



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

TRABAJO DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE

I N G E N I E R O C I V I L

P R E S E N T A

JORGE CASTILLO TORRES

**ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN PARA EL SISTEMA DE
ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA ZONA
CONURBADA (ZAPATA-RENACIMIENTO) EN EL
MUNICIPIO DE ACAPULCO, GUERRERO**

DIRECTOR DE TESIS

M. en I. RODRIGO TAKASHI SEPÚLVEDA HIROSE

México DF, noviembre 2013

Ciudad Universitaria





UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
COMITÉ DE TITULACIÓN
FING/DICyG/SEAC/UTIT/137/13

Señor
JORGE CASTILLO TORRES
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M.I. RODRIGO TAKASHI SEPÚLVEDA HIROSE, que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

"ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN PARA EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA ZONA CONURBADA (ZAPATA-RENACIMIENTO) EN EL MUNICIPIO DE ACAPULCO, GUERRERO"

- INTRODUCCIÓN
- I. ANTECEDENTES
- II. MARCO TEÓRICO
- III. DATOS BÁSICOS DE PROYECTO EN LA ZONA DE ESTUDIO
- IV. DESARROLLO DE ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN PROPUESTA
- V. CONCLUSIONES
- BIBLIOGRAFÍA

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 30 de septiembre del 2013.
EL PRESIDENTE


M.I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ

JLTS/MTH*gar.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por haberme permitido llegar hasta esta etapa de vida.

A mis padres Ing. Jorge Castillo Vinalay

 Lic. Emma Torres Valente

Por todo el esfuerzo y amor que me han brindado a lo largo de mi vida personal, para poder llegar a concluir mi carrera profesional, haberme formado en el hombre en el que me he convertido y por todo el tiempo que les robé pensando en mi.

A mi alma mater Universidad Nacional Autónoma de México

A mis profesores de la Facultad de Ingeniería

ÍNDICE

Introducción	.....	8
Objetivo	.....	9
Capítulo 1 Antecedentes	.....	10
Capítulo 2 Marco teórico	.....	26
2.1 Reseña, 26		
2.2 Componentes de un sistema de agua potable, 28		
2.3 Legislación aplicable para el uso y consumo del agua, 42		
2.4 Consideraciones para el diseño hidráulico, 49		
Capítulo 3 Datos básicos de proyecto en la zona de estudio ..		60
3.1 Población en la zona de estudio, 60		
3.2 Proyección de la demanda, 66		
3.3 Delimitación de zonas de influencia, 68		
Capítulo 4 Desarrollo de la alternativa de solución propuesta		77
4.1 Propuesta del proyecto, 77		
4.2 Factibilidad del proyecto, 83		
Capítulo 5 Conclusiones	.....	94
Bibliografía	.....	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Localización geográfica del puerto de Acapulco	10
Figura 1.2 Estructura orgánica de la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del municipio de Acapulco CAPAMA	15
Figura 1.3 Pozo Raney el cual forma parte del sistema Papagayo I	17
Figura 1.4 Interior del pozo Raney	17
Figura 1.5 Pozo radial el cual forma parte del sistema Papagayo I	18
Figura 1.6 Tipo de pozo somero que son parte del sistema Papagayo I	18
Figura 1.7 Toma directa en el río Papagayo, captación Papagayo II	20
Figura 1.8 Toma directa en el río Papagayo, captación Papagayo II	20
Figura 1.9 Equipos de bombeo captación Papagayo II	21
Figura 1.10 Planta potabilizadora El Cayáco	21
Figura 1.11 Distribución de agua potable en el municipio de Acapulco de los sistemas Papagayo I y II	22
Figura 1.12 Crecimiento de la población en el municipio de Acapulco, INEGI	23
Figura 1.13 Distribución de agua potable en el municipio de Acapulco	24

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Representación general de elementos que integran un sistema de abastecimiento de agua potable	28
Figura 2.2 Manantial El Chorro localización Acapulco, Guerrero	29
Figura 2.3 Representación de pozo somero	33
Figura 2.4 Pozo radial sistema de abastecimiento Papagayo I	34
Figura 2.5 Línea de conducción de agua potable	36
Figura 2.6 Tanque de almacenamiento	40
Figura 2.7 Tuberías primarias y secundarias de una red de agua potable	42
Figura 3.1 Crecimiento de la población al año 2010	62
Figura 3.2 Proyección de la población ajuste lineal	62
Figura 3.3 Proyección de la población ajuste Exponencial	63
Figura 3.4 Proyección de la población ajuste Logarítmico	63
Figura 3.5 Proyección de la población ajuste Polinómico	64
Figura 3.6 Proyección de la población ajuste Potencial	64
Figura 3.7 Proyección de la población al año 2040 ajuste polinómico	66
Figura 3.8 Zona estudio, zona conurbada Zapata-Renacimiento	68

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 3.9</i> Macrolocalización de la zona de estudio	68
<i>Figura 3.10</i> Croquis de Microlocalización y localización de tanques principales	69
<i>Figura 3.11</i> Tanque Zapata	70
<i>Figura 3.12</i> Tanque Venta – Zapata	71
<i>Figura 3.13</i> Derivaciones a los tanques que bombea el tanque Venta – Zapata	72
<i>Figura 3.14</i> Fotografía del Tanque Renacimiento	73
<i>Figura 3.15</i> Diagrama del recorrido del agua desde la fuente de captación hasta la zona de la Zapata	74
<i>Figura 3.16</i> Diagrama del recorrido del agua desde la fuente de captación hasta la zona de Renacimiento y Arroyo Seco	75
<i>Figura 3.17</i> Zonas de influencia de tanques en el área de estudio	76
<i>Figura 4.1</i> Rio de la Sabana	77
<i>Figura 4.2</i> Esquema de la alternativa de solución propuesta, tanques inmersos en la zona de estudio y zonas de influencia	79
<i>Figura 4.3</i> Tanques que se abastecerán del tanque La Mica	80
<i>Figura 4.4</i> Trazo de La línea de conducción a analizar la para la factibilidad técnica del proyecto	83
<i>Figura 4.5</i> Línea de cargas piezométricas del tanque la Mica al tanque Sínaí	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Distribución de la población económicamente activa en el municipio de Acapulco	.....	12
Tabla 2.1	Límites permisibles que marca la norma NOM-127-SSA1-1994	.....	43
Tabla 2.2	Tratamiento a realizar cuando se rebasan los límites permisibles que marca la norma NOM-127-SSA1-1994	.....	45
Tabla 2.3.	Datos que debe incluir el programa de análisis de la calidad de agua NOM-179-SSA1-1998	.....	47
Tabla 2.4	Consumos recomendados por CONAGUA para localidades urbanas	.....	55
Tabla 3.1	Población en la zona de influencia de los tanques que abarca la zona de estudio, fuente INEGI	.....	61
Tabla 3.2	Proyección de la población al año 2013 fórmula del interés compuesto	.....	61
Tabla 3.3	Censos de población en la zona de estudio fuente, INEGI	.....	61
Tabla 3.4	Resumen de datos de los diferentes ajuste	.....	65
Tabla 3.5	Valores obtenidos de la proyección de población con ajuste polinómico	.....	65
Tabla 3.6	Proyección de la demanda al año 2040	.....	67
Tabla 3.7	Datos básicos de proyecto	.....	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1 Gasto de diseño para las líneas de conducción en la zona de influencia de cada tanque	80
Tabla 4.2 Resumen de obras a realizar con costos aproximados para a alternativa de solución propuesta	82
Tabla 4.3 Datos de la línea de conducción del tanque La MICA al tanque SINAÍ en los diferentes cadenamientos	85
Tabla 4.4 Costo de producción por m ³ en la captación Papagayo I, fuente CAPAMA	91
Tabla 4.5 Costo de producción por m ³ en el rebombeo Papagayo I, fuente CAPAMA	92
Tabla 4.6 Costo de Producción por m ³ en el Rebombeo en el taque Venta Zapata fuente, CAPAMA	92
Tabla 4.7 Costo de producción por m ³ aproximado en la captación de la alternativa	93
Tabla 4.8 Costo de producción por m ³ en el rebombeo de la alternativa	93

Introducción

El territorio nacional cuenta aproximadamente con una extensión territorial de 2'000,000 km² y una precipitación media anual de 775 mm, los mayores núcleos de población en el país así como los desarrollos industriales más importantes están inversamente relacionados con la disponibilidad del agua en México.

En la parte norte del país se tiene un clima que va de árido a semiárido y es precisamente en esta zona en donde se encuentran localizadas las ciudades más grandes del país, así como las principales concentraciones de actividad agrícola e industrial. Sin embargo esta zona apenas cuenta con menos de la tercera parte de los recursos hidráulicos del país según datos de la Comisión Nacional del Agua, CONAGUA. Por lo tanto esto permite saber la importancia del agua subterránea en México, ya que para dos terceras partes del país el agua subterránea es su principal fuente de abastecimiento y en algunos casos la única fuente, el agua subterránea proporciona el 70 por ciento del agua potable en el país, la tercera parte del agua destinada para uso agrícola y el 50 por ciento del agua destinada a la industria.

La CONAGUA ha identificado 653 acuíferos a lo largo del territorio nacional de los cuales 200 han sido objeto de estudios y sus características particulares como su volumen disponible publicados en el Diario Oficial de la Federación, esto quiere decir que aún se desconoce las características particulares de la mayoría de los acuíferos del país.

A continuación se menciona en forma breve la descripción de cada uno de los capítulos del presente trabajo.

En el capítulo 1, se describe la zona de estudio, en particular a la ciudad de Acapulco, Guerrero, como son: Información demográfica, socioeconómica, etc., además, se describe la situación actual del sistema de agua potable como son: conducciones, cárcamos de bombeo, equipos de bombeo, instalaciones, etc., que forman parte de la infraestructura de la dependencia encargada de dotar de agua potable a la población.

En el capítulo 2, se aborda el proyecto del trabajo desde el marco teórico, en el cual se basa la alternativa presentada, así como, se describen de forma

general los elementos que integran un sistema de abastecimiento de agua potable, así mismo se mencionan las consideraciones que se deben tomar en cuenta para el diseño hidráulico.

En el capítulo 3, se determinan los datos básicos de proyecto y de mayor importancia, como son: la proyección de población y el gasto de demanda, así mismo, se delimita la zona de influencia del proyecto de la alternativa presentada.

En el capítulo 4, se presenta el desarrollo de la alternativa de la tesis, el tipo y las obras por realizar para poder llevar a cabo esta propuesta. Se presenta el diseño de la línea de conducción y se analiza la factibilidad técnica del proyecto mediante el trazo de la línea de cargas piezométricas.

Finalmente en el capítulo 5, se enuncian los análisis de resultados de la propuesta, así como, las contribuciones que representa el proyecto a la población y consideraciones que se deben tomar para la realización de un proyecto de abastecimiento de agua potable.

Objetivo

Presentar una alternativa de solución para el abastecimiento de agua potable a la zona conurbada Zapata-Renacimiento, mediante la extracción de agua en 9 pozos someros y con ello evitar el servicio por tandeo de agua potable que actualmente se le da a la zona estudio, realizando un análisis del sistema de abastecimiento de agua potable actual del municipio de Acapulco, tomando en cuenta el crecimiento de la población en los últimos 40 años en los cuales no se han incrementado los sistemas de abastecimiento de agua potable para el puerto.

Capítulo 1 Antecedentes

El municipio de Acapulco, se localiza al sur del estado de Guerrero, a 133 km de distancia de la ciudad de Chilpancingo, se ubica entre los paralelos 16°41' y 17°13' de latitud norte, los 99°32' y 99°58' de longitud oeste.

Limita al norte con los municipios de Chilpancingo y Juan R. Escudero también conocido como Tierra Colorada, al sur con el océano Pacífico, al este con el municipio de San Marcos y al oeste con el municipio de Coyuca de Benítez.



Figura 1.1 Localización geográfica del puerto de Acapulco
(Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Información, INEGI, 2010)

Tiene una extensión de 1,882.60 km² que corresponden al 2.6 por ciento respecto al territorio total del estado y su litoral posee una longitud de 62 km, representando el 12.3 por ciento de la costa guerrerense. La zona de estudio cuenta con una extensión de 1.585 ha.

La orografía del municipio se divide en tres diferentes tipos de relieve, las zonas accidentadas que abarcan un 40 por ciento del territorio, y se presentan principalmente en los extremos norte, noreste y en una pequeña porción en la parte suroeste del municipio; al norte, destacan elevaciones como el Cerro de San Nicolás con 2.100 msnm, localizado muy cercano de los límites con el municipio de Chilpancingo de los Bravo, las zonas semiplanas

abarcan también un 40 por ciento del municipio y las zonas planas sólo un 20 por ciento.

Otras elevaciones de importancia son el cerro Yerba Santa con 1.120 msnm, el cerro El Encanto con 1,020 msnm y el cerro El Veladero con 900 msnm, éste último rodea parte de la ciudad de Acapulco y es conservado ecológicamente como un parque nacional desde 1980.

En cuanto a su hidrografía el municipio forma parte de dos regiones hidrológicas, la de Costa Grande y en ella prácticamente toda la zona oeste, suroeste y sur el municipio es bañada por la cuenca del río Atoyac, el resto del territorio municipal forma parte de la región Costa Chica-Río Verde y es enriquecido por el río Papagayo. Otros recursos hidrológicos de importancia son el río de La Sabana que cruza el municipio, en cuya rivera se pretende construir la captación para abastecer a la zona de estudio, cuenta con los arroyos de Xaltianguis, Potrerillo, La Provincia y Moyoapa así como las lagunas de Tres Palos y de Coyuca. Existen también manantiales de aguas termales en los poblados de Dos Arroyos, La Concepción y Agua Caliente.

El clima que se presenta en la ciudad es de tipo cálido subhúmedo, la temporada de lluvias se presenta en la estación de verano en toda la superficie del municipio, en la parte noroeste del municipio es en donde se presentan las mayores elevaciones por lo tanto el clima es de tipo semicálido subhúmedo. Las temperaturas que suelen presentarse en el municipio van en promedio de los 22°C en las zonas más altas y 28°C en las zonas más bajas. Su precipitación anual promedio va de los 1,200 mm a los 2,000 mm.

Sus principales recursos naturales son su flora y fauna las cuales son diversas, así como sus recursos hidrológicos entre los que se encuentran sus ríos, arroyos y lagos, y principalmente los recursos provenientes de sus playas y de su mar abierto; asimismo los suelos del municipio son muy aptos para el desarrollo de la agricultura y la ganadería.

La flora del municipio en casi la mayor parte de su territorio es la Selva Baja Caducifolia, que se integra por diferentes especies: bursera, emulatos, liay loma (tepehuaje), jucartia mexicana (bonete), impone (casahuate), bombax (pochote). En algunas zonas de la serranía se localizan áreas de bosque de pino y encino. También se da el desarrollo de actividades como la agricultura, específicamente en la zona sureste del municipio.

Su fauna se integra principalmente por las siguientes especies animales: conejo, iguana, zorrillo, mapache, sanate, tejón, venado, gaviota, perico, gavián, paloma, garza, tortuga marina.

En cuanto a la constitución y características del uso del suelo se presentan dos tipos predominantes en el municipio: hernozeno negro y las estepas praire o pradera con descalcificación, los primeros caracterizados por ser aptos para la agricultura y cultivo de diversas especies vegetales y los segundos son propicios para la actividad ganadera.

La principal actividad económica es el turismo, Acapulco cuenta con una gran infraestructura hotelera y atractivos naturales concentrados en mayoría en la bahía de Acapulco. De acuerdo a cifras presentadas por el INEGI en el año 2010, la población económicamente activa en el municipio está distribuida como se muestra en la Tabla 1.1

Tabla 1.1 Distribución de la población económicamente activa en el municipio de Acapulco

Sector	Por ciento
Primario (agricultura, ganadería y pesca)	5.63
Secundario (minería, petróleo, industria manufacturera, construcción y electricidad)	18.73
Terciario (comercio, turismo y servicios)	72.92
Otros	2.72

De acuerdo al XII censo general de población y vivienda 2010 efectuado por el INEGI, la población total del municipio de Acapulco es de 789,971 habitantes, de los cuales 382,276 son hombres y 407,695 mujeres, lo que representa el 48.39 por ciento y el 51.61 por ciento respectivamente. La población total del municipio representa el 23.5 por ciento con relación al número total de habitantes en el estado.

La zona de estudio cuenta con una población cercana a los de 151 mil habitantes de acuerdo a datos calculados con base en los AGEB's (Áreas geoestadísticas básicas) del conteo de población y vivienda en el 2010.

La tasa de crecimiento intercensal 1995-2000 es de 1.00 por ciento. La densidad de población en el municipio es de 383.8 habitantes por kilómetro cuadrado.

Según el INEGI, en 1995, el municipio contaba con 153,703 viviendas ocupadas; de las cuales 115,793 disponen de agua potable, 115,260 disponen de drenaje y 150,993 disponen de energía eléctrica; 122,622 tienen pisos de tierra, el 22.5 por ciento cemento o firme; 65.8 por ciento madera; mosaicos u otros recubrimientos 10.8 por ciento, no especificado el 0.9 por ciento; con paredes de lámina de cartón 4.2 por ciento.

De acuerdo al XII censo general de población y vivienda efectuado por el INEGI, el municipio cuenta al año 2000 con 164,645 viviendas ocupadas; de las cuales 132,539 disponen de agua potable, 123,648 disponen de drenaje, y 161,846 disponen de energía eléctrica.

De acuerdo a los resultados que presentó el II conteo de población y vivienda en el 2005, en el municipio cuentan con un total de 167,888 viviendas de las cuales 143,200 son particulares.

En el municipio se tienen 69.7 kilómetros de longitud de la red carretera federal de cuota por tipo de administración; de estos 45.4 km están administrados por casetas federales, 20.8 km por casetas estatales y 3.5 km

por particulares. Se cuenta con un aeropuerto que tiene 3 mil metros de pista.

La zona de estudio se encuentra a ambos costados de la Av. José López Portillo y limita al sur con la carretera Pinotepa Nacional, dos de las avenidas más transitadas de Acapulco.

Los servicios públicos municipales (seguridad pública, vialidad y transporte, mercados, vía pública, obras, salud etc.) corren por cuenta del H. Ayuntamiento Constitucional de Acapulco, mientras que los servicios de agua potable y alcantarillado los brinda la CAPAMA que es la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Acapulco, la cual para su funcionamiento está conformada como se muestra en la Figura 1.2

La Dirección de Operación es la encargada de coordinar todos los trabajos que se realizan diariamente que permitan llevar el agua potable toda la población del municipio.

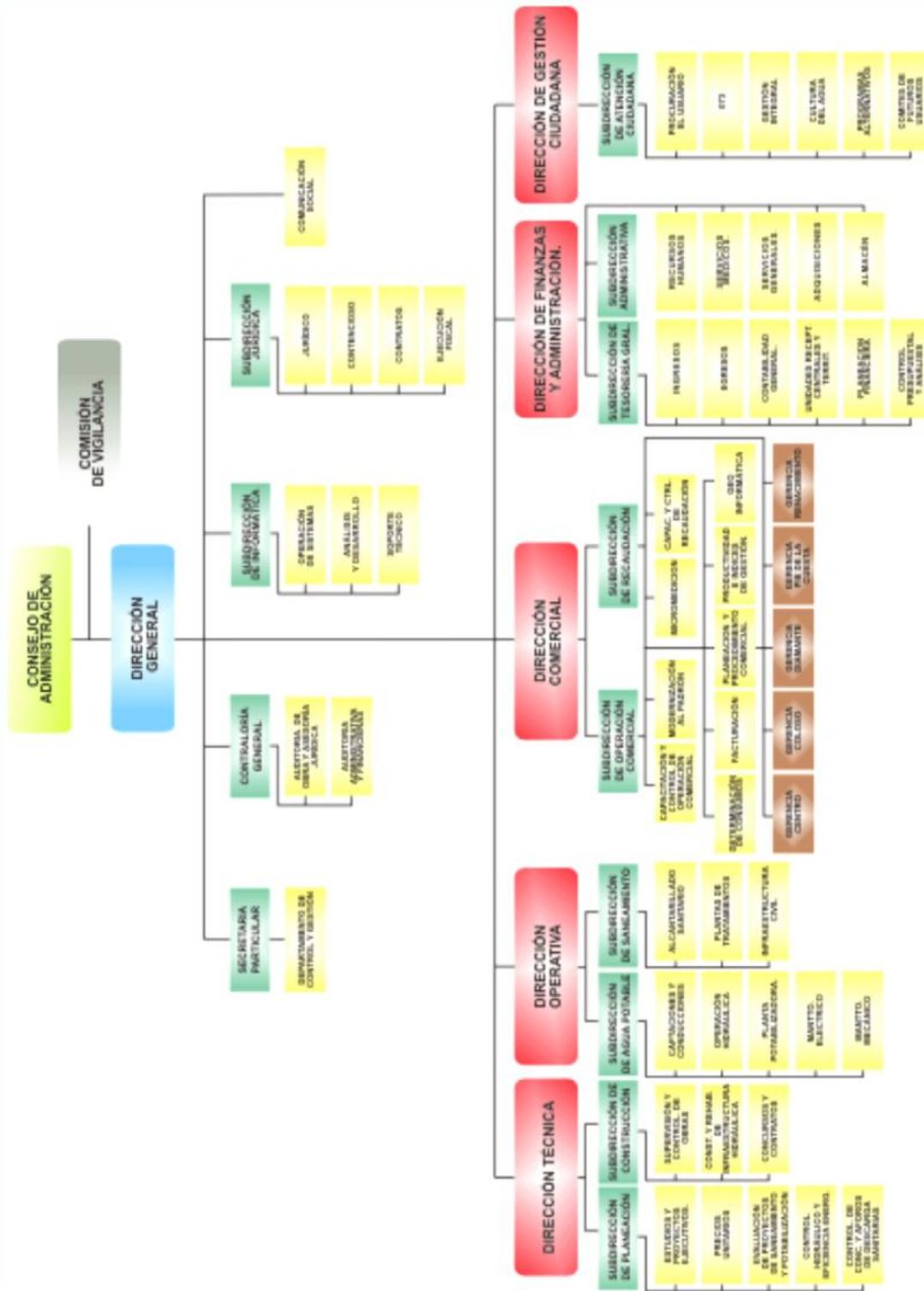


Figura 1.2 Estructura orgánica de la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del municipio de Acapulco CAPAMA

Situación actual del sistema

Hoy en día, llega el agua a la ciudad de Acapulco a través de dos captaciones, ambas procedentes del río Papagayo, las cuales son denominadas Sistema de agua potable Papagayo I y Sistema de agua potable Papagayo II respectivamente denominadas por la fuente de abastecimiento y por el momento en que cada una de estas fue construida.

