



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO HIDRÁULICO DEL SISTEMA DE RIEGO PARA EL POBLADO
DE SANTIAGO MITEPEC, MUNICIPIO DE JOLALPAN EN EL EDO. DE
PUEBLA.**

T E S I S

Que para obtener el grado de
INGENIERO CIVIL

P r e s e n t a
Angélica García González

D i r e c t o r
M. en I. Alexis López Montes

Ciudad Universitaria, México, noviembre de 2014.





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
COMITÉ DE TITULACIÓN
FING/DICyG/SEAC/UTIT/122/2013

Señorita
ANGÉLICA GARCÍA GONZÁLEZ
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. ALEXIS LÓPEZ MONTES que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted conforme a la opción I. "Titulación mediante tesis o tesina y examen profesional", para obtener su título en INGENIERIA CIVIL

**"DISEÑO HIDRÁULICO DEL SISTEMA DE RIEGO PARA EL POBLADO DE SANTIAGO MITEPEC,
MUNICIPIO DE JOLALPAN EN EL EDO. DE PUEBLA"**

INTRODUCCIÓN
I. ANTECEDENTES
II. ESTUDIOS
III. DISEÑO HIDRÁULICO
IV. RIEGO POR GOTEO
V. EVALUACIÓN Y PROPUESTA ECONÓMICA
VI. 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 HABLARA EL ESPÍRITU"

Cd. Universitaria a 21 de Agosto de 2014

EL PRESIDENTE DEL COMITÉ

M. EN I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ

JLTS/MTH

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado especialmente a las personas mas importantes en mi vida, mi familia quien siempre ha estado conmigo y me ha apoyado para cumplir con esta meta que me propuse al iniciar la carrera.

A mi madre Ángela García González

A quien debo todo lo que tengo y especialmente todo lo que soy, quien lo ha dado todo porque sea una persona de bien y que logre cumplir todas mis metas y objetivos, que ha trabajado de sol a sol para darme siempre lo mejor, incondicionalmente sin esperar nada a cambio. Sin ella no habría podido llegar a donde estoy. Simplemente es la mejor madre del mundo, no habría podido pedir ninguna otra.

Me trajiste al mundo, anduviste conmigo en todo momento, protegiéndome, escudándome, consolándome. Tus brazos siempre se abren cuando necesito un abrazo, tu corazón sabe comprender cuándo necesito una amiga, tus ojos sensibles se endurecen cuando necesito una lección, tu fuerza y tu amor me han dirigido por la vida y me han dado las alas que necesitaba para volar. Tus palabras guiaron mis pasos, tu cariño suavizó mi carácter y tu amor ilumina mi vida. Gracias mamá.

El amor de una madre es incalculable. Devolverle al menos una pequeña parte de todo lo que ella ha hecho por nosotros es una obligación.

A mis hermanos Oscar y Ernesto Ponce García

Cuando era una niña me ponía muy triste tener que compartir mis cosas, a mi mamá con un ser pequeñito e indefenso que llegaba a formar parte de la familia, sin embargo en cuanto lo tuve en mis brazos lo quise mucho, ¡mi pequeño hermanito!

Este logro se lo dedico a dos personitas muy importantes, mis hermanos, que desde que llegaron a mi vida me dieron muchas alegrías, que siempre me han cuidado, me han ayudado y apoyado cuando lo he necesitado y que aunque tengamos desacuerdos y nos peleemos nos queremos mucho y siempre estaremos juntos apoyándonos mutuamente.

La vida ha sido generosa conmigo al regalarme hermanos como ellos, con los que he vivido tantas cosas buenas, malas y hasta tristes. Pero esto solo hace más fuerte el lazo que nos mantiene unidos. Espero ser un buen ejemplo para ellos y sé que también saldrán adelante y logran las metas que se propongan.

A mi abuelita Juana González Ortiz

Quien más que una abuelita ha sido una segunda madre para mí, me ha apoyado y cuidado desde que era una bebe, protegiéndome, enseñándome lo bueno y lo malo. Levantándome cuando me he caído, abrazándome y consolándome con palabras de cariño y aliento. Parte de lo que soy se lo debo a ella.

“Todo lo que soy o espero ser se lo debo a la angelical solicitud de mi madre.”

ABRAHAM LINCOLN (1808-1865)

“Las familias son la brújula que nos guían. Son la inspiración para llegar a grandes alturas, y nuestro consuelo cuando ocasionalmente fallamos.”

BRAD HENRY (1963-)

Agradecimientos

Le agradezco principalmente a:

Mi familia:

Las personas que siempre han estado conmigo, en las buenas y en las malas, apoyándome incondicionalmente sin esperar nada a cambio, brindándome su cariño y en quien sé que puedo confiar sin importar las circunstancias.

Mis amigos:

Oscar A. Garduño
Ángel A. Romero
Ana M. Andrade
Mariana Velázquez
Mara N. Aguilar
Lizbeth Alonso
Karen A. López
Erick Marin
Sergio Montiel

Diana L. Martínez
Oscar Martínez
José A. Olvera
Javier A. Sánchez
Teresa C. Ruiz
Elio M. Pimentel
Roberto Villanueva
Juan C. Ávila
Marcelino Rubí

De quienes he aprendido muchas cosas, que me han brindado su cariño, apoyo, amistad, consejos y compañía, con quienes he vivido momentos tristes pero sobre todo felices y divertidos. Son personas maravillosas en quien sé que puedo confiar a pesar de que tengamos nuestras diferencias.

“La amistad es más difícil y más rara que el amor. Por eso, hay que salvarla como sea.”
ALBERTO MORAVIA (1907-1990)

“Más vale perder el tiempo con los amigos, que con el tiempo perder a los amigos.”
*No sé de quien haya escrito esta frase, pero a mi me la dijo un gran amigo **O. M. H.***

Mis profesores:

Josefina Alfaro
Jesús R. Gómez
María G. Pérez
Heriberto Esquivel
Luis Candelas
Carlos Narcia
Agustín Demeneghi

Guillermo Mancilla
Isis I. Valdez
Héctor A. Legorreta
Gabriel Moreno
Cristian E. González
Alexis López

Quienes me brindaron conocimientos tanto académicos como personales y me han guiado en mi desarrollo profesional.

“Los alumnos comen lo que los profesores han digerido.”
KARL KRAUS (1874-1936)

“Tan solo por la educación puede el hombre llegar a ser hombre. El hombre no es más que lo que la educación hace de él.”
MMANUEL KANT (1724-1804)



“La vida no es ningún pasillo recto y fácil que recorreremos libres y sin obstáculos, sino un laberinto de pasadizos, en el que tenemos que buscar nuestro camino, perdidos y confusos, detenidos, de vez en cuando, por un callejón sin salida.

Pero, si tenemos fe, siempre se abre una puerta ante nosotros; quizá no sea la que imaginamos, pero sí será, finalmente, la que demuestre ser buena para nosotros.”

A. J. CRONIN



Índice

	Pág.
Introducción	1
1. Antecedentes	3
1.1. Problemática	4
1.2. Zona de estudio	5
1.3. Objetivo	6
2. Estudios	7
2.1. Topográficos	7
2.1.1. Calidad del agua	10
2.1.2. Volumen disponible	12
2.1.3. Fisiografía	13
2.2. Agrológicos	14
2.2.1. Clima	15
2.2.2. Geología	16
2.2.3. Suelo	17
2.2.4. Descripción de los tipos de suelo	17
2.2.5. Manejo y uso de los suelos dominantes de la zona	20
2.2.6. Zona urbana	25
2.3. Uso Consuntivo	25
2.3.1. Requerimiento de riego en los cultivos	28
2.3.2. Cálculo de los litros por día por planta	32
2.3.3. Caudal total del sistema de riego	34
3. Diseño Hidráulico	36
3.1. Cárcamo	37
3.1.1. Clasificación	37
3.1.2. Partes constitutivas de los cárcamos de bombeo	39
3.1.3. Dimensionamiento del cárcamo de bombeo para el proyecto	40
3.2. Sistema de Bombeo	45
3.2.1. Potencia hidráulica de bombeo	46
3.2.2. Presión atmosférica y de vapor	47
3.2.3. Revisión por cavitación	48
3.3. Línea de conducción	52
3.3.1. Descarga	52
3.3.2. Succión	53
3.3.3. Cálculo de las pérdidas por fricción de la línea de conducción	53
3.3.4. Cálculo de las pérdidas locales de la línea de conducción	55
3.3.5. Pérdidas totales de la línea de conducción	56
3.4. Tanque elevado	56
3.4.1. Clasificación de tanques	57
3.4.2. Diseño hidráulico del tanque	58
3.4.3. Descripción del funcionamiento de la política de riego	61
3.4.4. Funcionamiento hidráulico del tanque	61
3.4.5. Dimensionamiento del tanque	62
3.5. Línea primaria de alimentación	63
3.5.1. Primer revisión hidráulica de la línea primaria de alimentación	66

3.5.2.	Segunda revisión hidráulica de la línea primaria de alimentación.	71
3.5.3.	Revisión de las presiones para la línea de alimentación	72
4.	Riego por Goteo	80
4.1.	Conceptos básicos	80
4.1.1.	Definición	80
4.1.2.	Condiciones de humedad	80
4.1.3.	Movimiento del agua a través del suelo	80
4.1.4.	Beneficios del riego por goteo	81
4.1.5.	Campos de aplicación del riego por goteo	82
4.2.	Sistema de filtración	83
4.3.	Tuberías secundarias	84
4.4.	Emisores y tuberías regantes	85
4.4.1.	Formas de instalar la línea regante	85
4.4.2.	Características que deben reunir los emisores	88
4.4.3.	Clasificación de los emisores	88
5.	Evaluación y propuesta económica	95
5.1.	Mano de obra	98
5.1.1.	Ley Federal del Trabajo	99
5.1.2.	Ley de INFONAVIT	100
5.1.3.	Ley del Seguro Social	100
5.2.	Maquinaria	102
5.2.1.	Cargos fijos	102
5.2.2.	Cargos por consumo	103
5.2.3.	Cargos por operación	104
5.2.4.	Costo horario de Pison vibratorio	104
5.2.5.	Costo horario de Revolvedora de concreto	105
5.2.6.	Costo horario de Estación total	106
5.3.	Materiales	107
5.4.	Costos de inversión	108
5.4.1.	Básicos	108
5.4.2.	Precios unitarios	114
5.4.3.	Presupuesto final	138
5.5.	Costos de operación	142
5.6.	Costos de mantenimiento	142
	Conclusiones	143
	Anexos	144
	Índice de tablas	158
	Índice de figuras	160
	Bibliografía	162



Introducción

La agricultura no sólo es el sector que consume más agua en el mundo en términos de volumen, también representa, en comparación con otros usos, un valor bajo y poco eficiente. Estos factores están forzando a los gobiernos a reconsiderar las repercusiones económicas, sociales y ambientales de los grandes proyectos de riego financiados y administrados por el sector público. En el pasado, el gasto interno en riego era la principal partida de los presupuestos agrícolas en países de todo el mundo. Por ejemplo, desde 1940 México ha destinado el 80 por ciento de su gasto público en la agricultura a proyectos de riego. En China, Indonesia y Pakistán, el riego ha absorbido más de la mitad de la inversión agrícola. En la India, se ha consagrado a él, un 30 por ciento de la inversión pública total¹.

El agua que requieren los cultivos, en el mejor de los casos es aportada en forma natural por las precipitaciones, pero cuando ésta es escasa o su distribución no coincide con los períodos de máxima demanda de los cultivos, es necesario aportarla de manera artificial, es decir a través de algún sistema de riego empleando alguna fuente de abastecimiento cercana. Debido a que el riego tiene una estrecha relación con el uso, el manejo y la conservación del agua, se ha convertido en una de las áreas de la agricultura que requiere de mayores estudios y avances tecnológicos así como de su aplicación sin deteriorar el medio ambiente.

Hoy en día en la mayoría de los casos, la agricultura no está en condiciones de competir económicamente debido a la escasez del agua. Las ciudades y las industrias pueden pagar más por el agua, y su tasa de rentabilidad económica es más alta que la del sector agrícola, es decir que la agricultura se está viendo obligada a ceder agua en favor de usos más valiosos en las ciudades e industrias. Sin embargo se prevé que en el futuro la agricultura de regadío producirá mucho más, consumiendo menos agua que ahora además se estima que en los próximos 30 años el 80 por ciento de los suministros adicionales que se requerirán para alimentar a la población mundial procederá de cultivos de regadío².

Se ha observado que los proyectos de riego pueden contribuir de gran manera a elevar los ingresos y la producción agrícola, en comparación con la agricultura que únicamente cuenta con el agua proveniente de la lluvia. Además, el riego ofrece más seguridad, y permite ampliar, diversificar y producir distintos tipos de cultivos con un mayor valor económico. La contribución del riego a la seguridad alimentaria en China, Egipto, India, Marruecos y Pakistán es ampliamente reconocida. Un ejemplo de ello es en la India, donde:

- ✚ El 55 por ciento de la producción agrícola procede de tierras de regadío.
- ✚ Los ingresos agrícolas medios han crecido entre un 80 y un 100 por ciento.

¹ R. Bhatia y M. Falkenmark. 1992. Water resource policies and the urban poor: innovative approaches and policy imperatives. Documento de referencia de la ICWE, Dublín, Irlanda.

² Instituto Internacional de Ordenación del Riego. 1992. Developing environmentally sound and lasting improvements in irrigation management: the role of international research. Colombo, Sri Lanka.



- ✚ Los rendimientos se han duplicado con respecto a los que se alcanzaban antes con la agricultura de secano*.
- ✚ Los días de trabajo adicionales utilizados por hectárea han aumentado entre un 50 y un 100 por ciento.

El riego es un componente fundamental del conjunto de medidas necesarias para elevar la productividad de una zona agrícola. En el futuro, cuando las tierras de cultivo requieran niveles más altos de insumos para tener un aumento en el rendimiento, la seguridad y eficiencia de la producción de regadío se volverán aún más importantes para la agricultura mundial. El agua ya no será abundante y barata, será escasa, cara de obtener y de mantener, y valiosa. La perspectiva del alto costo del agua puede parecer, en un principio, uno más de los problemas para las economías de bajos ingresos. Sin embargo, el alto costo será un incentivo para que el agua se aproveche de manera más eficiente. El factor que más limita la adopción de la tecnología de riego y drenaje de valor comprobado es el bajo costo del agua. Además, si los agricultores tienen oportunidad de destinar el agua a usos de mayor valor y de obtener beneficios, tanto los gobiernos como ellos mismos invertirán en el riego.

El presente trabajo tiene como finalidad brindar una solución a la problemática de falta de agua para la agricultura que se presenta en el Estado de Puebla, en el municipio de Jolalpan, específicamente en la comunidad de Santiago Mitepec.

Para ello se llevan a cabo estudios de topografía, agrologicos y de uso consuntivo de los cultivos que se desean producir en el municipio, con la información obtenida de dichos estudios se realiza el diseño hidráulico de los elementos que conforman el sistema de riego: el cárcamo de bombeo, el sistema de bombeo, la línea de conducción, el tanque elevado y la línea de alimentación.

Una vez que se han establecido los elementos principales del sistema de riego, se presenta una recomendación para la implementación del riego por goteo, indicando sus principales beneficios y componentes.

La parte final de este trabajo consiste en la elaboración de un presupuesto del proyecto, a base de precios unitarios.

* Tierra de labor que no tiene riego, y solo participa del agua llovediza.



1. Antecedentes

El riego, se considera como una ciencia milenaria. En algunos países el riego se estableció como una actividad de vital importancia, incluso desde la antigüedad se tienen datos de los pueblos que incursionaron en la irrigación, por ejemplo se tienen a los antiguos egipcios, chinos, babilonios e hindúes.

En México, el mejor ejemplo del que se puede hablar referente a los sistemas de riego antiguos son las denominadas “chinampas”, o bien sistemas de producción agrícolas sobre los lagos, que eran utilizados por los mexicas antes de la época de la conquista con la finalidad de producir los cultivos básicos de su alimentación en forma segura como maíz, porotos, tabaco, chiles, fruta, cacao y algodón, el sistema en sí combina el conocimiento del riego subterráneo con la hidroponía^{**}.

Después de los años 80's, en todo el mundo fue desarrollándose el riego como una ciencia evolutiva de tal manera que las técnicas año con año, son cada vez mejores porque conjuntan ahorro de agua, ahorro de energía y al ser extensivas abaratan los costos, con un importante aumento en la producción. En ésta época por ejemplo se introducen técnicas de fertilización y aplicación de químicos a través del riego, lo que se ha denominado fertirrigación^{***} y quemigación[^]. Estas prácticas han desencadenado una alta productividad en los cultivos y han hecho más eficiente el uso de los recursos.

En México existen zonas con marcadas diferencias entre la disponibilidad de agua y de tierras aptas para desarrollar agricultura intensiva y extensiva, estas diferencias se deben básicamente a dos factores la topografía y el clima³.

Tabla 1. Superficie de México en relación con la precipitación.

Clasificación de clima	Precipitación (mm)	% Superficie en México	Observaciones (Riego)
Árido	< 400	62.8	Indispensable
Semi-árido	400 - 600	31.2	Necesario
Semi-Húmedo	600 - 1500	4.5	Conveniente
Húmedo	> 1500	1.5	Innecesario

El riego también está en función de la frecuencia e intensidad de precipitación de cada zona en relación con la duración y fisiología de los cultivos.

^{**} Cultivo de plantas en soluciones acuosas, por lo general con algún soporte de arena, grava, etc.

^{***} Es una tecnología que permite aplicar los fertilizantes que requiere un cultivo agrícola, por medio del agua de riego.

[^] Es la adición de fertilizantes o productos agroquímicos al agua de riego para ayudar al crecimiento de los cultivos. Además, elimina el tener que hacer pasadas adicionales con el tractor, la utilización de equipos caros y sobre todo, se puede efectuar cuandoquiera que se estime conveniente.

³ Centro de Investigación y Estudios de Posgrado y Área Agrogeodésica, Apuntes de la materia de Riego y Drenaje, Dr. Rodolfo Cisneros Almazan.



En México los principales factores limitantes para la agricultura son: aridez y topografía. Tomando en cuenta estos factores, el futuro agrícola del país se basa en la explotación de 34.7 millones de hectáreas que es la superficie factible de sembrar. En nuestro país, en la última década se ha procurado mejorar la eficiencia de riego más que en ampliar la frontera agrícola.

Tabla 2. Superficie de Riego en México en relación con el aprovechamiento.

Forma de riego	Área regada (millones de ha)
Agua superficial	4.12
Agua subterránea	1.70
Aprovechamientos mixtos	0.43
Total	6.25

En México⁴ se utilizan anualmente 78 mil millones de metros cúbicos de agua, de los cuales el 83% se destina a la agricultura, el 12 % al servicio público urbano y el 5% restante a la industria.

En el país existen 600 acuíferos, de los cuales 100 están sobre explotados, de estos últimos proviene el 50% del volumen del agua subterránea que se utiliza. El agua subterránea representa un recurso estratégico indispensable para el suministro, sobre todo en las zonas áridas, donde se depende en gran parte de ella, además de representar 1/3 parte del agua utilizada en la agricultura. A nivel nacional existen 258 grandes acuíferos, todos explotados. En la actualidad existen en operación más de 130,000 pozos con capacidad de bombeo significativa utilizando electricidad. Más de 80,000 de estos principales pozos son utilizados para propósitos de irrigación.

1.1. Problemática

Para la comunidad de Santiago Mitepec ubicada en el municipio de Jolalpan en el estado de Puebla, la agricultura representa la principal actividad económica, por lo que es de especial importancia contar con agua suficiente a lo largo del año para que la tierra produzca los cultivos necesarios tanto para consumo personal como para comercio, sin embargo, esta localidad no cuenta con un sistema de riego artificial y están limitados al uso solo del agua proveniente de la temporada de lluvias, lo que genera pérdidas económicas durante todo el año.

Por lo anterior, con el apoyo de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, se ha propuesto desarrollar el presente trabajo con la finalidad de que la localidad de Santiago Mitepec cuente con un Sistema de Distribución que permita llevar el agua de la Presa Huachinantla a sus parcelas.

⁴ Comisión Nacional del Agua, 2001



1.2. Zona de estudio

El municipio de Jolalpan es montañoso, sobre todo al norte donde alcanza alturas de más de 1,800 m.s.n.m. Destacan los cerros Tepos, Cuahio, Colorado, Cuachococotl, Coxioco, Tlacuapan, y Cuezapulco. Presenta dos valles, uno al oriente y otro al occidente, donde se asientan las comunidades más importantes del municipio a una altura menor a 800 m.s.n.m.

Este municipio se encuentra dentro de la subcuenca del río Nexapa, afluente del Atoyac, el oriente contiene en su totalidad la subcuenca del río Ziniquihuilá afluente del Amacuzac. Ambos ríos el Nexapa y el Ziniquihuilá son corrientes permanentes formadoras de los valles del municipio.

Esta zona presenta un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano; el mes más cálido se presenta antes de junio. El municipio presenta una pequeña temporada menos lluviosa dentro de la estación de lluvias llamada sequía de medio verano; el número promedio de días nublados al año es de 120 a 160 y de días despejados más de 200; se presentan menos de 10 días con tempestades y de 10 a 20 días con heladas al año.

El poblado de Santiago Mitepec se localiza a una distancia aproximada de 14 kilómetros de la cabecera municipal de Jolalpan en el Estado de Puebla.

Coordenadas

Longitud (dec): -98.929722.

Latitud (dec): 18.241389.

Altitud: 1,060 metros sobre el nivel del mar.

Tiene 1,145 habitantes, de cuales 534 son hombres y 611 mujeres. De esta población se tiene:

- 212 analfabetos de 15 y más años.
- 40 de los jóvenes entre 6 y 14 años no asisten a la escuela.
- 191 habitantes mayores de 15 años no tienen ninguna escolaridad.
- 380 tienen una escolaridad incompleta.
- 110 tienen una escolaridad básica.
- 33 cuentan con una educación post-básica.

En Santiago Mitepec hay un total de 265 viviendas, de las cuales:

- 5 en promedio consisten de una sola habitación.
- 116 tienen piso de tierra.
- 208 tienen instalaciones sanitarias.
- 203 son conectadas al servicio público.
- 231 tienen acceso a la luz eléctrica.



- La economía permite.
 - 68 viviendas tener una lavadora.
 - 189 tienen una televisión.

1.3.Objetivos

El presente trabajo tiene como finalidad:

- ♣ Realizar el diseño hidráulico de un Sistema de Distribución que permita llevar el agua de la presa Huachinantla a las parcelas de riego ubicadas en la comunidad de Santiago Mitepec en el estado de Puebla. El sistema estará conformado por un cárcamo y un sistema de bombeo, una línea de conducción, un tanque elevado y una línea primaria de alimentación (red primaria) a las parcelas, el sistema será abastecido por el agua proveniente del vaso de la Presa Huachinantla la cual se encuentra localizada en el poblado de Santiago Mitepec. Cabe mencionar que este trabajo es un estudio preliminar y que en una segunda etapa se diseñara el sistema de riego de cada parcela.
- ♣ Presentar una metodología para el riego de las parcelas por goteo.
- ♣ Dar un costo estimado del proyecto.



2. Estudios

En lo que respecta a un proyecto de ingeniería, como lo es un sistema de distribución para riego, este necesita de los siguientes estudios previos:

- a) Topográfico.
- b) Agrológico.
- c) Uso consuntivo.

Un estudio topográfico es un elemento esencial en todos los proyectos, debido al nivel de detalle y exactitud en la información que proporciona, por ejemplo un levantamiento planialtimétrico que establece los niveles o la altura de referencia, ubica los límites de la obra, los ejes desde los cuales se miden los elementos, etc.

En el estudio agrológico, se obtiene información sobre las características físico – químicas y morfológicas de los suelos ubicados dentro del proyecto, en función de la información edafológica, topográfica y climática, con lo que se podrá realizar una descripción y clasificación de uso de suelo.

Del uso consuntivo se estimarán las necesidades de riego de los cultivos asociados a las pérdidas de agua través de la planta en sus diferentes procesos fisiológicos (transpiración) y de las pérdidas directas del suelo (evaporación), es decir a través de la medición de la evapotranspiración, que está en función de los siguientes factores:

- Climáticos (radicación, temperatura, precipitación, humedad relativa, etc.).
- Físicos (relacionada a la planta, como número de estomas, área foliar, altura de planta, etc.).
- Suelo (permeabilidad, humedad, etc.).
- Hidrológico (freático, calidad de riego, agua, etc.).

2.1. Topográfico

Los estudios topográficos son un elemento esencial en todos los proyectos de ingeniería civil, ya que con ellos comienza el diseño, tienen⁵ por objeto la representación gráfica de la superficie de la tierra, con sus formas y detalles, tanto naturales como artificiales. Una vez realizados estos estudios, se procesa la información obtenida en campo, mediante levantamientos topográficos, de tal manera que exista una correcta representación del terreno y su manejo sea rápido y preciso.

⁵ Topografía aplicada a obras Cousse. SAGARPA



Los levantamientos topográficos son una serie de mediciones y recopilaciones de datos, en el que los resultados se plasman en planos que muestran su distribución espacial (planimetría y altimetría).

Los estudios topográficos tendrán como objetivo:

- Realizar los trabajos de campo que permitan elaborar los planos topográficos, mediante estudios de viabilidad y trazo de infraestructuras.
- Aportar información base para los estudios de hidráulica, hidrología, geología, geotecnia, ecología y los efectos en el medio ambiente.
- Proporcionar la ubicación precisa de los elementos estructurales.
- Establecer puntos de referencia para el replanteo durante la construcción.

Para este proyecto el levantamiento topográfico lo realizó el Departamento de Topografía de la División de Ingenierías Civil y Geomática de la Facultad de Ingeniería, UNAM.

- Área.

El sistema de riego beneficiará aproximadamente un área de 94.96 hectáreas del poblado de Santiago Mitepec.

El trazo de las líneas se obtuvo por medio del levantamiento con estación total y con una línea base obtenida con GPS Sokkia GRX1 y arrojo la siguiente información planimétrica y altimétrica:

- Trazo en planta (Figura 1 y 3) y en perfil de la línea de alimentación, además de las siete líneas de conducción primaria (Anexos de 1 a 6).

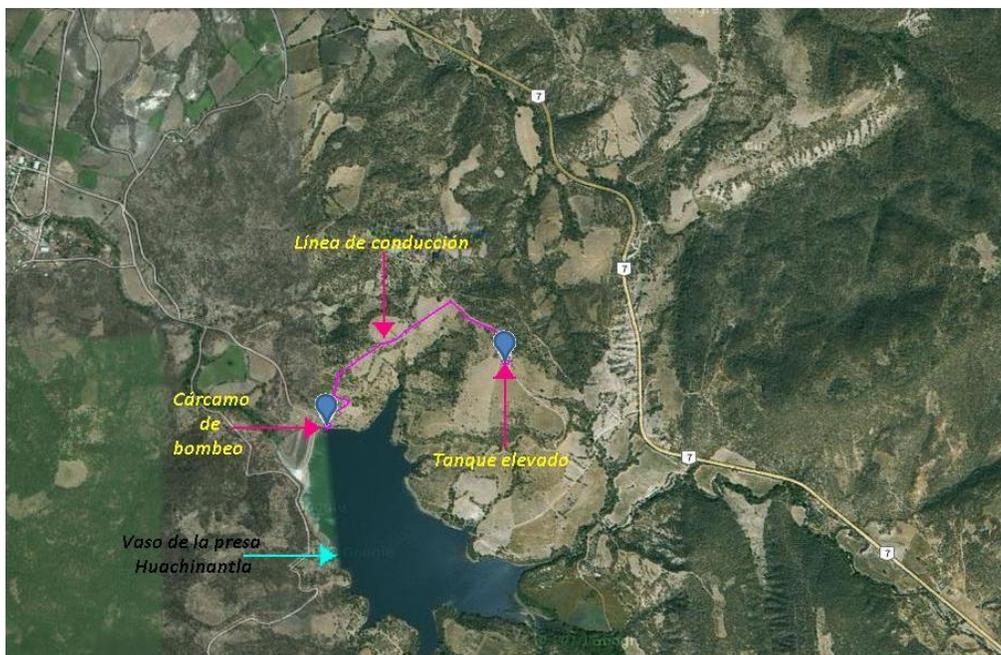


Figura 1. Trazo en planta de la línea de conducción (alimentación).

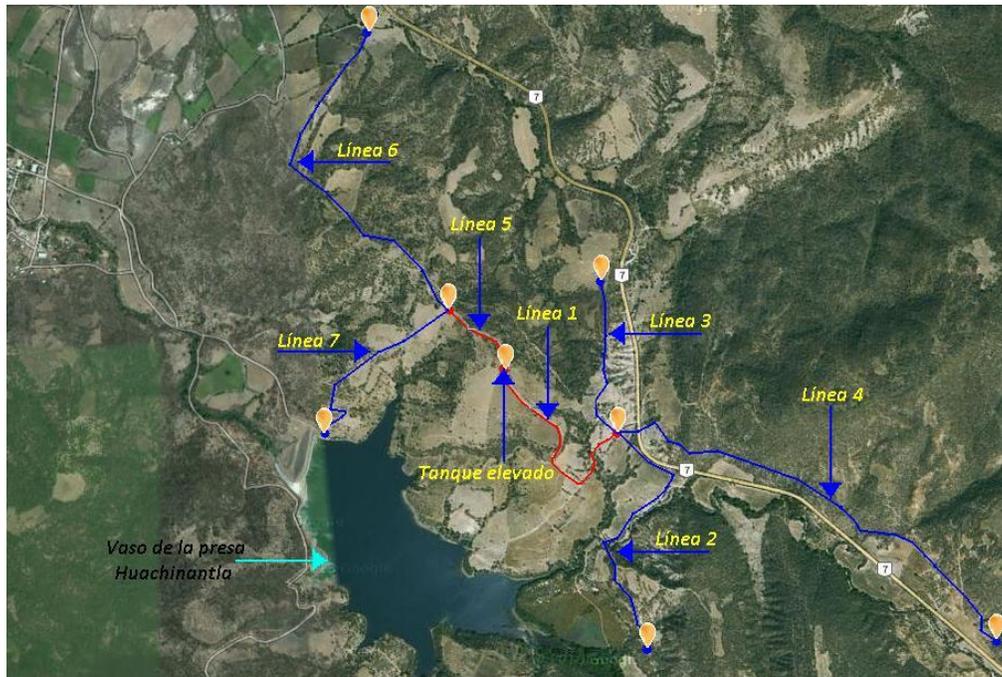


Figura 2. Trazo en planta de las línea primaria de alimentación (red primaria).

- Fuente de abastecimiento.

La fuente de abastecimiento es la “Presas Huachinantla” (Figura 3), construida en 1977 por la Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos.

Ubicación⁶

- Estado: Puebla.
- Municipio: Jolalpan.
- Región hidrológica: Balsas.
- Carta INEGI 1:50,000: Huehuetlan - E14B71 y Temalac - E14B81.
- Zona Sísmica: Media Sísmicidad.

⁶ Sistema de seguridad de presas, CONAGUA.

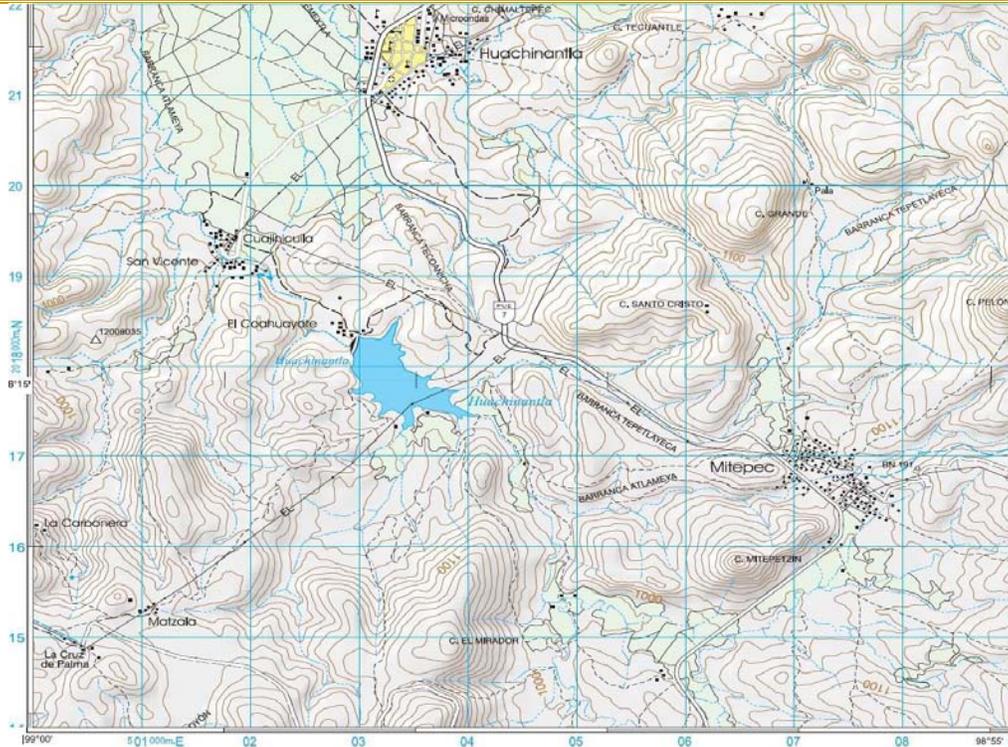


Figura 3. Ubicación de la Presa Huachinantla.

Fuente: INEGI, 1995. Cartas topográficas Huehuetlan - E14B71 y Temalac - E14B81. Escala 1:50,000.

2.1.1. Calidad del agua

La evaluación de la calidad del agua⁷ se lleva a cabo utilizando tres indicadores, la Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (DBO_5), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST). La DBO_5 y la DQO se utilizan para determinar la cantidad de materia orgánica presente en los cuerpos de agua provenientes principalmente de las descargas de aguas residuales, de origen municipal y no municipal.

La DBO_5 (Figura 6) determina la cantidad de materia orgánica biodegradable y la segunda mide la cantidad total de materia orgánica. El incremento de la concentración de estos parámetros incide en la disminución del contenido de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua con la consecuente afectación a los ecosistemas acuáticos.

⁷ CONAGUA. Indicadores de calidad del agua. Noviembre, 2011.

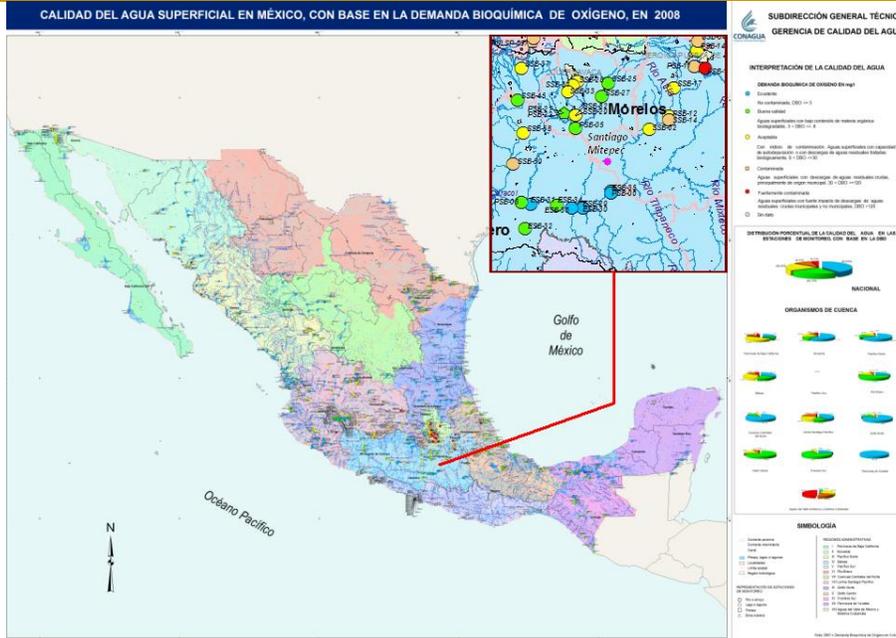


Figura 4. Calidad del agua superficial en México, con base en la DBO, en 2008.

Por otro lado, el aumento de la DQO (Figura 6) indica presencia de sustancias provenientes de descargas no municipales.

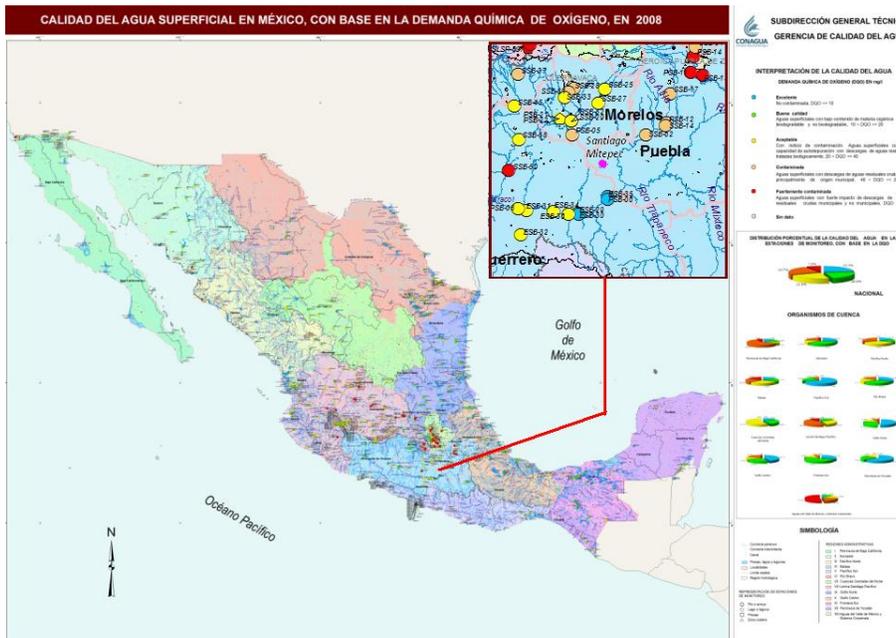


Figura 5. Calidad del agua superficial en México, con base en la DQO, en 2008.

Los SST (Figura 7) tienen su origen en las aguas residuales y la erosión del suelo. El incremento de los niveles de SST hace que un cuerpo de agua pierda la capacidad de soportar la diversidad de la vida acuática.



Los parámetros SST permiten reconocer gradientes que van desde una condición relativamente natural o sin influencia de la actividad humana, hasta agua que muestra indicios o aportaciones importantes de descargas de aguas residuales municipales y no municipales, así como áreas con deforestación severa.

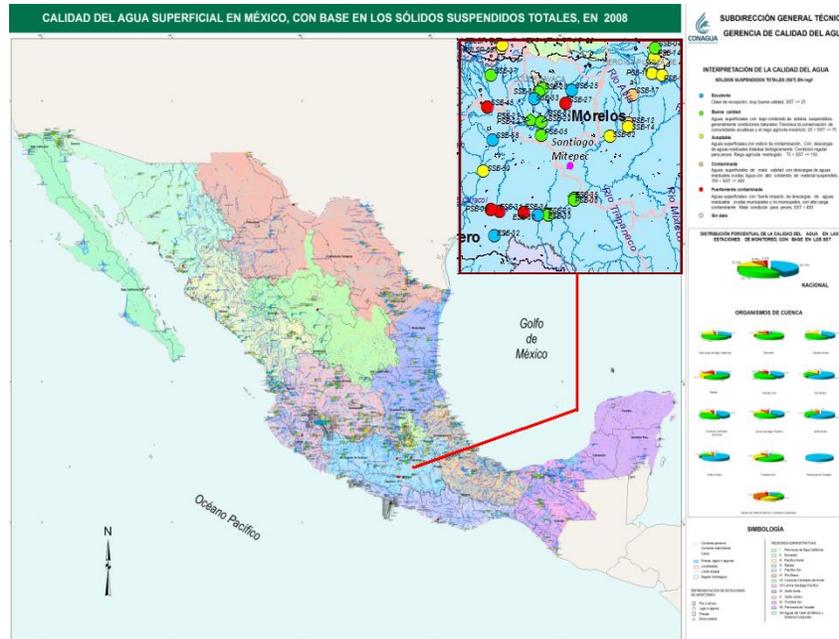


Figura 6. Calidad del agua superficial en México, con base en los SST, en 2008.

En la tabla siguiente se muestran los resultados observados en las imágenes de los parámetros de DBO, SST y DQO⁸, del agua en la cuenca en donde se encuentra el sitio del proyecto.

Tabla 3. Determinación de la calidad del agua para el riego agrícola.

Parámetro	Calidad	Cantidad [mg/l]	Conclusión
DBO	Excelente (No contaminada)	≤ 3	Como se puede observar en general el agua presenta una calidad óptima para el desarrollo agrícola.
DQO	Excelente (No contaminada)	≤ 10	
	Aceptable (Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente)	20 – 40	
SST	Excelente	≤ 25	
	Buena calidad	25 – 75	

2.1.2. Volumen disponible

Actualmente esta presa de abastecimiento, se utiliza para regar 659 hectáreas, aproximadamente 10,000 m³/s.⁹

⁸ CONAGUA. Subdirección General Técnica. Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua. Subgerencia de Estudios de Calidad del Agua e Impacto Ambiental. Jefatura de Proyecto de Estudios de Calidad del Agua.

Datos generales de la obra¹⁰:

- Región hidrológica: Balsas.
- Cuenca: Río Amacuzac (Figura 7).
- Área: 107.40 km².
- Vol. medio de escurrimiento anual: 11,400,000,000 m³/año.
- Capacidad del vertedor: 335.00 m³/s.
- Gasto máximo de diseño: 507.00 m³/s.
- Periodo de retorno: 100 años.

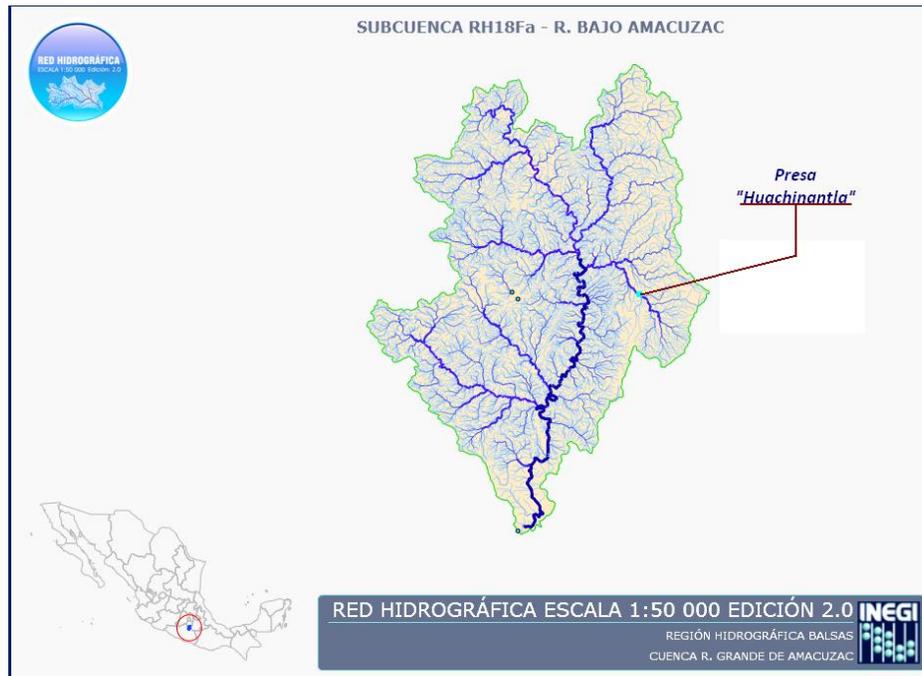


Figura 7. Cuenca R. Grande de Amacuzac.

2.1.3. Fisiografía

El 91% se localiza en el Eje Neovolcánico y el 9% en la Sierra Madre del Sur. Su sistema de topofomas se conforma del 91% en la Sierra volcánica de laderas escarpadas, el 8% en la Sierra baja compleja con Llanuras y el 1% en la Sierra de cumbres tendidas (Figura 8).

⁹ Con base acta- entrega de mayo 20 de 1986 son 659; anualmente riegan en promedio 200 ha. Sistema de seguridad de presas, CONAGUA.

¹⁰ Ídem.

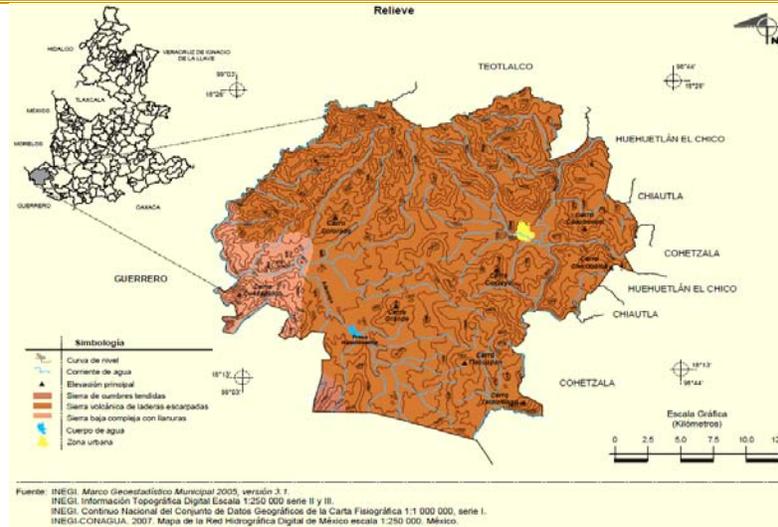


Figura 8. Relieve existente en el Estado de Puebla.

- Obstáculos (ríos, canales, drenes, caminos, carreteras, vías de ferrocarril, barrancas, construcciones, etc.), (Figura 9).

