B	B	B	B	B	B
4:00	B	B	B	B	B	B	B
5:00	B	B	B	B	B	B	B
6:00	I	I	I	I	I	B	B
7:00	I	I	I	I	I	I	B
8:00	I	I	I	I	I	I	B
9:00	I	I	I	I	I	I	B
10:00	I	I	I	I	I	I	B
11:00	I	I	I	I	I	I	B
12:00	I	I	I	I	I	I	B
13:00	I	I	I	I	I	I	B
14:00	I	I	I	I	I	I	B
15:00	I	I	I	I	I	I	B
16:00	I	I	I	I	I	I	B
17:00	I	I	I	I	I	I	B
18:00	I	I	I	I	I	I	B
19:00	P	P	P	P	P	I	I

⁵⁴Comisión Federal de Electricidad. (s.f.). Recuperado el 17 de Septiembre de 2011, de <http://www.cfe.gob.mx/negocio/conocetarifa/Paginas/Tarifas.aspx>

20:00	P	P	P	P	P	I	I
21:00	P	P	P	P	P	I	I
22:00	I	I	I	I	I	I	I
23:00	I	I	I	I	I	I	B
Total Base	6	6	6	6	6	7	20
Total Intermedia	15	15	15	15	15	17	4
Total Punta	3	3	3	3	3	0	0

Cuadro 25 Horas por clasificación en el periodo del 1ro de febrero al sábado anterior al primer domingo de abril

DÍA	CANTIDAD	CLASIFICACIÓN	HORAS POR PERIODO
Sábados	9	BASE	63
		INTERMEDIA	153
		PUNTA	0
Domingos	9	BASE	180
		INTERMEDIA	36
		PUNTA	0
Lunes a Viernes	43	BASE	258
		INTERMEDIA	645
		PUNTA	129
SUBTOTALES			
BASE		501	
INTERMEDIA		834	
PUNTA		129	

Cuadro 26 Clasificación del 1ro de agosto al sábado anterior al último domingo de octubre

	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
0:00	I	I	I	I	I	I	B
1:00	B	B	B	B	B	B	B
2:00	B	B	B	B	B	B	B
3:00	B	B	B	B	B	B	B
4:00	B	B	B	B	B	B	B
5:00	B	B	B	B	B	B	B
6:00	I	I	I	I	I	B	B
7:00	I	I	I	I	I	I	B

8:00	I	I	I	I	I	I	B
9:00	I	I	I	I	I	I	B
10:00	I	I	I	I	I	I	B
11:00	I	I	I	I	I	I	B
12:00	I	I	I	I	I	I	B
13:00	I	I	I	I	I	I	B
14:00	I	I	I	I	I	I	B
15:00	I	I	I	I	I	I	B
16:00	I	I	I	I	I	I	B
17:00	I	I	I	I	I	I	B
18:00	I	I	I	I	I	I	B
19:00	I	I	I	I	I	I	I
20:00	P	P	P	P	P	I	I
21:00	P	P	P	P	P	I	I
22:00	I	I	I	I	I	I	I
23:00	I	I	I	I	I	I	I
Total Base	0:00	5	5	5	5	6	19
Total Intermedia	0:00	17	17	17	17	18	5
Total Punta	0:00	2	2	2	2	0	0

Cuadro 27 Horas por clasificación del 1ro de agosto al sábado anterior al último domingo de octubre

DÍA	CANTIDAD	CLASIFICACIÓN	HORAS POR PERIODO
Sábados	17	BASE	102
		INTERMEDIA	306
		PUNTA	0
Domingos	17	BASE	323
		INTERMEDIA	85
		PUNTA	0
Días semana	86	BASE	430
		INTERMEDIA	1462
		PUNTA	172
SUBTOTALES			
BASE		855	
INTERMEDIA		1853	
PUNTA		172	

Cuadro 28 Clasificación del 1ro de agosto al sábado anterior al último domingo de octubre

	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
0:00	B	B	B	B	B	B	B
1:00	B	B	B	B	B	B	B
2:00	B	B	B	B	B	B	B
3:00	B	B	B	B	B	B	B
4:00	B	B	B	B	B	B	B
5:00	B	B	B	B	B	B	B
6:00	I	I	I	I	I	B	B
7:00	I	I	I	I	I	I	B
8:00	I	I	I	I	I	I	B
9:00	I	I	I	I	I	I	B
10:00	I	I	I	I	I	I	B
11:00	I	I	I	I	I	I	B
12:00	I	I	I	I	I	I	B
13:00	I	I	I	I	I	I	B
14:00	I	I	I	I	I	I	B
15:00	I	I	I	I	I	I	B
16:00	I	I	I	I	I	I	B
17:00	I	I	I	I	I	I	B
18:00	I	I	I	I	I	I	B
19:00	P	P	P	P	P	I	I
20:00	P	P	P	P	P	I	I
21:00	P	P	P	P	P	I	I
22:00	I	I	I	I	I	I	I
23:00	I	I	I	I	I	I	B
Total Base	0:00	6	6	6	6	7	20
Total Intermedia	0:00	15	15	15	15	17	4
Total Punta	0:00	3	3	3	3	0	0

Cuadro 29 Horas por clasificación del 1ro de agosto al sábado anterior al último domingo de octubre

DÍA	CANTIDAD	CLASIFICACIÓN	HORAS POR PERIODO
Sábados	13	BASE	91
		INTERMEDIA	221
		PUNTA	0

Domingos	13	BASE	260
		INTERMEDIA	52
		PUNTA	0
Lunes a Viernes	64	BASE	384
		INTERMEDIA	960
		PUNTA	192
SUBTOTALES			
BASE		735	
INTERMEDIA		1233	
PUNTA		192	

Cuadro 30 Clasificación del último domingo de octubre al 31 de enero

	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
0:00	B	B	B	B	B	B	B
1:00	B	B	B	B	B	B	B
2:00	B	B	B	B	B	B	B
3:00	B	B	B	B	B	B	B
4:00	B	B	B	B	B	B	B
5:00	B	B	B	B	B	B	B
6:00	I	I	I	I	I	B	B
7:00	I	I	I	I	I	B	B
8:00	I	I	I	I	I	I	B
9:00	I	I	I	I	I	I	B
10:00	I	I	I	I	I	I	B
11:00	I	I	I	I	I	I	B
12:00	I	I	I	I	I	I	B
13:00	I	I	I	I	I	I	B
14:00	I	I	I	I	I	I	B
15:00	I	I	I	I	I	I	B
16:00	I	I	I	I	I	I	B
17:00	I	I	I	I	I	I	B
18:00	P	P	P	P	P	I	I
19:00	P	P	P	P	P	P	I
20:00	P	P	P	P	P	P	I
21:00	P	P	P	P	P	I	I
22:00	I	I	I	I	I	I	I
23:00	I	I	I	I	I	I	I

Total Base	0:00	6	6	6	6	8	18
Total Intermedia	0:00	14	14	14	14	14	6
Total Punta	0:00	4	4	4	4	2	0

Cuadro 31 Horas por clasificación del último domingo de octubre al 31 de enero

DÍA	CANTIDAD	CLASIFICACIÓN	HORAS POR PERIODO
Sábados	13	BASE	104
		INTERMEDIA	182
		PUNTA	26
Domingos	13	BASE	234
		INTERMEDIA	78
		PUNTA	0
Lunes a Viernes	68	BASE	408
		INTERMEDIA	952
		PUNTA	272
SUBTOTALES			
BASE		746	
INTERMEDIA		1212	
PUNTA		298	

Cuadro 32 Horas totales al año por clasificación

TOTALES ANUALES	
BASE	2837
INTERMEDIA	5132
PUNTA	791

8.3 ANEXO 3 Diseño de los Tramos por Bombeo de las Líneas de Conducción

8.3.1 BOMBEO LAS 24 HORAS.

▪ **Diámetro económico de la tubería por bombeo del tramo PB1 a PB2**

Pki 0+000 Carga estática 510
 Pkf 6+260

Cuadro 33 Cálculo de las características físicas de la tubería a presión (Tramo PB1-PB2)

Diámetro nominal		Area (A) (m ²)	Gasto (Q) (m ³ /s)	Velocidad (V) (m/s)	Long. Línea (L) (m)	Coeficiente de fricción Darcy (E)	Re	f	Pérdida fricción en mm	Perdidas secundarias (%)	Perdidas secundarias (m)	Carga normal de operación H _{max} (m)	76 ? ? = %	$HP = \frac{Q h_{ft}}{76 \eta}$	kWatt	Espesor pared del tubo (e) (cm)
mm	in															
889	35	0.62072	3.08	5.043	6140	0.1	4482834.393	0.012677121	113.472	0.150	17.021	640.49	70	37683.15	28100.33	3.239820615
1016	40	0.81073	3.08	3.861	6140	0.1	3922480.094	0.012463114	57.218	0.150	8.583	575.80	70	33877.03	25262.10	3.328671815
1270	50	1.26677	3.08	2.471	6140	0.1	3137984.075	0.01217288	18.313	0.150	2.747	531.06	70	31244.67	23299.15	3.837529096
1524	60	1.82415	3.08	1.716	6140	0.1	2614986.729	0.012003288	7.257	0.150	1.089	518.35	70	30496.64	22741.35	4.494785305
1778	70	2.48287	3.08	1.261	6140	0.1	2241417.196	0.01191034	3.332	0.150	0.500	513.83	70	30231.05	22543.29	5.198247388

Cuadro 34 Cálculo de la sobre presión o golpe de ariete (Tramo PB1-PB2)

GOLPE DE ARIETE												
Presión de trabajo de la tubería kg/cm ²	Diámetro nominal (d) (cm)	Espesor pared del tubo (e) (cm)	Velocidad (V) (m/s)	$E_a d$	$E_t e$	$\sqrt{1 + \frac{E_a d}{E_t e}}$	Sobrepresión (m) $h = \frac{145 V}{\sqrt{1 + \frac{E_a d}{E_t e}}}$	Sobrepresión absorbida por tubería 20%h	Carga normal de operación (m)	Presión total = 20%h + carga normal de operación		
640.493	88.9	3.239820615	5.043	1837563	6803623.291	1.127	648.787	12.976	640.49	77.03		
575.801	101.6	3.328671815	3.861	2100072	6990210.811	1.140	490.898	9.818	575.80	67.40		
531.060	127	3.837529096	2.471	2625090	8058811.101	1.151	311.161	6.223	531.06	59.33		
518.345	152.4	4.494785305	1.716	3150108	9439049.139	1.155	215.436	4.309	518.35	56.14		
513.831	177.8	5.198247388	1.261	3675126	10916319.51	1.156	158.106	3.162	513.83	54.55		

Cuadro 35 Cálculo financiero (Tramo PB1-PB2)

Análisis Financiero												
Diámetro nominal		Cargo fijo mensual \$	Cargo fijo anual \$	Tarifa HS CFE (punta) \$/KW-hora	Tarifa HS CFE (intermedia) \$/KW-hora	Tarifa HS CFE (base) \$/KW-hora	kWatt	Consumo Anual (Punta)	Consumo Anual (Intermedia)	Consumo Anual (base)	Cargo por consumo \$	Cargo por Bombeo \$
mm	in							kWatt-h	kWatt-h	kWatt-h		
889	35	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	28100.33	22227359.3	126507675.6	78624717.1	270878659.3	270880008.7
1016	40	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	25262.10	19982321.2	113729974.9	70683356.3	243519003.8	243520353.2
1270	50	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	23299.15	18429630.4	104892789.0	65191031.5	224596791.6	224598141
1524	60	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	22741.35	17988404.7	102381540.0	63630286.3	219219696.9	219221046.3
1778	70	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	22543.29	17831745.3	101489908.3	63076135.8	217310532	217311881.4

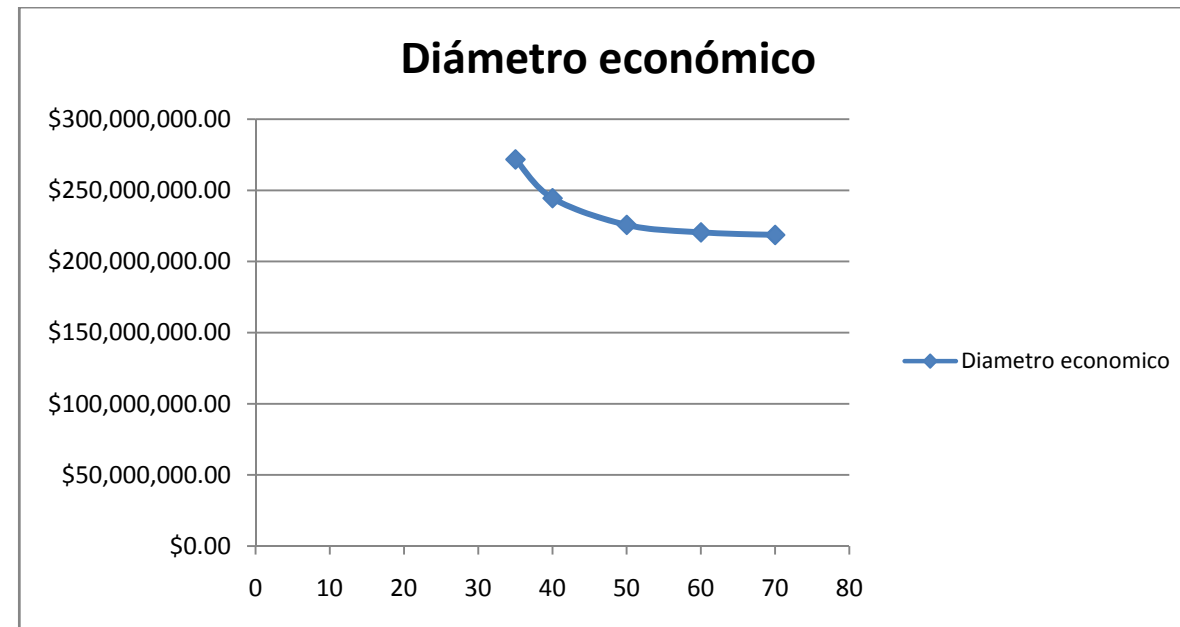
Cuadro 36 Integración del costo de la tubería tomando en cuenta los distintos diámetros (Tramo PB1-PB2)

CONCEPTO	Diámetro=889 mm (35")				Diámetro=1016 mm (40")				Diámetro=1270 mm (50")				Diámetro=1524 mm (60")				Diámetro=1778 mm (70")			
	Cantidad	Unidad	P.U	Importe \$	Cantidad	Unidad	P.U	Importe \$	Cantidad	Unidad	P.U	Importe \$	Cantidad	Unidad	P.U	Importe \$	Cantidad	Unidad	P.U	Importe \$
Excav. Mat. Clase A	2782.57	m³	\$150.00	\$417,385.50	3180.08	m³	\$150.00	\$477,012.00	3975.1	m³	\$150.00	\$596,265.00	4770.12	m³	\$150.00	\$715,518.00	5565.14	m³	\$150.00	\$834,771.00
Excav. Mat. Clase B	5565.14	m³	\$230.00	\$1,279,982.20	6360.16	m³	\$230.00	\$1,462,836.80	7950.2	m³	\$230.00	\$1,828,546.00	9540.24	m³	\$230.00	\$2,194,255.20	11130.28	m³	\$230.00	\$2,559,964.40
Excav. Mat. Clase C	2782.57	m³	\$275.00	\$765,206.75	3180.08	m³	\$275.00	\$874,522.00	3975.1	m³	\$275.00	\$1,093,152.50	4770.12	m³	\$275.00	\$1,311,783.00	5565.14	m³	\$275.00	\$1,530,413.50
Plantilla apisonada	3339.084	m²	\$104.49	\$348,900.89	3816.096	m²	\$104.49	\$398,743.87	4770.12	m²	\$104.49	\$498,429.84	5724.144	m²	\$104.49	\$598,115.81	6678.168	m²	\$104.49	\$697,801.77
Inst. junteo y prueba tubería	6260	m	\$13.71	\$85,805.82	6260	m	\$13.71	\$85,805.82	6260	m	\$13.71	\$85,805.82	6260	m	\$13.71	\$85,805.82	6260	m	\$13.71	\$85,805.82
Relleno compactado	22260.56	m³	\$69.40	\$1,544,882.86	24952.96	m³	\$69.40	\$1,731,735.42	31800.8	m³	\$69.40	\$2,206,975.52	38160.96	m³	\$69.40	\$2,648,370.62	44521.12	m³	\$69.40	\$3,089,765.73
Costo de tubería	6260	m	\$985.00	\$6,166,100.00	6260	m	\$985.00	\$6,166,100.00	6260	m	\$985.00	\$6,166,100.00	6260	m	\$985.00	\$6,166,100.00	6260	m	\$985.00	\$6,166,100.00
Costo total de conducción (5)				\$10,608,264.02				\$11,196,755.92				\$12,475,274.68				\$13,719,948.45				\$14,964,622.22

Cuadro 37 Costo total anual considerando cargo por bombeo y costo de tubería (Tramo PB1-PB2)

CONSIDERANDO QUE NUESTRA TUBERIA SERA AMORTIZADA POR 20 AÑOS DE SU VIDA UTIL TENEMOS QUE					
Diámetro nominal		Costo total de la tubería	Renta de latubería amortizada a 20 años	Cargo por Bombeo	Costo anual equivalente
mm	in				
889	35	\$10,608,264.02	\$924,876.80	\$270,880,008.67	\$271,804,885.46
1016	40	\$11,196,755.92	\$976,184.20	\$243,520,353.17	\$244,496,537.37
1270	50	\$12,475,274.68	\$1,087,651.30	\$224,598,141.00	\$225,685,792.30
1524	60	\$13,719,948.45	\$1,196,167.63	\$219,221,046.32	\$220,417,213.95
1778	70	\$14,964,622.22	\$1,304,683.96	\$217,311,881.44	\$218,616,565.40