La Captación Papagayo I fue el primer sistema de agua potable construido en la ciudad en el año de 1969 y está formada por un conjunto de pozos, los cuales son: Pozo radial, Pozo Raney, Pozos someros I y someros II.

Pozo Raney.- Aprovecha las aguas filtradas del subálveo del río por medio de tubería ranurada de 12 in de diámetro que forma una galería filtrante radial. Su capacidad es de 380 lps en promedio y cuenta con 3 equipos de bombeo , de los cuales en condiciones normales, sólo opera uno.

Pozo radial.- Igualmente, aprovecha las aguas filtradas del subálveo del río por medio de tuberías ranuradas, su capacidad es de 750 lps y opera con 3 equipos de bombeo.

Pozos someros I.- Consta de 4 pozos de 20 a 25 m de profundidad, equipados con bombas sumergibles, de los cuales normalmente operan 3 y en conjunto aportan 130 lps.

Pozos someros II.- Cuenta con 16 pozos de 18 a 25 m de profundidad, equipados con bombas sumergibles, normalmente operan 13 y en conjunto aportan 254 lps.

La capacidad total de explotación del sistema Papagayo I es del orden de 1230 lps siendo su agua de buena calidad, ya que solo requiere cloración para distribución. La zona que abastece este sistema es la zona baja de Acapulco identificada como la zona de mayor actividad turística.



Figura 1.3 Pozo Raney el cual forma parte del sistema Papagayo I



Figura 1.4 Interior del pozo Raney



Figura 1.5 Pozo radial el cual forma parte del sistema Papagayo I



Figura 1.6 Tipo de pozo somero que son parte del sistema Papagayo I

Cabe mencionar que el sistema Papagayo I se construyó casi a mitad del siglo pasado, durante esas fechas la ciudad de Acapulco contaba con una población de alrededor de aproximadamente 90,000 habitantes según fuentes de INEGI, tomando en cuenta la población en ese entonces del puerto la aportación de agua del sistema Papagayo I era más que suficiente para abastecer a la población que se tenía en la ciudad, calculando una dotación de 200 lts/hab debido al clima semicálido que predomina en la ciudad.

El sistema Papagayo II se construyó en el año de 1972 y está constituido por una toma directa del río que alimenta un cárcamo de succión donde se han instalado 11 equipos de bombeo verticales de 16 in de diámetro en su descarga con motores de 400 hp, estos equipos se conectan a un múltiple de acero de 36 in de diámetro, iniciando a partir de este múltiple la línea de conducción a presión de 60 in de diámetro.

Debido a que el agua se toma directamente del río, se presentan problemas de turbiedad que hacen que esta agua deba ser tratada en una planta potabilizadora.

Así mismo, y debido a que las maniobras para el desazolve del vaso de la presa La Venta, ubicada aguas arriba de esta captación, se realizan 5 veces al año en promedio, se tiene la necesidad de cerrar la captación durante periodos que alcanzan 16 a 24 horas, que en ocasiones se traducen hasta en tres días para restablecer completamente el servicio en la red de distribución, mediante el sistema Papagayo II es posible captar hasta 2000 lps.

La planta potabilizadora El Cayáco recibe las aguas del sistema Papagayo II, para ser potabilizada, una vez cumplido el proceso el agua es enviada a las principales líneas de conducción que a su vez abastecen a los subsistemas secundarios localizados en distintos sitios de la ciudad de Acapulco.



Figura 1.7 Toma directa en el río Papagayo, captación Papagayo II



Figura 1.8 Toma directa en el río Papagayo, captación Papagayo II



Figura 1.9 Equipos de bombeo captación Papagayo II



Figura 1.10 Planta potabilizadora El Cayáco

Las principales líneas de conducción a que se hace referencia son:

Planta potabilizadora - Tanque Renacimiento

Planta potabilizadora - Rebombero Cruces

Planta potabilizadora - Rebombero Tecnológico, Coloso y Jabonera

Planta potabilizadora - Rebombero Puerto Marqués

Las zonas que abastece este sistema son la zona alta y media del sistema de distribución, las cuales están comprendidas entre las cotas 275 a 100 y 100 a 50 m sobre el nivel del mar.

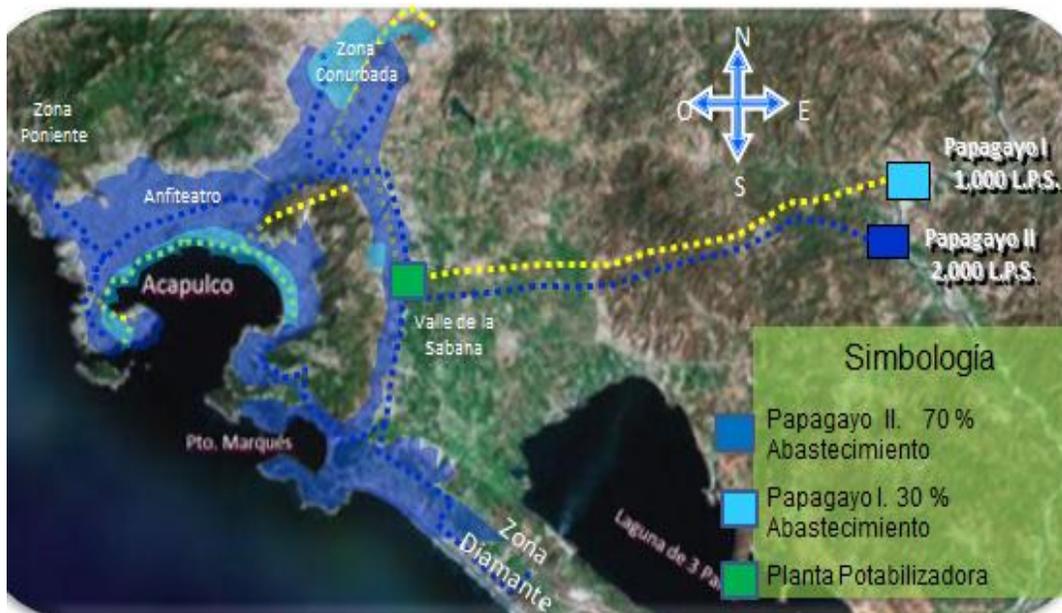


Figura 1.11 Distribución de agua potable en el municipio de Acapulco de los sistemas Papagayo I y II

Como se puede deducir con la información presentada anteriormente desde hace 40 años no se han construido nuevas fuentes de abastecimiento de agua potable para el puerto de Acapulco, por el contrario como un fenómeno normal que presentan las ciudades en desarrollo, el incremento de la población se ha venido presentando a través de la creación de nuevas colonias, a las cuales como parte de los servicios básicos que tiene derecho una comunidad o colonia, es una obligación por parte de las autoridades de satisfacer éstas necesidades.

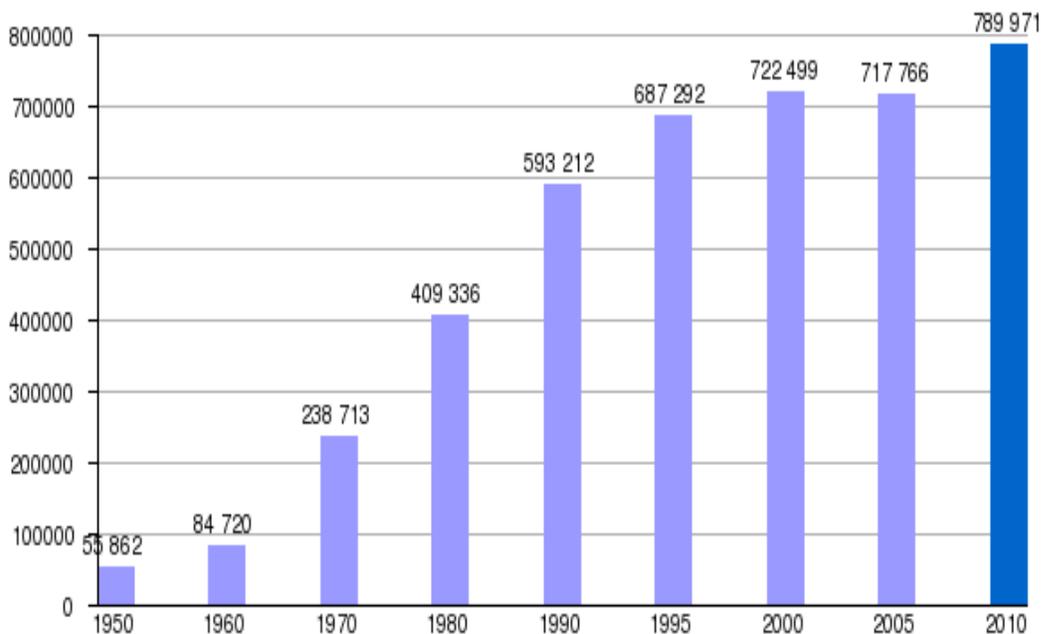


Figura 1.12 Crecimiento de la población en el municipio de Acapulco, INEGI

El incremento de la población y el no haber construido nuevas fuentes de abastecimiento en estos últimos 35 años origina un déficit en la distribución de agua potable para los ciudadanos del puerto ya que la mayoría de los pobladores cuentan con un servicio tandeado de agua potable.

Solamente la franja turística del puerto, zona hotelera, es la que recibe un servicio continuo de agua potable los 365 días del año, ya que la actividad económica más importante de la ciudad es el turismo y por consecuente se busca satisfacer la demanda de la población flotante en este caso conformada por el turismo, consecuencia de este compromiso, se tiene que llevar a cabo un programa de tandeo de agua potable para la mayoría de las colonias populares del puerto, incluido nuestro sitio de estudio la zona conurbada del puerto (Zapata y Renacimiento).

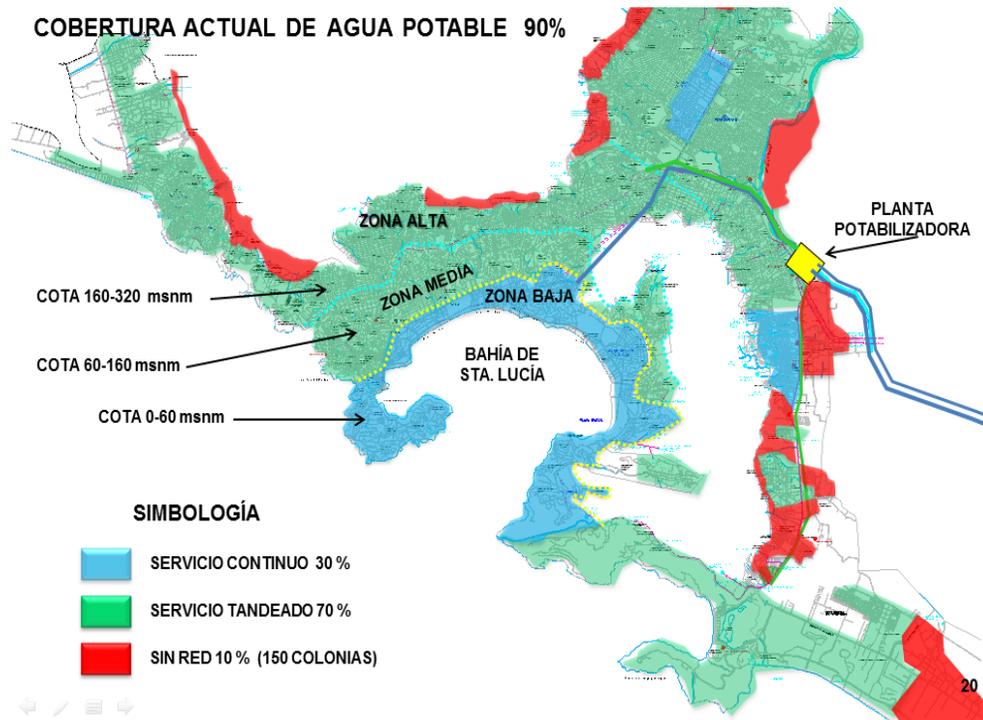


Figura 1.13 Distribución de agua potable en el municipio de Acapulco

La zona de Zapata – Renacimiento se encuentra inmersa en la ciudad de Acapulco, al nororiente del centro de Acapulco. Se localiza a ambos costados de la Av. López Portillo, principal vía de acceso a Acapulco proveniente de la Ciudad de México.

Esta zona se abastece de agua del sistema Papagayo I, mientras que la zona de Renacimiento se abastece del sistema Papagayo II, en capítulos posteriores se explicará detalladamente cómo es que llega el agua a la zona de estudio, presentándose déficit en el suministro de agua, ocasionando que dicho suministro se dé por tandeos (2 a 3 días a la semana). El suministro promedio actual asciende a 150 lps mientras que la demanda máxima diaria actual se estima en 450 lps.

Por lo anterior se pretende incrementar el caudal en la zona a través de una batería de pozos localizada en las inmediaciones del río de la Sabana. Dicho incremento de caudal asciende a aproximadamente 450 lps con dicho proyecto se planea mejorar el abastecimiento de agua en la zona y así evitar los tandeos en el suministro.

Capítulo 2 Marco teórico

2.1 Reseña

La relación del hombre con el agua en las diferentes sociedades, con variados procesos de desarrollo socioeconómico, ha dictado las formas de percibir el agua como don de la naturaleza, como un recurso natural casi no renovable.

El desarrollo de los pueblos ha estado estrechamente vinculado con el agua, ya que éste es un factor importante en la selección de sitios para ubicar plantas industriales de todo tipo y en el desarrollo de los centros urbanos y agropecuarios.

El agua es el componente más abundante e importante del planeta; el hecho de que todos los seres vivos dependan de la existencia del agua da una pauta para percibir su importancia vital. El agua promueve o desincentiva el crecimiento económico y el desarrollo social de una región. También afecta los patrones de vida y cultura regionales, por lo que se le reconoce como un agente preponderante en el desarrollo de las comunidades. En este sentido, es un factor indispensable en el proceso de desarrollo regional o nacional.

Los sistemas de abastecimiento de agua potable son obras de servicio que permiten abastecer y distribuir el agua a la población de una ciudad por medio de componentes fundamentales como son la fuente de abastecimiento, la planta potabilizadora, la línea o red de conducción, los tanques de regulación, y la red de distribución. Cada una de estas partes cumple una función específica, sin embargo, influyen de manera directa en el funcionamiento hidráulico de las demás, por lo que es necesario hacer un análisis conjunto de las mismas para lograr un diseño adecuado que garantice un buen funcionamiento de la red.

Una red de agua potable con todos sus componentes no puede dimensionarse empleando únicamente métodos de análisis hidráulico, ya sea de revisión o de diseño óptimo, se requiere además de un procedimiento de

diseño que contemple la interacción inherente de todas sus partes para obtener la geometría de cada una de ellas.

En el diseño hidráulico de una red de agua potable deben tomarse en cuenta varias condiciones posibles de operación empleadas por el organismo operador de la red así como las leyes de demanda de agua, para conocer mediante un modelo de simulación hidráulica, las velocidades y gastos en los tubos, las presiones, los gradientes hidráulicos y los gastos que entran y salen en cada uno de los tanques.

Para el diseño de redes de agua potable comúnmente se utiliza el criterio de la curva de demandas, con la cual se considera que las demandas de agua se conocen antes de efectuar la revisión o el diseño de la red.

La capacidad del tanque de regulación se calcula en función de los gastos que ingresan y salen de él durante el día de máximo consumo. En el caso de una red con un solo tanque de regulación, los gastos que de éste salen se obtienen directamente de la curva de demandas, por lo que no es necesario efectuar la simulación hidráulica para conocer dichos gastos. Debido a que los niveles del agua en los tanques y la fuente de abastecimiento tiene variaciones relativamente pequeñas, el gasto de entrada al tanque se puede considerar constante.

Esta forma de obtener los gastos de entrada y salida en el tanque, permite calcular su capacidad mediante coeficientes de regulación, los cuales se aplican en forma genérica a cualquier sistema con aportación a un solo tanque que presente las mismas características.

Estos coeficientes de regulación pueden calcularse previamente, para ser aplicados cuando se presente uno de esos casos. No obstante, en el caso de redes con más de un tanque de regulación, los coeficientes de regulación no pueden aplicarse para calcular las capacidades de los tanques, debe obtenerse con base en la simulación hidráulica de la red en el tiempo.

La finalidad de este capítulo es mencionar los elementos necesarios que intervienen en un sistema de agua potable, También los aspectos que intervienen para su adecuado diseño tomando en cuenta como base el análisis del comportamiento hidráulico de los diferentes componentes de la red y las condiciones adecuadas de funcionamiento que permite definir un procedimiento y un orden en el diseño.

2.2 Componentes de un sistema de agua potable

Un sistema de agua potable se conforma de un conjunto de elementos que proveen de agua a los habitantes de una población en forma satisfactoria, cumpliendo con varios requisitos, como son presiones adecuadas, disponibilidad de agua en cada punto de la red, costo mínimo y calidad del agua, todo ello durante un periodo razonable de tiempo. Una red de agua potable normalmente tiene un funcionamiento hidráulico complejo, conservando una estrecha relación entre los elementos y partes fundamentales que la componen.

Los elementos que lo integran principalmente son:

- Fuente de abastecimiento o captación
- Línea de conducción
- Tratamiento
- Tanque de regulación
- Red de distribución

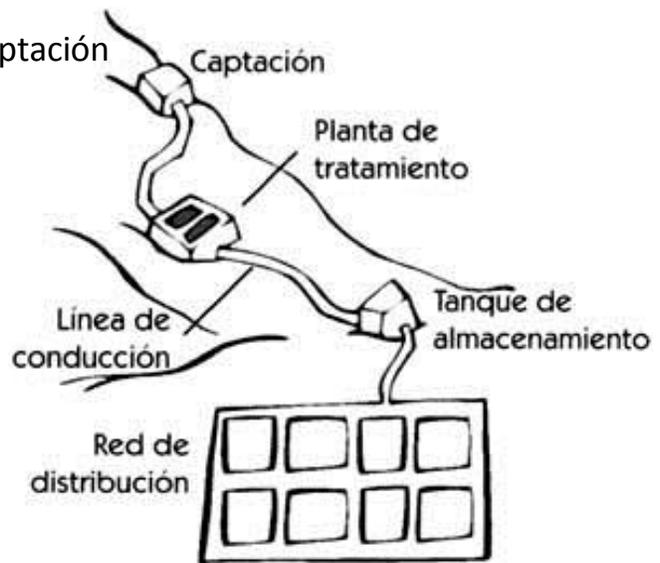


Figura 2.1 Representación general de elementos que integran un sistema de abastecimiento de agua potable

2.2.1 Captación

Es la parte de la red de donde se toma el agua para suministrarla a la población. Su suministro debe ser suficiente para aportar el volumen total de agua que se demanda en el día de máximo consumo, para su aprovechamiento se deben hacer obras, denominadas obras civiles las cuales varían dependiendo a la naturaleza de la fuente de abastecimiento.

Cualquiera que sea la fuente de abastecimiento, es condición indispensable que se garantice el suministro del agua, expresado como el gasto máximo diario, Q_{md} , de proyecto futuro.

Haciendo una clasificación de las diferentes captaciones que existen se pueden agrupar de la siguiente manera:

- a) Captaciones en aguas superficiales: ríos, manantiales, presas de derivación y presas de almacenamiento
- b) Captaciones en aguas subsuperficiales: galerías filtrantes, pozos someros, pozos Ranney o radiales
- c) Captaciones en aguas subterráneas: pozos profundos



Figura 2.2 Manantial El Chorro localización Acapulco, Guerrero

Cada tipo de captación tiene sus características propias y por ende su aplicación específica, a continuación se describen las captaciones en aguas subsuperficial, debido a que la alternativa de solución propuesta se encuentra dentro de este tipo de caso.

Se refiere el término *subsuperficial* al agua que infiltra a escasa profundidad, como por ejemplo, en el subálveo de los ríos, que es aquella franja longitudinal entre ambos márgenes de una corriente, en la cual, por ser la interface río-acuífero, el nivel del agua freática se encuentra a escasa profundidad. Por efecto de la infiltración del agua de la corriente en el subsuelo, ésta es de buena calidad. Siendo posible, mediante una obra de toma sencilla, extraerla con las ventajas que ofrecen su filtración natural y economía de la captación.

Conviene recordar que una corriente puede alimentar un acuífero o, en caso contrario, dependiendo de las pendientes hidráulicas del nivel freático, éste puede alimentar a la corriente (corrientes perennes); en cualquiera de los casos, el nivel freático se encuentra a escasa profundidad de la superficie del terreno. Para captar aguas subsuperficiales se pueden construir pozos excavados de poca profundidad, llamados *norias* o mediante un sistema sencillo de hincado de pozos de pequeño diámetro y profundidad si es muy somero el nivel freático de las aguas.