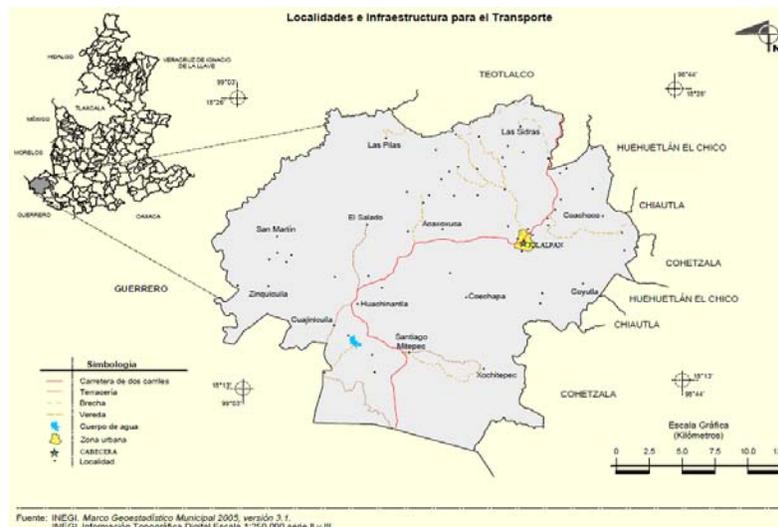


Figura 9. Infraestructura para el transporte en el Estado de Puebla.

2.2. Agrológico

El estudio agrológico¹¹ de suelos describe, como su nombre lo indica, la calidad agrológica de los suelos existentes en un lugar para señalar su relativa adaptabilidad a ciertos cultivos. Reconocer la clase de un suelo, permite predecir su potencial productivo en función de las

¹¹ Estudio Agrológico de Suelos del Parque Eólico La Georgia. Comuna Ovalle, Limari. 2009.



dificultades y riesgos que se pueden presentar al usarlos. Está basada en la capacidad de la tierra para producir, señalando las limitaciones naturales de los suelos.

El desarrollo y análisis de un estudio agrológico de suelo se inicia con la elección o determinación de una subdivisión del espacio geográfico considerado. El conocimiento espacio - temporal de los suelos, soporte físico y biológico para las plantas, resulta prioritario ya que sus características, calidades, potencialidades y restricciones tienen incidencia directa en el desarrollo de los cultivos. El objetivo es disponer de una zonificación de áreas de capacidad de uso homogéneas, estableciendo rangos que permitan distinguir desde aquellas que tienen mayor aptitud, hasta las que poseen severas limitaciones para su utilización, considerando especialmente las propiedades de los suelos.

Las bases técnicas¹² de los concursos para proyectos a ser presentados a la ley 18.450 de Fomento a la Inversión Privada en Obras de Riego y Drenaje especifican la necesidad de la presentación de un completo y detallado estudio agrológico o de suelos, de carácter obligatorio en el caso de proyectos de drenaje y, de carácter opcional en proyectos de riego.

Un estudio de suelos puede contener muchos y variados componentes dependiendo del objetivo para lo cual se realiza. Sin embargo, ciertos componentes que deben incluirse son:

- ✚ Descripción general del área.
- ✚ Aspectos metodológicos.
- ✚ Clases y categorías de suelo.
- ✚ Caracterización Física de los suelos.
- ✚ Caracterización Química de los suelos.
- ✚ Descripción de los suelos.
- ✚ Propiedades de los suelos.
- ✚ Uso y manejo de los suelo.

En el estudio agrológico para este proyecto se determinó las principales características físicas, químicas y morfológicas del suelo, además se obtuvo la siguiente información:

2.2.1. Clima

Se presenta un rango de temperatura de 22 °C a 28 °C, mientras que su rango de precipitación está dentro de 800 mm a 1 000 mm, de tal motivo que se presenta un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano (Figura 10).

¹² Estudio Agrológico. Dr. José María Peralta A. Ing. Agrónomo, Ph. D. INIA Carillanca

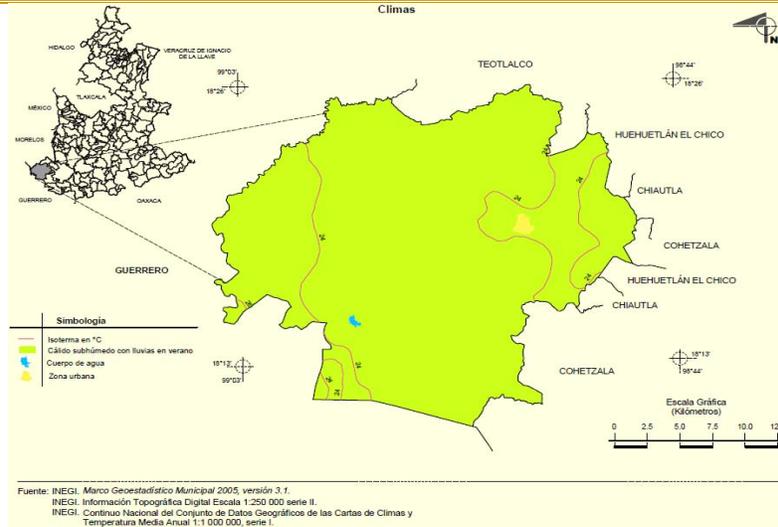


Figura 10. Clima en el Estado de Puebla.

2.2.2. Geología

Rocas (Figura 11)

- ✓ Ígnea intrusiva.
 - Granito (1%).
- ✓ Ígnea extrusiva.
 - Andesita-toba intermedia (48.5%).
- ✓ Sedimentaria.
 - Caliza (29%).
 - Lutita-arenisca (10%).
 - Yeso (5%).
 - Conglomerado (4%).

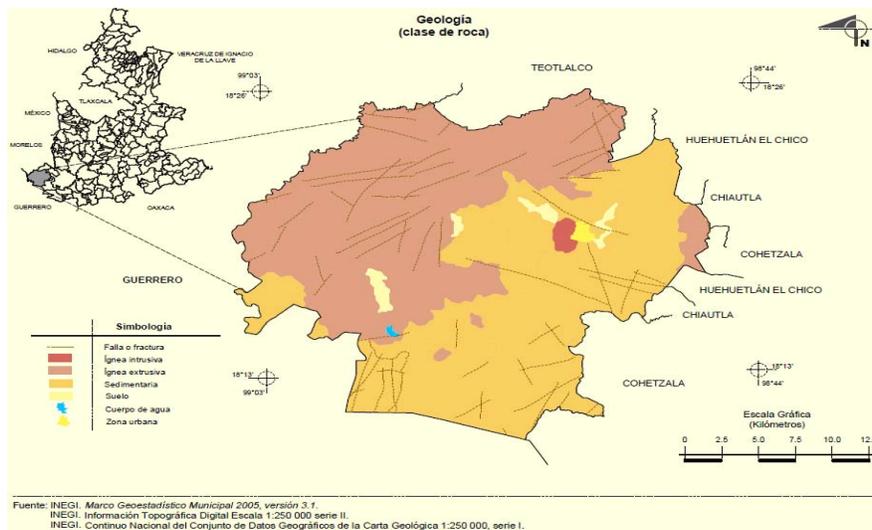


Figura 11. Tipos de rocas en el Estado de Puebla.



2.2.3. Suelo (Figura 12)

- Suelo dominante
- ✓ Aluvial (1%).
 - ✓ Leptosol (48%).
 - ✓ Regosol (22.5%).
 - ✓ Phaeozem (21%).
 - ✓ Gypsisol (6%).
 - ✓ Vertisol (1%).

En la zona del proyecto para el sistema de riego en donde se beneficiará con el agua de la presa “Huachinantla” se detectó como se describe anteriormente la presencia de los suelos dominantes: Leptosol, Regosol, Phaeozem, Gypsisol y Vertisol¹³. A continuación se describen las características principales de estos suelos dominantes.

2.2.4. Descripción de los tipos de suelo¹⁴.

a) Leptosol

Los Leptosoles (proviene del griego “**leptos**”, que significa “**fino**”), son suelos muy someros sobre roca continua (menos de 10 cm de profundidad) y suelos extremadamente gravillosos y/o pedregosos con menos de 20 por ciento (en volumen) de tierra fina. Son suelos azonales[♦] y particularmente comunes en regiones montañosas o tierras en altitud media o alta con topografía fuertemente disectada, se encuentran en todas las zonas climáticas (muchos de ellos en regiones secas cálidas o frías), en particular en áreas fuertemente erosionadas, desde los trópicos hasta la tundra fría polar y desde el nivel del mar hasta las montañas más altas.

Los Leptosoles son el GSR (Grupo de Suelos de Referencia) más extendido sobre la tierra, extendiéndose alrededor de 1 655 millones ha, e incluyen a los Litosoles, que son suelos de menos de 10 centímetros de espesor sobre roca o tepetate.

b) Regosol

Los Regosoles (proviene del griego “**rhagos**”, que significa “**manta**”), son suelos que forman un grupo remanente taxonómico que contiene todos los suelos que no pudieron acomodarse en alguno de los otros GSR. Son suelos minerales muy débilmente desarrollados que se forman a partir de materiales no consolidados de grano fino que no

¹³ INEGI. Pronuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Jolalpan, Puebla

¹⁴ IUSS Grupo de Trabajo WRB. 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO, Roma.

[♦] Suelos azonales: corresponden a suelos inmaduros, que se encuentran en las primeras etapas de su desarrollo, en los que los caracteres predominantes son los debidos al tipo de roca madre, es decir presentan escaso o nulo desarrollo y diferenciación de horizontes.



tienen un horizonte mólico^{♦♦} o cámbico^{♦♦♦}, no son muy someros ni muy ricos en gravas, arenas o con materiales flúvicos^{*}. Las características que los diferencian de otros suelos es que aún no se desarrollan y pueden convertirse, al paso del tiempo, en otros tipos de suelo.

Estos suelos presentan una textura media predominando la pedregosidad, también puede ser gruesa de naturaleza franco-arenosa, su espesor es mayor de 10 cm. Se caracterizan por no presentar capas distintas. En general son de tono claro. Se encuentran en las playas, dunas y, en mayor o menor grado, en las laderas de las sierras, muchas veces acompañados de litosoles y de roca o tepetate. Su fertilidad es variable, y su uso agrícola está condicionado principalmente a su profundidad y a la pedregosidad que presenten. Su valor de pH oscila alrededor de 6.5.

Los Regosoles están extendidos en tierras erosionadas, particularmente en áreas áridas y semiáridas y en terrenos montañosos, se ubican en muy diversas posiciones topográficas, en todas las zonas climáticas y todas las alturas. Los Regosoles cubren unas 260 millones hectáreas a nivel mundial.

c) Phaeozem

Los Phaeozems (proviene del griego “**phaios**”, que significa “**oscuro**” y del ruso “**zemplja**”, que significa “**tierra**”), acomodan suelos de pastizales relativamente húmedos y regiones forestales en clima moderadamente continental. Los Phaeozems son muy parecidos a Chernozems y Kastanozems pero están más intensamente lixiviados. Consecuentemente, tienen horizonte superficial oscuro, rico en materia orgánica, textura media, buen drenaje y ventilación, en general son poco profundos, casi siempre pedregosos y muy inestables, restringiendo por ello su uso en la agricultura permanente, pudiéndose utilizar en el cultivo de pastos, aunque se recomienda mantenerlos con vegetación permanente.

Los Phaeozems son materiales no consolidados, predominantemente básicos, eólicos (loess), till glaciares^{**} y otros. Los Phaeozems pueden o no tener carbonatos secundarios pero tienen alta saturación con bases en el metro superior del suelo.

Se encuentran en un clima cálido a fresco por ejemplo en tierras altas tropicales, regiones moderadamente continentales, suficientemente húmedas de modo que la mayoría de los años hay alguna percolación a través del suelo, pero también con períodos en los cuales el suelo se seca; tierras llanas a onduladas; la vegetación natural es pastizal como la estepa de pastos altos y/o bosque. Sus principales limitaciones son las inundaciones y la erosión. Los Phaeozems cubren un área aproximada de 190 millones ha en todo el mundo.

♦♦ El horizonte mólico (proviene del latín “mollis”, que significa “blando”) es un horizonte superficial grueso, bien estructurado, oscuro, con alta saturación con bases y moderado a alto contenido de materia orgánica.

♦♦♦ El horizonte cámbico (proviene del italiano “cambiare”, que significa “cambiar”) es un horizonte subsuperficial que muestra evidencias de alteración respecto de horizontes subyacentes

* Son materiales formados a partir de aportes recientes traídos por ríos, lagos y mares que reciben material fresco a intervalos regulares o los han recibido en el pasado reciente

**Till glaciar, son pilas de sedimentos variados de origen glaciar



d) Gypsisol

Los Gypsisoles (proviene del griego “**gypsos**”, que significa “**yeso**”); son suelos que tienen un horizonte superficial de color claro, debido a la con una acumulación secundaria sustancial de yeso (sulfato de calcio), con o sin carbonatos, concentrada en el subsuelo.

Estos suelos se encuentran en la parte más seca de la zona de clima árido. Se localizan principalmente en áreas de tierras llanas con colinas y depresiones, en depósitos aluviales^{***}, coluviales[^] y eólicos^{^^} no consolidados de material meteorizable^{♦♦} rico en bases.

La vegetación natural en este tipo de suelo es escasa y dominada por arbustos y árboles y/o pastos. Los Gypsisoles tienen una extensión mundial probablemente del orden de 100 millones ha.

e) Vertisol

Los Vertisoles (proviene del latín “**vertere**”, que significa dar “**vuelta**”, es decir se refiere al reciclado interno constante del material de suelo), son suelos que se mezclan, con altas proporciones de arcillas expandibles producidas por neoformación a partir de meteorización de rocas. Estos suelos forman grietas anchas y profundas desde la superficie hacia abajo cuando se secan, lo que ocurre en la mayoría de los años, además de la formación de slickensides^{♦♦} y agregados estructurales en el suelo subsuperficial. El microrelieve es peculiar de los Vertisoles aunque no se encuentra comúnmente.

Los Vertisoles se localizan en depresiones y áreas llanas a onduladas, principalmente en climas tropicales, subtropicales, semiárido a subhúmedo y húmedo con una alternancia clara de estación seca y húmeda. La vegetación en este suelo es del tipo de la sabana, pastizal natural y/o bosque. Los Vertisoles se encuentran típicamente en bajas posiciones del paisaje tales como fondos de lagos secos, cuencas de ríos, terrazas inferiores de ríos y otras tierras bajas que periódicamente están mojadas en su estado natural.

Los Vertisoles cubren 335 millones hectáreas a nivel mundial. Unos 150 millones ha estimadas son potenciales tierras de cultivos. Las áreas más grandes de Vertisol están sobre sedimentos que tienen alto contenido de arcillas o que producen tales arcillas por meteorización.

*** Están normalmente compuestos por arenas, gravas y material transportado por un río y depositado, casi siempre temporalmente, en puntos a lo largo de su llanura de inundación.

^ Son acumulaciones constituidas por materiales de diverso tamaño habiéndose formado por alteración y desintegración in situ de las rocas ubicadas en las laderas.

^^ Se producen principalmente con los procesos de transporte y depósito de material (arenas y limos) por el viento en ambientes áridos y con poca vegetación.

♦♦ Estos adquieren texturas y capas variables en función de la meteorología y el tiempo.

♦♦ Es una superficie suavemente pulida causado por el movimiento de fricción entre las rocas a lo largo de los dos lados de una falla.

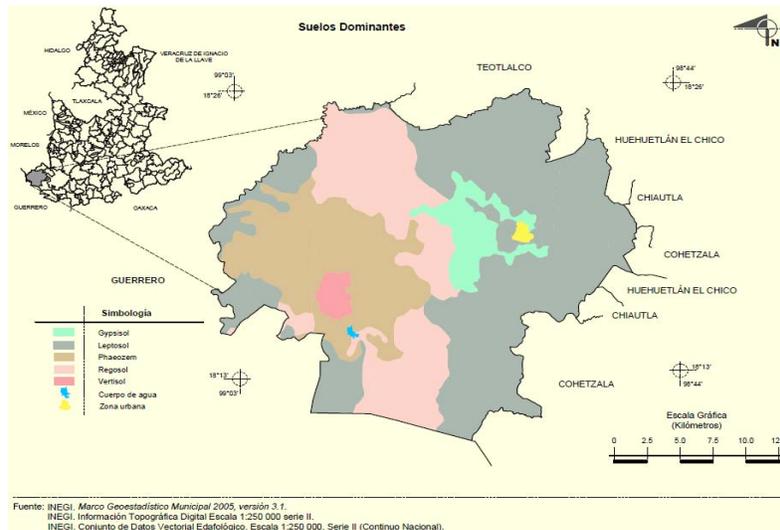


Figura 12. Tipos de suelos en el Estado de Puebla.

2.2.5. Manejo y uso de los suelos dominantes de la zona (Figura 13)

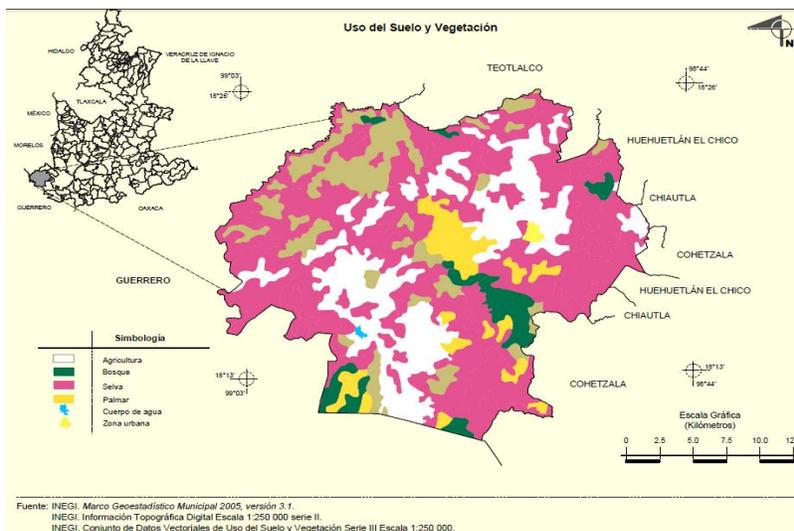


Figura 13. Tipos de uso de suelo en el Estado de Puebla.

Con base en las características morfológicas, físicas y químicas se puede señalar en primera instancia cual es la vocación del suelo y cuáles son las medidas que hay que tomar en cuenta con el fin de conservar su uso óptimo.

Con respecto a la vocación de los suelos para diferentes usos: agrícola, pecuario o forestal, se recalca una vez más que esta no depende exclusivamente del tipo de suelo, sino del medio ecológico en su conjunto y los avances tecnológicos que pueden superar o aprovechar las limitantes naturales.



Cuando se señala que un suelo es bueno para usos agrícola, se refiere a que pueden destinarse a este fin sin que la inversión inicial sea muy alta, no obstante, si se quiere mantener una buena productividad, hay que lograr esto por medio de la fertilización y el manejo adecuado al tipo de suelo y cultivos que en él se desarrollan.

En el caso de suelos que no son marcadamente agrícolas, hay que considerar más detalladamente la relación costo-beneficio pues la inversión puede resultar más alta en drenaje o control de erosión, por lo cual en muchas ocasiones conviene designarlos a actividades pecuarias o forestales en la que se tiene mayor seguridad de conservar el recurso¹⁵.

A continuación se describe el uso y manejo óptimo, de cada tipo de suelo presente en la zona del proyecto.

f) Leptosoles

Los Leptosoles son un recurso potencial para el pastoreo en estación húmeda y tierra forestal.

Los Leptosoles a los que aplica el calificador Réndzico^{*♦} están plantados con teca y caoba, los que están en zonas templadas están principalmente bajo bosque mixto mientras que los Leptosoles ácidos comúnmente están bajo bosque de coníferas. La erosión es la mayor amenaza en las áreas de Leptosol, particularmente en regiones montañosas de zonas templadas donde el crecimiento poblacional, la sobreexplotación y creciente contaminación ambiental llevan al deterioro de bosques y amenazan grandes áreas de Leptosoles.

Los Leptosoles en pendientes de colinas generalmente son más fértiles que en tierras más llanas. Uno o unos pocos buenos cultivos podrían tal vez producirse en tales pendientes pero al precio de erosión severa.

Las pendientes pronunciadas con suelos someros y pedregosos pueden transformarse en tierras cultivables a través del aterrazado, remoción manual de piedras y su utilización como frentes de terrazas. La agroforestación^{**} parece prometedora pero está todavía en una etapa experimental. El drenaje interno excesivo y la poca profundidad de muchos Leptosoles puede causar sequía aún en ambientes húmedos.

Los litosoles no son aptos para cultivos de ningún tipo y solo pueden destinarse a pastoreo. Estos son suelos brutos muy próximos a la roca madre. Apenas tienen aporte de materia orgánica porque se forman de roca madre dura.

¹⁵ Guía para la interpretación de la carta edafológica, INEGI.

*♦ Que tiene un horizonte mólico, que contiene o está inmediatamente por encima de material calcárico o roca calcárea y que contiene 40 % o más de carbonato de calcio equivalente.

** Sistema agrícola en el que se integra la producción de otros cultivos y/o la cría de animales a la plantación de árboles y arbustos



g) Regosoles

El problema principal de los Regosoles es la escasa capacidad que tienen para almacenar agua, por lo que no tendrán significancia agrícola en zonas donde la precipitación pluvial sea menor a 500 mm/año, por ejemplo en las áreas de desierto, pues con 500–1,000 mm/año de lluvia necesitan riego para una producción satisfactoria de cultivos. En la zona de riego a beneficiarse, es posible producir frutales u otras especies perennes.

La baja capacidad de retención de humedad de estos suelos obliga a aplicaciones frecuentes de agua de riego; el riego por goteo resuelve el problema. Cuando la lluvia excede 750 mm/año, todo el perfil es llevado a su capacidad de retención de agua al principio de la estación húmeda. Además de la agricultura muchos Regosoles se usan para pastoreo extensivo.

h) Phaeozems

Los Phaeozems son suelos porosos, fértiles y son excelentes tierras agrícolas, también se usan para cría de ganado y engorde, y en pasturas mejoradas. Son suelos buenos para la producción de soja, trigo, cebada y otros granos pequeños, vegetales, además producen buenos rendimientos de algodón bajo riego. La erosión eólica e hídrica son peligrosos serios.

i) Feozem

Los Feozems son suelos porosos, fértiles y son excelentes tierras agrícolas. La erosión eólica e hídrica son peligrosos serios en estos suelos. Vastas áreas de Feozems pueden usarse para cría de ganado y engorde en pasturas mejoradas. En general es apto para usos agrícolas y ganaderos, en zonas de bajas pendientes

j) Gypsisoles

Grandes áreas de Gypsisoles se usan para pastoreo extensivo. Los Gypsisoles que sólo contienen un bajo porcentaje de yeso en los primeros 30 cm pueden usarse para la producción de granos finos, algodón, alfalfa, etc. Los cultivos de secano en Gypsisoles profundos hacen uso de años de barbecho y otras técnicas de cosecha, pero raramente es muy gratificante debido a las condiciones climáticas adversas.

Los Gypsisoles en depósitos aluviales y coluviales jóvenes tienen un contenido de yeso relativamente bajo. Cuando tales suelos están en la vecindad del recurso agua, pueden ser muy productivos; muchos proyectos de riego están establecidos en tales suelos. Sin embargo, aún suelos con 25% o más de yeso podrían todavía producir excelentes rendimientos de heno, de alfalfa (10 t/ha), trigo, damasco o albaricoque, dátiles, maíz y uvas si se riegan en alta cantidad en combinación con drenaje forzado.



La agricultura bajo riego en Gypsisoles tiene el conflicto de la rápida disolución del yeso del suelo, resultando en subsidencia irregular de la superficie de la tierra, formación de cuevas en las paredes de los canales, y corrosión de estructuras de concreto.

k) Vertisoles

Grandes áreas de Vertisoles en los trópicos semiáridos están todavía sin utilizar o sólo se usan para pastoreo extensivo, cortar madera, quemar carbón y similares. Estos suelos tienen considerable potencial a través de producción de cultivos post-estación lluviosa en minifundios (mijo, sorgo, algodón y garbanzos) hasta agricultura bajo riego en pequeña escala (arroz) y gran escala (algodón, trigo, cebada, sorgo, garbanzos, lino, y caña de azúcar. El algodón se sabe que se desempeña bien en Vertisoles, según se asegura, porque el algodón tiene un sistema radicular vertical que no se daña severamente por el agrietamiento del suelo. Los cultivos forestales generalmente son menos exitosos porque las raíces de los árboles encuentran difícil establecerse en el subsuelo y se dañan cuando el suelo se expande y se contrae.

El manejo adecuado es una precondition para la producción sostenida. Las prácticas de manejo para producción de cultivos deberían dirigirse primariamente al control del agua en combinación con conservación o mejora de la fertilidad del suelo.

La fertilidad química comparativamente buena y su ocurrencia en planicies llanas extensas donde puede considerarse la recuperación y el laboreo mecánico son ventajas de los Vertisoles. Las características físicas del suelo y, notablemente, su difícil manejo del agua causan problemas.

La textura del suelo pesada y el predominio de minerales de arcilla expandibles resulta en rango de humedad del suelo restringido entre stress hídrico y exceso de agua. La labranza se obstaculiza por la adhesividad cuando el suelo está mojado y dureza cuando está seco. La susceptibilidad de los Vertisoles al anegamiento^{*♦} puede ser el único factor más importante que reduce el período de crecimiento real. El exceso de agua en la estación lluviosa debe almacenarse para su uso post-estación lluviosa (cosecha de agua) en Vertisoles con velocidad de infiltración muy lenta.

Una compensación por la característica de expansión-contracción es el fenómeno de self mulching^{*} que es común en muchos Vertisoles. Los terrones grandes producidos por las labores primarias se rompen con el secado gradual en agregados finos, los que proporcionan una cama de siembra pasable con un esfuerzo mínimo. Por la misma razón, la

*♦ Inundación de un terreno agrícola ya sea por un aumento del nivel freático (capa superior del agua subterránea) o por una irrigación excesiva, apelmaza el suelo, deja las raíces sin oxígeno y contribuye a la salinización.

* Es una capa de extrema aridez que se produce en los horizontes superiores del suelo y protege de la evaporación al agua contenida en los horizontes profundos.



erosión en cárcavas* en los Vertisoles sobre pastoreados, raramente es severa porque las paredes de las cárcavas rápidamente asumen un pequeño ángulo de reposo, que permite que el pasto se reestablezca más fácilmente

El lugar donde se localiza la zona de riego tiene un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano; y de acuerdo a la descripción de manejo y uso de los suelos predominantes, se observa en la figura siguiente que la zona del proyecto ubicada alrededor de la presa Huachinantla es factible en:

Uso del suelo

- Agricultura (20.5%).
- Zona urbana (1%).

Vegetación

- Selva (55%).
- Pastizal (12%).
- Palmar (6%).
- Bosque (5%).

Uso potencial de la tierra (Figura 14)

- ✓ Agrícola
 - Para la agricultura mecanizada continua (17%).
 - Para la agricultura con tracción animal continua (3%).
 - No apta para la agricultura (80%).
- ✓ Pecuario
 - Para el establecimiento de praderas cultivadas con maquinaria agrícola (17%).
 - Para el establecimiento de praderas cultivadas con tracción animal (3%).
 - Para el aprovechamiento de la vegetación natural diferente del pastizal (8%).
 - Para el aprovechamiento de la vegetación natural únicamente por el ganado caprino (62%).
 - No apta para uso pecuario (10%).

* Es una zanja producto de la erosión que generalmente sigue la pendiente máxima del terreno y constituye un cauce natural en donde se concentra y corre el agua proveniente de las lluvias. El agua que corre por la cárcava arrastra gran cantidad de partículas del suelo

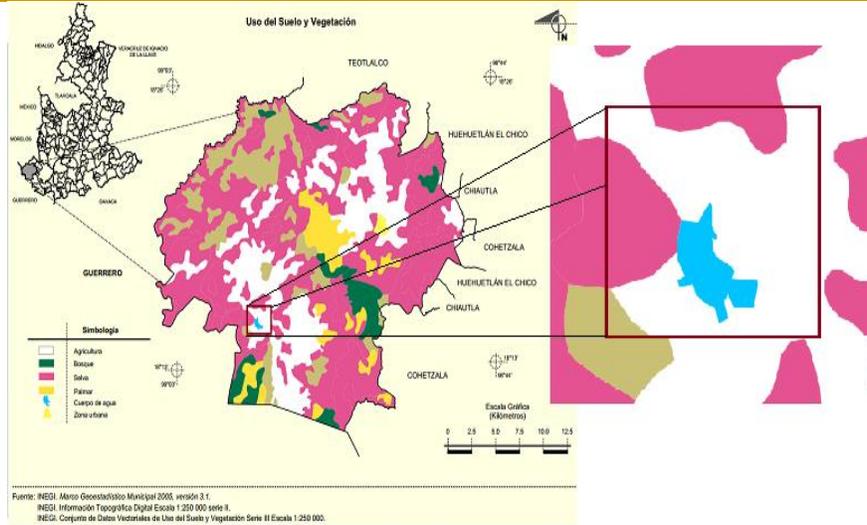


Figura 14. Tipos de uso de suelo en la región cercana a la Presa Huachinantla.

2.2.6. Zona urbana

La zona urbana está creciendo sobre rocas ígneas del Terciario, sedimentarias y suelo aluvial del Cuaternario, en sierra volcánica de laderas escarpadas; sobre áreas donde originalmente había suelo denominado Leptosol y Gypsisol; tiene clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, y está creciendo sobre terrenos previamente ocupados por agricultura y selva.

2.3. Uso Consuntivo

El objetivo primario y esencial de la agricultura es producir alimentos para la sociedad, ya sea una comunidad, una población o una ciudad entera. Para ello, dispone de cuatro elementos: la tierra, el trabajo, la energía del sol y ocasionalmente, el agua. Cualquiera de éstos que falte aún en parte, repercutirá en la producción agrícola que no logrará ser la óptima que se espera.

De acuerdo con la Ley de Aguas Nacionales en México, el agua puede tener usos consuntivos y no consuntivos; entre los primeros están el abastecimiento urbano, la agricultura, el pecuario y la industria, y entre los segundos la producción de energía eléctrica, la refrigeración de plantas industriales y centrales energéticas, la acuicultura y los caudales con fines ambientales y paisajísticos.

La mayor parte del agua consumida por el hombre se destina a usos consuntivos, a la irrigación, al ganado y al uso doméstico. La agricultura emplea más del 70% del agua utilizada en el mundo (FAO, 2002). Esta baja eficiencia, convierte a la agricultura en el sector donde se pueden adoptar los mayores cambios tecnológicos que permitan compensar



las mermas per cápita antes mencionadas. En México, el uso consuntivo mayor es el agrícola, que representa un 78% de la extracción, seguido por el uso público urbano con un 12%.

La estimación de la demanda de agua, a través de cualquier sistema de riego, depende en gran medida del conocimiento de la cantidad de agua que consumen los cultivos y del momento oportuno para aplicarla, con el objetivo de no perjudicar su rendimiento.

La cantidad de agua que las plantas transpiran es mucho mayor que la retenida (la que usan para crecimiento y fotosíntesis). En una parcela, es difícil separar la evaporación y la transpiración, cuando se habla de las necesidades de agua en los cultivos, por lo que la suma de ambos procesos se le ha denominado como evapotranspiración considerada como la más importante, ya que la planta únicamente necesita el 1% del uso consuntivo, para la construcción de sus tejidos..

Por lo tanto, el agua evapotranspirada debe reponerse periódicamente al suelo para no dañar el potencial productivo de la planta por estrés hídrico. Diversas metodologías se han propuesto para su determinación, debiendo considerarse siempre que la evapotranspiración depende, entre otros aspectos, de las condiciones climáticas, tipo y estado de desarrollo del cultivo, así como de la disponibilidad de agua del suelo.

Derivado de estos procesos en 1952, H.F. Blaney y W.D. Criddle definieron “uso consuntivo o evapotranspiración” como “la suma de los volúmenes de agua usados por el crecimiento vegetativo de una cierta área por conceptos de transpiración y formación de tejidos vegetales y evaporada desde el suelo adyacente, proveniente de la nieve o precipitación interceptada en el área en cualquier tiempo dado, dividido por la superficie del área”; en la siguiente figura se muestran los valores medios anuales de los componentes del ciclo hidrológico en México, en miles de millones de m^3 , km^3 (Figura 15).

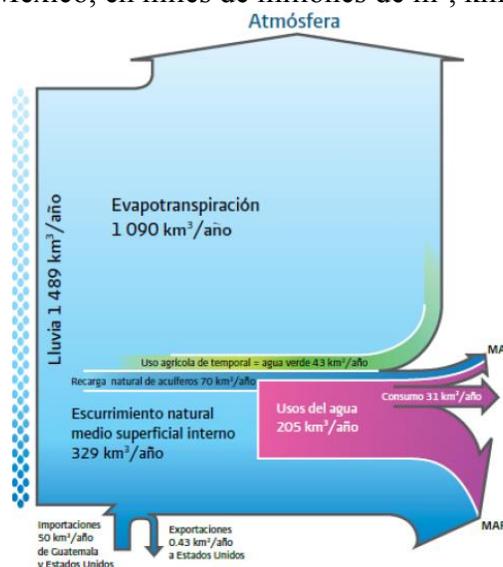


Figura 15. Componentes del ciclo hidrológico en México. (CONAGUA, 2010).

Con el método de Blaney – Criddle, se realizará el siguiente procedimiento (Figura 16):

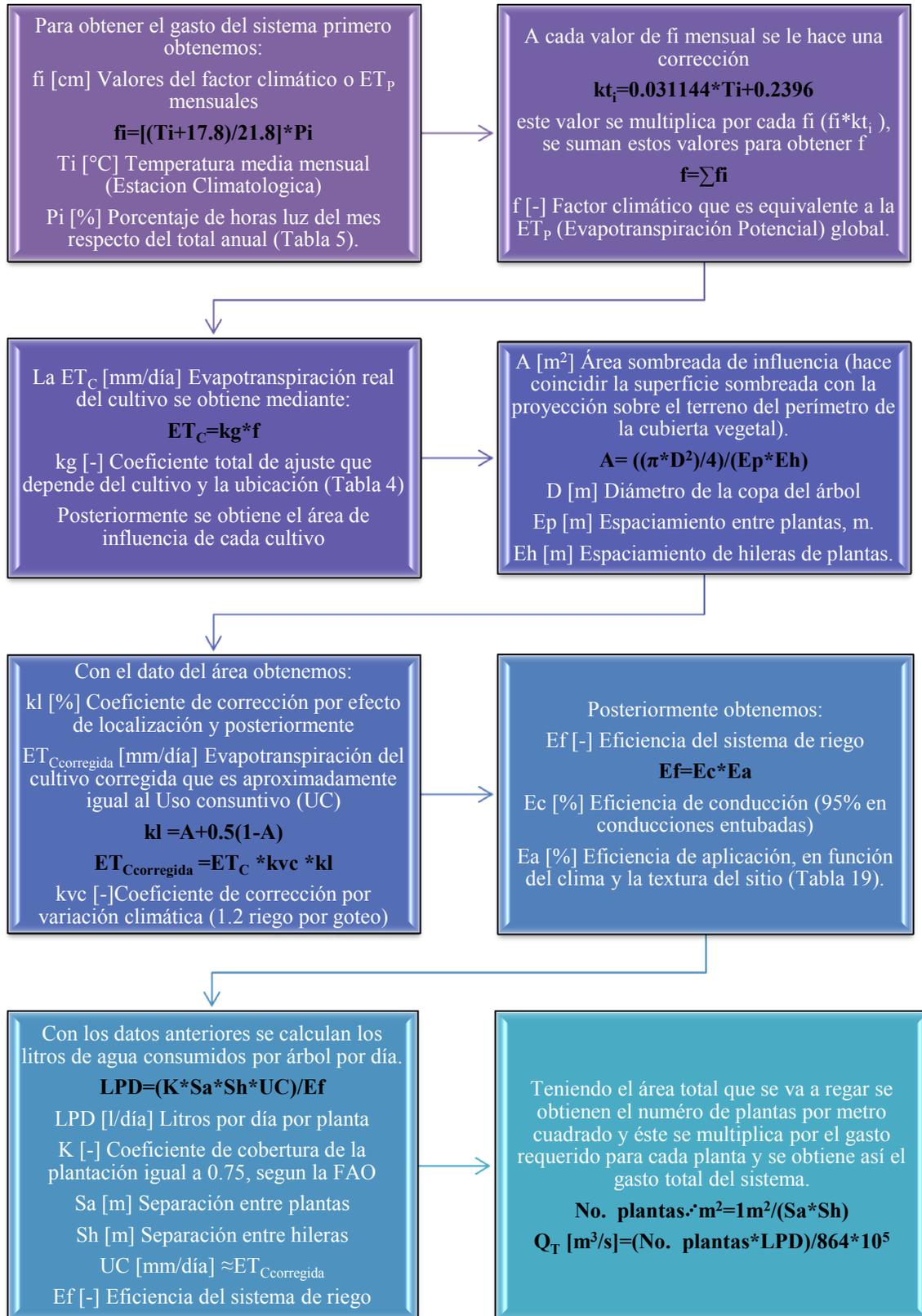


Figura 16. Procedimiento del método de Blaney – Criddle.



2.3.1. Requerimiento de riego en los cultivos

Se usaron los datos promedio diarios de la siguiente estación climatológica:

Estación No.:	21050 (Anexo 7).
Nombre:	Jolalpan.
Municipio:	Jolalpan.
Estado:	Puebla.
Latitud:	18°19'25'' N, 98°49'11'' W.
Altura:	904.0 msnm.
Periodo de datos:	1951-2010.

Para llevar a cabo el uso consuntivo y el diseño del sistema de riego se están considerando cinco cultivos anuales: frijol, lechuga, maíz, sorgo y trigo; y dos perenes: alfalfa y caña de azúcar¹⁶.

El requerimiento de riego de los cultivos (RR) o necesidades netas, se define como la suma de la evapotranspiración real corregida o evapotranspiración del cultivo corregida ($ET_{C\text{corregida}}$) menos la precipitación efectiva (Pe).

$$RR = ET_{C\text{corregida}} - Pe \quad \text{ec.1(Tabla 14)}$$

Donde:

⇒ RR [mm/día]	Requerimientos de riego.
⇒ Pe [mm/día]	Precipitación efectiva.
⇒ $ET_{C\text{corregida}}$ [mm/día]	Evapotranspiración del cultivo corregida, este valor se calcula como:

$$ET_{C\text{corregida}} = ET_C * kvc * kl \quad \text{ec.2(Tabla 11)}$$

Donde:

⇒ ET_C [mm/día]	Evapotranspiración real del cultivo.
⇒ kvc [-]	Coefficiente de corrección por variación climática (igual a 1.2 en el riego por goteo).
⇒ kl [%]	Coefficiente de corrección por efecto de localización y se obtiene mediante:

$$kl = A + 0.5(1 - A) \quad \text{ec.3(Tabla 10)}$$

Donde:

⇒ A [m ²]	Área sombreada de influencia (hace coincidir la superficie sombreada con la proyección sobre el terreno del perímetro de la cubierta vegetal) este valor se obtiene de:
-----------------------	---

¹⁶ Memoria Técnica del aprovechamiento del agua de la Presa denominada "Los Ranchitos" o "Huachinantla".



$$A = \frac{\pi * D^2}{4 * Ep * Eh} \quad ec. 4(Tabla 9)$$

Donde:

- ⇒ D [m] Diámetro de la copa del árbol.
- ⇒ Ep [m] Espaciamiento entre plantas, m.
- ⇒ Eh [m] Espaciamiento de hileras de plantas.

Para obtener la evapotranspiración real del cultivo (ET_C ec. 2), se tienen métodos directos e indirectos.

Los métodos directos proporcionan directamente el valor del consumo total del agua requerida por las plantas, para lo que se utilizan aparatos e instrumentos en su determinación; por los alcances del presente documento no son analizados.

Los métodos indirectos proporcionan un valor estimado del agua requerida a través de todo el ciclo vegetativo, mediante la aplicación de fórmulas empíricas basadas en datos climáticos.

Sin embargo para obtener el valor de ET_C en el presente trabajo se utilizará el método de Blaney-Criddle (modificado por Phelan), ambos toman en cuenta gran número de variables que permiten un cálculo más preciso de la evapotranspiración.

La ecuación de Blaney-Criddle es usada ampliamente en diversas regiones del mundo, en la que se consideran dos parámetros importantes: la temperatura media mensual y el porcentaje de horas luz mensual con relación al total anual.

Originalmente el método se diseñó para el cálculo de la ET_C durante todo el ciclo vegetativo del cultivo, mediante la siguiente ecuación:

$$ET_C = kg * f \quad ec. 5(Tabla 8)$$

Donde:

- ⇒ kg [-] Coeficiente total de ajuste que depende del cultivo y la ubicación (Tabla 4).

Tabla 4. Coeficiente kg para los cultivos del proyecto.

CULTIVO	PERÍODO DE CRECIMIENTO	COEFICIENTE GLOBAL kg
Frijol	3 a 4 meses	0.60 a 0.70
Alfalfa	Entre heladas	0.80 a 0.85
Alfalfa	En invierno	0.60
Caña de azúcar	Todo el año	0.75 a 0.80
Lechuga y Col	3 meses	0.7
Maiz	4 a 7 meses	0.75 a 0.85
Sorgo	3 a 4 meses	0.70
Trigo	4 a 7 meses	0.75 a 0.85



⇒ $f [-]$ Factor climático que es equivalente a la ET_p (Evapotranspiración Potencial) global y se obtiene mediante:

$$f = \sum_{i=1}^n f_i \quad \text{ec. 6(Tabla 7)}$$

Donde:

⇒ $f_i [cm]$ Valores del factor climático o ET_p mensuales y se calcula como:

$$f_i = \left[\frac{T_i + 17.8}{21.8} \right] * P_i \quad \text{ec. 7(Tabla 7)}$$

Donde

⇒ $T_i [^{\circ}C]$ Temperatura media mensual.

⇒ $P_i [\%]$ Porcentaje de horas luz del mes respecto del total anual (**Tabla 5**), de acuerdo con la estación climatológica Jolalpan, ubicada en la latitud $18^{\circ}19'25''$ N.

Tabla 5. Porcentaje de horas luz en el día por mes en relación a los meses del año.

LATITUD	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
15°	7.94	7.10	8.44	8.46	8.99	8.82	9.05	8.83	8.27	8.24	7.73	7.87
16°	7.90	7.08	8.43	8.47	9.02	8.86	9.09	8.86	8.27	8.22	7.70	7.83
17°	7.86	7.06	8.43	8.49	9.06	8.90	9.13	8.88	8.27	8.20	7.66	7.79
18°	7.82	7.04	8.42	8.51	9.10	8.95	9.17	8.91	8.28	8.18	7.63	7.74
19°	7.78	7.02	8.42	8.52	9.13	8.99	9.21	8.93	8.28	8.17	7.59	7.70
20°	7.74	7.00	8.41	8.54	9.17	9.03	9.25	8.96	8.28	8.15	7.56	7.65
21°	7.70	6.98	8.41	8.56	9.20	9.08	9.30	8.98	8.29	8.13	7.52	7.60
22°	7.66	6.95	8.41	8.58	9.24	9.12	9.34	9.01	8.29	8.11	7.48	7.56
23°	7.62	6.93	8.40	8.60	9.28	9.17	9.38	9.03	8.29	8.09	7.45	7.51
24°	7.57	6.91	8.40	8.61	9.32	9.22	9.42	9.06	8.30	8.07	7.41	7.46
25°	7.53	6.88	8.39	8.63	9.36	9.27	9.47	9.09	8.30	8.05	7.37	7.41

Fuente: Palacios, 1977

Este método fue modificado por J. T. Phelan, quien propuso la siguiente corrección a cada una de las (f_i) mensuales, la cual está en función de cada una de las temperaturas medias mensuales (T_i), esto se observa en la ecuación:

$$kt_i = 0.031144 * T_i + 0.2396 \quad \text{ec. 8 (Tabla 6)}$$

Tabla 6. Corrección del factor climático $kt_i [-]$.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
$T_i [^{\circ}C]$	11.2	12.8	15.7	18.2	19.5	19	17.9	17.7	17.8	15.8	13.2	11.6
$kt_i [-]$	0.588	0.638	0.729	0.806	0.847	0.831	0.797	0.791	0.794	0.732	0.651	0.601

Para conocer la ET_c de cada mes, el producto $f_i * kt_i$ se multiplica por un coeficiente mensual del cultivo del cual se trate.

Una vez que se tiene la corrección del coeficiente del factor climático, es posible determinar la evapotranspiración potencial del cultivo valor equivalente al factor climático f (Tabla 7).



Tabla 7. Factor climático mensual f_i [cm] y Factor climático equivalente a la evapotranspiración potencial f [-].

P_i [%]	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Latitud 18°	7.82	7.04	8.42	8.51	9.1	8.95	9.17	8.91	8.28	8.18	7.63	7.74
T_i [°C]	11.2	12.8	15.7	18.2	19.5	19	17.9	17.7	17.8	15.8	13.2	11.6
f_i [cm]	10.40	9.88	12.94	14.05	15.57	15.11	15.02	14.51	13.52	12.61	10.85	10.44
kt_i [°C]	0.588	0.638	0.729	0.806	0.847	0.831	0.797	0.791	0.794	0.732	0.651	0.601
$f_i * kt_i$ [cm]	6.12	6.31	9.43	11.33	13.19	12.56	11.97	11.47	10.74	9.22	7.06	6.27
$f = \sum f_i * kt_i$ [-]	115.67											

Teniendo el factor climático y con el coeficiente total de ajuste kg que depende del cultivo y la ubicación se obtiene la evapotranspiración real del cultivo (Tabla 8).