Gráfico 3 Diámetro Económico Tramo PB1-PB2 con bombeo 24hrs



- **Diámetro económico de la tubería por bombeo del tramo PB2 a PB3**

Pki 6+050 Carga estática 355
 Pkf 8+200

Cuadro 38 Cálculo de las características físicas de la tubería a presión (Tramo PB2-PB3)

Diámetro nominal		Area (A) (m²)	Gasto (Q) (m³/s)	Velocidad (V) (m/s)	Long. Línea (L) (m)	Coeficiente de fricción Darcy (E)	Re	f	Pérdida fricción en mm	Pérdidas secundarias (%)	Pérdidas secundarias (m)	Carga normal de operación Hmax (m)	76 ? ? = %	$HP = \frac{Q h_{ft}}{76 \eta}$	kWatt	Espesor pared del tubo (e) (cm)
mm	in															
889	35	0.62072	3.08	5.043	1970	0.1	4482834.393	0.012677121	36.407	0.150	5.461	396.87	70	23349.59	17411.79	2.007487679
1016	40	0.81073	3.08	3.861	1970	0.1	3922480.094	0.012463114	18.358	0.150	2.754	376.11	70	22128.40	16501.15	2.174281206
1270	50	1.26677	3.08	2.471	1970	0.1	3137984.075	0.012172888	5.876	0.150	0.881	361.76	70	21283.82	15871.34	2.614118279
1524	60	1.82415	3.08	1.716	1970	0.1	2614986.729	0.012003288	2.328	0.150	0.349	357.68	70	21043.82	15692.37	3.101568688
1778	70	2.48287	3.08	1.261	1970	0.1	2241417.196	0.01191034	1.069	0.150	0.160	356.23	70	20958.60	15628.83	3.603844109

Cuadro 39 Cálculo de la sobre presión o golpe de ariete (Tramo PB2-PB3)

GOLPE DE ARIETE											
Presión de trabajo de la tubería kg/cm²	Diámetro nominal (d) (cm)	Espesor pared del tubo (e) (cm)	Velocidad (V) (m/s)	$E_a d$	$E_t e$	$\sqrt{1 + \frac{E_a d}{E_t e}}$	Sobrepresión (m) $h = \frac{145 V}{\sqrt{1 + \frac{E_a d}{E_t e}}}$	Sobrepresión absorbida por tubería 20%h	Carga normal de operación (m)	Presión total = 20%h + carga normal de operación	
396.868	39.687	88.9	5.043	1837563	4215724.126	1.198	610.182	12.204	396.87	51.89	
376.112	37.611	101.6	3.861	2100072	4565990.532	1.208	463.306	9.266	376.11	46.88	
361.757	36.176	127	2.471	2625090	5489648.385	1.216	294.680	5.894	361.76	42.07	
357.678	35.768	152.4	1.716	3150108	6513294.245	1.218	204.262	4.085	357.68	39.85	
356.229	35.623	177.8	1.261	3675126	7568072.629	1.219	149.971	2.999	356.23	38.62	

Cuadro 40 Cálculo financiero (Tramo PB2-PB3)

Análisis Financiero												
Diámetro nominal		Cargo fijo mensual \$	Cargo fijo anual \$	Tarifa HS CFE (punta) \$/KW-hora	Tarifa HS CFE (intermedia) \$/KW-hora	Tarifa HS CFE (base) \$/KW-hora	kWatt	Consumo Anual (Punta)	Consumo Anual (Intermedia)	Consumo Anual (base)	Cargo por consumo \$	Cargo por Bombeo \$
mm	in							kWatt-h	kWatt-h	kWatt-h		
889	35	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	17411.79	13772722.4	78387858.5	48718176.0	167844345.6	167845695
1016	40	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	16501.15	13052408.9	74288172.8	46170214.9	159066084.8	159067434.2
1270	50	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	15871.34	12554232.8	71452789.1	44408019.5	152994951.6	152996301
1524	60	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	15692.37	12412666.9	70647062.6	43907259.3	151269727.4	151271076.8
1778	70	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	15628.83	12362403.2	70360985.3	43729461.8	150657177.8	150658527.2

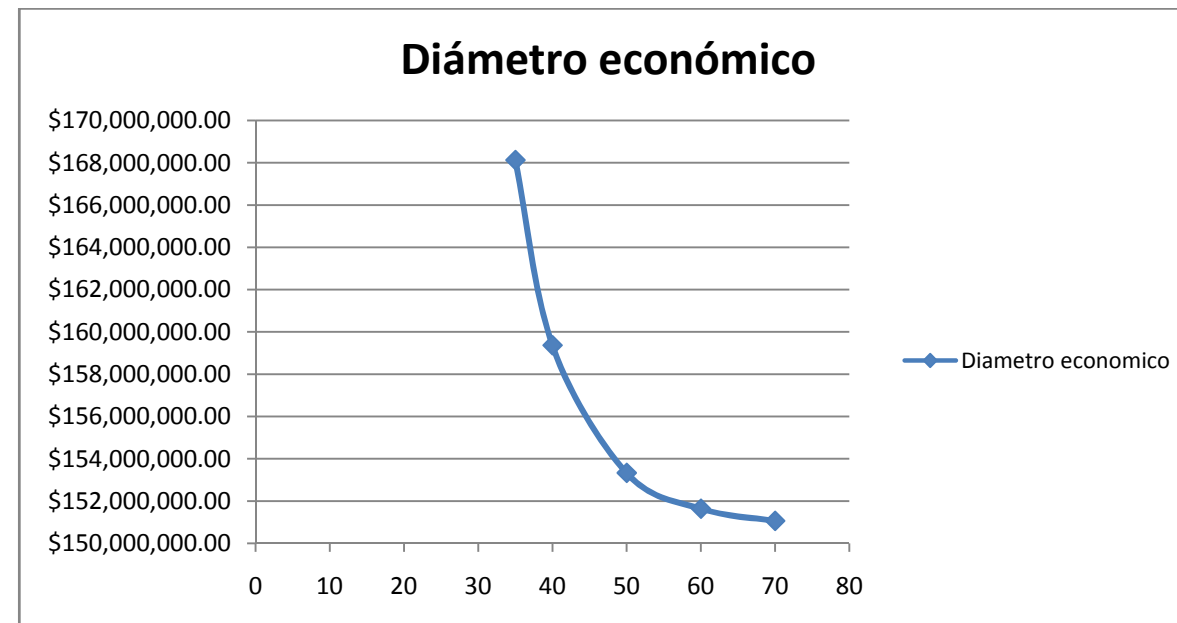
Cuadro 41 Integración del costo de la tubería tomando en cuenta los distintos diámetros (Tramo PB2-PB3)

CONCEPTO	Diámetro=889 mm (35")				Diámetro=1016 mm (40")				Diámetro=1270 mm (50")				Diámetro=1524 mm (60")				Diámetro=1778 mm (70")			
	Cantidad	Unidad	P.U	Importe \$	Cantidad	Unidad	P.U	Importe \$	Cantidad	Unidad	P.U	Importe \$	Cantidad	Unidad	P.U	Importe \$	Cantidad	Unidad	P.U	Importe \$
Excav. Mat. Clase A	862.33	m³	\$150.00	\$129,349.50	985.52	m³	\$150.00	\$147,828.00	1231.9	m³	\$150.00	\$184,785.00	1478.28	m³	\$150.00	\$221,742.00	1724.66	m³	\$150.00	\$258,699.00
Excav. Mat. Clase B	1724.66	m³	\$230.00	\$396,671.80	1971.04	m³	\$230.00	\$453,339.20	2463.8	m³	\$230.00	\$566,674.00	2956.56	m³	\$230.00	\$680,008.80	3449.32	m³	\$230.00	\$793,343.60
Excav. Mat. Clase C	862.33	m³	\$275.00	\$237,140.75	985.52	m³	\$275.00	\$271,018.00	1231.9	m³	\$275.00	\$338,772.50	1478.28	m³	\$275.00	\$406,527.00	1724.66	m³	\$275.00	\$474,281.50
Plantilla apisonada	1034.796	m²	\$104.49	\$108,125.83	1182.624	m²	\$104.49	\$123,572.38	1478.28	m²	\$104.49	\$154,465.48	1773.936	m²	\$104.49	\$185,358.57	2069.592	m²	\$104.49	\$216,251.67
Inst. junto y prueba tubería	1940	m	\$13.71	\$26,591.58	1940	m	\$13.71	\$26,591.58	1940	m	\$13.71	\$26,591.58	1940	m	\$13.71	\$26,591.58	1940	m	\$13.71	\$26,591.58
Relleno compactado	6898.64	m³	\$69.40	\$478,765.62	7884.16	m³	\$69.40	\$547,160.70	9855.2	m³	\$69.40	\$683,950.88	11826.24	m³	\$69.40	\$820,741.06	13797.28	m³	\$69.40	\$957,531.23
Costo de tubería	1940	m	\$985.00	\$1,910,900.00	1940	m	\$985.00	\$1,910,900.00	1940	m	\$985.00	\$1,910,900.00	1940	m	\$985.00	\$1,910,900.00	1940	m	\$985.00	\$1,910,900.00
Costo total de conducción (5)				\$3,287,545.08				\$3,480,409.87				\$3,866,139.44				\$4,251,869.01				\$4,637,598.58

Cuadro 42 Costo total anual considerando cargo por bombeo y cargo por costo de tubería (Tramo PB2-PB3)

CONSIDERANDO QUE NUESTRA TUBERIA SERA AMORTIZADA POR 20 AÑOS DE SU VIDA UTIL TENEMOS QUE					
Diámetro nominal		Costo total de la tubería	Renta de latubería	Cargo por Bombeo	Costo anual equivalente
mm	in		amortizada a 20 años		
889	35	\$3,287,545.08	\$286,623.16	\$167,845,695.02	\$168,132,318.18
1016	40	\$3,480,409.87	\$303,437.99	\$159,067,434.21	\$159,370,872.21
1270	50	\$3,866,139.44	\$337,067.65	\$152,996,300.99	\$153,333,368.65
1524	60	\$4,251,869.01	\$370,697.32	\$151,271,076.81	\$151,641,774.12
1778	70	\$4,637,598.58	\$404,326.98	\$150,658,527.16	\$151,062,854.14

Gráfico 4 Diámetro Económico Tramo PB1-PB2 con bombeo 24hrs



▪ Diámetro económico de la tubería por bombeo del tramo PB3 a PB4

Pki	8+200	Carga estática	355
Pkf	10+200		

Cuadro 43 Cálculo de las características físicas de la tubería a presión (Tramo PB3-PB4)

Diámetro nominal		Area (A) (m²)	Gasto (Q) (m³/s)	Velocidad (V) (m/s)	Long. Línea (L) (m)	Coeficiente de fricción Darcy (E)	Re	f	Pérdida fricción en mm	Pérdidas secundarias (%)	Pérdidas secundarias (m)	Carga normal de operación Hmax (m)	76 ? ? = %	$HP = \frac{Q h_{ft}}{76 \eta}$	kWatt	Espesor pared del tubo (e) (cm)
mm	in															
889	35	0.62072	3.08	5.043	1970	0.1	4482834.393	0.012677121	36.407	0.150	5.461	396.87	70	23349.59	17411.79	2.007487679
1016	40	0.81073	3.08	3.861	1970	0.1	3922480.094	0.012463114	18.358	0.150	2.754	376.11	70	22128.40	16501.15	2.174281206
1270	50	1.26677	3.08	2.471	1970	0.1	3137984.075	0.012172888	5.876	0.150	0.881	361.76	70	21283.82	15871.34	2.614118279
1524	60	1.82415	3.08	1.716	1970	0.1	2614986.729	0.012003288	2.328	0.150	0.349	357.68	70	21043.82	15692.37	3.101568688
1778	70	2.48287	3.08	1.261	1970	0.1	2241417.196	0.01191034	1.069	0.150	0.160	356.23	70	20958.60	15628.83	3.603844109

Cuadro 44 Cálculo de la sobre presión o golpe de ariete (Tramo PB3-PB4)

GOLPE DE ARIETE											
Presión de trabajo de la tubería kg/cm²	Diámetro nominal (d) (cm)	Espesor pared del tubo (e) (cm)	Velocidad (V) (m/s)	$E_a d$	$E_t e$	$\sqrt{1 + \frac{E_a d}{E_t e}}$	Sobrepresión (m) $h = \frac{145 V}{\sqrt{1 + \frac{E_a d}{E_t e}}}$	Sobrepresión absorbida por tubería 20%h	Carga normal de operación (m)	Presión total = 20%h + carga normal de operación	
396.868	39.687	88.9	5.043	1837563	4215724.126	1.198	610.182	12.204	396.87	51.89	
376.112	37.611	101.6	3.861	2100072	4565990.532	1.208	463.306	9.266	376.11	46.88	
361.757	36.176	127	2.471	2625090	5489648.385	1.216	294.680	5.894	361.76	42.07	
357.678	35.768	152.4	1.716	3150108	6513294.245	1.218	204.262	4.085	357.68	39.85	
356.229	35.623	177.8	1.261	3675126	7568072.629	1.219	149.971	2.999	356.23	38.62	

Cuadro 45 Cálculo financiero (Tramo PB3-PB4)

Análisis Financiero												
Diámetro nominal		Cargo fijo mensual \$	Cargo fijo anual \$	Tarifa HS CFE (punta) \$/KW-hora	Tarifa HS CFE (intermedia) \$/KW-hora	Tarifa HS CFE (base) \$/KW-hora	kWatt	Consumo Anual (Punta)	Consumo Anual (Intermedia)	Consumo Anual (base)	Cargo por consumo \$	Cargo por Bombeo \$
mm	in							kWatt-h	kWatt-h	kWatt-h		
889	35	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	17411.79	13772722.4	78387858.5	48718176.0	167844345.6	167845695
1016	40	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	16501.15	13052408.9	74288172.8	46170214.9	159066084.8	159067434.2
1270	50	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	15871.34	12554232.8	71452789.1	44408019.5	152994951.6	152996301
1524	60	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	15692.37	12412666.9	70647062.6	43907259.3	151269727.4	151271076.8
1778	70	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	15628.83	12362403.2	70360985.3	43729461.8	150657177.8	150658527.2

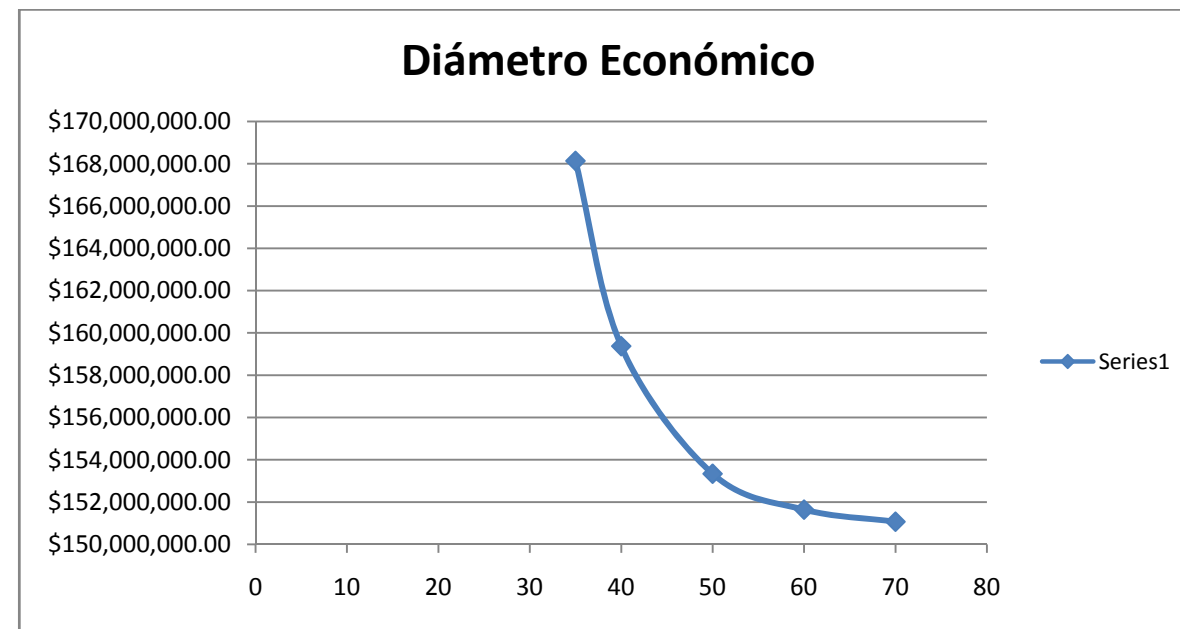
Cuadro 46 Integración del costo de la tubería tomando en cuenta los distintos diámetros (Tramo PB3-PB4)

CONCEPTO	Diámetro=889 mm (35")				Diámetro=1016 mm (40")				Diámetro=1270 mm (50")				Diámetro=1524 mm (60")				Diámetro=1778 mm (70")			
	Cantidad	Unidad	P.U.	Importe \$	Cantidad	Unidad	P.U.	Importe \$	Cantidad	Unidad	P.U.	Importe \$	Cantidad	Unidad	P.U.	Importe \$	Cantidad	Unidad	P.U.	Importe \$
Excav. Mat. Clase A	889	m³	\$150.00	\$133,350.00	1016	m³	\$150.00	\$152,400.00	1270	m³	\$150.00	\$190,500.00	1501.14	m³	\$150.00	\$225,171.00	1778	m³	\$150.00	\$266,700.00
Excav. Mat. Clase B	1778	m³	\$230.00	\$408,940.00	2032	m³	\$230.00	\$467,360.00	2540	m³	\$230.00	\$584,200.00	3002.28	m³	\$230.00	\$690,524.40	3556	m³	\$230.00	\$817,880.00
Excav. Mat. Clase C	889	m³	\$275.00	\$244,475.00	1016	m³	\$275.00	\$279,400.00	1270	m³	\$275.00	\$349,250.00	1501.14	m³	\$275.00	\$412,813.50	1778	m³	\$275.00	\$488,950.00
Plantilla apisonada	1066.8	m²	\$104.49	\$111,469.93	1219.2	m²	\$104.49	\$127,394.21	1524	m²	\$104.49	\$159,242.76	1801.368	m²	\$104.49	\$188,224.94	2133.6	m²	\$104.49	\$222,939.86
Inst. junteo y prueba tubería	2000	m	\$13.71	\$27,414.00	2000	m	\$13.71	\$27,414.00	2000	m	\$13.71	\$27,414.00	1970	m	\$13.71	\$27,002.79	2000	m	\$13.71	\$27,414.00
Relleno compactado	7112	m³	\$69.40	\$493,572.80	8128	m³	\$69.40	\$564,083.20	10160	m³	\$69.40	\$705,104.00	12009.12	m³	\$69.40	\$833,432.93	14224	m³	\$69.40	\$987,145.60
Costo de tubería	2000	m	\$985.00	\$1,970,000.00	2000	m	\$985.00	\$1,970,000.00	2000	m	\$985.00	\$1,970,000.00	1970	m	\$985.00	\$1,940,450.00	2000	m	\$985.00	\$1,970,000.00
Costo total de conducción (5)				\$3,389,221.73				\$3,588,051.41				\$3,985,710.76				\$4,317,619.56				\$4,781,029.46