Para la captación más eficiente del agua subsuperficial, se utilizan pozos someros tipo Ranney, que constan de un depósito central en donde se capta el agua que colectan tuberías radiales perforadas e inmersas en la zona saturada del acuífero. Los puyones o pozos hincados son una alternativa económica para aquellos casos en que se tenga una fuente subsuperficial confiable. Se utilizan además galerías filtrantes, opción adecuada cuando se desea interceptar perpendicularmente el flujo subsuperficial. En este caso, para pequeñas galerías se instalan tuberías ranuradas en el fondo de la excavación rellena de grava graduada.

Las aguas subálveas o también llamadas aguas freáticas se caracterizan por estar a presión atmosférica, a poca profundidad o relativamente baja y no estar confinadas, pues circulan a través de mantos porosos como arena, grava, tobas poco coherentes, aluviones, etc. Estas aguas se captan mediante pozos a cielo abierto, galerías filtrantes o mediante sistemas de puyones (wellpoint), o pozos Ranney, un ejemplo claro de aprovechamiento de estas aguas son los pozos emplazados en el subálveo de cauces superficiales, sobre todo en aquellos casos en los que el acuífero es alimentado por la corriente.

Galerías filtrantes.- Una galería filtrante se utiliza principalmente para captar agua del subálveo de corrientes superficiales, construyéndose de preferencia en el estiaje y en una de las márgenes, paralela a la corriente. En el proyecto se deben tomar en cuenta las características de socavación de la corriente en las avenidas importantes; esta consideración hace poco recomendable la construcción de una galería transversal a la corriente, además de ser más costosa.

El agua captada por una galería filtrante generalmente se conduce a un cárcamo de bombeo donde se inicia la obra de conducción.

El conducto de la galería debe quedar situado a una profundidad y distancia adecuadas, con respecto al caudal principal de la corriente, con el fin de que el agua quede sometida a una filtración natural; esto depende de las características topográficas del tramo escogido, de los materiales del cauce y de la calidad del agua de la corriente. Se considera que un recorrido de agua a través de la capa filtrante de 3 a 15 m, puede ser suficiente para que se clarifique y elimine la contaminación bacteriana.

En la captación de agua por medio de galerías filtrantes, se utilizan tuberías perforadas, instaladas casi horizontalmente en zanja excavada a cielo abierto, y rellenas con material limpio debidamente seleccionado, esto es, con una granulometría adecuada para conformar el filtro. Actualmente se

recomienda la utilización de tubería de acero inoxidable o de PVC ranurados tipo cedazo.

También se construyen galerías perforadas o excavadas generalmente en laderas de montaña, cortando formaciones acuíferas como las que presentan las rocas calizas. El agua pasa al interior de la galería a través de sus paredes, que pueden dejarse sin revestimiento a intervalos, construirse de concreto poroso o con los orificios necesarios a lo largo de ellas. Sus dimensiones deben ser tales que permitan realizar visitas de inspección para conocer la importancia de los afloramientos y para realizar acciones de desazolve y mantenimiento.

Para establecer en el diseño la localización, profundidad y características de una galería filtrante constituida por tuberías, es indispensable efectuar pruebas de campo. Con el corte litológico obtenido de las perforaciones de explotación siempre y cuando no se encuentre boleo grande y, de acuerdo con el diámetro seleccionado, se establece la profundidad, dimensiones de la zanja y los espesores y granulometría del material filtrante. También existen las galerías filtrantes con colectores verticales.

Pozos.-Se define como *pozo* una perforación vertical en general de forma cilíndrica y de diámetro menor que su profundidad. Así, el agua disponible en el subsuelo penetra a lo largo de las paredes creando un flujo de tipo radial.

Pozos someros. -Se construyen cuando es conveniente explotar el agua freática y/o del subálveo. El diámetro mínimo del pozo circular es 1.5 m y no más de 30 m. de profundidad debe permitir que su construcción sea fácil. Cuando la sección sea rectangular, la dimensión mínima debe ser 1.5 m. Para pozos con ademe de concreto, y cuando se utiliza el procedimiento de construcción llamado *indio*, los anillos que queden dentro del estrato permeable, deben llevar perforaciones dimensionadas de acuerdo con un estudio granulométrico previo; en caso de carecer de estos datos, se recomienda que el diámetro de las perforaciones esté comprendido entre 25 y 250 mm, colocadas en tresbolillo, a una distancia de 15 a 25 cm, centro a

centro. Para pozos con ademe de mampostería de piedra ó tabique, se dejan espacios sin juntar en el estrato impermeable, procurando apegarse a la consideración anterior.

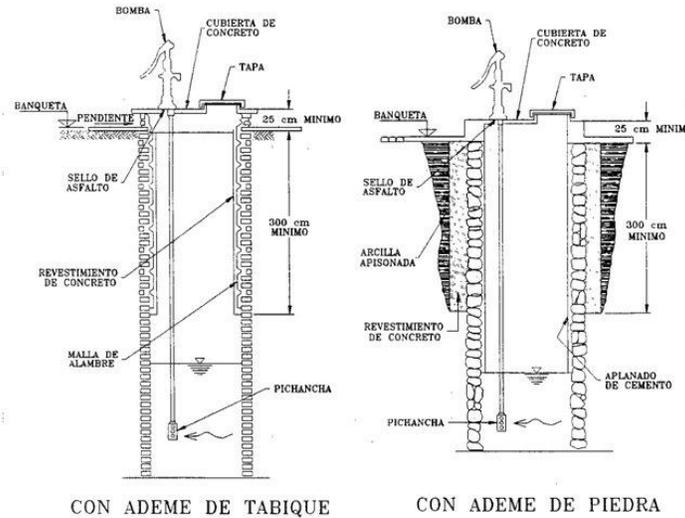


Figura 2.3 Representación de pozo somero

Los pozos Ranney son captaciones horizontales, como las galerías filtrantes. Se diferencia de las galerías filtrantes por la localización de los colectores radiales ranurados, como se puede ver en la Figura 2.3, su proceso constructivo contempla como primer etapa la construcción del cárcamo, que consiste en un cilindro vertical que puede ser construido mediante el procedimiento tipo pozo indio, el que se va construyendo e hincando por peso propio y efectuando la excavación dentro del cilindro. Una vez concluido y colada la losa de fondo los colectores se hincan horizontalmente mediante gatos hidráulicos, los que llevan los siguientes accesorios:

- Un tramo de tubo terminado en punta para facilitar su penetración en el terreno
- Anillos que sirven de guía al tubo y un cople o manguito impermeable
- La extremidad de cada tubo que entra al pozo central está provista de una compuerta plana accionada desde la casa de máquinas que se ubica sobre dicho pozo

La mejor utilización del pozo Ranney se logra en acuíferos delgados ya que se cuenta con una gran superficie de captación, a través de los colectores radiales. Son adecuados para explotar acuíferos de gran permeabilidad, que son profundos para utilizar una galería filtrante y de poco espesor para pozos verticales. Al estar los colectores radiales distribuidos en el acuífero, se evitan fuertes abatimientos locales como el que provocaría un bombeo puntual, disminuyendo el arrastre de material o de mantos de aguas de calidad no deseable como podrían ser de agua salada o salobre que se presentan en la franja costera. La producción de un pozo Ranney dependerá de la permeabilidad del acuífero y de la temperatura del agua.



Figura 2.4 Pozo radial sistema de abastecimiento Papagayo I

Pozos profundos.-El rendimiento uniforme y considerable de un pozo profundo, se debe a que es posible que el acuífero es extenso y sus orígenes se encuentren a grandes distancias del lugar de la captación, evitando rápidas fluctuaciones del nivel piezométrico, además de presentar una temperatura uniforme a lo largo del año. Tiene el inconveniente de un alto

costo de operación y, debido a los grandes recorridos subterráneos del agua, es probable que contenga minerales disueltos.

Dentro del estudio de la hidrología subterránea de una región, la hidráulica de pozos proporciona las bases teóricas para lograr interpretar o prever las fluctuaciones de los niveles freáticos o piezométricos provocados por la explotación de agua subterránea por medio de pozos. El diámetro de las perforaciones de estos pozos de 35 a 75 cm y sus perforaciones se encuentra en el orden de los 35 a los 650 metros en muchos casos a mayor profundidad.

Para fines de abastecimiento de agua potable los problemas que generalmente estudia la hidráulica de pozos, son los siguientes:

- Identificación de sistemas de flujo (confinado, semiconfinado, etc.) y determinación de sus características hidráulicas (permeabilidad, transmisibilidad, almacenamiento, etc.). El conocimiento de las características hidráulicas es esencial para proveer las variaciones de los niveles de agua bajo diferentes condiciones de bombeo de uno o varios pozos, y para la cuantificación del volumen aprovechable del acuífero en estudio
- Predicción del comportamiento de los niveles de agua, utilizando las fórmulas de la hidráulica de pozos y conocidas las características hidráulicas del acuífero. En cuanto al gasto requerido, es posible conocer con anticipación los abatimientos producidos en captaciones próximas al pozo, o bien, en qué medida se pueden interferir varios pozos entre sí
- Diseño de campo de pozos, cuando se requiere la utilización de varios. El problema consiste en definir el número, su localización y el gasto de explotación conveniente, para no originar interferencias entre ellos

2.2.2 Línea de conducción

Dentro de un sistema de abastecimiento de agua, se le llama línea de conducción, al conjunto integrado por tuberías, y dispositivos de control, que permiten el transporte del agua en condiciones adecuadas de calidad, cantidad y presión, desde la fuente abastecimiento, hasta el sitio donde será distribuida.

La pérdida de presión es la principal consideración en el diseño de cualquier tubería. Aunque existen innumerables fuentes de pérdida de presión a lo largo de las tuberías, éstas se pueden dividir para su estudio en pérdidas mayores o de fricción y en pérdidas menores o localizadas.

Las líneas de conducción de agua se calculan siguiendo varios procedimientos existentes. Su diseño en general consiste en definir el diámetro en función de las pérdidas de carga, a partir del gasto que se conducirá y el material de la tubería. Las pérdidas de carga, se obtienen aplicando las ecuaciones de Darcy-Weisbach, Scobey, Manning o Hazen-Williams.

Se pueden presentar dos condiciones de operación en la tubería de línea de conducción, por bombeo o gravedad.



Figura 2.5 Línea de conducción de agua potable

En la línea de conducción por bombeo se instalan equipos de bombeo los cuales producen un incremento brusco en el gradiente hidráulico para vencer todas las pérdidas de energía en la tubería de conducción. Mientras que en la línea de conducción por gravedad se construye un tanque elevado que por la propia caída del agua debido a la fuerza de gravedad provee a toda la red de agua.

En el caso de tuberías sujetas a la presión de la gravedad se pueden presentar dos situaciones:

a) Donde la diferencia de alturas apenas es suficiente para proporcionar una presión adecuada para el funcionamiento, el problema consiste en conservar la energía usando tubos de diámetros grandes para tener mínimas pérdidas de carga por fricción y evitar bombeo de auxilio

b) Cuando la diferencia de altura entre la fuente de abastecimiento y la ubicación del sitio a abastecer es tal que la presión proporcionada es mayor a la requerida, el problema radica en reducir las ganancias de presión, lo cual se logra seleccionando tuberías de diámetros más pequeños

Los datos generales a recabar para el diseño de una línea de conducción son, entre otros, la localización de las fuentes de abastecimiento y las descargas, el clima, los medios de comunicación al lugar y usos del agua.

Para el diseño de una línea de conducción se requiere de un levantamiento topográfico y del producto de ese levantamiento se obtienen planos de distintos cortes y perfiles. Para lo que es necesario definir, mediante una selección de alternativas, la ruta sobre la que se efectuará el trazo de la línea.

En la fabricación de tuberías utilizadas en los sistemas de agua potable, los materiales de mayor uso son: hierro galvanizado (FoGo), fibrocemento, concreto pre esforzado, cloruro de polivinilo (PVC), hierro dúctil, y polietileno de alta densidad.

2.2.3 Tratamiento del agua o potabilización

Se denomina agua potable o agua para consumo humano, al agua que puede ser consumida sin restricción debido a que, gracias a un proceso de purificación, no representa un riesgo para la salud. El término se aplica al agua que cumple con las normas de calidad promulgadas por las autoridades locales e internacionales.

El tratamiento del agua para hacerla potable es la parte más delicada del sistema. El tipo de tratamiento es muy variado en función de la calidad del agua bruta. Una planta de tratamiento de agua potable completa generalmente consta de los siguientes componentes:

- Reja para la retención de material grueso, tanto flotante como de arrastre de fondo
- Desarenador, para retener el material en suspensión de tamaño fino
- Floculadores, donde se adicionan compuestos químicos que facilitan la decantación de sustancias en suspensión coloidal y materiales muy finos en general
- Decantadores o sedimentadores, que separan una parte importante del material fino
- Filtros, que terminan de retirar el material en suspensión.
- Desinfección del agua

En casos especiales, en función de la calidad del agua se deben considerar, para rendir estas aguas potables, tratamientos especiales, como por ejemplo: la ósmosis inversa, tratamiento a través de intercambio iónico o filtros con carbón activado. La aplicación de estos tratamientos para potabilizar el agua encarece el agua potable y sólo son aplicados cuando no hay otra solución.

2.2.4 Tanque de regulación

Los Tanque de almacenamiento juegan un papel básico para el diseño del sistema de distribución de agua, tanto desde el punto de vista económico, así como por su importancia en el funcionamiento hidráulico del sistema y en el mantenimiento de un servicio eficiente.

Un tanque de almacenamiento cumple tres propósitos fundamentales:

- Compensar las variaciones de los consumos que se producen durante el día
- Mantener las presiones adecuadas en la red de distribución
- Mantener almacenada cierta cantidad de agua para atender situaciones de emergencia tales como incendios e interrupciones en el suministro de agua causadas por daños a tuberías o estaciones de bombeo

Dependiendo de la topografía, se hace indispensable separar la zona (alta, media, baja) para mantener las presiones en cada red, dentro de límites admisibles. Esta separación de redes puede hacerse mediante estanques o mediante válvulas reguladoras de presión.

Es importante conocer el comportamiento de los tanques de regulación, esto con el propósito de conocer y determinar la evolución de sus niveles y volúmenes de agua dependiendo de los gastos de ingreso y de los gastos de salida en ellos, así como de los volúmenes de ingreso y de salida, a fin de precisar las condiciones que definen un buen funcionamiento de los tanques de regulación y de la red de agua potable y tener así las bases para la simulación de los niveles del agua en dichos tanques. Se entiende que un volumen de ingreso es lo que entra al tanque y volumen de salida lo que parte del tanque, durante un día; conviene también definir que un volumen de ingreso disponible es el volumen de agua que puede entrar en un tanque si no existiera una válvula de llenado para el cierre total o parcial del flujo de ingreso o si no existiera un mecanismo de control para suspender el servicio de agua cuando el tanque se ha llenado.

Existen dos tipos de tanques de abastecimiento: tanques apoyados en el suelo y tanques elevados, desde el punto de vista de su localización con relación a la red de distribución se distinguen en tanques de cabecera y tanques de cola.

Los tanques de cabecera se sitúan aguas arriba de la red que alimentan. Toda el agua que se distribuye en la red tiene necesariamente que pasar por el tanque de cabecera.

Los tanques de cola, como su nombre lo dice, se sitúan en el extremo opuesto de la red, en relación al punto en que la línea de aducción llega a la red. No toda el agua distribuida por la red pasa por el tanque de cola.



Figura 2.6 Tanque de almacenamiento

2.2.5 Red de distribución

Una vez que el agua potable haya recorrido por los diferentes elementos hasta llegar al tanque de almacenamiento o regularización, inicia la etapa de distribución del agua a la población, esto por medio de la red de distribución. Considerando que un adecuado sistema de distribución debe ser capaz de proporcionar agua potable en cantidad adecuada y con la presión suficiente cuando y donde se requiera dentro de la zona de servicio.

Las redes de distribución se clasifican generalmente en: sistemas en malla, sistemas ramificados y sistemas combinados, la configuración que se le dé al sistema depende de la trayectoria de las calles, topografía, grado y tipo del desarrollo del área y localización de las obras de tratamiento y regularización.

Un sistema de distribución está formado por una red de tuberías y a su vez este se compone de tuberías de alimentación, principales y secundarias, esta designación depende de la magnitud de su diámetro y su posición relativa con respecto a las demás tuberías.

Otros elementos que forman parte de la red de distribución son: válvulas que permitan operar la red, y sectorizar el suministro en casos excepcionales, como son: en casos de rupturas y en casos de emergencias por escasez de agua, dispositivos para macro y micro medición. Se utiliza para ello uno de los diversos tipos de medidores de volumen y la toma domiciliarias que es la parte de la red por donde las personas reciben el agua.

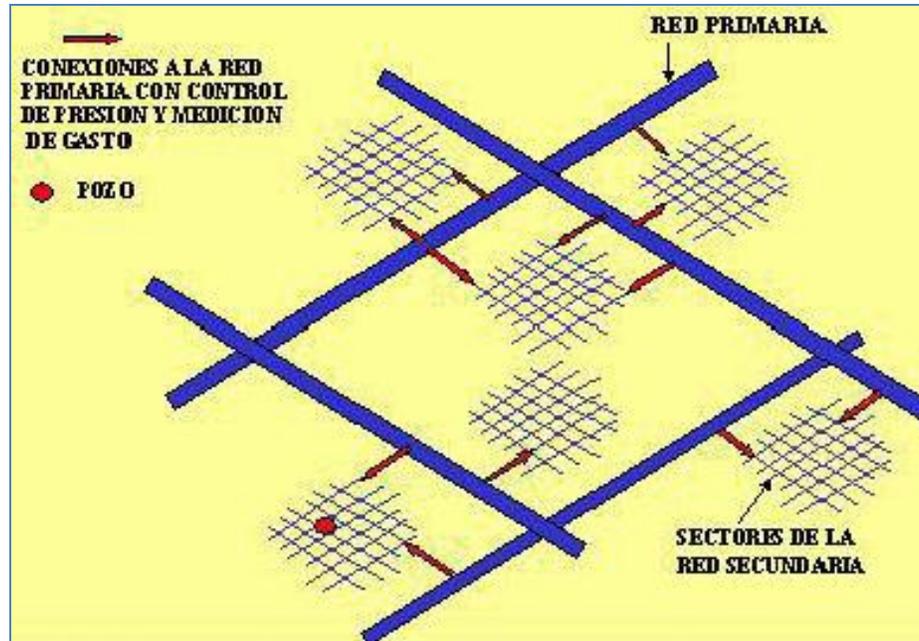


Figura 2.7 Tuberías primarias y secundarias de una red de agua potable

2.3 Legislación aplicable para el uso y consumo del agua

La calidad del agua es un factor indispensable a considerar para prevenir enfermedades de todo tipo que afecten la salud de los seres humanos, es por eso que la Secretaría de Salud establece que se deben cumplir ciertos parámetros con la finalidad de establecer un eficaz control sanitario del agua que se somete a tratamientos de potabilización a efecto de hacerla apta para uso y consumo humano, acorde a las necesidades actuales. Todos estos estipulados en la Norma NOM-127-SSA1-1994. *Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.* Ver Tabla 2.1

Tabla 2.1 Límites permisibles que marca la norma NOM-127-SSA1-1994

Característica	Límite Permissible
Organismos coliformes totales	Ausencia o no detectables
E. coli o coliformes fecales u organismos termotolerantes	Ausencia o no detectables
Color	20 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto
Olor y Sabor	Agradable (se aceptarán aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que no sean resultado de condiciones objetables desde el punto de vista biológico o químico)
Turbiedad	5 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN) o su equivalente en otro método
Aluminio	0.20 (mg/l)
Arsénico (Nota 2)	0.05 (mg/l)
Bario	0.70 (mg/l)
Cadmio	0.005 (mg/l)
Cianuros (como CN-)	0.07 (mg/l)
Cloro residual libre	0.2-1.50 (mg/l)
Cloruros (como Cl-)	250.00 (mg/l)
Cobre	2.00 (mg/l)
Cromo total	0.05 (mg/l)
Dureza total (como CaCO ₃)	500.00 (mg/l)
Fenoles o compuestos fenólicos	0.3 (mg/l)
Hierro	0.30 (mg/l)
Cromo total	0.05 (mg/l)
Dureza total (como CaCO ₃)	500.00 (mg/l)
Fenoles o compuestos fenólicos	0.3 (mg/l)
Hierro	0.30 (mg/l)
Fluoruros (como F-)	1.50 (mg/l)
Hidrocarburos aromáticos en microgramos/l:	
Benceno	10.00
Etilbenceno	300.00
Tolueno	700.00

Tabla 2.1 Límites permisibles que marca la norma NOM-127-SSA1-1994

Característica	Límite Permissible
Xileno (tres isómeros)	500.00
Manganeso	0.15
Mercurio	0.001
Nitratos (como N)	10.00
Nitritos (como N)	1.00
Nitrógeno amoniacal (como N)	0.50
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	6.5-8.5
Plaguicidas en microgramos/l:	
Aldrín y dieldrín (separados o combinados)	0.03
Clordano (total de isómeros)	0.20
DDT (total de isómeros)	1.00
Gamma-HCH (lindano)	2.00
Hexaclorobenceno	1.00
Heptacloro y epóxido de heptacloro	0.03
Metoxicloro	20.00
2.4 – D	30.00
Plomo	0.01
Sodio	200.00
Sólidos disueltos totales	1000.00
Sulfatos (como SO ₄ =)	400.00
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	0.50
Trihalometanos totales	0.20
Yodo residual libre	0.2-0.5
Zinc	5.00
Nota 1 : Los límites permisibles de metales se refieren a su concentración total en el agua, la cual incluye los suspendidos y los disueltos.	
Nota 2: El límite permisible para arsénico se ajustará anualmente, de conformidad con la siguiente tabla de cumplimiento gradual:	