Tabla 8. Evapotranspiración real del cultivo ET_C [mm/día].

Cultivo	kg [-]	f [-]	ET_C [mm/día]
Frijol	0.650	115.67	75.1863
Lechuga	0.700	115.67	80.9698
Maíz	0.800	115.67	92.5370
Sorgo	0.700	115.67	80.9698
Trigo	0.800	115.67	92.5370
Alfalfa	0.800	115.67	92.5370
Caña de azúcar	0.775	115.67	89.6452

Para poder obtener el coeficiente de corrección por efecto de localización kl (Tabla 10), es necesario obtener primero el área de influencia del cultivo, esta es el área que hace coincidir la superficie sombreada con la proyección sobre el terreno del perímetro de la cubierta vegetal (Tabla 9).

Tabla 9. Área de influencia A [m²].

Cultivo	D [m]	E_p [m]	E_h [m]	A [m ²]
Frijol	0.10	0.125	0.8	0.0785
Lechuga	0.30	0.300	0.5	0.4712
Maíz	0.30	0.200	0.5	0.7069
Sorgo	0.05	0.150	0.8	0.0164
Trigo	0.02	0.150	0.8	0.0026
Alfalfa	0.01	0.150	0.5	0.0010
Caña de azúcar	0.08	0.200	1.0	0.0251

Tabla 10. Coeficiente de corrección por efecto de localización kl [-].

Cultivo	A [m ²]	kl [-]
Frijol	0.0785	0.5393
Lechuga	0.4712	0.7356
Maíz	0.7069	0.8534
Sorgo	0.0164	0.5082
Trigo	0.0026	0.5013
Alfalfa	0.0010	0.5005
Caña de azúcar	0.0251	0.5126



Teniendo el coeficiente de corrección por efecto de localización k_l y con el coeficiente de corrección por variación climática k_{vc} , que para el riego por goteo se tiene un valor de 1.2, obtenemos la evapotranspiración del cultivo corregida, valor con el cual se podrán obtener las necesidades netas del cultivo.

Tabla 11. Evapotranspiración del cultivo corregida $ET_{C\text{corregida}}$ [mm/día].

Cultivo	k_l [-]	k_{vc} [-]	ET_C [mm/día]	$ET_{C\text{corregida}}$ [mm/día]
Frijol	0.5393	1.2	75.1863	48.6548
Lechuga	0.7356	1.2	80.9698	71.4756
Maíz	0.8534	1.2	92.5370	94.7685
Sorgo	0.5082	1.2	80.9698	49.3768
Trigo	0.5013	1.2	92.5370	55.6675
Alfalfa	0.5005	1.2	92.5370	55.5803
Caña de azúcar	0.5126	1.2	89.6452	55.1389

2.3.2. Cálculo de los litros por día por planta

Para el cálculo de los litros de agua consumidos por un árbol o planta de cada cultivo en un día se resuelve la siguiente expresión:

$$LPD = \frac{K * Sa * Sh * UC}{Ef} \quad \text{ec. 9 (Tabla 14)}$$

Donde:

- ⇒ LPD [l/día] Litros por día por planta.
- ⇒ K [-] Coeficiente de cobertura de la plantación.
- ⇒ Sa [m] Separación entre plantas.
- ⇒ Sh [m] Separación entre hileras.
- ⇒ UC [mm/día] $\approx ET_{C\text{corregida}}$.
- ⇒ Ef [-] Eficiencia del sistema de riego.

$$Ef = Ec * Ea \quad \text{ec. 10 (Tabla 13)}$$

Donde:

- ⇒ Ec [%] Eficiencia de conducción (para las conducciones entubadas se tiene $Ec = 95\%$).
- ⇒ Ea [%] Eficiencia de aplicación, en función del clima del lugar donde se implementará el sistema de riego, así como de la textura del suelo (Tabla 12).

Tabla 12. Valores de eficiencia, aplicados a los sistemas de riego.

Clima	Profundidad de Raíces (m)	Textura			
		Muy Arenosa	Arenosa	Media	Fina
Árido	<0.75	0.85	0.90	0.95	0.95
	0.75 - 1.50	0.90	0.90	0.95	1.00
	>1.50	0.95	0.95	1.00	1.00
Húmedo	<0.75	0.75	0.80	0.85	0.90
	0.75 - 1.50	0.80	0.80	0.90	0.95
	>1.50	0.85	0.90	0.95	1.00



Tabla 13. Eficiencia del sistema de riego E_f [-].

Cultivo	E_c [%]	E_a [%]	E_f [-]
Frijol	0.95	0.8	0.76
Lechuga	0.95	0.8	0.76
Maíz	0.95	0.8	0.76
Sorgo	0.95	0.8	0.76
Trigo	0.95	0.8	0.76
Alfalfa	0.95	0.8	0.76
Caña de azúcar	0.95	0.8	0.76

En un sistema de riego por goteo¹⁷ bien operado que permite la aplicación frecuente de pequeñas cantidades de agua, pudiendo proveer una condición de baja tensión constante en la mayor parte de la zona.

La alta eficiencia en el uso del agua con este sistema, puede atribuirse al mejoramiento de la red de distribución y a la distribución del agua dentro de la zona. La evapotranspiración no se afecta bajo condiciones de cobertura total, solo en el caso de cultivos espaciados y huertos jóvenes.

El coeficiente de cobertura del cultivo K_c se utiliza para evitar que la plantación se riegue en exceso, este coeficiente es la fracción observada de la superficie del suelo que se encuentra cubierta por la vegetación y se encuentra en el rango de 0.0 a 1.0.

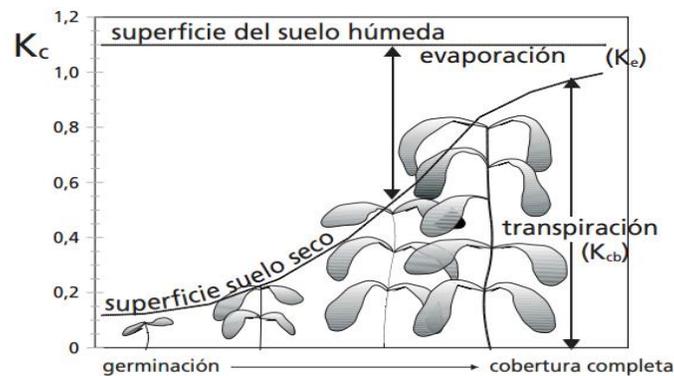


Figura 17. Coeficiente de cobertura del cultivo.

Para una gran variedad de cultivos, el estado de cobertura completa ocurre al inicio de la floración. Para cultivos en hileras, donde en las hileras se presenta comúnmente el solape entre las hojas, tales como los frijoles, remolacha azucarera, papas, maíz, etc., la cobertura efectiva completa puede ser definida como el momento cuando algunas hojas de las plantas en hileras adyacentes comienzan a solaparse, lo que produce un sombreado casi completo del suelo, o cuando las plantas casi alcanzan su tamaño máximo, en el caso que no ocurra el solape entre las hojas.

¹⁷ Metodología para la estimación del Requerimiento de Riego en base a funciones de producción. Contribución del programa de Agrometeorología. Tijerina Chávez, Leonardo. Crespo Pichardo, Guillermo. Colegio de Postgraduados 56230 Montecillo, México.



Para algunos cultivos, al inicio de la cobertura efectiva completa la fracción promedio de la superficie del suelo cubierta por la vegetación es alrededor 0,7-0,8¹⁸. Por lo tanto para efectos de este estudio se tomara un valor de K=0.75 (Tabla 14).

Tabla 14. Litros por día por planta LPD [l/día].

Cultivo	K [-]	Sa [m]	Sh [m]	U.C. [mm/día]	Ef [-]	LPD [l/día]
Frijol	0.75	0.125	0.800	48.6548	0.76	4.801
Lechuga	0.75	0.300	0.500	71.4756	0.76	10.580
Maíz	0.75	0.200	0.500	94.7685	0.76	9.352
Sorgo	0.75	0.150	0.800	49.3768	0.76	5.847
Trigo	0.75	0.150	0.800	55.6675	0.76	6.592
Alfalfa	0.75	0.150	0.500	55.5803	0.76	4.114
Caña de azúcar	0.75	0.200	1.000	55.1389	0.76	10.883

2.3.3. Caudal total del sistema de riego

El caudal total es el caudal que se manejará a la salida del cabezal o centro de control. El caudal máximo que requerirá el sistema, deberá ser menor al caudal disponible en la fuente de abastecimiento, o menor al gasto concesionado. Dado que ya se tiene la cantidad de agua diaria por planta, primero se calcula la cantidad de plantas por metro cuadrado.

$$\text{No. plantas} \cdot m^2 = \frac{1m^2}{Sa * Sh} \quad \text{ec. 11 (Tabla 15)}$$

Donde:

- ⇒ Sa [m] Separación entre plantas.
- ⇒ Sh [m] Separación entre hileras.

Tabla 15. Número de plantas por metro cuadrado.

Cultivo	Sa [m]	Sh [m]	No. Plantas/m ²
Frijol	0.125	0.8	10
Lechuga	0.300	0.5	7
Maíz	0.200	0.5	10
Sorgo	0.150	0.8	8
Trigo	0.150	0.8	8
Alfalfa	0.150	0.5	13
Caña de azúcar	0.200	1.0	5

El área total del riego es de 94.96 hectáreas (Anexo 8), y se divide en los siguientes porcentajes de área plantada para cada cultivo, tomando como base los mismos porcentajes presentes en la “Memoria Técnica del aprovechamiento del agua de la presa denominada Huachinantla”, que fue proporcionada por el municipio.

¹⁸ Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos, Richard G. Allen, et. All. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO, Roma, 2006.



Cultivo	Área plantada [m ²]	% plantado
Frijol	25666.07	2.70%
Lechuga	64165.18	6.76%
Maíz	256660.71	27.03%
Sorgo	128330.35	13.51%
Trigo	320825.88	33.78%
Alfalfa	76998.21	8.11%
Caña de azúcar	76998.21	8.11%
Total	949644.61	100%

Teniendo ahora el área para cada uno se determina en número de plantas totales y se multiplica por la cantidad de litros que requiere cada planta, obteniendo entonces el caudal total diario que requiere cada cultivo y por ende el caudal requerido en el sistema de riego (Tabla 17).

$$Q_s = \frac{LPD * No. plantas total}{86400} \quad ec. 12 (Tabla 17)$$

Donde:

- ⇒ Qs [l/s] Caudal total del sistema de riego.
- ⇒ LPD [l] Litros por día por planta.
- ⇒ ÑTP [-] Número total de plantas.

Cultivo	No. Plantas/m ²	Área plantada [m ²]	No. Plantas total	LPD [l/día/planta]	Qs [l/s]
Frijol	10	25666.07	256660.71	4.80	14.26
Lechuga	7	64165.18	427767.84	10.58	52.38
Maíz	10	256660.71	2566607.06	9.35	277.82
Sorgo	8	128330.35	1069419.61	5.85	72.37
Trigo	8	320825.88	2673549.02	6.59	203.99
Alfalfa	13	76998.21	1026642.82	4.11	48.88
Caña de azúcar	5	76998.21	384991.06	10.88	48.49
Total					718.20

Finalmente con base en los valores de la tabla 17 y el método de Blaney-Criddle, el gasto total requerido para el diseño del sistema de distribución resulto de 0.718 m³/s.



3. Diseño Hidráulico

El diseño hidráulico determina las dimensiones, componentes y verifica el correcto funcionamiento del sistema en estudio. Para nuestro caso el diseño hidráulico permitirá la obtención de los diámetros o dimensiones de las líneas de conducción y de alimentación, así también nos dará las dimensiones del cárcamo de bombeo y del tanque de regulación, y dará el número bombas, así como su capacidad, por último se revisará si el sistema en conjunto operará correctamente, todo ello tratando de cumplir con un diseño funcional y económico.

Los elementos que constituyen el Sistema de Distribución en estudio y cuyo análisis hidráulico se describe a detalle en este capítulo, son los siguientes:

1. Cárcamo (de bombeo).
2. Sistema de Bombeo.
3. Línea de Conducción (cárcamo – tanque elevado).
4. Tanque elevado.
5. Línea primaria de alimentación (red primaria de distribución que va del tanque elevado a las parcelas).

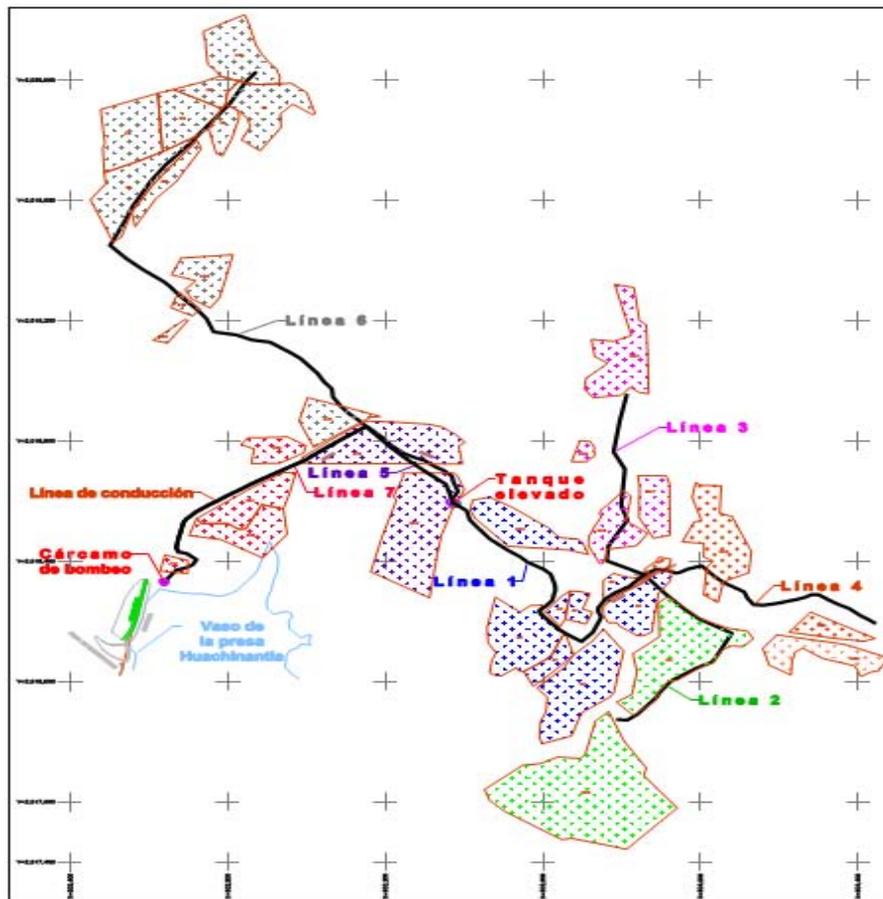


Figura 18. Sistema de distribución con parcelas.



3.1. Cárcamo

El diseño hidráulico de cárcamos de bombeo, en general puede ser realizado con base en recomendaciones de origen empírico y experimental acumuladas y probadas por instituciones de reconocida autoridad. Asimismo, la experiencia personal del proyectista en tipos específicos de cárcamos puede aportar elementos al diseño.

Un cárcamo de bombeo es una estructura vertical de forma geométrica determinada a superficie libre en donde descarga el conducto de la toma y donde se instalan las bombas cuya función es elevar el agua al nivel deseado. Generalmente consiste en un depósito enterrado construido de concreto o mampostería cuyas dimensiones están en función del tamaño del equipo que se vaya a instalar y del procedimiento empleado en su construcción. Además en su diseño se toma en cuenta la facilidad que se debe tener para su inspección, mantenimiento y limpieza periódica. Los cárcamos de bombeo se usan para impulsar todo tipo de agua (residual, pluvial, industrial, etc.) cuando:

- La cota del área de donde se capta el agua es muy baja como para drenar por gravedad a colectores existentes o en proyecto.
- Se requiere drenar a zonas situadas fuera de la cuenca vertiente.
- El bombeo disminuya los costos para instalar el alcantarillado posterior para dar servicio a una zona determinada.

3.1.1. Clasificación

Los cárcamos de bombeo se pueden clasificar de diversas formas acuerdo con:

- a) Su capacidad.

En la tabla 18 se presenta una clasificación de acuerdo con su capacidad para dos tipos de cárcamos (prefabricados y convencionales).

Tabla 18. Clasificación de los cárcamos de bombeo según su capacidad y método constructivo utilizado.

Tipo	Capacidad m ³ /s	Clase
Prefabricado	< 0.02	Eyectores neumáticos
	0.006 - 0.03	Cámara de succión
	0.006 - >0.1	Cámara seca
Convencional	0.02 - 0.09	Pequeño
	0.06 - 0.65	Mediano
	> 0.65	Grande

Fuente: Metcalf and Eddy 1985.

Los cárcamos convencionales se emplean cuando:

1. Las condiciones impiden el uso de cárcamos prefabricados.



2. La magnitud o la variación del caudal es tal que excede la capacidad manejada por las instalaciones prefabricadas.

b) El método de construcción empleado (en el sitio, prefabricados, etc.).

Los cárcamos prefabricados son suministrados en módulos que incluyen todos los equipos y componentes ya montados. En los últimos años, las instalaciones prefabricadas se han popularizado y se llega a conseguir en la actualidad instalaciones de capacidades superiores.

c) La ubicación de las bombas.

Los cárcamos de bombeo pueden poseer dos cámaras, una seca y otra húmeda. En la primera se colocan los equipos de bombeo, en tanto que en la segunda se almacena el agua. Esta combinación conforma un cárcamo seco. Para pequeños volúmenes, se usan cárcamos húmedos en los cuales el equipo de bombeo está sumergido en el agua, en tanto que el equipo eléctrico se ubica a pie del cárcamo.

1. Cárcamos secos.

Se denominan así por la presencia de una cámara seca situada adyacente a la de succión donde se alberga las bombas, la tubería de succión e impulsión y sus correspondientes válvulas. A lo largo de la pared que separa las cámaras hay un canal de drenaje que recoge y transporta las fugas que puedan producirse, así como el agua procedente del drenaje de las bombas y de la limpieza de la cámara seca, el piso de esta cámara debe tener una pendiente hacia el canal de drenaje y éste, a su vez, otra de 10 mm/m hacia el sumidero.

En cárcamos de bombeo profundos, se debe contar con un piso intermedio entre la superficie del terreno y el fondo de la cámara seca, donde se colocan los motores que accionan las bombas. En cárcamos poco profundos, los motores se colocan sobre el piso de la cámara, la cual debe ser diseñada lo suficientemente separadas para permitir la extracción de motores, bombas, tuberías y otros componentes.

2. Cárcamos húmedos.

La cámara de succión o pozo de bombeo sirve para almacenar el agua residual antes de su bombeo. Su volumen depende del tipo de bombas que se emplean, ya sean de velocidad constante o variable. Si se eligen bombas de velocidad constante, el volumen debe ser tal que evite ciclos de funcionamiento demasiado cortos, pues ello provoca una frecuencia elevada de paros y arranques.

Otras funciones de la cámara de succión son conseguir la suficiente sumergencia de los ductos de la succión de las bombas para evitar la formación de vórtices así como amortiguar la transición del caudal desde la llegada del agua a las tuberías de succión de las bombas.



Básicamente la cámara de succión consiste de un pozo de registro de dimensiones superiores a las normales. El nivel mínimo del agua se debe situar a una cota tal que no permita la entrada de aire a la tubería de succión por la formación de vórtices.

Cada bomba debe contar con una tubería de succión independiente, con el objeto de poder sacarla fuera de servicio para su mantenimiento. Por ello, se instalan válvulas de aislamiento entre la bomba, la cámara de succión, así como a continuación de la válvula de retención en la descarga. Estas válvulas normalmente son del tipo de resorte, ya que el espacio disponible en el cárcamo es limitado. En los cárcamos grandes la extracción de los equipos se realiza con grúas viajeras, mientras que en los pequeños basta con algún tipo de gancho situado sobre los componentes de gran tamaño. Las puertas deben ser de tamaño suficiente para permitir la extracción de los equipos, así como las trampas dispuestas en el suelo para la extracción de elementos situados en niveles inferiores

3. Cárcamos de bombeo con bombas sumergibles.

Se encuentran disponibles en el mercado desde hace muchos años, aunque su uso ha sido limitado por problemas de mantenimiento. Su uso se ha incrementado al incorporar un sistema de fijación que permite extraer las bombas sin afectar a la tubería de descarga, mediante guías.

Los cárcamos de este tipo existen prefabricados en placa de acero. Las válvulas pueden instalarse en la misma cámara de bombeo, pero el mantenimiento es más sencillo cuando se colocan en una cámara independiente.

d) La fuente de energía (eléctrica, motores diesel, etc.).

3.1.2. Partes constitutivas de los cárcamos de bombeo

1. Canal o tubo de llegada: Cuando el agua se capta de una fuente superficial como el mar, un lago o laguna o una corriente superficial, y el gasto a bombear es considerable, es conveniente diseñar un canal de llegada que conduzca al líquido hasta el cárcamo. La llegada puede ser por medio de un tubo, por gravedad o a presión.
2. Transición de llegada: Ya en la proximidad del cárcamo, el canal de llegada deberá adecuarse gradualmente en forma y dimensiones a la sección de entrada al cárcamo. En ocasiones, esta transición no existe.
3. Zona de control y cribado: Se necesita contar con dispositivos de control de líquido, como compuertas, para aislar el cárcamo de la fuente, en caso necesario (por ejemplo, para limpieza o mantenimiento de los componentes interiores). Además, debe cribarse el agua para evitar el paso de sólidos flotantes y de animales acuáticos.
 - Pantalla: En ocasiones, se coloca un muro vertical (pantalla o mampara) a la entrada de la zona de control y filtrado, de manera que penetre hasta una profundidad inferior al nivel de la superficie libre



- del agua. Su función principal es retener a los objetos flotantes y a los aceites que pudieran llegar hasta allí.
- Rejillas primarias: Estos elementos fijos constituyen la primera línea de protección contra la entrada de sólidos acarreados por el agua. Constan de barras con una separación considerable, ya que su función es retener a los objetos de tamaño grande.
 - Desarenador y bomba de lodos: El desarenador o trampa de arena es una cavidad en el fondo, al final de la zona de transición o al inicio de la zona de filtrado, que retiene a los sedimentos arrastrados para evitar su llegada a las bombas. La bomba de lodos extrae del desarenador los sólidos atrapados para su transporte a lugares de tiro convenientes.
 - Rejillas secundarias: Estos elementos, con aberturas menores que las rejillas primarias, retienen sólidos de tamaño pequeño (del orden de 1 cm). Debe asegurarse que el claro entre barras sea menor que el paso de esfera de las bombas. Normalmente cuentan con rastrillos mecánicos.
4. Cámara de bombeo: Es la zona inmediata a la bomba, que encauza al flujo exclusivamente a las bombas. En esta zona deben cumplirse estrictamente las condiciones hidráulicas recomendadas para el buen funcionamiento de los equipos. La mayor parte de los vórtices, tanto superficiales como sumergidos, se presentan allí. El flujo de llegada a la cámara debe ser ordenado. La cámara puede ser aislada por medio de una compuerta apoyada en una mampara para que la compuerta no sea difícil de maniobrar. Dicha mampara sirve además para inhibir vórtices superficiales.
5. Equipo de bombeo dentro del cárcamo.
- Campana de succión: Es un abocinamiento del extremo inicial de la columna de succión. Su forma es generalmente circular en planta y elíptica en corte. Su diámetro se toma como un parámetro básico para el dimensionamiento hidráulico del cárcamo.
 - Colador o pichancha: En las bombas que no tienen zona de filtrado se tiene este elemento, que sirve para evitar el paso de sólidos al interior de la bomba.
 - Válvula de retención (check): Este componente sirve para evitar el vaciado de la columna de succión e impide así el descebado de la bomba.
 - Impulsor: Es el rotor de la bomba, movido por el motor, que impulsa al líquido hacia la descarga. Es la parte, afectada severamente cuando se presenta la cavitación.

3.1.3. Dimensionamiento del cárcamo de bombeo para el proyecto

Las dimensiones básicas de la cámara de bombeo se pueden definir utilizando las recomendaciones de instituciones como: International Organization for Standardization (ISO), British Hydromechanics Research Association (BHRA), actualmente British



Hydromechanics Research Group (BHR Group Limited), American Standards Institute (ANSI), Hydraulic Institute (HI) y Japanese Standards Association (JIS).

En México para el diseño de un cárcamo es muy común utilizar la normativa del Hydraulic Institute (HI), bajo la tutela del ANSI ya que tiene una amplia aceptabilidad a nivel mundial, además de promoverse un intercambio comercial de equipos de bombeo con los Estados Unidos.

Uno de los parámetros comunes en un cárcamo es la mínima profundidad donde se ubica la campana de succión, es decir la sumergencia mínima S_{\min} , dato que normalmente se puede consultar en la curva de la bomba (dato proporcionado por el fabricante del equipo de bombeo). En el diseño del cárcamo es importante considerar la sumergencia, por ello se recomienda obtener un cálculo preliminar de S_{\min} , el HI hace referencia al trabajo experimental realizado por Hecker, el cual expresa sus resultados en función del número de Froude, proponiendo:

$$S_{\min} = D_C(1 + 2.3F) \quad \text{ec. 13}$$

Donde:

- ⇒ S_{\min} [m] Sumergencia mínima.
- ⇒ D_C [m] Diámetro de la campana de succión o entrada a la tubería de succión.
- ⇒ F [-] Número de Froude, que se calcula como:

$$F = \frac{V_C}{(gD_C)^{0.5}} \quad \text{ec. 14}$$

Donde:

- ⇒ V_C [m/s] Velocidad en la entrada de la campana de succión, que está en función del gasto (Tabla 19).
- ⇒ g [m/s²] Valor de la gravedad igual a 9.81 m/s².

Tabla 19. Velocidades recomendadas en la entrada de la campana.	
Gasto [m ³ /s]	Velocidad [m/s]
$Q < 0.315$	$0.6 \leq V_C < 2.7$
$0.315 \leq Q < 1.26$	$0.9 \leq V_C < 2.4$
$Q \geq 1.26$	$1.2 \leq V_C < 2.1$

La estimación inicial del diámetro de la campana se hará fijando la velocidad de ingreso.

A continuación se diseñará el cárcamo de bombeo, cuya finalidad será almacenar el agua proveniente de la presa Huachinantla, para abastecer al tanque elevado que tendrá como objetivo proveer y regular el gasto requerido para el riego de las parcelas ubicadas en las inmediaciones de la presa. El cárcamo de bombeo estará ubicado en la margen derecha y a 7 metros por arriba de la corona de la presa, la parte superior del cárcamo quedará ubicada en la cota 925 m, (figura 1). Las dimensiones del cárcamo bombeo se obtienen a continuación, utilizando los criterios antes expuestos.



El lugar donde quedará ubicado el cárcamo en estudio oblige a que éste tuviera una forma rectangular. El volumen con el que se diseñara el cárcamo se obtuvo en el punto 3.4.2 resultado del análisis de la tabla 40, dicho volumen resulto de 180 m^3 , sin embargo para tener un margen de seguridad se aumentó en un 5%, por lo que el volumen definitivo de diseño para el cárcamo se considerará de 190 m^3 .

Para satisfacer el volumen de diseño y el espacio donde quedará ubicado el cárcamo, se obtuvieron las siguientes dimensiones, ver (figura 19):

 L [m] Largo del cárcamo.

$$L = 6.50 \text{ [m]}$$

 b [m] Ancho del cárcamo.

$$b = 6.50 \text{ [m]}$$

 h [m] Altura del cárcamo.

$$h = 4.50 \text{ [m]}$$

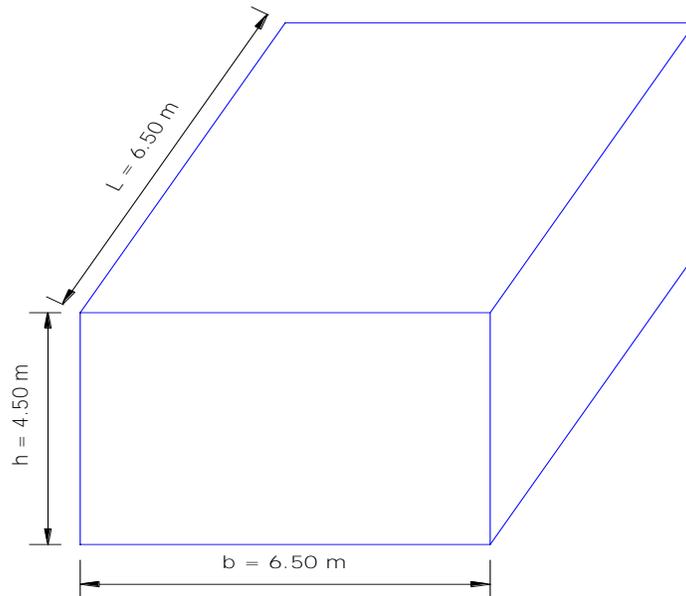


Figura 19. Dimensiones generales del cárcamo de bombeo.

Para la obtención de la velocidad de entrada a la campana de succión, se consideró el volumen de diseño requerido en una hora, por lo que se obtuvo un gasto de entrada al cárcamo de $0.05 \text{ m}^3/\text{s}$, de la tabla 19 se tiene que el valor de V_C está entre 0.6 y 2.7, se tomará que $V_C = 1.7 \text{ m/s}$, que es un valor típico de diseño, a partir del gasto y de este valor se obtiene un diámetro de campana preliminar.



$$V_C = \frac{Q}{A_C} \quad \text{ec. 15}$$

Donde

- ⇒ V_C [m/s] Velocidad en la entrada de la campana de succión $V_C = 1.7$ m/s.
- ⇒ A_C [m²] Área de la sección de la entrada de la campana.
- ⇒ Q [m³/s] Gasto que requiere el sistema.

$$A_C = \frac{\pi D_C^2}{4} \quad \text{ec. 16}$$

Donde

- ⇒ D_C [m] Diámetro de la campana de succión o entrada a la tubería de succión.

Sustituyendo la ecuación 15 en la ecuación 16 y despejando D_C se tiene:

$$D_C = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V_C}} \quad \text{ec. 17}$$

$$D_C = \sqrt{\frac{4 \left(0.05 \frac{m^3}{s}\right)}{\pi \left(1.7 \frac{m}{s}\right)}}$$

$$D_{C_{calc}} = 0.194 [m] \quad D_{C_{com}} = 219.1 [mm] \quad D_{C_{int}} = 0.209 [m]$$

Con el valor que se obtuvo de D_C se obtiene el número de Froude (ecuación 14) y S_{\min} (ecuación 13).

$$F = \frac{1.7 \frac{m}{s}}{\left(\left(9.81 \frac{m}{s^2}\right) (0.209 m)\right)^{0.5}} \quad F = 1.19$$

$$S_{\min} = (0.209 m)(1 + 2.3(1.19)) \quad S_{\min} = 0.779[m]$$

Las principales parámetros de diseño según las recomendaciones del HI para nuestro cárcamo en estudio son:

-  B [m] Distancia del eje de la campana de succión a la pared del fondo del cárcamo.

$$B = 0.75D_C = 0.16 [m]$$

-  W [m] Ancho de la bahía en la inmediata vecindad de la bomba.

$$W = 2D_C = 0.42 [m]$$



 w [m] Distancia del eje de la campana de succión a la pared lateral del cárcamo.

$$w = W/2 = 0.21 \text{ [m]}$$

 L [m] Longitud total de la cámara de bombeo, está en función del gasto para $Q = 50 \text{ l/s}$, de la figura 20 se tiene:

$$L = 1.60 \text{ [m]}$$

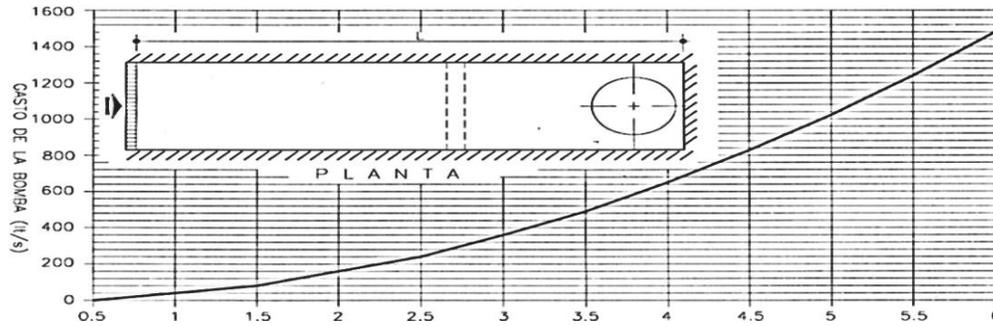


Figura 20. Longitud total de la cámara de bombeo (H.I.).

En las figuras 21 y 22 se presenta el diseño del cárcamo en estudio visto en planta y en corte transversal, junto con sus dimensiones y parámetros.

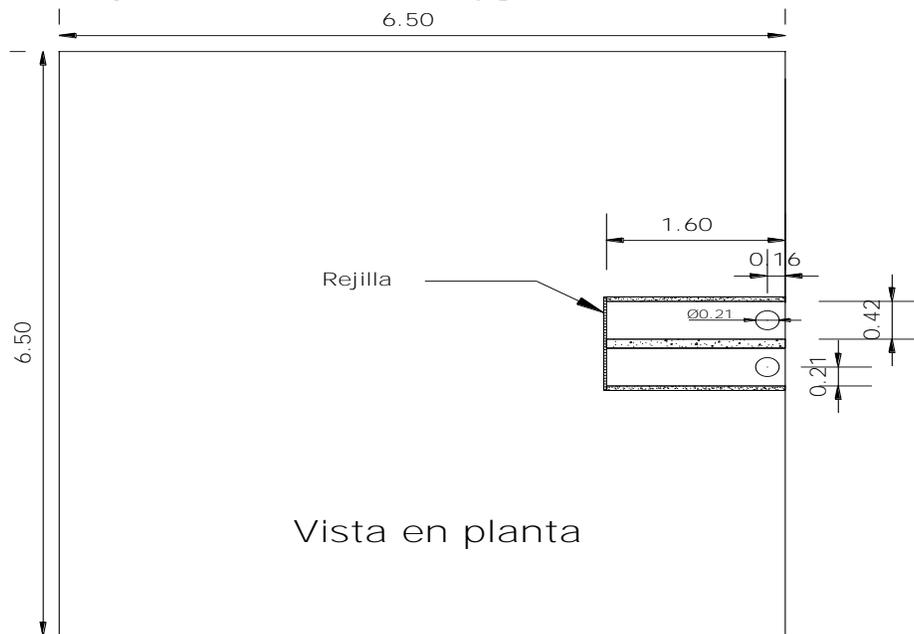


Figura 21. Dimensiones en planta del cárcamo de bombeo.

 C [m] Separación de la campana de succión del piso del cárcamo.

$$C = 0.5D_C = 0.11 \text{ [m]}$$



H [m] Mínimo tirante dentro del cárcamo.

$$H = S + C = 0.88 \text{ [m]}$$

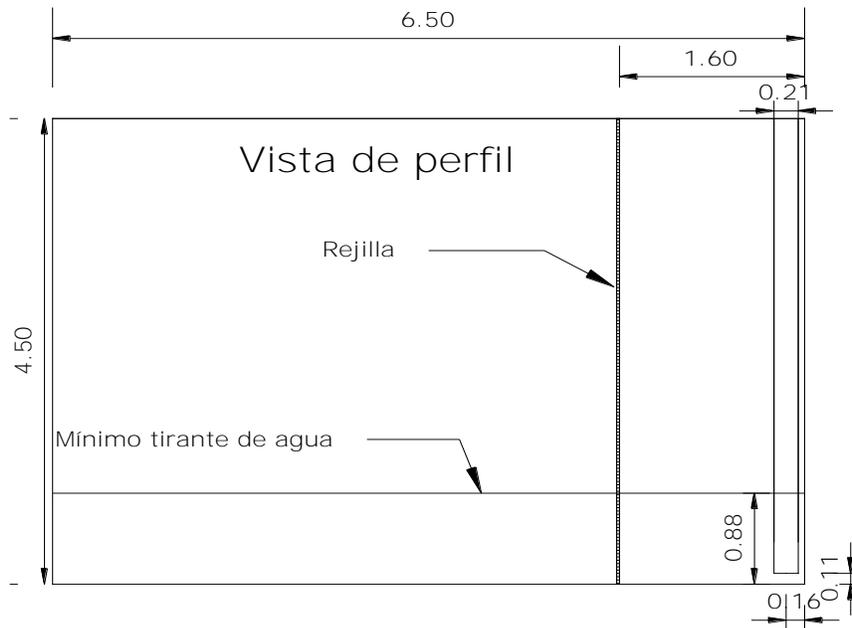


Figura 22. Dimensiones en perfil del cárcamo de bombeo.

3.2. Sistema de Bombeo

Un sistema de bombeo es el conjunto de motor eléctrico, bomba y conductos que se instalan para la extracción y manejo del agua. Representan el costo de energía más alto y por lo tanto ofrecen una de las oportunidades más directas para reducir el uso de energía y los costos de operación. Para hacer eficiente un sistema de bombeo se recomienda realizar las siguientes medidas:

- ✓ Cambiar el equipo por un equipo de bombeo de alta eficiencia.
- ✓ Colocar variadores de velocidad.
- ✓ Optimizar el tren de descarga de la bomba.
- ✓ Cambiar el diámetro de tubería al óptimo para reducir las pérdidas por fricción.
- ✓ Una apropiada selección de la capacidad y tamaño del equipo de bombeo de acuerdo a los requerimientos del sistema.

El cálculo del sistema de bombeo requiere de dos pasos previos, del cálculo del caudal de bombeo y de la carga dinámica total de bombeo.



Cabe mencionar que el sistema de bombeo, además consiste en un conjunto de elementos que permiten el transporte a través de tuberías y el almacenamiento temporal del líquido, de manera que se cumpla con las especificaciones de gasto y presión necesarias en los diferentes sistemas y procesos. Además de los tanques de almacenamiento y bombas, el sistema requiere de conductos que enlazan los puntos de origen y destino, así como de accesorios para la regulación y control (válvulas, equipos de medición, dispositivos de control, etc.).

Las principales componentes hidráulicas de un sistema de bombeo son:

- Tanque de succión, cárcamo.
- Tubería de succión.
- Casa de máquinas, en la cual se encuentran: válvula de seccionamiento de la línea de succión, bombas, válvula de control, válvula de seccionamiento de la línea de descarga, etc.
- Tubería de descarga.
- Dispositivos de control del transitorio hidráulico: cámara de aire, válvula de admisión y expulsión de aire.
- Válvula de desfogue.
- Tanque de entrega.

El diseño de la bomba o de las bombas para nuestro proyecto o sea la obtención de su potencia hidráulica y la revisión por cavitación se presenta a continuación.

3.2.1. Potencia hidráulica de bombeo.

Para nuestro proyecto es necesario llevar el agua del cárcamo de bombeo, ubicado al pie del vaso de la presa Huachinantla, hasta el tanque elevado que estará localizado 80 metros por arriba del nivel del cárcamo en la cota 1005 m, para lograrlo se colocara una o más bombas verticales.

La potencia hidráulica de la bomba o de las bombas que el sistema va a requerir, se debe calcular con base en la carga total que el sistema de bombeo tendrá que vencer, es decir la energía requerida para impulsar el líquido desde el nivel de succión hasta el nivel de descarga. Dicho carga se obtiene a continuación.

$$H = H_E + h_{f_s} + h_{f_d} \quad ec. 18$$

Donde

- | | |
|-----------------|---|
| ⇒ H [m] | Carga total o carga dinámica que proporciona la bomba. |
| ⇒ H_E [m] | Carga estática total. |
| ⇒ h_{f_s} [m] | Pérdida de carga en el tramo de succión (pérdidas por fricción y locales). |
| ⇒ h_{f_d} [m] | Pérdida de carga en el tramo de descarga (pérdidas por fricción y locales). |



Dado que la bomba se localiza en la cota 925 m (toma) y el tanque elevado (descarga) se desplanta en la cota 1000 m, teniendo el nivel del agua en la cota 1005 m, por lo tanto la carga estática es:

$$H_E = H_T - H_D \quad ec. 19$$

Donde

- ⇒ H_T [m] Cota de la toma.
- ⇒ H_D [m] Cota de la descarga.

$$H_E = 1005 \text{ m} - 925 \text{ m} \qquad H_E = 80 \text{ m}$$

Sustituyendo en la ecuación 18 el valor de la carga estática y de las pérdidas de la succión y la descarga que se obtienen en el punto 3.3.5 (tabla 34), obtenemos la carga total de bombeo:

$$H = 80 \text{ m} + 9.35 \text{ m} + 0.077 \text{ m} \qquad H = 89.43 \text{ [m]}$$

Finalmente la potencia hidráulica se obtendrá con la siguiente expresión, considerando un gasto de $0.05 \text{ m}^3/\text{s}$, el cual se obtuvo a partir de la tabla 40 del punto 3.4.

$$P_H = \rho g Q H \quad ec. 20$$

Donde:

- ⇒ P_H [KW] Potencia hidráulica.
- ⇒ g [m/s^2] Valor de la gravedad $g = 9.81 \text{ m}/\text{s}^2$.
- ⇒ ρ [kg/m^3] Valor de la densidad del agua $\rho = 1000 \text{ kg}/\text{m}^3$.
- ⇒ H [m] Carga de la bomba.

$$P_H = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0.05 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 89.43 \text{ m}$$

$$P_H = 43.86 \text{ KW} = 58.80 \text{ HP}$$

Debido a que se necesita una potencia muy grande para el sistema, se ha decidido utilizar dos bombas verticales, las cuales se colocaran en paralelo, teniendo entonces cada una, la potencia siguiente:

$$P_H = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * \frac{0.025 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{2} * 89.43 \text{ m} = 21.93 \text{ KW} = 29.40 \text{ HP}$$

3.2.2. Presión atmosférica y de vapor

A continuación se calculará la presión atmosférica en m.c.a. y de vapor. Dichos valores serán empleados posteriormente para la revisión por cavitación.

$$P_{ATM} = P_0 (1 - 2.26 * 10^{-5} * Z)^{5.256} \quad ec. 21$$

Donde:

- ⇒ P_{ATM} [kPa] Presión atmosférica del lugar.
- ⇒ P_0 [kPa] Presión atmosférica a nivel del mar $P_0 = 101.3 \text{ kPa}$.



⇒ Z [m] Altitud sobre el nivel del mar.

$$P_{ATM} = 101.3 \text{ kPa} (1 - 2.26 * 10^{-5} * 925 \text{ m})^{5.256}$$

$$P_{ATM} = 90.654 \text{ kPa} = 9.241 \text{ m. c. a}$$

Considerando una temperatura promedio de 20°C y de acuerdo a la tabla 20 se obtiene la presión de vapor.

$$P_V = 2.34 * 10^3 \text{ Pa} = 0.239 \text{ m}$$

Donde:

⇒ P_V [Pa] Presión de vapor.

Tabla 20. Propiedades del agua, (Potter, 1998).

Temperatura	Densidad	Peso específico	Viscosidad	Viscosidad cinemática	Tensión superficial	Presión de vapor (absoluta)	Módulo de elasticidad volumétrico
T	ρ	γ	μ	ν	σ	P _v	E _v
° C	kg/m ³	kN/m ³	N s/m ²	m ² /s	N/m	Pa	Pa
0	999.9	9.809	1.792×10 ⁻³	1.792×10 ⁻⁶	7.62×10 ⁻²	6.10×10 ²	2.04×10 ⁹
5	1000	9.810	1.519×10 ⁻³	1.519×10 ⁻⁶	7.54×10 ⁻²	8.722×10 ²	2.06×10 ⁹
10	999.7	9.807	1.308×10 ⁻³	1.308×10 ⁻⁶	7.48×10 ⁻²	1.23×10 ³	2.11×10 ⁹
15	999.1	9.801	1.14×10 ⁻³	1.14×10 ⁻⁶	7.41×10 ⁻²	1.7×10 ³	2.14×10 ⁹
20	998.2	9.792	1.005×10 ⁻³	1×10 ⁻⁶	7.36×10 ⁻²	2.34×10 ³	2.20×10 ⁹
25	997	9.781	8.91×10 ⁻⁴	8.94×10 ⁻⁷	7.26×10 ⁻²	3.17×10 ³	2.22×10 ⁹
30	995.7	9.768	8.01×10 ⁻⁴	8.04×10 ⁻⁷	7.18×10 ⁻²	4.24×10 ³	2.23×10 ⁹
40	992.2	9.733	6.56×10 ⁻⁴	6.61×10 ⁻⁷	7.01×10 ⁻²	7.38×10 ³	2.27×10 ⁹
50	988.1	9.693	5.49×10 ⁻⁴	5.56×10 ⁻⁷	6.82×10 ⁻²	12.3×10 ³	2.30×10 ⁹
60	983.2	9.645	4.69×10 ⁻⁴	4.77×10 ⁻⁷	6.68×10 ⁻²	19.9×10 ³	2.28×10 ⁹
70	977.8	9.592	4.06×10 ⁻⁴	4.15×10 ⁻⁷	6.50×10 ⁻²	31.2×10 ³	2.25×10 ⁹
80	971.8	9.553	3.57×10 ⁻⁴	3.67×10 ⁻⁷	6.30×10 ⁻²	47.3×10 ³	2.21×10 ⁹
90	965.3	9.470	3.17×10 ⁻⁴	3.28×10 ⁻⁷	6.12×10 ⁻²	70.1×10 ³	2.16×10 ⁹
100	958.4	9.402	2.84×10 ⁻⁴	2.96×10 ⁻⁷	5.94×10 ⁻²	101.3×10 ³	2.07×10 ⁹

NOTAS: 1) Para determinar $\gamma = \rho g$, se consideró $g = 9.81 \text{ m/s}^2$
 2) La tensión superficial es para agua-aire

3.2.3. Revisión por cavitación.

Para la obtención del nivel Δz mínimo (que representa el desnivel entre el ojo del impulsor y el nivel máximo de agua en el cárcamo) o para hacer la revisión por cavitación se propondrán tres velocidades angulares de diseño: N=3600, 1800 y 1200 rpm.