Cuadro 47 Costo total anual considerando cargo por bombeo y cargo por costo de tubería (Tramo PB3-PB4)

CONSIDERANDO QUE NUESTRA TUBERIA SERA AMORTIZADA POR 20 AÑOS DE SU VIDA UTIL TENEMOS QUE					
Diámetro nominal		Costo total de la tubería	Renta de latubería amortizada a 20 años	Cargo por Bombeo	Costo anual equivalente
mm	in				
889	35	\$3,389,221.73	\$295,487.80	\$167,845,695.02	\$168,141,182.81
1016	40	\$3,588,051.41	\$312,822.67	\$159,067,434.21	\$159,380,256.89
1270	50	\$3,985,710.76	\$347,492.43	\$152,996,300.99	\$153,343,793.42
1524	60	\$4,317,619.56	\$376,429.75	\$151,271,076.81	\$151,647,506.55
1778	70	\$4,781,029.46	\$416,831.94	\$150,658,527.16	\$151,075,359.10

Gráfico 5 Diámetro Económico Tramo PB3-PB4 con bombeo 24hrs



- Diámetro económico de la tubería por bombeo del tramo PB4 a PB5

Pki 10+200 Carga estática 355
Pkf 12+000

Cuadro 48 Cálculo de las características físicas de la tubería a presión (Tramo PB4-PB5)

Diámetro nominal		Area (A) (m ²)	Gasto (Q) (m ³ /s)	Velocidad (V) (m/s)	Long. Línea (L) (m)	Coeficiente de fricción Darcy (E)	Re	f	Pérdida fricción en mm	Perdidas secundarias (%)	Perdidas secundarias (m)	Carga normal de operación H _{max} (m)	76 ? ? = %	$HP = \frac{Q \cdot h_{ft}}{76\eta}$	kWatt	Espesor pared del tubo (e) (cm)
mm	in															
889	35	0.62072	3.08	5.043	1970	0.1	4482834.393	0.012677121	36.407	0.150	5.461	396.87	70	23349.59	17411.79	2.007487679
1016	40	0.81073	3.08	3.861	1970	0.1	3922480.094	0.012463114	18.358	0.150	2.754	376.11	70	22128.40	16501.15	2.174281206
1270	50	1.26677	3.08	2.471	1970	0.1	3137984.075	0.012172888	5.876	0.150	0.881	361.76	70	21283.82	15871.34	2.614118279
1524	60	1.82415	3.08	1.716	1970	0.1	2614986.729	0.012003288	2.328	0.150	0.349	357.68	70	21043.82	15692.37	3.101568688
1778	70	2.48287	3.08	1.261	1970	0.1	2241417.196	0.01191034	1.069	0.150	0.160	356.23	70	20958.60	15628.83	3.603844109

Cuadro 49 Cálculo de la sobre presión o golpe de ariete (Tramo PB4-PB5)

GOLPE DE ARIETE											
Presión de trabajo de la tubería	Diámetro nominal (d)	Espesor pared del tubo (e)	Velocidad (V)	$E_a d$	$E_t e$	$\sqrt{1 + \frac{E_a d}{E_t e}}$	Sobrepresión (m) $h = \frac{145 V}{\sqrt{1 + \frac{E_a d}{E_t e}}}$	Sobrepresión absorbida por tubería 20%h	Carga normal de operación (m)	Presión total = 20%h + carga normal de operación	
kg/cm ²	(cm)	(cm)	(m/s)								
396.868	39.687	88.9	2.007487679	5.043	1837563	4215724.126	1.198	610.182	12.204	396.87	51.89
376.112	37.611	101.6	2.174281206	3.861	2100072	4565990.532	1.208	463.306	9.266	376.11	46.88
361.757	36.176	127	2.614118279	2.471	2625090	5489648.385	1.216	294.680	5.894	361.76	42.07
357.678	35.768	152.4	3.101568688	1.716	3150108	6513294.245	1.218	204.262	4.085	357.68	39.85
356.229	35.623	177.8	3.603844109	1.261	3675126	7568072.629	1.219	149.971	2.999	356.23	38.62

Cuadro 50 Cálculo financiero (Tramo PB4-PB5)

Análisis Financiero												
Diámetro nominal		Cargo fijo mensual	Cargo fijo anual	Tarifa HS CFE (punta)	Tarifa HS CFE (intermedia)	Tarifa HS CFE (base)	kWatt	Consumo Anual (Punta)	Consumo Anual (Intermedia)	Consumo Anual (base)	Cargo por consumo	Cargo por Bombeo
mm	in	\$	\$	\$/KW-hora	\$/KW-hora	\$/KW-hora		kWatt-h	kWatt-h	kWatt-h	\$	\$
889	35	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	17411.79	13772722.4	78387858.5	48718176.0	167844345.6	167845695
1016	40	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	16501.15	13052408.9	74288172.8	46170214.9	159066084.8	159067434.2
1270	50	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	15871.34	12554232.8	71452789.1	44408019.5	152994951.6	152996301
1524	60	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	15692.37	12412666.9	70647062.6	43907259.3	151269727.4	151271076.8
1778	70	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	15628.83	12362403.2	70360985.3	43729461.8	150657177.8	150658527.2

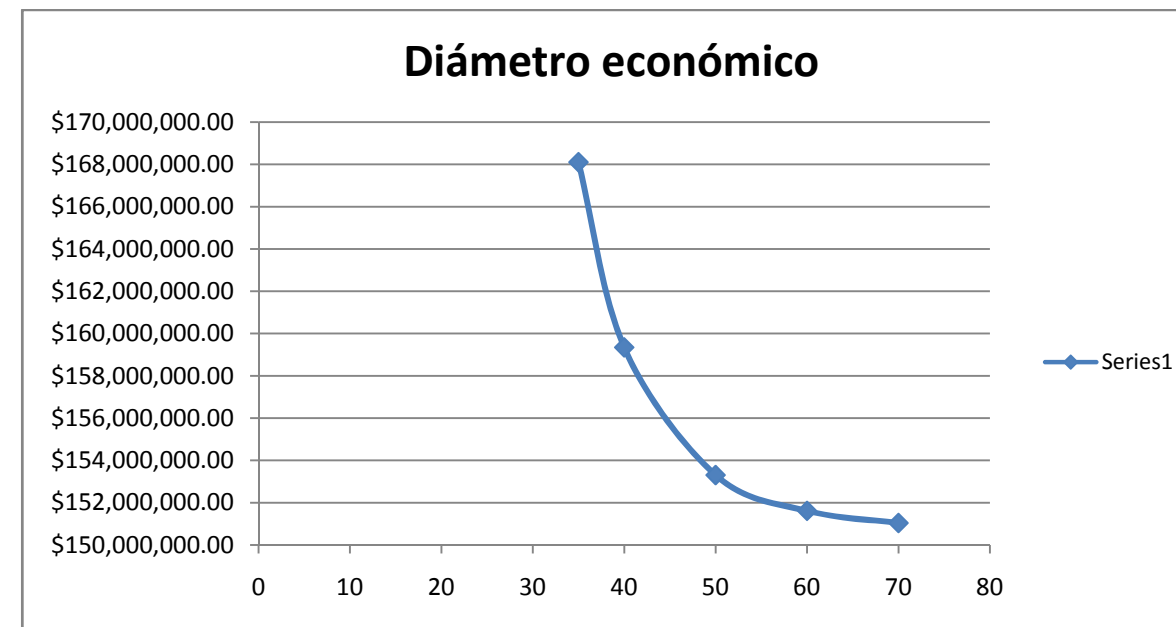
Cuadro 51 Integración del costo de la tubería tomando en cuenta los distintos diámetros (Tramo PB4-PB5)

CONCEPTO	Diámetro=889 mm (35")				Diámetro=1016 mm (40")				Diámetro=1270 mm (50")				Diámetro=1524 mm (60")				Diámetro=1778 mm (70")			
	Cantidad	Unidad	P.U	Importe \$	Cantidad	Unidad	P.U	Importe \$	Cantidad	Unidad	P.U	Importe \$	Cantidad	Unidad	P.U	Importe \$	Cantidad	Unidad	P.U	Importe \$
Excav. Mat. Clase A	800.1	m ³	\$150.00	\$120,015.00	914.4	m ³	\$150.00	\$137,160.00	1143	m ³	\$150.00	\$171,450.00	1371.6	m ³	\$150.00	\$205,740.00	1600.2	m ³	\$150.00	\$240,030.00
Excav. Mat. Clase B	1600.2	m ³	\$230.00	\$368,046.00	1828.8	m ³	\$230.00	\$420,624.00	2286	m ³	\$230.00	\$525,780.00	2743.2	m ³	\$230.00	\$630,936.00	3200.4	m ³	\$230.00	\$736,092.00
Excav. Mat. Clase C	800.1	m ³	\$275.00	\$220,027.50	914.4	m ³	\$275.00	\$251,460.00	1143	m ³	\$275.00	\$314,325.00	1371.6	m ³	\$275.00	\$377,190.00	1600.2	m ³	\$275.00	\$440,055.00
Plantilla apisonada	960.12	m ²	\$104.49	\$100,322.94	1097.28	m ²	\$104.49	\$114,654.79	1371.6	m ²	\$104.49	\$143,318.48	1645.92	m ²	\$104.49	\$171,982.18	1920.24	m ²	\$104.49	\$200,645.88
Inst. junteo y prueba tubería	1800	m	\$13.71	\$24,672.60	1800	m	\$13.71	\$24,672.60	1800	m	\$13.71	\$24,672.60	1800	m	\$13.71	\$24,672.60	1800	m	\$13.71	\$24,672.60
Relleno compactado	6400.8	m ³	\$69.40	\$444,215.52	7315.2	m ³	\$69.40	\$507,674.88	9144	m ³	\$69.40	\$634,593.60	10972.8	m ³	\$69.40	\$761,512.32	14010.64	m ³	\$69.40	\$972,338.42
Costo de tubería	1800	m	\$985.00	\$1,773,000.00	1800	m	\$985.00	\$1,773,000.00	1800	m	\$985.00	\$1,773,000.00	1800	m	\$985.00	\$1,773,000.00	1800	m	\$985.00	\$1,773,000.00
Costo total de conducción (5)				\$3,050,299.56				\$3,229,246.27				\$3,587,139.68				\$3,945,033.10				\$4,386,833.89

Cuadro 52 Costo total anual considerando cargo por bombeo y cargo por costo de tubería (Tramo PB4-PB5)

CONSIDERANDO QUE NUESTRA TUBERIA SERA AMORTIZADA POR 20 AÑOS DE SU VIDA UTIL TENEMOS QUE					
Diámetro nominal		Costo total de la tubería	Renta de latubería amortizada a 20 años	Cargo por Bombeo	Costo anual equivalente
mm	in				
889	35	\$3,050,299.56	\$265,939.02	\$167,845,695.02	\$168,111,634.03
1016	40	\$3,229,246.27	\$281,540.41	\$159,067,434.21	\$159,348,974.62
1270	50	\$3,587,139.68	\$312,743.18	\$152,996,300.99	\$153,309,044.18
1524	60	\$3,945,033.10	\$343,945.96	\$151,271,076.81	\$151,615,022.77
1778	70	\$4,386,833.89	\$382,464.17	\$150,658,527.16	\$151,040,991.33

Gráfico 6 Diámetro Económico Tramo PB4-PB5 con bombeo 24hrs



Diámetro económico de la tubería por bombeo del tramo PB5 a TCR

Pki 12+000 Carga estática 355
 Pkf 14+000

Cuadro 53 Cálculo de las características físicas de la tubería a presión (Tramo PB5-TCR)

Diámetro nominal		Area (A) (m ²)	Gasto (Q) (m ³ /s)	Velocidad (V) (m/s)	Long. Línea (L) (m)	Coeficiente de fricción Darcy (E)	Re	f	Perdida fricción en mm	Perdidas secundarias (%)	Perdidas secundarias (m)	Carga normal de operación Hmax (m)	76 ? ? = %	$HP = \frac{Q h_{ft}}{76\eta}$	kWatt	Espesor pared del tubo (e) (cm)
mm	in															
889	35	0.62072	3.08	5.043	1970	0.1	4482834.393	0.012677121	36.407	0.150	5.461	396.87	70	23349.59	17411.79	2.007487679
1016	40	0.81073	3.08	3.861	1970	0.1	3922480.094	0.012463114	18.358	0.150	2.754	376.11	70	22128.40	16501.15	2.174281206
1270	50	1.26677	3.08	2.471	1970	0.1	3137984.075	0.012172888	5.876	0.150	0.881	361.76	70	21283.82	15871.34	2.614118279
1524	60	1.82415	3.08	1.716	1970	0.1	2614986.729	0.012003288	2.328	0.150	0.349	357.68	70	21043.82	15692.37	3.101568688
1778	70	2.48287	3.08	1.261	1970	0.1	2241417.196	0.011910344	1.069	0.150	0.160	356.23	70	20958.60	15628.83	3.603844109

Cuadro 54 Cálculo de la sobre presión o golpe de ariete (Tramo PB5-TCR)

GOLPE DE ARIETE												
Presión de trabajo de la tubería kg/cm ²	Diámetro nominal (d) (cm)	Espesor pared del tubo (e) (cm)	Velocidad (V) (m/s)	$E_a d$	$E_t e$	$\sqrt{1 + \frac{E_a d}{E_t e}}$	Sobrepresión (m) $h = \frac{145 V}{\sqrt{1 + \frac{E_a d}{E_t e}}}$	Sobrepresión absorbida por tubería 20%h	Carga normal de operación (m)	Presión total = 20%h + carga normal de operación		
396.868	39.687	88.9	5.043	1837563	4215724.126	1.198	610.182	12.204	396.87	51.89		
376.112	37.611	101.6	3.861	2100072	4565990.532	1.208	463.306	9.266	376.11	46.88		
361.757	36.176	127	2.471	2625090	5489648.385	1.216	294.680	5.894	361.76	42.07		
357.678	35.768	152.4	1.716	3150108	6513294.245	1.218	204.262	4.085	357.68	39.85		
356.229	35.623	177.8	1.261	3675126	7568072.629	1.219	149.971	2.999	356.23	38.62		

Cuadro 55 Cálculo financiero (Tramo PB5-TCR)

Análisis Financiero												
Diámetro nominal		Cargo fijo mensual	Cargo fijo anual	Tarifa HS CFE	Tarifa HS CFE	Tarifa HS CFE (base)	kWatt	Consumo Anual	Consumo Anual	Consumo Anual	Cargo por consumo	Cargo por Bombeo
mm	in			(punta)	(intermedia)	(base)		(Punta)	(Intermedia)	(base)		
		\$	\$	\$/KW-hora	\$/KW-hora	\$/KW-hora		kWatt-h	kWatt-h	kWatt-h	\$	\$
889	35	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	17411.79	13772722.4	78387858.5	48718176.0	167844345.6	167845695
1016	40	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	16501.15	13052408.9	74288172.8	46170214.9	159066084.8	159067434.2
1270	50	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	15871.34	12554232.8	71452789.1	44408019.5	152994951.6	152996301
1524	60	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	15692.37	12412666.9	70647062.6	43907259.3	151269727.4	151271076.8
1778	70	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	15628.83	12362403.2	70360985.3	43729461.8	150657177.8	150658527.2

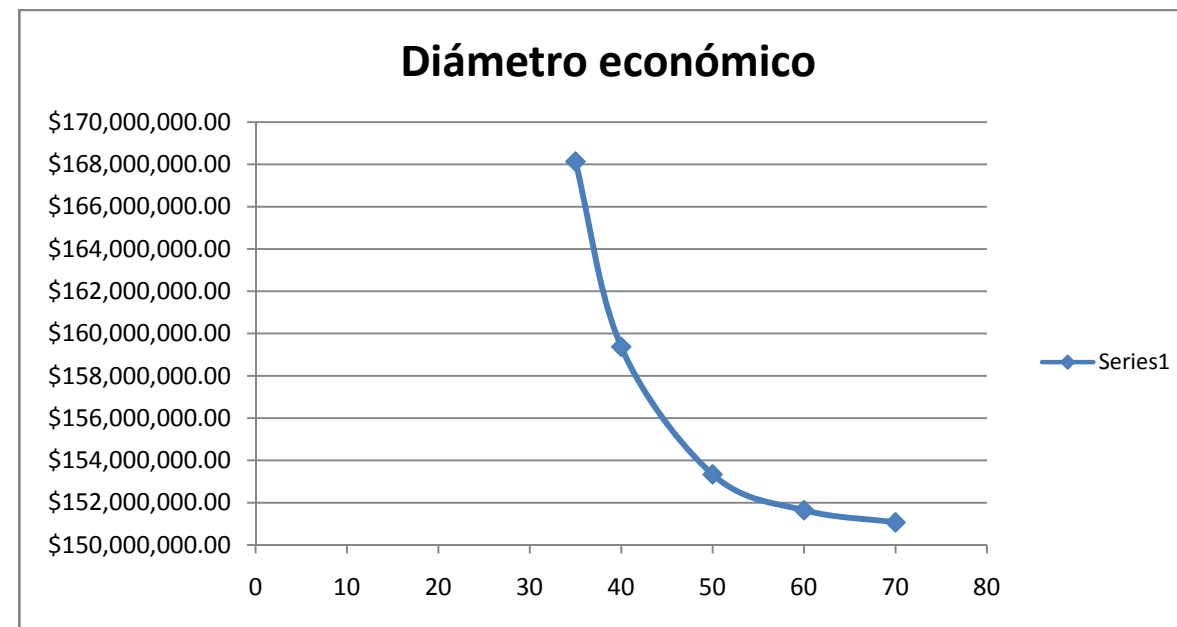
Cuadro 56 Integración del costo de la tubería tomando en cuenta los distintos diámetros (Tramo PB5-TCR)