Tabla 2.1 Límites permisibles que marca la norma NOM-127-SSA1-1994

Característica	Límite Permissible
En el año 2001	0.045 (mg/l)
En el año 2002	0.040 (mg/l)
En el año 2003	0.035 (mg/l)
En el año 2004	0.030 (mg/l)
En el año 2005	0.025 (mg/l)
Radiactividad alfa global	0.56 (Bq/l)
Radiactividad beta global	1.85 (Bq/l)

La norma también menciona los tratamientos a los que se debe de someter el agua en caso de que se rebasen los límites permisibles mencionados en la Tabla 2.2

Tabla 2.2 Tratamiento a realizar cuando se rebasan los límites permisibles que marca la norma NOM-127-SSA1-1994

Tratamientos para la potabilización del agua	
Elemento	Tratamiento a realizar
Contaminación Biológica	
Bacterias, helmintos, protozoarios y virus	Desinfección con cloro, compuestos de cloro, ozono o luz ultravioleta
Características físicas y organolépticas	
Color, olor, sabor y turbiedad	Coagulación-floculación-precipitación-filtración; cualquiera o la combinación de ellos, adsorción en carbón activado u oxidación.
Constituyentes químicos	
Arsénico	Coagulación-floculación-precipitación-filtración; cualquiera o la combinación de ellos, intercambio iónico u ósmosis inversa.
Aluminio, bario, cadmio, cianuros, cobre, cromo total y plomo	Intercambio iónico u ósmosis inversa

Tabla 2.2. Tratamiento a realizar cuando se rebasan los límites permisibles que marca la norma NOM-127-SSA1-1994

Tratamientos para la potabilización del agua	
Elemento	Tratamiento a realizar
Constituyentes químicos	
Cloruros	Intercambio iónico, ósmosis inversa o evaporación
Dureza	Ablandamiento químico o intercambio iónico
Fenoles o compuestos fenólicos	Oxidación, coagulación, floculación, sedimentación, filtración; adsorción en carbón activado u oxidación con ozono
Hierro y/o manganeso	Oxidación, filtración, intercambio iónico u ósmosis inversa
Fluoruros	Alúmina activada, carbón de hueso u ósmosis inversa
Hidrocarburos aromáticos	Oxidación-filtración o adsorción en carbón activado
Mercurio	Coagulación, floculación, sedimentación, filtración; adsorción en carbón activado granular u ósmosis inversa cuando la fuente de abastecimiento contenga hasta 10 microgramos/l. Adsorción en carbón activado en polvo cuando la fuente de abastecimiento contenga más de 10 microgramos/l
Nitratos y nitritos	Intercambio iónico o coagulación-floculación-sedimentación-filtración
Nitrógeno amoniacal	Coagulación-floculación-sedimentación-filtración, desgasificación o desorción en columna
pH (potencial de hidrógeno)	Neutralización
Plaguicidas	Adsorción en carbón activado granular
Sodio	Intercambio iónico
Sólidos disueltos totales	Coagulación-floculación-sedimentación-filtración y/o intercambio iónico
Sulfatos	Intercambio iónico u ósmosis inversa
Sustancias activas al azul de metileno	Adsorción en carbón activado
Trihalometanos	Oxidación con aireación u ozono y adsorción en carbón activado granular
Zinc	Evaporación o intercambio iónico

A su vez la norma establece que los métodos de prueba para la determinación de los parámetros definidos en esta norma, son responsabilidad de los organismos operadores de los sistemas de abastecimiento de agua para uso y consumo humano, y serán aprobados por la Secretaría de Salud a través del área correspondiente.

Otras de las normas las cual tiene que ver con la calidad del agua es la NOM-179-SSA1-1998 *Vigilancia y evaluación del control de calidad del agua para uso y consumo humano, distribuida por sistemas de abastecimiento público.*

La finalidad de la norma es establecer los requisitos y especificaciones que deberán observarse en las actividades de control de la calidad del agua para uso y consumo humano.

Para los sistemas de abastecimiento de agua potable que tengan una población menor o igual a 50,000 habitantes se debe cumplir con lo establecido en la Tabla 2.3.

Los resultados de los exámenes y análisis de calidad del agua se deben conservar en archivo, durante tres años como mínimo y estar a disposición de la autoridad competente, cuando ésta lo solicite.

Tabla 2.3. Datos que debe incluir el programa de análisis de la calidad de agua NOM-179-SSA1-1998

DETERMINACION DE CLORO RESIDUAL LIBRE EN RED DE DISTRIBUCIÓN		
POBLACION ABASTECIDA No. DE HABITANTES	MUESTRAS POR NUMERO DE HABITANTES	FRECUENCIA
≤2 500	1/≤2 500	semanal
2 501-50 000	1/5 000	semanal
50 001-500 000	5/50 000	semanal
>500 000	1/50 000	diaria
EXAMEN MICROBIOLÓGICO EN RED DE DISTRIBUCIÓN		
POBLACION ABASTECIDA No. DE HABITANTES	MUESTRAS POR NUMERO DE HABITANTES	FRECUENCIA
≤50 000	1/≤50 000	semanal
50 001-500 000	1/50 000	semanal
>500 000	1/250 000	diaria

Tabla 2.3. Datos que debe incluir el programa de análisis de la calidad de agua NOM-179-SSA1-1998

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y EXAMEN MICROBIOLÓGICO			
SITIO DE MUESTREO	NUM. DE MUESTRAS	FRECUENCIA	PARAMETROS A DETERMINAR
En la entrada a red de distribución proveniente de:			
Fuente de abastecimiento superficial	1	Trimestral	Ver Apéndice Normativo 1
Fuente de abastecimiento subterránea	1	Semestral	Ver Apéndice Normativo 1
Mezcla de dos o más tipos de fuentes y/o tanque de almacenamiento y regulación	1	Semestral (Trimestral si incluye fuentes superficiales)	Ver Apéndice Normativo 1
Planta potabilizadora	1	Trimestral	Ver Apéndice Normativo 1

El agua en la red de distribución, incluyendo los puntos más alejados, debe contener cloro residual libre entre los límites de 0.2 a 1.5 mg/l (de conformidad con la NOM-127-SSA1-1994).

Para el abastecimiento de localidades con una población mayor a 50 000 habitantes, el organismo operador debe contar con Certificado de Calidad Sanitaria del Agua, otorgado por la Secretaría de Salud, siendo el propio organismo el responsable del cumplimiento de los Programas de Análisis de Calidad del Agua, Inspección de Instalaciones Hidráulicas, Mantenimiento y Capacitación.

La norma también menciona la vigilancia en la calidad de agua y la manera en que ésta se debe de llevar a cabo.

Por otra parte la NOM-230-SSA1-2002, Salud ambiental. *Agua para uso y consumo humano, requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua. Procedimientos sanitarios para el muestreo*, establece los requisitos sanitarios que deben cumplir los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua, para preservar la calidad del agua para uso y consumo humano, así como los procedimientos sanitarios para su muestreo.

2.4 Consideraciones para el diseño hidráulico

- **Determinación de datos básicos de proyecto**

Para la realización del proyecto es necesario conocer datos y parámetros importantes de la zona de estudio y del sistema a proyectar como son: población, período de diseño, fuente de abastecimiento, dotación, gastos de diseño, tipo de conducción, regularización, distribución y tipo de servicio, los cuales dependerán de la zona.

- **Período de diseño**

El período de diseño es el lapso en el cual se estima que las obras por construir llegan a su nivel de saturación (se utiliza al 100 por ciento de su capacidad). Para seleccionar el período de diseño se toman en cuenta las recomendaciones del Manual de diseño de agua potable, alcantarillado y saneamiento de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) que recomienda 20 años, tiempo donde se contempla su planeación, diseño, construcción y puesta en operación del sistema.

- **Fuente de abastecimiento**

La fuente abastecimiento es el lugar de donde se tomará el agua para la abastecer a la zona de estudio.

- **Población de proyecto**

La población de proyecto es la que se estima habrá al final del período de diseño en la zona de estudio, la cual se emplea como base para diseñar el sistema de agua potable, de manera que durante este período el sistema cumpla adecuadamente con su función.

A continuación se describen dos métodos con los cuales se puede realizar la proyección de la población.

Formula de interés compuesto

$$P_f = P_a (1 + r)^n$$

donde: P_f población final

P_a población inicial

r razón de incremento

n periodo de años entre la P_f y P_a

A continuación se describen los métodos que recomienda la CONAGUA, 2007, para el análisis de las proyecciones de población:

Método de mínimos cuadrados

Este procedimiento consiste en calcular la población de proyecto a partir de un ajuste de los resultados de los censos en años anteriores a una recta o curva, de tal modo que los puntos pertenecientes a éstas difieran lo menos posible de los datos observados.

Para determinar la población de proyecto será necesario considerar el modelo matemático que mejor represente el comportamiento de los datos de los censos históricos (lineal, exponencial, logarítmica o potencial), obteniendo el valor de las constantes a y b que se conocen como coeficientes de la regresión. Existe un parámetro que sirve para determinar qué tan acertada fue la elección de la curva o recta de ajuste a los datos de los censos. Este se denomina coeficiente de correlación r , su rango de variación es de -1 a $+1$ y conforme su valor absoluto se acerque más a 1 , el ajuste del modelo a los datos será mejor.

A continuación se presentan varios modelos de ajuste, donde se definirán las expresiones para el cálculo de los coeficientes a , b y r .

Ajuste lineal

En el caso de que los valores de los censos históricos graficados como población en el eje de las ordenadas y los años en el de las abscisas se ajusten a una recta, se utiliza la siguiente expresión característica que da el valor de la población para cualquier año, t :

$$P = a + bt \quad (1)$$

Para determinar los valores de a y b se utilizan las ecuaciones siguientes:

$$a = \frac{\sum Pi - b \sum ti}{N} \quad (2)$$

$$b = \frac{N \sum tiPi - \sum ti \sum Pi}{N \sum ti^2 - (\sum ti)^2} \quad (3)$$

donde:

N número total de datos

$\sum ti$ suma de los años con información

$\sum Pi$ suma del número de habitantes

Una vez obtenido el comportamiento histórico de los datos censales mediante el ajuste lineal, se calcula la población para cualquier año futuro sustituyendo el valor del tiempo t , en la ecuación 1.

El coeficiente de correlación r para el ajuste lineal se calcula como sigue:

$$r = \frac{N \sum tiPi - \sum ti \sum pi}{\sqrt{(N \sum ti^2 - (\sum ti)^2)(N \sum Pi^2 - (\sum Pi)^2)}} \quad (4)$$

Ajuste no-lineal

Cuando los datos de los censos históricos de población, se adapten más bien a una curva, en lugar de una recta, se pueden ajustar estos datos a una curva exponencial, una logarítmica o una potencial, las cuales se tratan a continuación:

Ajuste exponencial

La expresión general está dada por:

$$P = ae^{bt} \quad (5)$$

donde a y b son las constantes que se obtienen mediante las ecuaciones:

$$a = e^{\left[\frac{(\sum \ln pi - b \sum ti)}{N} \right]} \quad (6)$$

$$b = \frac{N \sum ti \ln Pi - \sum ti \sum \ln Pi}{N \sum ti^2 - (\sum ti)^2} \quad (7)$$

donde:

ln logaritmo natural

Los valores de las sumatorias se obtienen de manera similar a las del ajuste lineal y, sustituyendo el valor t deseado, se predice la población futura.

Una vez obtenido el comportamiento histórico de los datos censales mediante el ajuste exponencial, se calcula la población para cualquier año futuro, sustituyendo el valor del tiempo t en la ecuación 5.

El coeficiente de correlación para este modelo se calcula con:

$$r = \frac{N \sum ti (\ln Pi) - \sum ti \sum \ln pi}{\sqrt{(N \sum ti^2 - (\sum ti)^2) (N \sum (\ln Pi)^2 - (\sum \ln Pi)^2)}} \quad (8)$$

Ajuste logarítmico

Este modelo tiene la expresión general:

$$P = a + b(\ln t) \quad (9)$$

Y la solución de los coeficientes a y b se obtienen con:

$$a = \frac{\sum Pi - b \sum \ln ti}{N} \quad (10)$$

$$b = \frac{N \sum \ln ti Pi - \sum \ln ti \sum Pi}{N \sum (\ln ti)^2 - (\sum \ln ti)^2} \quad (11)$$

Una vez obtenido el comportamiento histórico de los datos censales mediante el ajuste logarítmico, se calcula la población para cualquier año futuro, sustituyendo el valor del tiempo t en la ecuación 9.

El coeficiente de correlación esta dado por:

$$r = \frac{N \sum (\ln ti) Pi - \sum \ln ti \sum Pi}{\sqrt{(N \sum (\ln ti)^2 - (\sum \ln ti)^2)(N \sum (Pi)^2 - (\sum Pi)^2)}} \quad (12)$$

Ajuste potencial

La expresión general está dada por:

$$P = at^b \quad (13)$$

La solución de los coeficientes a y b se obtiene como sigue:

$$a = e^{\left(\frac{\sum \ln Pi - b \sum \ln ti}{N} \right)} \quad (14)$$

$$b = \frac{N \sum (\ln ti)(\ln Pi) - \sum \ln ti \sum \ln Pi}{N \sum (\ln ti)^2 - (\sum \ln ti)^2} \quad (15)$$

Una vez obtenido el comportamiento histórico de los datos censales mediante el ajuste potencial, se calcula la población para cualquier año futuro, sustituyendo el valor del tiempo t en la ecuación 13.

El coeficiente de correlación está dado por:

$$r = \frac{N \sum (\ln t_i)(\ln P_i) - \sum \ln t_i \sum \ln P_i}{\sqrt{(\sum (\ln t_i)^2 - (\sum \ln t_i)^2)(N \sum (\ln P_i)^2 - (\sum P_i)^2)}} \quad (16)$$

- **Dotación y consumo**

La dotación es la cantidad de agua asignada a cada habitante considerando todos los consumos y las pérdidas en la red en un día promedio anual. Así pues, la dotación debe ser igual a la demanda *per cápita* promedio anual expresada en lt/hab/día. Sin embargo, existen factores técnicos (como lejanía de la fuente, cantidad y calidad del agua disponible), que influyen para determinar la dotación que debe ser utilizada como datos de diseño.

La dotación es el volumen que considera el consumo de todos los servicios que se hacen por habitante por día, incluyendo pérdidas físicas.

El consumo se define como la parte del suministro de agua potable que generalmente utilizan los usuarios, sin considerar las pérdidas en el sistema. Se determina de acuerdo al tipo de usuario, se divide según su uso en doméstico y no doméstico.

La Comisión Nacional de Agua hace algunas recomendaciones de los consumos para sistemas rurales y para localidades urbanas; ambos dependen del tipo de clima y además los sistemas rurales dependen de si se abastecen de hidrantes o de tomas domiciliarias y las localidades urbanas dependen de la clase socioeconómica de la población. Ver Tabla 2.4

Tabla 2.4 Consumos recomendados por CONAGUA para localidades urbanas.
Consumo por clase socioeconómica, en lt/hab/día

Clima	Residencial	Media	Popular
Cálido	400	230	185
Semicálido	300	205	130
Templado	250	195	100

- **Definición de los gastos de diseño**

Estadísticamente se ha demostrado en diferentes estudios en el país y en el extranjero que la demanda de la población no es constante a lo largo del día, por lo que para el establecimiento de los gastos de diseño en un sistema de agua potable se toman diferentes consideraciones en función de la ubicación de la infraestructura dentro del sistema. Con base en esto y en la definición de las estructuras que componen el sistema, se enlista a continuación los gastos de diseño que se emplearán para cada uno de estos componentes.

Captación. Se considera el gasto máximo diario, Q_{md} , para asegurar que la población podrá satisfacer su demanda de servicio en el día más caluroso del año.

Cárcamo de bombeo. Con capacidad para bombear el gasto máximo diario en el horario establecido de operación de la estructura.

Línea de conducción. Se considera el gasto máximo diario, Q_{md} , con base en la premisa anterior, partiendo de que es a través de esta línea que se conduce el agua desde la captación hasta la estructura de regulación.

Tanque de regulación. Con base en las recomendaciones de la CONAGUA, se ha establecido el coeficiente de regulación adecuado, el tiempo de operación de la captación, que al ser un sistema por gravedad se considerará de 24 horas y al gasto máximo diario.

Red de distribución. Partiendo de que esta red deberá suministrar el servicio en el día más caluroso en el momento de máxima demanda, es

decir, cuando la comunidad hace el mayor uso del recurso, se diseña con el gasto máximo horario, Q_{mh} .

La definición de estos gastos de diseño está ligada a coeficientes definidos estadísticamente a través de mediciones de los gastos de demanda en usuarios de los sistemas formales, que es el caso del que se obtendrá como resultado de este proyecto. Los coeficientes empleados son:

- **Coeficiente de variación diaria**

El coeficiente de variación diaria está ligado al consumo derivado de las variaciones de temperatura a lo largo del año; así toma en cuenta que en el día más caluroso del año el consumo de la población será mayor que en el día promedio.

Los valores del coeficiente de variación diaria, C_{vd} , se consideran en un rango entre 1.2 y 2 del gasto medio diario, Q_m , asociándose el criterio de selección a la variación de temperaturas en el año y al uso diferente al doméstico que se puede tener en la comunidad.

Los valores del coeficiente de variación diaria, C_{vd} , recomendado por la CONAGUA para localidades urbanas es de 1.4.

- **Coeficiente de variación horaria**

El coeficiente de variación horaria considera las variaciones de demanda de la población a lo largo del día, siendo el caso extremo en localidades urbanas en las primeras horas del día en donde la población se alista para acudir a los centros de trabajo. En comunidades rurales esta concentración de la demanda se podría tener en la tarde, cuando sus habitantes terminan sus jornales de trabajo.

Las variaciones horarias en la demanda dependen de las costumbres y de la actividad económica y laboral en la localidad estudiada. El coeficiente de variación horaria tiende a ser mayor en sistemas pequeños (como son los rurales), que en los grandes (mayores a 5,000 habitantes), ya que en estos

últimos que un usuario abra una toma se diluye entre el gran número de usuarios, caso contrario al de los sistemas rurales. El intervalo de variación de este coeficiente se considera en México entre 1.55 y 2 del gasto máximo diario. Los valores del coeficiente de variación horaria, C_{vhr} , recomendado por la CONAGUA para localidades urbanas es de 1.55.

- **Gastos de diseño**

El consumo de agua potable y por lo tanto, la demanda, varían con la hora del día y con la estación del año. Las fluctuaciones respecto a su valor medio correspondiente son mayores en comunidades pequeñas (por el tamaño de la población), que en las grandes; así como también son mayores en regiones secas que en las húmedas.

Con los valores de los coeficientes de variación definidos anteriormente, se establecen los gastos de diseño con base en las expresiones que se incluyen a continuación.

- **Gasto medio Q_m**

El gasto medio es la cantidad de agua requerida para satisfacer las necesidades de la población de proyecto en un día de consumo promedio.

El gasto medio Q_m se calcula con la ecuación:

$$Q_m = \frac{Pob \times Dot}{86400}$$

En donde:

Q_m gasto medio, en lps

Pob población de proyecto, habitantes

Dot dotación, en lt/hab/d

- **Gasto máximo diario** Q_{md}

El gasto máximo diario se asocia al consumo de la población en el día de máximo consumo o el día más caluroso del año. Este valor se emplea para el diseño de captación, línea de conducción y tanque de regulación.

El gasto máximo diario se calcula al multiplicar el gasto promedio de consumo de la localidad por el coeficiente de variación diaria, el cual se define como la relación de la demanda promedio en el día de máximo consumo entre la demanda promedio diaria, en un período de un año. Con base en el análisis específico, el coeficiente de variación diario, C_{vd} , se define en 1.4, de tal manera que el gasto máximo diario se define con la siguiente expresión:

$$Q_{md} = Q_m * 1.4$$

En donde:

Q_{md}	gasto máximo diario, en l/s
Q_m	gasto medio, en l/s
1.4	coeficiente de variación diaria

- **Gasto máximo horario** Q_{mh}

El gasto máximo horario se define como la demanda de agua potable en la hora de máximo consumo o demanda pico, que puede traducirse como la demanda de agua promedio multiplicado por el coeficiente para el día más caluroso, C_{vd} , multiplicado por el coeficiente de máxima demanda a lo largo del día, C_{vh} , y se emplea para el diseño de la red de distribución. También se conoce como demanda pico.

El gasto máximo horario se obtiene a partir del gasto máximo diario, multiplicado por el coeficiente de variación horaria, con base en la siguiente ecuación:

$$Q_{mh} = Q_{md} * 1.55$$

donde:

Q_{mh} gasto máximo horario, en l/s

Q_{md} gasto máximo diario, en l/s

1.55 coeficiente de variación horaria

- **Proyecciones de la demanda**

Una vez definidos los parámetros básicos como son: poblaciones, consumos y pérdidas se procede a calcular las proyecciones de la demanda, tomado en cuenta la Tabla 2.4, consumos recomendados por CONAGUA para localidades urbanas.