El valor de (CSPN)_{3%} para las tres velocidades antes mencionadas se obtuvo con la ecuación 23 utilizando el criterio del Hydraulic Institute (HI), para la obtención del valor de (ns)_s ecuación 22. Los resultados de (CSPN)_{3%} se presentan en la tabla 21.

$$(ns)_s = \frac{N\sqrt{Q}}{3H^{\frac{3}{4}}} = 8500 \quad \text{ec. 22}$$



Donde:

- ⇒ $(n_s)s$ [-] Velocidad específica de succión.
- ⇒ N [rpm] Velocidad de giro.
- ⇒ Q [gpm] Gasto del sistema.
- ⇒ H [ft] Carga de la bomba.

$$(CSPN)_{3\%} = \left(\frac{N\sqrt{Q}}{(n_s)s} \right)^{\frac{4}{3}} \quad ec. 23$$

Donde:

- ⇒ $(CSPN)_{3\%}$ [m] Carga de succión positiva neta.
- ⇒ N [rpm] Velocidad de giro.
- ⇒ Q [gpm] Gasto del sistema.
- ⇒ $(n_s)s$ [-] Velocidad específica de succión, $(n_s)s=8500$.

Tabla 21. Carga de succión positiva neta.	
N [rpm]	$(CSPN)_{3\%}$ [m]
3600	27.24
1800	10.81
1200	6.30

Posteriormente empleando el criterio de Bloch para un arreglo con impulsor entre chumaceras, se obtiene el diámetro del impulsor

$$D_{oi} = 0.75D_s \quad ec. 24$$

Donde:

- ⇒ D_{oi} [m] Diámetro del ojo del impulsor.
- ⇒ D_s [m] Diámetro en la succión.

$$D_{oi} = 0.75(0.3 \text{ m})$$

$$D_{oi} = 0.225 \text{ m}$$

En este prediseño, es necesario obtener el valor de la energía de succión SE para una bomba vertical, utilizando la siguiente ecuación.

$$SE = D_{oi} * N * (n_s)s * \delta \quad ec. 25$$

Donde:

- ⇒ SE [-] Energía de succión.
- ⇒ D_{oi} [in] Diámetro del ojo del impulsor.
- ⇒ N [rpm] Velocidad de giro, $N=3600, 1800$ y 1200 rpm.
- ⇒ $(n_s)s$ [-] Velocidad específica de succión, $(n_s)s=8500$.
- ⇒ δ [-] Densidad relativa del agua, $\delta=1$.

Una vez obtenido el valor de la energía de succión se clasifica de acuerdo con Budris.



Tabla 22. Clasificación de la energía de succión SE (Budris, 2006).

Tipo de bomba	Baja	Alta	Muy alta
Impulsor en cantiliver	$SE < 160 \times 10^6$	$160 \times 10^6 \leq SE < 240 \times 10^6$	$SE \geq 240 \times 10^6$
Impulsor con carcasa bipartida (entre chumaceras)	$SE < 120 \times 10^6$	$120 \times 10^6 \leq SE < 180 \times 10^6$	$SE \geq 180 \times 10^6$
Bomba vertical	$SE < 200 \times 10^6$	$200 \times 10^6 \leq SE < 300 \times 10^6$	$SE \geq 300 \times 10^6$

Tabla 23. Energía de succión.

N [rpm]	SE	Clasificación
3600	2.71E+08	Alta
1800	1.35E+08	Baja
1200	9.02E+07	Baja

En función de cada valor de energía de succión (SE) se determina un valor para el coeficiente de seguridad f_c , de acuerdo con las recomendaciones del HI mostrados en la tabla siguiente.

Tabla 24. Valores mínimos de f_c , en función de SE (HI, 1998).

SE	f_c
Baja	1.1 a 1.3
Alta	1.3 a 2.0
Muy alta	2.0 a 2.5

Tabla 25. Valor del coeficiente de seguridad f_c .

N [rpm]	Clasificación	f_c
3600	Alta	1.3
1800	Baja	1.3
1200	Baja	1.1

Con los valores de P_{atm} , P_v , f_c y $(CSPN)_{3\%}$ antes obtenidos se calcula el valor de Δz , con la ecuación 26. En la tabla 26 se presentan los valores de Δz y cota del nivel en el cárcamo para evitar que se presenta cavitación.

$$\left(\frac{P_{ATM} - P_V}{\rho g} + \Delta z - h_{TS} \right) \geq f_c (CSPN)_{3\%} \quad ec. 26$$

Donde:

- ⇒ P_{ATM} [kPa] Presión atmosférica del lugar.
- ⇒ P_V [kPa] Presión de vapor.
- ⇒ g [m/s²] Valor de la gravedad $g = 9.81 \text{ m/s}^2$.
- ⇒ ρ [kg/m³] Valor de la densidad del agua $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$.
- ⇒ Δz [m] Nivel mínimo del agua, para evitar la cavitación.
- ⇒ h_{TS} [m] Pérdidas totales (fricción y locales) en la succión.
- ⇒ f_c [-] Coeficiente de seguridad.
- ⇒ $(CSPN)_{3\%}$ [m] Carga de succión positiva neta.



Despejando la ecuación anterior se tiene:

$$\Delta z \geq fc(CSPN)_{3\%} - \frac{P_{ATM} - P_V}{\rho g} + h_{Ts} \quad ec. 27$$

Tabla 26. Nivel mínimo del agua Δz .

N [rpm]	(CSPN) _{3%}	fc	fc(CSPN) _{3%}	Δz [m]	Cota del nivel de agua [m]
3600	27.24	1.3	35.41	26.49	898.36
1800	10.81	1.3	11.89	2.97	921.88
1200	6.30	1.1	6.93	-2.00	922.85

Con base en la tabla 26 y analizando los valores de cota del nivel de agua del impulsor, se concluye que las dos bombas verticales que se emplearan trabajaran con una velocidad de 1200 rpm y tendrán un impulsor de tipo radial, la justificación del tipo de impulsor se presenta en las tablas 27 y 28. Para el cálculo de los valores de la tabla 26 se consideró un nivel mínimo almacenamiento en el cárcamo con una cota de 924.85m.

Tabla 27. Tipo de flujo de las bombas.

Tipo	n_s
Radial	$500 < n_s < 1500$
Mixto	$1500 < n_s < 9000$
Axial	$9000 < n_s < 15000$

Tabla 28. Velocidad específica y tipo de impulsor.

N [rpm]	N_s	Tipo de impulsor
3600	1429.66	Radial
1800	714.83	Radial
1200	476.55	Radial

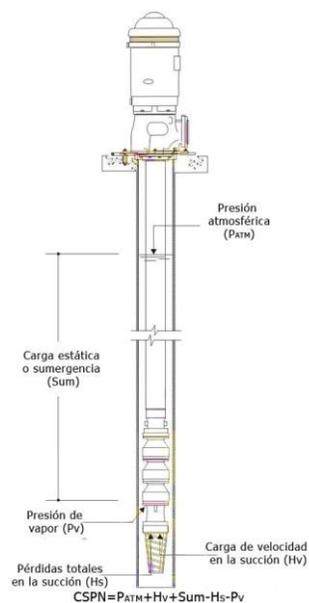


Figura 23. Esquema de una bomba vertical.



3.3. Línea de conducción

La línea de conducción es la tubería que conduce el agua del cárcamo de bombeo al tanque con ayuda de dos bombas verticales de flujo radial en paralelo, el diseño de dicha línea o sea la determinación de su diámetro, se muestra a continuación, cabe mencionar que este trabajo es un estudio preliminar por lo que el estudio por cavitación se realizará en un trabajo posterior..

3.3.1. Descarga

La determinación del diámetro para la línea que va de la salida de las bombas al tanque elevado se obtuvo considerando una velocidad de diseño de 1.5 m/s ¹⁹, dicha velocidad permitirá controlar el golpe de ariete que se pueda presentar en el sistema de bombeo. Debido a que esta conducción presenta una longitud de 1221 m, se debe efectuar el estudio del diámetro más económico. Uno de los criterios utilizados para esta determinación es el de Bresse, que es el criterio que fue utilizado para la obtención del diámetro de la línea. A continuación se presenta la obtención de dicho diámetro.

- ❖ Para instalaciones que sean operadas de manera continua, Bresse propone las siguientes expresiones:

$$D_{calc} = K\sqrt{Q} \quad \text{ec. 28}$$

Donde:

- ⇒ D [m] Diámetro de la tubería de descarga.
- ⇒ K [-] Coeficiente para una operación continua, $0.7 < K < 1.6$, se recomienda utilizar $K \approx 1.2$.
- ⇒ Q [m^3/s] Caudal suministrado al tanque.

- ❖ Para instalaciones no operadas de manera continua:

$$D_{calc} = 1.3X^{\frac{1}{4}}\sqrt{Q} \quad \text{ec. 29}$$

Donde:

- ⇒ D [m] Diámetro de la tubería de descarga.
- ⇒ X [-] Número de horas de bombeo por día dividido entre 24.
- ⇒ Q [m^3/s] Caudal suministrado al tanque.

Como el diámetro de la línea de conducción tiene una estrecha relación con el número de horas de bombeo se utilizará la ecuación 29 para la determinación del diámetro. El número de horas de bombeo que se utilizó fue de 9 horas, éste tiempo es el número total de horas que trabajara el sistema de bombeo en 24 horas, el cálculo del tiempo de bombeo se muestra en la tabla 40 del punto 3.4, y el gasto que conducirá la línea es de $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$ el cual se obtuvo a partir de la misma tabla. A continuación se presenta el diámetro.

¹⁹López Cualla, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. 2da edición. Alfaomega 1998, México DF. Página 127.



$$D_{calc} = 1.3 \left(\frac{9}{24} \right)^{\frac{1}{4}} \sqrt{0.05 \frac{m^3}{s}}$$

$$D_{calc} = 0.227 \text{ m} \quad D_{com} = 250 \text{ mm} \quad D_{int} = 0.238 \text{ m}$$

3.3.2. Succión

La succión es la etapa más crítica en el bombeo, sobre todo en el caso de tener succión negativa, ya que cualquier entrada de aire ocasionará problemas en el bombeo.

El diámetro de la tubería de succión nunca debe ser inferior al diámetro de la tubería de descarga ni tampoco inferior al diámetro del orificio de entrada de la tubería de succión a la bomba. Se recomienda utilizar el diámetro comercial inmediatamente superior al de la tubería de descarga. La velocidad del agua en esta tubería debe estar comprendida entre 0.6 y 0.9 m/s²⁰. Se debe procurar diseñar esta tubería lo más recta posible, evitando codos y uniones T horizontales.

Sí el diámetro obtenido en la descarga es:

$$D_{com d} = 250 \text{ mm} \quad D_{int d} = 0.238 \text{ m}$$

Entonces el diámetro comercial inmediato superior para la succión es:

$$D_{com s} = 315 \text{ mm} \quad D_{int s} = 0.300 \text{ m}$$

3.3.3. Calculo de las pérdidas por fricción de la línea de conducción

A continuación se obtienen las pérdidas por fricción con la fórmula de Darcy – Weisbach (ecuación 21), para la rama de succión y de descarga de la línea de conducción, tabla 30.

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad ec. 30$$

Donde:

- ⇒ hf [m] Pérdidas totales por fricción.
- ⇒ L [m] Longitud de la tubería.
- ⇒ D [m] Diámetro interno de la tubería.
- ⇒ V [m/s] Velocidad en la tubería, V_d = 1.5 m/s, V_s = 0.6 m/s.
- ⇒ g [m/s²] Valor de la gravedad g = 9.81 m/s².
- ⇒ f [-] Coeficiente de fricción, obtenido del diagrama de Moody (Anexo 10).

$$f: f(Re, e_R)$$

²⁰ López Cualla, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. 2da edición. Alfaomega 1998, México DF. Página 126.



Donde:

- ⇒ Re [-] Número de Reynolds.
- ⇒ e_R [-] Rugosidad relativa.

Con el diámetro obtenido de cada línea y utilizando las ecuaciones 22 y 23, se determina el número de Reynolds y la rugosidad relativa respectivamente, valores que permitirán encontrar el coeficiente de fricción (Tabla 30) en el diagrama de Moody (Anexo 4).

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad ec. 31$$

Donde:

- ⇒ D [m] Diámetro interno de la tubería.
- ⇒ V [m/s] Velocidad en la tubería, $V_d = 1.5$ m/s, $V_s = 0.6$ m/s.
- ⇒ ν [m²/s] Viscosidad cinemática del agua, considerando una temperatura promedio de 20°C, se tiene 1×10^{-6} m²/s (Tabla 20).

$$e_R = \frac{\varepsilon}{D} \quad ec. 32$$

Donde:

- ⇒ D [m] Diámetro interno de la tubería.
- ⇒ ε [-] Rugosidad absoluta del material, en este caso se utilizara PVC, por lo tanto $\varepsilon = 0.0015$ mm (Tabla 29).

Tabla 29. Rugosidad absoluta de algunos materiales.

RUGOSIDAD ABSOLUTA DE MATERIALES			
Material	ε (mm)	Material	ε (mm)
Plástico (PE, PVC)	0,0015	Fundición asfaltada	0,06-0,18
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,01	Fundición	0,12-0,60
Tubos estirados de acero	0,0024	Acero comercial y soldado	0,03-0,09
Tubos de latón o cobre	0,0015	Hierro forjado	0,03-0,09
Fundición revestida de cemento	0,0024	Hierro galvanizado	0,06-0,24
Fundición con revestimiento bituminoso	0,0024	Madera	0,18-0,90
Fundición centrifugada	0,003	Hormigón	0,3-3,0

En la siguiente tabla se muestra el valor del coeficiente de fricción

Tabla 30. Coeficiente de fricción.					
Línea	Gasto [m ³ /s]	D_{Int} [m]	Re [-]	e_R [-]	f[-]
Descarga	0.05	0.238	4.04E+05	0.000006	0.0145
Succión	0.05	0.300	5.09E+05	0.000005	0.0140

Sustituyendo en la ecuación 21 el valor obtenido en la tabla anterior del coeficiente de fricción obtenemos las perdidas por fricción (Tabla 32).



Línea	Longitud del tramo [m]	D _{int} [m]	hf [m]
Descarga	1.9	0.238	8.538
Succión	1221	0.300	0.002

3.3.4. Cálculo de las pérdidas locales de la línea de conducción.

A continuación se obtienen las pérdidas por locales o por accesorios de la rama de descarga y de succión de la línea de conducción, tabla 33.

Tanto para los ramales de succión y descarga se cuantificaron los siguientes accesorios.

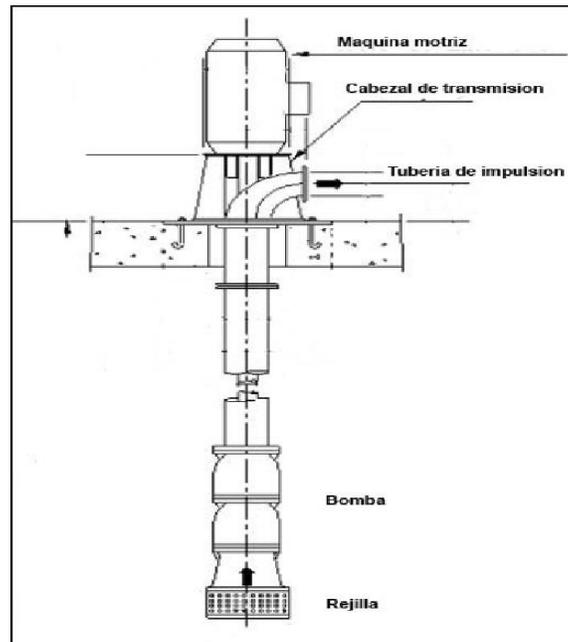


Figura 24. Esquema de la bomba vertical.

Línea	Codos 45°	Codos 90°	Válvula check	Válvula de pie	Válvula de compuerta	Ampliación	Reducción
Descarga	6	2	1	0	1	1	0
Succión	0	1	0	1	0	0	1
Total	6	3	1	1	1	1	1

De acuerdo a los accesorios especificados en la tabla anterior y utilizando la ecuación 24 se obtienen las pérdidas locales (Tabla 33).

$$h_L = k \frac{V^2}{2g} \quad \text{ec. 33}$$

Donde:

⇒ h_L [m] Pérdidas totales por accesorio.



- ⇒ V [m/s] Velocidad en la tubería, $V_d = 1.5$ m/s, $V_s = 0.6$ m/s.
- ⇒ g [m/s²] Valor de la gravedad $g = 9.81$ m/s².
- ⇒ k [-] Coeficiente que depende del tipo de accesorio.

Tabla 33. Pérdidas locales de cada línea.										
Línea	Codo 45° k=0.4	Codo 90° k=0.9	Válvula check k=2.5	Válvula de pie k=2.5	Válvula de compuerta k=2.1	Ampliación k=0.8	Reducción k=0.2	Entrada k=0.5	Salida k=1	h_L [m]
Descarga	2.4	1.8	2.5	0.0	2.1	0.8	0.0	0.0	1.0	0.801
Succión	0.0	0.9	0.0	2.5	0.0	0.0	0.2	0.5	0.0	0.075

3.3.5. Pérdidas totales de la línea de conducción.

Finalmente en la tabla 34 se presentan las pérdidas totales de la línea de conducción que se emplearon para el cálculo de la carga total de bombeo.

$$h_T = h_f + h_L \quad ec. 34$$

Donde:

- ⇒ h_T [m] Pérdidas totales incluye perdidas por fricción y por accesorio.
- ⇒ h_f [m] Pérdidas totales por fricción.
- ⇒ h_L [m] Pérdidas totales por accesorio.

Tabla 34. Pérdidas totales de cada línea.	
Línea	h_T [m]
Descarga	9.3484
Succión	0.0768

3.4. Tanque elevado

El tanque de almacenamiento y/o regulación, es la parte del sistema que recibe un gasto desde la fuente de abastecimiento para satisfacer las demandas a lo largo del día; permite el almacenamiento de un volumen de agua cuando la demanda es menor que el gasto de llegada y el agua almacenada se utiliza cuando la demanda es mayor. Generalmente esta regulación se hace por periodos de 24 horas.

Funciones de los tanques

1. Proveer una reserva de agua que minimice interrupciones por fallas en la transmisión, el bombeo u otros equipos.
2. Mantener presión uniforme, y actuar como válvula de alivio en sistemas de bombeo.



3. Extinguir incendios.
4. Proveer reserva para salvar cortes por fallas en la fuente, o en las tuberías y bombas maestras, y otras emergencias.
5. Permitir una reducción en el tamaño de las tuberías maestras al permitir flujos promedio en vez de pico.
6. Permitir que las bombas maestras empujen el gasto promedio en vez del gasto pico.

3.4.1. Clasificación de tanques²¹.

La selección del tipo de tanque depende del material disponible en la región de las condiciones topográficas y de la disponibilidad de terreno.

- Tanques enterrados.

Estos tanques se construyen bajo el nivel del suelo. Se emplean preferentemente cuando existe terreno con una cota adecuada para el funcionamiento de la red de distribución y de fácil excavación. Tienen como principal ventaja el proteger el agua de las variaciones de temperatura y una perfecta adaptación al entorno. Tienen el inconveniente de requerir importantes excavaciones tanto para el propio tanque como para todas sus instalaciones de conexión con la red de distribución y la línea de conducción además la dificultad de control de posibles filtraciones que se presenten.

- Tanques semienterrados.

Los tanques semienterrados tienen parte de su estructura bajo el nivel del terreno y parte sobre el nivel del terreno. Se emplean generalmente cuando la altura topográfica respecto al punto de alimentación es suficiente y el terreno presenta dificultad de excavación. Permite un fácil acceso a las instalaciones del propio tanque.

- Tanques superficiales.

Los tanques superficiales están contruidos sobre la superficie del terreno. La construcción de este tipo de tanques es común cuando el terreno es "duro" o conviene no perder altura y se tiene la topografía adecuada. Los tanques superficiales se sitúan en una elevación natural en la proximidad de la zona por servir de manera que la diferencia de nivel del piso del tanque con respecto al punto más alto por abastecer sea de 15 m y la diferencia de altura entre el nivel del tanque en el nivel máximo de operación y el punto más bajo por abastecer sea de 50 m.

- Tanques elevados.

Los tanques elevados son aquellos cuya base está por encima del nivel del suelo, y se sustenta a partir de una estructura. Generalmente son contruidos en localidades con

²¹ Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, "Diseño, Construcción y Operación de Tanques de Regulación para Abastecimiento de Agua Potable". CONAGUA. 2007.



topografía plana donde no se dispone en su proximidad de elevaciones naturales con altimetría apropiada. El tanque elevado se refiere a la estructura integral que consiste en el tanque, la torre y la tubería de alimentación y descarga. Para tener un máximo beneficio, los tanques elevados, generalmente con torres de 10, 15 y 20 m de altura, se localizan cerca del centro de uso. En grandes áreas se localizan varios tanques en diversos puntos. La localización central decrece las pérdidas por fricción y es importante también para poder equilibrar presiones lo más posible.

Cuando el tanque elevado se localiza en la periferia de la población, da como resultado una pérdida de carga muy alta al alcanzar el extremo opuesto más lejano por servir. En esta forma prevalecerán presiones mínimas en el extremo más alejado o presiones excesivas en el extremo más cercano al tanque. Cuando el tanque se ubica en un sitio céntrico de la población o área por servir las presiones son más uniformes tanto en los periodos de mínima como de máxima demanda. Un aspecto importante de los tanques elevados es el aspecto estético, por su propia concepción son vistos desde puntos muy lejanos. No pueden darse reglas sobre este tema salvo la de buscar su integración en el entorno o paisaje.

3.4.2. Diseño hidráulico del tanque

El tipo de tanque que se propuso para nuestro proyecto es de regulación, no del tipo de abastecimiento a una población sino para riego y se optó por que estuviera a nivel de piso.

Para el dimensionamiento del tanque o sea para la obtención del volumen requerido, primero se hizo un calendario de riego (tabla 35, en el anexo 9 se presenta más a detalle el calendario de riego), en él, se analizó la temporada en que se presentaría la mayor demanda de agua para riego, esta temporada resulto ser la del mes de junio y los cultivos que intervienen en dicho mes son la lechuga, el sorgo y el trigo. Por lo anterior el diseño del tanque estará en función del volumen requerido en esta época del año.

Tabla 35. Calendario de Riego.

		Calendario de riego de los cultivos																																															
Mes- Semana		E				F				M				A				M				J				J				A				S				O				N				D			
Cultivo		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Frijol																																																	
Lechuga																																																	
Maíz																																																	
Sorgo																																																	
Trigo																																																	
Alfalfa																																																	
Caña de azúcar																																																	

S: Siembra; R: Riego; C: Cosecha

Para los cultivos antes mencionados se obtuvo el tiempo de riego con base en la ecuación 35 y los requerimientos de agua (uso consuntivo) que se calcularon en la tabla 16, así también con ayuda del estudio agrologico y la tabla 36 (Diseño paso a paso de un sistema de riego por goteo) se eligieron 2 goteros por planta, el caudal por goteo que se empleo fue de 2.3 lts/hora que se obtuvo de la tabla 37 del Catálogo de riego por goteo de NaanDanJain.



Tabla 36. Número de goteros por árbol en riego por goteo²².

Edad del árbol	Tipo de suelo			
	Arcilloso	Franco	Arenoso	Gravoso
1 - 2	1	1	1 - 2	2
3 - 4	1	2	2 - 4	4
5 - 6	2	4	4 - 6	6
7 - 8	2 - 4	4 - 6	6 - 8	8
>8	4	6	8	8 - 12

$$Tr = \frac{\Psi}{Ng * Q} \quad ec. 35$$

Donde:

- ⇒ Tr [h] Tiempo de regado.
- ⇒ Ψ [m³] Volumen diario requerido de cada cultivo.
- ⇒ Q [m³/h] Caudal del gotero.
- ⇒ Ng [-] Número de goteros.

Tabla 37. Datos técnicos de la línea de goteo de 20 mm.

Nombre del producto	Espesor de pared (mm)	DI (mm)	DE (mm)	Caudal nominal (l/h)	Rango de regulación de presión (bar)	Presión máxima (bar)	Tipo de conector
NaanPC 20/0.95	1.00	17.7	19.7	0.95	0.7-3.0	3.0	Conexión dentada 20
	1.20		20.1	0.95	0.7-3.5	3.5	
NaanPC 20/1.6	1.00	17.7	19.7	1.6	0.5-3.0	3.0	
	1.20		20.1	1.6	0.5-3.5	3.5	
NaanPC 20/2.2	1.00	17.7	19.7	2.3	0.5-3.0	3.0	
	1.20		20.1	2.2	0.5-3.5	3.5	
NaanPC 20/3.8	1.00	17.7	19.7	4.0	0.5-3.0	3.0	
	1.20		20.1	3.8	0.5-3.5	3.5	

Teniendo en cuenta lo anterior los tiempos de riego para la lechuga, el sorgo y el trigo resultaron de:

✚ Lechuga.

$$Tr = \frac{10.58 \frac{l}{d}}{2 * 2.3 \frac{l}{h}} = 2.3 \frac{h}{d}$$

✚ Sorgo.

$$Tr = \frac{5.85 \frac{l}{d}}{2 * 2.3 \frac{l}{h}} = 1.27 \frac{h}{d}$$

✚ Trigo.

$$Tr = \frac{6.59 \frac{l}{d}}{2 * 2.3 \frac{l}{h}} = 1.43 \frac{h}{d}$$

²² <http://blog.agrologica.es>. Diseño paso a paso de un sistema de riego por goteo en una parcela real.



Con base en los tiempos antes obtenidos, y los volúmenes máximos de riego requeridos por cada línea (tabla 38), calculados con la ecuación 36, se estableció una Política de Riego (tabla 39).

$$V = Q * Tr \quad \text{ec. 36}$$

Donde:

- ⇒ $V [m^3]$ Volumen requerido de cada cultivo.
- ⇒ $Q [m^3/h]$ Caudal total que necesita el cultivo.
- ⇒ $Tr [h]$ Tiempo de regado.

Tabla 38. Volumen total de riego requerido por cada línea.

	línea 1	línea 2	línea 3	línea 4	línea 5	línea 6	línea 7
	V (m ³)						
Lechuga	64.02	73.90	47.23	29.91	46.71	106.09	24.61
Sorgo	48.88	56.43	36.06	22.84	35.67	81.01	18.79
Trigo	155.33	179.30	114.59	72.58	113.33	257.40	59.71
V_T (m³)	268.23	309.62	197.88	125.33	195.71	444.50	103.12

Tabla 39. Política de Riego.

Periodo		6:00 a 9:30 am				6:00 a 9:30 pm			
Línea	Cultivo	6:00 a 7:00	7:00 a 8:00	8:00 a 9:00	9:00 a 9:30	6:00 a 7:00	7:00 a 8:00	8:00 a 9:00	9:00 a 9:30
Línea 1	Lechuga		27.83	27.83	8.35				
	Sorgo	38.46	10.43						
	Trigo	108.39	46.94						
Línea 2	Lechuga		32.13	32.13	9.64				
	Sorgo	44.39	12.04						
	Trigo			125.11	54.18				
Línea 3	Lechuga		20.53	20.53	6.16				
	Sorgo	28.37	7.69						
	Trigo		79.96	34.63					
Línea 4	Lechuga		13.01	13.01	3.90				
	Sorgo			17.97	4.87				
	Trigo	50.65	21.93						
Línea 5	Lechuga						20.31	20.31	6.09
	Sorgo					28.06	7.61		
	Trigo					79.08	34.25		
Línea 6	Lechuga						46.12	46.12	13.84
	Sorgo					63.73	17.28		
	Trigo							179.61	77.79
Línea 7	Lechuga					10.70	10.70	3.21	
	Sorgo					14.78	4.01		
	Trigo					41.67	18.05		
Volumen total [m³/h]		270.25	272.49	271.21	87.11	238.02	158.32	249.26	97.72



3.4.3. Descripción del funcionamiento de la política de riego (tabla 39)

Con base en las recomendaciones de riego que indican que los cultivos deben regarse en las primeras y últimas horas del día, y tomando como máximo tiempo de regado el tiempo de la lechuga, se propuso establecer un horario de riego de 6:00 am a 9:30 am para satisfacer la demanda de las líneas 1, 2, 3 y 4; y un horario de 6:00 pm a 9:30 pm para la demanda presente en las líneas 5, 6 y 7. Estos horarios se proponen considerando:

- La lechuga²³ al ser de raíces cortas crece en una gran variedad de suelos y necesita temperaturas templadas para desarrollarse exitosamente necesita que haya alrededor de 15 a 20 grados durante el día y menos de 10 grados durante la noche.
- La temperatura ideal para el crecimiento y desarrollo del cultivo de trigo²⁴ está entre 10 y 24 °C. La temperatura no debe ser demasiado fría en invierno ni demasiado elevada en primavera.
- La temperatura²⁵ mínima para germinación del sorgo es de 10 °C, arriba de 29 °C son dañinas para su desarrollo, aunque toleran el calor y la sequía mejor que el maíz.

De acuerdo con los datos proporcionados por la estación climatológica Jolalpan, se han presentado temperaturas mínimas de 10 °C y máximas de 40 °C, considerando que estas temperaturas generalmente suelen presentarse en la madrugada y al medio día respectivamente, se puede decir que se aceptan los horarios propuestos para el riego, pues las temperaturas presentes en estos horarios quedan dentro de los rangos aceptables, para no afectar el desarrollo de los cultivos.

En la tabla 36 se indica que el sistema comenzara a trabajar a las 6:00 am, satisfaciendo a las cuatro líneas, sin embargo la línea 1 regará sorgo y trigo, las líneas 2 y 3 sorgo y la línea 4 trigo; a las 7: 00 am se regaran los cultivos faltantes de todas las líneas, a excepción del trigo y sorgo correspondientes a las líneas 2 y 4, que iniciaran hasta las 8:00 am.

Del mismo modo se tendrá el inicio de la operación a las 6:00 pm de todas las líneas, pero de la línea 5 no se regara la lechuga y de la línea 6 lechuga y trigo, a las 7:00 pm iniciará el regado de los cultivos faltantes, excepto el trigo de la línea 6 que iniciara hasta las 8:00 pm.

3.4.4. Funcionamiento hidráulico del tanque

Finalmente con la Política de Riego, se realizó el funcionamiento hidráulico del tanque.

²³ <http://www.flordeplanta.com.ar/plantas/lechuga-cultivo-suelo-riego/>

²⁴ <http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/trigo.htm>

²⁵ Requerimientos Agroecológicos de Cultivos, Ruiz Corral, De José Aiel, et al. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), 1999.



Como se observar en la tabla 40, el volumen máximo requerido para riego o demandado, se presentó en el horario de 7:00 a 8:00 am con 272.49 m³, por lo que el diseño del tanque se hará con éste volumen, sin embargo para efectos constructivos se considerará un volumen de 275 m³.

Tabla 40. Funcionamiento del tanque.

Horas	Entradas [m ³]	Salidas [m ³]	Dif. E-S [m ³]	Acumulado [m ³]
0 a 1	0	0	0	275
1 a 2	0	0	0	275
2 a 3	0	0	0	275
3 a 4	0	0	0	275
4 a 5	0	0	0	275
5 a 6	0	0	0	275
6 a 7	180	270.25	-90	185
7 a 8	180	272.49	-92	92
8 a 9	180	271.21	-91	1
9 a 10	90	87.11	3	4
10 a 11	0	0	0	4
11 a 12	0	0	0	4
12 a 13	180	0	180	184
13 a 14	90	0	90	274
14 a 15	0	0	0	274
15 a 16	0	0	0	274
16 a 17	0	0	0	274
17 a 18	0	0	0	274
18 a 19	180	224.01	-44	216
19 a 20	180	228.05	-48	238
20 a 21	180	219.88	-40	168
21 a 22	180	71.38	109	251
22 a 23	24	0	24	275
23 a 24	0	0	0	275

3.4.5. Dimensionamiento del tanque

Los tanques superficiales podrán ser construidos de mampostería, concreto simple o reforzado. Los tanques construidos de concreto reforzado se recomiendan generalmente para tirantes entre 2 y 5.5 m²⁶. Como se puede observar en el funcionamiento del tanque, se necesita contar con un volumen de 275 m³ para satisfacer toda la demanda, por lo que se propone la construcción de un tanque de forma circular de concreto reforzado y con una altura h = 5 m. Por lo tanto el tanque tendrá las siguientes dimensiones.

$$V_T = A * h \quad \text{ec. 37}$$

²⁶ Abastecimiento de Agua Potable. César Valdez, Enrique. UNAM, Facultad de Ingeniería. Cuarta edición. 1994.



Donde:

- $\Rightarrow V_T [m^3]$ Volumen del tanque.
- $\Rightarrow h [m]$ Altura del tanque.
- $\Rightarrow A [m^2]$ Área circular.

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad ec. 38$$

- $\Rightarrow D [m]$ Diámetro.

$$D = \sqrt{\frac{4V_T}{\pi h}} \quad ec. 39$$

$$D = \sqrt{\frac{4(275 m^3)}{\pi(5 m)}} = 8.36 m$$

Por eficiencia para la construcción, se tiene:

- $D = 8.5 m$
- $h = 5 m$

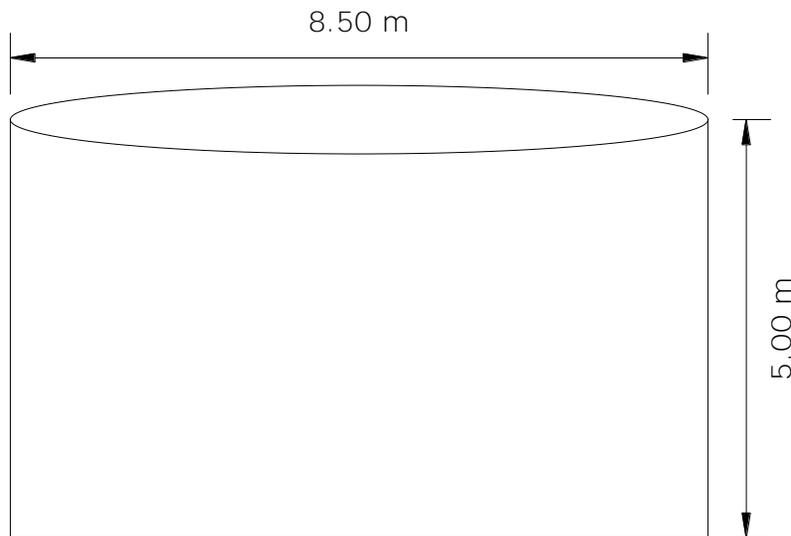


Figura 25. Tanque de regularización.

3.5. Línea primaria de alimentación

La línea primaria de alimentación es una red de tuberías cuya finalidad es conducir el agua del tanque elevado a las parcelas de riego por gravedad. Esta red se conforma por 7 ramales (línea 1 a 7) y dos nodos, la línea 1 abastece a las líneas 2, 3 y 4, mientras que la línea 5 abastece a las líneas 6 y 7, ver figura 18.



El diseño hidráulico de esta red, es decir la obtención de sus diámetros se hizo en este apartado, para ello primeramente se obtuvieron los gastos que deberían conducir cada una de las líneas y posteriormente se obtuvieron los diámetros de cada línea haciendo el funcionamiento hidráulico de la red.

Para el cálculo de los gastos totales que conducen las líneas 1 a 7 se requieren los siguientes datos:

Tabla 41. Datos para calcular el gasto.

Datos	De Tabla 17		De Tabla 16	Del Punto 3.4.2
Columna	1	2	3	4
Cultivo	LPD [l/día/planta]	No. Plantas/m ²	% plantado	Tr [h]
Lechuga	10.58	7	6.8%	2.30
Sorgo	5.85	8	13.5%	1.27
Trigo	6.59	8	33.8%	1.43

Con los datos anteriores se realiza el siguiente procedimiento:

- a) Teniendo el área total a la que abastece cada una de las líneas (anexo 8), ésta se multiplica por el porcentaje que corresponde a la cantidad que se va a plantar de cada uno de los cultivos que se están analizando (Columna 5 de tabla 43 por columna 3 de tabla 41). Las cantidades obtenidas, se multiplican por los LDP y por el no. de plantas, este resultado se divide entre 86400000, para que nos queden unidades en m³/s. Ejemplo ((columna 6* columna 1* columna 2)/ 86400000).
- b) De la política de riego (tabla 39), se obtienen los periodos de máxima demanda, que corresponden a los horarios de 7:00 a 8:00 am para las líneas 1-4 y de 8:00 a 9:00 pm para las líneas 5-7, y se observa el tiempo de regado en dicho periodo, lo anterior se muestra en la siguiente tabla

Tabla 42. Tiempo de riego en el horario de máxima demanda.

Columna	7:00 - 8:00			8:00 - 9:00		
	a	b	c	d	e	f
Línea	Lechuga	Sorgo	Trigo	Lechuga	Sorgo	Trigo
1	1 h	0.27 h	0.43 h			
2	1 h	0.27 h				
3	1 h	0.27 h	1 h			
4	1 h		0.43 h			
5				1 h		
6				1 h		1 h
7				0.30 h		

- c) Para cada línea el gasto (columna 8 tabla 43) se obtiene sumando el producto de la columna 7 por las columnas a – f respectivamente. En la línea 1, también se debe sumar el gasto de la línea 2, 3 y 4, de igual forma en la línea 5 se deben sumar las líneas 6 y 7.

**Tabla 43. Gasto total de cada línea.**

Columna	5	6			7			8
Línea	Área de riego [m ²]	% Del área sembrada de: [m ²]			[m ³ /s]			Gasto [m ³ /s]
		Lechuga	Sorgo	Trigo	Lechuga	Sorgo	Trigo	
1	140162.62	9470.45	18940.89	47352.24	0.0077	0.0107	0.0301	0.0891
2	161789.35	10931.71	21863.43	54658.56	0.0089	0.0123	0.0348	0.0123
3	103399.24	6986.44	13972.87	34932.18	0.0057	0.0079	0.0222	0.0301
4	155872.49	10531.92	21063.85	52659.62	0.0086	0.0119	0.0335	0.0231
5	102265.54	6909.83	13819.67	34549.17	0.0056	0.0078	0.0220	0.0692
6	232270.98	15693.98	31387.97	78469.92	0.0128	0.0177	0.0499	0.0627
7	53884.40	3640.84	7281.68	18204.19	0.0030	0.0041	0.0116	0.0009

En la tabla 44 se presentan las parcelas por línea junto con sus respectivos gastos, obtenidos en la tabla 43.

Tabla 44. Gasto de cada línea.

Línea	Tramo		Gasto [m ³ /s]
	De	A	
Línea 1	Tanque	Parcela 365	0.0891
	Parcela 365	Parcela 42	0.0850
	Parcela 42	Parcela 56	0.0779
	Parcela 56	Parcela 39	0.0695
	Parcela 39	Nodo 1	0.0654
Línea 2	Nodo 1	Parcela 46	0.0123
	Parcela 46	Parcela 402	0.0084
Línea 3	Nodo 1	Parcela 346	0.0301
	Parcela 346	Parcela 347	0.0241
	Parcela 347	Parcela 340	0.0199
	Parcela 340	Parcela 339	0.0179
	Parcela 339	Parcela 325	0.0095
Línea 4	Nodo 1	Parcela 37	0.0231
	Parcela 37	Parcela 342	0.0228
	Parcela 342	Parcela 366	0.0178
	Parcela 366	Parcela 367	0.0134
	Parcela 367	Parcela 369	0.0025
Línea 5	Tanque	Parcela 362	0.0692
	Parcela 362	Parcela 355	0.0661
	Parcela 355	Nodo 2	0.0636
Línea 6	Nodo 2	Parcela 345	0.0627
	Parcela 345	Parcela 329	0.0584
	Parcela 329	Parcela 336	0.0540
	Parcela 336	Parcela 35	0.0482
	Parcela 35	Parcela 30	0.0376
	Parcela 30	Parcela 32	0.0218
	Parcela 32	Parcela 28	0.0123
Línea 7	Nodo 2	Parcela 354	0.0009
	Parcela 354	Parcela 361	0.0007
	Parcela 361	Parcela 383	0.0004
	Parcela 383	Parcela 215	0.0001



3.5.1. Primer revisión hidráulica de la línea primaria de alimentación

Para la red o sea la línea primaria de alimentación el cálculo de sus diámetros se hizo empleando la ecuación de continuidad, los gastos de la tabla 45 y proponiendo una velocidad de flujo de 2 m/s, los resultados se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 45. Diámetro de cada línea.

Línea	Tramo		Gasto [m ³ /s]	Diámetro		
	De	A		D _{Calc} [m]	D _{Com} [mm]	D _{Int} [m]
Línea 1	Tanque	Parcela 365	0.0891	0.258	315	0.300
	Parcela 365	Parcela 42	0.0850	0.252	315	0.300
	Parcela 42	Parcela 56	0.0779	0.242	315	0.300
	Parcela 56	Parcela 39	0.0695	0.228	250	0.238
	Parcela 39	Nodo 1	0.0654	0.221	250	0.238
Línea 2	Nodo 1	Parcela 46	0.0123	0.096	114.3	0.109
	Parcela 46	Parcela 402	0.0084	0.079	88.9	0.085
Línea 3	Nodo 1	Parcela 346	0.0301	0.150	160	0.152
	Parcela 346	Parcela 347	0.0241	0.134	160	0.152
	Parcela 347	Parcela 340	0.0199	0.122	160	0.152
	Parcela 340	Parcela 339	0.0179	0.116	160	0.152
	Parcela 339	Parcela 325	0.0095	0.084	88.9	0.085
Línea 4	Nodo 1	Parcela 37	0.0231	0.132	160	0.152
	Parcela 37	Parcela 342	0.0228	0.131	160	0.152
	Parcela 342	Parcela 366	0.0178	0.116	160	0.152
	Parcela 366	Parcela 367	0.0134	0.100	114.3	0.109
	Parcela 367	Parcela 369	0.0025	0.044	48.3	0.048
Línea 5	Tanque	Parcela 362	0.0692	0.228	250	0.238
	Parcela 362	Parcela 355	0.0661	0.222	250	0.238
	Parcela 355	Nodo 2	0.0636	0.218	250	0.238
Línea 6	Nodo 2	Parcela 345	0.0627	0.217	250	0.238
	Parcela 345	Parcela 329	0.0584	0.209	219.1	0.209
	Parcela 329	Parcela 336	0.0540	0.201	219.1	0.209
	Parcela 336	Parcela 35	0.0482	0.190	200	0.190
	Parcela 35	Parcela 30	0.0376	0.168	200	0.190
	Parcela 30	Parcela 32	0.0218	0.128	160	0.152
	Parcela 32	Parcela 28	0.0123	0.096	114.3	0.109
Línea 7	Nodo 2	Parcela 354	0.0009	0.026	48.3	0.048
	Parcela 354	Parcela 361	0.0007	0.023	48.3	0.048
	Parcela 361	Parcela 383	0.0004	0.017	48.3	0.048
	Parcela 383	Parcela 215	0.0001	0.006	48.3	0.048

Con los diámetros antes obtenidos se calcularon las pérdidas por fricción de cada línea, considerando la expresión de Darcy – Weisbach y el coeficiente de fricción del diagrama de Moody, los resultados se muestran de la tabla 46 a la 48.



Tabla 46. Coeficiente de fricción de cada línea.