CONCEPTO	Diámetro=889 mm (35")				Diámetro=1016 mm (40")				Diámetro=1270 mm (50")				Diámetro=1524 mm (60")				Diámetro=1778 mm (70")			
	Cantidad	Unidad	P.U	Importe \$	Cantidad	Unidad	P.U	Importe \$	Cantidad	Unidad	P.U	Importe \$	Cantidad	Unidad	P.U	Importe \$	Cantidad	Unidad	P.U	Importe \$
Excav. Mat. Clase A	889	m³	\$150.00	\$133,350.00	1016	m³	\$150.00	\$152,400.00	1270	m³	\$150.00	\$190,500.00	1501.14	m³	\$150.00	\$225,171.00	1778	m³	\$150.00	\$266,700.00
Excav. Mat. Clase B	1778	m³	\$230.00	\$408,940.00	2032	m³	\$230.00	\$467,360.00	2540	m³	\$230.00	\$584,200.00	3002.28	m³	\$230.00	\$690,524.40	3556	m³	\$230.00	\$817,880.00
Excav. Mat. Clase C	889	m³	\$275.00	\$244,475.00	1016	m³	\$275.00	\$279,400.00	1270	m³	\$275.00	\$349,250.00	1501.14	m³	\$275.00	\$412,813.50	1778	m³	\$275.00	\$488,950.00
Plantilla apisonada	1066.8	m²	\$104.49	\$111,469.93	1219.2	m²	\$104.49	\$127,394.21	1524	m²	\$104.49	\$159,242.76	1801.368	m²	\$104.49	\$188,224.94	2133.6	m²	\$104.49	\$222,939.86
Inst. junteo y prueba tubería	2000	m	\$13.71	\$27,414.00	2000	m	\$13.71	\$27,414.00	2000	m	\$13.71	\$27,414.00	1970	m	\$13.71	\$27,002.79	2000	m	\$13.71	\$27,414.00
Relleno compactado	7112	m³	\$69.40	\$493,572.80	8128	m³	\$69.40	\$564,083.20	10160	m³	\$69.40	\$705,104.00	12009.12	m³	\$69.40	\$833,432.93	14224	m³	\$69.40	\$987,145.60
Costo de tubería	2000	m	\$985.00	\$1,970,000.00	2000	m	\$985.00	\$1,970,000.00	2000	m	\$985.00	\$1,970,000.00	1970	m	\$985.00	\$1,940,450.00	2000	m	\$985.00	\$1,970,000.00
Costo total de conducción (5)				\$3,389,221.73				\$3,588,051.41				\$3,985,710.76				\$4,317,619.56				\$4,781,029.46

Cuadro 57 Costo total anual considerando cargo por bombeo y cargo por costo de tubería (Tramo PB5-TCR)

CONSIDERANDO QUE NUESTRA TUBERÍA SERÁ AMORTIZADA POR 20 AÑOS DE SU VIDA ÚTIL TENEMOS QUE					
Diámetro nominal		Costo total de la tubería	Renta de latubería	Cargo por Bombeo	Costo anual equivalente
mm	in		amortizada a 20 años		
889	35	\$3,389,221.73	\$295,487.80	\$167,845,695.02	\$168,141,182.81
1016	40	\$3,588,051.41	\$312,822.67	\$159,067,434.21	\$159,380,256.89
1270	50	\$3,985,710.76	\$347,492.43	\$152,996,300.99	\$153,343,793.42
1524	60	\$4,317,619.56	\$376,429.75	\$151,271,076.81	\$151,647,506.55
1778	70	\$4,781,029.46	\$416,831.94	\$150,658,527.16	\$151,075,359.10

Gráfico 7 Diámetro Económico Tramo PB5-TCR con bombeo 24hrs



8.3.2 BOMBEO SÓLO 20 HORAS.

- Diámetro económico de la tubería por bombeo del tramo PB1 a PB2

Pki 0+000 Carga estática 510
 Pkf 6+260

Cuadro 58 Cálculo de las características físicas de la tubería a presión (Tramo PB1-PB2)

Diámetro nominal		Area (A) (m ²)	Gasto (Q) (m ³ /s)	Velocidad (V) (m/s)	Long. Línea (L) (m)	Coeficiente de fricción Darcy (E)	Re	f	Perdida fricción en mm	Perdidas secundarias (%)	Perdidas secundarias (m)	Carga normal de operación Hmax (m)	76 ? ?= %	$HP = \frac{Q h_{ft}}{76\eta}$	kWatt	Espesor pared del tubo (e) (cm)
mm	in															
889	35	0.62072	3.08	5.043	6140	0.1	4482834.393	0.012677121	113.472	0.150	17.021	640.49	70	37683.15	28100.33	3.239820615
1016	40	0.81073	3.08	3.861	6140	0.1	3922480.094	0.012463114	57.218	0.150	8.583	575.80	70	33877.03	25262.10	3.328671815
1270	50	1.26677	3.08	2.471	6140	0.1	3137984.075	0.01217288	18.313	0.150	2.747	531.06	70	31244.67	23299.15	3.837529096
1524	60	1.82415	3.08	1.716	6140	0.1	2614986.729	0.012003288	7.257	0.150	1.089	518.35	70	30496.64	22741.35	4.494785305
1778	70	2.48287	3.08	1.261	6140	0.1	2241417.196	0.01191034	3.332	0.150	0.500	513.83	70	30231.05	22543.29	5.198247388

Cuadro 59 Cálculo de la sobre presión o golpe de ariete (Tramo PB1-PB2)

GOLPE DE ARIETE											
Presión de trabajo de la tubería		Diámetro nominal (d)	Espesor pared del tubo (e)	Velocidad (V)	$E_a d$	$E_t e$	$\sqrt{1 + \frac{E_a d}{E_t e}}$	Sobrepresión (m)	Sobrepresión absorbida por tubería 20%	Carga normal de operación	Presión total = 20%h + carga normal de operación
kg/cm ²		(cm)	(cm)	(m/s)				$h = \frac{145 V}{\sqrt{1 + \frac{E_a d}{E_t e}}}$		(m)	
640.493	64.049	88.9	3.239820615	5.043	1837563	6803623.291	1.127	648.787	12.976	640.49	77.03
575.801	57.580	101.6	3.328671815	3.861	2100072	6990210.811	1.140	490.898	9.818	575.80	67.40
531.060	53.106	127	3.837529096	2.471	2625090	8058811.101	1.151	311.161	6.223	531.06	59.33
518.345	51.835	152.4	4.494785305	1.716	3150108	9439049.139	1.155	215.436	4.309	518.35	56.14
513.831	51.383	177.8	5.198247388	1.261	3675126	10916319.51	1.156	158.106	3.162	513.83	54.55

Cuadro 60 Cálculo financiero (Tramo PB1-PB2)

Análisis Financiero												
Diámetro nominal		Cargo fijo mensual	Cargo fijo anual	Tarifa HS CFE (punta)	Tarifa HS CFE (intermedia)	Tarifa HS CFE (base)	kWatt	Consumo Anual (Punta)	Consumo Anual	Consumo Anual (base)	Cargo por consumo	Cargo por Bombeo
mm	in	\$	\$	\$/KW-hora	\$/KW-hora	\$/KW-hora		kWatt-h	kWatt-h	kWatt-h	\$	\$
889	35	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	28100.33	0.0	126507675.6	78624717.1	221029360.7	221030710.1
1016	40	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	25262.10	0.0	113729974.9	70683356.3	198704652	198706001.4
1270	50	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	23299.15	0.0	104892789.0	65191031.5	183264659.5	183266008.9
1524	60	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	22741.35	0.0	102381540.0	63630286.3	178877101.6	178878451
1778	70	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	22543.29	0.0	101489908.3	63076135.8	177319276.8	177320626.2

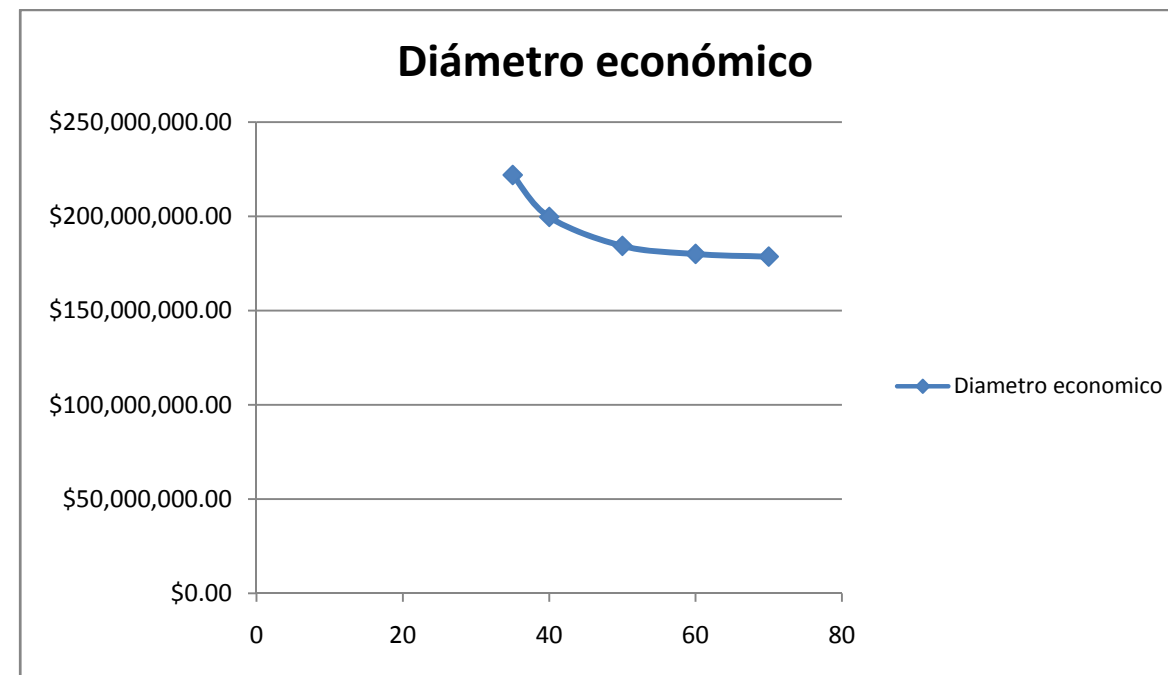
Cuadro 61 Integración del costo de la tubería tomando en cuenta los distintos diámetros (Tramo PB1-PB2)

CONCEPTO	Diámetro=889 mm (35")				Diámetro=1016 mm (40")				Diámetro=1270 mm (50")				Diámetro=1524 mm (60")				Diámetro=1778 mm (70")			
	Cantidad	Unidad	P.U	Importe \$	Cantidad	Unidad	P.U	Importe \$	Cantidad	Unidad	P.U	Importe \$	Cantidad	Unidad	P.U	Importe \$	Cantidad	Unidad	P.U	Importe \$
Excav. Mat. Clase A	2782.57	m ³	\$150.00	\$417,385.50	3180.08	m ³	\$150.00	\$477,012.00	3975.1	m ³	\$150.00	\$596,265.00	4770.12	m ³	\$150.00	\$715,518.00	5565.14	m ³	\$150.00	\$834,771.00
Excav. Mat. Clase B	5565.14	m ³	\$230.00	\$1,279,982.20	6360.16	m ³	\$230.00	\$1,462,836.80	7950.2	m ³	\$230.00	\$1,828,546.00	9540.24	m ³	\$230.00	\$2,194,255.20	11130.28	m ³	\$230.00	\$2,559,964.40
Excav. Mat. Clase C	2782.57	m ³	\$275.00	\$765,206.75	3180.08	m ³	\$275.00	\$874,522.00	3975.1	m ³	\$275.00	\$1,093,152.50	4770.12	m ³	\$275.00	\$1,311,783.00	5565.14	m ³	\$275.00	\$1,530,413.50
Plantilla apisonada	3339.084	m ²	\$104.49	\$348,900.89	3816.096	m ²	\$104.49	\$398,743.87	4770.12	m ²	\$104.49	\$498,429.84	5724.144	m ²	\$104.49	\$598,115.81	6678.168	m ²	\$104.49	\$697,801.77
Inst. junteo y prueba tubería	6260	m	\$13.71	\$85,805.82	6260	m	\$13.71	\$85,805.82	6260	m	\$13.71	\$85,805.82	6260	m	\$13.71	\$85,805.82	6260	m	\$13.71	\$85,805.82
Relleno compactado	22260.56	m ³	\$69.40	\$1,544,882.86	24952.96	m ³	\$69.40	\$1,731,735.42	31800.8	m ³	\$69.40	\$2,206,975.52	38160.96	m ³	\$69.40	\$2,648,370.62	44521.12	m ³	\$69.40	\$3,089,765.73
Costo de tubería	6260	m	\$985.00	\$6,166,100.00	6260	m	\$985.00	\$6,166,100.00	6260	m	\$985.00	\$6,166,100.00	6260	m	\$985.00	\$6,166,100.00	6260	m	\$985.00	\$6,166,100.00
Costo total de conducción (5)				\$10,608,264.02				\$11,196,755.92				\$12,475,274.68				\$13,719,948.45				\$14,964,622.22

Cuadro 62 Costo total anual considerando cargo por bombeo y cargo por costo de tubería (Tramo PB1-PB2)

CONSIDERANDO QUE NUESTRA TUBERIA SERA AMORTIZADA POR 20 AÑOS DE SU VIDA UTIL TENEMOS QUE					
Diámetro nominal		Costo total de la tubería	Renta de latubería	Carga por Bombeo	Costo anual equivalente
mm	in		amortizada a 20 años		
889	35	\$10,608,264.02	\$924,876.80	\$221,030,710.06	\$221,955,586.85
1016	40	\$11,196,755.92	\$976,184.20	\$198,706,001.35	\$199,682,185.56
1270	50	\$12,475,274.68	\$1,087,651.30	\$183,266,008.89	\$184,353,660.18
1524	60	\$13,719,948.45	\$1,196,167.63	\$178,878,451.00	\$180,074,618.63
1778	70	\$14,964,622.22	\$1,304,683.96	\$177,320,626.20	\$178,625,310.16

Gráfico 8 Diámetro Económico Tramo PB1-PB2 con bombeo 20hrs



▪ Diámetro económico de la tubería por bombeo del tramo PB2 a PB3

Pki 6+050 Carga estática 355
 Pkf 8+200

Cuadro 63 Cálculo de las características físicas de la tubería a presión (Tramo PB2-PB3)

Diámetro nominal		Area (A) (m ²)	Gasto (Q) (m ³ /s)	Velocidad (V) (m/s)	Long. Línea (L) (m)	Coeficiente de fricción Darcy (E)	Re	f	Perdida fricción en mm	Perdidas secundarias (%)	Perdidas secundarias (m)	Carga normal de operación max (m)	76 ? ?= %	$HP = \frac{Q \cdot h_{ft}}{76\eta}$	kWatt	Espesor pared de tubo (e) (cm)
mm	in															
889	35	0.62072	3.08	5.043	1970	0.1	4482834.393	0.012677	36.407	0.150	5.461	396.87	70	23349.59	17411.79	2.007487679
1016	40	0.81073	3.08	3.861	1970	0.1	3922480.094	0.012463	18.358	0.150	2.754	376.11	70	22128.40	16501.15	2.174281206
1270	50	1.26677	3.08	2.471	1970	0.1	3137984.075	0.012173	5.876	0.150	0.881	361.76	70	21283.82	15871.34	2.614118279
1524	60	1.82415	3.08	1.716	1970	0.1	2614986.729	0.012003	2.328	0.150	0.349	357.68	70	21043.82	15692.37	3.101568688
1778	70	2.48287	3.08	1.261	1970	0.1	2241417.196	0.01191	1.069	0.150	0.160	356.23	70	20958.60	15628.83	3.603844109

Cuadro 64 Cálculo de la sobre presión o golpe de ariete (Tramo PB2-PB3)

GOLPE DE ARIETE											
Presión de trabajo de la tubería		Diámetro nominal (d)	Espesor pared del tubo (e)	Velocidad (V)	$E_a d$	$E_t e$	$\sqrt{1 + \frac{E_a d}{E_t e}}$	Sobrepresión (h)	Sobrepresión absorbida por tubería 20%h	Carga normal de operación (m)	Presión total = 20%h + carga normal de operación
kg/cm ²		(cm)	(cm)	(m/s)				$h = \frac{145 V}{\sqrt{1 + \frac{E_a d}{E_t e}}}$			
396.868	39.687	88.9	2.007487679	5.043	1837563	4215724.126	1.198	610.182	12.204	396.87	51.89
376.112	37.611	101.6	2.174281206	3.861	2100072	4565990.532	1.208	463.306	9.266	376.11	46.88
361.757	36.176	127	2.614118279	2.471	2625090	5489648.385	1.216	294.680	5.894	361.76	42.07
357.678	35.768	152.4	3.101568688	1.716	3150108	6513294.245	1.218	204.262	4.085	357.68	39.85
356.229	35.623	177.8	3.603844109	1.261	3675126	7568072.629	1.219	149.971	2.999	356.23	38.62