Capítulo 3 Datos básicos de proyecto en la zona de estudio

3.1 Población en la zona de estudio

Para realizar los censos y las encuestas se requiere definir, en el ámbito geográfico, las áreas de estudio; esto es factible gracias al Marco Geoestadístico Nacional, el cual es un sistema que permite relacionar la información estadística con el espacio geográfico correspondiente, divide al territorio nacional en áreas de fácil identificación en campo y es adecuado para las actividades de captación de información.

Estas unidades se denominan áreas geoestadísticas y son:

- Estatales, AGEE
- Municipales, AGEM
- Básicas, AGEB

Las últimas constituyen la unidad fundamental del Marco Geoestadístico, el cual se ajusta, en lo posible, a los límites municipales y estatales de la división político-administrativa del país. Para poder conocer la población en la zona de estudio, se tomarán en cuenta los datos en base a los AGEB's del conteo de población y vivienda de 2010.

Se definirán las zonas de influencia de cada tanque en la zona de estudio y en función a esto se obtiene la población en la zona de estudio al año 2010, dicha población se proyectará al año 2013 para así estimar una población actual en la zona de estudio mediante la fórmula del interés compuesto, tomando en cuenta la tasa de interés en el municipio que es alrededor del 1 por ciento según datos de INEGI, posteriormente tomando en cuenta los datos de la Tabla 8 censos anteriores en la zona de estudio se realiza una proyección al año 2030 con el método de mínimos cuadrados, haciendo los diferentes ajustes que menciona el método, se elegirá el ajuste que más se aproxime a 1 como lo marca el método, para así determinar la población al horizonte de proyecto.

En la Tabla 3.1 se presenta la población en el año 2010 por área de influencia de cada tanque inmerso en la zona de estudio.

Tabla 3.1 Población en la zona de influencia de los tanques que abarca la zona de estudio, fuente INEGI

Zona de influencia	Población 2010 (hab)	Superficie (km ²)	Densidad (hab/km ²)
Tanque Renacimiento	49,575	3.606	13747.9
Tanque Zapata	22,987	1.994	11528
Tanque Zapata 2	2,015	0.138	14601.4
Tanque Simón Bolívar	8,729	0.535	16315.85
Tanque elevado INFONAVIT	1,927	1.855	1038.8
Tanque Sinaí	13,756	0.914	15050.33
Tanque Moctezuma	2,970	0.394	7538
Tanque Paso Limonero	1,930	0.429	4498.8
Tanque La Venta	5,939	0.582	10204
Tanque Arroyo Seco II	4,523	0.709	6379.4
Tanque Mica	5,669	1.548	3662.1
Tanques Industrial, Izazága. Unidos Por Guerrero	30,738	3.594	8552.5
Total	150,758	16.298	9250

Tabla 3.2 Proyección de la población al año 2013 fórmula del interés compuesto

Año	Población	Tasa de crecimiento
2010	150,758	1.00%
2011	152265	1.00%
2012	153788	1.00%
2013	155326	1.00%

Tabla 3.3 Censos de población en la zona de estudio fuente, INEGI

Periodo	Año de censo	Población (hab)
1	1950	35,025
2	1960	47,070
3	1970	63,259
4	1980	85,014
5	1990	114,252
6	2000	139,402
7	2010	150,758

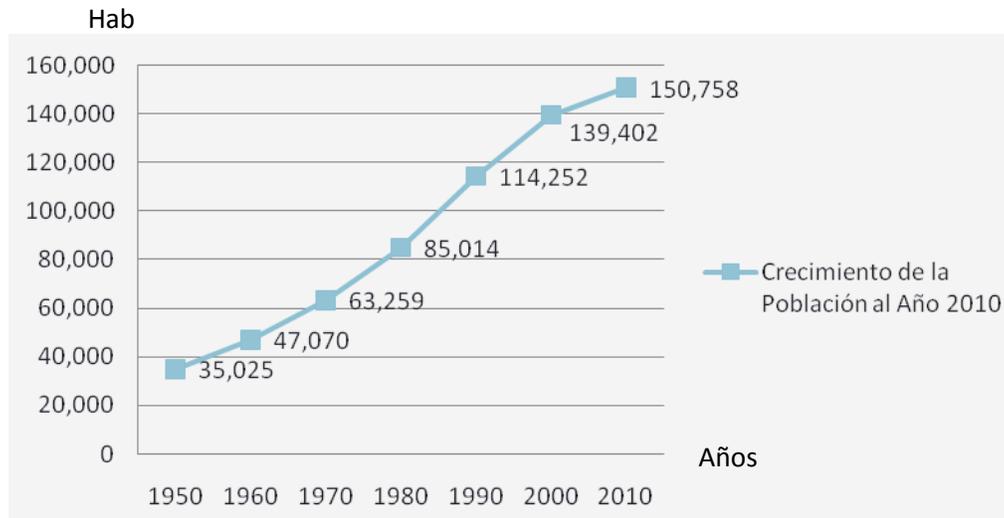


Figura 3.1 Crecimiento de la población al año 2010

Aplicando el método de mínimos cuadrados y los diferentes tipos de ajustes, se obtendrán las siguientes gráficas con sus respectivas ecuaciones, de la cual se elegirá la más conveniente para la aplicación del método.

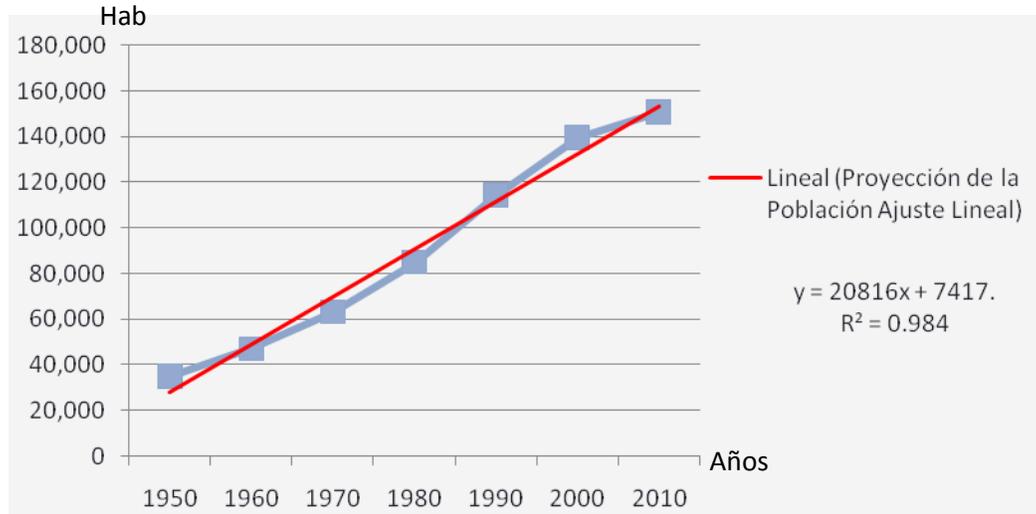


Figura 3.2 Proyección de la población ajuste lineal

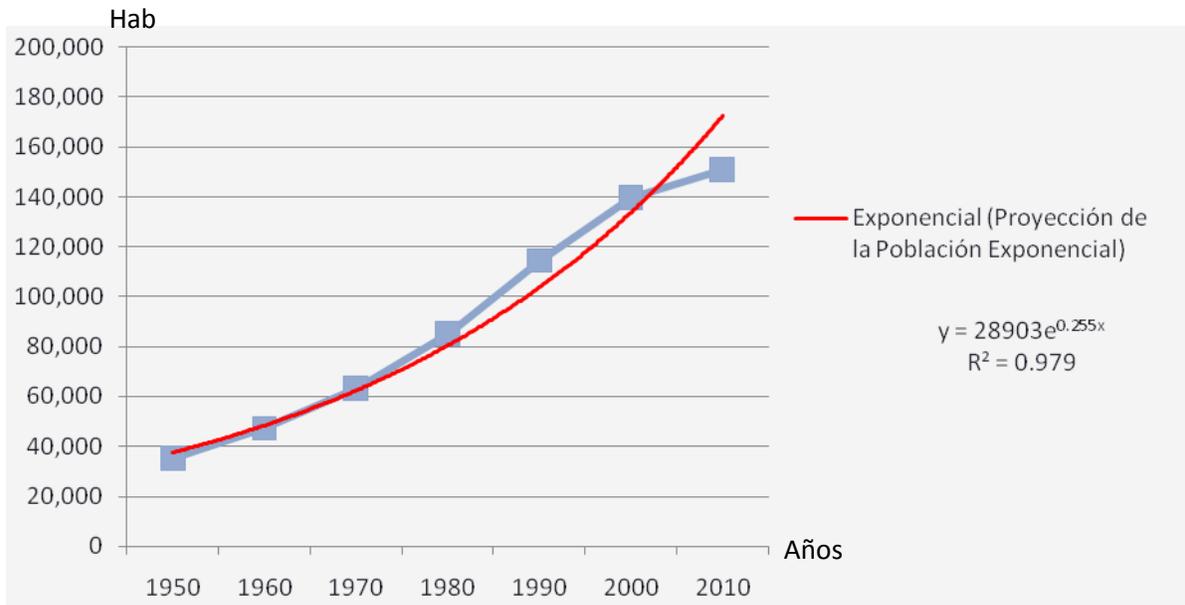


Figura 3.3 Proyección de la población ajuste exponencial

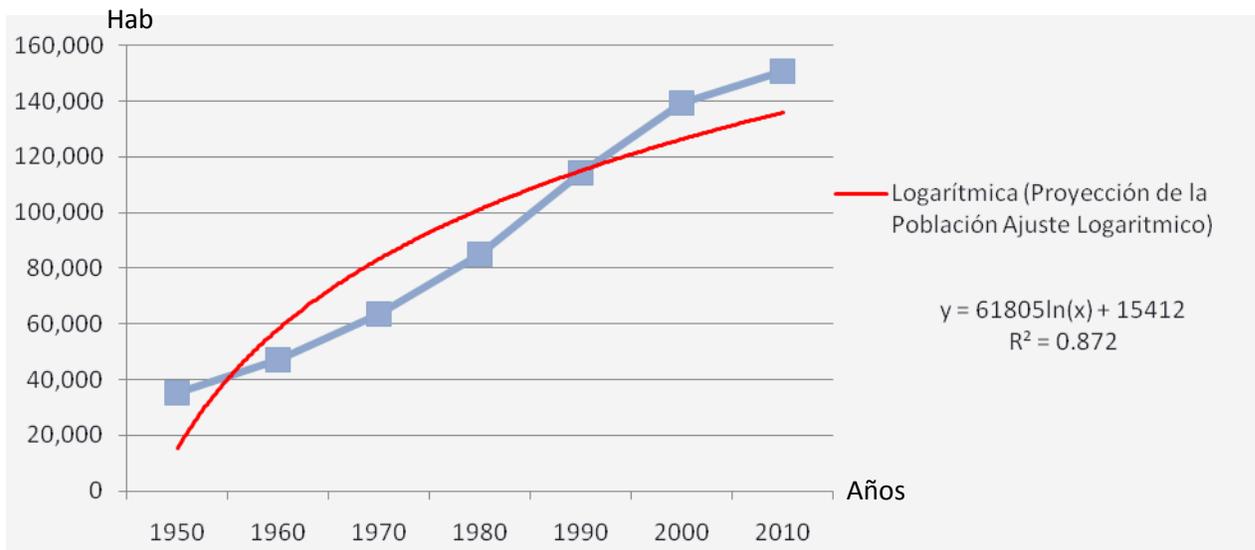


Figura 3.4 Proyección de la población ajuste logarítmico

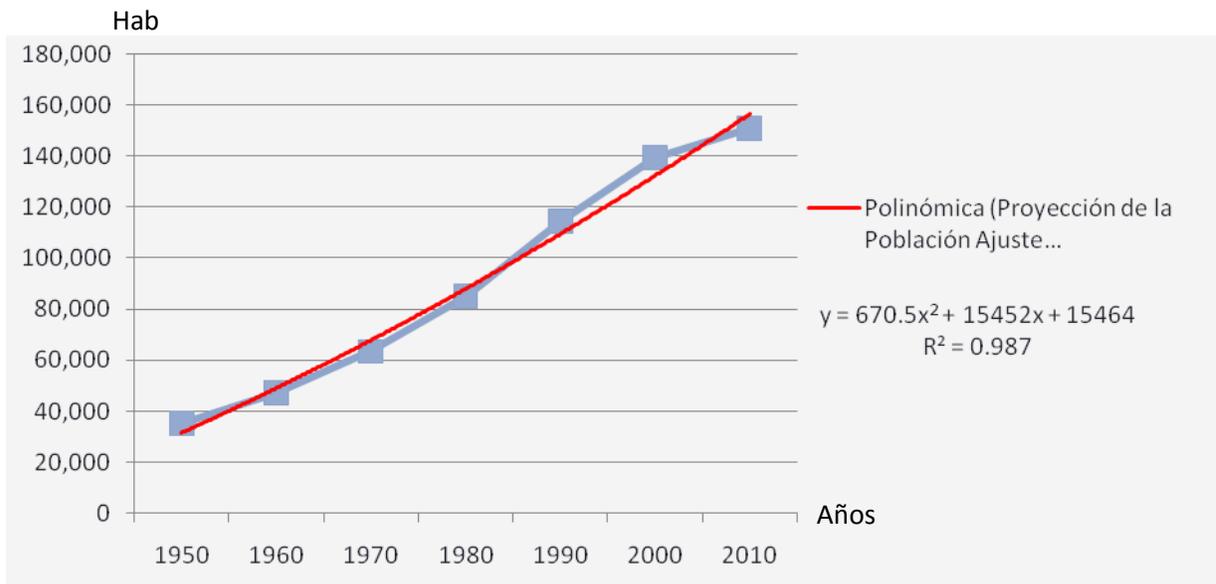


Figura 3.5 Proyección de la población ajuste polinómico

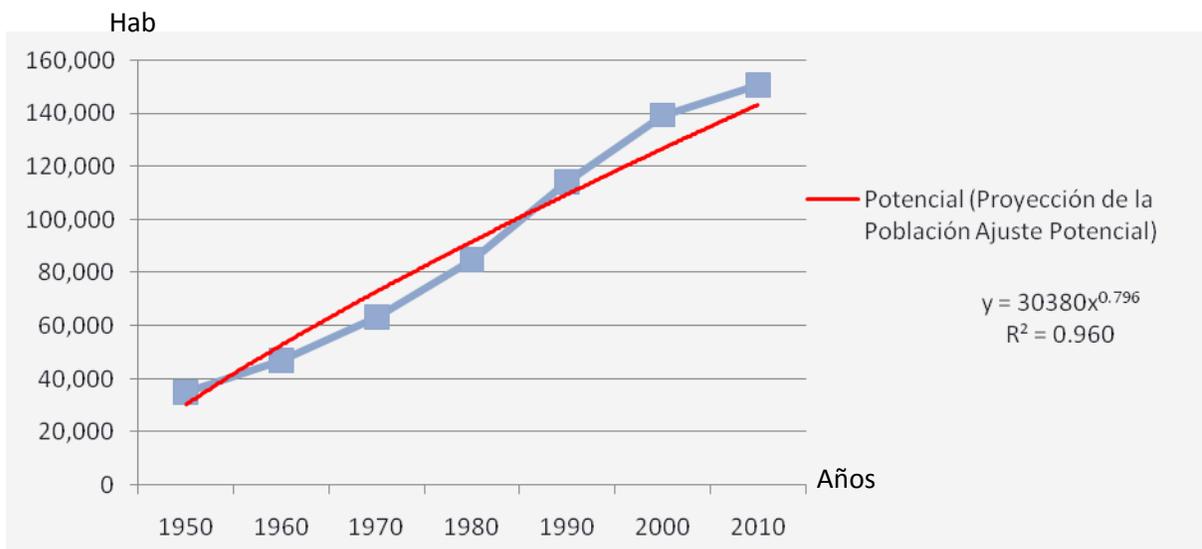


Figura 3.6 Proyección de la Población ajuste potencial

Haciendo un resumen de los datos obtenidos en las gráficas presentadas anteriormente obtenemos lo siguiente, ver Tabla 3.4

Tabla 3.4 Resumen de datos de los diferentes ajustes

Función	Ecuación	R ²
Lineal	$y=20816x + 7417.7$	0.9846
Exponencial	$y = 28903e^{0.2551x}$	0.9797
Logarítmica	$y= 61805\ln(x) + 15412$	0.8723
Polinómico	$y = 670.55x^2 + 15452x + 15464$	0.9877
Potencial	$y = 30380x^{0.7968}$	0.9608

Como se puede apreciar en la Tabla 3.4 que la función de ajuste polinómico es el que tiene la desviación estándar más cercano a 1. Por lo tanto es la función que utilizará para la proyección de población.

Haciendo uso de la ecuación $y = 670.55x^2 + 15452x + 15464$, se obtienen los siguientes valores de la proyección de la población.

Tabla 3.5 Valores obtenidos de la proyección de población con ajuste polinómico

Periodo	Año de censo	Población (hab)
1	1950	35,025
2	1960	47,070
3	1970	63,259
4	1980	85,014
5	1990	114,252
6	2000	139,402
7	2010	150,758
8	2020	181,995
9	2030	208,847
10	2040	237,039

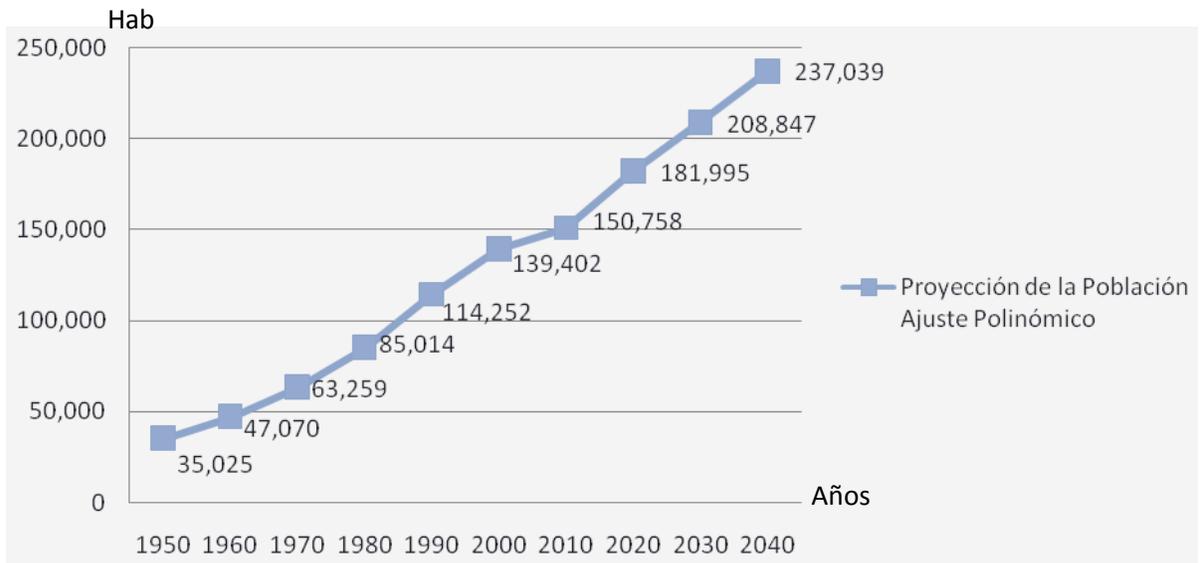


Figura 3.7 Proyección de la población al año 2040 ajuste polinómico

3.2 Proyección de la demanda

En el caso de las pérdidas físicas no se tienen datos de aforo en la zona y no se cuenta con micromedición, por tanto no se cuenta un elemento exacto para definir este parámetro, sin embargo se considera que las pérdidas en la zona son del orden del 40 por ciento, valor promedio en localidades medias.

La ciudad de Acapulco está formada por diferentes tipos de zonas: turísticas, residenciales, comerciales e industriales, en el caso de estudio la zona conurbada del Puerto Zapata-Renacimiento, se considera que el tipo de usuario es de tipo doméstico de nivel popular; por lo tanto considerando los consumos recomendado por la CONAGUA para un clima semicálido y un nivel socioeconómico popular, se adoptará un consumo de 130 lt/hab/día y una dotación de 185 lt/hab/día.

Una vez definidos los parámetros básicos como son: poblaciones, consumos y pérdidas, procedemos a realizar las proyecciones de la demanda hasta el año

2040 considerando que el consumo de 130 lt/hab/día se mantiene constante. Los valores de las proyecciones estarán dados en lps.

Tabla 3.6 Proyección de la demanda al año 2040

Año	Población habitantes	Gasto medio Q_m	Gasto máximo Diario Q_{md}	Gasto máximo horario Q_{mh}
2010	150,758	322.8	451.9	700.5
2013	155,326	332.6	465.6	721.7
2020	181,995	389.7	545.6	845.6
2030	208,847	447.2	626.1	970.4
2040	237,039	507.5	710.6	1,101.4

Con la información obtenida y calculada, se presenta la siguiente tabla resumen con los datos básicos de proyecto de la zona de estudio Zapata-Renacimiento. Se toman los datos de la proyección al año 2030.

Tabla 3.7 Datos básicos de proyecto

Población actual (2013) hab	155,326
Población de proyecto (2030)	208,847
Dotación lt/hab/dia	185
Gasto medio diario lps	447.2
Gasto máximo horariolps	626.1
Gasto máximo horariolps	970.4
Coeficiente de variación diaria	1.4
Coeficiente de variación horaria	1.55
Fuente de abastecimiento	Batería de pozos someros
Conducción	Bombeo y gravedad
Regularización	Tanques superficiales
Distribución	Gravedad
Tipo de servicio	Tomas domiciliarias



Figura 3.8 Zona estudio, zona conurbada Zapata-Renacimiento

3.3 Delimitación de zonas de influencia

Actualmente el agua que abastece a la zona de la Zapata- Renacimiento, llega a tres tanques principales: tanque Zapata, tanque Venta-Zapata y tanque Renacimiento, posteriormente se realizan rebombes a los tanques mencionados en la Tabla 3.1, todos estos tanques se encuentran inmersos en nuestra zona de estudio y se pretende que con la alternativa mencionada en este trabajo sean abastecidos de agua potable en años próximos.