Línea	Tramo		Gasto [m ³ /s]	D _{int} [m]	Re [-]	e _R [-]	f[-]
	De	A					
Línea 1	Tanque	Parcela 365	0.0891	0.300	5.09E+05	0.00001	0.013
	Parcela 365	Parcela 42	0.0850	0.300	5.09E+05	0.00001	0.013
	Parcela 42	Parcela 56	0.0779	0.300	5.09E+05	0.00001	0.013
	Parcela 56	Parcela 39	0.0695	0.238	4.04E+05	0.00001	0.0135
	Parcela 39	Nodo 1	0.0654	0.238	4.04E+05	0.00001	0.0135
Línea 2	Nodo 1	Parcela 46	0.0123	0.109	1.85E+05	0.00001	0.016
	Parcela 46	Parcela 402	0.0084	0.085	1.44E+05	0.00002	0.017
Línea 3	Nodo 1	Parcela 346	0.0301	0.152	2.59E+05	0.00001	0.015
	Parcela 346	Parcela 347	0.0241	0.152	2.59E+05	0.00001	0.015
	Parcela 347	Parcela 340	0.0199	0.152	2.59E+05	0.00001	0.015
	Parcela 340	Parcela 339	0.0179	0.152	2.59E+05	0.00001	0.015
	Parcela 339	Parcela 325	0.0095	0.085	1.44E+05	0.00002	0.017
Línea 4	Nodo 1	Parcela 37	0.0231	0.152	2.59E+05	0.00001	0.015
	Parcela 37	Parcela 342	0.0228	0.152	2.59E+05	0.00001	0.015
	Parcela 342	Parcela 366	0.0178	0.152	2.59E+05	0.00001	0.015
	Parcela 366	Parcela 367	0.0134	0.109	1.85E+05	0.00001	0.016
	Parcela 367	Parcela 369	0.0025	0.048	8.21E+04	0.00003	0.0185
Línea 5	Tanque	Parcela 362	0.0692	0.238	4.04E+05	0.00001	0.0135
	Parcela 362	Parcela 355	0.0661	0.238	4.04E+05	0.00001	0.0135
	Parcela 355	Nodo 2	0.0636	0.238	4.04E+05	0.00001	0.0135
Línea 6	Nodo 2	Parcela 345	0.0627	0.238	4.04E+05	0.00001	0.0135
	Parcela 345	Parcela 329	0.0584	0.209	3.54E+05	0.00001	0.014
	Parcela 329	Parcela 336	0.0540	0.209	3.54E+05	0.00001	0.014
	Parcela 336	Parcela 35	0.0482	0.190	3.23E+05	0.00001	0.014
	Parcela 35	Parcela 30	0.0376	0.190	3.23E+05	0.00001	0.014
	Parcela 30	Parcela 32	0.0218	0.152	2.59E+05	0.00001	0.015
	Parcela 32	Parcela 28	0.0123	0.109	1.85E+05	0.00001	0.016
Línea 7	Nodo 2	Parcela 354	0.0009	0.048	8.21E+04	0.00003	0.0185
	Parcela 354	Parcela 361	0.0007	0.048	8.21E+04	0.00003	0.0185
	Parcela 361	Parcela 383	0.0004	0.048	8.21E+04	0.00003	0.0185
	Parcela 383	Parcela 215	0.0001	0.048	8.21E+04	0.00003	0.0185

**Tabla 47. Pérdidas por fricción de cada tramo por línea.**

Línea	Tramo		Gasto [m ³ /s]	D _{int} [m]	Longitud [m]	hf [m]
	De	A				
Línea 1	Tanque	Parcela 365	0.0891	0.300	44	0.281
	Parcela 365	Parcela 42	0.0850	0.300	423	2.704
	Parcela 42	Parcela 56	0.0779	0.300	176	1.125
	Parcela 56	Parcela 39	0.0695	0.238	148	1.238
	Parcela 39	Nodo 1	0.0654	0.238	145	1.213
Línea 2	Nodo 1	Parcela 46	0.0123	0.109	93	2.016
	Parcela 46	Parcela 402	0.0084	0.085	634	18.788
Línea 3	Nodo 1	Parcela 346	0.0301	0.152	106	1.539
	Parcela 346	Parcela 347	0.0241	0.152	148	2.149
	Parcela 347	Parcela 340	0.0199	0.152	204	2.961
	Parcela 340	Parcela 339	0.0179	0.152	137	1.989
	Parcela 339	Parcela 325	0.0095	0.085	88	2.608
Línea 4	Nodo 1	Parcela 37	0.0231	0.152	35	0.508
	Parcela 37	Parcela 342	0.0228	0.152	173	2.511
	Parcela 342	Parcela 366	0.0178	0.152	306	4.442
	Parcela 366	Parcela 367	0.0134	0.109	840	18.212
	Parcela 367	Parcela 369	0.0025	0.048	347	19.577
Línea 5	Tanque	Parcela 362	0.0692	0.238	21	0.176
	Parcela 362	Parcela 355	0.0661	0.238	150	1.254
	Parcela 355	Nodo 2	0.0636	0.238	174	1.455
Línea 6	Nodo 2	Parcela 345	0.0627	0.238	20	0.167
	Parcela 345	Parcela 329	0.0584	0.209	215	2.126
	Parcela 329	Parcela 336	0.0540	0.209	379	3.749
	Parcela 336	Parcela 35	0.0482	0.190	332	3.600
	Parcela 35	Parcela 30	0.0376	0.190	407	4.413
	Parcela 30	Parcela 32	0.0218	0.152	137	1.989
	Parcela 32	Parcela 28	0.0123	0.109	130	2.819
Línea 7	Nodo 2	Parcela 354	0.0009	0.048	162	9.140
	Parcela 354	Parcela 361	0.0007	0.048	101	5.698
	Parcela 361	Parcela 383	0.0004	0.048	273	15.402
	Parcela 383	Parcela 215	0.0001	0.048	132	7.447

Tabla 48. Pérdidas totales por fricción de cada línea.

	h _{Tf} [m]	Carga total disponible [m]
Línea 1-2	27.36	77.00
Línea 1-3	17.81	50.00
Línea 1-4	51.81	45.00
Línea 5-6	21.75	142.00
Línea 5-7	40.573	61.00



Como se observar en la tabla 45, para la línea 1 – 4 las pérdidas por fricción son mayores a la carga total disponible en ese punto que es de 45.00 m (cabe recordar que la red funciona por gravedad), por lo que la línea 1 – 4 se redujo su longitud para que la carga con que dispone el sistema que es el nivel máximo en el tanque pueda proporcionar la energía necesaria para el riego de las parcelas la final de la nueva línea 4 (las parcelas que se eliminaron fueron la 367, 368, 369 y 393). Por lo anterior se tuvo que corregir el gasto que suministra la línea 1, dicho gasto quedo en 0.0757 m³/s y se volvieron a calcular las pérdidas por fricción, dicho cálculo se muestra de la tabla 46 a la 48.

Tabla 49. Diámetro corregido de las línea 1 – 7.

Línea	Tramo		Gasto [m ³ /s]	Diámetro			Re [-]	e _R [-]	f[-]	Longitud [m]
	De	A		D _{Calc} [m]	D _{Com} [mm]	D _{Int} [m]				
Línea 1	Tanque	Parcela 365	0.0757	0.238	250	0.238	4.04E+05	0.00001	0.0135	44
	Parcela 365	Parcela 42	0.0716	0.232	250	0.238	4.04E+05	0.00001	0.0135	423
	Parcela 42	Parcela 56	0.0645	0.220	250	0.238	4.04E+05	0.00001	0.0135	176
	Parcela 56	Parcela 39	0.0561	0.205	219.1	0.209	3.54E+05	0.00001	0.014	148
	Parcela 39	Nodo 1	0.0520	0.197	219.1	0.209	3.54E+05	0.00001	0.014	145
Línea 2	Nodo 1	Parcela 46	0.0123	0.096	114.3	0.109	1.85E+05	0.00001	0.016	93
	Parcela 46	Parcela 402	0.0084	0.079	88.9	0.085	1.44E+05	0.00002	0.017	634
Línea 3	Nodo 1	Parcela 346	0.0301	0.150	160	0.152	2.59E+05	0.00001	0.015	106
	Parcela 346	Parcela 347	0.0241	0.134	160	0.152	2.59E+05	0.00001	0.015	148
	Parcela 347	Parcela 340	0.0199	0.122	160	0.152	2.59E+05	0.00001	0.015	204
	Parcela 340	Parcela 339	0.0179	0.116	160	0.152	2.59E+05	0.00001	0.015	137
	Parcela 339	Parcela 325	0.0095	0.084	88.9	0.085	1.44E+05	0.00002	0.017	88
Línea 4	Nodo 1	Parcela 37	0.0097	0.085	88.9	0.085	1.44E+05	0.00002	0.017	35
	Parcela 37	Parcela 342	0.0094	0.084	88.9	0.085	1.44E+05	0.00002	0.017	173
	Parcela 342	Parcela 366	0.0044	0.058	73	0.069	1.18E+05	0.00002	0.0175	306
Línea 5	Tanque	Parcela 362	0.0692	0.228	250	0.238	4.04E+05	0.00001	0.0135	21
	Parcela 362	Parcela 355	0.0661	0.222	250	0.238	4.04E+05	0.00001	0.0135	150
	Parcela 355	Nodo 2	0.0636	0.218	250	0.238	4.04E+05	0.00001	0.0135	174
Línea 6	Nodo 2	Parcela 345	0.0627	0.217	250	0.238	4.04E+05	0.00001	0.0135	20
	Parcela 345	Parcela 329	0.0584	0.209	219.1	0.209	3.54E+05	0.00001	0.014	215
	Parcela 329	Parcela 336	0.0540	0.201	219.1	0.209	3.54E+05	0.00001	0.014	379
	Parcela 336	Parcela 35	0.0482	0.190	200	0.190	3.23E+05	0.00001	0.014	332
	Parcela 35	Parcela 30	0.0376	0.168	200	0.190	3.23E+05	0.00001	0.014	407
	Parcela 30	Parcela 32	0.0218	0.128	160	0.152	2.59E+05	0.00001	0.015	137
	Parcela 32	Parcela 28	0.0123	0.096	114.3	0.109	1.85E+05	0.00001	0.016	130
Línea 7	Nodo 2	Parcela 354	0.0009	0.026	48.3	0.048	8.21E+04	0.00003	0.0185	162
	Parcela 354	Parcela 361	0.0007	0.023	48.3	0.048	8.21E+04	0.00003	0.0185	101
	Parcela 361	Parcela 383	0.0004	0.017	48.3	0.048	8.21E+04	0.00003	0.0185	273
	Parcela 383	Parcela 215	0.0001	0.006	48.3	0.048	8.21E+04	0.00003	0.0185	132



Tabla 50. Diámetro de cada línea.

Línea	Tramo		hf [m]
	De	A	
Línea 1	Tanque	Parcela 365	0.368
	Parcela 365	Parcela 42	3.537
	Parcela 42	Parcela 56	1.472
	Parcela 56	Parcela 39	1.464
	Parcela 39	Nodo 2	1.434
Línea 2	Nodo 2	Parcela 46	2.016
	Parcela 46	Parcela 402	18.788
Línea 3	Nodo 2	Parcela 346	1.539
	Parcela 346	Parcela 347	2.149
	Parcela 347	Parcela 340	2.961
	Parcela 340	Parcela 339	1.989
	Parcela 339	Parcela 325	2.608
Línea 4	Nodo 2	Parcela 37	1.037
	Parcela 37	Parcela 342	5.127
	Parcela 342	Parcela 366	11.366
Línea 5	Tanque	Parcela 362	0.176
	Parcela 362	Parcela 355	1.254
	Parcela 355	Nodo 2	1.455
Línea 6	Nodo 2	Parcela 345	0.167
	Parcela 345	Parcela 329	2.126
	Parcela 329	Parcela 336	3.749
	Parcela 336	Parcela 35	3.600
	Parcela 35	Parcela 30	4.413
	Parcela 30	Parcela 32	1.989
	Parcela 32	Parcela 28	2.819
Línea 7	Nodo 2	Parcela 354	9.140
	Parcela 354	Parcela 361	5.698
	Parcela 361	Parcela 383	15.402
	Parcela 383	Parcela 215	7.447

Tabla 51. Pérdidas totales por fricción de cada línea.

Línea	h_{Tf} [m]	Carga total disponible[m]
Línea 1-2	29.08	77.00
Línea 1-3	19.52	50.00
Línea 1-4	25.80	45.00
Línea 5-6	21.75	142.00
Línea 5-7	40.57	61.00

Analizando la tabla 51 se observa que las pérdidas por fricción que se presentan para la red no superan la carga total disponible para ninguna de las líneas, por lo que en esta primera revisión el sistema así propuesto funciona hidráulicamente.



3.5.2. Segunda revisión hidráulica de la línea primaria de alimentación.

Como una segunda etapa en la revisión hidráulica de la red, se obtuvieron las pérdidas totales de las líneas o sea considerando las pérdidas por fricción y las pérdidas por accesorios (locales). El cálculo de las pérdidas locales se muestra de la tabla 52 a la 54.

Tabla 52. Cuantificación de accesorios por de cada línea.

Línea	Codos 45°	Codos 90°	Bifurcaciones	Reducción
Línea 1	11	2	1	5
Línea 2	2	1	0	2
Línea 3	4	0	0	5
Línea 4	3	2	0	3
Línea 5	1	0	1	3
Línea 6	4	1	0	7
Línea 7	2	0	0	4
Total	27	6	2	22

De acuerdo a los accesorios especificados en la tabla anterior y utilizando la ecuación 33 se obtienen las perdidas locales (Tabla 53).

$$h_L = k \frac{V^2}{2g} \quad ec. 33$$

Tabla 53. Pérdidas locales de cada línea.

	Codo 45° k=0.4	Codo 90° k=0.9	Bifurcación k=1.8	Entrada k=0.5	Salida k=1	Reducción k=0.2	h_L [m]
Línea 1	4.4	1.8	1.8	2.5	5.0	1.0	2.430
Línea 2	0.8	0.9	0.0	1.0	2.0	0.4	0.751
Línea 3	1.6	0.0	0.0	2.5	5.0	1.0	1.488
Línea 4	1.2	1.8	0.0	1.5	3.0	0.6	1.193
Línea 5	0.4	0.0	1.8	1.5	3.0	0.6	1.075
Línea 6	1.6	0.9	0.0	3.5	7.0	1.4	2.121
Línea 7	0.8	0.0	0.0	2.0	4.0	0.8	1.119

Tabla 54. Pérdidas totales por accesorio.

Línea	h_{TL} [m]
Línea 1-2	3.182
Línea 1-3	3.918
Línea 1-4	3.624
Línea 5-6	3.196
Línea 5-7	2.195

En la tabla 55 se muestra las pérdidas totales, [obtenidas al sustituir en la ecuación 34 las pérdidas por fricción (tabla 51) más las pérdidas locales (tabla 54)], y la carga total disponible por el sistema para cada línea.

$$h_T = h_f + h_L \quad ec. 34$$



Tabla 55. Pérdidas totales de cada línea.

Línea	h_T [m]	Carga total disponible [m]
Línea 1 – Línea 2	32.261	77.00
Línea 1 – Línea 3	23.438	50.00
Línea 1 – Línea 4	29.428	45.00
Línea 5 – Línea 6	24.943	142.00
Línea 5 – Línea 7	42.767	61.00

Comparando los valores de pérdidas totales contra la carga disponible de cada línea mostrada en la tabla 55, se puede concluir que ninguna de las pérdidas supera a la carga disponible, teniendo como mínimo un margen de 15 m de carga disponible al final de cada línea, esto ayudara a que el gasto entregado a la red secundaria de riego tenga una carga de presión lo suficientemente alta para que la red de riego trabaje adecuadamente, sin embargo esto se revisara a detalle en el siguiente punto.

3.5.3. Revisión de las presiones para la línea de alimentación

A continuación se hará la revisión final de la red o sea de la línea de alimentación, esta revisión consiste en analizar en conjunto la red y corroborar que las presiones en los puntos finales de esta no den por debajo de las presiones requeridas para que la red secundaria de riego trabaje hidráulicamente. Considerando que en las parcelas se empleará riego por Goteo, se obtuvo en cada parcela la presión requerida al inicio de la red y en el punto más alejado de esta.

Para la obtención de las presiones se realizó una estimación de las pérdidas totales en la red secundaria, para ello se consideró lo siguiente:

- a) El tipo de gotero para diseño fue: Gotero cilíndrico²⁷ PC de última generación (de presión compensada) que asegura la más alta durabilidad, cuyas principales aplicaciones y características son:
 - Solución ideal para riego en terrenos topográficamente complicados, o en donde se requieran laterales largos.
 - Para riego preciso de huertos, cultivos a campo abierto e invernaderos.
 - Línea de goteo continua de 16 mm y 20 mm de polietileno con goteros integrados de presión compensada.
 - Entradas y salidas de agua dobles por gotero.
 - Nuevo diafragma de silicona que asegura una performance confiable y precisa con diversas calidades de agua, productos químicos y fertilizantes.
 - Filtro individual doble y mecanismo de lavado que brinda autolimpieza y una máxima resistencia al taponamiento.
- b) Un gasto de gotero de 2.3 l/h con una presión mínima de 0.5 bar o bien 5 m.c.a (tabla 37).

²⁷ Catálogo de riego por goteo de NaanDanJain



Con base en las consideraciones anteriores, las pérdidas por fricción en la red secundaria se calcularon tomando en cuenta una rugosidad absoluta $\varepsilon = 0.0015$ mm, una velocidad $V = 1.7$ m/s, una viscosidad cinemática $\nu = 1 \times 10^{-6}$ m²/s, y el factor de fricción f se obtuvo del diagrama de Moody. El cálculo de las pérdidas se muestra de la tabla 56 y 57.

Tabla 56. Diámetro y coeficiente de fricción de cada línea secundaria.

Línea	Nodo	Gasto [m ³ /s]	D _{int} [m]	Re [-]	e _R [-]	f[-]
Línea 1	Parcela 365	0.0757	0.238	4.04E+05	0.00001	0.0135
	Parcela 42	0.0716	0.238	4.04E+05	0.00001	0.0135
	Parcela 56	0.0645	0.238	4.04E+05	0.00001	0.0135
	Parcela 39	0.0561	0.209	3.54E+05	0.00001	0.014
Línea 2	Parcela 46	0.0123	0.109	1.85E+05	0.00001	0.016
	Parcela 402	0.0084	0.085	1.44E+05	0.00002	0.017
Línea 3	Parcela 346	0.0301	0.152	2.59E+05	0.00001	0.015
	Parcela 347	0.0241	0.152	2.59E+05	0.00001	0.015
	Parcela 340	0.0199	0.152	2.59E+05	0.00001	0.015
	Parcela 339	0.0179	0.152	2.59E+05	0.00001	0.015
	Parcela 325	0.0095	0.085	1.44E+05	0.00002	0.017
Línea 4	Parcela 37	0.0097	0.085	1.44E+05	0.00002	0.017
	Parcela 342	0.0094	0.085	1.44E+05	0.00002	0.017
	Parcela 366	0.0044	0.069	1.18E+05	0.00002	0.0175
Línea 5	Parcela 362	0.0692	0.238	4.04E+05	0.00001	0.0135
	Parcela 355	0.0661	0.238	4.04E+05	0.00001	0.0135
Línea 6	Parcela 345	0.0627	0.238	4.04E+05	0.00001	0.0135
	Parcela 329	0.0584	0.209	3.54E+05	0.00001	0.014
	Parcela 336	0.0540	0.209	3.54E+05	0.00001	0.014
	Parcela 35	0.0482	0.190	3.23E+05	0.00001	0.014
	Parcela 30	0.0376	0.190	3.23E+05	0.00001	0.014
	Parcela 32	0.0218	0.152	2.59E+05	0.00001	0.015
	Parcela 28	0.0123	0.109	1.85E+05	0.00001	0.016
Línea 7	Parcela 354	0.0009	0.048	8.21E+04	0.00003	0.0185
	Parcela 361	0.0007	0.048	8.21E+04	0.00003	0.0185
	Parcela 383	0.0004	0.048	8.21E+04	0.00003	0.0185
	Parcela 215	0.0001	0.048	8.21E+04	0.00003	0.0185

En la tabla 57, se utilizó para el cálculo de las pérdidas por fricción la fórmula de Darcy – Weisbach (ecuación 30).

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad \text{ec. 30}$$



Tabla 57. Pérdidas por fricción de cada línea secundaria.

Línea	Nodo	D _{int} [m]	f[-]	Longitud [m]	hf [m]
Línea 1	Parcela 365	0.238	0.0135	243	2.032
	Parcela 42	0.238	0.0135	206	1.723
	Parcela 56	0.238	0.0135	338	2.826
	Parcela 39	0.209	0.014	246	2.433
Línea 2	Parcela 46	0.109	0.016	327	7.090
	Parcela 402	0.085	0.017	360	10.668
Línea 3	Parcela 346	0.152	0.015	180	2.613
	Parcela 347	0.152	0.015	163	2.366
	Parcela 340	0.152	0.015	400	5.807
	Parcela 339	0.152	0.015	360	5.226
	Parcela 325	0.085	0.017	250	7.409
Línea 4	Parcela 37	0.085	0.017	40	1.185
	Parcela 342	0.085	0.017	270	8.001
	Parcela 366	0.069	0.0175	195	7.243
Línea 5	Parcela 362	0.238	0.0135	200	1.672
	Parcela 355	0.238	0.0135	270	2.258
Línea 6	Parcela 345	0.238	0.0135	134	1.121
	Parcela 329	0.209	0.014	320	3.165
	Parcela 336	0.209	0.014	175	1.731
	Parcela 35	0.190	0.014	252	2.732
	Parcela 30	0.190	0.014	375	4.066
	Parcela 32	0.152	0.015	270	3.920
	Parcela 28	0.109	0.016	240	5.204
Línea 7	Parcela 354	0.048	0.0185	190	10.720
	Parcela 361	0.048	0.0185	275	15.515
	Parcela 383	0.048	0.0185	225	12.694
	Parcela 215	0.048	0.0185	100	5.642

Las pérdidas por accesorios de la red secundaria se muestran en la tabla 59, dichos valores se obtuvieron con ayuda de la tabla 58 y las longitudes del lateral de riego de la tabla 59.

Tabla 58. Perdida de carga (m).

NaanPC 20/2.2 2.2 l/h, E.P I.00-I.20mm ID 17.7mm

Espaciamiento entre goteros (cm)

Longitud del lateral(m)	20	30	40	50	60	70	100
40	1.0	0.4	0.2	0.1	0.1	0.1	
60	3.3	1.2	0.6	0.3	0.2	0.2	0.1
80	7.6	2.7	1.3	0.8	0.5	0.4	0.2
100	14.5	5.2	2.5	1.5	1.0	0.7	0.3
120	24.6	8.8	4.3	2.5	1.7	1.2	0.5
140		13.6	6.7	3.9	2.6	1.8	0.8
160		20.1	9.8	5.7	3.8	2.6	1.2
180			13.8	8.1	5.3	3.7	1.7
200			18.7	10.9	7.2	5.0	2.3
220			24.6	14.4	9.4	6.6	3.0
240				18.5	12.1	8.4	3.8
260				23.3	15.2	10.7	4.8
280					18.8	13.2	6.0
300					23.0	16.1	7.3
320						19.4	8.7
340						23.0	10.4
360							12.3
380							14.3
400							16.6
420							19.1
440							21.8
460							24.7

*La pérdida de carga está en función a la longitud del lateral (m), caudal del gotero (l/h) y espaciamiento (cm).



Tabla 59. Pérdidas por accesorio de cada línea secundaria.

Línea	Nodo	Longitud del lateral [m]	hL [m]
Línea 1	Parcela 365	100	1.50
	Parcela 42	120	2.50
	Parcela 56	140	3.90
	Parcela 39	80	5.70
Línea 2	Parcela 46	160	5.70
	Parcela 402	180	8.10
Línea 3	Parcela 346	80	0.80
	Parcela 347	60	0.30
	Parcela 340	80	0.80
	Parcela 339	100	1.50
	Parcela 325	140	3.90
Línea 4	Parcela 37	40	0.10
	Parcela 342	100	1.50
	Parcela 366	160	5.70
Línea 5	Parcela 362	120	2.50
	Parcela 355	140	3.90
Línea 6	Parcela 345	140	3.90
	Parcela 329	80	0.80
	Parcela 336	140	3.90
	Parcela 35	160	5.70
	Parcela 30	200	10.90
	Parcela 32	160	5.70
	Parcela 28	160	5.70
Línea 7	Parcela 354	80	0.80
	Parcela 361	140	3.90
	Parcela 383	100	1.50
	Parcela 215	60	0.30

Finalmente la estimación de las pérdidas totales de la red secundaria para cada parcela se muestra en la tabla 60.



Tabla 60. Pérdidas por accesorio de cada línea secundaria.

Línea	Nodo	hT [m]
Línea 1	Parcela 365	3.53
	Parcela 42	4.22
	Parcela 56	6.73
	Parcela 39	8.13
Línea 2	Parcela 46	12.79
	Parcela 402	18.77
Línea 3	Parcela 346	3.41
	Parcela 347	2.67
	Parcela 340	6.61
	Parcela 339	6.73
	Parcela 325	11.31
Línea 4	Parcela 37	1.29
	Parcela 342	9.50
	Parcela 366	12.94
Línea 5	Parcela 362	4.17
	Parcela 355	6.16
Línea 6	Parcela 345	5.02
	Parcela 329	3.96
	Parcela 336	5.63
	Parcela 35	8.43
	Parcela 30	14.97
	Parcela 32	9.62
	Parcela 28	10.90
Línea 7	Parcela 354	11.52
	Parcela 361	19.42
	Parcela 383	14.19
	Parcela 215	5.94

Con base en los diámetros obtenidos en la tabla 47, se analizará hidráulicamente la línea de alimentación con las ecuaciones de energía y de continuidad para la obtención de las presiones en los nodos y al final de cada línea, con el objetivo de revisar el funcionamiento hidráulico de la línea de alimentación. A continuación se presenta el cálculo detallado de las cargas de presión para las dos primeras parcelas de la línea uno y en la tabla 61 se presentan todas las cargas.

$$z_i + \frac{P_i}{\gamma} + \frac{V_i^2}{2g} = z_j + \frac{P_j}{\gamma} + \frac{V_j^2}{2g} + h_T \quad \text{ec. 38}$$

Donde:

- ⇒ z [m] Carga de posición.
- ⇒ P/γ [m] Carga de presión.
- ⇒ V²/2g [m] Carga de velocidad, tomando en cuenta que V = 1.7 [m/s].
- ⇒ h_T [m] Pérdidas totales.
- ⇒ i, j [-] Puntos inicial y final respectivamente.



Ecuación de la energía del tanque a la parcela 365.

$$z_t + \frac{P_t}{\gamma} + \frac{V_t^2}{2g} = z_{p1} + \frac{P_{p1}}{\gamma} + \frac{V_{p1}^2}{2g} + h_{T_{t-p1}}$$

Tomando en cuenta que:

- ⇒ t Tanque.
- ⇒ p₁ Parcela 365.
- ⇒ P_t/γ [m] Carga de presión en el tanque es cero.
- ⇒ V_t²/2g [m] Carga de velocidad en el tanque es cero.

Despejando la carga de presión tenemos:

$$\frac{P_{p1}}{\gamma} = z_t - z_{p1} - \frac{V_{p1}^2}{2g} - h_{T_{t-p1}}$$

$$\frac{P_{p1}}{\gamma} = 1005 \text{ m} - 950 \text{ m} - \frac{\left(\frac{0.0757 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\pi(0.238 \text{ m})^2} \right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)} - 0.795 \text{ m}$$

$$\frac{P_{p1}}{\gamma} = 8.057 \text{ m}$$

Ecuación de la energía de la parcela 365 a la parcela 42.

$$z_{p1} + \frac{P_{p1}}{\gamma} + \frac{V_{p1}^2}{2g} = z_{p2} + \frac{P_{p2}}{\gamma} + \frac{V_{p2}^2}{2g} + h_{T_{p1-p2}}$$

Tomando en cuenta que:

- ⇒ p₁ Parcela 365
- ⇒ p₂ Parcela 42

Despejando la carga de presión tenemos:

$$\frac{P_{p2}}{\gamma} = z_{p1} + \frac{P_{p1}}{\gamma} + \frac{V_{p1}^2}{2g} - z_{p2} - \frac{V_{p2}^2}{2g} - h_{T_{p1-p2}}$$



$$\frac{P_{p2}}{\gamma} = 996m + 8.057m + \frac{\left(\frac{0.0757 \frac{m^3}{s}}{\pi(0.238 m)^2}\right)^2}{2\left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)} - 960m - \frac{\left(\frac{0.0716 \frac{m^3}{s}}{\pi(0.238 m)^2}\right)^2}{2\left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)} - 4.023m$$

$$\frac{P_{p2}}{\gamma} = 40.049 m$$

Tabla 61. Carga de presión en cada línea.

Línea	Tramo		P/γ (m)
	De	A	
Línea 1	Tanque	Parcela 365	8.057
	Parcela 365	Parcela 42	40.049
	Parcela 42	Parcela 56	55.160
	Parcela 56	Parcela 39	55.166
	Parcela 39	Nodo 1	44.176
Línea 2	Nodo 1	Parcela 46	49.939
	Parcela 46	Parcela 402	44.624
Línea 3	Nodo 1	Parcela 346	33.366
	Parcela 346	Parcela 347	18.958
	Parcela 347	Parcela 340	19.657
	Parcela 340	Parcela 339	21.370
Línea 4	Parcela 339	Parcela 325	26.416
	Nodo 1	Parcela 37	43.854
	Parcela 37	Parcela 342	17.237
Línea 5	Parcela 342	Parcela 366	15.502
	Tanque	Parcela 362	5.450
	Parcela 362	Parcela 355	17.898
Línea 6	Parcela 355	Nodo 2	35.935
	Nodo 2	Parcela 345	37.521
	Parcela 345	Parcela 329	42.978
	Parcela 329	Parcela 336	58.883
	Parcela 336	Parcela 35	79.881
	Parcela 35	Parcela 30	105.276
Línea 7	Parcela 30	Parcela 32	120.052
	Parcela 32	Parcela 28	116.967
	Nodo 2	Parcela 354	38.637
	Parcela 354	Parcela 361	38.693
	Parcela 361	Parcela 383	18.046
	Parcela 383	Parcela 215	18.233

Para finalizar la revisión hidráulica de la línea de alimentación se compararon las presiones disponibles al inicio de cada parcela (tabla 61) con las pérdidas requeridas por la red secundaria, dichas pérdidas representan la energía que el sistema debe entregar al inicio de cada parcela para que la red secundaria trabaje hidráulicamente, los valores de presiones y de pérdidas se muestran en la tabla 62, en ésta tabla se puede observar que las presiones en



todos los puntos son mayores que las pérdidas totales, por lo que en conjunto con el análisis realizado en el punto 3.5.1 y 3.5.2 se concluye que la línea de alimentación propuesta trabajará hidráulicamente.

Tabla 62. Pérdidas por accesorio de cada línea secundaria.

Línea	Nodo	hT [m]	P/γ (m)
Línea 1	Parcela 365	3.53	8.057
	Parcela 42	4.22	40.049
	Parcela 56	6.73	55.160
	Parcela 39	8.13	55.166
Línea 2	Parcela 46	12.79	49.939
	Parcela 402	18.77	44.624
Línea 3	Parcela 346	3.41	33.366
	Parcela 347	2.67	18.958
	Parcela 340	6.61	19.657
	Parcela 339	6.73	21.370
	Parcela 325	11.31	26.416
Línea 4	Parcela 37	1.29	43.854
	Parcela 342	9.50	17.237
	Parcela 366	12.94	15.502
Línea 5	Parcela 362	4.17	5.450
	Parcela 355	6.16	17.898
Línea 6	Parcela 345	5.02	37.521
	Parcela 329	3.96	42.978
	Parcela 336	5.63	58.883
	Parcela 35	8.43	79.881
	Parcela 30	14.97	105.276
	Parcela 32	9.62	120.052
	Parcela 28	10.90	116.967
Línea 7	Parcela 354	11.52	38.637
	Parcela 361	19.42	38.693
	Parcela 383	14.19	18.046
	Parcela 215	5.94	18.233

En el anexo 10, se tienen los perfiles de cada línea, en cada uno se representa la carga de posición, de presión, de velocidad y las pérdidas totales debidas a la fricción y a los accesorios.



4. Riego por Goteo

4.1. Conceptos básicos

4.1.1. Definición

Es la aplicación de agua filtrada y fertilizante soluble a la zona radicular de la planta, conduciendo esta solución a través de tubería a presión, hasta una red de salidas espaciadas a distancias relativamente cortas y descargando el líquido con una presión prácticamente nula, manteniendo el suelo en condiciones óptimas de humedad, para el buen desarrollo del cultivo.

4.1.2. Condiciones de humedad

Cuando el suelo está completamente saturado, la planta no puede succionar el agua o tiene que ejercer esfuerzos mayores de los necesarios para hacerlo, lo mismo pasa cuando el suelo se encuentra cerca del punto de marchitez permanente; la planta gasta energía extra, para obtener el agua que con tanta tenacidad retiene el suelo, con el riesgo de que si la humedad llega al punto de marchitez, la planta empieza a morir y ya no se recupera aunque se le proporcione agua nuevamente. En el riego por goteo la planta no tiene que sufrir para tomar el agua, ya que el suelo se encuentra con un esfuerzo de humedad óptimo al regar más frecuentemente y con la cantidad demandada por el cultivo.

Dentro de estos rangos se encuentra lo que se denomina capacidad de campo, es decir el contenido de humedad después de un riego pesado, una vez eliminado el exceso de agua por la acción de la fuerza de gravedad, que normalmente resulta a las 48 horas, dependiendo de la permeabilidad del suelo. Cuando el suelo se encuentra a capacidad de campo se tiene las mejores condiciones de humedad para la planta, ya que requiere un mínimo de esfuerzo para tomar los nutrientes, empleando el esfuerzo que le resta en desarrollarse.

El riego por goteo normalmente solo moja parte del volumen del suelo potencial, por eso el desarrollo del sistema radicular de un cultivo, está limitado al área de humedad que rodea cada emisor y debe existir un área mojada mínima para el crecimiento óptimo.

4.1.3. Movimiento del agua a través del suelo

Las fuerzas gravitacional y capilar mueven el agua desde el emisor a través del perfil del suelo. Las líneas de contorno indican las zonas de igual contenido de humedad y la radiación de líneas desde el emisor representan la dirección del movimiento del agua. En general las raíces de la planta tienden a concentrarse donde las condiciones para absorber el agua son mejores; humedad adecuada con buena aeración y baja salinidad.



El bulbo de humedad que se forma en un suelo ligero toma una forma alargada y delgada, en el caso de suelo pesado la forma es achatada, poco profunda y amplia. Se debe conocer las dimensiones del bulbo de humedad, en cada proyecto para darle un traslape adecuado en función de la separación de los goteros y obtener uniformidad en el riego.

Si no se cuentan con pruebas de bulbo de humedad de la zona en proyecto, se puede considerar para frutales separaciones de un metro entre goteros en suelos ligeros y de 1.2 metros en suelos pesados para hortalizas se utilizan goteros de dos litros por hora a cada 50 cm., en suelos ligeros y a cada 70 cm., en suelos pesados. Los goteros no deben de moverse de su posición original, ya que la planta desarrolla raíces hacia donde se encuentra la humedad y si se mueve el emisor, la planta tendrá que desarrollar más raíces hacia la zona humedecida.

El riego por goteo es ideal, para regar cultivos que crecen bajo cubiertas de plástico, porque las líneas del emisor pueden colocarse debajo de estas cubiertas. Típicamente un sistema de riego por goteo, moja solo una porción de la superficie del suelo, en las plantaciones de espaciado ancho, tales como los viñedos y huertos. Este mojado parcial conduce a muchos beneficios y pocos problemas.

4.1.4. Beneficios del riego por goteo

A. Eficiencia en el uso del agua.

- No es necesario nivelar el terreno, y no hay corriente superficial de agua a lo largo de los surcos, por lo tanto no hay erosión del suelo ni pérdida de agua en el extremo del surco.
- Existe uniformidad de aplicación de agua, ya que entre rangos permitidos, el emisor descarga la misma cantidad y se puede controlar el volumen de agua que requiere la planta diariamente.
- El riego por goteo no es afectado por corrientes de aire y solo en forma mínima por la evaporación, no habiendo desperdicio de agua por concepto de drenaje a las capas profundas del suelo ni por escurrimiento.
- En el riego por goteo el agua va directamente de la tubería al suelo y dentro del área sombreada por lo que se puede decir que no se tienen pérdidas por evaporación o bien que estas son mínimas.

B. Fertilización.

- Los nutrientes en solución se introducen a la red de riego debidamente dosificados. Los nutrientes son aprovechados íntegramente ya que al encontrarse el agua en la conducción bajo un régimen turbulento se mezcla con el fertilizante y lo succionan las raíces al tomar el agua.

C. Económicos.

- Con el objeto de que la inversión inicial de la instalación del sistema no sea tan alta, y ya que dependiendo del cultivo empiezan a producir a partir del tercer o cuarto año, se puede instalar durante los primeros años.



El riego por goteo da un considerable ahorro de mano de obra al reducirse las labores de cultivo para la eliminación de hierbas puesto que la zona húmeda está perfectamente limitada a la planta, excepto en la época de precipitaciones pluviales. Usualmente tenemos hierbas, nos guste o no, y es otro cultivo que está utilizando el agua que estamos aplicando y el crecimiento de las hierbas es debido a que se moja la superficie del suelo, mientras menos mojemos el suelo, menos hierbas tenemos. En el riego por goteo mojamos menos superficie y por lo tanto se tiene menos hierba.

La fertilización y el riego reportan un mínimo de mano de obra. La inversión inicial para el control de plagas y enfermedades de las plantas cultivadas, se reduce considerablemente al reducir el área húmeda y no mojarse el follaje. Al tener mayor control en el riego, se logra mayor calidad en la producción agrícola.

Adelanta la época de cosecha, permitiendo llevar el producto al mercado antes que otros agricultores cuando se encuentra a mejor precio. Esto ocurre con más frecuencia en hortalizas y en menor escala en huertos.

a) Técnicos.

El bulbo de humedad no permite la compactación y el agrietamiento de la tierra en el área radicular controlada con el riego. El control de plagas, enfermedades, cosecha o cualquier práctica agrícola, se puede realizar en el momento oportuno sin interferir con el riego.

Permite utilizar aguas con cierto porcentaje de salinidad hasta 300 micro-mhos/cm., en suelos con buen drenaje interno dando riegos frecuentes, para mantener un alto contenido de humedad en el suelo y periódicamente dar riegos pesados, sin embargo no es aplicable a cultivos sensibles a las sales.

4.1.5. Campos de aplicación del riego por goteo

A raíz de la introducción del riego por goteo en nuestro país y con base a los experimentos realizados, tanto en parcelas de demostración como en plantaciones establecidas, se han determinado dos campos de aplicación del riego por goteo. Cuando se utilice como método de riego y cuando se emplee como sistema de distribución.

- a) El goteo se justifica como método de riego, con base a las experiencias realizadas; en áreas de condiciones desérticas, en suelos de textura ligera y cuando se tiene alta salinidad en el suelo o en el agua, con la aplicación fundamentalmente en cultivos en hileras. Obteniéndose productividades altas que no serían factibles de lograr.

➤ Demanda de riego

Una vez establecida la densidad de plantación que dé cobertura total, la demanda del cultivo se considera que es la evapotranspiración potencial, la cual tiene un valor que varía de 0.60 a 0.75 de la evaporación media.



➤ Frecuencia de riego

Se recomienda mantener el suelo a capacidad de campo, para esto se requiere que el riego sea diario y con mayor razón, cuando el suelo es arenoso, ya que siempre contará con aeración que es básica para cualquier cultivo, cuando el suelo es arcilloso se recomienda el riego cada dos días.

También se debe considerar el tipo de cultivo y las distintas fases de su desarrollo. Generalmente de 20 a 30 días antes de la maduración del fruto se deberá suspender el riego, recomendándose al término de la recolección.

➤ Horas de riego recomendables

Aunque se tiene la recomendación de que preferentemente se dé el riego diurno por coincidir con la mayor actividad fisiológica de la planta, no afecta que en la época de máxima demanda, dar riego durante las 24 horas, ya que el suelo tiene capacidad de retención de humedad, unos más que otros y no existen pérdidas de agua durante la noche por evaporación, actuando el suelo como almacenamiento hasta que la planta tome el agua, lográndose con esto regar más superficie con un gasto dado.

- b) Como sistema de distribución puede utilizarse en cualquier clase de clima, condiciones de agua y suelo factibles de aprovechar con los sistemas de riego tradicionales, obteniéndose un incremento de eficiencia en la conducción y aplicación.

➤ Demanda de riego

Se recomienda que las demandas de agua de los cultivos se calculen mediante el método de Blaney y Criddle, modificado con los coeficientes de desarrollo.

➤ Frecuencia de riego

Los riegos se efectuarán siguiendo los lineamientos establecidos para los sistemas convencionales de riego.

4.2. Sistema de filtración

Hay que tomar medidas para evitar daños en las mangueras o cintas y la formación de sedimentos. Las partículas finas de suelo u otros materiales pueden obstruir los emisores si no se usa un filtro para eliminarlas del agua de riego. Deberán seleccionarse de acuerdo con la calidad del agua y las partículas en suspensión que contenga, para que permita una filtración que no obture el emisor y facilitar la operación del sistema de riego por goteo.

Pueden ser filtros de arena y grava, de mallas, decantadores de arena o una combinación de estos, las cuales deberán tener limpieza periódica, ya sea manual o automática, dependiendo de la cantidad de contaminantes que contenga el agua, ya sean orgánicos



como algas, bacterias y plantas acuáticas; o inorgánicas como arcilla, arena y minerales. Para determinar correctamente el sistema de filtrado y el tratamiento de agua adecuada, se requiere que en el estudio de calidad de agua, se determine el tamaño y cantidad de sólidos en suspensión, el pH, la viscosidad bacteriana, algas, hierro y azufre, en el caso de agua de pozo, es baja la concentración de bacterias y sólidos en suspensión.

Estos filtros impiden el paso de sólidos, pero no son capaces de dar una filtración química, por lo cual se deberán dar aplicaciones de algún ácido que disuelva los elementos químicos que contenga el agua y evitar que se incrusten en la tubería o en el emisor, estas aplicaciones deberán ser en forma periódica y antes de que se tapen los goteros, la periodicidad depende de la calidad del agua de riego.

Ya que en el riego por goteo la zona que se humedece es mínima, la cantidad de raíces que desarrolla la planta se reduce al bulbo de humedad que forman los emisores, por lo cual la capacidad de la planta para extraer los nutrientes del suelo, también se reduce a la cantidad de raíces que tiene, debido a esto; uno de los principales básicos del riego por goteo es dar la fertilización a través del sistema, es decir que el agua que tome la planta ya contenga los nutrientes requeridos por esta.

El tanque fertilizante tiene conexión de entrada y conexión de salida, ambas se instalan en el cabezal de descarga y por medio de una válvula se controla el paso del agua a través del tanque y se logra la inyección del fertilizante por diferencia de presiones. También puede utilizarse una bomba inyectora de fertilizante, en este caso el tanque puede ser de plástico o metal delgado ya que no se encuentra a presión.

4.3. Tuberías secundarias

Las tuberías secundarias son aquellas que van conectadas a la línea principal y el material más adecuado es PVC y polietileno de media o alta densidad, los diámetros más utilizados son de $\frac{3}{4}$ " a 2".

Se recomienda que las líneas secundarias se instalen de tal forma que puedan abastecer a líneas regantes en ambos lados, con lo que se logra una economía en el proyecto al reducir el número de secundarias.

En el caso de utilizar tubería flexible, se colocara sobre la superficie y si es rígida (PVC) se entierra, ya que no soporta los agentes de intemperismo.



4.4. Emisores y tuberías regantes

Las líneas regantes son las de menor diámetro, generalmente de $\frac{1}{4}$ " a $1\frac{1}{4}$ " y es donde se instalan los emisores, algunos tipos de tubería combinan la función de la línea y la del emisor, como es el caso de la tubería de doble pared y la tubería porosa, la forma en que estas líneas se conectan a la línea secundaria, es mediante abrazaderas de inserción, tes o cruces prefabricadas de materiales plásticos.

La longitud máxima de la línea regante en el caso de los goteros de operación a carga constante, será aquella que como máximo nos dé una diferencia de presión del 20% de la carga de operación del emisor, entre el último de la línea regante y el primero de la línea inicial, después de la válvula de control o regulador de gasto, lográndose con esto una variación de gasto en los goteros del 10% en toda la zona de riego, siendo la tolerancia permitida.

Cuando se utilicen goteros cuya operación pueda efectuarse con carga variable (sistema espaguete), la máxima longitud de la línea regante estará limitada por las presiones máximas y mínimas que garanticen un funcionamiento adecuado y uniforme dentro de las tolerancias antes indicadas.

Estas líneas regantes se construyen de polietileno y están diseñadas para soportar los agentes de intemperismo, debido a que generalmente se instalan sobre la superficie, también pueden instalarse enterradas, pero esto encarece el proyecto y tiene la desventaja que al hacer las labores culturales pueden romper la tubería. En ambos casos el emisor siempre debe estar sobre la superficie, para detectarlo cuando este tapado o no este tapado dentro de los límites de la tolerancia. Únicamente la tubería porosa debe instalarse enterrada y a una profundidad de 10 a 15 cm., ya que es condición para este tipo de línea regante, que se utiliza en hortalizas.

4.4.1. Formas de instalar la línea regante

- a) Lateral sencillo: es el más utilizado por su economía en cultivos en hilera, como hortalizas o vid y en general para cultivos a poco espaciamiento, también se recomienda en cultivos de mediana cobertura, pero en suelos de textura media o pesada.



Figura 26. Lateral sencillo.



- b) Lateral con goteros en cruz: para árboles en crecimiento se instalan primero los de la línea regante, cuando la planta es pequeña y posteriormente los perpendiculares, cuando demanda más agua, no existe riesgo de que se muevan los goteros de su posición original, ya que quedan fijos por la cruz de inserción.



Figura 27. Lateral con goteros en cruz.

- c) Lateral con goteros de salidas múltiples: cuando se tiene gotero con espagueti, fácilmente se pueden clausurar y abrir las salidas del emisor, según sea la edad de la plantación.



Figura 28. Lateral con goteros de salidas múltiples.

- d) Lateral a zig-zag: cuando son cuatro los puntos de emisión que debe tener el cultivo esta forma de instalar el lateral, es conveniente, ya que se requieren menos terminales que en el caso de goteros en cruz, estas terminales hay que destaparlas periódicamente, ya que ahí se acumulan azolves.



Figura 29. Lateral a Zig-zag.

- e) Lateral con colas de puerco: para árboles de mediano y amplio espaciamiento, conforme las necesidades de agua, van siendo mayores, se incrementa el número de goteros, se pueden instalar uno o dos semicírculos alrededor del árbol.

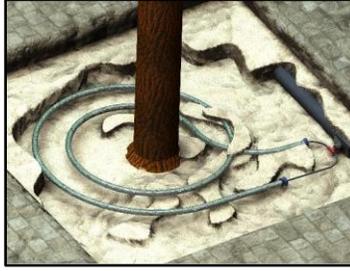


Figura 30. Lateral con colas de puerco.

- f) Lateral doble: cuando el árbol es más pequeño se utiliza una línea, al crecer se instala la otra, se utiliza para cultivos de mediano y grande espaciamiento.



Figura 31. Lateral doble.

- g) Lateral con círculo envolviendo al árbol: para cultivos de mediano y amplio espaciamiento, se utiliza en cualquier tipo de suelo, se adapta eficientemente a huertos ya establecidos.



Figura 32. Lateral con círculo envolviendo al árbol.