Cuadro 65 Cálculo financiero (Tramo PB2-PB3)

Análisis Financiero												
Diámetro nominal		Cargo fijo mensual	Cargo fijo anual	Tarifa HS CFE (punta)	Tarifa HS CFE (intermedia)	Tarifa HS CFE (base)	kWatt	Consumo Anual	Consumo Anual	Consumo Anual (base)	Cargo por consumo	Cargo por Bombeo
mm	in	\$	\$	\$/KW-hora	\$/KW-hora	\$/KW-hora		kWatt-h	kWatt-h	kWatt-h	\$	\$
889	35	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	17411.79	0.0	78387858.5	48718176.0	136956261.2	136957610.6
1016	40	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	16501.15	0.0	74288172.8	46170214.9	129793447.5	129794796.9
1270	50	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	15871.34	0.0	71452789.1	44408019.5	124839573.7	124840923.1
1524	60	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	15692.37	0.0	70647062.6	43907259.3	123431839.3	123433188.7
1778	70	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	15628.83	0.0	70360985.3	43729461.8	122932016	122933365.4

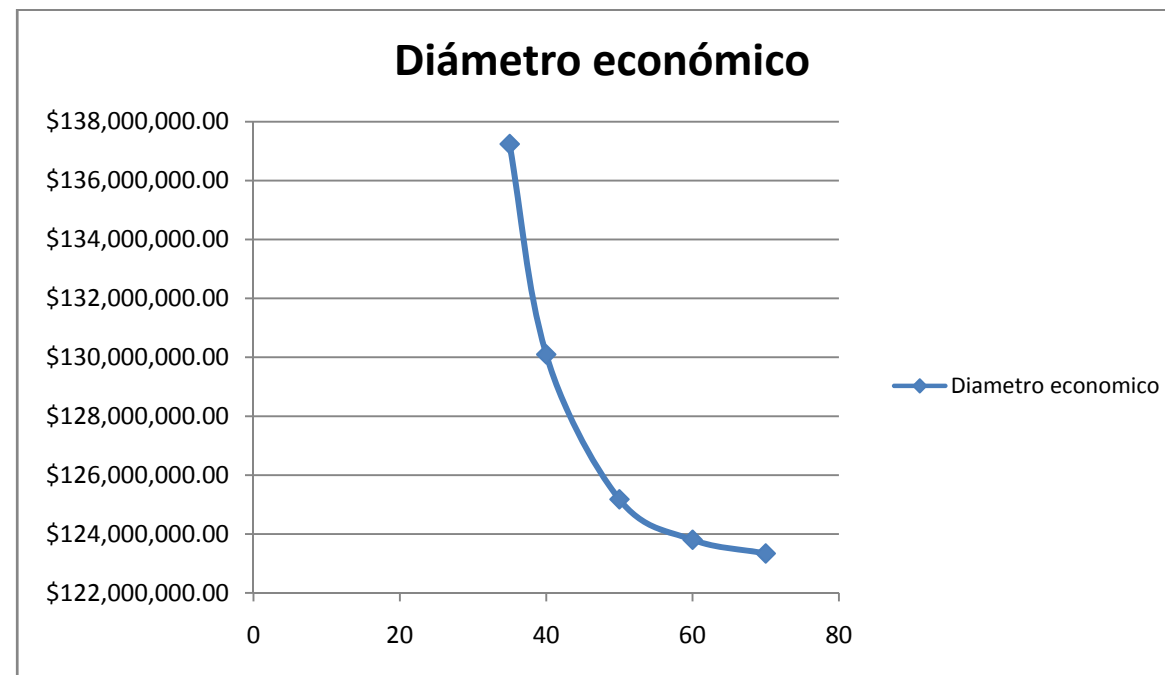
Cuadro 66 Integración del costo de la tubería tomando en cuenta los distintos diámetros (Tramo PB2-PB3)

CONCEPTO	Diámetro=889 mm (35")				Diámetro=1016 mm (40")				Diámetro=1270 mm (50")				Diámetro=1524 mm (60")				Diámetro=1778 mm (70")			
	Cantidad	Unidad	P.U	Importe \$	Cantidad	Unidad	P.U	Importe \$	Cantidad	Unidad	P.U	Importe \$	Cantidad	Unidad	P.U	Importe \$	Cantidad	Unidad	P.U	Importe \$
Excav. Mat. Clase A	862.33	m ³	\$150.00	\$129,349.50	985.52	m ³	\$150.00	\$147,828.00	1231.9	m ³	\$150.00	\$184,785.00	1478.28	m ³	\$150.00	\$221,742.00	1724.66	m ³	\$150.00	\$258,699.00
Excav. Mat. Clase B	1724.66	m ³	\$230.00	\$396,671.80	1971.04	m ³	\$230.00	\$453,339.20	2463.8	m ³	\$230.00	\$566,674.00	2956.56	m ³	\$230.00	\$680,008.80	3449.32	m ³	\$230.00	\$793,343.60
Excav. Mat. Clase C	862.33	m ³	\$275.00	\$237,140.75	985.52	m ³	\$275.00	\$271,018.00	1231.9	m ³	\$275.00	\$338,772.50	1478.28	m ³	\$275.00	\$406,527.00	1724.66	m ³	\$275.00	\$474,281.50
Plantilla apisonada	1034.796	m ²	\$104.49	\$108,125.83	1182.624	m ²	\$104.49	\$123,572.38	1478.28	m ²	\$104.49	\$154,465.48	1773.936	m ²	\$104.49	\$185,358.57	2069.592	m ²	\$104.49	\$216,251.67
Inst. junteo y prueba tubería	1940	m	\$13.71	\$26,591.58	1940	m	\$13.71	\$26,591.58	1940	m	\$13.71	\$26,591.58	1940	m	\$13.71	\$26,591.58	1940	m	\$13.71	\$26,591.58
Relleno compactado	6898.64	m ³	\$69.40	\$478,765.62	7884.16	m ³	\$69.40	\$547,160.70	9855.2	m ³	\$69.40	\$683,950.88	11826.24	m ³	\$69.40	\$820,741.06	13797.28	m ³	\$69.40	\$957,531.23
Costo de tubería	1940	m	\$985.00	\$1,910,900.00	1940	m	\$985.00	\$1,910,900.00	1940	m	\$985.00	\$1,910,900.00	1940	m	\$985.00	\$1,910,900.00	1940	m	\$985.00	\$1,910,900.00
Costo total de conducción (5)				\$3,287,545.08				\$3,480,409.87				\$3,866,139.44				\$4,251,869.01				\$4,637,598.58

Cuadro 67 Costo total anual considerando cargo por bombeo y cargo por costo de tubería (Tramo PB2-PB3)

CONSIDERANDO QUE NUESTRA TUBERIA SERA AMORTIZADA POR 20 AÑOS DE SU VIDA UTIL TENEMOS QUE					
Diámetro nominal		Costo total de la tubería	Renta de latubería amortizada a 20 años	Cargo por Bombeo	Costo anual equivalente
mm	in				
889	35	\$3,287,545.08	\$286,623.16	\$136,957,610.56	\$137,244,233.72
1016	40	\$3,480,409.87	\$303,437.99	\$129,794,796.86	\$130,098,234.85
1270	50	\$3,866,139.44	\$337,067.65	\$124,840,923.05	\$125,177,990.71
1524	60	\$4,251,869.01	\$370,697.32	\$123,433,188.68	\$123,803,886.00
1778	70	\$4,637,598.58	\$404,326.98	\$122,933,365.41	\$123,337,692.39

Gráfico 9 Diámetro Económico Tramo PB2-PB3 con bombeo 20hrs



- Diámetro económico de la tubería por bombeo del tramo PB3 a PB4

Pki	8+200	Carga estática	355
Pkf	10+200		

Cuadro 68 Cálculo de las características físicas de la tubería a presión (Tramo PB3-PB4)

Diámetro nominal		Area (A) (m²)	Gasto (Q) (m³/s)	Velocidad (V) (m/s)	Long. Línea (L) (m)	Coeficiente de fricción Darcy (E)	Re	f	Perdida fricción en mm	Perdidas secundarias (%)	Perdidas secundarias (m)	Carga normal de operación (m)	76 ? ? = %	$HP = \frac{Q h_{ft}}{76\eta}$	kWatt	Espesor pared de tubo (e) (cm)
mm	in															
889	35	0.62072	3.08	5.043	1970	0.1	4482834.393	0.012677	36.407	0.150	5.461	396.87	70	23349.59	17411.79	2.007487679
1016	40	0.81073	3.08	3.861	1970	0.1	3922480.094	0.012463	18.358	0.150	2.754	376.11	70	22128.40	16501.15	2.174281206
1270	50	1.26677	3.08	2.471	1970	0.1	3137984.075	0.012173	5.876	0.150	0.881	361.76	70	21283.82	15871.34	2.614118279
1524	60	1.82415	3.08	1.716	1970	0.1	2614986.729	0.012003	2.328	0.150	0.349	357.68	70	21043.82	15692.37	3.101568688
1778	70	2.48287	3.08	1.261	1970	0.1	2241417.196	0.01191	1.069	0.150	0.160	356.23	70	20958.60	15628.83	3.603844109

Cuadro 69 Cálculo de la sobre presión o golpe de ariete (Tramo PB3-PB4)

GOLPE DE ARIETE											
Presión de trabajo de la tubería kg/cm²	Diámetro nominal (d) (cm)	Espesor pared del tubo (e) (cm)	Velocidad (V) (m/s)	$E_a d$	$E_t e$	$\sqrt{1 + \frac{E_a d}{E_t e}}$	Sobrepresión (h) $h = \frac{145 V}{\sqrt{1 + \frac{E_a d}{E_t e}}}$	Sobrepresión absorbida por tubería 20%h	Carga normal de operación (m)	Presión total = 20%h + carga normal de operación	
396.868	39.687	88.9	5.043	1837563	4215724.126	1.198	610.182	12.204	396.87	51.89	
376.112	37.611	101.6	3.861	2100072	4565990.532	1.208	463.306	9.266	376.11	46.88	
361.757	36.176	127	2.471	2625090	5489648.385	1.216	294.680	5.894	361.76	42.07	
357.678	35.768	152.4	1.716	3150108	6513294.245	1.218	204.262	4.085	357.68	39.85	
356.229	35.623	177.8	1.261	3675126	7568072.629	1.219	149.971	2.999	356.23	38.62	

Cuadro 70 Cálculo financiero (Tramo PB3-PB4)

Análisis Financiero													
Diámetro nominal		Cargo fijo mensual \$	Cargo fijo anual \$	Tarifa HS CFE (punta) \$/KW-hora	Tarifa HS CFE (intermedia) \$/KW-hora	Tarifa HS CFE (base) \$/KW-hora	kWatt	Consumo Anual	Consumo Anual	Consumo Anual (base)	Cargo por consumo	Cargo por Bombeo	
mm	in							kWatt-h	kWatt-h	kWatt-h	\$	\$	
889	35	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	17411.79	0.0	78387858.5	48718176.0	136956261.2	136957610.6	
1016	40	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	16501.15	0.0	74288172.8	46170214.9	129793447.5	129794796.9	
1270	50	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	15871.34	0.0	71452789.1	44408019.5	124839573.7	124840923.1	
1524	60	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	15692.37	0.0	70647062.6	43907259.3	123431839.3	123433188.7	
1778	70	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	15628.83	0.0	70360985.3	43729461.8	122932016	122933365.4	

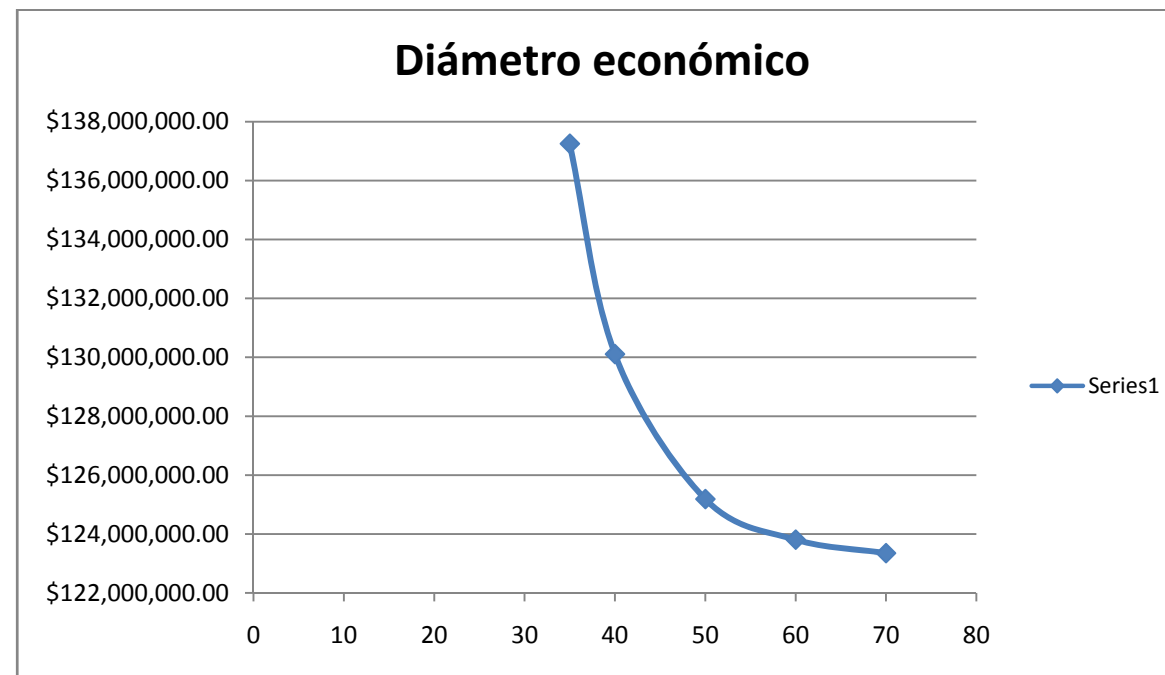
Cuadro 71 Integración del costo de la tubería tomando en cuenta los distintos diámetros (Tramo PB3-PB4)

CONCEPTO	Diámetro=889 mm (35")				Diámetro=1016 mm (40")				Diámetro=1270 mm (50")				Diámetro=1524 mm (60")				Diámetro=1778 mm (70")			
	Cantidad	Unidad	P.U	Importe \$	Cantidad	Unidad	P.U	Importe \$	Cantidad	Unidad	P.U	Importe \$	Cantidad	Unidad	P.U	Importe \$	Cantidad	Unidad	P.U	Importe \$
Excav. Mat. Clase A	889	m³	\$150.00	\$133,350.00	1016	m³	\$150.00	\$152,400.00	1270	m³	\$150.00	\$190,500.00	1501.14	m³	\$150.00	\$225,171.00	1778	m³	\$150.00	\$266,700.00
Excav. Mat. Clase B	1778	m³	\$230.00	\$408,940.00	2032	m³	\$230.00	\$467,360.00	2540	m³	\$230.00	\$584,200.00	3002.28	m³	\$230.00	\$690,524.40	3556	m³	\$230.00	\$817,880.00
Excav. Mat. Clase C	889	m³	\$275.00	\$244,475.00	1016	m³	\$275.00	\$279,400.00	1270	m³	\$275.00	\$349,250.00	1501.14	m³	\$275.00	\$412,813.50	1778	m³	\$275.00	\$488,950.00
Plantilla apisonada	1066.8	m²	\$104.49	\$111,469.93	1219.2	m²	\$104.49	\$127,394.21	1524	m²	\$104.49	\$159,242.76	1801.368	m²	\$104.49	\$188,224.94	2133.6	m²	\$104.49	\$222,939.86
Inst. junteo y prueba tubería	2000	m	\$13.71	\$27,414.00	2000	m	\$13.71	\$27,414.00	2000	m	\$13.71	\$27,414.00	1970	m	\$13.71	\$27,002.79	2000	m	\$13.71	\$27,414.00
Relleno compactado	7112	m³	\$69.40	\$493,572.80	8128	m³	\$69.40	\$564,083.20	10160	m³	\$69.40	\$705,104.00	12009.12	m³	\$69.40	\$833,432.93	14224	m³	\$69.40	\$987,145.60
Costo de tubería	2000	m	\$985.00	\$1,970,000.00	2000	m	\$985.00	\$1,970,000.00	2000	m	\$985.00	\$1,970,000.00	1970	m	\$985.00	\$1,940,450.00	2000	m	\$985.00	\$1,970,000.00
Costo total de conducción (5)				\$3,389,221.73				\$3,588,051.41				\$3,985,710.76				\$4,317,619.56				\$4,781,029.46

Cuadro 72 Costo total anual considerando cargo por bombeo y cargo por costo de tubería (Tramo PB3-PB4)

CONSIDERANDO QUE NUESTRA TUBERIA SERA AMORTIZADA POR 20 AÑOS DE SU VIDA UTIL TENEMOS QUE					
Diámetro nominal		Costo total de la tubería	Renta de latubería amortizada a 20 años	Cargo por Bombeo	Costo anual equivalente
mm	in				
889	35	\$3,389,221.73	\$295,487.80	\$136,957,610.56	\$137,253,098.36
1016	40	\$3,588,051.41	\$312,822.67	\$129,794,796.86	\$130,107,619.53
1270	50	\$3,985,710.76	\$347,492.43	\$124,840,923.05	\$125,188,415.48
1524	60	\$4,317,619.56	\$376,429.75	\$123,433,188.68	\$123,809,618.43
1778	70	\$4,781,029.46	\$416,831.94	\$122,933,365.41	\$123,350,197.35

Gráfico 10 Diámetro Económico Tramo PB3-PB4 con bombeo 20hrs



- Diámetro económico de la tubería por bombeo del tramo PB4 a PB5

Pki	10+200	Carga estática	355
Pkf	12+000		

Cuadro 73 Cálculo de las características físicas de la tubería a presión (Tramo PB4-PB5)