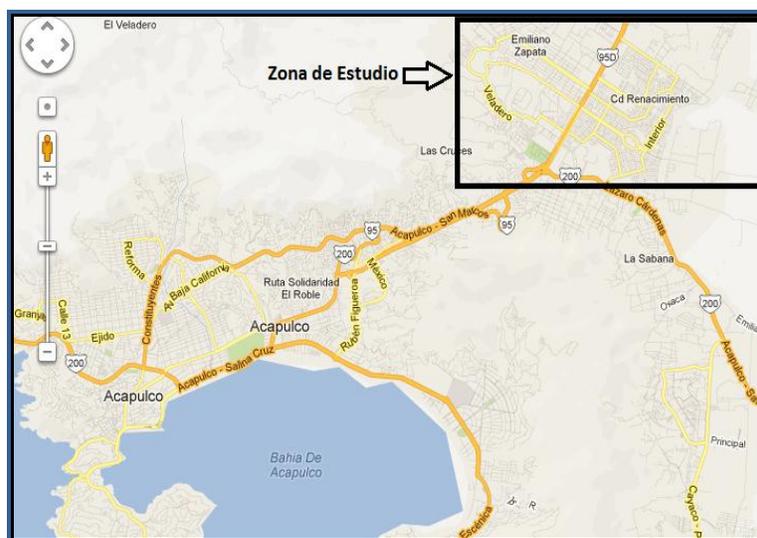


Figura 3.9 Macrolocalización de la zona de estudio

La alimentación de agua potable al tanques Zapata y Venta Zapata se da a través de una línea de conducción de 42 in de diámetro procedente de la captación Papagayo I, llegando a un Cárcamo de rebombeo denominado *Rebombero Papagayo I* en el cual están instalados 5 equipos de bombeo con una capacidad de 200 hp c/u. De este cárcamo de rebombeo sale una línea de 42 in de diámetro que descarga en el umbral del túnel bajo para alimentar a la parte baja de Acapulco es decir la zona turística. De esta línea de 42 in de diámetro existe una derivación que va hacia el tanque Zapata, la interconexión esta próxima al tanque Cruces hacia el sur del mismo, de ese punto se deriva a una línea de 24 in de diámetro y posteriormente cambia a 20 in de diámetro hasta llegar al tanque Zapata y aumenta nuevamente a 24 in de diámetro hasta descargar al tanque Venta-Zapata.

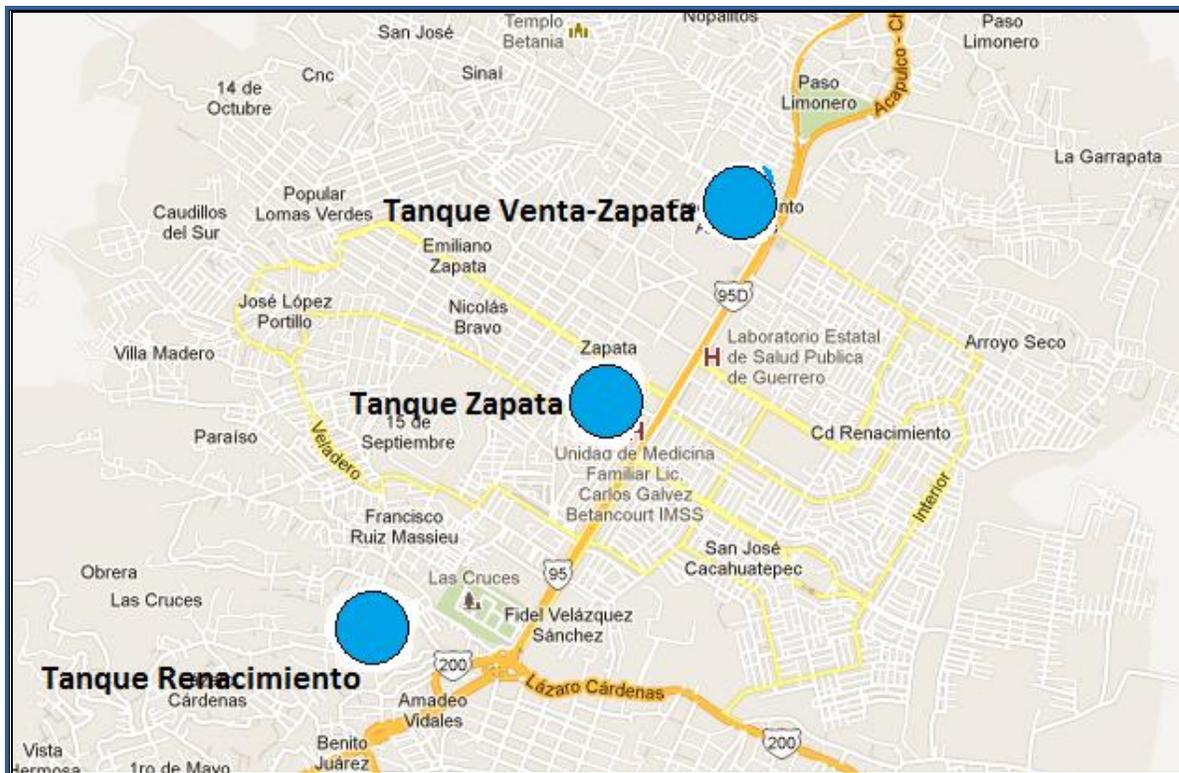


Figura 3.10 Croquis de Microlocalización y localización de tanques principales

3.3.1 Rebombeo tanque Zapata

Del Tanque Zapata cuya capacidad de almacenamiento es de 500 m³ se rebombeea hacia el tanque Zapata II con derivación en ruta hacia la red de distribución de la zona de influencia del tanque Zapata. La línea de conducción de este rebombeo es de 10 in de diámetro de PVC.

Del tanque Zapata II se rebombeea hacia el tanque Simón Bolívar con tubería de PVC de 10 in de diámetro.



Figura 3.11 Tanque Zapata

3.3.2 Rebombeos tanque Venta- Zapata

Del tanque Venta Zapata cuya capacidad es de 3000 m³ se rebombeea al tanque Elevado para abastecer la zona del INFONAVIT, dicho tanque esta junto al tanque Venta- Zapata, la conducción se hace con tubería de PVC de 4 in de diámetro.

Del tanque Venta-Zapata se rebombeea hacia el tanque Sinaí con derivaciones hacia los tanques Industrial, Izazaga y Unidos Por Guerrero. La conducción se hace con tubería de PVC de 24 in, 14 in y 16 in de diámetro y las derivaciones a los tanques Izazaga y Unidos por Guerrero se hace con tubería de PVC de 10 in de diámetro, mientras que la derivación al tanque Industrial es de tubería de Acero de 12 in de diámetro.

También del tanque Venta-Zapata se rebombeea hacia el tanque Moctezuma y al tanque Paso Limonero la línea de conducción es de 8in de diámetro de PVC y en la derivación al tanque Moctezuma es con PVC de 6 in de diámetro.

Del tanque Paso Limonero se rebombeea al tanque la Venta ubicado al oriente del tanque Paso Limonero con tubería de PVC de 4 in, 6 in y 8 in de diámetro.



Figura 3.12 Tanque Venta - Zapata



Figura 3.13 Derivaciones a los tanques que bombea el tanque Venta - Zapata

3.3.3 Rebombes tanque Renacimiento

La alimentación de agua potable al tanque Renacimiento cuya capacidad es de 4000 m³, se da a través de la captación Papagayo II con una línea de conducción de 48 in de diámetro que llega a la Planta Potabilizadora el Cayaco, de la planta sale una línea de conducción de 36 in de diámetro, posteriormente se derivan dos líneas de 24 in de diámetro cada una hasta descargar al tanque Renacimiento.



Figura 3.14 Fotografía del Tanque Renacimiento

Del tanque Renacimiento se rebombee agua hacia el umbral del túnel alto el cual da servicio a las zonas media y media alta del puerto de Acapulco, de igual manera se rebombee agua hacia los tanques Parotas I y II dichos tanques no entran en nuestra zona de estudio de la alternativa que se menciona en este trabajo, también se rebombee agua a la zona de Renacimiento a través de una línea de conducción de 20 in de diámetro que pasa por el Boulevard Vicente Guerrero hasta llegar a la red de distribución de la zona antes mencionada.

**ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN PARA EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA ZONA CONURBADA
(ZAPATA - RENACIMIENTO) EN EL MUNICIPIO DE ACAPULCO, GUERRERO**

SISTEMA DE ABASTECIMIENTO "PAPAGAYO I"

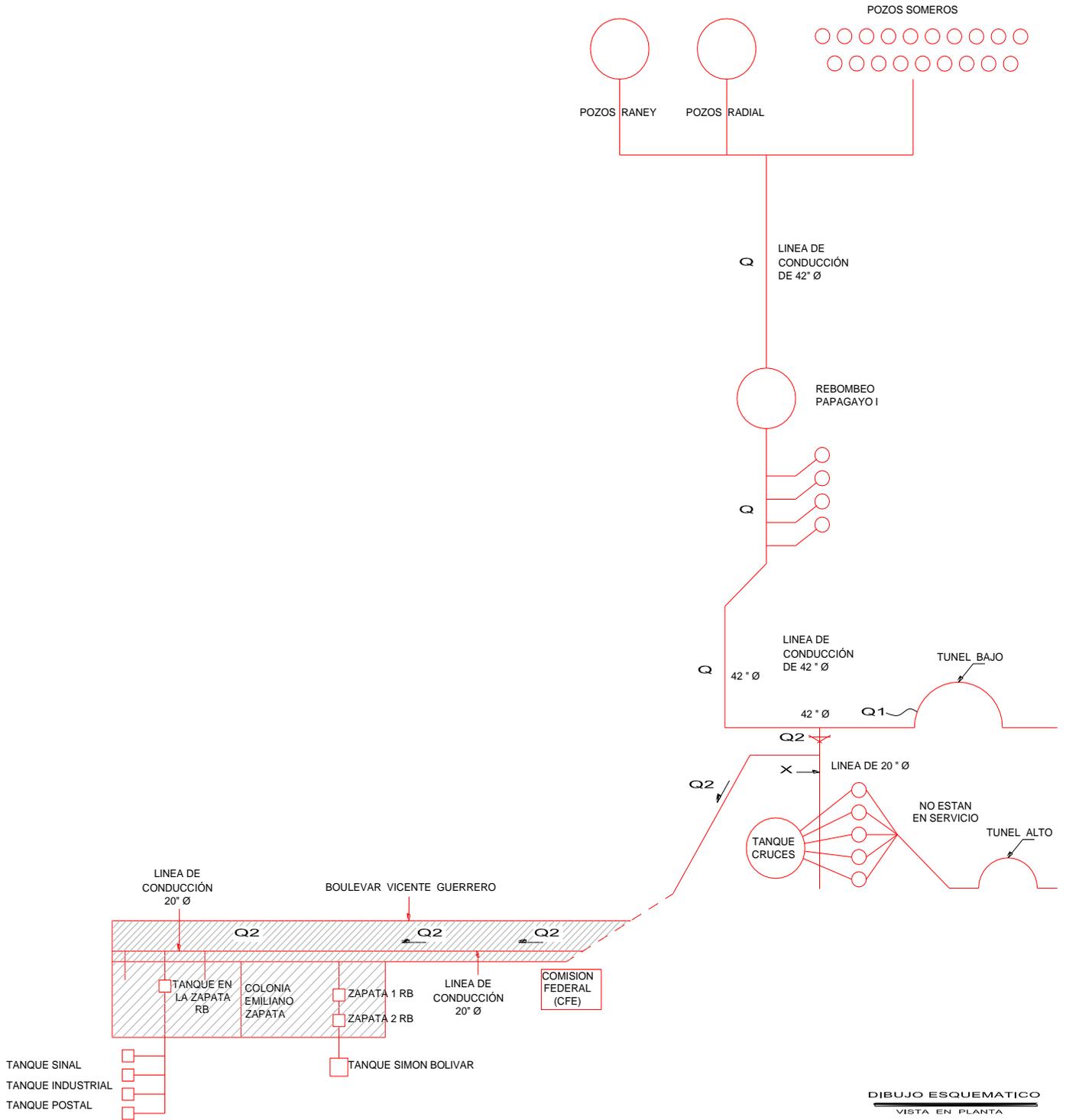


Figura 3.15 Diagrama del recorrido del agua desde la fuente de captación hasta la zona de la Zapata

SISTEMA DE ABASTECIMIENTO "PAPAGAYO II"

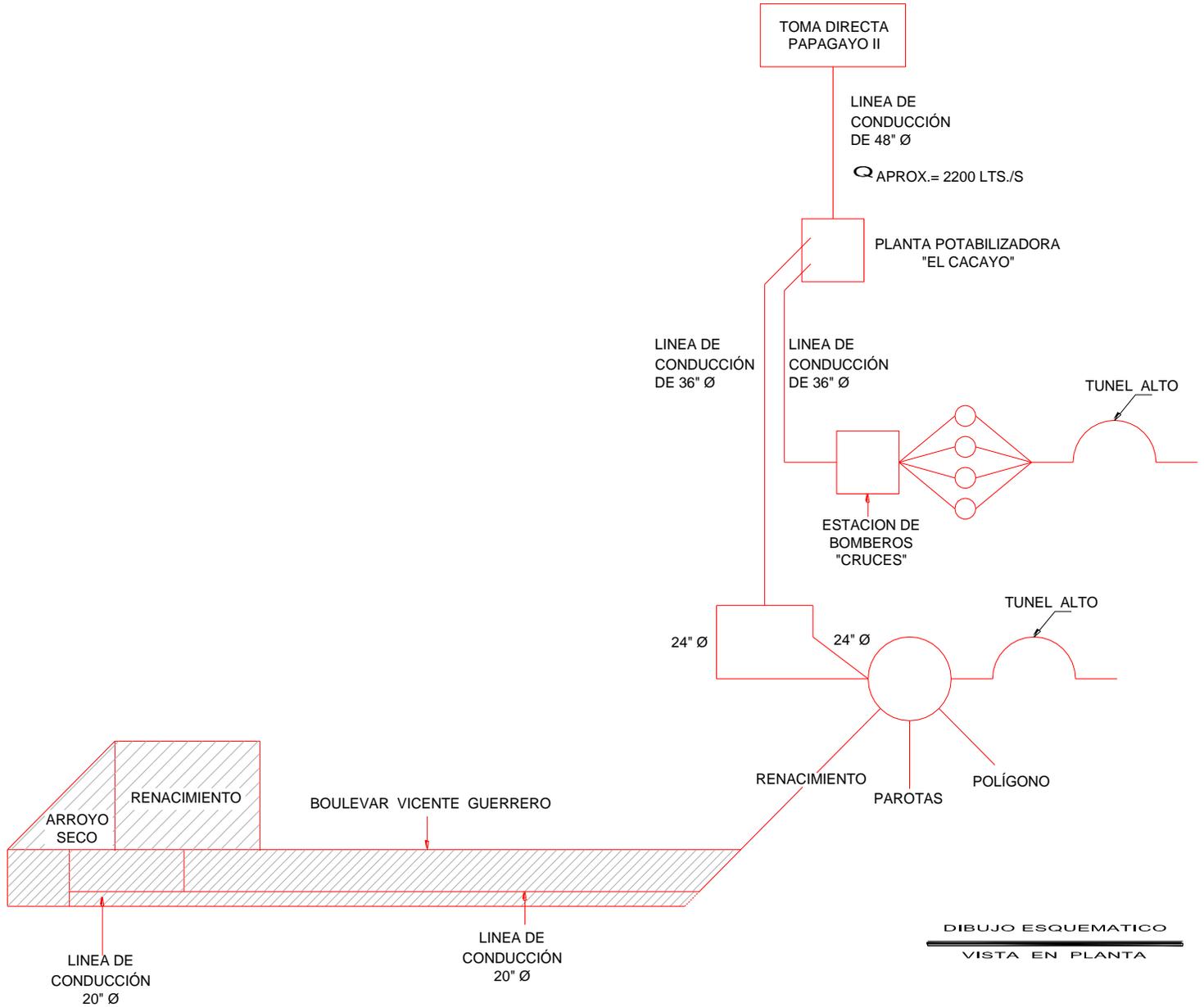


Figura 3.16 Diagrama del recorrido del agua desde la fuente de captación hasta la zona de Renacimiento y Arroyo Seco

Capítulo 4 Desarrollo de la alternativa de solución propuesta

4.1 Propuesta del proyecto

Las fuentes de abastecimiento de aguas subterráneas, suelen ser más estables y seguras a lo largo del año por lo tanto son más efectivas para garantizar el servicio de agua a la población, siempre y cuando se respete su capacidad y no se sobreexploten los mantos acuíferos.

En todas las zonas que presentan alto un crecimiento de la población es de suma importancia identificar fuentes de abastecimiento que garanticen en los próximos años el suministro de agua a la población y tener otras alternativas para suplir a una demanda creciente.

La alternativa que se propone en este trabajo para resolver el problema del tandeo en esta zona es la perforación de 9 pozos someros en el margen del río de la Sabana. Este acuífero se considera que tiene una recarga horizontal estimada en $E_h = 14 \text{ Mm}^3/\text{año}$ (443.9 l/s) y una disponibilidad de aguas subterráneas de $62.10 \text{ Mm}^3/\text{año}$ (CONAGUA).



Figura 4.1 Rio de la Sabana

En cuanto a la calidad del agua, derivado de los muestreos que se realizaron en la zona de captación de los pozos se encontró la existencia de bicarbonatos (HCO_3), cloro (Cl), nitritos (NO_2), nitratos ($\text{NO}_3\text{-N}$), sulfatos (SO_4), SiO_2 (silicatos) Si, Na (sodio), calcio (Ca), Potasio (K), Magnesio (Mg), Hierro (Fe) y Mn (Manganeso), por ser considerados como los componentes principales de las aguas naturales de la zona, así como contaminación por coliformes, debido a la presencia de las aguas del río La Sabana que transporta altas concentraciones de contaminantes por agua residual no tratada.

Para cumplir con la norma NOM-SSA1-127-1994 *Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización* se propone la dosificación de hipoclorito de sodio en el cárcamo de bombeo que se plantea en la alternativa.

Con base en pláticas con personal de la Dirección de Operación de la CAPAMA, nos comentaron que han realizado varios aflores en diferentes puntos del margen del río de la Sabana con lo cual se puede estimar que cada uno de estos pozos puede dar una aportación de 50 lps. que en total nos da una aportación de 450 lps. A partir de ese gasto se puede abatir el tandeo de agua de potable en nuestra zona de estudio.

La alternativa que se propone es la siguiente, bombear el agua extraída de los pozos (margen del río de la Sabana o acuífero de la Sabana) a un cárcamo de bombeo aproximadamente en la cota 40 msnm, esto con la finalidad de recolectar en un sitio los 450 lps. Una vez reunido el gasto, se considera bombear el agua hacia dos tanques; tanque La Mica ubicado a una elevación 135 msnm de 2000 m^3 de capacidad y el tanque Arroyo Seco ubicado a una elevación de 65 msnm con una capacidad de 1500 m^3 ver Figura 4.2.

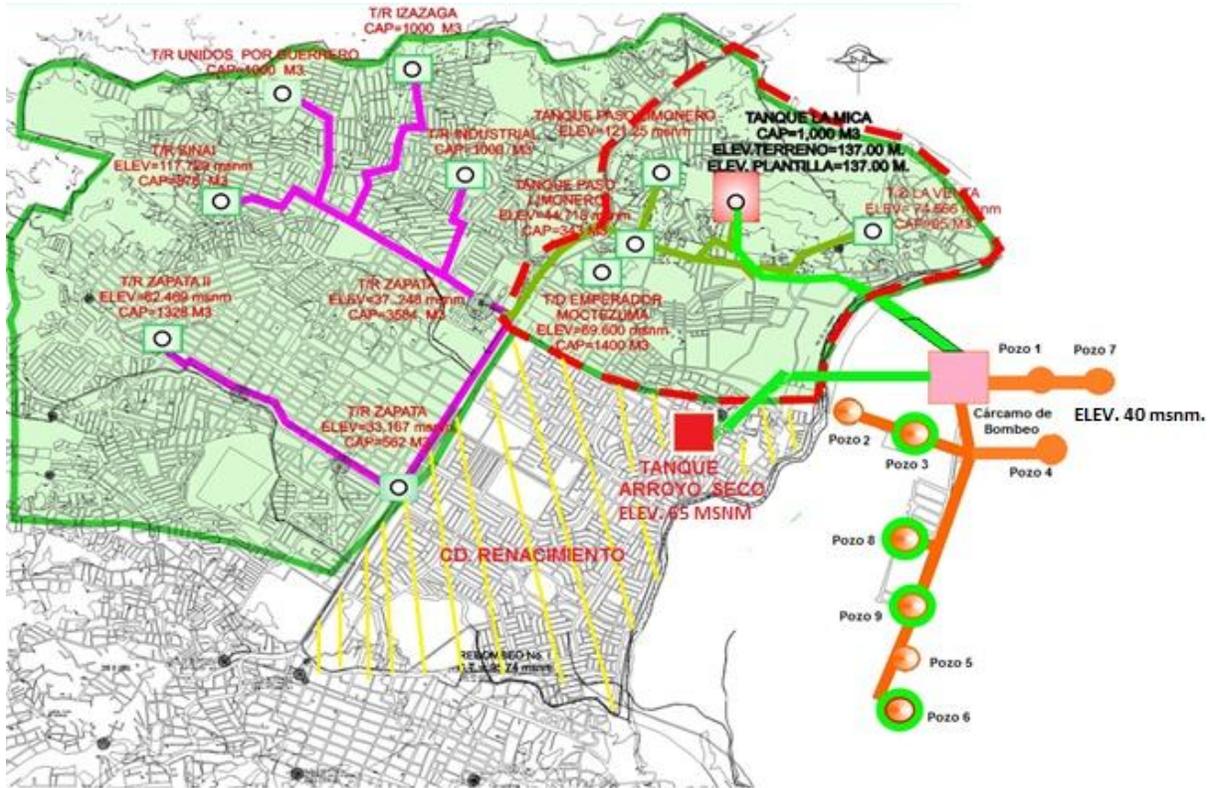


Figura 4.2 Esquema de la alternativa de solución propuesta, tanques inmersos en la zona de estudio y zonas de influencia

Posteriormente mediante el cambio de régimen de estos dos tanques se realiza la distribución de agua potable a los tanques de abastecimiento inmersos en la zona de estudio y que se pueden observar en la Figura 4.2 a través de la infraestructura hidráulica existente, de manera complementaria se propone la introducción redes de abastecimiento en las partes en donde no se cuenta con infraestructura para a través de la alternativa propuesta hacer llegar el agua.