Desde la iniciación del riego por goteo se ha fabricado diversos tipos de emisores, y actualmente existe una gran variedad, tanto en el mercado nacional como internacional. No existe un gotero ideal para todos los proyectos porque de un diseño a otro se tienen diferentes factores como: el cultivo, el clima, el conocimiento del usuario sobre riego por goteo, el presupuesto con que se cuenta para el sistema, la mano de obra disponible, topografía, tipo de suelo y la calidad de agua de riego, por lo tanto se darán lineamientos para que el proyectista pueda definir cuál gotero es el más adecuado a su proyecto específico.



4.4.2. Características que deben reunir los emisores

- a) Que sea de fácil regulación (manual o automático) y que el gasto que entreguen esté en función de una presión preestablecida.
- b) Que sea de fácil limpieza o reposición, ya que sabemos que el principal problema en los emisores es el taponamiento, por lo que son más recomendables los que tienen la sección transversal de flujo relativamente grande, y que su conexión no presente fugas al estar operado el sistema.
- c) Que las características del material con que estén contruidos y la precisión den la seguridad de sus moldes en que se fabrican den la seguridad de que el emisor pueda llevar a cabo su cometido en un largo periodo, que sean resistentes al intemperismo, a los agentes químicos agrícolas, y que no permitan el paso de luz al interior para evitar el crecimiento de algas.
- d) Debido a la cantidad de goteros que se utilizan en un sistema; el costo del emisor así como el su conservación deberá ser económico. Esto permitirá que el incremento de la superficie actual bajo este método sea más acelerado, ya que este tipo de riego presenta grandes ventajas.

4.4.3. Clasificación de los emisores

Los emisores o goteros se pueden clasificar por:

- a) Por su operación

Se dividen en goteros de:

1. Regulación manual: son aquellos goteros que trabajan con una esprea que es la que regula el gasto, sin embargo se ha encontrado que en general no llenan los requisitos de fácil regulación, uniformidad en el gasto y requieren de considerable mano de obra para calibrarlos, siendo recomendable promover el mejoramiento de estos goteros, ya que su operación es factible a presiones bajas, lo que se traduce en economía para la inversión inicial y en la operación.



Figura 33. Goteros de regulación manual.

2. Automático de carga constante: son los más recomendables, ya que basta con dar la presión adecuada para que entregue en gasto requerido. Estos



goteros cumplen con la mayoría de las características para un emisor, como fácil instalación, uniformidad en el gasto y fácil operación.

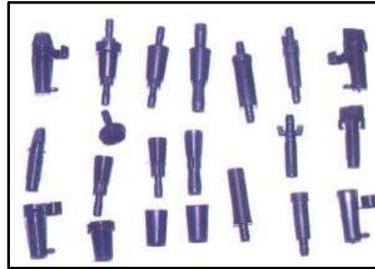


Figura 34. Goteros automáticos de carga constante.

3. Automático de carga variable: el gasto varía de acuerdo con la longitud del micro-tubo, a mayor longitud mayor pérdida por fricción y menor gasto, son goteros contruidos por un tramo de tubería de polietileno de diámetro pequeño que varía entre 1 y 3 mm., conocido bajo el nombre de espaguete, se conectan directamente a la línea regante por un extremo y por otro sale el gasto, estos goteros son de los más económicos, requieren de constante supervisión, mayormente después de la cosecha o al ejecutar prácticas agrícolas, para localizar los que no están trabajando correctamente, debido a taponamientos, ahorcamientos en la tubería, a los que se zafan de la línea regante y a los que al realizar las labores culturales se enredan en las herramientas de trabajo.



Figura 35. Gotero compensador de presión.

Reparar los goteros que se encuentran en mal estado, es fácil lograrlo, sin embargo debido a la cantidad de emisores que requiere el sistema y al desconocimiento en la conservación del equipo, los agricultores van dejando que se acumulen los que no operan adecuadamente con la consiguiente baja de eficiencia en el riego, llegando inclusive en un momento dado a tener que reponer todos los micro-tubos o a que lleguen a pensar los usuarios que el sistema espaguete no es recomendable.

4. Compensadores de presión: se diseñan para dar un gasto constante en un amplio rango de presiones, compensándolas automáticamente en terrenos accidentados. Dentro del gotero instalan una membrana flexible con perforaciones que hacen que la sección transversal del pasaje de salida, disminuya cuando la presión aumenta. Eliminan la utilización de reguladores



de presión y las longitudes de las líneas regantes son mayores a las permitidas por fluctuaciones de presión, además se pueden desarmar para su limpieza.

En el caso de que el terreno sea una parte plana y otras accidentada puede utilizarse este emisor en combinación con otros, pero se recomienda que sean de la misma compañía.



Figura 36. Gotero compensador de presión.

El circuito compensador de presión consiste en una tubería flexible que es utilizada alrededor del árbol y puede tener hasta 10 puntos de salida de agua a través de emisores en espiral dentro de la tubería, ésta es conectada a la tubería regante por medio de un compensador de presión que asegura igual distribución de agua en los puntos de salida, los circuitos son preensamblados para fácil instalación con 4, 6, 8 o 10 emisores, según los requerimientos; en suelos con poco movimiento lateral de agua y baja velocidad de infiltración, es deseable que existan varios puntos de descarga, también se utiliza para cultivos adultos con extensa zona radicular.

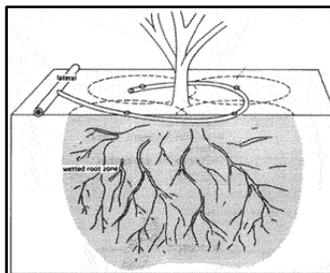


Figura 37. Circuito compensador de presión.

b) Por la forma que disipan la presión

Esta clasificación está en función de la forma como se mueve el agua en el emisor, por ejemplo los de:

1. Sendero largo, estos emisores existen de flujo laminar y de flujo turbulento, los de flujo laminar, no son muy recomendados, si la calidad del agua no es buena ya que el agua tiene que recorrer senderos de sección transversal de 0.8 mm y 1.20 m de longitud, aproximadamente a una velocidad muy baja, lo que permite la acumulación de sedimentos que van obstruyendo el paso



del agua, aunque existen los que se pueden desarmar para su limpieza, siendo más convenientes los de flujo turbulento, estos tienen sección transversal de 1.45 mm y 0.25 m de longitud, con la cual se logra menos problemas de taponamiento y la variación del gasto, respecto a la temperatura también es menor.



Figura 38. Emisores de sendero largo.

2. Tubería de doble pared, tiene dos compartimientos que llevan el agua a lo largo de los cultivos y la descarga en los puntos deseados, consiste básicamente en una tubería flexible dentro de otra o una encima de otra, el compartimiento principal es el que conduce el agua a través de la tubería y tiene una serie de orificios interiores que alimentan de agua al compartimiento secundario, reduciendo la presión 10 veces, este a su vez entrega el agua al suelo por las perforaciones que tiene, que son aproximadamente 4 veces más que en la cámara principal, permitiendo una igual distribución de agua con bajos gastos de emisión a una adecuada distancia.



Figura 39. Tubería de doble pared.

Se utiliza en cultivos como lechuga, algodón, fresa, espárragos, plátano, piña, alcachofa, pepino, jitomate, caña de azúcar y cultivos similares, su costo es relativamente económico y su mejor distribución de agua se tiene con pendientes menores de 3% si se tiene terrenos con mayor pendiente deberá diseñarse el sistema de tal forma que la tubería de doble pared sea instalada siguiendo las curvas de nivel.

Esta línea regante puede entregar el agua hasta una longitud de 200 m. Debido a que existen tuberías con diferentes espaciamientos de orificios, pueden utilizarse flujos de 34 hasta 170 litros por hora, para una longitud de 30 m, los rangos de operación son de 3.5 a 10.5 m.



No debe utilizarse presiones altas en suelos arcillosos o compactos, debido a que el gasto emitido no se propaga rápidamente en el suelo, menores gastos proveen una mejor aplicación en suelos arcillosos.

3. Tubería porosa, tiene las funciones de lateral y emisor al mismo tiempo, están constituidas de material poroso que al introducir agua bajo presión exuda a través de toda la tubería, se instala enterrada a una profundidad de 15 cm o a una profundidad que no llegue el equipo de labranza, y se utiliza en los mismos campos de aplicación que la tubería de doble pared.



Figura 40. Tubería porosa.

4. De orificio, en éstos la presión se disipa al pasar el agua a través de una pequeña boquilla y se puede provocar antes de la salida un remolino para tener más pérdida, o colocar un tubo largo y delgado como medio adicional para disipar la presión, además que colocando varios tubos de este tipo con un mismo gotero, obtendremos diferentes bulbos de humedad alrededor del árbol.



Figura 41. Emisores de orificio.

c) Por la forma en que se conectan a la línea regante

1. Emisor en la línea. El flujo de la línea regante pasa a través de los emisores, dejando salir el gasto con el que está diseñado, se recomienda que sean instalados desde la fábrica, ya que se someten a pruebas de presión hidráulica interna, existiendo una mayor garantía en su conexión, además permite una fácil y rápida instalación del sistema en campo. Son ensamblados según sea la separación especificada, dependiendo el tipo de cultivo y textura del suelo.

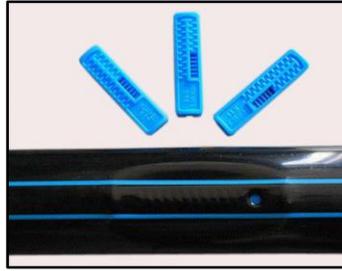


Figura 42. Emisor en la línea.

2. Emisores sobre la línea. Es un método de conexión para ser instalados en el campo en terrenos con topografía irregular y asegurar la colocación exacta del gotero, una vez plantado el cultivo, también se utilizan para incrementar emisores a un sistema de riego por goteo ya instalado, únicamente requiere hacerle una perforación a la línea regante y conectar el gotero.

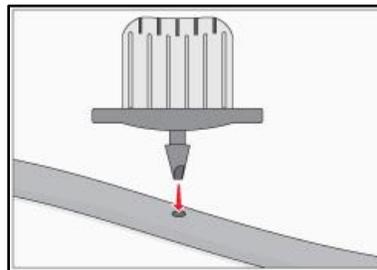


Figura 43. Emisor sobre la línea.

3. Emisor con extensión. Permite al agricultor extender fácilmente el sistema de líneas regantes, obtener aplicaciones adicionales a una distancia determinada fuera de la línea regante, entregando el agua necesaria, dependiendo de la edad y la demanda de agua por la planta, también pueden ser utilizados cuando la tubería regante es enterrada para evitar daños cuando se hacen las labores culturales, la extensión de estos emisores son de 30, 45, 60 y 90 cm.



Figura 44. Emisor con extensión.

4. Emisor subterráneo. Se inserta a la línea regante, la cual se instala enterrada a una profundidad de 12 cm., quedando el emisor verticalmente para entregar el agua sobre la superficie, diseñado para el Nogal, para que no existan problemas durante la cosecha.



Figura 45. Emisor subterráneo.

5. Emisor múltiple sobre la línea. Entrega el agua al cultivo en dos o más, diferentes puntos desde un emisor, utilizando tubería de espagueti, puede ser superficial o enterrado 7.5 cm., la longitud de la tubería de espagueti varía de acuerdo con los requerimientos de la planta por regar.



Figura 46. Emisor múltiple.



5. Evaluación y propuesta económica

La evaluación y propuesta económica que se presenta es con base en los precios unitarios, en los cuales se describen cada uno de los elementos y/o factores que lo integran, como son: costo directo, costo indirecto, costo de financiamiento y utilidad.

Para ello, se han tomado como base los lineamientos que establece la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas y el Reglamento de la propia Ley para la integración de los elementos que conforman los costos, es decir, el factor de salario real, los salarios dentro de la industria, los costos horarios del equipo de construcción, los costos directos por concepto de materiales, el cargo por herramienta, los costos de administración, el financiamiento y la utilidad.

En lo posible, se han considerado costos promedios de mercado en la fecha en la que se ha elaborado este trabajo (junio de 2014 - julio de 2014), utilizados en la metodología para la integración del costo directo de los materiales en los conceptos de obra.

Conociendo el proyecto y con el análisis previo se elabora un catálogo de conceptos, en el que se especifican las actividades que se deben realizar.

Catálogo de Conceptos					
Cárcamo y sistema de bombeo					
Clave	Concepto	Unidad	Cantidad	P. U.	Importe
CB-1	Limpieza: desmonte y despalme de terreno. Incluye equipo, material y mano de obra.	m ²	49.00		
CB-2	Trazo y nivelación. Incluye equipo topográfico, materiales y mano de obra.	m ²	42.25		
CB-3	Excavación hasta 5 m de profundidad por 6.5 m de lado. Incluye equipo, materiales y mano de obra	m ³	211.25		
CB-4	Fabricacion de losa de cimentación de concreto reforzado. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m ²	42.25		
CB-5	Fabricacion de paredes del cárcamo de bombeo de concreto reforzado. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m ²	143.00		
CB-6	Fabricacion de losa de cierre de concreto reforzado. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m ²	42.25		
CB-7	Suministro y colocación de sistema de filtrado. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	lote	1.00		
CB-8	Suministro y colocación de tubería de PVC, con un Ø=315 mm. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m	1.90		
CB-9	Suministro y colocación de sistema de bombeo. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	lote	1.00		
Subtotal cárcamo y sistema de bombeo					



Línea de bombeo					
Clave	Concepto	Unidad	Cantidad	P. U.	Importe
LC-1	Limpieza: desmonte y despalme de terreno. Incluye equipo, material y mano de obra.	m ²	366.30		
LC-2	Trazo y nivelación. Incluye equipo topográfico, materiales y mano de obra.	m	1221.00		
LC-3	Excavación hasta 1 m de profundidad. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m ³	366.30		
LC-4	Plantilla de 5 cm de compactación.	m	1221.00		
LC-5	Suministro y colocación de tubería de PVC, con un Ø=250 mm. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m	1221.00		
LC-6	Relleno y compactación 5 cm	m	1221.00		
LC-7	Señalización	lote	1.00		
Subtotal línea de bombeo					

Tanque elevado					
Clave	Concepto	Unidad	Cantidad	P. U.	Importe
TE-1	Limpieza: desmonte y despalme de terreno. Incluye equipo, material y mano de obra.	m ²	56.75		
TE-2	Trazo y nivelación. Incluye equipo topográfico, materiales y mano de obra.	m	56.75		
TE-3	Excavación hasta 0.5 m de profundidad. Incluye equipo, materiales y mano de obra	m ³	28.37		
TE-4	Fabricacion de losa de cimentación de concreto reforzado. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m ²	56.75		
TE-5	Fabricacion de pared del tanque elevado de concreto reforzado. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m ²	133.52		
TE-6	Fabricacion de losa de cierre de concreto reforzado. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m ²	56.75		
Subtotal tanque elevado					



Línea de distribución					
Clave	Concepto	Unidad	Cantidad	P. U.	Importe
LA-1	Limpieza: desmonte y despalme de terreno. Incluye equipo, material y mano de obra.	m ²	1373.25		
LA-2	Trazo y nivelación. Incluye equipo topográfico, materiales y mano de obra.	m	5493.00		
LA-3	Excavación hasta 1 m de profundidad. Incluye equipo, materiales y mano de obra	m ³	1373.25		
LA-4	Plantilla de 5 cm de compactación.	m	5493.00		
LA-5	Suministro y colocación de tubería de PVC, con un Ø=250 mm. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m	1008.00		
LA-6	Suministro y colocación de tubería de PVC, con un Ø=219.1 mm. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m	887.00		
LA-7	Suministro y colocación de tubería de PVC, con un Ø=200 mm. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m	739.00		
LA-8	Suministro y colocación de tubería de PVC, con un Ø=160 mm. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m	732.00		
LA-9	Suministro y colocación de tubería de PVC, con un Ø=114.3 mm. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m	223.00		
LA-10	Suministro y colocación de tubería de PVC, con un Ø=88.9 mm. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m	930.00		
LA-11	Suministro y colocación de tubería de PVC, con un Ø=73 mm. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m	306.00		
LA-12	Suministro y colocación de tubería de PVC, con un Ø=48.3 mm. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m	668.00		
LA-13	Relleno y compactación 5 cm	m	5493.00		
LA-14	Señalización	lote	1.00		
Subtotal línea de distribución					



Riego por goteo					
Clave	Concepto	Unidad	Cantidad	P. U.	Importe
RG-1	Limpieza: desmonte y despalme de terreno. Incluye equipo, material y mano de obra.	m ²	1651.00		
RG-2	Suministro y colocación de tubería de PVC, con un Ø=250 mm. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m	1391.00		
RG-3	Suministro y colocación de tubería de PVC, con un Ø=219.1 mm. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m	741.00		
RG-4	Suministro y colocación de tubería de PVC, con un Ø=200 mm. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m	627.00		
RG-5	Suministro y colocación de tubería de PVC, con un Ø=160 mm. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m	1373.00		
RG-6	Suministro y colocación de tubería de PVC, con un Ø=114.3 mm. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m	567.00		
RG-7	Suministro y colocación de tubería de PVC, con un Ø=88.9 mm. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m	920.00		
RG-8	Suministro y colocación de tubería de PVC, con un Ø=73 mm. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m	195.00		
RG-9	Suministro y colocación de tubería de PVC, con un Ø=48.3 mm. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m	790.00		
RG-10	Suministro y colocación de goteros, de 2.3 l/h. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	lote	1.00		
RG-11	Señalización	lote	1.00		
Subtotal riego por goteo					

Total inversión	
------------------------	--

5.1.Mano de obra

Para este proyecto del sistema de riego por goteo en el municipio de Jolalpan, en el estado de Puebla, se ha establecido la siguiente mano de obra que se requerirá para llevar a cabo la construcción de dicho proyecto (Tabla 63).



Categoría	Salario base
Cabo	\$ 300.00
Oficial albañil	\$ 280.00
Operador equipos menores	\$ 230.00
Oficial fierro	\$ 250.00
Oficial carpintero	\$ 250.00
Peón	\$ 200.00
Plomero	\$ 250.00
Topógrafo	\$ 400.00

5.1.1. Ley Federal del Trabajo (LFT)

En el análisis de la mano de obra, se necesita obtener la integración del salario real, para ello se requiere conocer las obligaciones obrero-patronales derivadas de la Ley del Seguro Social y de la Ley del Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores, así como los días realmente pagados y los realmente trabajados durante un periodo anual, que se establece en la Ley Federal del Trabajo.

En primer punto se requiere conocer la siguiente información (Tabla 64).

Días pagados (DP)		Días de descanso por Ley (DDL)		Días de descanso por costumbre (DDC)	
Cuota diaria	365	7° día	52	Fiestas de costumbre	3
Aguinaldo	15	Días festivos	7.17	Enfermedad	2
Prima vacacional	1.5	Vacaciones	6	Mal tiempo	4
Total	381.5	Total	65.17	Total	9

Con la información anterior se obtienen las obligaciones correspondientes a la Ley Federal del Trabajo (Tabla 65).

$$\text{Total de días trabajados (DT)} = \text{Cuota diaria} - \text{Total DDL} - \text{Total DDC}$$

$$\text{Total DT} = 290.83$$

$$\text{Factor de la Ley Federal del Trabajo} = \text{Total DP} / \text{Total DT}$$

$$\text{Factor LFT} = 1.3118$$

$$\text{LFT} = \text{Factor LFT} * \text{Salario base}$$



Tabla 65. Ley Federal de Trabajo (LFT).

Categoría	LFT
Cabo	393.5289
Oficial albañil	367.2936
Operador equipos menores	301.7055
Oficial herrero	327.9407
Oficial carpintero	327.9407
Peón	262.3526
Plomero	327.9407
Topógrafo	524.7052

5.1.2. Ley del Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT)

Teniendo el valor perteneciente a la Ley Federal del Trabajo se obtiene el correspondiente a Ley del Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores.

Factor de la Ley del INFONAVIT = 5% de Ley Federal del Trabajo

Tabla 66. Ley del Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT).

Categoría	INFONAVIT
Cabo	19.6764
Oficial albañil	18.3647
Operador equipos menores	15.0853
Oficial herrero	16.3970
Oficial carpintero	16.3970
Peón	13.1176
Plomero	16.3970
Topógrafo	26.2353

5.1.3. Ley del Seguro Social (IMSS)

Posteriormente se determinan las obligaciones obrero-patronales relacionadas a la Ley del Seguro Social, es importante considerar que el salario mínimo en el Estado de Puebla es de \$63.77.



Tabla 67. Obligaciones obrero-patronales de la Ley del Seguro Social.

	Patrón		Trabajador	
	SBC	SMGDF	SBC	SMGDF
Seguro por riesgo de trabajo (Clase V)	0.0758875			
Seguro por enfermedad y maternidad		0.20400		
	0.01100 (SBC - 3SMGDF)		0.00400 (SBC - 3SMGDF)	
	0.00700		0.00250	
	0.01050		0.00375	
Seguro por invalidez y vida	0.01750		0.00625	
Seguro por retiro, cesantía y vejez	0.03150		0.01125	
	0.02000			
Seguro por guardería	0.01000			
Total	0.17239	0.20400	0.02375	0

$$\text{Factor para salario integrado (FSI)} = \text{Total DP}/365$$

$$FSI = 1.04521$$

Dado que el salario base es tres veces mayor al salario mínimo en el Estado de Puebla, se considera el caso C, por lo tanto:

$$IMSS = (SBC_{patron} * FSI * Salario base) + (SMGDF_{patron} * Salario Minimo_{Puebla})$$

Tabla 68. Ley del Seguro Social (IMSS).

Categoría	IMSS Caso C	SBC > 3SMGDF
Cabo		67.0640
Oficial albañil		63.4604
Operador equipos menores		54.4514
Oficial herrero		58.0550
Oficial carpintero		58.0550
Peón		49.0460
Plomero		58.0550
Topógrafo		85.0820

Teniendo los valores respecto a la Ley Federal del Trabajo, INFONAVIT e IMSS, se determina el salario real de cada trabajador así como el factor de salario real.

$$\text{Salario real} = LFT + INFONAVIT + IMSS$$

$$\text{Factor de salario real} = \text{Salario real}/\text{Salario base}$$



Tabla 69. Ley del Seguro Social (IMSS).

Categoría	Salario real	Factor de salario real
Cabo	\$480.27	1.6009
Oficial albañil	\$449.12	1.6040
Operador equipos menores	\$371.24	1.6141
Oficial herrero	\$402.39	1.6096
Oficial carpintero	\$402.39	1.6096
Peón	\$324.52	1.6226
Plomero	\$402.39	1.6096
Topógrafo	\$636.02	1.5901

5.2. Maquinaria

Para la ejecución de una gran variedad de obras es necesario utilizar maquinaria o equipo de construcción a fin de obtener óptimos resultados en cuanto a calidad costo y tiempo, respetando las normas y especificaciones. Desde la etapa de planeación, se deberá tomar en cuenta el equipo más adecuado para la realización de los trabajos, para así poder ejecutar la obra de la manera más conveniente.

En este proyecto se consideró necesario utilizar tres maquinarias un pison vibratorio, una revoladora y una estación total, para calcular el costo horario de cada una, se necesitan obtener los cargos fijos, cargos por consumo y cargos por operación.

5.2.1. Cargos fijos

$$D = \frac{Vm - Vr}{Ve}$$

Donde:

- ⇒ D Costo por depreciación de la maquinaria.
- ⇒ Vm Valor de la maquinaria considerado como nuevo, descontando el precio de las llantas, equipamientos, accesorios y/o piezas especiales.
- ⇒ Vr Valor de rescate de la maquinaria.
- ⇒ Ve Vida económica.

$$Im = \frac{Vm + Vr}{2Hea} i$$

Donde:

- ⇒ Im Costo horario de la inversión de la maquinaria, considerada como nueva.
- ⇒ Hea Número de horas efectivas que la maquinaria trabaja durante el año.
- ⇒ i Tasa de interés anual.



$$Sm = \frac{Vm + Vr}{2Hea} s$$

Donde:

- ⇒ Sm Costo horario por seguros de la maquinaria.
- ⇒ s Prima anual promedio de seguros (varía entre 3% y 6%).

$$Mn = K_o D$$

Donde:

- ⇒ Mn Costo horario por mantenimiento de la maquinaria.
- ⇒ Ko Coeficiente que incluye mantenimiento mayor y menos, se fija de acuerdo a la experiencia.

5.2.2. Cargos por consumo

$$C_o = G_h * P_c$$

Donde:

- ⇒ Co Costo horario por combustible necesario por hora efectiva de trabajo.
- ⇒ Gh Cantidad de combustible utilizada por hora efectiva de trabajo.
- ⇒ Pc Precio del combustible que requiere la maquinaria.
Diesel=0.2*H.P*OP (% de operación).
Gasolina=0.24*H.P*OP (% de operación).

$$L_b = (A_h * G_a) P_a$$

Donde:

- ⇒ Lb Cargo por consumo de lubricantes.
- ⇒ Ah Cantidad de lubricantes utilizada por hora efectiva de trabajo.
- ⇒ Ga Consumo entre cambios sucesivos de lubricantes de la maquinaria.
- ⇒ Pc Precio del lubricante que requiere la maquinaria.
Potencia ≤ 100 H.P = 0.003*H.P*OP (% de operación).
Potencia ≥ 100 H.P = 0.0035*H.P*OP (% de operación).

$$G_a = \frac{v}{t}$$

Donde:

- ⇒ v Capacidad del cráter en litros.
- ⇒ t Número de horas transcurridas entre dos cambios de aceite.

$$N = \frac{Pn}{Vn}$$

Donde:

- ⇒ N Costo horario por el consumo de llantas de la maquinaria.
- ⇒ Pn Valor de las llantas consideradas como nuevas.
- ⇒ Vn Horas de vida económica de las llantas.

$$Ae = \frac{Pa}{Va}$$



Donde:

- ⇒ Ae Costo horario por piezas especiales de la maquinaria.
- ⇒ Pa Representa el valor de las piezas especiales consideradas como nuevas.
- ⇒ Va Horas de vida económica de las piezas especiales.

5.2.3. Cargos por operación

$$Po = \frac{Sr}{Ht}$$

Donde:

- ⇒ Po Costo horario por la operación de la maquinaria.
- ⇒ Sr Representa el salario del personal necesario para operar la maquinaria.
- ⇒ Va Horas efectivas de trabajo que consideren para la maquinaria.

5.2.4. Costo horario de Pison vibratorio Dynapac LT-6000 de 3 hp, gasolina

Datos

	Precio	Sin IVA
Costo de la maquinaria	\$ 21,000.00	\$ 18,103.45
Valor de llantas	\$ -	\$ -
Piezas de desgaste	\$ -	\$ -
Valor de rescate		\$ 3,620.69

➤ Vida útil	4 años		
➤ Horas por año	700	✓ Cargo por depreciación	5.17
➤ Horas efectivas al año	1400	✓ Cargo por inversión	1.24
➤ Vida económica	2800	✓ Cargo por seguro	0.23
➤ Tasa de seguro	0.03	✓ Cargo por mantenimiento	4.14
➤ K de mantenimiento	0.8		
➤ K de rescate	0.20	Total de cargos fijos	\$10.78
➤ Tasa de interés	0.16	Cargos por Consumo	
➤ K de operación	0.80		
➤ Motor de gasolina (Hp)	3		
➤ Horas vida económica de llantas	0	✓ Cargos por consumo de combustible	7.30
➤ Gasolina	\$12.68	✓ Cargos por consumo de lubricante	0.61
○ Cap. Carter (Lt)	2.5	✓ Cargos por consumo de llantas	0
➤ Lubricante	\$47.20	✓ Cargos por consumo de piezas	0
○ Cap. Carter (Lt)	0.4	✓ Cargos por otras fuentes de energía	0
➤ Gh	0.576		
➤ Ah	0.0072		
➤ Ga	0.01		
➤ T	70		
➤ Va	0		

Cargos fijos.

Total de cargos por consumo \$7.91



Cargos por Operación

- Salario real \$371.24
- Ht 6.4

✓ Operador equipos menores **Total de cargos por operación \$58.01**

Costo Horario por maquinaria \$76.70

5.2.5. Costo horario de Revolvedora de concreto Cipsa Ultra 10, 1 saco de 8 hp motor Honda

Datos

	Precio	Sin IVA
Costo de la maquinaria	\$ 19,720.00	\$ 17,000.00
Valor de llantas	\$ 1,000.00	\$ 862.07
Valor de la maquinaria		\$ 16,137.93
Piezas de desgaste	\$ -	\$ -
Valor de rescate		\$ 3,227.59

- Vida útil 4 años ✓ Cargo por mantenimiento 1.72
- Horas por año 1500
- Horas efectivas al año 1500 **Total de cargos fijos \$5.10**
- Vida económica 6000
- Tasa de seguro 0.03 Cargos por Consumo
- K de mantenimiento 0.8
- K de rescate 0.20 ✓ Cargos por consumo de combustible 19.48
- Tasa de interés 0.16 ✓ Cargos por consumo de lubricante 1.18
- K de operación 0.80 ✓ Cargos por consumo de llantas 0.29
- Motor de gasolina (Hp) 8 ✓ Cargos por consumo de piezas 0
- Horas vida económica de llantas 3000 ✓ Cargos por otras fuentes de energía 0
- Gasolina \$12.68
- Cap. Carter (Lt) 2.5
- Lubricante \$47.20
- Cap. Carter (Lt) 0.4
- Gh 1.536 **Total de cargos por consumo \$20.94**
- Ah 0.0192
- Ga 0.01
- t 70 Cargos por Operación
- Va 0

Cargos fijos.

- ✓ Operador equipos menores
 - Salario real \$371.24
 - Ht 6.4

✓ Cargo por depreciación 2.15
 ✓ Cargo por inversión 1.03 **Total de cargos por operación \$58.01**
 ✓ Cargo por seguro 0.19

Costo Horario por maquinaria \$84.05



5.2.6. Costo horario de Estación total RUIDE RTS-822A

Datos

	Precio	Sin IVA
Costo de la maquinaria	\$ 44,080.00	\$ 38,000.00
Valor de llantas	\$ -	\$ -
Piezas de desgaste	\$ -	\$ -
Valor de rescate		\$ 7,600.00

- Vida útil 4 años
- Horas por año 3000
- Horas efectivas al año 3000
- Vida económica 12000
- Tasa de seguro 0.03
- K de mantenimiento 0.8
- K de rescate 0.20
- Tasa de interés 0.16
- K de operación 0.80
- Motor de gasolina (Hp) 0
- Horas vida económica de llantas 0
- Gasolina \$0
 - Cap. Carter (Lt) 0
- Lubricante \$0
 - Cap. Carter (Lt) 0
- Gh 0
- Ah 0
- Ga 0
- t 50
- Va 0

✓ Cargo por mantenimiento 2.03

Total de cargos fijos \$7.45

Cargos por Consumo

- ✓ Cargos por consumo de combustible 0
- ✓ Cargos por consumo de lubricante 0
- ✓ Cargos por consumo de llantas 0
- ✓ Cargos por consumo de piezas 0
- ✓ Cargos por otras fuentes de energía 0

Total de cargos por consumo \$0.00

Cargos por Operación

- ✓ Topógrafo
 - Salario real \$636.02
 - Ht 6.4

Total de cargos por operación \$99.38

Cargos fijos.

- ✓ Cargo por depreciación 2.53
- ✓ Cargo por inversión 2.43
- ✓ Cargo por seguro 0.46

Costo Horario por maquinaria \$106.83



5.3. Materiales

Tabla 70. Cotización de materiales (junio 2014 – julio 2014)²⁸.

Material	Unidad	Cantidad	Costo
Arena	m3	1	\$ 162.72
Grava	m3	1	\$ 167.22
Cemento portland	ton	1	\$ 1,704.47
Varilla No. 3	ton	1	\$ 9,500.00
Agua	lt	1	\$ 0.02
Pintura	lt	1	\$ 75.00
Triplay de pino delgado de 3 mm de espesor	Pza	1	\$ 108.46
Polin 3 1/2" X 3 1/2"	Pza	1	\$ 62.64
Polin 4" X 4"	Pza	1	\$ 98.19
Alambre recocido	ton	1	\$ 13.09
Clavo	Kg	1	\$ 15.56
Desmoldante	L	1	\$ 14.27
Barrotes	Pza	1	\$ 33.18
Madera 3ra	Pza	1	\$ 27.20
Alambren 2 1/2" (1/4")	kg	1	\$ 13.45
Tuberia PVC 315 mm	m	1	\$ 223.11
Tuberia PVC 250 mm	m	1	\$ 175.63
Tuberia PVC 219.1 mm	m	1	\$ 145.00
Tuberia PVC 200 mm	m	1	\$ 115.92
Tuberia PVC 160 mm	m	1	\$ 93.50
Tuberia PVC 114.3 mm	m	1	\$ 41.67
Tuberia PVC 88.9 mm	m	1	\$ 31.00
Tuberia PVC 73 mm	m	1	\$ 15.50
Tuberia PVC 48.3 mm	m	1	\$ 10.50
Codo 90 PVC 250 mm	pza	1	\$ 29.20
Codo 90 PVC 219.1 mm	pza	1	\$ 23.20
Codo 90 PVC 200 mm	pza	1	\$ 18.20
Codo 90 PVC 160 mm	pza	1	\$ 15.20
Codo 90 PVC 114.3 mm	pza	1	\$ 12.80
Codo 90 PVC 88.9 mm	pza	1	\$ 10.20
Codo 90 PVC 73 mm	pza	1	\$ 7.80
Codo 90 PVC 48.3 mm	pza	1	\$ 4.00
Codo 45 PVC 250 mm	pza	1	\$ 27.00
Codo 45 PVC 219.1 mm	pza	1	\$ 20.00
Codo 45 PVC 200 mm	pza	1	\$ 14.40
Codo 45 PVC 160 mm	pza	1	\$ 12.00
Codo 45 PVC 114.3 mm	pza	1	\$ 10.80
Codo 45 PVC 88.9 mm	pza	1	\$ 9.00
Codo 45 PVC 73 mm	pza	1	\$ 7.90
Codo 45 PVC 48.3 mm	pza	1	\$ 3.90
Bomba vertical	pza	1	\$ 42,694.67

²⁸ Se consultaron diferentes fuentes para consultar los precios, los cuales se encuentran en la bibliografía.



Tabla 71. Continuación. Cotización de materiales (junio 2014 – julio 2014).

Material	Material	Material	Material
Rejillas	pza	1	\$ 465.00
Señalización	pza	1	\$ 794.01
Goteros	pza	1	\$ 1.30
Pegamento	lt	1	\$ 32.28
Cople PVC 250 mm	pza	1	\$ 15.00
Cople PVC 219.1 mm	pza	1	\$ 11.80
Cople PVC 200 mm	pza	1	\$ 9.90
Cople PVC 160 mm	pza	1	\$ 8.60
Cople PVC 114.3 mm	pza	1	\$ 7.40
Cople PVC 88.9 mm	pza	1	\$ 6.40
Cople PVC 73 mm	pza	1	\$ 5.40
Cople PVC 48.3 mm	pza	1	\$ 3.40

5.4. Costos de inversión

Teniendo el costo de los materiales, la maquinaria y la mano de obra, se elaboran los básicos, que son actividades que se repiten en más de un concepto.

5.4.1. Básicos

En las siguientes tablas se muestran los básicos, que son aquellas actividades o trabajos, que se repiten en más de un concepto requeridos en los precios unitarios.

**CONCEPTO.****CLAVE: EC200**

Elaboración de 1 m ³ de concreto f _c = 200 [kg/cm ²]. Incluye equipo, materiales y mano de obra.					
MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	
				\$	%
Cemento	Ton	0.350	\$ 1,704.47	596.56	72.71
Arena	m ³	0.344	\$ 162.72	55.94	6.82
Agua	L	205.000	\$ 0.02	3.15	0.38
Grava	m ³	0.588	\$ 167.22	98.36	11.99
COSTO DIRECTO POR MATERIALES SUBTOTAL				\$ 754.02	91.90%

MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Oficial Albañil	\$/jornada	0.150	\$ 449.12	67.37	8.21
Peon	\$/jornada	0.150	\$ 324.52	48.68	5.93
COSTO DIRECTO POR MATERIALES SUBTOTAL				\$ 48.68	5.93%

MAQUINARIA Y EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Equipo menor	%	0.02	\$ 48.68	0.97	0.12
Revolvedora	hr.	0.20	\$ 84.05	16.81	2.05
COSTO DIRECTO POR MATERIALES SUBTOTAL				\$ 17.78	2.17%

BÁSICO = CDM + CDMO + CDMYE	\$ 820.48	100%
------------------------------------	------------------	-------------

**CONCEPTO.****CLAVE: EC100**

Elaboración de 1 m ³ de concreto f'c= 100 [kg/cm ²]. Incluye equipo, materiales y mano de obra.					
MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	
				\$	%
Cemento	Ton	0.265	\$ 1,704.47	451.68	66.36
Arena	M ³	0.375	\$ 162.72	61.02	8.96
Agua	L	205.000	\$ 0.02	3.15	0.46
Grava	M ³	0.588	\$ 167.22	98.36	14.45
COSTO DIRECTO POR MATERIALES SUBTOTAL				\$ 614.22	90.24%

MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Oficial Albañil	\$/jornada	0.150	\$ 449.12	67.37	9.90
Peon	\$/jornada	0.150	\$ 324.52	48.68	7.15
COSTO DIRECTO POR MATERIALES SUBTOTAL				\$ 48.68	7.15%

MAQUINARIA Y EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Equipo menor	%	0.02	\$ 48.68	0.97	0.14
Revolvedora	M3	0.20	\$ 84.05	16.81	2.47
COSTO DIRECTO POR MATERIALES SUBTOTAL				\$ 17.78	2.61%

BÁSICO = CDM + CDMO + CDMYE	\$ 680.68	100%
------------------------------------	------------------	-------------

**CONCEPTO.****CLAVE: CL**

Elaboración de 1 m ² de cimbra para losa. . Incluye equipo, materiales y mano de obra.					
MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	
				\$	%
Triplay de pino delgado de 3 mm de espesor	Pza	0.084	\$ 108.46	9.11	16.41
Polin 3 1/2" X 3 1/2"	Pza	0.010	\$ 62.64	0.64	1.15
Polin 4" X 4"	Pza	0.008	\$ 98.19	0.77	1.38
Alambre recocido	kg	0.100	\$ 13.09	1.31	2.36
Clavo	Kg	0.200	\$ 15.56	3.11	5.61
Desmoldante	L	0.500	\$ 14.27	7.14	12.86
COSTO DIRECTO POR MATERIALES SUBTOTAL				\$ 22.07	39.77%

MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Oficial Carpintero	\$/jornada	0.100	\$ 402.39	40.24	72.51
Peon	\$/jornada	0.100	\$ 324.52	32.45	58.48
COSTO DIRECTO POR MATERIALES SUBTOTAL				\$ 32.45	58.48%

MAQUINARIA Y EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Equipo menor	%	0.03	\$ 32.45	0.97	1.75
COSTO DIRECTO POR MATERIALES SUBTOTAL				\$ 0.97	1.75%

BÁSICO = CDM + CDMO + CDMYE				\$ 55.50	100.00%
------------------------------------	--	--	--	-----------------	----------------

**CONCEPTO.****CLAVE: CM**

Elaboración de 1 m ² de cimbra para muros. Incluye equipo, materiales y mano de obra.					
MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	
				\$	%
Triplay de pino delgado de 3 mm de espesor	Pza	0.084	\$ 108.46	9.11	15.38
Polin 3 1/2" X 3 1/2"	Pza	0.010	\$ 62.64	0.64	1.08
Polin 4" X 4"	Pza	0.008	\$ 98.19	0.77	1.30
Alambre recocido	Kg	0.100	\$ 13.09	1.31	2.21
Clavo	Kg	0.200	\$ 15.56	3.11	5.26
Desmoldante	L	0.500	\$ 14.27	7.14	12.05
COSTO DIRECTO POR MATERIALES SUBTOTAL				\$ 22.07	37.28%

MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Oficial Carpintero	\$/jornada	0.111	\$ 402.39	44.71	75.51
Peon	\$/jornada	0.111	\$ 324.52	36.06	60.90
COSTO DIRECTO POR MATERIALES SUBTOTAL				\$ 36.06	60.90%

MAQUINARIA Y EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Equipo menor	%	0.03	\$ 36.06	1.08	1.83
COSTO DIRECTO POR MATERIALES SUBTOTAL				\$ 1.08	1.83%

BÁSICO = CDM + CDMO + CDMYE				\$ 59.21	100.00%
------------------------------------	--	--	--	-----------------	----------------

**CONCEPTO.****CLAVE: AR**

Habilitado, armado y colocación de acero de refuerzo del no.3 con un $f_c = 4200$ [kg/cm ²] para la conformación de un elemento estructural. Incluye equipo, materiales y mano de obra.					
MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	
				\$	%
Varilla No. 3	Ton	1.030	\$ 9,500.00	9785.00	93.51
Alambre recocido	kg	25.000	\$ 13.09	327.25	3.13
COSTO DIRECTO POR MATERIALES SUBTOTAL				\$ 10,112.25	96.64%

MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Oficial Fierro	\$/jornada	1.053	\$ 402.39	423.57	4.05
Peon	\$/jornada	1.053	\$ 324.52	341.60	3.26
COSTO DIRECTO POR MATERIALES SUBTOTAL				\$ 341.60	3.26%

MAQUINARIA Y EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Equipo menor	%	0.03	\$ 341.60	10.25	0.10
COSTO DIRECTO POR MATERIALES SUBTOTAL				\$ 10.25	0.10%

BÁSICO = CDM + CDMO + CDMYE				\$ 10,464.09	100%
------------------------------------	--	--	--	---------------------	-------------

**CONCEPTO.****CLAVE: CC**

Elaboración y colocación de cimbra de castillos. Incluye equipo, materiales y mano de obra.					
MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	
				\$	%
Madera 3ra	Pza	0.060	\$ 27.20	1.63	5.95
Triplay de pino delgado de 3 mm de espesor	Pza	0.084	\$ 108.46	9.11	33.21
Alambre recocido	Kg	0.100	\$ 13.09	1.31	4.77
Clavo	Kg	0.100	\$ 15.56	1.56	5.67
Desmoldante	L	0.500	\$ 14.27	7.14	26.02
COSTO DIRECTO POR MATERIALES SUBTOTAL				\$ 20.74	75.63%

MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Oficial Carpintero	\$/jornada	0.02	\$ 402.39	8.05	29.34
Peon	\$/jornada	0.02	\$ 324.52	6.49	23.67
COSTO DIRECTO POR MATERIALES SUBTOTAL				\$ 6.49	23.67%

MAQUINARIA Y EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Equipo menor	%	0.03	\$ 6.49	0.19	0.71
COSTO DIRECTO POR MATERIALES SUBTOTAL				\$ 0.19	0.71%

BÁSICO = CDM + CDMO + CDMYE	\$ 27.43	100%
------------------------------------	-----------------	-------------

5.4.2. Precios unitarios

Teniendo los básicos, se elaboran los precios unitarios de cada uno de los conceptos.



CONCEPTO.

UNIDAD **m²**

Desmante y despalme de terreno, con arbustos de hasta 2 m de altura (3 arbustos por cada 10 m²) y capa vegetal de hasta 10 cm de espesor. Incluye equipo, material y mano de obra.

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	
				\$	%
				0.00	0.00
COSTO DIRECTO POR MATERIALES SUBTOTAL				\$ -	0.00%

MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Oficial albañil	\$/jornada	0.02	\$ 449.12	8.98	56.36
Peon	\$/jornada	0.02	\$ 324.52	6.49	40.73
COSTO DIRECTO POR MANO DE OBRA SUBTOTAL				\$ 15.47	97.09%

MAQUINARIA Y EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Equipo menor	%	0.03	\$ 15.47	0.46	2.91
COSTO DIRECTO POR MAQUINARIA Y EQUIPO SUBTOTAL				\$ 0.46	2.91%

COSTO DIRECTO TOTAL			\$ 15.94	100%
----------------------------	--	--	----------	------

% INDIRECTOS	15%	\$ 2.39
SUBTOTAL		\$ 18.33
% FINANCIAMIENTO	2%	\$ 0.37
SUBTOTAL		\$ 18.69
UTILIDAD	8%	\$ 1.50
TOTAL		\$ 20.19
CARGOS ADICIONALES	2%	\$ 0.40

PRECIO UNITARIO	\$ 20.59
------------------------	----------



CONCEPTO.

UNIDAD m³

Excavación hasta 5 m de profundidad por 6.5 m de lado. Incluye equipo, materiales y mano de obra

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	
				\$	%
			\$ -	0.00	0.00
COSTO DIRECTO POR MATERIALES SUBTOTAL				\$ -	0.00%

MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Cabo	\$/jornada	0.33	\$ 480.27	160.09	57.94
Peon	\$/jornada	0.33	\$ 324.52	108.17	39.15
COSTO DIRECTO POR MANO DE OBRA SUBTOTAL				\$ 268.26	97.09%

MAQUINARIA Y EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Equipo menor	%	0.03	\$ 268.26	8.05	2.91
COSTO DIRECTO POR MAQUINARIA Y EQUIPO SUBTOTAL				\$ 8.05	2.91%

COSTO DIRECTO TOTAL			\$ 276.31	100%
----------------------------	--	--	-----------	------

% INDIRECTOS	15%	\$ 41.45
SUBTOTAL		\$ 317.76
% FINANCIAMIENTO	2%	\$ 6.36
SUBTOTAL		\$ 324.11
UTILIDAD	8%	\$ 25.93
TOTAL		\$ 350.04
CARGOS ADICIONALES	2%	\$ 7.00

PRECIO UNITARIO	\$ 357.04
------------------------	-----------

**CONCEPTO.****UNIDAD** m²

Losa de cierre de concreto reforzado, con un $f'c = 200$ [kg/cm²], con agregado máximo 3/4" y un $f_y = 4200$ kg/cm². Incluye equipo, materiales y mano de obra.