Diámetro nominal		Area (A) (m²)	Gasto (Q) (m³/s)	Velocidad (V) (m/s)	Long. Línea (L) (m)	Coeficiente de fricción Darcy (E)	Re	f	Perdida fricción en mm	Perdidas secundarias (%)	Perdidas secundarias (m)	Carga normal de operación (m)	76 ? ? = %	$HP = \frac{Q h_{ft}}{76\eta}$	kWatt	Espesor pared de tubo (e) (cm)
mm	in															
889	35	0.62072	3.08	5.043	1970	0.1	4482834.393	0.012677	36.407	0.150	5.461	396.87	70	23349.59	17411.79	2.007487679
1016	40	0.81073	3.08	3.861	1970	0.1	3922480.094	0.012463	18.358	0.150	2.754	376.11	70	22128.40	16501.15	2.174281206
1270	50	1.26677	3.08	2.471	1970	0.1	3137984.075	0.012173	5.876	0.150	0.881	361.76	70	21283.82	15871.34	2.614118279
1524	60	1.82415	3.08	1.716	1970	0.1	2614986.729	0.012003	2.328	0.150	0.349	357.68	70	21043.82	15692.37	3.101568688
1778	70	2.48287	3.08	1.261	1970	0.1	2241417.196	0.01191	1.069	0.150	0.160	356.23	70	20958.60	15628.83	3.603844109

Cuadro 74 Cálculo de la sobre presión o golpe de ariete (Tramo PB4-PB5)

GOLPE DE ARIETE											
Presión de trabajo de la tubería		Diámetro nominal (d)	Espesor pared del tubo (e)	Velocidad (V)	$E_a d$	$E_t e$	$\sqrt{1 + \frac{E_a d}{E_t e}}$	Sobrepresión (h)	Sobrepresión absorbida por tubería 20%h	Carga normal de operación (m)	Presión total = 20%h + carga normal de operación
kg/cm²		(cm)	(cm)	(m/s)			$h = \frac{145 V}{\sqrt{1 + \frac{E_a d}{E_t e}}}$				
396.868	39.687	88.9	2.007487679	5.043	1837563	4215724.126	1.198	610.182	12.204	396.87	51.89
376.112	37.611	101.6	2.174281206	3.861	2100072	4565990.532	1.208	463.306	9.266	376.11	46.88
361.757	36.176	127	2.614118279	2.471	2625090	5489648.385	1.216	294.680	5.894	361.76	42.07
357.678	35.768	152.4	3.101568688	1.716	3150108	6513294.245	1.218	204.262	4.085	357.68	39.85
356.229	35.623	177.8	3.603844109	1.261	3675126	7568072.629	1.219	149.971	2.999	356.23	38.62

Cuadro 75 Cálculo financiero (Tramo PB4-PB5)

Análisis Financiero												
Diámetro nominal		Cargo fijo mensual	Cargo fijo anual	Tarifa HS CFE (punta)	Tarifa HS CFE (intermedia)	Tarifa HS CFE (base)	kWatt	Consumo Anual	Consumo Anual	Consumo Anual (base)	Cargo por consumo	Cargo por Bombeo
mm	in	\$	\$	\$/KW-hora	\$/KW-hora	\$/KW-hora		kWatt-h	kWatt-h	kWatt-h	\$	\$
889	35	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	17411.79	0.0	78387858.5	48718176.0	136956261.2	136957610.6
1016	40	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	16501.15	0.0	74288172.8	46170214.9	129793447.5	129794796.9
1270	50	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	15871.34	0.0	71452789.1	44408019.5	124839573.7	124840923.1
1524	60	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	15692.37	0.0	70647062.6	43907259.3	123431839.3	123433188.7
1778	70	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	15628.83	0.0	70360985.3	43729461.8	122932016	122933365.4

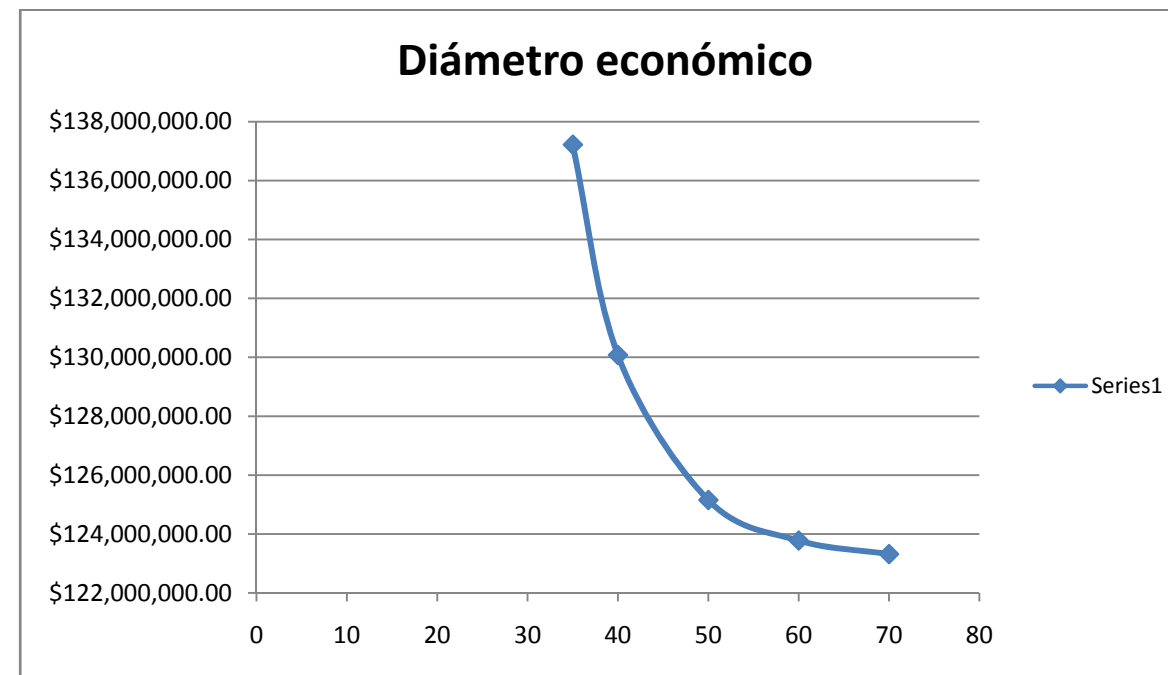
Cuadro 76 Integración del costo de la tubería tomando en cuenta los distintos diámetros (Tramo PB4-PB5)

CONCEPTO	Diámetro=889 mm (35")				Diámetro=1016 mm (40")				Diámetro=1270 mm (50")				Diámetro=1524 mm (60")				Diámetro=1778 mm (70")			
	Cantidad	Unidad	P.U	Importe \$	Cantidad	Unidad	P.U	Importe \$	Cantidad	Unidad	P.U	Importe \$	Cantidad	Unidad	P.U	Importe \$	Cantidad	Unidad	P.U	Importe \$
Excav. Mat. Clase A	800.1	m³	\$150.00	\$120,015.00	914.4	m³	\$150.00	\$137,160.00	1143	m³	\$150.00	\$171,450.00	1371.6	m³	\$150.00	\$205,740.00	1600.2	m³	\$150.00	\$240,030.00
Excav. Mat. Clase B	1600.2	m³	\$230.00	\$368,046.00	1828.8	m³	\$230.00	\$420,624.00	2286	m³	\$230.00	\$525,780.00	2743.2	m³	\$230.00	\$630,936.00	3200.4	m³	\$230.00	\$736,092.00
Excav. Mat. Clase C	800.1	m³	\$275.00	\$220,027.50	914.4	m³	\$275.00	\$251,460.00	1143	m³	\$275.00	\$314,325.00	1371.6	m³	\$275.00	\$377,190.00	1600.2	m³	\$275.00	\$440,055.00
Plantilla apisonada	960.12	m²	\$104.49	\$100,322.94	1097.28	m²	\$104.49	\$114,654.79	1371.6	m²	\$104.49	\$143,318.48	1645.92	m²	\$104.49	\$171,982.18	1920.24	m²	\$104.49	\$200,645.88
Inst. junteo y prueba tubería	1800	m	\$13.71	\$24,672.60	1800	m	\$13.71	\$24,672.60	1800	m	\$13.71	\$24,672.60	1800	m	\$13.71	\$24,672.60	1800	m	\$13.71	\$24,672.60
Relleno compactado	6400.8	m³	\$69.40	\$444,215.52	7315.2	m³	\$69.40	\$507,674.88	9144	m³	\$69.40	\$634,593.60	10972.8	m³	\$69.40	\$761,512.32	14010.64	m³	\$69.40	\$972,338.42
Costo de tubería	1800	m	\$985.00	\$1,773,000.00	1800	m	\$985.00	\$1,773,000.00	1800	m	\$985.00	\$1,773,000.00	1800	m	\$985.00	\$1,773,000.00	1800	m	\$985.00	\$1,773,000.00
Costo total de conducción (5)				\$3,050,299.56				\$3,229,246.27				\$3,587,139.68				\$3,945,033.10				\$4,386,833.89

Cuadro 77 Costo total anual considerando cargo por bombeo y cargo por costo de tubería (Tramo PB4-PB5)

CONSIDERANDO QUE NUESTRA TUBERIA SERA AMORTIZADA POR 20 AÑOS DE SU VIDA UTIL TENEMOS QUE					
Diámetro nominal		Costo total de la tubería	Renta de latubería amortizada a 20 años	Cargo por Bombeo	Costo anual equivalente
mm	in				
889	35	\$3,050,299.56	\$265,939.02	\$136,957,610.56	\$137,223,549.58
1016	40	\$3,229,246.27	\$281,540.41	\$129,794,796.86	\$130,076,337.26
1270	50	\$3,587,139.68	\$312,743.18	\$124,840,923.05	\$125,153,666.24
1524	60	\$3,945,033.10	\$343,945.96	\$123,433,188.68	\$123,777,134.64
1778	70	\$4,386,833.89	\$382,464.17	\$122,933,365.41	\$123,315,829.58

Gráfico 11 Diámetro Económico Tramo PB4-PB5 con bombeo 20hrs



- Diámetro económico de la tubería por bombeo del tramo PB5 a TCR

Pki	12+000	Carga estática	355
Pkf	14+000		

Cuadro 78 Cálculo de las características físicas de la tubería a presión (Tramo PB5-TCR)

Diámetro nominal		Area (A) (m²)	Gasto (Q) (m³/s)	Velocidad (V) (m/s)	Long. Línea (L) (m)	Coeficiente de fricción Darcy (E)	Re	f	Perdida fricción en mm	Perdidas secundarias (%)	Perdidas secundarias (m)	Carga normal de operación Q _{max} (m)	76 ? ? = %	$HP = \frac{Q h_{ft}}{76\eta}$	kWatt	Espesor pared de tubo (e) (cm)
mm	in															
889	35	0.62072	3.08	5.043	1970	0.1	4482834.393	0.012677	36.407	0.150	5.461	396.87	70	23349.59	17411.79	2.007487679
1016	40	0.81073	3.08	3.861	1970	0.1	3922480.094	0.012463	18.358	0.150	2.754	376.11	70	22128.40	16501.15	2.174281206
1270	50	1.26677	3.08	2.471	1970	0.1	3137984.075	0.012173	5.876	0.150	0.881	361.76	70	21283.82	15871.34	2.614118279
1524	60	1.82415	3.08	1.716	1970	0.1	2614986.729	0.012003	2.328	0.150	0.349	357.68	70	21043.82	15692.37	3.101568688
1778	70	2.48287	3.08	1.261	1970	0.1	2241417.196	0.01191	1.069	0.150	0.160	356.23	70	20958.60	15628.83	3.603844109

Cuadro 79 Cálculo de la sobre presión o golpe de ariete (Tramo PB5-TCR)

GOLPE DE ARIETE											
Presión de trabajo de la tubería kg/cm²	Diámetro nominal (d) (cm)	Espesor pared del tubo (e) (cm)	Velocidad (V) (m/s)	$E_a d$	$E_t e$	$\sqrt{1 + \frac{E_a d}{E_t e}}$	Sobrepresión (h) $h = \frac{145 V}{\sqrt{1 + \frac{E_a d}{E_t e}}}$	Sobrepresión absorbida por tubería 20%h	Carga normal de operación (m)	Presión total = 20%h + carga normal de operación	
396.868	39.687	88.9	5.043	1837563	4215724.126	1.198	610.182	12.204	396.87	51.89	
376.112	37.611	101.6	3.861	2100072	4565990.532	1.208	463.306	9.266	376.11	46.88	
361.757	36.176	127	2.471	2625090	5489648.385	1.216	294.680	5.894	361.76	42.07	
357.678	35.768	152.4	1.716	3150108	6513294.245	1.218	204.262	4.085	357.68	39.85	
356.229	35.623	177.8	1.261	3675126	7568072.629	1.219	149.971	2.999	356.23	38.62	

Cuadro 80 Cálculo financiero (Tramo PB5-TCR)

Análisis Financiero													
Diámetro nominal		Cargo fijo mensual \$	Cargo fijo anual \$	Tarifa HS CFE (punta) \$/KW-hora	Tarifa HS CFE (intermedia) \$/KW-hora	Tarifa HS CFE (base) \$/KW-hora	kWatt	Consumo Anual	Consumo Anual	Consumo Anual (base)	Cargo por consumo	Cargo por Bombeo	
mm	in							kWatt-h	kWatt-h	kWatt-h	\$	\$	
889	35	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	17411.79	0.0	78387858.5	48718176.0	136956261.2	136957610.6	
1016	40	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	16501.15	0.0	74288172.8	46170214.9	129793447.5	129794796.9	
1270	50	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	15871.34	0.0	71452789.1	44408019.5	124839573.7	124840923.1	
1524	60	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	15692.37	0.0	70647062.6	43907259.3	123431839.3	123433188.7	
1778	70	112.45	1349.4	2.2427	1.143	0.9721	15628.83	0.0	70360985.3	43729461.8	122932016	122933365.4	

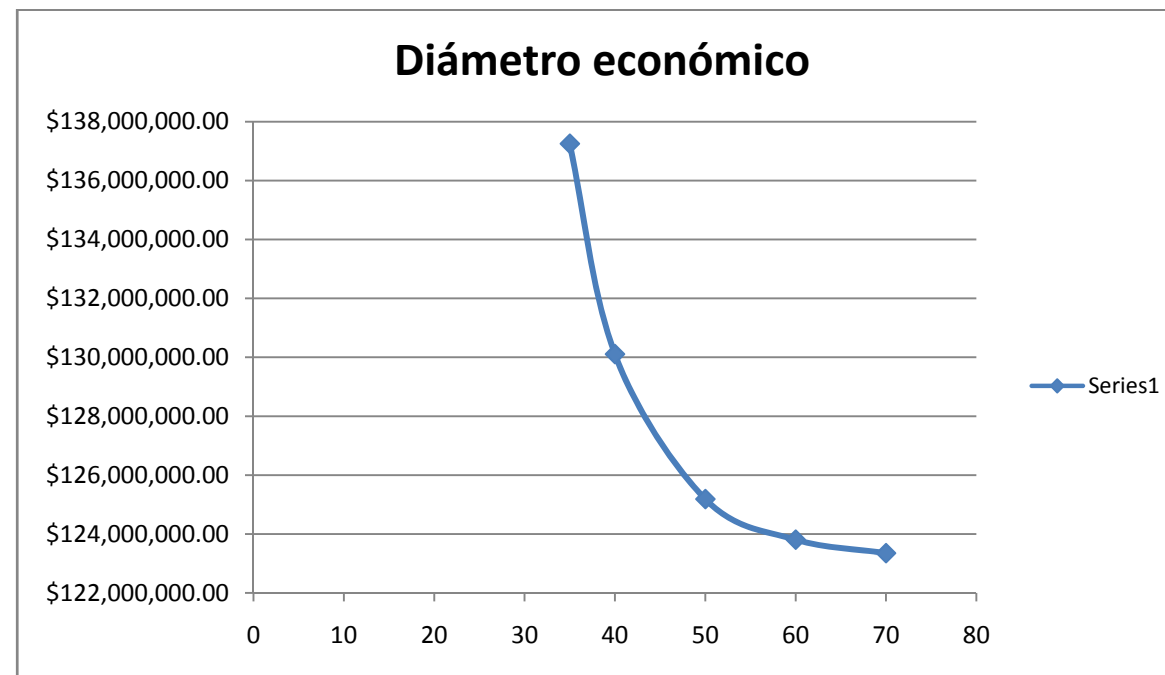
Cuadro 81 Integración del costo de la tubería tomando en cuenta los distintos diámetros (Tramo PB5-TCR)