Una de las obras a realizar en esta alternativa, es la de la línea de conducción del tanque LA MICA a tanques existentes la cual conducirá el caudal demandado en las zonas de los tanques La Venta, Paso Limonero, Moctezuma, Zapata II, Simón Bolívar, INFONAVIT, Industrial, Izazaga, Unidos por Guerrero y SINAÍ, para un gasto de para un gasto de diseño de 307.1 lps estimado en base a la población que habita en la zona de influencia de cada uno de los tanques mencionados anteriormente.

Tabla 4.1 Gasto de diseño para las líneas de conducción en la zona de influencia de cada tanque

Tanque	Gasto asignado (Ips)
Tanque la Venta	23.9
Tanque Paso Limonero	7.8
Tanque Moctezuma	12
Tanque Infonavit	7.8
Tanque Industrial	70
Tanque Izazaga	26.9
Tanque Héroes por Guerrero	26.9
Tanque Sinaí	88.6
Tanque Zapata II	8.1
Tanque Simón Bolívar	35.2
TOTAL	307.1

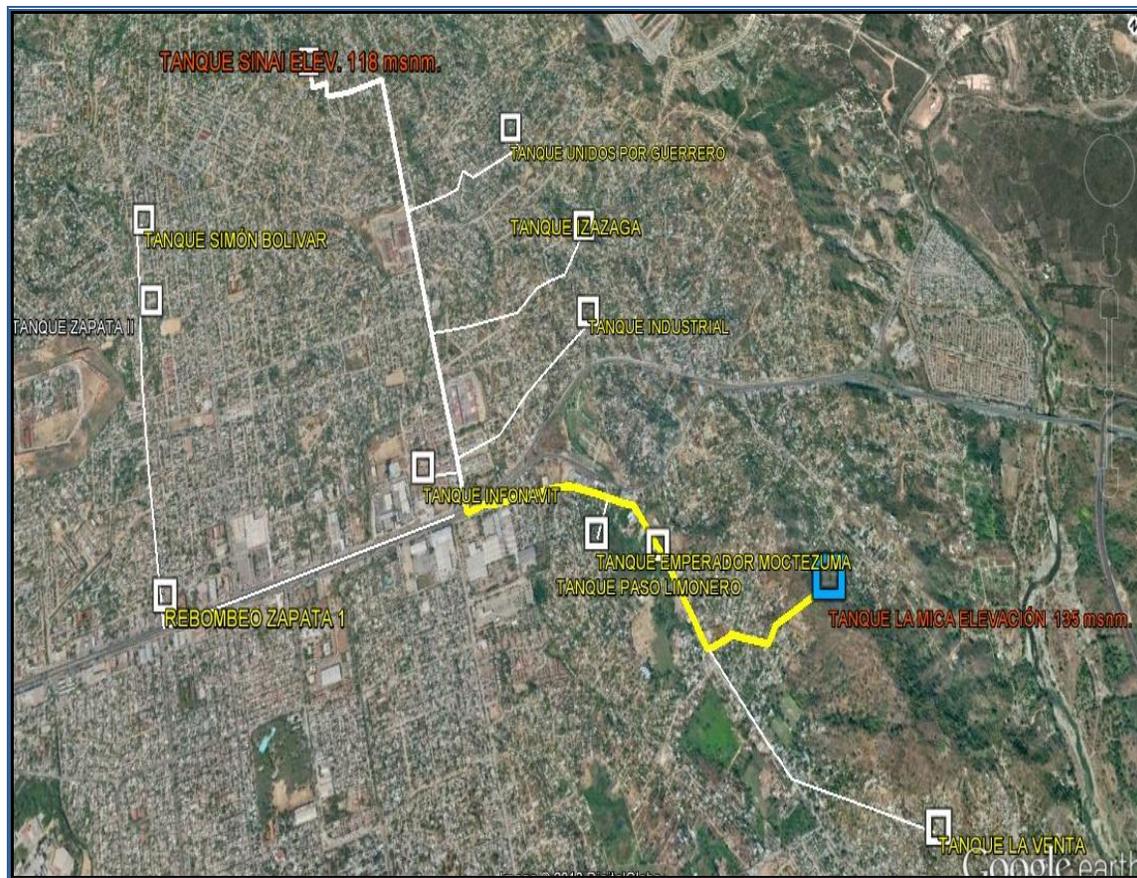


Figura 4.3 Tanques que se abastecerán del tanque La Mica

En la Figura 4.3, se puede observar el trazo de la línea de conducción que se propone del tanque la Mica al punto de conexión con la infraestructura actual, (línea de color amarillo) a través de ella se dotará de agua a los tanques existentes, el punto de conexión de esta línea llega a inmediaciones del tanque INFONAVIT para conectarse a la infraestructura actual la cual es representada con la línea de el color blanco en la misma figura, también se aprecian los tanques a los cuales abastecerá el tanque La MICA así como sus respectivas derivaciones de alimentación en cada uno de estos.

Es importante mencionar, que para poner en funcionamiento la alternativa propuesta en este trabajo, será de suma importancia que el organismo operador, la CAPAMA trabaje de manera coordinada con los gobiernos municipal y estatal y así encontrar la manera de obtener los recursos económicos suficientes para construir las obras necesarias para el correcto funcionamiento de esta alternativa. Ver Tabla 4.2

Cabe mencionar que la CONAGUA maneja programas de inversión a los cuales los organismos operadores de agua potable y alcantarillado pueden acceder siempre y cuando cumplan con las reglas de operación de dichos programas. Algunos de los programas a los cuales se puede acceder son los siguientes:

- Programa de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento en Zonas Urbanas (APASZU)
- Programa para la construcción y rehabilitación de sistemas de agua potable y saneamiento en zonas rurales
- Programa de agua limpia
- Programa de tratamiento de aguas residuales

A continuación se presenta una lista de las principales obras a realizar con un costo aproximado, para la alternativa de solución que se propone en este trabajo. Ver Tabla 4.2

**ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN PARA EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA ZONA CONURBADA
(ZAPATA - RENACIMIENTO) EN EL MUNICIPIO DE ACAPULCO, GUERRERO**

Tabla 4.2 Resumen de obras a realizar con costos aproximados para a alternativa de solución propuesta

No. DE OBRA	OBRA A REALIZAR	IMPORTE APROXIMADO \$
1	Perforación de 9 Pozos	3,400,000.00
2	Equipamiento mecánico y eléctrico en los 9 pozos	6,800,000.00
3	Línea de interconexión de pozos en zona de captación	7,000,000.00
4	Construcción y equipamiento mecánico y eléctrico de planta de bombeo de 450 lps	14,000,000.00
5	Línea de energía eléctrica (incluye la línea de energía para los pozos)	1,500,000.00
6	Línea de conducción de planta de bombeo a tanque La Mica	9,000,000.00
7	Línea de conducción de planta de bombeo a tanque Arroyo Seco	8,500,000.00
8	Línea de conducción de tanque La MICA a tanques existentes	10,000,000.00
9	Interconexiones	1,000,000.00
10	Tanque superficial concreto de 1,500 m ³	3,500,000.00
11	Tanque superficial concreto de 2,000 m ³	7,800,000.00
12	Cruces especiales	1,800,000.00
13	Ampliación de redes en colonias que no cuentan con infraestructura de agua potable	3,000,000.00
	Subtotal	77,300,000.00
	Imprevistos (10%)	7,730,000.00
	Total	85,030,000.00

4.2 Factibilidad del proyecto

La factibilidad de un proyecto es el análisis comprensivo para recopilar los datos relevantes sobre el desarrollo de un proyecto y con base en ello tomar la mejor decisión y determinar si procede su estudio, desarrollo o implementación.

Para éste caso se presentará la factibilidad técnica del proyecto, para esto se realiza un análisis hidráulico tomando en cuenta el perfil topográfico del terreno entre los dos punto a analizar, las pérdidas de energía por fricción y locales de la línea de conducción de ambos puntos y mediante el trazo de la línea de cargas piezométricas del tanque LA MICA que se propone en esta alternativa de solución y cuyo terreno propuesto para su construcción se encuentra a una elevación de 135 msnm al tanque, SINAI el cual se encuentra inmerso en nuestra zona de estudio, con una elevación de 118 msnm.

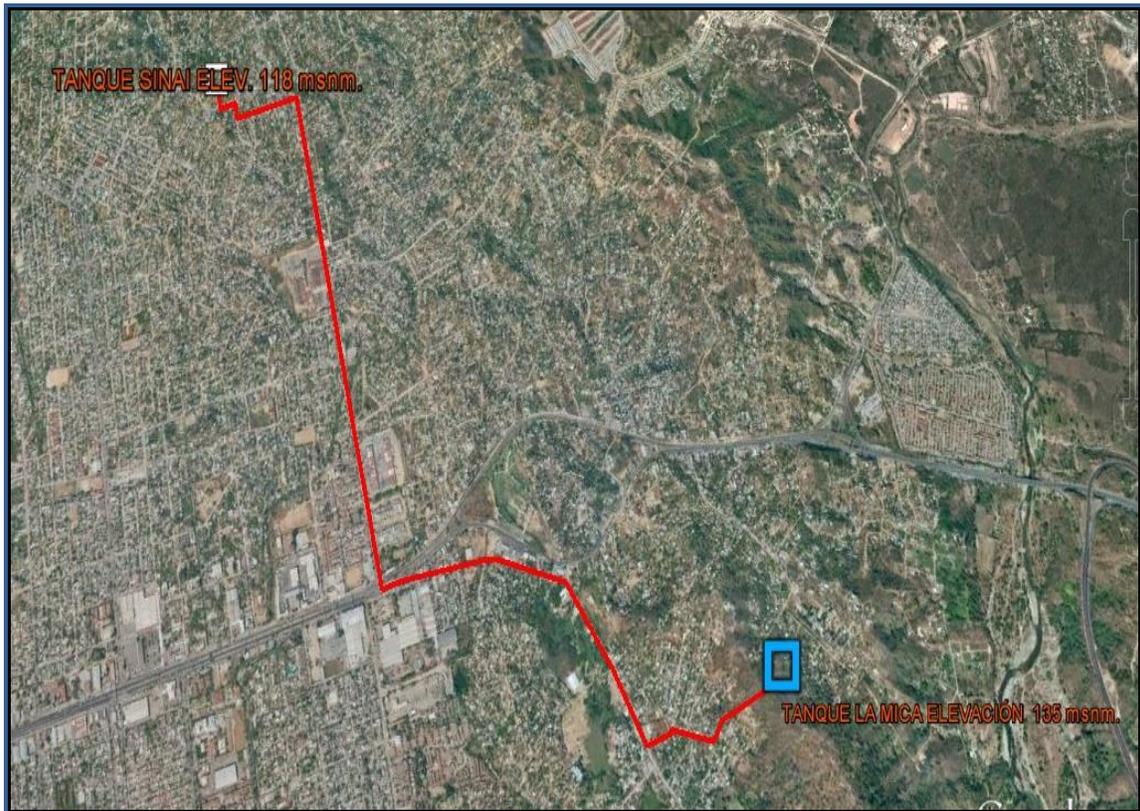


Figura 4.4 Trazo de La línea de conducción a analizar la para la factibilidad técnica del proyecto

Cabe mencionar que el tanque SINAI, es el tanque que presenta mayor elevación y se encuentra a una distancia mayor del Tanque la MICA con respecto a los demás tanques, que se localizan dentro la zona de estudio, como se puede apreciar en la Figura 4.3, por lo tanto si se demuestra llegar con la carga de presión suficiente al Tanque SINAI, se asumirá que existe la factibilidad técnica para las otros tanques por la situación mencionada anteriormente.

Para nuestro análisis entre estos dos puntos es importante considerar que durante el trayecto de la línea de conducción ésta tiene derivaciones en ruta hacia los tanques que alimenta, así que es importante ir descontando el gasto que se conduce hacia los demás tanques que se aprecian en la Figura 4.3, así como tomar en cuenta el gasto requerido para cada tanque. Ver Tabla 4.1

Para que este análisis sea posible es importante tomar en cuenta el diseño de la nueva línea de conducción a la que anteriormente denominamos *Línea de conducción tanque La MICA a tanques existentes*, la cual podemos apreciar en la Figura 4.3 Iluminada de color amarillo. Este análisis se realizó de manera práctica mediante el cálculo del diámetro por alcances de este trabajo de tesis no se anexa dicho análisis, pero se muestra una tabla resumen indicando el diseño en cada cadenamamiento, tomando de inicio la salida de tanque La MICA, además se puede observar en cada uno de los cadenamamientos, diámetros, pérdidas y gastos a lo largo de la línea de conducción, ver Tabla 4.3, la cual nos será de gran utilidad para el trazo de perfil topográfico y el trazo de la línea de cargas piezométricas.

Para el análisis se considera a la línea de conducción de hierro dúctil con un coeficiente de fricción de 0.010, para fines del cálculo de las pérdidas por fricción, para el cálculo de las pérdidas locales se le asignará un valor del 5 por ciento de las pérdidas por fricción calculadas las cuáles serán obtenidas utilizando la ecuación de Darcy–Weisbach.

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

donde:

- h_f pérdida de energía por fricción, en m
- f coeficiente de fricción, adimensional
- L longitud de la tubería, en m
- D diámetro interno del tubo, en m
- V velocidad media, en m/s
- g aceleración de la gravedad, en m/s^2

Tabla 4.3 Datos de la línea de conducción del tanque La MICA al tanque SINAÍ en los diferentes cadenamientos

	Cadenamiento	Elevación del Terreno (msn)	Gasto a conducir (lps)	Diámetro de la línea de conducción (pulg)	Pérdidas Totales (m)	Carga Piezométrica (m)
Salida del Tanque la MICA	0+000	135	307.1	24	0	135
	0+020	134	307.1	24	0.0284264	134.9715736
	0+040	132	307.1	24	0.0568528	134.9431472
	0+060	130	307.1	24	0.0852792	134.9147208
	0+080	128	307.1	24	0.1137056	134.8862944
	0+100	120	307.1	24	0.142132	134.857868
	0+120	112	307.1	24	0.1705584	134.8294416
	0+140	108	307.1	24	0.1989848	134.8010152
	0+160	101	307.1	24	0.2274112	134.7725888
	0+180	94	307.1	24	0.2558376	134.7441624
	0+200	88	307.1	24	0.284264	134.715736
	0+220	82	307.1	24	0.3126904	134.6873096
	0+240	76	307.1	24	0.3411168	134.6588832
	0+260	72	307.1	24	0.3695431	134.6304569
	0+280	68	307.1	24	0.3979695	134.6020305
	0+300	62	307.1	24	0.4263959	134.5736041
	0+320	58	307.1	24	0.4548223	134.5451777
	0+340	56	307.1	24	0.4832487	134.5167513
	0+360	55	307.1	24	0.5116751	134.4883249
	0+380	52	307.1	24	0.5401015	134.4598985
	0+400	51	307.1	24	0.5685279	134.4314721
	0+420	50	307.1	24	0.5969543	134.4030457
	0+440	48	307.1	24	0.6253807	134.3746193
	0+460	48	307.1	24	0.6538071	134.3461929
	0+480	47	307.1	24	0.6822335	134.3177665
	0+500	46	307.1	24	0.7106599	134.2893401
	0+520	44	307.1	24	0.7390863	134.2609137
	0+540	42	307.1	24	0.7675127	134.2324873
	0+560	40	307.1	24	0.7959391	134.2040609
	0+580	39	307.1	24	0.8243655	134.1756345
Derivación a Tanque La Venta	0+591	39	307.1	24	0.84	134.16

**ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN PARA EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA ZONA CONURBADA
(ZAPATA - RENACIMIENTO) EN EL MUNICIPIO DE ACAPULCO, GUERRERO**

Tabla 4.3 Datos de la línea de conducción del tanque La MICA al tanque SINAÍ en los diferentes cadenamientos

	Cadenamiento	Elevación del Terreno (msn)	Gasto a conducir (lps)	Diámetro de la línea de conducción (pulg)	Pérdidas Totales (m)	Carga Piezométrica (m)
	0+600	39	283.2	24	0.8643902	134.1356098
	0+620	39	283.2	24	0.8887805	134.1112195
	0+640	39	283.2	24	0.9131707	134.0868293
	0+660	39	283.2	24	0.937561	134.062439
	0+680	40	283.2	24	0.9619512	134.0380488
	0+700	41	283.2	24	0.9863415	134.0136585
	0+720	41	283.2	24	1.0107317	133.9892683
	0+740	42	283.2	24	1.035122	133.964878
	0+760	43	283.2	24	1.0595122	133.9404878
	0+780	44	283.2	24	1.0839024	133.9160976
	0+800	44	283.2	24	1.1082927	133.8917073
	0+820	45	283.2	24	1.1326829	133.8673171
	0+840	44	283.2	24	1.1570732	133.8429268
	0+860	44	283.2	24	1.1814634	133.8185366
	0+880	43	283.2	24	1.2058537	133.7941463
	0+900	43	283.2	24	1.2302439	133.7697561
	0+920	42	283.2	24	1.2546341	133.7453659
	0+940	42	283.2	24	1.2790244	133.7209756
Derivación a Tanque Paso Limonero	0+960	41	283.2	24	1.30	133.70
	0+980	42	275.4	24	1.3265	133.67
	0+1000	42	275.4	24	1.3497	133.65
	0+1020	42	275.4	24	1.3728	133.63
	0+1040	42	275.4	24	1.3959	133.60
	0+1060	42	275.4	24	1.4190	133.58
	0+1080	43	275.4	24	1.4422	133.56
	0+1100	43	275.4	24	1.4653	133.53
	0+1120	43	275.4	24	1.4884	133.51
	0+1140	44	275.4	24	1.5115	133.49
	0+1160	45	275.4	24	1.5347	133.47
	0+1180	45	275.4	24	1.5578	133.44
	0+1200	45	275.4	24	1.5809	133.42
	0+1220	45	275.4	24	1.6040	133.40
	0+1240	45	275.4	24	1.6272	133.37
	0+1260	45	275.4	24	1.6503	133.35
Derivación Tanque Moctezuma	0+1280	45	275.4	24	1.6734	133.33
	0+1300	45	263.4	20	1.7289	133.27
	0+1320	45	263.4	20	1.7845	133.22
	0+1340	45	263.4	20	1.8400	133.16
	0+1360	46	263.4	20	1.8955	133.10
	0+1380	46	263.4	20	1.9510	133.05
	0+1400	46	263.4	20	2.0065	132.99
	0+1420	47	263.4	20	2.0621	132.94
	0+1440	48	263.4	20	2.1176	132.88
	0+1460	48	263.4	20	2.1731	132.83
	0+1480	48	263.4	20	2.2286	132.77
	0+1500	48	263.4	20	2.2842	132.72
	0+1520	47	263.4	20	2.3397	132.66
	0+1540	47	263.4	20	2.3952	132.60
	0+1560	46	263.4	20	2.4507	132.55

**ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN PARA EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA ZONA CONURBADA
(ZAPATA - RENACIMIENTO) EN EL MUNICIPIO DE ACAPULCO, GUERRERO**

Tabla 4.3 Datos de la línea de conducción del tanque La MICA al tanque SINAÍ en los diferentes cadenamientos