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	
				\$	%
Básico EC200		0.100	\$ 820.48	82.05	25.65
Básico CL		1.000	\$ 55.50	55.50	17.35
Básico AR		0.008	\$ 10,464.09	82.67	25.85
COSTO DIRECTO POR MATERIALES SUBTOTAL				\$ 220.21	68.86%

MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Oficial albañil	\$/jornada	0.13	\$ 449.12	56.14	17.55
Peon	\$/jornada	0.13	\$ 324.52	40.56	12.68
COSTO DIRECTO POR MANO DE OBRA SUBTOTAL				\$ 96.70	30.24%

MAQUINARIA Y EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Equipo menor	%	0.03	\$ 96.70	2.90	0.91
COSTO DIRECTO POR MAQUINARIA Y EQUIPO SUBTOTAL				\$ 2.90	0.91%

COSTO DIRECTO TOTAL			\$ 319.82	100%
----------------------------	--	--	------------------	-------------

% INDIRECTOS	15%	\$ 47.97
SUBTOTAL		\$ 367.79
% FINANCIAMIENTO	2%	\$ 7.36
SUBTOTAL		\$ 375.14
UTILIDAD	8%	\$ 30.01
TOTAL		\$ 405.16
CARGOS ADICIONALES	2%	\$ 8.10

PRECIO UNITARIO	\$ 413.26
------------------------	------------------

**CONCEPTO.****UNIDAD m²**

Fabricacion de paredes del cárcamo de bombeo de 12 cm de espesor, con castillos de sección transversal cuadrada de 12 cm de lado, utilizando concreto reforzado de un $f_c = 200$ [kg/cm²], con agregado máximo 3/4" y un $f_y = [4200$ kg/cm²]. Incluye equipo, materiales y mano de obra.

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	
				\$	%
Básico EC200		0.1200	\$ 820.48	98.46	23.07
Básico CC		1.0000	\$ 27.43	27.43	6.43
Básico AR		0.0103	\$ 10,464.09	107.62	25.21
Básico CM		1.0000	\$ 59.21	59.21	13.87
COSTO DIRECTO POR MATERIALES SUBTOTAL				\$ 292.71	68.58%

MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Oficial albañil	\$/jornada	0.17	\$ 449.12	74.85	17.54
Peon	\$/jornada	0.17	\$ 324.52	54.09	12.67
COSTO DIRECTO POR MANO DE OBRA SUBTOTAL				\$ 128.94	30.21%

MAQUINARIA Y EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Equipo menor	%	0.04	\$ 128.94	5.16	1.21
COSTO DIRECTO POR MAQUINARIA Y EQUIPO SUBTOTAL				\$ 5.16	1.21%

COSTO DIRECTO TOTAL			\$ 426.81	100%
----------------------------	--	--	------------------	-------------

% INDIRECTOS	15%	\$ 64.02
SUBTOTAL		\$ 490.83
% FINANCIAMIENTO	2%	\$ 9.82
SUBTOTAL		\$ 500.64
UTILIDAD	8%	\$ 40.05
TOTAL		\$ 540.70
CARGOS ADICIONALES	2%	\$ 10.81

PRECIO UNITARIO	\$ 551.51
------------------------	------------------

**CONCEPTO.****UNIDAD m**

Plantilla de 5 cm de compactación, al 95% con material propio de la excavación.

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	
				\$	%
COSTO DIRECTO POR MATERIALES SUBTOTAL				\$	- 0.00%

MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Operador equipos menores	\$/jornada	0.0009	\$ 371.24	0.34	46.80
Peon	\$/jornada	0.0009	\$ 324.52	0.30	40.91
COSTO DIRECTO POR MANO DE OBRA SUBTOTAL				\$	0.64 87.70%

MAQUINARIA Y EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Equipo menor	%	0.03	\$ 0.64	0.02	2.63
Pison vibratorio	m	0.0009	\$ 76.70	0.07	9.67
COSTO DIRECTO POR MAQUINARIA Y EQUIPO SUBTOTAL				\$	0.09 12.30%

COSTO DIRECTO TOTAL	\$	0.73	100%
----------------------------	----	------	------

% INDIRECTOS	15%	\$	0.11
SUBTOTAL		\$	0.84
% FINANCIAMIENTO	2%	\$	0.02
SUBTOTAL		\$	0.86
UTILIDAD	8%	\$	0.07
TOTAL		\$	0.93
CARGOS ADICIONALES	2%	\$	0.02

PRECIO UNITARIO	\$	0.95
------------------------	----	-------------



CONCEPTO.

UNIDAD **m²**

Trazo y nivelación. Incluye equipo topográfico, materiales y mano de obra.					
MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	
				\$	%
Pintura	lt	0.01	\$ 75.00	0.75	71.96
COSTO DIRECTO POR MATERIALES SUBTOTAL				\$ 0.75	71.96%

MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Topógrafo	\$/jornada	0.00027	\$ 636.02	0.17	16.27
Peon	\$/jornada	0.00027	\$ 324.52	0.09	8.30
COSTO DIRECTO POR MANO DE OBRA SUBTOTAL				\$ 0.26	24.57%

MAQUINARIA Y EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Equipo menor	%	0.03	\$ 0.26	0.01	0.74
Estación total	hr	0.00027	\$ 106.83	0.03	2.73
COSTO DIRECTO POR MAQUINARIA Y EQUIPO SUBTOTAL				\$ 0.04	3.47%

COSTO DIRECTO TOTAL			\$ 1.04	100%
----------------------------	--	--	---------	------

% INDIRECTOS	15%	\$ 0.16
SUBTOTAL		\$ 1.20
% FINANCIAMIENTO	2%	\$ 0.02
SUBTOTAL		\$ 1.22
UTILIDAD	8%	\$ 0.10
TOTAL		\$ 1.32
CARGOS ADICIONALES	2%	\$ 0.03

PRECIO UNITARIO	\$ 1.35
------------------------	---------



CONCEPTO.

UNIDAD m³

Excavación hasta 1 m de profundidad. Incluye equipo, materiales y mano de obra

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	
				\$	%
			\$ -	0.00	0.00
COSTO DIRECTO POR MATERIALES SUBTOTAL				\$ -	0.00%

MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Cabo	\$/jornada	0.23	\$ 480.27	109.15	57.94
Peon	\$/jornada	0.23	\$ 324.52	73.75	39.15
COSTO DIRECTO POR MANO DE OBRA SUBTOTAL				\$ 182.91	97.09%

MAQUINARIA Y EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Equipo menor	%	0.03	\$ 182.91	5.49	2.91
COSTO DIRECTO POR MAQUINARIA Y EQUIPO SUBTOTAL				\$ 5.49	2.91%

COSTO DIRECTO TOTAL			\$ 188.39	100%
----------------------------	--	--	-----------	------

% INDIRECTOS	15%	\$ 28.26
SUBTOTAL		\$ 216.65
% FINANCIAMIENTO	2%	\$ 4.33
SUBTOTAL		\$ 220.98
UTILIDAD	8%	\$ 17.68
TOTAL		\$ 238.66
CARGOS ADICIONALES	2%	\$ 4.77

PRECIO UNITARIO	\$ 243.44
------------------------	-----------

**CONCEPTO.****UNIDAD** m²

Losas de cimentación de concreto reforzado, con un $f'c = 200$ [kg/cm²], con agregado máximo $\frac{3}{4}$ " y un $f_y = [4200$ kg/cm²]. Incluye equipo, materiales y mano de obra.

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	
				\$	%
Básico EC200		0.1	\$ 820.48	82.05	25.65
Básico AR		0.0079	\$ 10,464.09	82.67	25.85
Básico CL		1.000	\$ 55.50	55.50	17.35
COSTO DIRECTO POR MATERIALES SUBTOTAL				\$ 220.21	68.86%

MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Oficial albañil	\$/jornada	0.13	\$ 449.12	56.14	17.55
Peon	\$/jornada	0.13	\$ 324.52	40.56	12.68
COSTO DIRECTO POR MANO DE OBRA SUBTOTAL				\$ 96.70	30.24%

MAQUINARIA Y EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Equipo menor	%	0.03	\$ 96.70	2.90	0.91
COSTO DIRECTO POR MAQUINARIA Y EQUIPO SUBTOTAL				\$ 2.90	0.91%

COSTO DIRECTO TOTAL			\$ 319.82	100%
----------------------------	--	--	------------------	-------------

% INDIRECTOS	15%	\$ 47.97
SUBTOTAL		\$ 367.79
% FINANCIAMIENTO	2%	\$ 7.36
SUBTOTAL		\$ 375.14
UTILIDAD	8%	\$ 30.01
TOTAL		\$ 405.16
CARGOS ADICIONALES	2%	\$ 8.10

PRECIO UNITARIO	\$ 413.26
------------------------	------------------



CONCEPTO.

UNIDAD m²

Fabricación de pared del tanque elevado de 15 cm de espesor, con castillos de sección transversal cuadrada de 15 cm de lado, utilizando concreto reforzado de un $f'c = 200$ [kg/cm²], con agregado máximo ¾" y un $f_y = [4200$ kg/cm²]. Incluye equipo, materiales y mano de obra.

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	
				\$	%
Básico EC200		0.150	\$ 820.48	123.07	27.26
Básico CC		1.000	\$ 27.43	27.43	6.08
Básico AR		0.010	\$ 10,464.09	107.62	23.84
Básico CM		1.000	\$ 59.21	59.21	13.12
COSTO DIRECTO POR MATERIALES SUBTOTAL				\$ 317.32	70.29%

MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Oficial albañil	\$/jornada	0.17	\$ 449.12	74.85	16.58
Peon	\$/jornada	0.17	\$ 324.52	54.09	11.98
COSTO DIRECTO POR MANO DE OBRA SUBTOTAL				\$ 128.94	28.56%

MAQUINARIA Y EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Equipo menor	%	0.04	\$ 128.94	5.16	1.14
COSTO DIRECTO POR MAQUINARIA Y EQUIPO SUBTOTAL				\$ 5.16	1.14%

COSTO DIRECTO TOTAL	\$ 451.42	100%
----------------------------	------------------	-------------

% INDIRECTOS	15%	\$ 67.71
SUBTOTAL		\$ 519.13
% FINANCIAMIENTO	2%	\$ 10.38
SUBTOTAL		\$ 529.52
UTILIDAD	8%	\$ 42.36
TOTAL		\$ 571.88
CARGOS ADICIONALES	2%	\$ 11.44

PRECIO UNITARIO	\$ 583.31
------------------------	------------------



CONCEPTO.

UNIDAD m

Relleno y plantilla de 5 cm de compactación al 95% con material propio de la excavación.

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	
				\$	%
COSTO DIRECTO POR MATERIALES SUBTOTAL				\$ -	0.00%

MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Operador equipos menores	\$/jornada	0.0009	\$ 371.24	0.34	0.81
Peon	\$/jornada	0.13	\$ 324.52	40.56	96.09
COSTO DIRECTO POR MANO DE OBRA SUBTOTAL				\$ 40.91	96.91%

MAQUINARIA Y EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Equipo menor	%	0.03	\$ 40.91	1.23	2.91
Pison vibratorio	m	0.0009	\$ 84.05	0.08	0.18
COSTO DIRECTO POR MAQUINARIA Y EQUIPO SUBTOTAL				\$ 1.31	3.09%

COSTO DIRECTO TOTAL			\$ 42.21	100%
----------------------------	--	--	----------	------

% INDIRECTOS	15%	\$ 6.33
SUBTOTAL		\$ 48.55
% FINANCIAMIENTO	2%	\$ 0.97
SUBTOTAL		\$ 49.52
UTILIDAD	8%	\$ 3.96
TOTAL		\$ 53.48
CARGOS ADICIONALES	2%	\$ 1.07

PRECIO UNITARIO	\$ 54.55
------------------------	----------

**CONCEPTO.****UNIDAD****m**

Suministro y colocación de tubería de PVC, con un $\varnothing=315$ mm. Incluye equipo, materiales y mano de obra.
--

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	
				\$	%
Tubo de PVC de 12"	m	1	\$ 223.11	223.11	84.99
COSTO DIRECTO POR MATERIALES SUBTOTAL				\$ 223.11	84.99%

MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Plomero	\$/jornada	0.0526	\$ 402.39	21.18	8.07
Peon	\$/jornada	0.0526	\$ 324.52	17.08	6.51
COSTO DIRECTO POR MANO DE OBRA SUBTOTAL				\$ 38.26	14.57%

MAQUINARIA Y EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Equipo menor	%	0.03	\$ 38.26	1.15	0.44
COSTO DIRECTO POR MAQUINARIA Y EQUIPO SUBTOTAL				\$ 1.15	0.44%

COSTO DIRECTO TOTAL	\$ 262.51	100%
----------------------------	-----------	------

% INDIRECTOS	15%	\$ 39.38
SUBTOTAL		\$ 301.89
% FINANCIAMIENTO	2%	\$ 6.04
SUBTOTAL		\$ 307.93
UTILIDAD	8%	\$ 24.63
TOTAL		\$ 332.56
CARGOS ADICIONALES	2%	\$ 6.65

PRECIO UNITARIO	\$ 339.21
------------------------	-----------



CONCEPTO.

UNIDAD m

Suministro y colocación de tubería de PVC, con un Ø=250 mm. Incluye equipo, materiales y mano de obra.

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	
				\$	%
Tubo de PVC de 10"	m	1	\$ 175.63	175.63	84.22
Codo 90° de PVC de 10"	pieza	0.001	\$ 29.20	0.03	0.02
Codo 45° de PVC de 10"	pieza	0.004	\$ 27.00	0.11	0.05
Cople de PVC de 10"	pieza	0.17	\$ 15.00	2.50	1.20
Adhesivo	kg	0.01	\$ 32.28	0.32	0.15
COSTO DIRECTO POR MATERIALES SUBTOTAL				\$ 178.60	85.64%

MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Plomero	\$/jornada	0.0400	\$ 402.39	16.10	7.72
Peon	\$/jornada	0.0400	\$ 324.52	12.98	6.22
COSTO DIRECTO POR MANO DE OBRA SUBTOTAL				\$ 29.08	13.94%

MAQUINARIA Y EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Equipo menor	%	0.03	\$ 29.08	0.87	0.42
COSTO DIRECTO POR MAQUINARIA Y EQUIPO SUBTOTAL				\$ 0.87	0.42%

COSTO DIRECTO TOTAL			\$ 208.55	100%
----------------------------	--	--	------------------	-------------

% INDIRECTOS	15%	\$ 31.28
SUBTOTAL		\$ 239.83
% FINANCIAMIENTO	2%	\$ 4.80
SUBTOTAL		\$ 244.62
UTILIDAD	8%	\$ 19.57
TOTAL		\$ 264.19
CARGOS ADICIONALES	2%	\$ 5.28

PRECIO UNITARIO	\$ 269.48
------------------------	------------------

**CONCEPTO.****UNIDAD** m

Suministro y colocación de tubería de PVC, con un Ø=219.1 mm. Incluye equipo, materiales y mano de obra.
--

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	
				\$	%
Tubo de PVC de 8"	m	1	\$ 145.00	145.00	83.28
Codo 90° de PVC de 8"	pieza	0.000	\$ 115.92	0.00	0.00
Codo 45° de PVC de 8"	pieza	0.004	\$ 20.00	0.07	0.04
Cople de PVC de 8"	pieza	0.17	\$ 11.80	1.97	1.13
Adhesivo	kg	0.01	\$ 32.28	0.32	0.19
COSTO DIRECTO POR MATERIALES SUBTOTAL				\$ 147.36	84.64%

MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Plomero	\$/jornada	0.0357	\$ 402.39	14.37	8.25
Peon	\$/jornada	0.0357	\$ 324.52	11.59	6.66
COSTO DIRECTO POR MANO DE OBRA SUBTOTAL				\$ 25.96	14.91%

MAQUINARIA Y EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Equipo menor	%	0.03	\$ 25.96	0.78	0.45
COSTO DIRECTO POR MAQUINARIA Y EQUIPO SUBTOTAL				\$ 0.78	0.45%

COSTO DIRECTO TOTAL	\$ 174.10	100%
----------------------------	------------------	-------------

% INDIRECTOS	15%	\$ 26.12
SUBTOTAL		\$ 200.22
% FINANCIAMIENTO	2%	\$ 4.00
SUBTOTAL		\$ 204.22
UTILIDAD	8%	\$ 16.34
TOTAL		\$ 220.56
CARGOS ADICIONALES	2%	\$ 4.41

PRECIO UNITARIO	\$ 224.97
------------------------	------------------



CONCEPTO.

UNIDAD m

Suministro y colocación de tubería de PVC, con un Ø=200 mm. Incluye equipo, materiales y mano de obra.

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	
				\$	%
Tubo de PVC de 8"	m	1	\$ 115.92	115.92	80.65
Codo 90° de PVC de 8"	pieza	0.000	\$ 18.20	0.00	0.00
Codo 45° de PVC de 8"	pieza	0.001	\$ 14.40	0.02	0.01
Cople de PVC de 8"	pieza	0.17	\$ 9.90	1.65	1.15
Adhesivo	kg	0.01	\$ 32.28	0.32	0.22
COSTO DIRECTO POR MATERIALES SUBTOTAL				\$ 117.91	82.04%

MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Plomero	\$/jornada	0.0345	\$ 402.39	13.88	9.65
Peon	\$/jornada	0.0345	\$ 324.52	11.19	7.79
COSTO DIRECTO POR MANO DE OBRA SUBTOTAL				\$ 25.07	17.44%

MAQUINARIA Y EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Equipo menor	%	0.03	\$ 25.07	0.75	0.52
COSTO DIRECTO POR MAQUINARIA Y EQUIPO SUBTOTAL				\$ 0.75	0.52%

COSTO DIRECTO TOTAL			\$ 143.73	100%
----------------------------	--	--	------------------	-------------

% INDIRECTOS	15%	\$ 21.56
SUBTOTAL		\$ 165.29
% FINANCIAMIENTO	2%	\$ 3.31
SUBTOTAL		\$ 168.60
UTILIDAD	8%	\$ 13.49
TOTAL		\$ 182.08
CARGOS ADICIONALES	2%	\$ 3.64

PRECIO UNITARIO	\$ 185.72
------------------------	------------------

**CONCEPTO.****UNIDAD** m

Suministro y colocación de tubería de PVC, con un Ø=160 mm. Incluye equipo, materiales y mano de obra.

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	
				\$	%
Tubo de PVC de 6 1/2"	m	1	\$ 93.50	93.50	78.28
Codo 90° de PVC de 6 1/2"	pieza	0.000	\$ 15.20	0.01	0.01
Codo 45° de PVC de 6 1/2"	pieza	0.002	\$ 12.00	0.03	0.02
Cople de PVC de 6 1/2"	pieza	0.17	\$ 8.60	1.43	1.20
Adhesivo	kg	0.01	\$ 32.28	0.32	0.27
COSTO DIRECTO POR MATERIALES SUBTOTAL				\$ 95.29	79.78%

MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Plomero	\$/jornada	0.0323	\$ 402.39	12.98	10.87
Peon	\$/jornada	0.0323	\$ 324.52	10.47	8.76
COSTO DIRECTO POR MANO DE OBRA SUBTOTAL				\$ 23.45	19.63%

MAQUINARIA Y EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Equipo menor	%	0.03	\$ 23.45	0.70	0.59
COSTO DIRECTO POR MAQUINARIA Y EQUIPO SUBTOTAL				\$ 0.70	0.59%

COSTO DIRECTO TOTAL			\$ 119.44	100%
----------------------------	--	--	------------------	-------------

% INDIRECTOS	15%	\$ 17.92
SUBTOTAL		\$ 137.36
% FINANCIAMIENTO	2%	\$ 2.75
SUBTOTAL		\$ 140.11
UTILIDAD	8%	\$ 11.21
TOTAL		\$ 151.32
CARGOS ADICIONALES	2%	\$ 3.03

PRECIO UNITARIO	\$ 154.34
------------------------	------------------

**CONCEPTO.****UNIDAD** m

Suministro y colocación de tubería de PVC, con un Ø=114.3 mm. Incluye equipo, materiales y mano de obra.
--

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	
				\$	%
Tubo de PVC de 4"	m	1	\$ 41.67	41.67	63.17
Codo 90° de PVC de 4"	pieza	0.001	\$ 12.80	0.02	0.02
Codo 45° de PVC de 4"	pieza	0.003	\$ 10.80	0.03	0.04
Cople de PVC de 4"	pieza	0.17	\$ 7.40	1.23	1.87
Adhesivo	kg	0.01	\$ 32.28	0.32	0.49
COSTO DIRECTO POR MATERIALES SUBTOTAL				\$ 43.27	65.60%

MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Plomero	\$/jornada	0.0303	\$ 402.39	12.19	18.49
Peon	\$/jornada	0.0303	\$ 324.52	9.83	14.91
COSTO DIRECTO POR MANO DE OBRA SUBTOTAL				\$ 22.03	33.40%

MAQUINARIA Y EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Equipo menor	%	0.03	\$ 22.03	0.66	1.00
COSTO DIRECTO POR MAQUINARIA Y EQUIPO SUBTOTAL				\$ 0.66	1.00%

COSTO DIRECTO TOTAL			\$ 65.95	100%
----------------------------	--	--	-----------------	-------------

% INDIRECTOS	15%	\$ 9.89
SUBTOTAL		\$ 75.85
% FINANCIAMIENTO	2%	\$ 1.52
SUBTOTAL		\$ 77.36
UTILIDAD	8%	\$ 6.19
TOTAL		\$ 83.55
CARGOS ADICIONALES	2%	\$ 1.67

PRECIO UNITARIO	\$ 85.23
------------------------	-----------------

**CONCEPTO.****UNIDAD****m**

Suministro y colocación de tubería de PVC, con un Ø=88.9 mm. Incluye equipo, materiales y mano de obra.

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	
				\$	%
Tubo de PVC de 3"	m	1	\$ 31.00	31.00	57.61
Codo 90° de PVC de 3"	pieza	0.001	\$ 10.20	0.01	0.02
Codo 45° de PVC de 3"	pieza	0.002	\$ 9.00	0.01	0.03
Cople de PVC de 3"	pieza	0.17	\$ 6.40	1.07	1.98
Adhesivo	kg	0.01	\$ 32.28	0.32	0.60
COSTO DIRECTO POR MATERIALES SUBTOTAL				\$ 32.42	60.24%

MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Plomero	\$/jornada	0.0286	\$ 402.39	11.50	21.37
Peon	\$/jornada	0.0286	\$ 324.52	9.27	17.23
COSTO DIRECTO POR MANO DE OBRA SUBTOTAL				\$ 20.77	38.60%

MAQUINARIA Y EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Equipo menor	%	0.03	\$ 20.77	0.62	1.16
COSTO DIRECTO POR MAQUINARIA Y EQUIPO SUBTOTAL				\$ 0.62	1.16%

COSTO DIRECTO TOTAL	\$ 53.81	100%
----------------------------	-----------------	-------------

% INDIRECTOS	15%	\$ 8.07
SUBTOTAL		\$ 61.88
% FINANCIAMIENTO	2%	\$ 1.24
SUBTOTAL		\$ 63.12
UTILIDAD	8%	\$ 5.05
TOTAL		\$ 68.16
CARGOS ADICIONALES	2%	\$ 1.36

PRECIO UNITARIO	\$ 69.53
------------------------	-----------------

**CONCEPTO.****UNIDAD** **m**

Suministro y colocación de tubería de PVC, con un Ø=73 mm. Incluye equipo, materiales y mano de obra.

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	
				\$	%
Tubo de PVC de 2 1/2"	m	1	\$ 15.50	15.50	42.55
Codo 90° de PVC de 2 1/2"	pieza	0.000	\$ 7.80	0.00	0.00
Codo 45° de PVC de 2 1/2"	pieza	0.000	\$ 7.90	0.00	0.00
Cople de PVC de 2 1/2"	pieza	0.17	\$ 5.40	0.90	2.47
Adhesivo	kg	0.01	\$ 32.28	0.32	0.89
COSTO DIRECTO POR MATERIALES SUBTOTAL				\$ 16.72	45.91%

MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Plomero	\$/jornada	0.0263	\$ 402.39	10.59	29.07
Peon	\$/jornada	0.0263	\$ 324.52	8.54	23.44
COSTO DIRECTO POR MANO DE OBRA SUBTOTAL				\$ 19.13	52.52%

MAQUINARIA Y EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Equipo menor	%	0.03	\$ 19.13	0.57	1.58
COSTO DIRECTO POR MAQUINARIA Y EQUIPO SUBTOTAL				\$ 0.57	1.58%

COSTO DIRECTO TOTAL			\$ 36.43	100%
----------------------------	--	--	-----------------	-------------

% INDIRECTOS	15%	\$ 5.46
SUBTOTAL		\$ 41.89
% FINANCIAMIENTO	2%	\$ 0.84
SUBTOTAL		\$ 42.73
UTILIDAD	8%	\$ 3.42
TOTAL		\$ 46.15
CARGOS ADICIONALES	2%	\$ 0.92

PRECIO UNITARIO	\$ 47.07
------------------------	-----------------

**CONCEPTO.****UNIDAD** m

Suministro y colocación de tubería de PVC, con un $\varnothing=48.3$ mm. Incluye equipo, materiales y mano de obra.

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	
				\$	%
Tubo de PVC de 1 1/2"	m	1	\$ 10.50	10.50	36.45
Codo 90° de PVC de 1 1/2"	pieza	0.000	\$ 4.00	0.00	0.00
Codo 45° de PVC de 1 1/2"	pieza	0.001	\$ 3.90	0.01	0.02
Cople de PVC de 1 1/2"	pieza	0.17	\$ 3.40	0.57	1.97
Adhesivo	kg	0.01	\$ 32.28	0.32	1.12
COSTO DIRECTO POR MATERIALES SUBTOTAL				\$ 11.39	39.56%

MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Plomero	\$/jornada	0.0233	\$ 402.39	9.36	32.49
Peon	\$/jornada	0.0233	\$ 324.52	7.55	26.20
COSTO DIRECTO POR MANO DE OBRA SUBTOTAL				\$ 16.90	58.68%

MAQUINARIA Y EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Equipo menor	%	0.03	\$ 16.90	0.51	1.76
COSTO DIRECTO POR MAQUINARIA Y EQUIPO SUBTOTAL				\$ 0.51	1.76%

COSTO DIRECTO TOTAL			\$ 28.81	100%
----------------------------	--	--	-----------------	-------------

% INDIRECTOS	15%	\$ 4.32
SUBTOTAL		\$ 33.13
% FINANCIAMIENTO	2%	\$ 0.66
SUBTOTAL		\$ 33.79
UTILIDAD	8%	\$ 2.70
TOTAL		\$ 36.49
CARGOS ADICIONALES	2%	\$ 0.73

PRECIO UNITARIO		\$ 37.22
------------------------	--	-----------------

**CONCEPTO.****UNIDAD lote**

Suministro y colocación de sistema de filtrado. Incluye equipo, materiales y mano de obra.
--

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	
				\$	%
Rejillas	pza	2	\$ 465.00	930.00	96.13
COSTO DIRECTO POR MATERIALES SUBTOTAL				\$ 930.00	96.13%

MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Plomero	\$/jornada	0.05	\$ 402.39	20.12	2.08
Peon	\$/jornada	0.05	\$ 324.52	16.23	1.68
COSTO DIRECTO POR MANO DE OBRA SUBTOTAL				\$ 36.35	3.76%

MAQUINARIA Y EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Equipo menor	%	0.03	\$ 36.35	1.09	0.11
COSTO DIRECTO POR MAQUINARIA Y EQUIPO SUBTOTAL				\$ 1.09	0.11%

COSTO DIRECTO TOTAL	\$ 967.44	100%
----------------------------	------------------	-------------

% INDIRECTOS	15%	\$ 145.12
SUBTOTAL		\$ 1,112.55
% FINANCIAMIENTO	2%	\$ 22.25
SUBTOTAL		\$ 1,134.80
UTILIDAD	8%	\$ 90.78
TOTAL		\$ 1,225.59
CARGOS ADICIONALES	2%	\$ 24.51

PRECIO UNITARIO	\$ 1,250.10
------------------------	--------------------



CONCEPTO.

UNIDAD m

Suministro y colocación de sistema de bombeo. Incluye equipo, materiales y mano de obra.

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	
				\$	%
Bombas	pza	2	\$ 42,694.67	85389.34	99.98
COSTO DIRECTO POR MATERIALES SUBTOTAL				\$ 85,389.34	99.98%

MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Plomero	\$/jornada	0.025	\$ 402.39	10.06	0.01
Peon	\$/jornada	0.025	\$ 324.52	8.11	0.01
COSTO DIRECTO POR MANO DE OBRA SUBTOTAL				\$ 18.17	0.02%

MAQUINARIA Y EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Equipo menor	%	0.03	\$ 18.17	0.55	0.00
COSTO DIRECTO POR MAQUINARIA Y EQUIPO SUBTOTAL				\$ 0.55	0.00%

COSTO DIRECTO TOTAL			\$ 85,408.06	100%
----------------------------	--	--	---------------------	-------------

% INDIRECTOS	15%	\$ 12,811.21
SUBTOTAL		\$ 98,219.27
% FINANCIAMIENTO	2%	\$ 1,964.39
SUBTOTAL		\$ 100,183.65
UTILIDAD	8%	\$ 8,014.69
TOTAL		\$ 108,198.34
CARGOS ADICIONALES	2%	\$ 2,163.97

PRECIO UNITARIO	\$ 110,362.31
------------------------	----------------------

**CONCEPTO.****UNIDAD****lote**

Señalización. Incluye equipo, materiales y mano de obra.
--

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	
				\$	%
Señal	pza	4	\$ 794.01	3176.03	98.46
COSTO DIRECTO POR MATERIALES SUBTOTAL				\$ 3,176.03	98.46%

MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Oficial albañil	\$/jornada	0.0625	\$ 449.12	28.07	0.87
Peon	\$/jornada	0.0625	\$ 324.52	20.28	0.63
COSTO DIRECTO POR MANO DE OBRA SUBTOTAL				\$ 48.35	1.50%

MAQUINARIA Y EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Equipo menor	%	0.03	\$ 48.35	1.45	0.04
COSTO DIRECTO POR MAQUINARIA Y EQUIPO SUBTOTAL				\$ 1.45	0.04%

COSTO DIRECTO TOTAL	\$ 3,225.84	100%
----------------------------	--------------------	-------------

% INDIRECTOS	15%	\$ 483.88
SUBTOTAL		\$ 3,709.71
% FINANCIAMIENTO	2%	\$ 74.19
SUBTOTAL		\$ 3,783.91
UTILIDAD	8%	\$ 302.71
TOTAL		\$ 4,086.62
CARGOS ADICIONALES	2%	\$ 81.73

PRECIO UNITARIO	\$ 4,168.35
------------------------	--------------------

**CONCEPTO.****UNIDAD****lote**

Suministro y colocación de goteros, de 2.3 l/h. Incluye equipo, materiales y mano de obra.
--

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	
				\$	%
Gotero	pza	100000	\$ 1.30	130267.00	100.00
COSTO DIRECTO POR MATERIALES SUBTOTAL				\$ 130,267.00	100.00%

MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Plomero	\$/jornada	0.0067	\$ 402.39	2.68	0.00
Peon	\$/jornada	0.0067	\$ 324.52	2.16	0.00
COSTO DIRECTO POR MANO DE OBRA SUBTOTAL				\$ 4.85	0.00%

MAQUINARIA Y EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE	
				\$	%
Equipo menor	%	0.03	\$ 4.85	0.15	0.00
COSTO DIRECTO POR MAQUINARIA Y EQUIPO SUBTOTAL				\$ 0.15	0.00%

COSTO DIRECTO TOTAL	\$ 130,271.99	100%
----------------------------	----------------------	-------------

% INDIRECTOS	15%	\$ 19,540.80
SUBTOTAL		\$ 149,812.79
% FINANCIAMIENTO	2%	\$ 2,996.26
SUBTOTAL		\$ 152,809.05
UTILIDAD	8%	\$ 12,224.72
TOTAL		\$ 165,033.77
CARGOS ADICIONALES	2%	\$ 3,300.68

PRECIO UNITARIO	\$ 168,334.45
------------------------	----------------------



5.4.3. Presupuesto final

Una vez que se tienen todos los precios unitarios, estos se colocan en el catálogo de conceptos y se multiplican por la cantidad, con lo cual se obtiene el costo total por concepto de la inversión.

Cárcamo y sistema de bombeo					
Clave	Concepto	Unidad	Cantidad	P. U.	Importe
CB-1	Limpieza: desmonte y despalme de terreno. Incluye equipo, material y mano de obra.	m ²	49.00	\$ 20.59	\$ 1,009.07
CB-2	Trazo y nivelación. Incluye equipo topográfico, materiales y mano de obra.	m ²	42.25	\$ 1.35	\$ 56.90
CB-3	Excavación hasta 5 m de profundidad por 6.5 m de lado. Incluye equipo, materiales y mano de obra	m ³	211.25	\$ 357.04	\$ 75,424.90
CB-4	Fabricacion de losa de cimentación de concreto reforzado. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m ²	42.25	\$ 413.26	\$ 17,460.16
CB-5	Fabricacion de paredes del cárcamo de bombeo de concreto reforzado. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m ²	143.00	\$ 551.51	\$ 78,865.78
CB-6	Fabricacion de losa de cierre de concreto reforzado. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m ²	42.25	\$ 413.26	\$ 17,460.16
CB-7	Suministro y colocación de sistema de filtrado. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	lote	1.00	\$ 1,250.10	\$ 1,250.10
CB-8	Suministro y colocación de tubería de PVC, con un Ø=315 mm. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m	1.90	\$ 339.21	\$ 644.50
CB-9	Suministro y colocación de sistema de bombeo. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	lote	1.00	\$ 110,362.31	\$ 110,362.31
Subtotal cárcamo y sistema de bombeo					\$ 302,533.89



Línea de bombeo					
Clave	Concepto	Unidad	Cantidad	P. U.	Importe
LC-1	Limpieza: desmonte y despalme de terreno. Incluye equipo, material y mano de obra.	m ²	366.30	\$ 20.59	\$ 7,543.31
LC-2	Trazo y nivelación. Incluye equipo topográfico, materiales y mano de obra.	m	1221.00	\$ 1.35	\$ 1,644.51
LC-3	Excavación hasta 1 m de profundidad. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m ³	366.30	\$ 243.44	\$ 89,170.98
LC-4	Plantilla de 5 cm de compactación.	m	1221.00	\$ 0.95	\$ 1,158.97
LC-5	Suministro y colocación de tubería de PVC, con un Ø=250 mm. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m	1221.00	\$ 269.48	\$ 329,032.31
LC-6	Relleno y compactación 5 cm	m	1221.00	\$ 54.55	\$ 66,602.00
LC-7	Señalización	lote	1.00	\$ 4,168.35	\$ 4,168.35
Subtotal línea de bombeo					\$ 499,320.43

Tanque elevado					
Clave	Concepto	Unidad	Cantidad	P. U.	Importe
TE-1	Limpieza: desmonte y despalme de terreno. Incluye equipo, material y mano de obra.	m ²	56.75	\$ 20.59	\$ 1,168.57
TE-2	Trazo y nivelación. Incluye equipo topográfico, materiales y mano de obra.	m	56.75	\$ 1.35	\$ 76.43
TE-3	Excavación hasta 0.5 m de profundidad. Incluye equipo, materiales y mano de obra	m ³	28.37	\$ 243.44	\$ 6,906.92
TE-4	Fabricacion de losa de cimentación de concreto reforzado. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m ²	56.75	\$ 413.26	\$ 23,450.35
TE-5	Fabricacion de pared del tanque elevado de concreto reforzado. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m ²	133.52	\$ 583.31	\$ 77,882.86
TE-6	Fabricacion de losa de cierre de concreto reforzado. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m ²	56.75	\$ 413.26	\$ 23,450.35
Subtotal tanque elevado					\$ 132,935.47



Línea de distribución					
Clave	Concepto	Unidad	Cantidad	P. U.	Importe
LA-1	Limpieza: desmonte y despalme de terreno. Incluye equipo, material y mano de obra.	m ²	1373.25	\$ 20.59	\$ 28,279.70
LA-2	Trazo y nivelación. Incluye equipo topográfico, materiales y mano de obra.	m	5493.00	\$ 1.35	\$ 7,398.28
LA-3	Excavación hasta 1 m de profundidad. Incluye equipo, materiales y mano de obra	m ³	1373.25	\$ 243.44	\$ 334,299.89
LA-4	Plantilla de 5 cm de compactación.	m	5493.00	\$ 0.95	\$ 5,213.92
LA-5	Suministro y colocación de tubería de PVC, con un Ø=250 mm. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m	1008.00	\$ 269.48	\$ 271,633.56
LA-6	Suministro y colocación de tubería de PVC, con un Ø=219.1 mm. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m	887.00	\$ 224.97	\$ 199,550.05
LA-7	Suministro y colocación de tubería de PVC, con un Ø=200 mm. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m	739.00	\$ 185.72	\$ 137,250.44
LA-8	Suministro y colocación de tubería de PVC, con un Ø=160 mm. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m	732.00	\$ 154.34	\$ 112,978.87
LA-9	Suministro y colocación de tubería de PVC, con un Ø=114.3 mm. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m	223.00	\$ 85.23	\$ 19,005.20
LA-10	Suministro y colocación de tubería de PVC, con un Ø=88.9 mm. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m	930.00	\$ 69.53	\$ 64,661.12
LA-11	Suministro y colocación de tubería de PVC, con un Ø=73 mm. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m	306.00	\$ 47.07	\$ 14,402.99
LA-12	Suministro y colocación de tubería de PVC, con un Ø=48.3 mm. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m	668.00	\$ 37.22	\$ 24,865.27
LA-13	Relleno y compactación 5 cm	m	5493.00	\$ 54.55	\$ 299,627.16
LA-14	Señalización	lote	1.00	\$ 4,168.35	\$ 4,168.35
Subtotal línea de distribución					\$ 1,523,334.80



Riego por goteo					
Clave	Concepto	Unidad	Cantidad	P. U.	Importe
RG-1	Limpieza: desmonte y despalme de terreno. Incluye equipo, material y mano de obra.	m ²	1651.00	\$ 20.59	\$ 33,999.48
RG-2	Suministro y colocación de tubería de PVC, con un Ø=250 mm. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m	1391.00	\$ 269.48	\$ 374,843.53
RG-3	Suministro y colocación de tubería de PVC, con un Ø=219.1 mm. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m	741.00	\$ 224.97	\$ 166,704.15
RG-4	Suministro y colocación de tubería de PVC, con un Ø=200 mm. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m	627.00	\$ 185.72	\$ 116,449.29
RG-5	Suministro y colocación de tubería de PVC, con un Ø=160 mm. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m	1373.00	\$ 154.34	\$ 211,912.55
RG-6	Suministro y colocación de tubería de PVC, con un Ø=114.3 mm. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m	567.00	\$ 85.23	\$ 48,322.64
RG-7	Suministro y colocación de tubería de PVC, con un Ø=88.9 mm. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m	920.00	\$ 69.53	\$ 63,965.84
RG-8	Suministro y colocación de tubería de PVC, con un Ø=73 mm. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m	195.00	\$ 47.07	\$ 9,178.38
RG-9	Suministro y colocación de tubería de PVC, con un Ø=48.3 mm. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	m	790.00	\$ 37.22	\$ 29,406.54
RG-10	Suministro y colocación de goteros, de 2.3 l/h. Incluye equipo, materiales y mano de obra.	lote	1.00	\$ 168,334.45	\$ 168,334.45
RG-11	Señalización	lote	1.00	\$ 4,168.35	\$ 4,168.35
Subtotal riego por goteo					\$ 1,227,285.19

Total inversión	\$ 3,685,409.78
------------------------	------------------------



5.5. Costos de operación

Para determinar los costos de operación se consideran el tiempo de funcionamiento de la bomba, es decir los kilowatts que consume, así como la mano de obra que se requiera.

Considerando la tarifa 9-N (Agosto 2014) de CFE, que se aplica para la energía eléctrica utilizada en la operación de los equipos de bombeo y rebombeo de agua para riego agrícola.

Tabla 72. Cargo por kilowatt-hora en Agosto de 2014.	
Cargo por kilowatt-hora de energía consumida en el periodo diurno	Cargo por kilowatt-hora de energía consumida en el periodo nocturno
\$0.520	\$0.260

Recordando la política de riego y el funcionamiento del tanque, se tiene que en el horario diurno se tendrá un funcionamiento de la bomba de 3.5 horas y en el horario nocturno de 3.5 horas y si la bomba requiere 43.39 KW, se tendría entonces un cargo diario de \$118.45 por concepto de consumo de energía.

Para poner en operación el sistema de bombeo se requerirá de un plomero el cual tiene un salario real de \$402.30, se tendría entonces un costo total diario por operación de \$520.75.

5.6. Costos de mantenimiento

Para dar mantenimiento al sistema de bombeo se recomienda que este se realice por lo menos dos veces al año, con el fin de evitar que se tenga un mantenimiento correctivo, que cauce un costo más elevado, para ello se requerirá de un plomero el cual tiene un salario real de \$402.30, se tendría entonces un costo total diario por mantenimiento de \$402.30, también es importante considerar que en un funcionamiento óptimo, se tendría una vida útil de las bombas de 5 años aproximadamente.



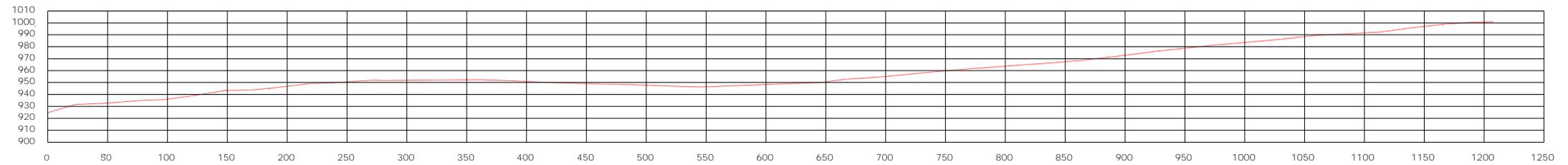
Conclusiones

- I. Se desarrolló la propuesta para un anteproyecto del sistema de riego para la comunidad de Santiago Mitepec en el Estado de Puebla, el cual se conforma por un cárcamo, un sistema de bombeo, una línea de alimentación, un tanque elevado y líneas de distribución.
- II. Se elaboró una política de riego, con el fin de satisfacer en todo momento la demanda solicitada y de esta manera optimizar el sistema.
- III. El sistema de riego beneficiará a toda la comunidad, debido a que se tendrá un ingreso en la producción y comercio de los cultivos, durante todo el año y no únicamente en la temporada de lluvias.
- IV. Se determinó el presupuesto final del proyecto, considerando la inversión inicial, la operación y el mantenimiento. Cabe mencionar que en el presupuesto se consideran todos los costos de la mano de obra, sin embargo si la misma comunidad trabajara en las actividades de construcción del proyecto, se tendría un ahorro en el presupuesto.
- V. El presente trabajo servirá de apoyo en el desarrollo del proyecto definitivo del sistema de riego.

Anexos



PERFIL LÍNEA DE ALIMENTACIÓN



PUNTO	KILOMETRO	COTA
A0	0+000.000	924.718
A1	0+022.814	931.560
A2	0+100.000	932.735
A3	0+127.505	934.037
A4	0+129.852	935.056
A5	0+135.647	938.088
A6	0+148.259	943.301
A7	0+170.092	948.712
A8	0+185.032	946.006
A9	0+229.293	949.142
A10	0+237.201	949.015
A11	0+271.833	951.913
A12	0+282.745	951.627
A13	0+320.389	952.009
A14	0+350.206	952.318
A15	0+383.316	951.599
A16	0+412.287	950.306
A17	0+459.856	948.761
A18	0+483.305	948.761
A19	0+510.205	947.338
A20	0+525.011	946.283
A23	0+646.480	950.022
A24	0+666.312	952.718
A25	0+694.564	954.538
A26	0+744.245	959.342
A27	0+773.266	961.722
A30	0+838.321	966.622
A31	0+862.285	968.158
A32	0+894.931	972.206
A33	0+927.010	976.242
A34	0+969.160	981.874
A35	1+000.644	983.615
A36	1+028.861	986.158
A37	1+061.619	989.201
A38	1+085.487	990.757
A39	1+113.564	992.347
A40	1+138.861	995.288
A41	1+165.522	998.898
A42	1+193.006	1000.881
MANQUE	1+207.600	1000.824

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 DIVISIÓN DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA

DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA
 CENTRO DE SERVICIOS SOCIALES CON APLICACIÓN DIRECTA A LA SOCIEDAD
 PROYECTO "SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA TABASCAS"
 PERFIL DE LA LÍNEA DE ALIMENTACIÓN

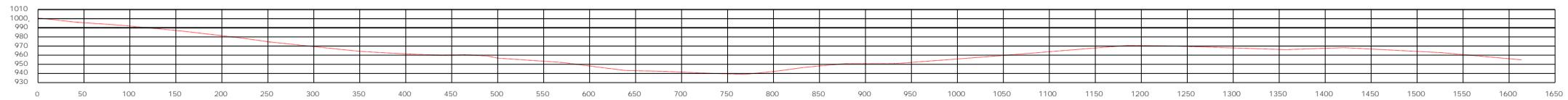
Elaborado: []
 Revisado: []
 Aprobado: []

Fecha: []

Anexo 1. Perfil de la línea de alimentación.