CONCEPTO	Diámetro=889 mm (35")				Diámetro=1016 mm (40")				Diámetro=1270 mm (50")				Diámetro=1524 mm (60")				Diámetro=1778 mm (70")			
	Cantidad	Unidad	P.U	Importe \$	Cantidad	Unidad	P.U	Importe \$	Cantidad	Unidad	P.U	Importe \$	Cantidad	Unidad	P.U	Importe \$	Cantidad	Unidad	P.U	Importe \$
Excav. Mat. Clase A	889	m³	\$150.00	\$133,350.00	1016	m³	\$150.00	\$152,400.00	1270	m³	\$150.00	\$190,500.00	1501.14	m³	\$150.00	\$225,171.00	1778	m³	\$150.00	\$266,700.00
Excav. Mat. Clase B	1778	m³	\$230.00	\$408,940.00	2032	m³	\$230.00	\$467,360.00	2540	m³	\$230.00	\$584,200.00	3002.28	m³	\$230.00	\$690,524.40	3556	m³	\$230.00	\$817,880.00
Excav. Mat. Clase C	889	m³	\$275.00	\$244,475.00	1016	m³	\$275.00	\$279,400.00	1270	m³	\$275.00	\$349,250.00	1501.14	m³	\$275.00	\$412,813.50	1778	m³	\$275.00	\$488,950.00
Plantilla apisonada	1066.8	m²	\$104.49	\$111,469.93	1219.2	m²	\$104.49	\$127,394.21	1524	m²	\$104.49	\$159,242.76	1801.368	m²	\$104.49	\$188,224.94	2133.6	m²	\$104.49	\$222,939.86
Inst. junteo y prueba tubería	2000	m	\$13.71	\$27,414.00	2000	m	\$13.71	\$27,414.00	2000	m	\$13.71	\$27,414.00	1970	m	\$13.71	\$27,002.79	2000	m	\$13.71	\$27,414.00
Relleno compactado	7112	m³	\$69.40	\$493,572.80	8128	m³	\$69.40	\$564,083.20	10160	m³	\$69.40	\$705,104.00	12009.12	m³	\$69.40	\$833,432.93	14224	m³	\$69.40	\$987,145.60
Costo de tubería	2000	m	\$985.00	\$1,970,000.00	2000	m	\$985.00	\$1,970,000.00	2000	m	\$985.00	\$1,970,000.00	1970	m	\$985.00	\$1,940,450.00	2000	m	\$985.00	\$1,970,000.00
Costo total de conducción (5)				\$3,389,221.73				\$3,588,051.41				\$3,985,710.76				\$4,317,619.56				\$4,781,029.46

Cuadro 82 Costo total anual considerando cargo por bombeo y cargo por costo de tubería (Tramo PB5-TCR)

CONSIDERANDO QUE NUESTRA TUBERIA SERA AMORTIZADA POR 20 AÑOS DE SU VIDA UTIL TENEMOS QUE					
Diámetro nominal		Costo total de la tubería	Renta de latubería amortizada a 20 años	Cargo por Bombeo	Costo anual equivalente
mm	in				
889	35	\$3,389,221.73	\$295,487.80	\$136,957,610.56	\$137,253,098.36
1016	40	\$3,588,051.41	\$312,822.67	\$129,794,796.86	\$130,107,619.53
1270	50	\$3,985,710.76	\$347,492.43	\$124,840,923.05	\$125,188,415.48
1524	60	\$4,317,619.56	\$376,429.75	\$123,433,188.68	\$123,809,618.43
1778	70	\$4,781,029.46	\$416,831.94	\$122,933,365.41	\$123,350,197.35

Gráfico 12 Diámetro Económico Tramo PB5-TCR con bombeo 20hrs



Cuadro 83 PERFIL TERRENO NATURAL Y PIEZOMÉTRICO

DATOS GENERALES											CARACTERÍSTICAS HIDRAULICAS														
TRAMO		LONGITUD (metros)	GASTO TOTAL (l.p.s.)	CARACTERÍSTICAS DE LA TUBERÍA				RUGOSIDAD E (mm)	Re	f	Área (m ²)	PERDIDAS DE CARGA			VEL. MEDIA (m/seg)	C O T A S			CARGA DISPONIBLE (metros)	PRESION ESTÁTICA EN LA TUBERÍA (metros)	PENDIENTE HIDRAULICA	PENDIENTE RASANTE TUBERÍA			
AL	KM.			DIAMETRO NOMINAL (mm)	ESPESOR DE LA PARED (mm)	DIAM. INTER. (mm)	MATERIAL					RESISTENCIA (t/mc)	PRECION	MEJORES 5%		TOTALES	PIEZOMÉTRICO	TERRENO					PLANTILLA	DE TRABAJO	
00-0000.00	-	00-216.00	216.00	3130	70	1778	23.7	0.93	1778 ACERO	560.00	0.1	2241412.0	0.0191	2.48	0.117	0.014	0.131	1.26	776.87	267	267.00	509.87	510.00	0.000606	1.236
00-216.00	-	00-432.00	216.00	3130	70	1778	23.7	0.93	1778 ACERO	560.00	0.1	2241412.0	0.0191	2.48	0.117	0.014	0.131	1.26	776.74	266	266.00	510.74	511.00	0.000606	-0.005
00-432.00	-	00-648.00	216.00	3130	70	1778	23.7	0.93	1778 ACERO	560.00	0.1	2241412.0	0.0191	2.48	0.117	0.014	0.131	1.26	776.61	264	264.00	512.61	513.00	0.000606	-0.009
00-648.00	-	00-864.00	216.00	3130	70	1778	23.7	0.93	1778 ACERO	560.00	0.1	2241412.0	0.0191	2.48	0.117	0.014	0.131	1.26	776.48	301	301.00	475.48	476.00	0.000606	0.171
00-864.00	-	01-080.00	216.00	3130	70	1778	23.7	0.93	1778 ACERO	560.00	0.1	2241412.0	0.0191	2.48	0.117	0.014	0.131	1.26	776.35	338	338.00	438.35	439.00	0.000606	0.171
01-080.00	-	01-300.00	220.00	3130	70	1778	23.7	0.93	1778 ACERO	560.00	0.1	2241412.0	0.0191	2.48	0.119	0.014	0.133	1.26	776.21	290	290.00	486.21	487.00	0.000606	-0.218
01-300.00	-	01-510.00	210.00	3130	70	1778	23.7	0.93	1778 ACERO	560.00	0.1	2241412.0	0.0191	2.48	0.114	0.013	0.127	1.26	776.08	243	243.00	533.08	534.00	0.000606	-0.224
01-510.00	-	01-730.00	220.00	3130	70	1778	23.7	0.93	1778 ACERO	560.00	0.1	2241412.0	0.0191	2.48	0.119	0.014	0.133	1.26	775.95	262	262.00	513.95	515.00	0.000606	0.086
01-730.00	-	01-940.00	210.00	3130	70	1778	23.7	0.93	1778 ACERO	560.00	0.1	2241412.0	0.0191	2.48	0.114	0.013	0.127	1.26	775.82	282	282.00	493.82	495.00	0.000606	0.095
01-940.00	-	02-160.00	220.00	3130	70	1778	23.7	0.93	1778 ACERO	560.00	0.1	2241412.0	0.0191	2.48	0.119	0.014	0.133	1.26	775.69	273	273.00	502.69	504.00	0.000606	-0.041
02-160.00	-	02-380.00	220.00	3130	70	1778	23.7	0.93	1778 ACERO	560.00	0.1	2241412.0	0.0191	2.48	0.119	0.014	0.133	1.26	775.56	264	264.00	511.56	513.00	0.000606	-0.041
02-380.00	-	02-590.00	210.00	3130	70	1778	23.7	0.93	1778 ACERO	560.00	0.1	2241412.0	0.0191	2.48	0.114	0.013	0.127	1.26	775.43	335	335.00	440.43	442.00	0.000606	0.338
02-590.00	-	02-800.00	210.00	3130	70	1778	23.7	0.93	1778 ACERO	560.00	0.1	2241412.0	0.0191	2.48	0.114	0.013	0.127	1.26	775.30	405	405.00	370.30	372.00	0.000606	0.333
02-800.00	-	03-020.00	220.00	3130	70	1778	23.7	0.93	1778 ACERO	560.00	0.1	2241412.0	0.0191	2.48	0.119	0.014	0.133	1.26	775.17	423	423.00	352.17	354.00	0.000606	0.082
03-020.00	-	03-240.00	220.00	3130	70	1778	23.7	0.93	1778 ACERO	560.00	0.1	2241412.0	0.0191	2.48	0.119	0.014	0.133	1.26	775.04	440	440.00	335.04	337.00	0.000606	0.077
03-240.00	-	03-460.00	220.00	3130	70	1778	23.7	0.93	1778 ACERO	560.00	0.1	2241412.0	0.0191	2.48	0.119	0.014	0.133	1.26	774.90	439	439.00	335.90	337.00	0.000606	-0.005
03-460.00	-	03-670.00	210.00	3130	70	1778	23.7	0.93	1778 ACERO	560.00	0.1	2241412.0	0.0191	2.48	0.114	0.013	0.127	1.26	774.78	438	438.00	336.78	339.00	0.000606	-0.005
03-670.00	-	03-890.00	210.00	3130	70	1778	23.7	0.93	1778 ACERO	560.00	0.1	2241412.0	0.0191	2.48	0.119	0.014	0.133	1.26	774.64	444	444.00	330.64	333.00	0.000606	0.027
03-890.00	-	04-100.00	210.00	3130	70	1778	23.7	0.93	1778 ACERO	560.00	0.1	2241412.0	0.0191	2.48	0.114	0.013	0.127	1.26	774.51	450	450.00	324.51	327.00	0.000606	0.029
04-100.00	-	04-320.00	220.00	3130	70	1778	23.7	0.93	1778 ACERO	560.00	0.1	2241412.0	0.0191	2.48	0.119	0.014	0.133	1.26	774.38	452	452.00	322.38	325.00	0.000606	0.009
04-320.00	-	04-540.00	220.00	3130	70	1778	23.7	0.93	1778 ACERO	560.00	0.1	2241412.0	0.0191	2.48	0.119	0.014	0.133	1.26	774.25	454	454.00	320.25	323.00	0.000606	0.009
04-540.00	-	04-750.00	210.00	3130	70	1778	23.7	0.93	1778 ACERO	560.00	0.1	2241412.0	0.0191	2.48	0.114	0.013	0.127	1.26	774.12	414	414.00	360.12	363.00	0.000606	-0.190
04-750.00	-	04-970.00	220.00	3130	70	1778	23.7	0.93	1778 ACERO	560.00	0.1	2241412.0	0.0191	2.48	0.119	0.014	0.133	1.26	773.99	374	374.00	399.99	403.00	0.000606	-0.182
04-970.00	-	05-180.00	210.00	3130	70	1778	23.7	0.93	1778 ACERO	560.00	0.1	2241412.0	0.0191	2.48	0.114	0.013	0.127	1.26	773.86	382	382.00	391.86	395.00	0.000606	0.038
05-180.00	-	05-400.00	220.00	3130	70	1778	23.7	0.93	1778 ACERO	560.00	0.1	2241412.0	0.0191	2.48	0.119	0.014	0.133	1.26	773.73	390	390.00	383.73	387.00	0.000606	0.036
05-400.00	-	05-620.00	220.00	3130	70	1778	23.7	0.93	1778 ACERO	560.00	0.1	2241412.0	0.0191	2.48	0.119	0.014	0.133	1.26	773.59	496	496.00	277.59	281.00	0.000606	0.482
05-620.00	-	05-830.00	210.00	3130	70	1778	23.7	0.93	1778 ACERO	560.00	0.1	2241412.0	0.0191	2.48	0.114	0.013	0.127	1.26	773.47	602	602.00	171.47	175.00	0.000606	0.505
05-830.00	-	06-050.00	220.00	3130	70	1778	23.7	0.93	1778 ACERO	560.00	0.1	2241412.0	0.0191	2.48	0.119	0.014	0.133	1.26	773.33	681	681.00	92.33	96.00	0.000606	0.359
06-050.00	-	06-260.00	210.00	3130	70	1778	23.7	0.93	1778 ACERO	560.00	0.1	2241412.0	0.0191	2.48	0.114	0.013	0.127	1.26	773.21	760	760.00	13.21	17.00	0.000606	0.376
06-260.00	-	06-480.00	220.00	3130	70	1778	23.7	0.93	1778 ACERO	560.00	0.1	2241412.0	0.0191	2.48	0.119	0.014	0.133	1.26	1,128.21			325.07	327.00	0.000606	3.650
06-480.00	-	06-700.00	210.00	3130	70	1778	23.7	0.93	1778 ACERO	560.00	0.1	2241412.0	0.0191	2.48	0.119	0.014	0.133	1.26	1,127.94	846	846.00	281.94	282.21	0.000606	0.195
06-700.00	-	06-910.00	210.00	3130	70	1778	23.7	0.93	1778 ACERO	560.00	0.1	2241412.0	0.0191	2.48	0.114	0.013	0.127	1.26	1,127.81	903	903.00	226.81	227.21	0.000606	0.262
06-910.00	-	07-130.00	220.00	3130	70	1778	23.7	0.93	1778 ACERO	560.00	0.1	2241412.0	0.0191	2.48	0.119	0.014	0.133	1.26	1,127.68	956	956.00	171.68	172.21	0.000606	0.250
07-130.00	-	07-340.00	210.00	3130	70	1778	23.7	0.93	1778 ACERO	560.00	0.1	2241412.0	0.0191	2.48	0.114	0.013	0.127	1.26	1,127.55	973	973.00	154.55	155.21	0.000606	0.181
07-340.00	-	07-560.00	220.00	3130	70	1778	23.7	0.93	1778 ACERO	560.00	0.1	2241412.0	0.0191	2.48	0.119	0.014	0.133	1.26	1,127.42	989	989.00	138.42	139.21	0.000606	0.073
07-560.00	-	07-780.00	220.00	3130	70	1778	23.7	0.93	1778 ACERO	560.00	0.1	2241412.0	0.0191	2.48	0.119	0.014	0.133	1.26	1,127.28	1002	1002.00	126.28	126.21	0.000606	0.059
07-780.00	-	07-990.00	210.00	3130	70	1778	23.7	0.93	1778 ACERO	560.00	0.1	2241412.0	0.0191	2.48	0.114	0.013	0.127	1.26	1,127.16	1015	1015.00	112.16	113.21	0.000606	0.062
07-990.00	-	08-200.00	210.00	3130	70	1778	23.7	0.93	1778 ACERO	560.00	0.1	2241412.0	0.0191	2.48	0.114	0.013	0.127	1.26	1,127.03	980	980.00	147.03	148.21	0.000606	-0.167
08-200.00	-	08-420.00	220.00	3130	70	1778	23.7	0.93	1778 ACERO	560.00	0.1	2241412.0	0.0191	2.48	0.119	0.014	0.133	1.26	1,481.90	870	870.00	611.90	612.03	0.000606	3.955
08-420.00	-	08-640.00	220.00	3130	70	1778	23.7	0.93	1778 ACERO	560.00	0.1	2241412.0	0.0191	2.48	0.11										

8.4 ANEXO 4 Diseño de los Tanque de Cambio de Régimen.

8.4.1. Tanque de almacenamiento 24 horas.

Cuadro 84 Cálculo para diseñar el tanque de almacenamiento y cambio de régimen planteando un bombeo de 24hrs al día

Horas	Suministro (entradas) Q, Bombeo en m ³	Demandas (salidas)			
		Demanda horaria para ciudad grande en %	Demanda horaria en m ³	Diferencias	Diferencias acumuladas
0 – 1	14040	61%	8564,4	5475,6	5475,6
1 – 2	14040	62%	8704,8	5335,2	10810,8
2 – 3	14040	60%	8424	5616	16426,8
3 – 4	14040	57%	8002,8	6037,2	22464
4 – 5	14040	57%	8002,8	6037,2	28501,2
5 – 6	14040	56%	7862,4	6177,6	34678,8
6 – 7	14040	78%	10951,2	3088,8	37767,6
7 – 8	14040	138%	19375,2	-5335,2	32432,4
8 - 9	14040	152%	21340,8	-7300,8	25131,6
9 – 10	14040	152%	21340,8	-7300,8	17830,8
10 – 11	14040	141%	19796,4	-5756,4	12074,4
11 – 12	14040	138%	19375,2	-5335,2	6739,2
12 – 13	14040	138%	19375,2	-5335,2	1404
13 – 14	14040	138%	19375,2	-5335,2	-3931,2
14 – 15	14040	138%	19375,2	-5335,2	-9266,4
15 -16	14040	141%	19796,4	-5756,4	-15022,8
16 – 17	14040	114%	16005,6	-1965,6	-16988,4
17 – 18	14040	106%	14882,4	-842,4	-17830,8
18 – 19	14040	102%	14320,8	-280,8	-18111,6
19 – 20	14040	91%	12776,4	1263,6	-16848
20 – 21	14040	79%	11091,6	2948,4	-13899,6
21 – 22	14040	73%	10249,2	3790,8	-10108,8
22 – 23	14040	71%	9968,4	4071,6	-6037,2
23 – 24	14040	57%	8002,8	6037,2	0
Totales	336960	2400%	336960		

Observamos que:

Excedente máx. = 46870.56 m³

Faltante máx. = 22476.96 m³

Con lo que el volumen del cárcamo de bombeo nos queda:

Vol. Cárcamo = 46870.56 m³ + 22476.96 m³ = 69,347 m³

8.4.1 Tanque de almacenamiento 20 horas.

Cuadro 85 Cálculo para diseñar el tanque de almacenamiento y cambio de régimen planteando un bombeo de 20hrs al día

Horas	Suministro (entradas) Q, Bombeo en %	Demandas (salidas)		
		Demanda horaria para ciudad grande en %	Diferencias	Diferencias acumuladas
0 – 1	120,00%	61%	59%	0,59
1 – 2	120,00%	62%	58%	1,17
2 – 3	120,00%	60%	60%	1,77
3 – 4	120,00%	57%	63%	2,4
4 – 5	120,00%	57%	63%	3,03
5 – 6	0,00%	56%	-56%	2,47
6 – 7	0,00%	78%	-78%	1,69
7 – 8	120,00%	138%	-18%	1,51
8 – 9	120,00%	152%	-32%	1,19
9 – 10	120,00%	152%	-32%	0,87
10 - 11	120,00%	141%	-21%	0,66
11 - 12	120,00%	138%	-18%	0,48
12 - 13	120,00%	138%	-18%	0,3
13 - 14	120,00%	138%	-18%	0,12
14 - 15	120,00%	138%	-18%	-0,06
15 - 16	120,00%	141%	-21%	-0,27
16 - 17	120,00%	114%	6%	-0,21
17 - 18	120,00%	106%	14%	-0,07
18 - 19	120,00%	102%	18%	0,11
19 - 20	120,00%	91%	29%	0,4
20 - 21	0,00%	79%	-79%	-0,39
21 - 22	0,00%	73%	-73%	-1,12
22 - 23	120,00%	71%	49%	-0,63
23 - 24	120,00%	57%	63%	0
Totales	2400,00%	2400%		

$$capacidad = \left(\frac{V_{excedente} + V_{faltante}}{100} \right) x \left(\frac{3600}{1000} \right) x Q_{MD}$$

$$capacidad = \left(\frac{3.03 + 1.12}{100} \right) x \left(\frac{3600}{1000} \right) x 418176$$

$$capacidad = 62475.49m^3$$

8.5 ANEXO 5 Encuesta de Percepción del Problema de Aguas Potable en Aguascalientes

En este anexo se muestra el sondeo de una población representativa de la ciudad de Aguascalientes, en la que podremos encontrar su percepción acerca de la problemática del abastecimiento de agua potable de la ciudad así como un la posibilidad de una mejoría del consumo mediante la implementación de muebles sanitarios ecológicos.