	Cadenamiento	Elevación del Terreno (msn)	Gasto a conducir (lps)	Diámetro de la línea de conducción (pulg)	Pérdidas Totales (m)	Carga Piezométrica (m)
	0+1560	46	263.4	20	2.4507	132.55
	0+1580	46	263.4	20	2.5063	132.49
	0+1600	45	263.4	20	2.5618	132.44
	0+1620	45	263.4	20	2.6173	132.38
	0+1640	44	263.4	20	2.6728	132.33
	0+1660	44	263.4	20	2.7283	132.27
	0+1680	44	263.4	20	2.7839	132.22
	0+1700	44	263.4	20	2.8394	132.16
	0+1720	44	263.4	20	2.8949	132.11
	0+1740	44	263.4	20	2.9504	132.05
	0+1760	44	263.4	20	3.0060	131.99
	0+1780	44	263.4	20	3.0615	131.94
	0+1800	43	263.4	20	3.1170	131.88
	0+1820	42	263.4	20	3.1725	131.83
	0+1840	42	263.4	20	3.2280	131.77
	0+1860	41	263.4	20	3.2836	131.72
	0+1880	41	263.4	20	3.3391	131.66
	0+1900	41	263.4	20	3.3946	131.61
	0+1920	40	263.4	20	3.4501	131.55
	0+1940	40	263.4	20	3.5057	131.49
Conexión a Red Existente, Derivación a Tanques Simon Bolivar, Zapata II	0+1950	40	263.4	20	3.5334	131.47
	0+1960	40	220.1	20	3.5719	131.43
	0+1980	40	220.1	20	3.6103	131.39
	0+2000	41	220.1	20	3.6488	131.35
	0+2020	41	220.1	20	3.6873	131.31
	0+2040	41	220.1	20	3.7257	131.27
	0+2060	41	220.1	20	3.7642	131.24
Derivación a Tanque INFONAVIT	0+2080	41	220.1	20	3.8026	131.20
	0+2100	41	212.3	20	3.8393	131.16
	0+2120	41	212.3	20	3.8760	131.12
Derivación a Tanque Industrial	0+2140	40	212.3	14	3.9126	131.09
	0+2160	41	142.3	14	4.0214	130.9786
	0+2180	41	142.3	14	4.1301	130.8699
	0+2200	42	142.3	14	4.2389	130.7611
	0+2220	42	142.3	14	4.3476	130.6524
	0+2240	42	142.3	14	4.4564	130.5436
	0+2260	42	142.3	14	4.5651	130.4349
	0+2280	43	142.3	14	4.6739	130.3261
	0+2300	43	142.3	14	4.7826	130.2174
	0+2320	43	142.3	14	4.8914	130.1086
	0+2340	43	142.3	14	5.0001	129.9999
	0+2360	43	142.3	14	5.1089	129.8911
	0+2380	44	142.3	14	5.2176	129.7824
	0+2400	44	142.3	14	5.3264	129.6736
	0+2420	44	142.3	14	5.4351	129.5649
	0+2440	45	142.3	14	5.5439	129.4561
	0+2460	45	142.3	14	5.6526	129.3474
	0+2480	46	142.3	14	5.7614	129.2386
	0+2500	46	142.3	14	5.8701	129.1299

**ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN PARA EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA ZONA CONURBADA
(ZAPATA - RENACIMIENTO) EN EL MUNICIPIO DE ACAPULCO, GUERRERO**

Tabla 4.3 Datos de la línea de conducción del tanque La MICA al tanque SINAÍ en los diferentes cadenamientos

	Cadenamiento	Elevación del Terreno (msn)	Gasto a conducir (lps)	Diámetro de la línea de conducción (pulg)	Pérdidas Totales (m)	Carga Piezométrica (m)
	0+2520	46	142.3	14	5.9789	129.0211
	0+2540	47	142.3	14	6.0876	128.9124
	0+2560	47	142.3	14	6.1964	128.8036
	0+2580	47	142.3	14	6.3051	128.6949
	0+2600	48	142.3	14	6.4139	128.5861
Derivación a Tanque Izazaga	0+2620	48	142.3	14	6.5226	128.4774
	0+2640	49	115.4	14	6.5938	128.4062
	0+2660	50	115.4	14	6.6650	128.3350
	0+2680	51	115.4	14	6.7361	128.2639
	0+2700	51	115.4	14	6.8073	128.1927
	0+2720	52	115.4	14	6.8784	128.1216
	0+2740	52	115.4	14	6.9496	128.0504
	0+2760	53	115.4	14	7.0207	127.9793
	0+2780	54	115.4	14	7.0919	127.9081
	0+2800	54	115.4	14	7.1630	127.8370
	0+2820	55	115.4	14	7.2342	127.7658
	0+2840	55	115.4	14	7.3053	127.6947
	0+2860	56	115.4	14	7.3765	127.6235
	0+2880	56	115.4	14	7.4476	127.5524
	0+2900	57	115.4	14	7.5188	127.4812
	0+2920	58	115.4	14	7.5900	127.4100
	0+2940	58	115.4	14	7.6611	127.3389
	0+2960	59	115.4	14	7.7323	127.2677
	0+2980	60	115.4	14	7.8034	127.1966
	0+3000	60	115.4	14	7.8746	127.1254
	0+3020	61	115.4	14	7.9457	127.0543
	0+3040	64	115.4	14	8.0169	126.9831
	0+3060	62	115.4	14	8.0880	126.9120
	0+3080	63	115.4	14	8.1592	126.8408
	0+3100	63	115.4	14	8.2303	126.7697
	0+3120	64	115.4	14	8.3015	126.6985
Derivación a Tanque Unidos por Guerrero	0+3140	64	115.4	14	8.3726	126.6274
	0+3160	65	88.4	12	8.4681	126.5319
	0+3180	66	88.4	12	8.5636	126.4364
	0+3200	67	88.4	12	8.6590	126.3410
	0+3220	68	88.4	12	8.7545	126.2455
	0+3240	69	88.4	12	8.8499	126.1501
	0+3260	70	88.4	12	8.9454	126.0546
	0+3280	71	88.4	12	9.0408	125.9592
	0+3300	71	88.4	12	9.1363	125.8637
	0+3320	72	88.4	12	9.2317	125.7683
	0+3340	73	88.4	12	9.3272	125.6728
	0+3360	73	88.4	12	9.4226	125.5774
	0+3380	74	88.4	12	9.5181	125.4819
	0+3400	75	88.4	12	9.6136	125.3864
	0+3420	75	88.4	12	9.7090	125.2910
	0+3440	76	88.4	12	9.8045	125.1955
	0+3460	76	88.4	12	9.8999	125.1001

**ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN PARA EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA ZONA CONURBADA
(ZAPATA - RENACIMIENTO) EN EL MUNICIPIO DE ACAPULCO, GUERRERO**

Tabla 4.3 Datos de la línea de conducción del tanque La MICA al tanque SINAÍ en los diferentes cadenamientos

	Cadenamiento	Elevación del Terreno (msn)	Gasto a conducir (lps)	Diámetro de la línea de conducción (pulg)	Pérdidas Totales (m)	Carga Piezométrica (m)
	0+3480	78	88.4	12	9.9954	125.0046
	0+3500	78	88.4	12	10.0908	124.9092
	0+3520	79	88.4	12	10.1863	124.8137
	0+3540	79	88.4	12	10.2817	124.7183
	0+3560	79	88.4	12	10.3772	124.6228
	0+3580	80	88.4	12	10.4726	124.5274
	0+3600	81	88.4	12	10.5681	124.4319
	0+3620	81	88.4	12	10.6636	124.3364
	0+3640	82	88.4	12	10.7590	124.2410
	0+3660	82	88.4	12	10.8545	124.1455
	0+3680	83	88.4	12	10.9499	124.0501
	0+3700	84	88.4	12	11.0454	123.9546
	0+3720	85	88.4	12	11.1408	123.8592
	0+3740	86	88.4	12	11.2363	123.7637
	0+3760	86	88.4	12	11.3317	123.6683
	0+3780	86	88.4	12	11.4272	123.5728
	0+3800	86	88.4	12	11.5226	123.4774
	0+3820	87	88.4	12	11.6181	123.3819
	0+3840	88	88.4	12	11.7136	123.2864
	0+3860	89	88.4	12	11.8090	123.1910
	0+3880	89	88.4	12	11.9045	123.0955
	0+3900	89	88.4	12	11.9999	123.0001
	0+3920	89	88.4	12	12.0954	122.9046
	0+3940	89	88.4	12	12.1908	122.8092
	0+3960	91	88.4	12	12.2863	122.7137
	0+3980	93	88.4	12	12.3817	122.6183
	0+4000	96	88.4	12	12.4772	122.5228
	0+4020	99	88.4	12	12.5726	122.4274
	0+4040	100	88.4	12	12.6681	122.3319
	0+4060	101	88.4	12	12.7636	122.2364
	0+4080	94	88.4	12	12.8590	122.1410
	0+4100	95	88.4	12	12.9545	122.0455
	0+4120	98	88.4	12	13.0499	121.9501
	0+4140	102	88.4	12	13.1454	121.8546
	0+4160	105	88.4	12	13.2408	121.7592
	0+4180	108	88.4	12	13.3363	121.6637
	0+4200	113	88.4	12	13.4317	121.5683
	0+4220	117	88.4	12	13.5272	121.4728
TANQUE SINAÍ	0+4240	118	88.4	12	13.6226	121.3774

Como podemos observar en la tabla anterior se llega con una carga de 3.37m mayor al nivel del tanque SINAÍ con lo cual se garantiza la factibilidad técnica del proyecto.

A continuación se dibuja el perfil topográfico del terreno, la línea de conducción y la línea de cargas piezométricas con los datos de la Tabla 4.3

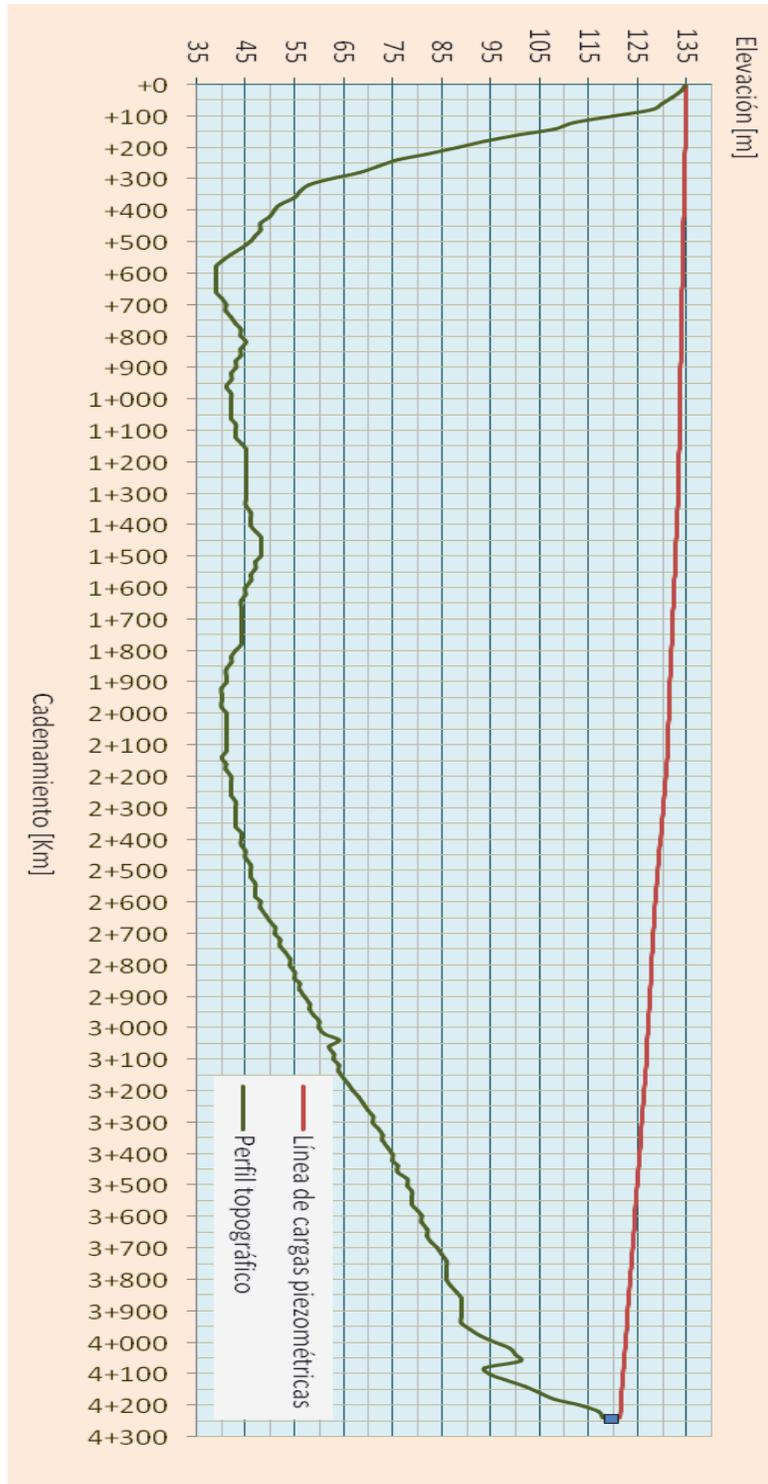


Figura 4.5 Línea de cargas piezométricas del tanque la Mica al tanque Sinaí

Por otra parte, un aspecto importante a considerar en esta alternativa de solución es la factibilidad económica del proyecto, se realizará una comparación de su costo actual al organismo operador CAPAMA para llevar el agua a la zona de estudio, tomando en cuenta el trayecto que tiene que seguir el agua desde la zona de captación río Papagayo hasta los tanques mencionados anteriormente, comparando un costo aproximado de agua por m³ que resultaría de la alternativa propuesta en este trabajo.

A continuación de datos obtenidos de la CAPAMA se muestran los costos en cada una de las estaciones por las que se conduce el agua para hacerla llegar actualmente a la zona de estudio.

Tabla 4.4 Costo de producción por m³ en la captación Papagayo I, fuente CAPAMA

Costo Anual de Producción Papagayo I (\$)	
Producción anual m³	31,536,000
Energía eléctrica	13,217,076.00
Mantenimiento.	1,600,000.00
Hipoclorito de sodio	1,843,720.85
Personal	1,512,000.00
Mantenimiento a colectores	500,000.00
Costo Anual	18,672,796.85
Costo Total por m³	0.59

Tabla 4.5 Costo de producción por m³ en el rebombero Papagayo I, fuente CAPAMA

Rebombero Papagayo I (\$)	
Energía eléctrica	927,393.00
Gasto en lps	682.00
Gasto m³/día	58,925.00
Gasto m³/mes	1,767,744.00
Costo por m³	1.91

Tabla 4.6 Costo de Producción por m³ en el Rebombero en el taque Venta Zapata fuente, CAPAMA

Tanque Rebombero Venta Zapata	
Energía eléctrica	203,589.00
Gasto en lps	150.00
Gasto m³/día	12,960.00
Gasto m³/Mes	388,800.00
Costo por m³	1.91

Haciendo una suma de los costos de cada una de las estaciones de bombeo obtenemos un costo Total de \$ 4.41 por m³ de agua que el organismo operador invierte para llevar el agua a la zona de estudio.

Ahora calcularemos un costo aproximado por m³ de agua que sería llevado a la zona de estudio con la alternativa propuesta en este trabajo, recordando que en la actualidad el agua llega por bombeo y tiene que recorrer una distancia aproximada de 50 kilómetros, mientras que con la alternativa propuesta solo serían 800 metros de la línea de conducción por bombeo iniciando en el cárcamo donde se recolectaría al gasto proveniente de los 9 pozos y finalizando en el tanque cambio de régimen la MICA, condición que se explicó anteriormente.

Tabla 4.7 Costo de producción por m³ aproximado en la captación de la alternativa

Aportación del conjunto de los 9 pozos propuestos en esta alternativa Costo Anual	
Producción anual (m³)	\$14,191,200.00
Costo de energía eléctrica	\$5,947,684.00
Hipoclorito de sodio	\$829,674.38
Costo anual	\$6,777,358.38
Costo por (m³)	\$0.48

Tabla 4.8 Costo de producción por m³ en el rebombeo de la alternativa

Cárcamo de Bombeo- Tanque LA MICA (mensual)	
Energía eléctrica	\$297,239.94
Gasto en lps	219
Gasto en m³ por día	18,921.60
Gasto en m³ por mes	567,648.00
Costo por (m³)	\$1.91

Realizando una suma de las dos estaciones por las que tiene que pasar el agua, nos arroja como resultado un costo aproximado de \$ 2.39 por m³ de agua, haciendo la comparación de la alternativa propuesta en este trabajo y la situación actual, el costo disminuye en un 52 por ciento con respecto a la cantidad que el organismo operador CAPAMA gasta actualmente por hacer llegar el vital líquido a la población de esta zona.

Capítulo 5 Conclusiones

Una de las prioridades de los diferentes niveles de gobierno es sin duda alguna ofrecer a todos los ciudadanos servicios públicos de calidad, ya que estos son fundamentales para el desarrollo económico y social que tiene que tener una sociedad.

El ser originario de la ciudad de Acapulco, Guerrero, me ha permitido conocer las necesidades que tienen los habitantes de las distintas colonias del municipio, la problemática a la que se enfrentan las colonias populares, las carencias de servicios públicos con las que viven día a día habitantes de las zonas conurbadas.

El agua juega un papel esencial para la supervivencia de todos los seres vivos que habitamos en este planeta, sin ella no existiríamos y hoy en día el suministro de agua potable en la ciudad de Acapulco es uno de sus problemas principales con los que miles de ciudadanos se enfrentan ya que reciben un servicio de agua potable tandeado y muchas veces inconstante.

Razones hay muchas, la elaboración de este trabajo me ha permitido conocer un poco más a fondo la operación, virtudes y desde luego la problemática que tiene el organismo operador de los servicios de agua potable y alcantarillado CAPAMA para dotar de un servicio de calidad a la población, las principales son las siguientes:

- El crecimiento desordenado y no planeado que ha tenido la ciudad, hoy en día no se ha puesto en marcha un plan de Desarrollo Urbano en la ciudad de Acapulco Guerrero, en la actualidad hay colonias que se encuentran localizadas en cotas muy altas, arriba de los 300 msnm. esta razón hace que sea muy difícil hacer llegar el vital líquido con la suficiente presión a la población que se encuentra en este caso.

- La no cultura del ahorro de agua, ya que la mayoría de la población que cuenta con un servicio tandeado, no cuenta con cisternas que tengan la capacidad suficiente para almacenar el vital líquido hasta el día programado en que nuevamente se les suministra agua.
- Las maniobras de desazolvamiento que origina la presa la Venta la cual se encuentra ubicada aguas arriba de las captaciones.
- Las infraestructura antigua con la que cuenta el sistema hidráulico de Acapulco, provocando pérdidas en fugas de alrededor del 30 por ciento de la aportación total.
- El no haber construido nuevas fuentes de captación para la ciudad desde hace 40 años, pese al crecimiento de la población, la cual desde mi punto de vista es la razón principal por la que hoy en día se tenga un problema serio de desabasto de agua potable que se agrava en temporadas de lluvia (Mayo-Noviembre) debido al gran incremento de la turbiedad que se presenta en el río Papagayo esta razón no permite operar a los equipos de bombeo.

La alternativa de solución para la zona conurbada de la Zapata- Renacimiento presentada en este trabajo, tiene la finalidad de eliminar los problemas de abastecimiento en la misma, dotar a la población de la zona de estudio de un servicio continuo de agua potable, y desde esta perspectiva ayudar a disminuir los índices de marginación y pobreza que existen en la zona, por otra parte hay que recordar que actualmente a esta zona se le asigna una dotación 150 lps, por tal motivo de implementarse la alternativa este gasto sería canalizado a otros sitios de la ciudad, mejorando de manera integral el servicio de agua potable.

El objetivo del trabajo se cumplió debido a que en el desarrollo del trabajo se puede observar como con esta alternativa de solución se elimina en el tandeo del servicio de agua potable en la zona de estudio.

Esta alternativa la considero viable desde el punto de vista técnico y económico como se puede comprobar en los dos análisis realizados en el capítulo anterior y para poder llevarla a cabo se requiere de la coordinación y voluntad de los diferentes niveles de gobierno, sería de suma importancia coadyuvar a lo que actualmente se está construyendo para mejorar el abastecimiento en el puerto de Acapulco que es el acueducto Lomas de Chapultepec el cual aportará 1300 lps.

Bibliografía

- Ayuntamiento de Acapulco de Juárez. *Catastro Municipal de la Ciudad de Acapulco Guerrero*, 2010.
- César Valdez, Enrique, *Abastecimiento de Agua Potable*, Universidad Nacional Autónoma de México, 1990.
- Ciencia del Agua, *Fuentes de Abastecimiento y Obras de Captación*, <http://cienciadelagua.files.wordpress.com/2012/04/iii-fuentes-de-abastecimiento-y-obras-de-captacion.pdf>, abril, 2012.
- Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Acapulco CAPAMA, *Diagnóstico de Fuentes de Abastecimiento Actuales y futuras fuentes de abastecimiento para la ciudad de Acapulco Guerrero*, 2010.
- Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Acapulco, CAPAMA. *Catastro de redes de agua potable en el Municipio de Acapulco*, 2008.
- Comisión Nacional del Agua CONAGUA, *Diseño y selección de tuberías para líneas de conducción de agua potable*, Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, 2007.
- Comisión Nacional del Agua CONAGUA, *Diseño y construcción, operación y mantenimiento de pozos*, Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, 2007.

- Comisión Nacional del Agua CONAGUA, *Norma Oficial Mexicana que establece el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales*, Ley de aguas Nacionales y su Reglamento a Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000.
- Consejo Nacional de Población CONAPO. *Recomendaciones y consideraciones a tomar para las proyecciones de demanda*, 2010.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua IMTA, *Diagnóstico a la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Acapulco CAPAMA*, 2008.
- Instituto Nacional de Geografía y Estadística INEGI. *Censos de Población y Vivienda*, 2010, 2000, 1990, 1980, 1970, 1960, 1950.
- Instituto Nacional de Geografía y Estadística INEGI. *Conteo de Población y Vivienda*, 2005.
- Secretaria de Salud SSA, *Agua para uso y consumo humano*, Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización, Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud Ambiental, modificación 2000.
- Sotelo Ávila, Gilberto, *Hidráulica General*, Limusa, México, 2005.