PERFIL LÍNEA 1 A 3 DE CONDUCCIÓN PRIMARIA



PUNTO	KILOMETRO	COTA
1.1.0	0.000 000	1000.000
1.1.1	0.000 200	999.991
1.1.2	0.000 400	999.982
1.1.3	0.000 600	999.973
1.1.4	0.001 000	999.955
1.1.5	0.001 500	999.937
1.1.6	0.002 000	999.919
1.1.7	0.002 500	999.901
1.1.8	0.003 000	999.883
1.1.9	0.003 500	999.865
1.1.10	0.004 000	999.847
1.1.11	0.004 500	999.829
1.1.12	0.005 000	999.811
1.1.13	0.005 500	999.793
1.1.14	0.006 000	999.775
1.1.15	0.006 500	999.757
1.1.16	0.007 000	999.739
1.1.17	0.007 500	999.721
1.1.18	0.008 000	999.703
1.1.19	0.008 500	999.685
1.1.20	0.009 000	999.667
1.1.21	0.009 500	999.649
1.1.22	0.010 000	999.631
1.1.23	0.010 500	999.613
1.1.24	0.011 000	999.595
1.1.25	0.011 500	999.577
1.1.26	0.012 000	999.559
1.1.27	0.012 500	999.541
1.1.28	0.013 000	999.523
1.1.29	0.013 500	999.505
1.1.30	0.014 000	999.487
1.1.31	0.014 500	999.469
1.1.32	0.015 000	999.451
1.1.33	0.015 500	999.433
1.1.34	0.016 000	999.415
1.1.35	0.016 500	999.397
1.1.36	0.017 000	999.379
1.1.37	0.017 500	999.361
1.1.38	0.018 000	999.343
1.1.39	0.018 500	999.325
1.1.40	0.019 000	999.307
1.1.41	0.019 500	999.289
1.1.42	0.020 000	999.271
1.1.43	0.020 500	999.253
1.1.44	0.021 000	999.235
1.1.45	0.021 500	999.217
1.1.46	0.022 000	999.199
1.1.47	0.022 500	999.181
1.1.48	0.023 000	999.163
1.1.49	0.023 500	999.145
1.1.50	0.024 000	999.127
1.1.51	0.024 500	999.109
1.1.52	0.025 000	999.091
1.1.53	0.025 500	999.073
1.1.54	0.026 000	999.055
1.1.55	0.026 500	999.037
1.1.56	0.027 000	999.019
1.1.57	0.027 500	999.001
1.1.58	0.028 000	998.983
1.1.59	0.028 500	998.965
1.1.60	0.029 000	998.947
1.1.61	0.029 500	998.929
1.1.62	0.030 000	998.911
1.1.63	0.030 500	998.893
1.1.64	0.031 000	998.875
1.1.65	0.031 500	998.857
1.1.66	0.032 000	998.839
1.1.67	0.032 500	998.821
1.1.68	0.033 000	998.803
1.1.69	0.033 500	998.785
1.1.70	0.034 000	998.767
1.1.71	0.034 500	998.749
1.1.72	0.035 000	998.731
1.1.73	0.035 500	998.713
1.1.74	0.036 000	998.695
1.1.75	0.036 500	998.677
1.1.76	0.037 000	998.659
1.1.77	0.037 500	998.641
1.1.78	0.038 000	998.623
1.1.79	0.038 500	998.605
1.1.80	0.039 000	998.587
1.1.81	0.039 500	998.569
1.1.82	0.040 000	998.551
1.1.83	0.040 500	998.533
1.1.84	0.041 000	998.515
1.1.85	0.041 500	998.497
1.1.86	0.042 000	998.479
1.1.87	0.042 500	998.461
1.1.88	0.043 000	998.443
1.1.89	0.043 500	998.425
1.1.90	0.044 000	998.407
1.1.91	0.044 500	998.389
1.1.92	0.045 000	998.371
1.1.93	0.045 500	998.353
1.1.94	0.046 000	998.335
1.1.95	0.046 500	998.317
1.1.96	0.047 000	998.299
1.1.97	0.047 500	998.281
1.1.98	0.048 000	998.263
1.1.99	0.048 500	998.245
1.2.0	0.049 000	998.227
1.2.1	0.049 500	998.209
1.2.2	0.050 000	998.191
1.2.3	0.050 500	998.173
1.2.4	0.051 000	998.155
1.2.5	0.051 500	998.137
1.2.6	0.052 000	998.119
1.2.7	0.052 500	998.101
1.2.8	0.053 000	998.083
1.2.9	0.053 500	998.065
1.2.10	0.054 000	998.047
1.2.11	0.054 500	998.029
1.2.12	0.055 000	998.011
1.2.13	0.055 500	997.993
1.2.14	0.056 000	997.975
1.2.15	0.056 500	997.957
1.2.16	0.057 000	997.939
1.2.17	0.057 500	997.921
1.2.18	0.058 000	997.903
1.2.19	0.058 500	997.885
1.2.20	0.059 000	997.867
1.2.21	0.059 500	997.849
1.2.22	0.060 000	997.831
1.2.23	0.060 500	997.813
1.2.24	0.061 000	997.795
1.2.25	0.061 500	997.777
1.2.26	0.062 000	997.759
1.2.27	0.062 500	997.741
1.2.28	0.063 000	997.723
1.2.29	0.063 500	997.705
1.2.30	0.064 000	997.687
1.2.31	0.064 500	997.669
1.2.32	0.065 000	997.651
1.2.33	0.065 500	997.633
1.2.34	0.066 000	997.615
1.2.35	0.066 500	997.597
1.2.36	0.067 000	997.579
1.2.37	0.067 500	997.561
1.2.38	0.068 000	997.543
1.2.39	0.068 500	997.525
1.2.40	0.069 000	997.507
1.2.41	0.069 500	997.489
1.2.42	0.070 000	997.471
1.2.43	0.070 500	997.453
1.2.44	0.071 000	997.435
1.2.45	0.071 500	997.417
1.2.46	0.072 000	997.399
1.2.47	0.072 500	997.381
1.2.48	0.073 000	997.363
1.2.49	0.073 500	997.345
1.2.50	0.074 000	997.327
1.2.51	0.074 500	997.309
1.2.52	0.075 000	997.291
1.2.53	0.075 500	997.273
1.2.54	0.076 000	997.255
1.2.55	0.076 500	997.237
1.2.56	0.077 000	997.219
1.2.57	0.077 500	997.201
1.2.58	0.078 000	997.183
1.2.59	0.078 500	997.165
1.2.60	0.079 000	997.147
1.2.61	0.079 500	997.129
1.2.62	0.080 000	997.111
1.2.63	0.080 500	997.093
1.2.64	0.081 000	997.075
1.2.65	0.081 500	997.057
1.2.66	0.082 000	997.039
1.2.67	0.082 500	997.021
1.2.68	0.083 000	997.003
1.2.69	0.083 500	996.985
1.2.70	0.084 000	996.967
1.2.71	0.084 500	996.949
1.2.72	0.085 000	996.931
1.2.73	0.085 500	996.913
1.2.74	0.086 000	996.895
1.2.75	0.086 500	996.877
1.2.76	0.087 000	996.859
1.2.77	0.087 500	996.841
1.2.78	0.088 000	996.823
1.2.79	0.088 500	996.805
1.2.80	0.089 000	996.787
1.2.81	0.089 500	996.769
1.2.82	0.090 000	996.751
1.2.83	0.090 500	996.733
1.2.84	0.091 000	996.715
1.2.85	0.091 500	996.697
1.2.86	0.092 000	996.679
1.2.87	0.092 500	996.661
1.2.88	0.093 000	996.643
1.2.89	0.093 500	996.625
1.2.90	0.094 000	996.607
1.2.91	0.094 500	996.589
1.2.92	0.095 000	996.571
1.2.93	0.095 500	996.553
1.2.94	0.096 000	996.535
1.2.95	0.096 500	996.517
1.2.96	0.097 000	996.499
1.2.97	0.097 500	996.481
1.2.98	0.098 000	996.463
1.2.99	0.098 500	996.445
1.3.0	0.099 000	996.427
1.3.1	0.099 500	996.409
1.3.2	0.100 000	996.391
1.3.3	0.100 500	996.373
1.3.4	0.101 000	996.355
1.3.5	0.101 500	996.337
1.3.6	0.102 000	996.319
1.3.7	0.102 500	996.301
1.3.8	0.103 000	996.283
1.3.9	0.103 500	996.265
1.3.10	0.104 000	996.247
1.3.11	0.104 500	996.229
1.3.12	0.105 000	996.211
1.3.13	0.105 500	996.193
1.3.14	0.106 000	996.175
1.3.15	0.106 500	996.157
1.3.16	0.107 000	996.139
1.3.17	0.107 500	996.121
1.3.18	0.108 000	996.103
1.3.19	0.108 500	996.085
1.3.20	0.109 000	996.067
1.3.21	0.109 500	996.049
1.3.22	0.110 000	996.031
1.3.23	0.110 500	996.013
1.3.24	0.111 000	995.995
1.3.25	0.111 500	995.977
1.3.26	0.112 000	995.959
1.3.27	0.112 500	995.941
1.3.28	0.113 000	995.923
1.3.29	0.113 500	995.905
1.3.30	0.114 000	995.887
1.3.31	0.114 500	995.869
1.3.32	0.115 000	995.851
1.3.33	0.115 500	995.833
1.3.34	0.116 000	995.815
1.3.35	0.116 500	995.797
1.3.36	0.117 000	995.779
1.3.37	0.117 500	995.761
1.3.38	0.118 000	995.743
1.3.39	0.118 500	995.725
1.3.40	0.119 000	995.707
1.3.41	0.119 500	995.689
1.3.42	0.120 000	995.671
1.3.43	0.120 500	995.653
1.3.44	0.121 000	995.635
1.3.45	0.121 500	995.617
1.3.46	0.122 000	995.599
1.3.47	0.122 500	995.581
1.3.48	0.123 000	995.563
1.3.49	0.123 500	995.545
1.3.50	0.124 000	995.527
1.3.51	0.124 500	995.509
1.3.52	0.125 000	995.491
1.3.53	0.125 500	995.473
1.3.54	0.126 000	995.455
1.3.55	0.126 500	995.437
1.3.56	0.127 000	995.419
1.3.57	0.127 500	995.401
1.3.58	0.128 000	995.383
1.3.59	0.128 500	995.365
1.3.60	0.129 000	995.347
1.3.61	0.129 500	995.329
1.3.62	0.130 000	995.311
1.3.63	0.130 500	995.293
1.3.64	0.131 000	995.275
1.3.65	0.131 500	995.257
1.3.66	0.132 000	995.239
1.3.67	0.132 500	995.221
1.3.68	0.133 000	995.203
1.3.69	0.133 500	995.185
1.3.70	0.134 000	995.167
1.3.71	0.134 500	995.149
1.3.72	0.135 000	995.131
1.3.73	0.135 500	995.113
1.3.74	0.136 000	995.095
1.3.75	0.136 500	995.077
1.3.76	0.137 000	995.059
1.3.77	0.137 500	995.041
1.3.78	0.138 000	995.023
1.3.79	0.138 500	995.005
1.3.80	0.139 000	994.987
1.3.81	0.139 500	994.969
1.3.82	0.140 000	994.951
1.3.83	0.140 500	994.933
1.3.84	0.141 000	994.915
1.3.85	0.141 500	994.897
1.3.86	0.142 000	994.879
1.		



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA

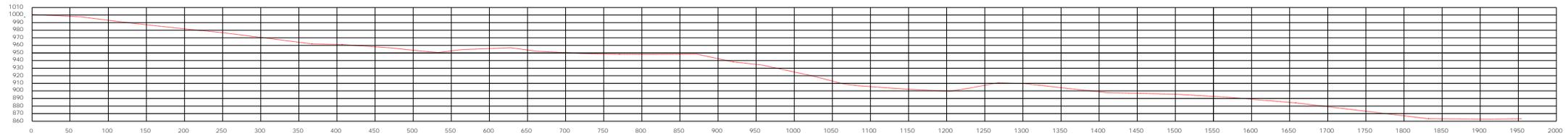
DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA
GRUPO DE SERVICIO SOCIAL CON APLICACIÓN DIRECTA A LA SOCIEDAD
PROYECTO: SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA A PARCELAS DE SANTIAGO INTÉRC. NUEVA
PERFIL DE LA LÍNEA 1 A 4 DE CONDUCCIÓN PRIMARIA

ELABORADO: [Nombre]
REVISADO: DR. MARCO GUSTAVO VALDEZ
APROBADO: M. C. GABRIEL DOMÍNGUEZ HERNÁNDEZ

Anexo 4. Perfil de la línea de conducción de 1 a 4.



PERFIL LÍNEA 5 A 6 DE CONDUCCIÓN PRIMARIA



NUMERO	ELEVACION	COTA
5A-1	995.00	995.00
5A-2	990.00	990.00
5A-3	985.00	985.00
5A-4	980.00	980.00
5A-5	975.00	975.00
5A-6	970.00	970.00
5A-7	965.00	965.00
5A-8	960.00	960.00
5A-9	955.00	955.00
5A-10	950.00	950.00
5A-11	945.00	945.00
5A-12	940.00	940.00
5A-13	935.00	935.00
5A-14	930.00	930.00
5A-15	925.00	925.00
5A-16	920.00	920.00
5A-17	915.00	915.00
5A-18	910.00	910.00
5A-19	905.00	905.00
5A-20	900.00	900.00
5A-21	895.00	895.00
5A-22	890.00	890.00
5A-23	885.00	885.00
5A-24	880.00	880.00
5A-25	875.00	875.00
5A-26	870.00	870.00
5A-27	865.00	865.00
5A-28	860.00	860.00
5A-29	855.00	855.00
5A-30	850.00	850.00
5A-31	845.00	845.00
5A-32	840.00	840.00
5A-33	835.00	835.00
5A-34	830.00	830.00
5A-35	825.00	825.00
5A-36	820.00	820.00
5A-37	815.00	815.00
5A-38	810.00	810.00
5A-39	805.00	805.00
5A-40	800.00	800.00
5A-41	795.00	795.00
5A-42	790.00	790.00
5A-43	785.00	785.00
5A-44	780.00	780.00
5A-45	775.00	775.00
5A-46	770.00	770.00
5A-47	765.00	765.00
5A-48	760.00	760.00
5A-49	755.00	755.00
5A-50	750.00	750.00
5A-51	745.00	745.00
5A-52	740.00	740.00
5A-53	735.00	735.00
5A-54	730.00	730.00
5A-55	725.00	725.00
5A-56	720.00	720.00
5A-57	715.00	715.00
5A-58	710.00	710.00
5A-59	705.00	705.00
5A-60	700.00	700.00
5A-61	695.00	695.00
5A-62	690.00	690.00
5A-63	685.00	685.00
5A-64	680.00	680.00
5A-65	675.00	675.00
5A-66	670.00	670.00
5A-67	665.00	665.00
5A-68	660.00	660.00
5A-69	655.00	655.00
5A-70	650.00	650.00
5A-71	645.00	645.00
5A-72	640.00	640.00
5A-73	635.00	635.00
5A-74	630.00	630.00
5A-75	625.00	625.00
5A-76	620.00	620.00
5A-77	615.00	615.00
5A-78	610.00	610.00
5A-79	605.00	605.00
5A-80	600.00	600.00
5A-81	595.00	595.00
5A-82	590.00	590.00
5A-83	585.00	585.00
5A-84	580.00	580.00
5A-85	575.00	575.00
5A-86	570.00	570.00
5A-87	565.00	565.00
5A-88	560.00	560.00
5A-89	555.00	555.00
5A-90	550.00	550.00
5A-91	545.00	545.00
5A-92	540.00	540.00
5A-93	535.00	535.00
5A-94	530.00	530.00
5A-95	525.00	525.00
5A-96	520.00	520.00
5A-97	515.00	515.00
5A-98	510.00	510.00
5A-99	505.00	505.00
5A-100	500.00	500.00

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 DIVISION DE INGENIERIAS CIVILES Y GEOMÁTICA

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
 GRUPO DE SERVICIO SOCIAL CON APLICACIÓN DIRECTA A LA SOCIEDAD
 PROYECTO: SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA A PARCELAS
 EN SANTIAGO MI TEPEC, PUEBLA
 PERFIL DE LA LÍNEA 5 A 6 DE CONDUCCIÓN PRIMARIA

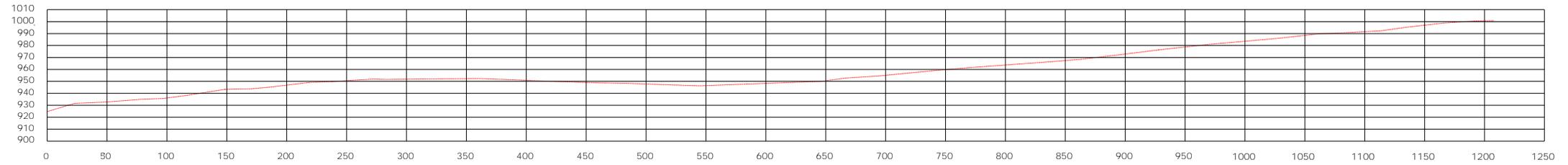
Elaborado por: DANIEL GONZÁLEZ GARCÍA
 Revisado por: DANIEL GONZÁLEZ GARCÍA

Fecha de elaboración: 2023
 Fecha de revisión: 2023

Anexo 5. Perfil de la línea de conducción de 5 a 6.



PERFIL LÍNEA 5 A 7 DE CONDUCCIÓN PRIMARIA



PUNTO	KILOMETRO	COTA
CARRANZO	0.0000000	924.719
A1	0.0227864	931.660
A2	0.0500000	932.736
A3	0.0777055	934.937
A4	0.1056852	936.686
A5	0.1336647	938.088
A6	0.162259	943.301
A7	0.190922	943.717
A8	0.188032	946.046
A9	0.228292	947.142
A10	0.237361	949.915
A11	0.271833	951.913
A12	0.282743	951.627
A13	0.320389	952.039
A14	0.330266	952.319
A15	0.382316	951.599
A16	0.412887	950.326
A17	0.459856	948.781
A18	0.4483765	948.761
A19	0.4510705	947.388
A20	0.545161	949.545
A21	0.646480	950.022
A24	0.6666312	952.718
A25	0.6694564	954.538
A26	0.744243	959.342
A27	0.773266	961.722
A30	0.838331	966.462
A31	0.862295	969.158
A32	0.894031	972.206
A33	0.927910	976.342
A34	0.999100	980.814
A35	1.000464	983.015
A36	1.0288861	986.158
A37	1.0501679	989.781
A38	1.088487	990.757
A39	1.1133564	992.847
A40	1.134881	995.288
A41	1.165522	998.888
A42	1.1951066	1000.881
TRAVESA	1.2070465	1000.924

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA

DEPARTAMENTO DE CONSULTA
GRUPO DE SERVICIO SOCIAL CON APLICACIÓN DIRECTA A LA SOCIEDAD

PROYECTO: SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA A PARCELAS
EN SANTIAGO MATEO, TOLUCA

PERFIL DE LA LÍNEA 5 A 7 DE CONDUCCIÓN PRIMARIA

Elaborado por: JUAN CARLOS SALAS
Revisado por: JUAN CARLOS SALAS
Aprobado por: JUAN CARLOS SALAS

Fecha: 15/06/2017 10:55:17

Anexo 6. Perfil de la línea de conducción de 5 a 7.



SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL

NORMALES CLIMATOLÓGICAS

ESTADO DE: PUEBLA

PERIODO: 1951-2010

ESTACION: 00021050 JOLALPAN

LATITUD: 18°19'25" N.

LONGITUD: 098°49'11" W.

ALTURA: 904.0 MSNM.

ELEMENTOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TEMPERATURA MAXIMA													
NORMAL	34.1	35.5	37.7	39.2	39.0	35.7	34.2	34.3	33.8	34.4	34.6	34.2	35.6
MAXIMA MENSUAL	38.9	37.9	39.6	40.9	41.5	40.1	36.7	36.2	36.1	37.2	38.2	39.2	
AÑO DE MAXIMA	1970	1962	1980	1963	1988	1989	1957	1962	1986	1984	1969	1969	
MAXIMA DIARIA	39.5	41.0	43.3	44.5	43.5	43.0	40.0	40.5	39.5	41.0	39.5	39.5	
FECHA MAXIMA DIARIA	16/1952	13/1962	23/1954	09/1965	23/1955	15/1962	25/1967	01/1962	20/1980	08/1961	18/1969	02/1969	
AÑOS CON DATOS	45	44	44	43	42	43	44	43	43	43	43	43	
TEMPERATURA MEDIA													
NORMAL	22.6	24.2	26.7	28.7	29.2	27.3	26.0	26.0	25.8	25.1	23.9	22.9	25.7
AÑOS CON DATOS	45	44	44	43	42	43	44	43	43	43	43	43	
TEMPERATURA MINIMA													
NORMAL	11.2	12.8	15.7	18.2	19.5	19.0	17.9	17.7	17.8	15.8	13.2	11.6	15.9
MINIMA MENSUAL	5.4	9.9	13.1	15.3	17.1	10.7	10.7	10.3	15.4	11.0	8.8	6.6	
AÑO DE MINIMA	1970	1955	1991	1960	1989	1989	1989	1989	1989	1952	1952	1969	
MINIMA DIARIA	-1.0	1.5	7.0	8.5	11.0	10.0	10.5	10.0	9.0	5.5	1.0	1.3	
FECHA MINIMA DIARIA	27/1953	14/1961	15/1968	07/1960	24/1971	21/2009	01/1989	22/1954	30/1979	22/1952	19/1970	29/1955	
AÑOS CON DATOS	45	44	44	43	42	43	44	43	43	43	43	43	
PRECIPITACION													
NORMAL	8.0	1.9	1.8	10.3	58.1	170.1	169.7	161.6	156.7	63.3	11.3	1.2	814.0
MAXIMA MENSUAL	73.5	23.0	15.0	79.3	231.3	312.5	327.6	295.9	353.0	228.2	72.0	12.5	
AÑO DE MAXIMA	1958	1983	1966	1972	1954	1974	1961	1952	1971	1959	1972	1968	
MAXIMA DIARIA	35.8	12.0	11.0	41.5	160.0	116.0	94.5	100.0	106.7	113.5	54.5	10.0	
FECHA MAXIMA DIARIA	19/1958	23/1981	16/1978	21/1972	23/1954	06/1955	06/2008	08/1957	27/1952	06/1982	01/1953	06/1968	
AÑOS CON DATOS	44	43	44	43	42	43	44	43	43	43	42	43	
EVAPORACION TOTAL													
NORMAL	150.1	170.3	249.5	275.6	267.2	205.1	178.2	172.6	138.5	140.8	134.9	137.6	2,220.4
AÑOS CON DATOS	13	11	14	13	12	13	12	12	12	15	15	17	
NUMERO DE DIAS CON LLUVIA													
NORMAL	1.0	0.5	0.4	1.5	5.6	13.8	12.9	13.7	13.2	5.6	1.2	0.3	69.7
AÑOS CON DATOS	44	43	44	43	42	43	44	43	43	43	42	43	
NIEBLA													
NORMAL	0.2	0.0	0.0	0.1	0.3	1.5	2.0	3.4	3.9	1.1	0.1	0.0	12.6
AÑOS CON DATOS	44	41	41	43	42	43	44	43	43	43	43	43	
GRANIZO													
NORMAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
AÑOS CON DATOS	44	41	42	43	42	43	44	43	43	43	43	43	
TORRENTA E.													
NORMAL	0.0	0.0	0.0	0.1	0.5	1.0	1.1	1.0	0.6	0.0	0.1	0.0	4.4
AÑOS CON DATOS	44	41	42	43	42	43	44	43	43	43	43	43	

Anexo 7. Datos de la Estación Climatológica Jolalpan, en el Estado de Puebla.



Anexo 8. Relacion de las parcelas por línea

Línea 1		
Parcela	Área [m ²]	Área [ha]
38	4686.83	0.4687
39	19296.64	1.9297
42	33497.52	3.3498
43	3455.86	0.3456
44	5067.83	0.5068
47	7417.63	0.7418
56	42647.12	4.2647
365	24093.21	2.4093
Total	140162.62	14.0163

Línea 2		
Parcela	Área [m ²]	Área [ha]
46	50777.65	5.0778
402	111011.70	11.1012
Total	161789.35	16.18

Línea 3		
Parcela	Área [m ²]	Área [ha]
325	32649.77	3.2650
340	2925.36	0.2925
346	20466.10	2.0466
347	14547.59	1.4548
Total	70588.82	7.0589

Línea 4		
Parcela	Área [m ²]	Área [ha]
37	2187.92	0.2188
342	33441.43	3.3441
366	9304.20	0.9304
367	16972.44	1.6972
368	20341.89	2.0342
369	17084.27	1.7084
389	20558.88	2.0559
393	35981.46	3.5981
Total	155872.49	15.5872

Línea 5		
Parcela	Área [m ²]	Área [ha]
355	44616.57	4.4617
362	57648.98	5.7649
Total	102265.54	10.23

Línea 6		
Parcela	Área [m ²]	Área [ha]
28	27454.94	2.7455
29	30043.37	3.0043
30	20435.21	2.0435
31	8533.56	0.8534
32	26629.26	2.6629
33	7876.19	0.7876
35	29474.57	2.9475
36	10054.91	1.0055
235	18177.76	1.8178
329	16178.36	1.6178
330	16389.64	1.6390
336	2898.60	0.2899
338	2057.20	0.2057
345	16067.41	1.6067
Total	232270.98	23.2271

Línea 7		
Parcela	Área [m ²]	Área [ha]
215	3177.11	0.3177
354	10398.81	1.0399
361	19651.90	1.9652
383	20656.57	2.0657
Total	53884.40	5.3884

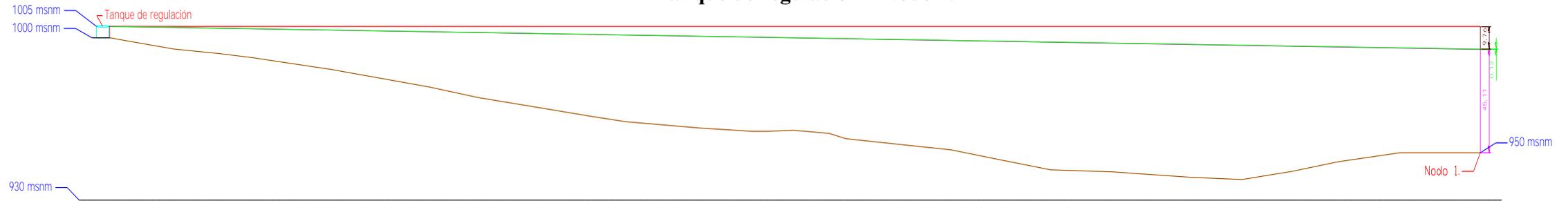
Área total	
m ²	ha
949644.61	94.9645

Las parcelas que se encuentran en color amarillo, son aquellas que debido a las pérdidas de energía fue necesario retirar del análisis y por lo tanto del diseño del sistema de riego.

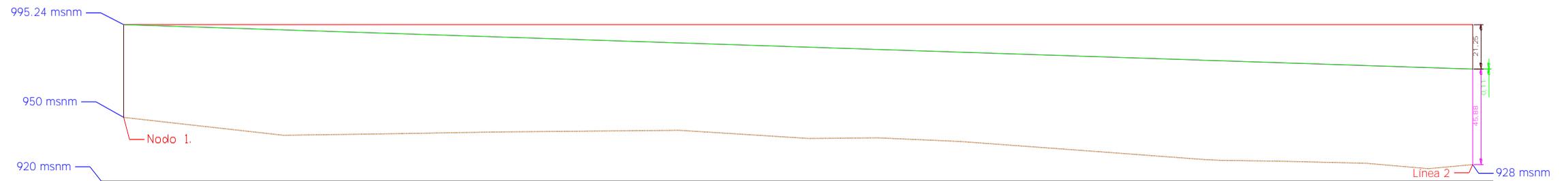


Anexo 10. Perfiles.

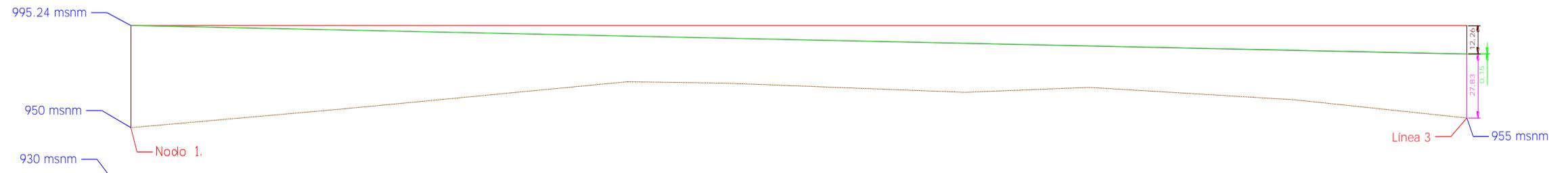
Tanque de regulación – Nodo 1.



Nodo 1 – Final línea 2.



Nodo 1 – Final línea 3.





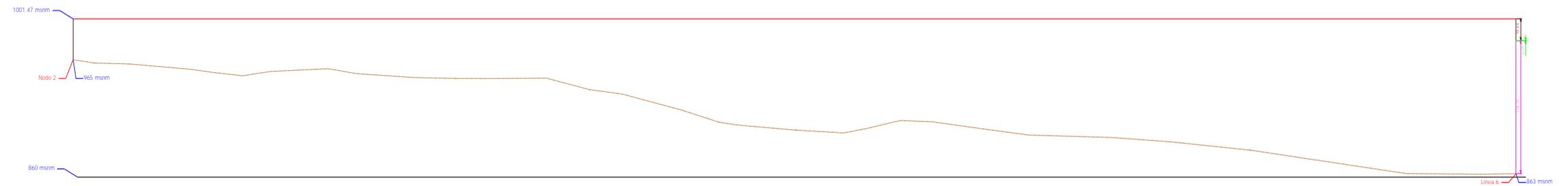
Nodo 1 – Final línea 4.



Tanque de regulación – Nodo 2.

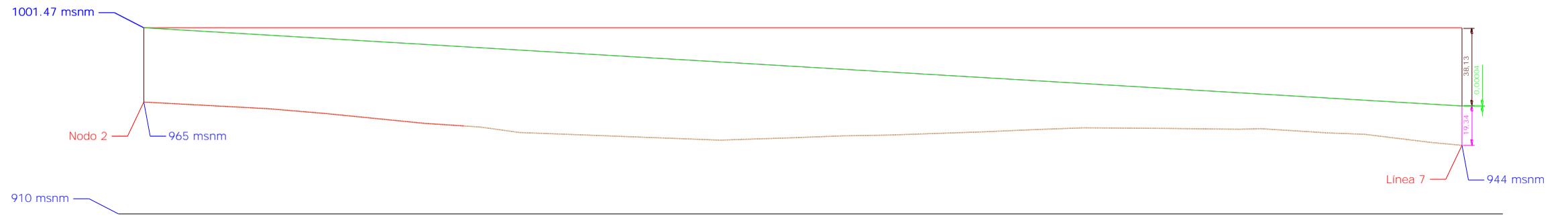


Nodo 2 – Final línea 6.





Nodo 2 – Final línea 7.





Anexo 11. Diagrama de Moody.

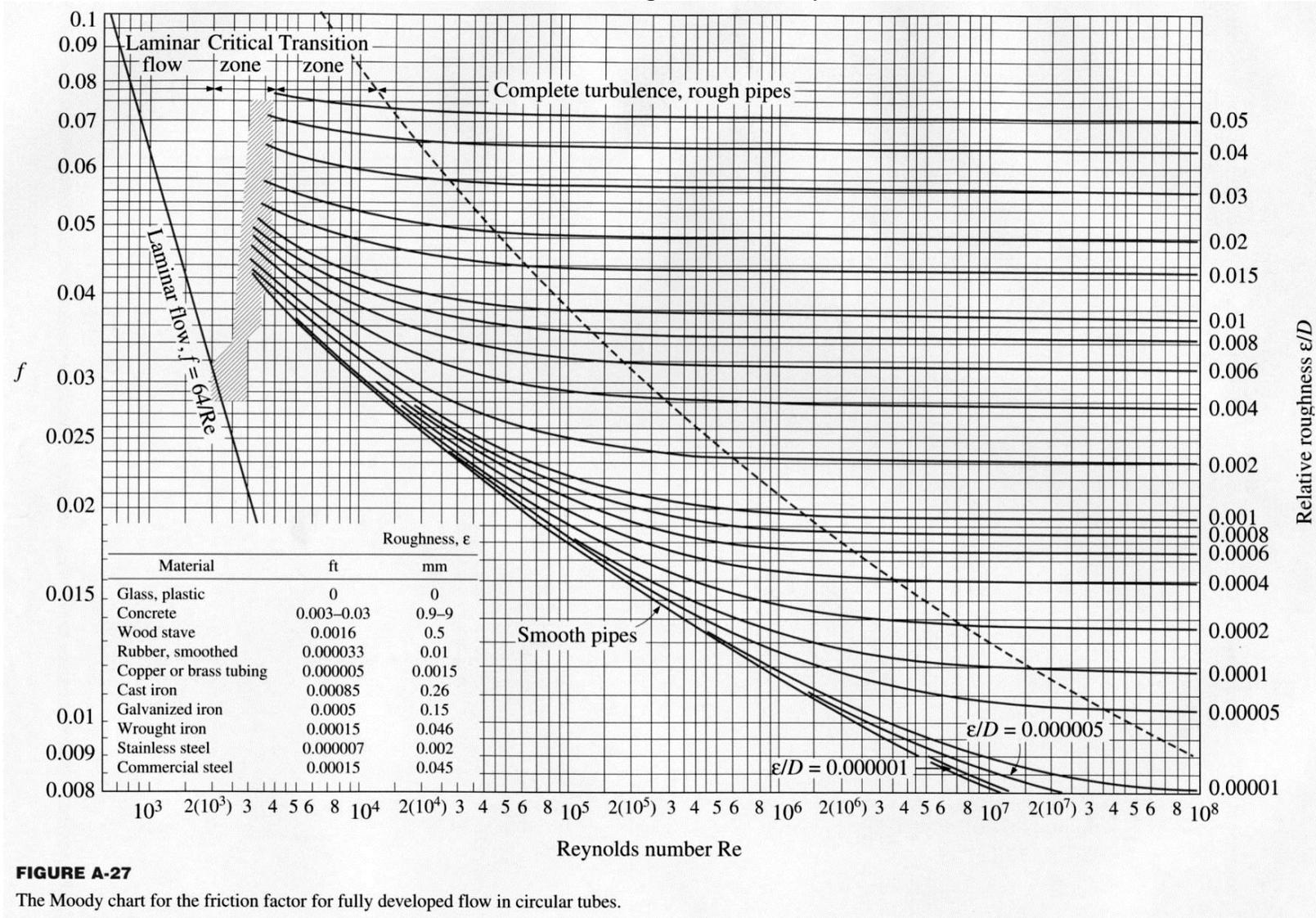


FIGURE A-27

The Moody chart for the friction factor for fully developed flow in circular tubes.



Índice de tablas

	Pág.
Tabla 1. Superficie de México en relación con la precipitación.	3
Tabla 2. Superficie de Riego en México en relación con el aprovechamiento.	4
Tabla 3. Determinación de la calidad del agua para el riego agrícola	12
Tabla 4. Coeficiente kg para los cultivos del proyecto	29
Tabla 5. Porcentaje de horas luz en el día por mes en relación a los meses del año.	30
Tabla 6. Corrección del factor climático kt_i [-]	30
Tabla 7. Factor climático mensual f_i [cm] y Factor climático equivalente a la evapotranspiración potencial f [-]	31
Tabla 8. Evapotranspiración real del cultivo ET_C [mm/día]	31
Tabla 9. Área de influencia A [m ²]	31
Tabla 10. Coeficiente de corrección por efecto de localización kl [-]	31
Tabla 11. Evapotranspiración del cultivo corregida $ET_{C\text{corregida}}$ [mm/día]	32
Tabla 12. Valores de eficiencia, aplicados a los sistemas de riego.	32
Tabla 13. Eficiencia del sistema de riego E_f [-]	33
Tabla 14. Litros por día por planta LPD [l/día]	34
Tabla 15. Número de plantas por metro cuadrado	34
Tabla 16. Porcentaje de área plantada de cada cultivo	35
Tabla 17. Requerimiento de agua por cultivo y caudal total del sistema de riego Q_s [l/s]	35
Tabla 18. Clasificación de los cárcamos de bombeo según su capacidad	37
Tabla 19. Velocidades recomendadas en la entrada de la campana	41
Tabla 20. Propiedades del agua, (Potter, 1998).	48
Tabla 21. Carga de succión positiva neta	49
Tabla 22. Clasificación de la energía de succión SE (Budris, 2006)	50
Tabla 23. Energía de succión	50
Tabla 24. Valores mínimos de f_c , en función de SE (HI, 1998)	50
Tabla 25. Valor del coeficiente de seguridad f_c	50
Tabla 26. Nivel mínimo del agua Δz	51
Tabla 27. Tipo de flujo de las bombas	51
Tabla 28. Velocidad específica y tipo de impulsor	51
Tabla 29. Rugosidad absoluta de algunos materiales.	54
Tabla 30. Coeficiente de fricción	54
Tabla 31. Pérdidas por fricción de cada línea	55
Tabla 32. Cuantificación de accesorios por línea	55
Tabla 33. Pérdidas locales de cada línea	56
Tabla 34. Pérdidas totales de cada línea	56
Tabla 35. Calendario de Riego	58
Tabla 36. Número de goteros por árbol en riego por goteo.	59
Tabla 37. Datos técnicos de la línea de goteo de 20 mm	59
Tabla 38. Volumen total de riego requerido por cada línea	60



Tabla 39. Política de Riego	60
Tabla 40. Funcionamiento del tanque	62
Tabla 41. Datos para calcular el gasto.	64
Tabla 42. Tiempo de riego en el horario de máxima demanda	64
Tabla 43. Gasto total de cada línea	65
Tabla 44. Gasto de cada línea	65
Tabla 45. Diámetro de cada línea	66
Tabla 46. Coeficiente de fricción de cada línea	67
Tabla 47. Pérdidas por fricción de cada tramo por línea	68
Tabla 48. Pérdidas totales por fricción de cada línea	68
Tabla 49. Diámetro corregido de las línea 1 - 7	69
Tabla 50. Diámetro de cada línea	70
Tabla 51. Pérdidas totales por fricción de cada línea	70
Tabla 52. Cuantificación de accesorios por de cada línea	71
Tabla 53. Pérdidas locales de cada línea	71
Tabla 54. Pérdidas totales por accesorio	71
Tabla 55. Pérdidas totales de cada línea	72
Tabla 56. Diámetro y coeficiente de fricción de cada línea secundaria	73
Tabla 57. Pérdidas por fricción de cada línea secundaria	74
Tabla 58. Perdida de carga (m)	74
Tabla 59. Pérdidas por accesorio de cada línea secundaria	75
Tabla 60. Pérdidas por accesorio de cada línea secundaria	76
Tabla 61. Carga de presión en cada línea	78
Tabla 62. Pérdidas por accesorio de cada línea secundaria	79
Tabla 63. Mano de obra	99
Tabla 64. Datos para obtener el factor de la Ley Federal de Trabajo (LFT)	99
Tabla 65. Ley Federal de Trabajo (LFT)	100
Tabla 66. Ley del Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT)	100
Tabla 67. Obligaciones obrero-patronales de la Ley del Seguro Social	101
Tabla 68. Ley del Seguro Social (IMSS)	101
Tabla 69. Ley del Seguro Social (IMSS)	102
Tabla 70. Cotización de materiales (junio 2014 – julio 2014)	107
Tabla 70. Continuación. Cotización de materiales (junio 2014 – julio 2014)	108
Tabla 72. Cargo por kilowatt-hora en Agosto de 2014	142



Índice de figuras

	Pág.
Figura 1. Trazo en planta de la línea de conducción (alimentación).	8
Figura 2. Trazo en planta de las línea primaria de alimentación (red primaria).	9
Figura 3. Ubicación de la Presa Huachinantla.	10
Figura 4. Calidad del agua superficial en México, con base en la DBO, en 2008.	11
Figura 5. Calidad del agua superficial en México, con base en la DQO, en 2008.	11
Figura 6. Calidad del agua superficial en México, con base en los SST, en 2008.	12
Figura 7. Cuenca R. Grande de Amacuzac.	13
Figura 8. Relieve existente en el Estado de Puebla.	14
Figura 9. Infraestructura para el transporte en el Estado de Puebla.	14
Figura 10. Clima en el Estado de Puebla.	16
Figura 11. Tipos de rocas en el Estado de Puebla.	16
Figura 12. Tipos de suelos en el Estado de Puebla.	20
Figura 13. Tipos de uso de suelo en el Estado de Puebla.	20
Figura 14. Tipos de uso de suelo en la región cercana a la Presa Huachinantla.	25
Figura 15. Componentes del ciclo hidrológico en México. (CONAGUA, 2010).	26
Figura 16. Procedimiento del método de Blaney – Criddle.	27
Figura 17. Coeficiente de cobertura del cultivo.	33
Figura 18. Sistema de distribución con parcelas.	36
Figura 19. Dimensiones generales del cárcamo de bombeo.	42
Figura 20. Longitud total de la cámara de bombeo (H.I.).	44
Figura 21. Dimensiones en planta del cárcamo de bombeo.	44
Figura 22. Dimensiones en perfil del cárcamo de bombeo.	45
Figura 23. Esquema de una bomba vertical.	51
Figura 24. Esquema de la bomba vertical.	55
Figura 25. Tanque de regularización.	63
Figura 26. Lateral sencillo.	85
Figura 27. Lateral con goteros en cruz.	86
Figura 28. Lateral con goteros de salidas múltiples.	86
Figura 29. Lateral a Zig-zag.	86
Figura 30. Lateral con colas de puerco.	87
Figura 31. Lateral doble.	87
Figura 32. Lateral con círculo envolviendo al árbol.	87
Figura 33. Goteros de regulación manual.	88
Figura 34. Goteros automáticos de carga constante.	89
Figura 35. Gotero compensador de presión.	89
Figura 36. Gotero compensador de presión.	90
Figura 37. Circuito compensador de presión.	90
Figura 38. Emisores de sendero largo.	91
Figura 39. Tubería de doble pared.	91



Figura 40. Tubería porosa.	92
Figura 41. Emisores de orificio.	92
Figura 42. Emisor en la línea.	93
Figura 43. Emisor sobre la línea.	93
Figura 44. Emisor con extensión.	93
Figura 45. Emisor subterráneo.	94
Figura 46. Emisor múltiple.	94



Bibliografía

- Memoria Técnica del aprovechamiento del agua de la Presa denominada “Los Ranchitos” o “Huachinantla”.
- Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Jolalpan, Puebla, INEGI. 2009.
- Metodología para la estimación del Requerimiento de Riego en base a funciones de producción. Contribución del programa de Agrometeorología. Tijerina Chávez, Leonardo. Crespo Pichardo, Guillermo. Colegio de Postgraduados 56230 Montecillo, México.
- Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos, Richard G. Allen, et. All. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO, Roma, 2006.
- Estimación de las demandas de consumo de agua. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. SAGARPA.
- Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Cárcamos de Bombeo para Alcantarillado, Funcional e Hidráulico. Comisión Nacional del Agua. Diciembre De 2007
- Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Diseño de Instalaciones Mecánicas. Comisión Nacional del Agua. Diciembre De 2007
- Piña Dávalos, Antulio (ed). *Métodos Avanzados de Riego. Tomo I. Riego por Goteo*. México, D. F., Mayo de 1981. SARH.
- Gardea Villegas, Humberto. *Aprovechamientos hidroeléctricos y de bombeo*. 1ª edición, junio 1992. Editorial Trillas S. A. de C. V. UNAM, Facultad de Ingeniería, México DF.
- López Cualla, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. 2da edición. Alfaomega 1998, México DF.
- Cafaggi Félix, Amalia Adrianan, E. A. Rodal Canales y A. Sánchez Huerta. *Sistemas de bombeo*. 1ª edición, Febrero de 2011. UNAM, Facultad de Ingeniería, México DF.
- Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, “Diseño, Construcción y Operación de Tanques de Regulación para Abastecimiento de Agua Potable”. CONAGUA. 2007.
- Ley Federal del Trabajo. Diario Oficial de la Federación. 30 de noviembre de 2012.
- Ley del Seguro Social. Diario Oficial de la Federación. 02 de abril de 2014.
- Salarios mínimos 2014. Secretaria del Trabajo y Previsión Social.
- De Alba Castañeda, Jorge H. Mendoza Sánchez, Ernesto R. *Factores de Consistencia de Costos y Precios Unitarios*. Fundación para la Enseñanza de la Construcción (FUNDEC, A. C.)



Bibliografía complementaria

1. Instituto Internacional de Ordenación del Riego. 1992. *Developing environmentally sound and lasting improvements in irrigation management: the role of international research*. Colombo, Sri Lanka.
2. R. Bhatia y M. Falkenmark. 1992. *Water resource policies and the urban poor: innovative approaches and policy imperatives*. Documento de referencia de la ICWE, Dublín, Irlanda.
3. Requerimientos Agroecológicos de Cultivos, Ruiz Corral, De José Aiel, et al. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), 1999.
4. Acta de entrega, 20 de mayo de 1986. Sistema de seguridad de presas, CONAGUA.
5. Indicadores de calidad del agua. CONAGUA. Noviembre, 2011.
6. Subdirección General Técnica. Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua. Subgerencia de Estudios de Calidad del Agua e Impacto Ambiental. Jefatura de Proyecto de Estudios de Calidad del Agua. CONAGUA.
7. Cisneros Almazan, Dr. Rodolfo. *Apuntes de la materia de Riego y Drenaje*. Centro de Investigación y Estudios de Posgrado y Área Agrogeodésica
8. César Valdez, Enrique. *Abastecimiento de Agua Potable*. Cuarta edición. 1994. UNAM, Facultad de Ingeniería. México DF.
9. Sistema de seguridad de presas, CONAGUA.
10. Topografía aplicada a obras Coussa. SAGARPA