8.5.1 Tamaño De La Muestra

Para determinar el tamaño de nuestra muestra para que fuera representativa se siguió el siguiente proceso:

- a) **El nivel de confianza o seguridad (1 – α):** el nivel de confianza prefijado da lugar a un coeficiente Z_{α} en dónde su valor proviene de las tablas de la distribución normal.
- b) La **precisión** que deseamos para el estudio.
- c) Una idea del valor aproximado del **parámetro** que queremos medir (en este caso una proporción). Esta idea se puede obtener revisando la literatura, por estudios pilotos previos. En caso de no tener dicha información utilizaremos el valor $p = 0.5$ (50%). El problema que puede enfrentarse en un estudio de investigación es la cantidad de información con la que se cuenta; específicamente se pueden tener dos casos:
 - Desconocer la población del fenómeno estudiado
 - Conocer la población del fenómeno estudiado.

1. Cálculo del Tamaño de la Muestra Desconociendo el Tamaño de la Población

La fórmula para calcular el tamaño de muestra cuando se desconoce el tamaño de la población es la siguiente:

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 x p x q}{d^2}$$

En dónde:

Z: nivel de confianza

P: probabilidad de éxito o proporción esperada.

Q: probabilidad de fracaso

D: precisión (error máximo admisible en términos de proporción)

Nuestro caso en concreto sería:

¿A cuántas personas tendríamos que entrevistar para conocer cuántas casas ya cuentan con muebles sanitarios ecológicos, si se desconoce la población total de personas que ya cuentan con estos sistemas?

Nivel de confianza: 95%. De de la tabla de la distribución normal, $Z_{\alpha} = 1.64$

Precisión: 3%

Proporción esperada: al no conocer la proporción esperada se toma el 50%; es decir, $p=0.5$.

Quedando lo siguiente:

$$Z_{\alpha}^2 = 2.6896$$

$$p = 0.50$$

$$q = 1 - p = 0.50$$

$$d = 3\% = 0.03$$

$$n = \frac{2.6896 \times 0.50 \times 0.50}{0.03^2} = 747.11$$

Sabemos que al no conocer el valor esperado y poner un 50% hace que el tamaño de la muestra se haga más grande de tal forma que se asegure el nivel de confianza, por lo que se trató de conseguir un indicador de cuantas familias de la ciudad de Aguascalientes ya cuentan con instalaciones sanitarias en su hogar, encontrado el siguiente dato:

Postulamos que solo un 5% de los hogares de la ciudad de Aguascalientes cuenta con este tipo de instalaciones y Conforme a los datos del INEGI, en la ciudad de Aguascalientes existen 173,948 hogares (se incluyen todas las clasificaciones y sub-clasificaciones hechas por el mismo instituto).

Con el dato anterior es posible hacer uso del **Cálculo del Tamaño de la Muestra Conociendo el Tamaño de la Población:**

$$n = \frac{N \times Z_{\alpha}^2 \times p \times q}{d^2 \times (N - 1) + Z_{\alpha}^2 \times p \times q}$$

En dónde:

N: tamaño de la población

Más de \$15,000 ()

5. ¿Está enterado del gran problema que enfrenta la ciudad de Aguascalientes en materia de agua potable?

Si () No ()

6. En dónde cree que radique el problema del abastecimiento de agua potable de la ciudad de Aguascalientes: (Puede seleccionar más de una opción):

Es insuficiente el agua para abastecer a la población ()

Falta de cultura del agua por parte de los ciudadanos ()

Muchas fugas en el sistema de distribución ()

Mala administración del agua por parte de los organismos ()

7. Ha oído hablar de los muebles sanitarios ecológicos:

Si () No ()

8. Su hogar cuenta con muebles sanitarios ecológicos (retretes de doble descarga, mingitorios sin agua, regaderas ecológicas, llaves ecológicas)

Si () No ()

9. Haciendo conciencia del gran problema de abastecimiento de agua que tiene nuestra ciudad, cuánto estaría dispuesto a pagar por los siguientes muebles sanitarios ecológicos:

Retrete		Regadera		Llaves	
Menos de \$2,000	()	Menos de \$800	()	Menos de \$500	()
Entre \$2000 y \$5000	()	Entre \$800 y \$3500	()	Entre \$500 y \$3000	()
Más de \$5000	()	Más de \$3500	()	Más de \$3000	()

10. Si se le regalaran los muebles sanitarios ahorradores los usaría:

Si () No ()

11. Continuando con la pregunta anterior, usted correría con los gastos de instalación:

Si () No ()

¡¡¡MUCHAS GRACIAS!!!

8.5.2 Resultados de la encuesta.

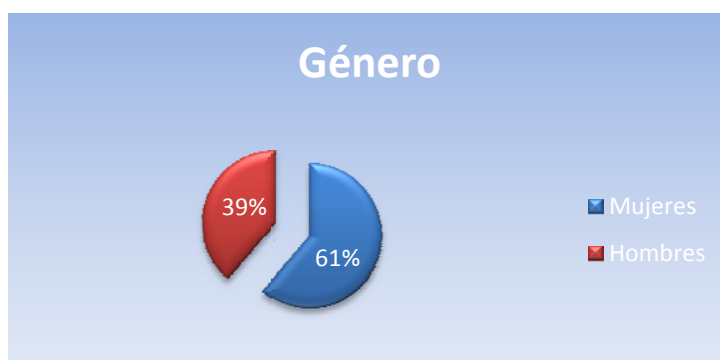
1. La edad promedio de los encuestados fue:

43.36 años

2. Género de los encuestados.

- a) 87 mujeres (equivalente al 61% de la población)
- b) 55 hombres (equivalente al 39% de la población)

Gráfico 13 Género de los encuestados



3. La distribución de los encuestados fue de la siguiente manera:

- | | | |
|--------------|-------------|---------------------|
| a) Norte: | 41 personas | 29% de la población |
| b) Sur: | 27 personas | 19% de la población |
| c) Oriente: | 21 personas | 15% de la población |
| d) Poniente: | 28 personas | 20% de la población |
| e) Centro: | 25 personas | 18% de la población |

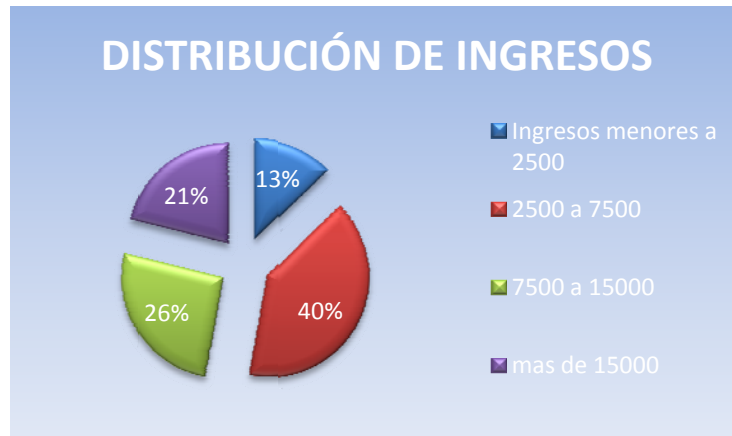
Gráfico 14 Ubicación de los encuestados



4. Los ingresos familiares se distribuyen de la siguiente manera:

a) Ingresos menores a \$2500	18 personas	13%de la población
b) Entre \$2500 y\$7500	57 personas	40%de la población
c) Entre 7500 y 15000	37 personas	26%de la población
d) Más de 15000	30 personas	21%de la población

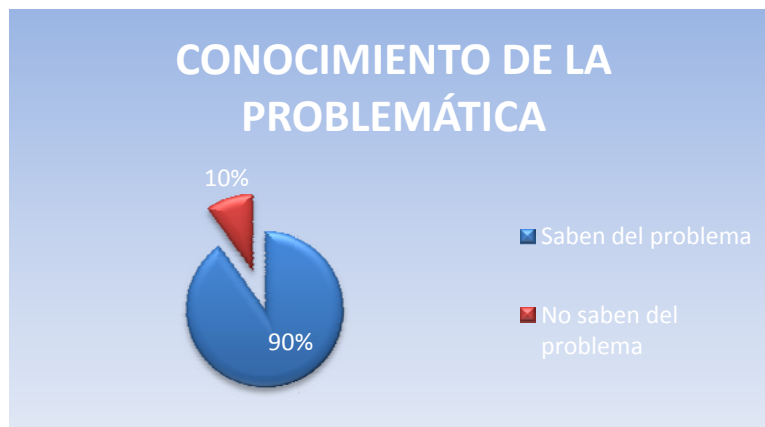
Gráfico 15 Distribución de ingresos de los encuestados



5. En cuanto a la conciencia de la gente entorno a la problemática obtuvimos que:

- 128 personas saben de la problemática que enfrenta la ciudad, equivalente al 90% de la población.
- 14 personas no están enterados de la problemática que atraviesa la ciudad de Aguascalientes en cuanto al abastecimiento de agua potable se refiere; equivalente al 10% de la población.

Gráfico 16 Conciencia de la problemática



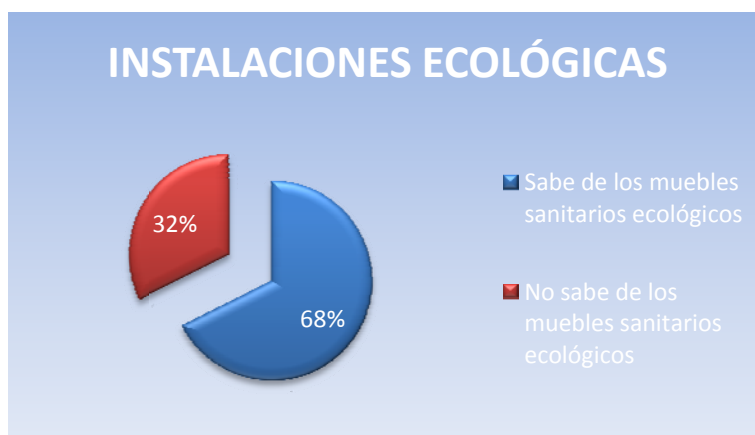
6. En cuanto a la percepción de la gente en cuánto al problema del agua obtuvimos lo siguiente:

- a) 10 personas, equivalente al 7% de la población cree que el problema radica en que el agua es insuficiente para abastecer a la población.
- b) 18 personas, equivalente al 13% de la población cree que el problema radica en que el problema es la falta de cultura del agua por parte de los ciudadanos.
- c) 1 persona, equivalente al 1% de la población cree que el problema radica en el exceso de fugas en el sistema.
- d) 10 personas, equivalente al 7% de la población cree que el problema radica en la mala administración del agua por parte de los organismos correspondientes.
- e) 18 personas, equivalente al 13% de la población cree que el problema radica en la insuficiencia de agua potable pero también en la falta de cultura del agua por parte de los ciudadanos.
- f) 6 personas, equivalente al 4% de la población creen que el problema es la insuficiencia del recurso, la poca cultura de los ciudadanos y el exceso de fugas en el sistema.
- g) 15 personas, equivalente al 11% de la población cree que el problema es la insuficiencia del recurso, la poca cultura de los ciudadanos, el exceso de fugas y la mala administración de los organismos.
- h) 5 personas, equivalente al 4% de la población cree que el problema es insuficiencia del recurso, falta de cultura del agua y mala administración de los organismos.
- i) 3 personas, equivalente al 2% de la población cree que el problema es la insuficiencia del recurso y el exceso de fugas en el sistema.
- j) 7 personas, equivalente al 5% de la población cree que el problema es la insuficiencia del recurso y la mala administración de los organismos.
- k) 16 personas, equivalente al 11% de la población cree que el problema radica en la falta de cultura del agua de los ciudadanos y el exceso de fugas en el sistema.
- l) 15 personas, equivalente al 11% de la población cree que el problema radica en la falta de cultura del agua de los ciudadanos, el exceso de fugas en el sistema y la mala administración de los organismos.
- m) 11 personas, equivalente al 8% de la población cree que el problema radica en la falta de cultura del agua y en el exceso de fugas en el sistema.
- n) 7 personas, equivalente al 5% de la población cree que el problema radica en el exceso de fugas y en la mala administración de los organismos.

7. Conocimiento de la población de los muebles sanitarios ecológicos:

- a) 96 personas conocen este tipo de muebles sanitarios ahorradores, equivalente al 68% de la población.
- b) 46 personas no conocen este tipo de muebles sanitarios ahorradores, equivalente a 32% de la población.

Gráfico 17 Conocimiento de instalaciones ecológicas



8. Población que cuenta con muebles sanitarios ahorradores:

- a) 30 personas, equivalente al 21%, cuenta con muebles sanitarios ecológicos en sus hogares.
- b) 112 personas, equivalente al 79% no cuenta con muebles sanitarios ecológicos en sus hogares

Gráfico 18 Instalaciones ecológicas existentes



IX BIBLIOGRAFÍA

(Radiogrupo), J. A. (s.f.). <http://www.radiogrupo.com.mx>. Recuperado el 09 de Octubre de 2011, de http://www.radiogrupo.com.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=7420:mas-de-30-millones-de-m3-de-agua-se-desperdician-cada-ano-en-aguascalientes-por-fugas&catid=5:local&Itemid=14

BIONERSIS. (s.f.). <http://www.bionersis.com/es/lexique>. Recuperado el 05 de Octubre de 2011, de <http://www.bionersis.com/es/lexique>

Blanca Jiménez Cisneros, M. L. (2010). *El Agua en México: Cauces y Encauces*. México, DF: Academia Mexicana de Ciencias.

Cámara de Diputados. (2003). *Servicio de investigación y análisis*. Recuperado el 06 de Marzo de 2011, de <http://www.diputados.gob.mx/bibliot/publica/inveyana/polisoc/dps03/9elagua.htm#172>

Centro de Educación Ambiental, Cultural y Recreativo el Cedazo: Gobierno del Estado de Aguascalientes. (2010). Recuperado el 05 de Marzo de 2011, de <http://www.aguascalientes.gob.mx/ima/areasverdes/cearcedazo.aspx>

Comisión Federal de Electricidad. (s.f.). Recuperado el 17 de Septiembre de 2011, de <http://www.cfe.gob.mx/negocio/conocetarifa/Paginas/Tarifas.aspx>

Comisión Nacional del Agua. (2009). *Estadísticas del Agua en México 2008*. México, D.F.: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Comisión Nacional del Agua. (10 de julio de 2009). *Proyecto Emblemáticos. Programa Nacional Hídrico 2007 - 2012*. México, D.F.: Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento.

Comité Técnico de Aguas Subterráneas. (s.f.). www.cotas.org.mx. Recuperado el 04 de 09 de 2011, de <http://www.cotas.org.mx/documentos/Escenarios%20Agua%20Acuifero%202015%20y%202030%20Cotas%202006.pdf>

CONAGUA. (2010). *Guía sobre la Participación Privada en la Prestación de los Servicios de Agua y Saneamiento*. México DF: SEMARNAT / CNA - OMM 2005.

CONAGUA. (s.f.). <http://www.cmic.org>. Recuperado el 03 de 09 de 2011, de http://www.cmic.org/mnsectores/agua/presentaciones_2008/Seguimiento_PNI.pdf

CONAGUA. (Agosto de 2010). *Subdirección General Técnica*. Recuperado el 06 de Marzo de 2011, de Presentación de los resultados de los estudios técnicos de los acuíferos: http://www.cotas.org.mx/documentos/Aguascalientes_Ojocaliente_Encarnaci%F3n-Agosto2010x.pdf

CONAGUA. (s.f.). *www.conagua.gob.mx*. Recuperado el 04 de 09 de 2011, de http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/pdf-vedas%20subterr%C3%A1neas/32-zac/760520_MEDIALUNA_ZAC.pdf

INEGI. (s.f.). *www.inegi.gob.mx*. Recuperado el 03 de 09 de 2011, de <http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/perspectivas/perspectiva-ags.pdf>

Palerm-Viqueira, J. (s.f.). *Las galerías filtrantes o qanats en México: introducción y tipología de técnicas*. Estado de México , México.

Rodríguez, O. d. (s.f.). *www2.ine.gob.mx*. Recuperado el 05 de Octubre de 2011, de <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/508/alternativas.pdf>

Rojas, B. (1995). *Breve historia de Aguascalientes*. México, DF.: Fideicomiso Historia de las Américas, El Colegio de México y el Fondo de Cultura Económica.

SEMARNAT. (s.f.). */sinat.semarnat.gob.mx*. Recuperado el 03 de 09 de 2011, de <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/ags/estudios/2006/01AG2006HD019.pdf>

SEMARNAT. (s.f.). *sinat.semarnat.gob.mx*. Recuperado el 04 de 09 de 2011, de <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/nay/estudios/2002/18NA2002E0001.pdf>

Zermeño de León, D. E., Esquivel Ramírez, I. R., Hernández Navarro, I. A., Mendoza Otero, M. E., & Arellano Sánchez, L. J. (s.f.). *Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Recuperado el 06 de Marzo de 2011, de Influencia de la extracción del agua en la subsidencia y agrietamiento de la ciudad de Aguascalientes : <http://www.uaa.mx/investigacion/revista/archivo/revista32/Articulo%202.pdf>